

Meine Damen und Herren,

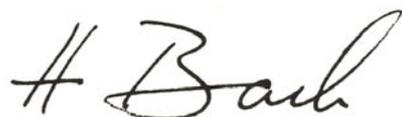
von vielen Seiten werden wir gefragt, was läuft bei Euch, welche neuen Ergebnisse liegen vor, gibt es interessante Veröffentlichungen, habt Ihr neue Versuchsstände und was leisten die, wie weit seid Ihr mit der rechnerischen Simulation von Komponenten und Systemen der Heiz- und Raumlufttechnik und welche Möglichkeiten bieten die Großrechner der Universität, in welchen Fachauschüssen und Richtliniengremien seid Ihr aktiv und was habt Ihr erreicht, gibt es neue Kooperationen, neue Pläne?

Alle diese Fragen möchten wir in unserem HLKBRIEF beantworten und darüber hinaus kurz gefaßt unsere neuesten Forschungs- und Untersuchungsergebnisse präsentieren, um auf die eigentliche ausführliche Veröffentlichung aufmerksam zu machen.

Wir möchten mit unserem HLKBRIEF den Kontakt mit unseren ehemaligen Mitarbeitern und Studenten erhalten und verbessern. Wir möchten die vielen Firmen und Institutionen, mit denen wir zusammenarbeiten, regelmäßig über unsere Arbeitsmöglichkeiten informieren und wir möchten die Freunde und Förderer unseres Instituts an all unseren Plänen, manchmal auch Sorgen und Wünschen, meist aber - wie ich für uns erhoffe - Erfolgen, teilhaben lassen.

Ich wünsche Ihnen bei der Lektüre des ersten HLKBRIEFes viel Vergnügen und erbitte mir für den nächsten, hoffentlich bald folgenden Brief Anregungen und Verbesserungsvorschläge. Unterrichten Sie uns bitte auch, wer ebenfalls Interesse an dem Brief oder welche Adresse sich geändert hat.

Mit herzlichen Grüßen



Prof. Dr. Ing. Heinz Bach

Übersicht über unsere Arbeiten

Der universitäre Teil, die Abteilung HLK des IKE, und der privatrechtliche Teil, die FG HLK arbeiten eng zusammen. Lehre und Forschung werden vom Institut geleistet, das dabei von der FG HLK unterstützt wird, die zusätzlich auch die langfristig laufenden Entwicklungs- und Prüfarbeiten mit dem zugehörigen bei der Universität nicht anstellbaren Dauerpersonal ausführt.

Insgesamt arbeiten im HLK-Bereich 16 Wissenschaftler, acht Techniker, Laboranten, Meister und Mechaniker, zwei Sekretärinnen und eine wechselnde Zahl studentische Hilfskräfte.

¹ Gefördert mit Mitteln des BMFT.

Die Arbeiten verteilen sich auf vier Bereiche:

- **Systeme**
- **Komponenten**
- **Vorgänge in Räumen**
- **Messen und Erfassen**

Systeme

Im ersten Bereich sind folgende Vorhaben gerade abgeschlossen, Bestimmung und Bewertung des Energieverbrauchs von Heiz- und RLT-Anlagen; deutscher Beitrag zum IEA -ANNEX 10¹

und

Energiewirtschaftliches Meßprogramm zur vergleichenden Verbrauchs- und Emissionsbestimmung an einem zentralen Wärmeverorgungsnetz und dezentralen Gebäudeheizungsanlagen in Norderstedt¹.

INHALT

Übersicht über unsere Arbeiten	1
Kesselerneuerung in Wohngebäuden - Energieeinsparung und Schadstoffreduzierung	3
Rohrnetzoptimierung durch Betriebssimulation	5
Arbeitsplatzlüftung - APLÜ	7
IEA-ANNEX 10: System Simulation	8
Temperaturmessung in strömenden Flüssigkeiten mit hoher Genauigkeit	11

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.

Derzeit laufen:

BEMS-Building Energy Management Systems¹

und

BHKW-Entwicklung optimierter Anlagenkonzepte und Auslegungsgrößen für kombinierte Wärmeerzeugersysteme durch Betriebssimulation (CAE)²;

ferner entwickeln wir für ein japanisches Unternehmen ein

computergestütztes Verfahren zur Konzeption und Planung von Warmwasserheizungen.

Die Entwicklung eines Analyse-Verfahrens für hydraulische Systeme und parallel dazu eines kombinierten Regelungs- und Erfassungssystems sind Ziel des Vorhabens

Hydra-Rechnergestützte Analyse und hydraulischer Abgleich von Rohrnetzen¹.

Komponenten

Im zweiten Bereich wurde gerade das über FTA geförderte AIF-Forschungsvorhaben

Plattenwärmetauscher in raumluftechnischen Anlagen

abgeschlossen.

Es laufen eigene Untersuchungen über *systematische Einflüsse der Umgebungsbedingungen auf die Wärmeleistung von Heizkörpern*

über vereinheitlichte europäische Prüfbedingungen für Heizkörper und Wärmetauscher,

über

Schadstoffreduktion bei Ölbrennern

und über

Luftwäscher.

Neben Einzeluntersuchungen werden regelmäßig Prüfungen an

Heizkörpern, Thermostatventilen, Vorlauftemperaturreglern und Brauchwasser-Speichern

durchgeführt.

Vorgänge in Räumen

Im dritten Bereich befassen wir uns im wachsenden Umfang mit der Luftreinhaltung am Arbeitsplatz im Rahmen von zwei Vorhaben:

Arbeitsplatzbelüftung

und

Luftreinhaltung an Wiege- und Mischarbeitsplätzen.

Wir sind dabei, neben unserem kleinen Modellversuchsraum einen größeren in den Abmessungen 4,5m x 4,5m x 7m zu errichten, um Luftströmungen auch im Maßstab 1:1 beobachten und vermessen zu können.

Messen und Erfassen

Im vierten Bereich nimmt den größten Raum die

Prüfung und Begutachtung von Heizkostenverteilern ein.

Auch die Entwicklung und

Herstellung von Meßeinrichtungen

für den eigenen Bedarf und für andere Labors gehört zu den Daueraufgaben.

Zu ergänzen ist, daß selbstverständlich die Abteilung Heizung-Lüftung-Klimatechnik an den Gemeinschaftsaufträgen des Instituts für Kernenergetik und Energiesysteme IKE beteiligt ist und u. a. für das Projekt

Möglichkeiten zur Umstrukturierung der Energieversorgung in Baden-Württemberg unter besonderer Berücksichtigung der Stromversorgung

den Abschnitt "Raumwärme- und Warmwasserversorgung im Bereich Haushalte und Kleinverbraucher" angefertigt hat.

Bei Richtlinien und Normen wirken wir mit bei:

CEN TC 105 Thermostatventile
CEN TC 110 Wärmetauscher
CEN TC 130 Raumheizflächen
CEN TC 171 Heizkostenverteiler

DIN 4702 Heizkessel

DIN 4703, 4704

Raumheizflächen

DIN 4708 Zentrale Wassererwärmungsanlagen

DIN 4713 Heizkostenverteiler

DIN 4725 Fußbodenheizung

DIN 4753 T.8 Wärmedämmung von Wassererwärmern

VDI 2067 T.7 BHKW

VDI 2073 Hydraulische Schaltungen

VDI/DIN 2262 Minderung der Exposition luftfremder Stoffe am Arbeitsplatz

VDI 3802 Raumluftechnische Anlagen für Fertigungsstätten

VDI 3809 Prüfung heiztechnischer Anlagen

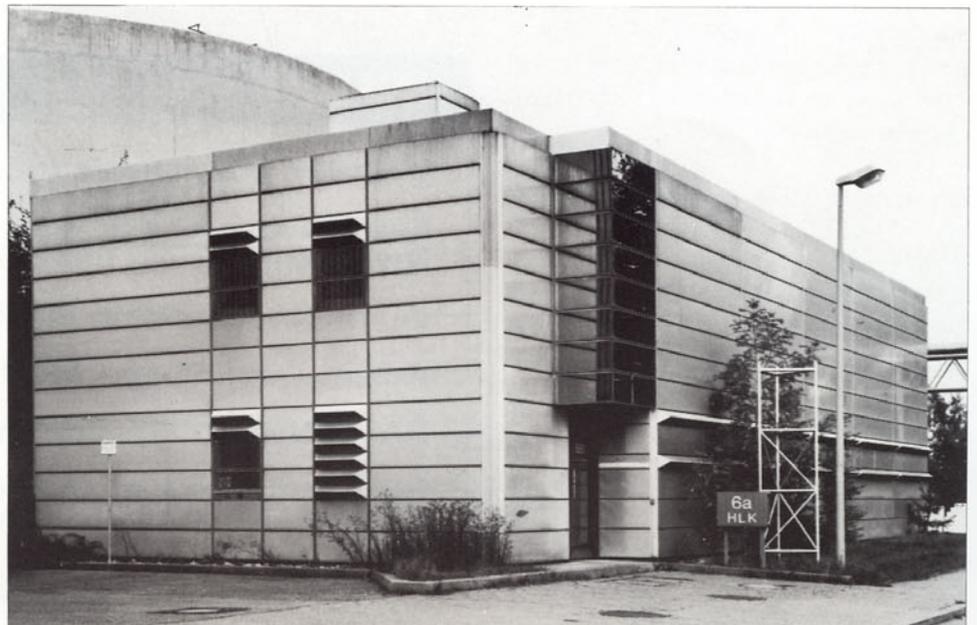
VDI/VDE 6.11 a-6.9

Regelung raumluftechnischer Anlagen.

