

Wir haben es geschafft !

59

“Die gar grausliche Geschichte von Jenen, welche auszogen, einen Lehrstuhl zu stiften.”

Am 17. Oktober 1996 soll nunmehr der offizielle Taufakt des neuen Lehrstuhls für Heiz- und Raumlufttechnik an der Universität Stuttgart stattfinden. Viele werden mit Stolz und Freude dieses Ereignis begrüßen. Die eigentlichen Eltern werden sich allerdings bei ihrer Erinnerung an den embryonalen Werdegang einer gewissen Beklommenheit nicht entledigen können.

Wie immer war der Zeugungsakt von Lust und Freude und hochgespannten Erwartungen begleitet. Im Juni 1992 entschloß sich der Vorstand des Industrieverbands Heizungs-, Klima- und Sanitärtechnik Baden-Württemberg e.V. zusammen mit dem Vorstand des Vereins der Förderer zu einer entsprechenden Initiative gegenüber den staatlichen Instanzen in der optimistischen Erwartung, die Einrichtung eines derartigen Lehrstuhls werde auch am Industriestandort Stuttgart staatlicherseits nicht auf taube Ohren stoßen.

Dies war auch nicht der Fall, allerdings ließ es schon damals, wie amtlicherseits berichtet wurde, die gegenwärtige Finanzlage Baden-Württembergs nicht zu, den Aufbau eines solchen Instituts in Angriff zu nehmen. Ein Schritt in diese Richtung könne daher nur unternommen werden, wenn sich Stifter finden würden, die bereit wären, einen Stiftungslehrstuhl zu finanzieren.

In der Folgezeit setzten heftige Bemühungen allerorten ein, Stifter zu finden und solche, die es werden wollten. Der Zulauf war nicht gerade besorgniserregend. Gleichwohl verblieb man voller Optimismus bei dem einmal gefaßten Plan und teilte nunmehr auch offiziell mit, daß man bereit sei, die Stiftung einer C 4-Professur für das Fach Heiz- und Raumlufttechnik zu übernehmen.

Dieses Angebot entschloß sich der Senat der Universität Stuttgart im Februar 1994 anzunehmen.

Auch das Land Baden-Württemberg beeilte sich nunmehr, einen entsprechende Kabinettsbeschuß vorzubereiten, der dann auch umgesetzt wurde mit der Folge der Einstellung eines entsprechenden Postens in den Landeshaushaltsplan.

Zuvor waren allerdings noch heftige administrative Schwierigkeiten innerhalb der Gremien der Universität zu überwinden, die in mehrstündigen Diskussionen über Sinn und Zweck einer solchen Einrichtung sinngemäß in die Frage eines Mitglieds des Lehrkörpers mündeten, daß man sich gar nicht vorstellen könne, was es “bei Kachelofenbauern zu forschen gäbe?”

Auch die möglicherweise bereits nun bevorstehende Berufung wurde dann aus welchen Motiven auch immer, den üblichen Vorschriften im Wege eines offiziellen Berufungsverfahrens unterworfen, das heißt man berief Aspiranten zu Vorträgen, von denen jeder wußte, daß sie vermutlich nicht zum Erfolg führen würden.

Vertraulich sickerte hierzu durch, daß man auf jeden Fall an dem vorgesehenen Berufungsverfahren festhalten müsse, da eine “Hausberufung” nicht in Betracht kommen könne. Nachdem auch dieses Verfahren mit der entsprechenden Zeitverzögerung, insbesondere deshalb, weil man erst Anzeigen sammeln mußte, damit das Inserat in der entsprechenden Zeitschrift billiger komme, in Gang gekommen war, begab sich ein bevollmächtigter Vertreter der Spender, blauäugig und immer noch unverzagt in die heiligen Verwaltungshallen der Universität mit dem kühnen Vorsatz, nunmehr einen Vertrag zwischen den Stiftern und der Universität über Art und Umfang der zur Verfügung zu stellenden Gelder, immerhin auf die Dauer von 10 Jahren, und ihre Verwendung abzuschließen.