BA

1 Gefördert mit Mitteln des BMFT.

2 Gefördert über FTA von AIF



Prüfstelle Heizung- Lüftung- Klimatechnik, Stuttgart

Kesselerneuerung in Wohngebäuden¹

Energieeinsparung und Schadstoffreduzierung

Rolf Diemer

Der Einbau eines neuen Wärmeerzeugers ist heute eine übliche Verbesserungsmaßnahme in bestehenden Wohngebäuden mit Warmwasser-Zentralheizung. Die dadurch erreichbaren Energieeinsparungen und Schadstoffreduzierungen sind in der Regel nicht bekannt. Im Einzelfall sind sie abhängig von den Eigenschaften des Gebäudes, der Wärmeverteilung, des alten und neuen Wärmeerzeugers sowie von der Witterung und dem Bewohnerverhalten /1,2/. Um zu zeigen, welche Energieeinsparungen und Schadstoffreduzierungen tatsächlich möglich sind, wurde diese Maßnahme im Auftrag der Stadtwerke Norderstedt beispielhaft in einem Großversuch an 51 Wohngebäuden, vorwiegend Einfamilienhäusern, ausgeführt und untersucht. Da bei Feldversuchen in bewohnten Gebäuden die Ergebnisse meist durch das nur schwer erfaßbare Verhalten der Bewohner beeinflußt werden, wird eine spezielle Beurteilungsmethode angewendet /3/.

Beurteilungsmethode

In jedem Gebäude werden durch langperiodische Feldmessungen an der alten und neuen Wärmeerzeugung der Brennstoffverbrauch und die Nutzenergieentnahme für Heizung und Warmwasser wöchentlich bzw. monatlich erfaßt. Aus den Tagesmittelwerten der dem Wärmeerzeuger in den Ableseräumen zugeführten Brennstoffenergie und der von ihm abgegebenen Nutzenergie erhält man lineare Kennlinien, die die wärmetechnischen Eigenschaften der alten und neuen Wärmeerzeugung bei der örtlichen Situation und der vorliegenden Betriebsweise beschreiben.

Um die Energieeinsparung in jedem Gebäude für einheitliches Bewohnerverhalten und gleiche Witterungsbedingungen zu bestimmen, muß die Verteilung der Lasten (dem Wärmeerzeuger entnommene Nutzenergie) über die Heizperiode bzw. das Jahr unter diesen Randbedingungen bekannt sein. Sie wird durch rechnerische Simulation des Systems Witterung, Gebäude, Nutzer und Heizanlage nach der Nutzungsgradtheorie /4/ ermittelt. Dabei wird der Nutzenergiebedarf des Gebäudes für einheitliches Klima /5/, und definiertes Bewohnerverhalten bei den vorliegenden Gebäudeeigenschaften errechnet; interne und solare Wärmegegewinne werden berücksichtigt. Die

dem Wärmeerzeuger entnommene Nutzenergie ergibt sich aus dem Nutzenergiebedarf des Gebäudes und den Wärmeverlusten der Verteilungen.

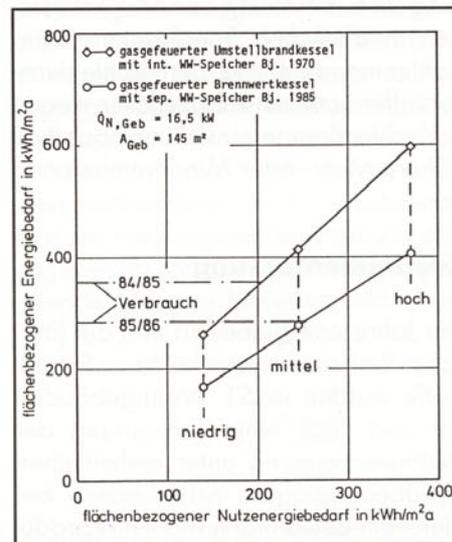


Bild 1: Jahresenergiebedarf der alten und neuen Wärmeerzeugung im Gebäude Nr. 29 bei niedrigen, mittleren und hohen Anforderungen der Bewohner

Der zugehörige Energiebedarf der alten und der neuen Wärmeerzeugung wird aus den gemessenen Kennlinien bestimmt.

Das Ergebnis dieser Simulationsrechnung sind charakteristische Jahreskennlinien, die den Nutzenergiebedarf des

Gebäudes und den Energiebedarf der alten und neuen Wärmeerzeugung bei unterschiedlichen Anforderungen der Bewohner angeben (Bild 1). Sie zeigen, daß nicht nur der Energiebedarf sondern auch die Energieeinsparung sehr stark vom Bewohnerverhalten beeinflußt werden.

Vergleicht man die Simulationsergebnisse mit den gemessenen, witterungsbereinigten Jahresenergieverbräuchen, erkennt man, daß die Anforderungen der Bewohner nach der Umrüstung in vielen Gebäuden angestiegen sind. Dies wird auch durch die am Wärmeerzeuger gemessenen Nutzenergien bestätigt. D.h., in diesem und auch in zahlreichen anderen Objekten würde die erreichbare Energieeinsparung mit den gemessenen Energieverbräuchen unterschätzt.

Multipliziert man den errechneten Jahresenergiebedarf mit Emissionsfaktoren, wie sie vom TÜV Norddeutschland in allen Objekten vor und nach Erneuerung der Wärmeerzeugung ermittelt wurden, ergeben sich näherungsweise Jahresemissionen der Luftfremdstoffe SO₂, NO_x, CO und C_nH_m bei unterschiedlichen Anforderungen der Bewohner (Bild 2). Damit erhält man auch die Reduzierung bzw. Erhöhung der jährlich emittierten Schadstoffmasse.

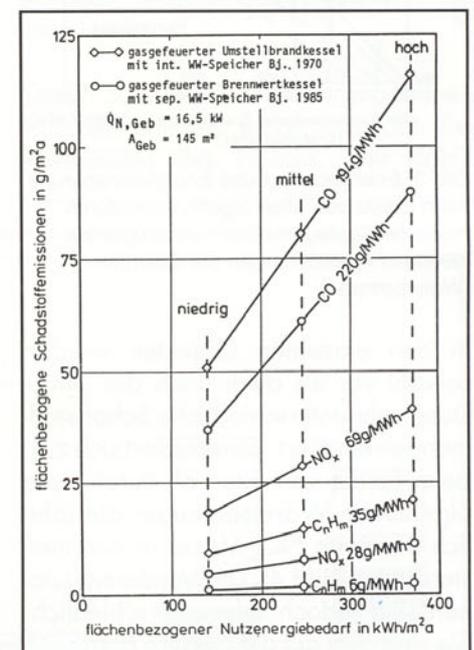


Bild 2: Schadstoffemissionen der alten und neuen Wärmeerzeugung im Gebäude Nr. 29 bei niedrigen, mittleren und hohen Anforderungen der Bewohner

¹ Gefördert mit Mitteln des BMFT unter dem Förderzeichen 03- E-8563A

Energieeinsparung und Schadstoffreduzierung

Trotz einheitlich definiertem Bewohnerverhalten bei gleichen Witterungsbedingungen ergeben sich mit der Simulationsrechnung sowohl vor als auch nach Erneuerung der Wärmezeugung sehr unterschiedliche Energieverbräuche (Bild 3). Dies rührt vor allem von der sehr unterschiedlichen Gebäudesubstanz her. Außerdem haben die installierten alten wie auch neuen Wärmeerzeuger infolge unterschiedlicher Außenabmessungen, Wärmedämmung, Brennereinstellung, Dimensionierung usw. sehr unterschiedliche Wärmeverluste. Damit werden auch sehr unterschiedliche Energieeinsparungen erreicht. Ein Zusammenhang zwischen der sog. Energiekennzahl und der erzielbaren Energieeinsparung kann nicht bestätigt werden.

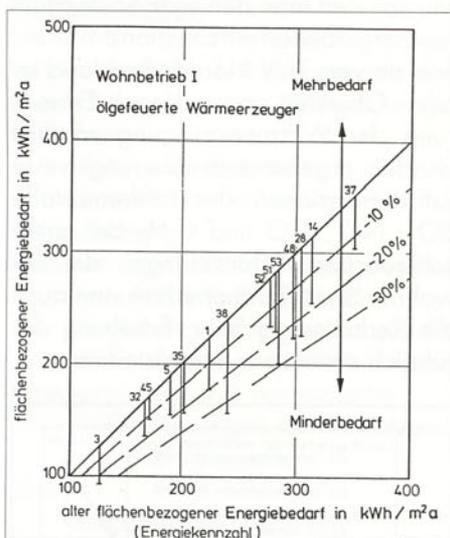


Bild 3: Energiebedarf und Energieeinsparung beim Ersatz von alten ölgefeuerten durch moderne ölgefeuerte Wärmeerzeuger bei niedrigen Anforderungen der Bewohner (Wohnbetrieb I)

In den einzelnen Objekten werden sowohl vor als auch nach der Umrüstung sehr unterschiedliche Schadstoffmengen emittiert. So reduziert sich z.B. beim Ersatz von alten öl- durch neue ölgefeuerte Wärmeerzeuger die jährlich emittierte NO_x -Masse in den meisten Fällen (Bild 4). Die Minderemissionen sind jedoch sehr unterschiedlich. Sie sind stets auf die bessere Brennstoffausnutzung der neuen Wärmezeugung und teilweise zusätzlich auch auf geringere Emissionsfaktoren zurückzuführen. In zwei Fällen haben sich die NO_x -Emissionen stark erhöht, obwohl

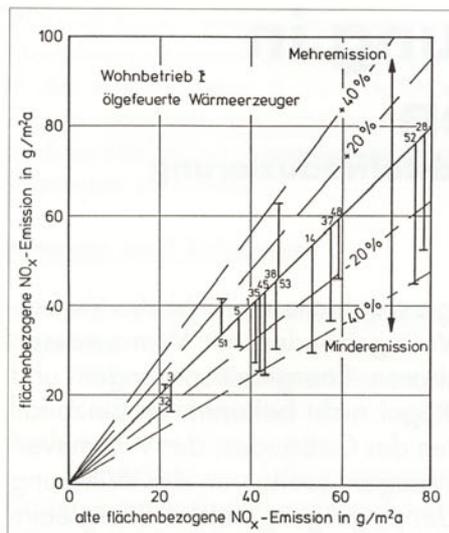


Bild 4: Schadstoffemissionen und Schadstoffreduzierung beim Ersatz von alten ölgefeuerten durch moderne ölgefeuerte Wärmeerzeuger bei niedrigen Anforderungen der Bewohner (Wohnbetrieb I)

sich die Wärmezeugung energetisch deutlich verbessert hat. Hier produziert der neue Kessel pro kWh Brennstoffenergie weit mehr NO_x als der ursprünglich installierte.

Bei allen übrigen Objekten streuen die Energieeinsparungen und die Reduzierung bzw. Erhöhung der NO_x -Emissionen in ähnlichen Bandbreiten. Beim Kohlenmonoxid und den Kohlenwasserstoffen kommen in Einzelfällen wegen schlechter Brennereinstellung noch weit höhere Mehr- oder Minderemissionen vor.

Zusammenfassung

Der Jahresenergiebedarf und die jährlichen Emissionen verschiedener Schadstoffe wurden in 51 Wohngebäuden vor und nach einer Erneuerung der Wärmezeugung unter einheitlichen Randbedingungen insbesondere bei gleichem Bewohnerverhalten reproduzierbar bestimmt. Damit erhält man die Energieeinsparung und Schadstoffreduzierung, die sich allein durch die Maßnahme Erneuerung der Wärmezeugung ergibt.

Bei nahezu allen Objekten ergeben sich Energieeinsparungen, allerdings in sehr unterschiedlicher Höhe. Dies bedeutet jedoch nicht, daß stets auch Schadstoffreduzierungen in gleicher Größenordnung erreicht werden. Vielmehr weisen die neuen Wärmeerzeuger

in einigen Objekten erhöhte Emissionsfaktoren auf, wenn z.B. die NO_x -Bildung durch ungünstig ausgelegte Brennräume oder schlechte Brennereinstellung begünstigt wird. Die Schadstoffreduzierung, die durch die bessere Brennstoffausnutzung erreicht wird, wird dadurch vermindert. Es können sogar Mehrmissionen auftreten.

Die Untersuchung bestätigt auch, daß die erreichbare Energieeinsparung und Schadstoffreduzierung im speziellen Fall vom Verhalten der Bewohner sowie den Eigenschaften des Gebäudes, der Wärmeverteilung, der alten und der neuen Wärmezeugung abhängig sind. Die Ergebnisse gelten also nur für das jeweilige Objekt. Zur Prognose von Einsparwerten ist im Einzelfall eine ausführliche Analyse unter Berücksichtigung aller Randbedingungen erforderlich.

Schrifttum

- /1/ Ast, H., Bach, H., Diemer, R., König, N., Wagner, J. und Gertis, K.: *Energiediagnose für Wohngebäude*. IKE 7-7, Universität Stuttgart, Januar 1986.
- /2/ Ast, H.: *Energieeinsparung durch Kesselerneuerung*. HLH Bd. 38 (1987), S. 423-429.
- /3/ Bach, H., Diemer, R.: *Kontrolle von Feldversuchen an Heizanlagen durch Simulationsrechnung*. Vortrag vor der Gesundheitstechnischen Gesellschaft e.V. am 28.2.1988.
- /4/ Bach, H., Claus, G.: *Ermittlung des Nutzungsgrades von Heizanlagen*. BMFT-Forschungsbericht ET 5135, 1980.
- /5/ Deutsches Institut für Normung e.V.: *DIN 4710 - Meteorologische Daten zur Berechnung des Energiegebrauchs von heiz- und raumlufttechnischen Anlagen*. 1982

Rohrnetzoptimierung durch Betriebssimulation¹

Franz Gramling

Systembedingte Probleme in der Hydraulik von Heizungsanlagen

Heizungsrohrnetze werden nach wie vor für einen Betriebspunkt ausgelegt - den sog. Auslegungsfall -, der nur einen Grenzfall darstellt und daher mit großer Wahrscheinlichkeit nur sehr selten eintritt. Der "normale" Betrieb weicht vom Auslegungsfall meist erheblich ab, da oft nur ein Teil der Heizflächen betrieben wird. Dies hat zur Folge, daß der an den geöffneten Ventilen anstehende Differenzdruck erheblich zunimmt. Zum einen liegt das an dem geringeren Druckabfall in den Verteilleitungen infolge des reduzierten Durchflusses, zum anderen an den fallenden Kennlinien der eingesetzten Kreiselpumpen, die bei Reduktion des Durchflusses den Differenzdruck erhöhen.

Zur Veranschaulichung dieser Zusammenhänge werden für das Heizungsnetz eines Einfamilienhauses (Strangschema in Bild 1) die einzelnen Betriebsituationen aufgezeigt. Bild 2 zeigt die Verteilung des Druckabfalls im Heizungsnetz für drei verschiedene Betriebsfälle. Im Auslegungsfall (alle Heizflächen sind

in Betrieb, Auslegungsmassenstrom) steht an dem betrachteten Thermostatventil des Heizkörpers 5 ein Differenzdruck von 4800 Pa an. In einem Teillastfall, bei dem acht der insgesamt 13 Heizkörper betrieben werden, steigt dieser Differenzdruck auf 8600 Pa an. Sind nur zwei Heizkörper in Betrieb, beträgt der Differenzdruck an diesem Ventil 12400 Pa, das ist mehr als das Zweieinhalbfache des Auslegungsdifferenzdruckes.

Bei derartigem Ansteigen des Differenzdruckes am Ventil kann es leicht zu Strömungsgeräuschen kommen. Darüber hinaus verschlechtert sich das Regelverhalten des Thermostatventils.

Der aufgezeigte Teillastfall (II) repräsentiert hier erfahrungsgemäß schon den "Maximalfall" der Netzbelastung. Messungen in ausgeführten Anlagen /1/ haben gezeigt, daß das Verhältnis mittlerer Betriebsmassenstrom zu Auslegungsmassenstrom meist geringer als 0,5 ist.

Demnach arbeiten die Thermostatventile eines Heizungsnetzes praktisch ständig weit ab von dem der Auslegung zugrunde gelegten Betriebspunkt. Diese

Ventile sind aufgrund ihrer Regeleigenschaften bis zu einem bestimmten Grad in der Lage, den jeweils erforderlichen Sollmassenstrom einzustellen, dabei steigt der Differenzdruck jedoch stark an.

Für die Pumpe bedeutet dies, daß sie in dem vorherrschenden Teillastbetrieb einen deutlich zu hohen Differenzdruck liefert und damit auch entsprechend mehr elektrische Leistung aufnimmt.

Rohrnetzsimulationsprogramm "NETZ"

Durch Simulation des Rohrnetzes läßt sich die gesamte Hydraulik im Rechner abbilden und man erhält die Möglichkeit, jede Betriebsituation rechnerisch nachzuvollziehen und hierfür die Durchflüsse und die Differenzdruckverteilung im Netz anzugeben. Zu diesem Zweck wurde das Simulationsprogramm NETZ entwickelt. Der hydraulische Widerstand eines Netzelements i wird in Anlehnung an den Ohm'schen Widerstand definiert:

$$R_i = \Delta p_i / V_i^n$$

Unter Anwendung der aus der Elektrotechnik bekannten Knoten- und Maschenregel werden die einzelnen Widerstände bei bekannter Netzstruktur sukzessiv zusammengefaßt, bis der Gesamtwiderstand des Rohrnetzes vorliegt, welcher die Netzkennlinie beschreibt:

$$\Delta p_{ges} = R_{ges} \cdot V_{ges}^n$$

Durch Schnitt mit einer vorgegebenen Pumpenkennlinie erhält man den Betriebspunkt des Netzes. Der damit