Dies stieß auf völliges Unverständnis. Man sei überrascht, daß die Stifter nicht schlicht das Geld überwiesen, damit die Universität nach eigenem Gutdünken darüber verfügen könne. Nach einigem Hin und Her und dem Hinweis, daß Finanztransaktionen in derartiger Größenordnung in der Wirtschaft üblicherweise schriftlich abgesichert würden, erklärte man sich schließlich bereit, den Willen der Stifter wenigstens bedingt zu akzeptieren. Die Universität überraschte das Stiftergremium dann allerdings mit der Forderung, über den Gesamtbetrag eine Bankbürgschaft für die Dauer von 10 Jahren zur Verfügung zu stellen. Vermutlich überwog hier die Erinnerung an die 7 Schwaben und man wollte doch nun sicher gehen, daß die Stifter das Geld auch tatsächlich in der Tasche hätten.

Nach dem die Stifter dieses Ansinnen unter Hinweis auf die üblichen Avalprovisionen in der freien Wirtschaft und die damit neuerlich entstehenden Kosten mühsam zurückweisen konnten, schien es Anfang 1996, als ob die Sache nunmehr geritzt sei, weil die Tatsache, daß das Geld offenbar bei einer Bank lag, auch den universitären Kassenverwaltern nicht mehr länger verborgen geblieben sein konnte. Nunmehr rüstete sich das tapfere Häuflein der Stifter und bereitete sich in freudiger Festeserwartung auf den großen Tag der Geburt und Tauffeier vor. Doch weit gefehlt. Der zuständige Landesvater ließ mit der Ernennungsurkunde

auf sich warten. Er war auch nicht bereit, irgendwelche Auskünfte zu erteilen. Die Stiftergemeinde hielt dies für einen seiner berühmten Überraschungseffekte und vermutete wohlwollend, dadurch solle die Festesvorfreude noch gesteigert werden.

Doch weit gefehlt. Es passierte überhaupt nichts. Nach langem Hin und Her entschloß sich nun mit bangem Herzen die Stiftergemeinde dem Landesvater einen Brief zu schreiben und ihm ihren Kummer zu schildern. Der Eingang des Briefes ist bis heute nicht bestätigt; eine Antwort liegt nicht vor.

Nur durch die dunklen Kanäle regierungsamtlicher Halbdurchlässigkeit konnte mühsam in Erfahrung gebracht werden, daß der so sparsame Hausmeier noch einen Vorbehalt angemeldet hatte. Dieser wies nämlich listig darauf hin, daß für den Fall, der neu ernannte Hochgeehrte werde vor Vorfreude an einem Blutsturz oder ähnlichen schrecklichen Krankheiten dienstunfähig werden, dies zur Folge haben müßte, daß er in den darauffolgenden 10 Jahren, so er überlebe, eine um mehrere 100 DM höhere Pension zu beanspruchen habe. Dabei sei es doch nicht mehr als recht und billig, wenn die Stifter diese Mehrkosten für den Fall aller Fälle doch, bitte schön im Vorwege, bereits auf das ministerielle Konto vorab überweisen sollten, damit man dann in jeder Hinsicht sicher gehen könne.

Auch dies wurde von den nunmehr widerborstigen Spendern unverständlicherweise abgelehnt. Unter anderem mit dem Hinweis darauf, daß die Vorauszahlung nach 10 Jahren, bei weiterhin blühender Gesundheit des zu Ehrenenden sich verdoppelt haben werde und sicherlich nicht, nach der hier üblichen Finanzwirtschaftsmethode an die Spender zurückfließe.

Nun war guter Rat Abenteurer.

Erst durch die persönliche Zusage einer hochgestellten Beamtin universitären Ursprungs konnte dann der gordische Knoten offenbar durchtrennt werden.

So feiern wir denn die Einrichtung des Stiftungslehrstuhls freudig erregt und beglückt. Alle sind sicher, daß dieses Beispiel Schule machen wird und zahllose neue Stiftungslehrstühle auf das Land Baden-Württemberg und deren Universitäten herabregnen werden. Oder?

Die ganze Geschichte beruht natürlich auf reiner Erfindung und folgt dem Marketing-Grundsatz, daß nur Negatives besondere Aufmerksamkeit erregt.

P.-H. Unruh

60

INHALT

New Concepts in Ventilation _____ 2

Vorverdampfender, vormischender Flächenbrenner für Heizöl EL _____ 7

Simulation von Strömungsvorgängen an Stofffassungseinrichtungen _____ 11

Verbundforschung zur Raumlufttechnik in Laboratorien _____ 12

Jahresenergiebedarf, Jahreskosten und Wirtschaftlichkeit - Neufassung der VDI 2067 _____ 13

Studien und Diplomarbeiten 1995/96 _____ 14

MEDUSA - Minimierung des Energiebedarfs von Gebäuden durch Simulation von Heizanlagen _____ 15

INTESOL - Integrale Planung von solaroptimierten Gebäuden _____ 16

Dissertationen und Forschungsberichte 1995/96 _____ 16

SENSOR - Modell- und regelbasierte Betriebsüberwachung _____ 17

PERSONALIA _____ 17

MOSES - Modellhafte Sanierung einer Schule _____ 18

Gastdozentenhaus der Universität Stuttgart _____ 19

Katalog über Maßnahmen zur Luftreinhaltung am Arbeitsplatz _____ 20

Impressum _____ 20

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

New Concepts in Ventilation*

Heinz Bach, Walter Dittes

1 Introduction

In the course of making efforts to save energy and to improve comfort two ideas have been placed in the foreground as the promising ones in Europe during the last 20 years. Both are very interesting solutions for problems in rooms which have to be ventilated and cooled because of heat and contaminant loads. Climatic conditions may contribute to these loads as well. Therefore I will exclusively talk about this and intentionally exclude heating. The two ideas are:

- Directed ventilation of work areas
- Cooling Ceilings

The flow according to the technique mentioned first super-sedes the mixed flow throughout the room (fig. 1). It opens possibilities to improve the air quality close to levels only known from displacement flow – and with a fraction of air needed in comparison with conventional ventilation.

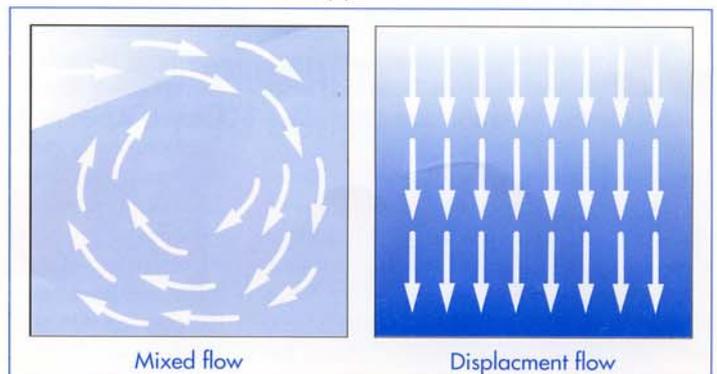
The second technique utilizes for the first time cooling panels – and not only cooled air – to condition rooms. A first advantage of this new technique is well known from induction units: Transportation of the cooling energy by water. A second advantage – and this is basically new – is that the main part of the heat removal is done by radiation. This means there are lower air velocities not only because of the lower air supply flow.

The mentioned advantages of both techniques are already known from literature. Certainly they will be object of different presentations in this conference. New techniques have always arisen in the past without changing the conception of ventilation basically. In general only the collection of components was extended. So what is the reason for speaking about new concepts in this case?

With both techniques the demands of the users of the room are **directly** achieved, and the room is not ventilated and cooled as a whole. „Directly“ means that the considered techniques eliminate comfort deficits around people. These deficits occur only locally and are caused by the operation of the room and by the room itself.

In distinction to that the needed air flow for the traditional ventilation methods and the cooling output for a given room situation is calculated with standard rules. In principle these air flows and cooling outputs can be delivered in any way in a first step. The rules guarantee, that operative temperatures, concentrations and velocities of the air are kept within certain limits. By this the effect on the room as a whole is ensured, local effects only count as additional arguments. The consequence is that many different ventilation systems seem to be equivalent. But if you look at their effects locally in a room, big discrepancies in comfort and energy demand will appear.