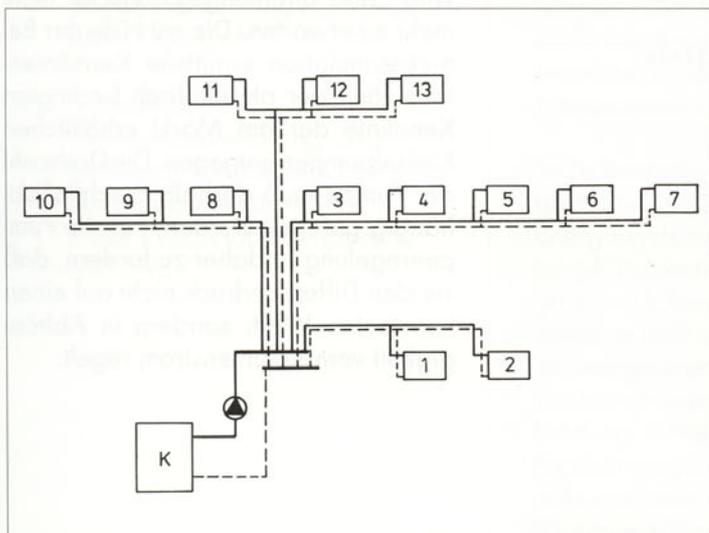


Bild 1: Strangschema des simulierten Heizungsnetzes

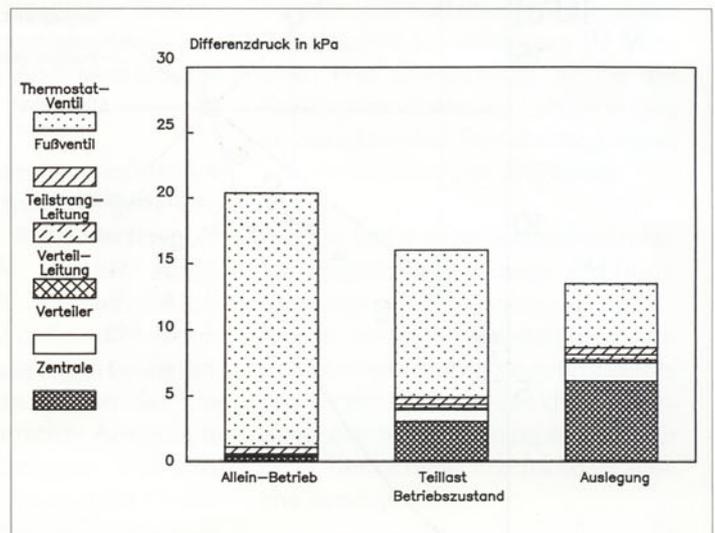


Bild 2: Druckabfall an den einzelnen Rohrnetzkomponente bei unterschiedlichen Betriebszuständen

gegebene Gesamtvolumenstrom wird unter Berücksichtigung der bekannten Widerstände auf die einzelnen Zweige des Netzes verteilt. Mit dem berechneten Durchfluß für jedes Netzelement und dessen bekannten hydraulischen Widerstand läßt sich direkt der Druckabfall an den einzelnen Elementen angeben.

Optimierte Betriebspunkte

Mit NETZ kann jede mögliche Betriebs-situation eines Heizungsnetzes simuliert werden. Dabei können nicht nur die Ventilstellungen verändert, sondern auch die Pumpe nach Vorgabe variiert werden. So ist es möglich, für jede Betriebs-situation des Netzes den optimalen Betriebspunkt zu bestimmen.

Für den optimalen Betriebspunkt wird hier gefordert, daß bei Auslegungsmassenstrom an keinem Ventil der Auslegungsdifferenzdruck unterschritten und bei mindestens einem Ventil gerade erreicht wird.

Mit dieser Vorgabe ist für jeden Betrieb der optimale Gesamtbetriebspunkt - also ohne Schnitt mit einer realen Pumpenkennlinie - eindeutig definiert. Zeichnet man für einzelne Betriebsfälle die optimalen Betriebspunkte in das $\Delta p/V$ -Dia-

gramm ein, so ergibt sich die in Bild 3 wiedergegebene Verteilung.

Angepaßte Pumpenkennlinie

Eine erste einfache Annäherung der Pumpenkennlinie an das hydraulisch optimierte Rohrnetz ist eine horizontale Kennlinie, also eine auf konstanten Differenzdruck geregelte Pumpe.

Diese bewirkt in dem aufgezeigten Fall schon eine deutliche Reduktion des Differenzdrucks an den Ventilen und der elektrischen Leistung im Teillastfall (siehe Bild 4).

Geht man einen Schritt weiter und legt eine ebenfalls lineare Pumpenkennlinie durch den Auslegungspunkt und den weiteren, die eingezeichneten Betriebspunkte nach oben begrenzenden Punkt, so erhält man eine steigende Pumpenkennlinie. Diese liegt

zwar geringfügig höher als die meisten der eingezeichneten Betriebspunkte, das Potential der Verringerung des Differenzdrucks ist mit dieser Kennlinie jedoch nahezu ausgeschöpft. Ein Vergleich der Leistungsaufnahme der Pumpen bei den drei diskutierten Pumpenkennlinien ist in Bild 4 aufgezeigt. Nimmt man den Fall, daß acht der 13 Heizkörper in Betrieb sind als mittleren

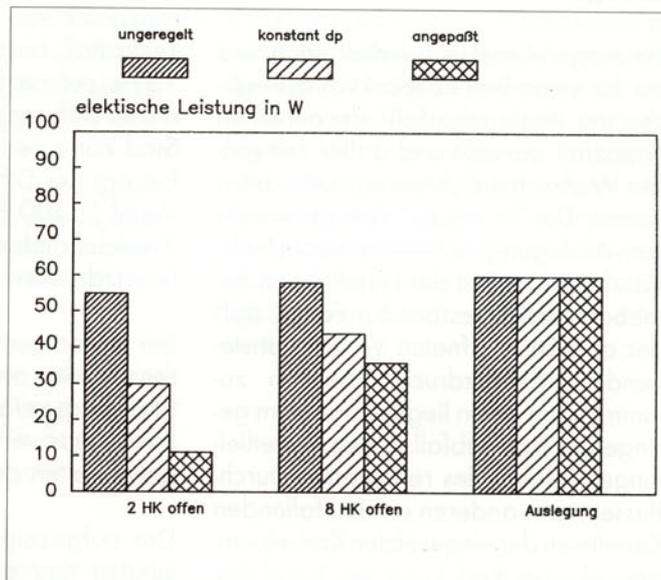
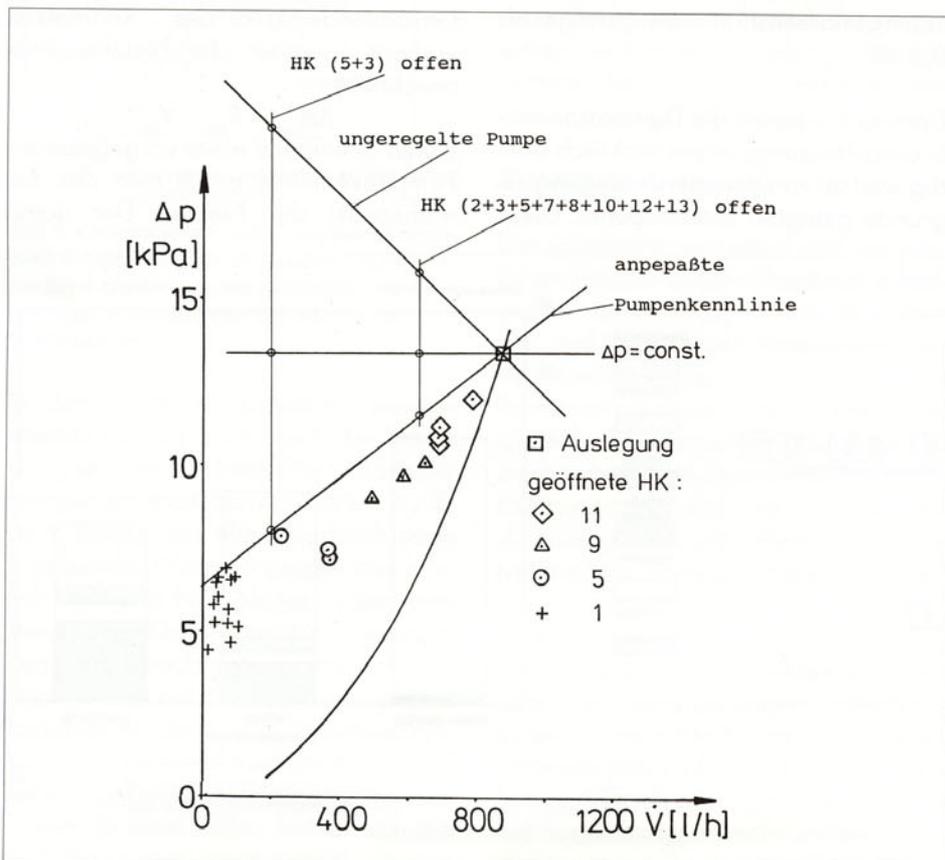


Bild 4: Elektrische Pumpenleistung bei unterschiedlich geregelten Pumpen



Betriebsfall, so erhält man hierfür eine Leistungsreduktion von 38 % gegenüber der unregulierten Kreiselpumpe. Da durch die Realisierung der geforderten steigenden Pumpenkennlinie der Differenzdruck an den Ventilen für alle Betriebsfälle nahezu konstantgehalten wird, sind Strömungsgeräusche nicht mehr zu erwarten. Die mit Hilfe der Betriebssimulation ermittelte Kennlinienform läuft der physikalisch bedingten Kennlinie der am Markt erhältlichen Kreiselpumpen entgegen. Die Drehzahl der Pumpe muß deshalb durchflußabhängig geregelt werden. Für die Pumpenregelung ist daher zu fordern, daß sie den Differenzdruck nicht auf einen konstanten Wert, sondern in Abhängigkeit vom Volumenstrom regelt.

Bild 3: Optimierte Betriebspunkte und daraus abgeleitete angepaßte Pumpenkennlinie

Folgerungen

Die Steigung dieser Kennlinie kann jedoch nicht allgemeingültig angegeben werden, sondern sie ist von der Struktur und der Dimensionierung des Netzes abhängig und kann nur durch die aufgezeigte Betriebssimulation des Heizungsnetzes verlässlich berechnet werden. Von der Abt. HLK wird die aufgezeigte Problematik in einem durch den BMFT und den VDMA-Forschungsfond "Pumpen" gefördertes Forschungsvorhaben /2/ bearbeitet.

Um die aufgezeigten Einsparpotentiale volkswirtschaftlich richtig einordnen zu können, ist zu bedenken, daß die derzeit in der Bundesrepublik installierten Heizungsumwälzpumpen eine Gesamtstromaufnahme von 2-3 GW haben /3/. Die konsequente Anwendung der Rohrnetzsimulation bei der Auslegung von Rohrnetz, Pumpe und Pumpenregelung ermöglicht eine deutliche Verbesserung des Anlagenbetriebs bei erheblicher Verringerung der Betriebskosten.

Schrifttum

- /1/ *Energieeinsparung und Schadstoffreduzierung durch Erneuerung von öl- und gasgefeuerten Wärmeerzeugern in 51 Wohngebäuden.*
BMFT 03 E-8563 A.
- /2/ *Rechnergestützte Analyse und hydraulischer Abgleich von Rohrnetzen bei gleichzeitiger Betriebsoptimierung der Pumpe.*
BMFT 033-8163 B.
- /3/ *Schmalfuß, H.-G.: Strompreisentwicklung/Stromverbrauch von Kreiselpumpen in der Gebäudetechnik.*
Erstes WILLO-Planersymposium, Mai 1987.

Arbeitsplatzlüftung - APLÜ¹

Verbundprojekt: "Gezielte Belüftung der Arbeitsbereiche in Produktionshallen zum Abbau der Schadstoffbelastung."

Die Luftführung ist in Produktionshallen maßgebend für die Minderung der Exposition nicht substituierbarer und nicht erfassbarer Gefahrstoffe am Arbeitsplatz. Bei der konventionellen Belüftung der gesamten Halle wird die saubere Zuluft zunächst mit den Gefahrstoffen vermischt, bevor sie in die Arbeitsbereiche gelangt. Im Verbundvorhaben (Uni Stuttgart, IKE/HLK, Kessler + Luch GmbH, Gießen und Forschungsgesellschaft HLK Stuttgart mbH) werden beispielhaft für die Produktionsbereiche Gießerei, Preßwerke, mechanische Fertigung und Karosserierohbau neue Luftführungskonzepte entwickelt und erprobt. Kennzeichnend für die Konzepte ist, daß die Zuluft möglichst direkt und unvermischt in die Arbeitsbereiche geführt wird, damit sich dort nur sehr geringe Gefahrstoffkonzentrationen einstellen können. Die freigesetzten Gefahrstoffe werden über ungenutzte Raumbereiche zu den Abluftdurchlässen transportiert.

Im Teilvorhaben der Universität Stuttgart, Institut für Kernenergetik und Energiesysteme, Abt. Heizung-Lüftung-Klimatechnik, werden Auslegungsverfahren für die gezielte Luftzufuhr erstellt und anhand Raumluftströmungsuntersuchungen verifiziert. Zusätzlich werden Fragen der Einbindung lufttechnischer Anlagen in Produktionseinrichtungen und Produktionshallen erörtert um die Kosten (Energieverbrauchs- und Wirtschaft-

lichkeitsrechnungen) von Anlagen mit konvektioneller und gezielter Luftzufuhr verglichen.

Im Teilvorhaben der FG HLK, werden die für die Belüftung der Arbeitsbereiche ausgewählten oder neu zu entwickelnden Luftdurchlässe auf einem Luftstrahlprüfstand untersucht bzw. erprobt. Die neuen Luftdurchlässe werden nach den Anforderungen entwickelt, die bei den experimentellen Untersuchungen der Luftführungskonzepte im Teilvorhaben Kessler + Luch erarbeitet werden.

Gemeinsam mit Kessler + Luch und den Unterauftragnehmern Daimler Benz und Volkswagen werden repräsentative Beispiele aus den vier Produktionsbereichen ausgewählt. Für die Beispiele werden in den Istzustandsanalysen über Produktionstechnik und über das Klima am Arbeitsplatz (Unterauftrag TU München, Prof. Diebschlag), die bei der Konzeption der neuen Luftführungen zu beachtenden Randbedingungen und Anforderungen erarbeitet.

Auf der Basis experimenteller Untersuchungen von Strömungs- und Transportvorgängen bei gezielter Luftzufuhr in einem zu errichtenden Modellraum werden Auslegungsverfahren erstellt. Diese sollen die Anwendung der neuen Konzepte auch für nicht betrachtete Produktionsbereiche ermöglichen.

Di

IEA - ANNEX 10: System Simulation¹

Wolfram Stephan

Bestimmung und Bewertung des Energiebedarfs von Heiz- und RLT-Anlagen durch rechnerische Betriebssimulation

Im Rahmen des IEA-Projektes ANNEX 10 "System Simulation" /3/ wurden, in Zusammenarbeit mit sieben europäischen Forschungseinrichtungen, Grundlagenarbeiten zur rechnerischen Simulation von Heiz- und Raumlufttechnischen Anlagen durchgeführt.

Eine Analyse der bestehenden Simulationsprogramme zeigt einen deutlichen Mangel an detaillierten Programmen zur rechnerischen Abbildung von Vor-

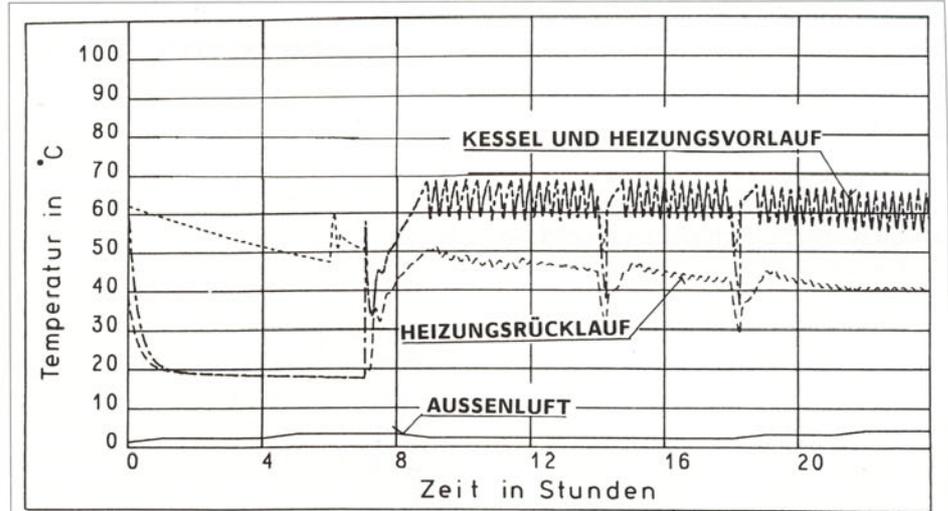
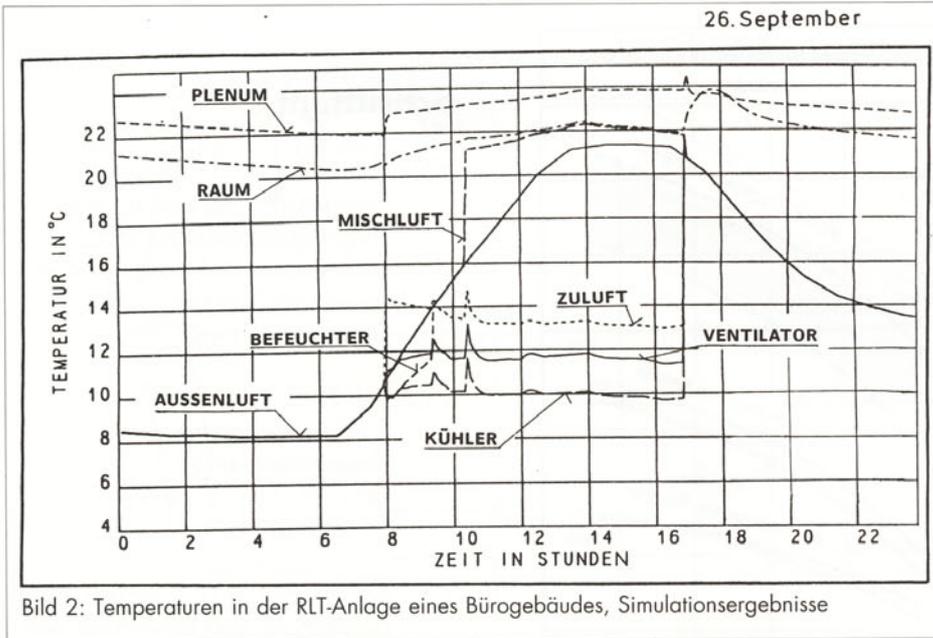