Fig. 1: Air flow principles



*Presentation „International Ondol Conference ‘96“ Seoul, Korea

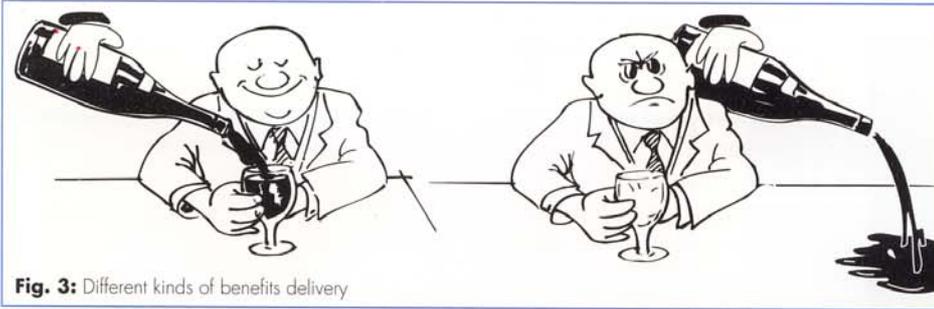


Fig. 3: Different kinds of benefits delivery

2 A New Task: Benefits Delivery

In the new approach the local effects are put into the center of interest and the effects on the room as a whole are only checked. By this differences between the technical systems can be shown more detailed and if needed, higher expenses for equipment – e.g. for higher comfort – can be justified in a better way.

The difference between the new approach and the common one will be shown in an example (fig. 3)

In the new approach the goods ordered by the user of the room will be delivered to him personally and a receipt will be given for them. In the old one the goods are just put down somewhere in the room and the formal reception is not waited for. In this way some of the goods will be lost, because they are not found at all or are gone bad in the meantime since they were found too late.

In the following I want to show that an improved service in the process of benefits delivery (Nutzenübergabe) - as we call this part of the whole HVAC System - will promise remarkable reductions of the energy expenditure together with better quality of air and comfort.

3 Cooling Ceilings

In comparison with directed ventilation cooling ceilings are especially suitable for rooms with low contaminant loads - in particular offices. Ceiling cooling panels are used mostly. Wall cooling panels can be considered as well. Special radiators are used for cooling and dehumidifying the air. Another possibility is to operate floor heating systems in such a way that the floor temperature doesn't exceed e.g. 20°C despite of high solar energy gains. The directed benefits delivery with cooling panels is caused first by the radiative cooling effect into the working area and - should the occasion arise - also by compensating the radiation of warm surrounding surfaces. Convective cooling effects can only be utilized for the work

area at vertical surfaces and therefore not at the ceiling. Because of that the convection ceilings shown in fig. 2 on the right have no advantage compared with radiation ceilings regarding a directed influence. Nevertheless the convection ceilings allow a better cooling of the room as a whole.

Disregarding floor cooling systems at which the cooling water temperature has to exceed the dew point temperature by several Kelvin because of comfort, it is recommended to supply the room additionally with conditioned air at cooling panels which are either located at vertical walls or at the ceiling. At cooling ceilings this is absolutely necessary.

Mixing Air Flow

With Different Air Supply Devices (ASD)