Bild 1: Temperaturen in der Heizanlage eines Mehrfamilienhauses, Simulationsergebnisse

Komponente	Verfasser	Inhalt		
		stationäre Vorgänge	instat. Vorgänge	Strömungs.-Vorgänge
Heizkessel	Univ. Liege	*	*	-
Wärmepumpe	RTH Zürich	*	-	-
Kältemaschine	TNO Delft	*	-	-
Kühlturm	Univ. Turin	*	-	-
Heizkörper	Univ. Stuttgart	*	*	-
Fußbodenheizung	Univ. Turin	*	*	-
Wärmetauscher	OVE and ARUP London	*	*	-
Befeuchter	Univ. Loughborough	*	-	-
Wärmerückgewinner	VTT Helsinki	*	-	-
Luftfilter	Univ. Turin	*	-	-
Pumpe	Univ. Turin	*	-	*
Ventilator	Univ. Loughborough	*	-	*
Rohrleitungen	Univ. Stockholm	*	*	*
Luftkanäle	Univ. Stockholm	*	*	*
Luftklappen	Univ. Loughborough	-	-	*
Hydr. Berechnungen	VTT Helsinki	-	-	*
Thermostatventile	Univ. Stuttgart	*	*	*
Regler und Stellorgane	VTT Helsinki	-	-	*
Gebäude	Univ. Liege	*	*	-
Psychrom. Werte	ETH Zürich	*	-	-
Innere Lasten	TNO Delft	*	-	-

Tabelle 1: Komponentenbeschreibungen des IEA-Annex 10 Arbeitskreises

¹ Gefördert mit Mitteln des BMFT unter dem Förderzeichen 03-E-8163-A



gängen in der Anlage und des Zusammenwirkens von Anlage, Gebäude und Anlagenregelung. Daher wurden für alle wichtigen Anlagenkomponenten Beschreibungen zur Simulation, sogenannte "Component Specifications", erstellt und getestet. Tabelle 1 gibt einen Überblick über alle dokumentierten Simulationsmodelle und deren Anwendungsbereiche.

Die auf dieser Basis erstellten und erweiterten Simulationsprogramme /7,6/ zeichnen sich aus durch einen verbesserten Detaillierungsgrad bei der Modellierung von Komponenten, hohe Flexibilität bei der Anwendung und die Möglichkeit, auch komplexe Anlagen abbilden zu können.

Die Simulationsergebnisse beruhen hierbei auf einer Lösung aller beschreibenden Gleichungen für Zeitschritte von 30 bis 300 Sekunden. Bild 1 zeigt das Ergebnis einer solch detaillierten Simulation der Wärmeerzeugung eines Mehrfamilienhauses. Deutlich ist das Schalten des Kessels und die Reaktion der Vor- und Rücklauftemperaturen zu erkennen.

Bild 2 zeigt das Ergebnis einer ähnlich detaillierten Studie für die RLT-Anlage eines Bürogebäudes. Deutlich sind hier die durch Regelvorgänge verursachten zeitlichen Verläufe der Lufttemperaturen zu erkennen.

Aufbauend auf solch detaillierten Simulationsrechnungen, können nun systematische Untersuchungen über

- **wärmetechnische, konstruktive und strömungstechnische Eigenschaften aller Komponenten,**
- **Dimensionierung aller Komponenten,**
- **Regelung von Einzelkomponenten und Gesamtanlagen,**
- **Gebäudeeigenschaften und Gebäudenutzung**

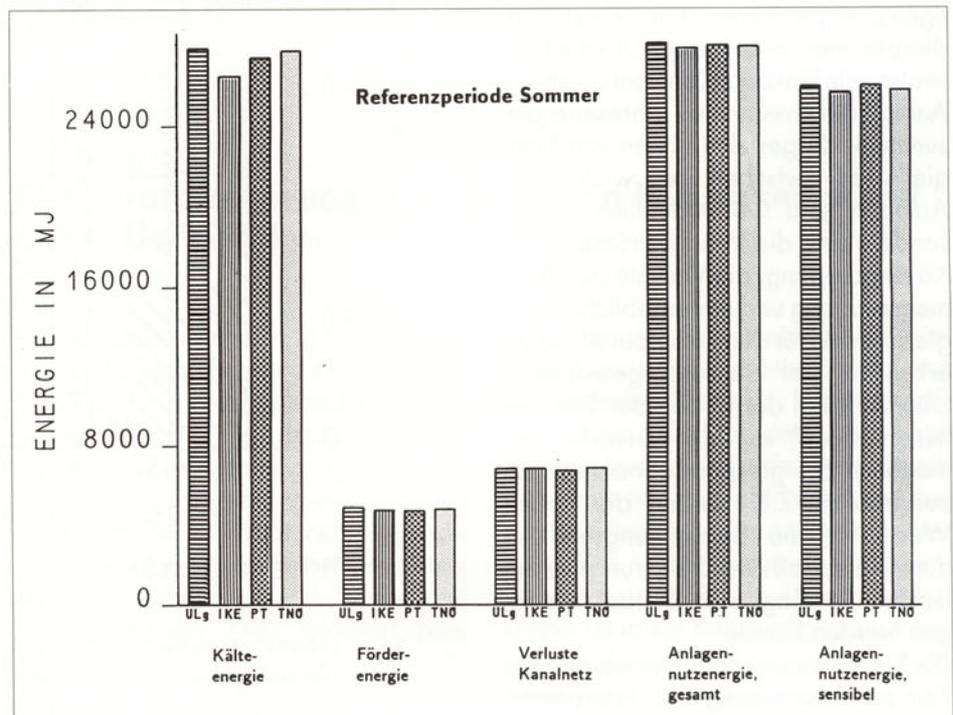


Bild 3: Vergleich der von 4 Teilnehmern des IEA Annex 10 errechneten Energiesummen für die RLT-Anlage des Collins-Buildings, ULG: Univ. Liege (B), IKE: Univ. Stuttgart (D), PT: Univ. Turin (I), TNO: TNO Delft (NL).

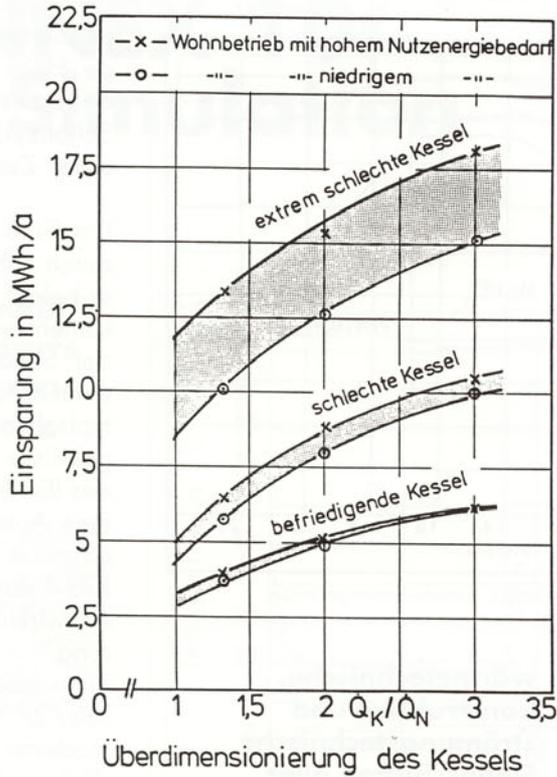
durchgeführt werden. Das heißt, es existiert ein Instrumentarium für beliebige Heiz- und RLT-Anlagenvarianten, das Betriebsverhalten (Regelverhalten, Schaltzyklen usw.) und den energetischen Zustand zu beurteilen.

Die Güte der Simulationsmodelle wird durch zahlreiche Simulationsergebnisse belegt. So liegen für ausführlich dokumentierte Beispiele Ergebnisse aus der Simulation von einer Heiz- und einer RLT-Anlage vor. Bild 3 zeigt einen typischen Vergleich der Simulationsergebnisse unterschiedlicher Teilnehmer des IEA-ANNEX 10.

Eine Auswahl aus der Vielfalt der Ergebnisse zeigen die Bilder 4 und 5. Bild 4 stammt aus einer Studie über die Auswirkungen der Kesseldimensionierung auf die Einsparung beim Einbau eines modernen Niedertemperaturkessels /2/. Weitere Variantenstudien über moderne Heizanlagen liegen von Ast /1/ vor. Bild 5 zeigt die mögliche Variationsbreite des Energiebedarfs von drei unterschiedlichen RLT-Anlagen zur Versorgung des gleichen Gebäudes.

Parallel zu den Simulationsmodellen wird eine Methodik zur Darstellung und Beurteilung des Energiebedarfs von Heiz- und Raumlufttechnischen-Anlagen

Bild 4:
Jährliche Einsparung durch Einbau eines modernen Niedertemperaturkessels in Abhängigkeit der Überdimensionierung der vorhandenen Kessel



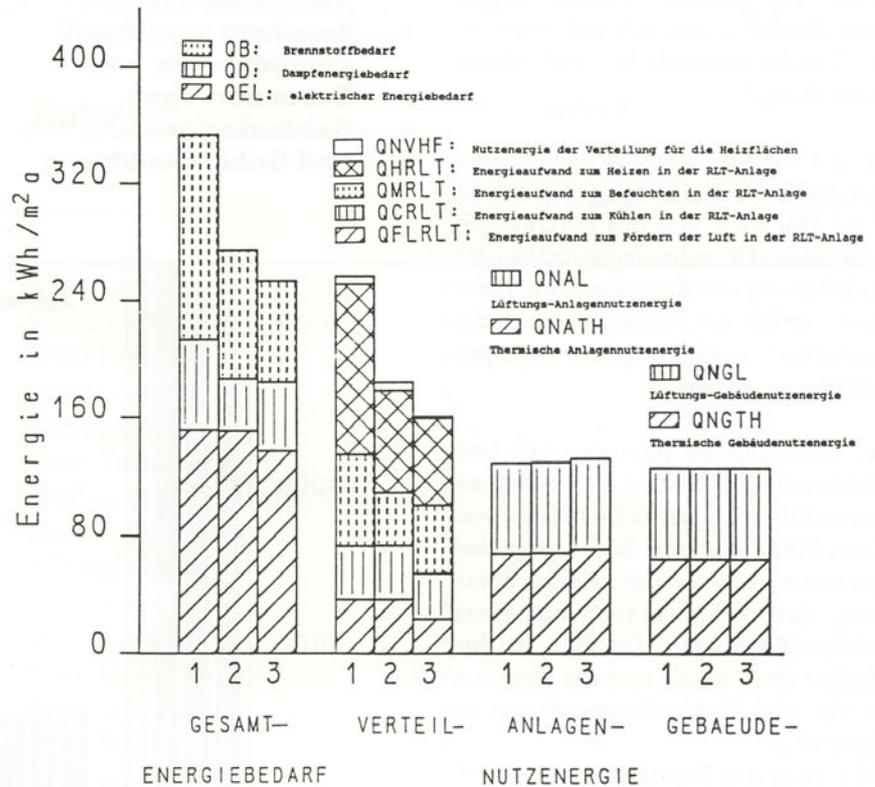
Schrifttum

- /1/ Ast, H.:
Energetische Beurteilung von Warmwasseranlagen durch rechnerische Betriebssimulation.
Universität Stuttgart, Dissertation, 1988.
- /2/ Ast, H.:
Energieeinsparung durch Kesselerneuerung.
HLH 38 (1987). Nr.9, S. 423 - 429.
- /3/ Ast, H.; Bach, H.; Stephan, W.:
Bestimmung und Bewertung des Energieverbrauchs von Heiz- und RLT-Anlagen, Deutscher Beitrag zum IEA-ANNEX 10.
BMFT-Forschungsvorhaben 03-E-8163, 1988.

entwickelt. Insbesondere die Anwendung der Nutzungsgradtheorie, wie sie bereits von Bach und Claus /4/ für Heizanlagen vorgeschlagen wurde, wird auf RLT-Anlagen ausgedehnt.

Unmittelbares Ergebnis der Computersimulation ist die Darstellung aller wichtigen Energieströme in Form eines Flußdiagrammes. Bild 6 zeigt für eine konventionelle Einkanal-Konstant-Luftstrom-Anlage die errechneten Jahresenergiesummen, dargestellt in Form von Energieflüssen zwischen den wichtigsten Anlagen- und Gebäudeteilen. Insbesondere sind die Wärmeströme in der Kälteerzeugung, die Verluste der Wärmeerzeugung und der erhebliche Energieaufwand für die Luftaufbereitung zu erkennen. Der hierdurch gewonnene Überblick bei der Größe der Energieflüsse erlaubt es, die Auswirkungen mögliche Energiesparmaßnahmen abzuschätzen. Z.B. deuten die hohen Werte für die Beleuchtungsenergie darauf hin, daß eine Sanierung der Beleuchtungsanlagen in Betracht gezogen werden könnte.

Die Simulationsrechnungen werden zur Zeit zur Bestimmung der Energieeinsparpotentiale durch Regel- und Energiemanagementstrategien fortgeführt /5/.



- 1: 1-Kanal-Konstant-Luftstrom-Anlage ohne WRG
- 2: 1-Kanal-Konstant-Luftstrom-Anlage mit WRG
- 3: 1-Kanal-Variabel-Luftstrom-Anlage mit Induktionsgeräten

Bild 5: Vergleich der Jahresenergiesummen für die wichtigsten Prozeßbereiche dreier RLT-Anlagenvarianten

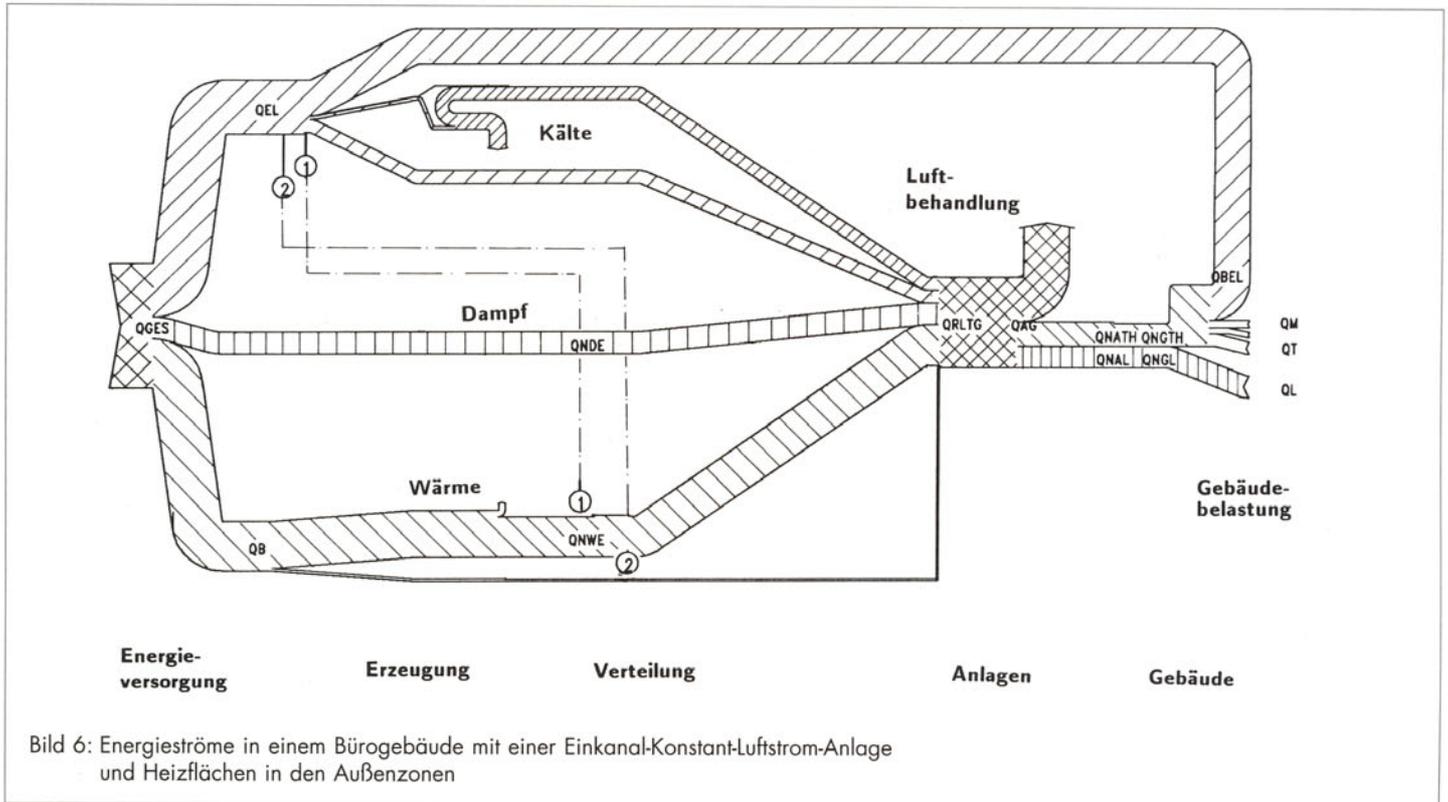


Bild 6: Energieströme in einem Bürogebäude mit einer Einkanal-Konstant-Luftstrom-Anlage und Heizflächen in den Außenzonen