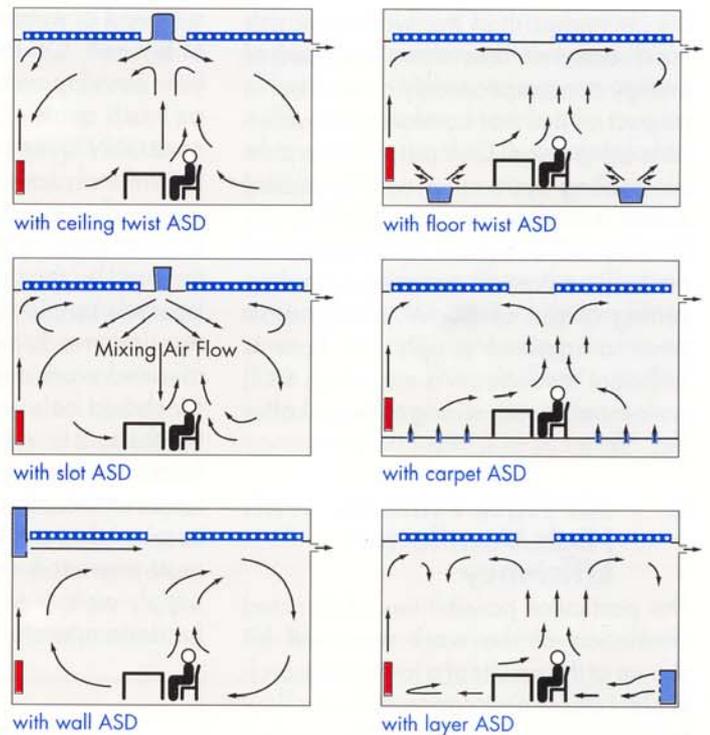


Fig. 4: Cooling ceiling systems and air flow pattern concepts

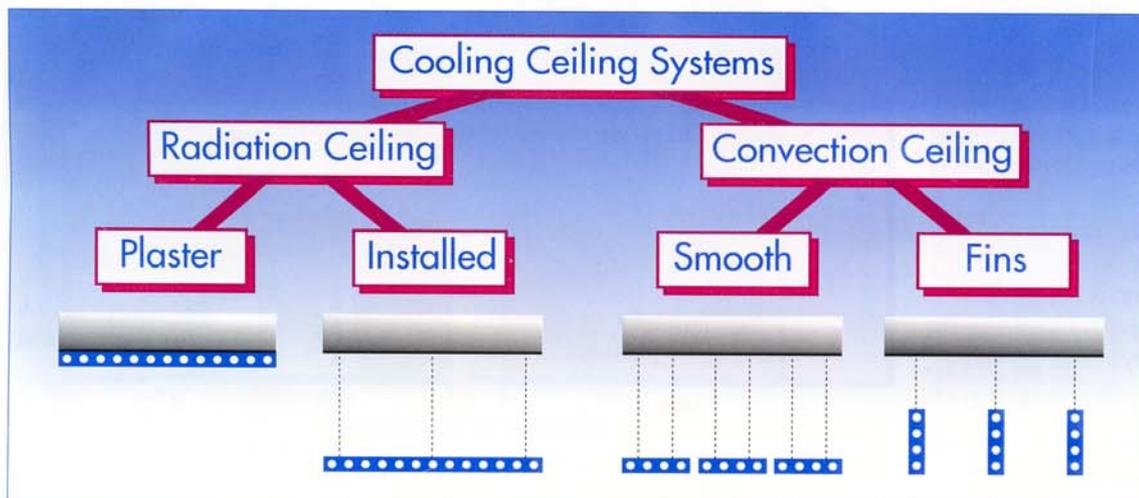
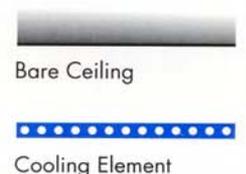


Fig. 2: Classification of types of cooling ceiling systems



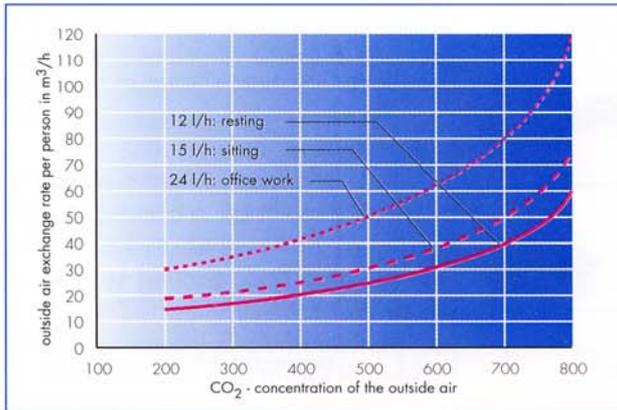


Fig. 5: Outside air exchange rate to maintain CO₂-concentration of 1000 ppm

Essentially there are two different concepts for the air flow (fig. 4): The mixing air flow (left) and the directed air flow (right). Depending on the air supply devices (ASD) used the shown air flow patterns occur. Because of the fact that the height of offices is usually barely higher than the working areas the directed air flow offers in respect of energy consumption only a small but in respect of thermal comfort a considerable advantage. Compared to the pure air cooling systems in ceiling cooled rooms it is possible to reduce the air flow by 30 m³/(hm²) independent of the air flow pattern assuming a cooling ceiling output of 80 W/m². At most times a minimal supply air flow is sufficient to maintain a maximum CO₂ concentration according to Pettenkoffer (fig. 5).

4 Air Flow Patterns with High Ventilation Efficiency

The particular possibilities of directed ventilation of the work area will be shown at the results of a joined research project about new concepts for air flow patterns in industrial halls. This project was performed together with industry partners in Germany (1). The calculation of ventilation efficiency will be mentioned as well. The work was done by Walter Dittes.