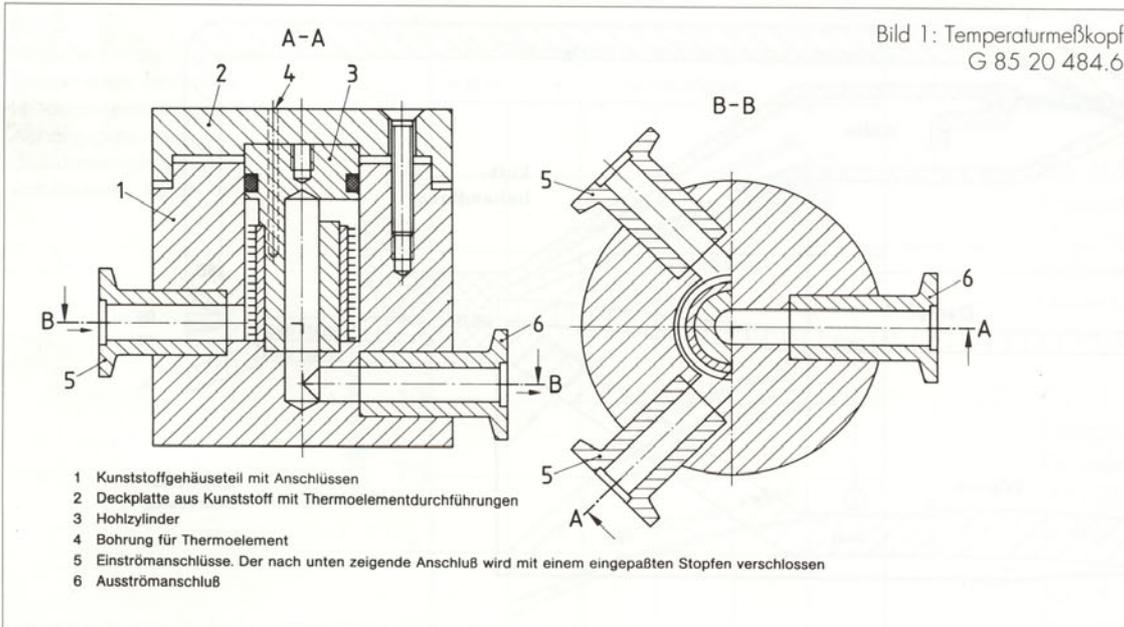
- /4/ Bach, H.; Claus, G.:
Ermittlung des Nutzungsgrades
von Heizungsanlagen.
BMFT-FB-T-81-116, 1981.
- /5/ Lebrun, J.:
BEMS IEA-ANNEX 17,
Test and Evaluation Methods.
Int. Document
Univ. of Liege, 1987
- /6/ Stephan, W.:
GERALT, Modulares Simulations
programm für Heiz- und RLT-
Anlagen und Gebäude. Hand
buch, interner Bericht IKE Abt.
HLK Universität Stuttgart, 1988.
- /7/ TRNSYS:
A Transient System Simulation
Program. Solar Energy
Laboratory, University of
Wisconsin, Madison 1983.

Auf der Hannover Messe '89 vorgestellt:

Temperaturmessung in strömenden Flüssigkeiten mit hoher Genauigkeit

Bei der Leistungsmessung an Komponenten der Heizungs- und Klimatechnik (Heizkörper, Wärmetauscher usw.) werden an die Temperaturmessung besonders hohe Anforderungen gestellt: Die Produktverbesserung ergibt in vielen Fällen Leistungsunterschiede von wenigen Watt, die mit einer gesamten Meßunsicherheit von < 1 % ermittelt werden müssen. Dies erfordert zum einen eine sorgfältig ausgeführte Meßstelle, in der trotz unvermeidlicher Temperaturstrahlen im Fluid die exakte Mitteltemperatur erfaßt werden kann und zum anderen eine Kalibriereinrichtung, mit der die gesamten Möglichkeiten zur Minimierung der Meßunsicher-

heiten bei der Temperaturmessung im Bereich zwischen Raumtemperatur und der Siedetemperatur des Wassers optimal ausgeschöpft werden. Als Sensor der Temperaturmeßstelle dient ein allseits umströmter Kupferkörper mit beippter Oberfläche, in den jeweils drei bzw. fünf Mantelthermoelemente eingelassen sind (Bild 1). Dieser Kupferkörper ist in ein Kunststoffgehäuse eingebaut, das zur Reduzierung der Wärmeverluste der Meßstelle zusätzlich mit einer Wärmedämmung aus Schaumstoff umgeben wird. Durch Verwendung von in der Vakuumtechnik üblichen Flanschverbindungen ist der Meßkopf vielseitig einsetzbar.



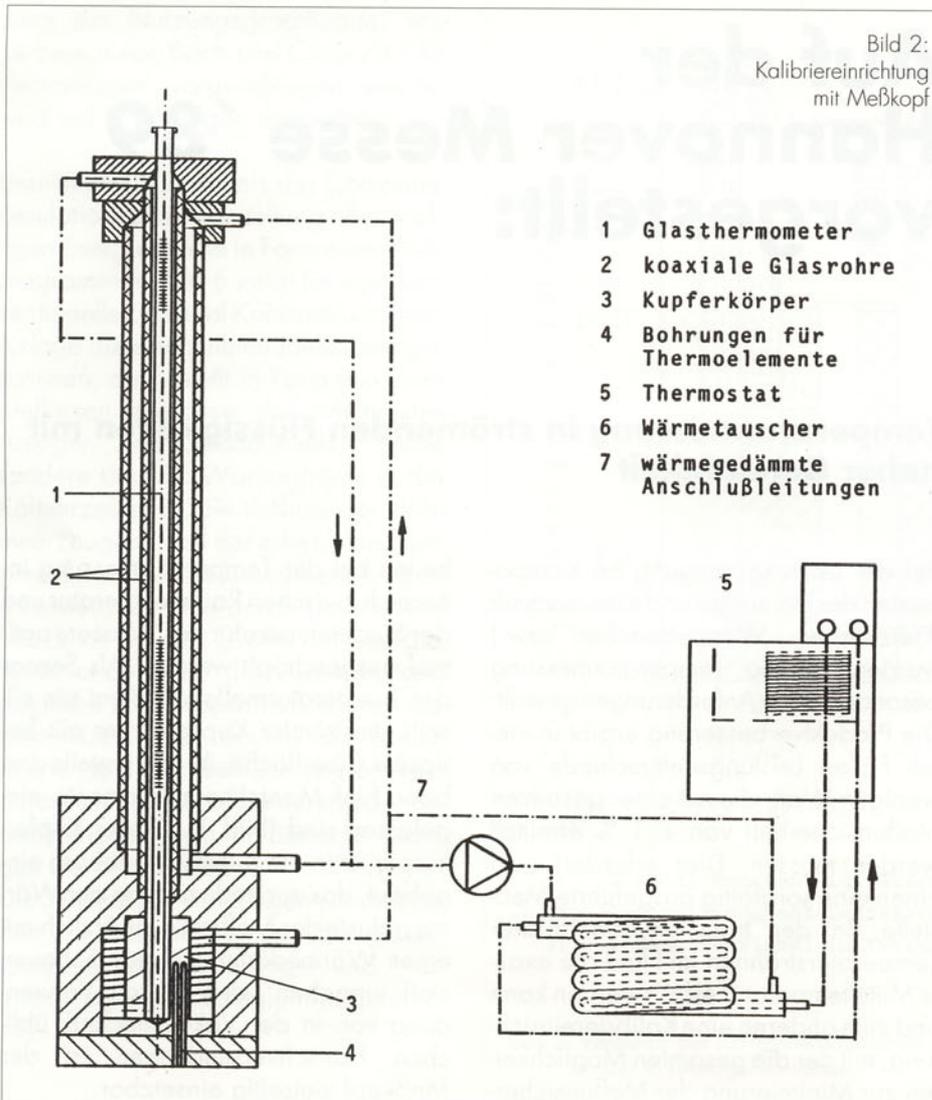
ometers befindet. Zum Einsatz kommen geeichte Quecksilberthermometer mit Hundertstel-Grad-Teilung, bei denen jeweils ein Thermometer mit 430 mm Skalenlänge einen Bereich von 10 Kelvin auflöst. Zur Verbesserung der Skalenkorrektur des Thermometers wird dieses vollständig von dem aus der Temperaturmeßstelle austretenden Wasser umströmt. Die Temperatur des Wassers selbst wird durch eine hochwärmedämmte Thermostateinrichtung stabilisiert,

Die Thermoelementschaltungen aus sorgfältig ausgewählten Mantelthermoelementen einer Produktionscharge werden mit Hilfe einer ähnlich aufgebauten Kalibriervorrichtung mit den selben Meßgeräten (hoch auflösende

DVM) kalibriert, an die sie später im Prüfstand angeschlossen werden. Die Thermoelemente tauchen ebenfalls in einen allseits umströmten Kupferkörper ein, in dessen Kern sich das Quecksilbergefäß eines hochwertigen Glaster-

durch die die Temperaturschwankungen weit unter einem Hundertstel Grad gehalten werden können.

Langjährige Erfahrungen mit dem Einsatz von Mantelthermoelementen in dem angegebenen Temperaturbereich bestätigen, daß in einem Zeitraum von mehr als 5 Jahren keine merkliche Alterung eintritt.



Autoren: Dipl. Ing. Rolf Diemer
Dipl. Ing. Wolfram Stephan
Prof. Dr. Ing. Heinz Bach
Dipl. Ing. Walter Dittes
IKE/HLK
Dipl. Ing. Gunther Claus
FGHLK
Dr. Ing. Franz Grammling,
RM Rotex GmbH, Güglingen

Herausgeber:
Verein der Förderer der
Forschung im Bereich
Heizung Lüftung Klima-
technik Stuttgart e.V.
Pfaffenwaldring 6a
7000 Stuttgart 80

Redaktion: G. Claus

Grafik u. Layout: S. Crane u.
R. Wernecke

Die Verantwortung für den Inhalt
der Beiträge liegt bei den Autoren.

Veröffentlichung, auch auszugs-
weise, nur mit Genehmigung des
Herausgebers.