Conventional air flow patterns introduce the supply air near the ceiling of the hall. A mixed flow is produced throughout the hall due to the high impulse of the supply air jet. Contaminant concentrations and air temperatures are practically the same

throughout the hall. Load removal is achieved by dilution.

The new load reducing air flow patterns make use of the existing thermal plumes present at most production equipment to remove heat and contaminants from the work area. Fig. 6 shows the principle of this. On the left, as a negative example, the thermal flow at a machine is shown in a hall without air exchange. Due to the induction of ambient air, the thermal flow here causes the heated and contaminated air, which at first flows upwards and away from the work area, to recirculate. Similar conditions prevail in a mixed flow situation when the air is supplied or exhausted near the ceiling of the hall. On the right hand side the flow development is shown when only as much outside air is supplied as it is necessary to replace the air induced by the thermal plume in the work area. This means that the thermal plume can be used to remove contaminants. Contaminated air then recirculates only in the unused upper part of the hall. A further requirement for an almost uncontaminated work area is that the outside air should be supplied carefully so that the thermal flow is not disturbed. Apart from a low air velocity at the outlets, this requires the use of specially designed terminal devices. The air terminal device must prevent a downward flow of the supply air due to its undertemperature (undertemperature is defined as the

temperature difference between room air temperature in the work area and the lower supply air temperature).

Careful air supply can be achieved using a zonal mixed flow or by a stratified flow. A zonal mixed flow is created using jet air terminal devices in the floor. A stratified flow is created using cylindrical or plane air terminal devices which are located either directly above or at best in the work area. Due to the various possibilities in placing and the different designs of the air terminal devices, differing load situations in work areas are caused. These differences will be discussed in the following part.

5 Rating of Air Flow Patterns, Experimental Results

The quality of air flow concepts is rated internationally by using the ventilation efficiency. This value is determined by using the contaminant concentrations or the air temperatures in the work area, in the exhaust air and in the supply air (see /2/ and /3/). In German speaking countries the so called "Belastungsgrad" or load factor is used as a rating value (see /4/ and /5/). It is defined as the inverse value of the ventilation efficiency. For factories the concept shown above which utilizes concentrations and air temperatures is not suitable since, apart from the exhaust air flow from the production hall itself, many other exhaust air flows from the collection systems have to be taken into account. Therefore the load factor for factory halls has to be defined as the

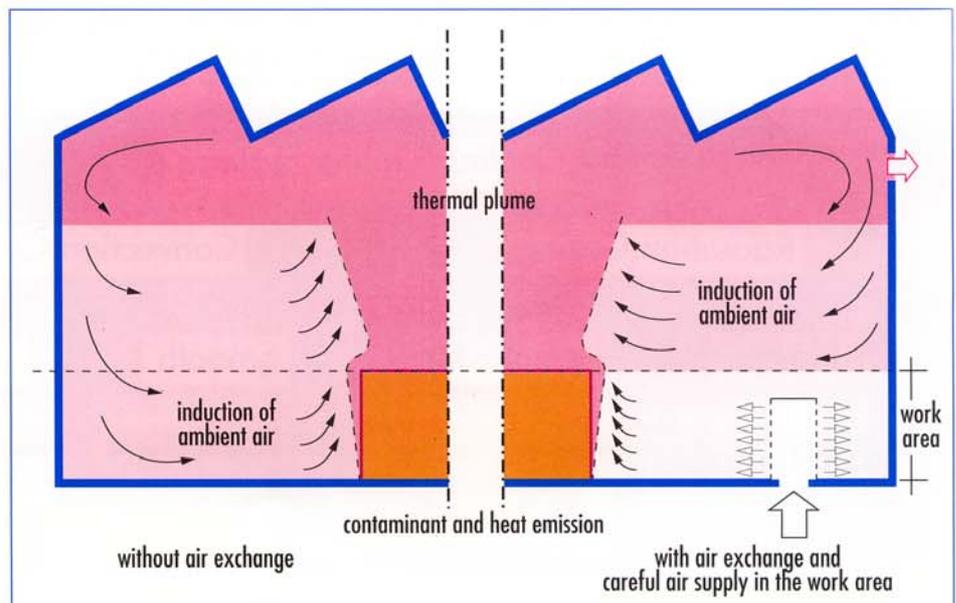


Fig. 6: Principle of new air flow patterns: Use of thermal plume to extract the heat and contaminant load out of work areas

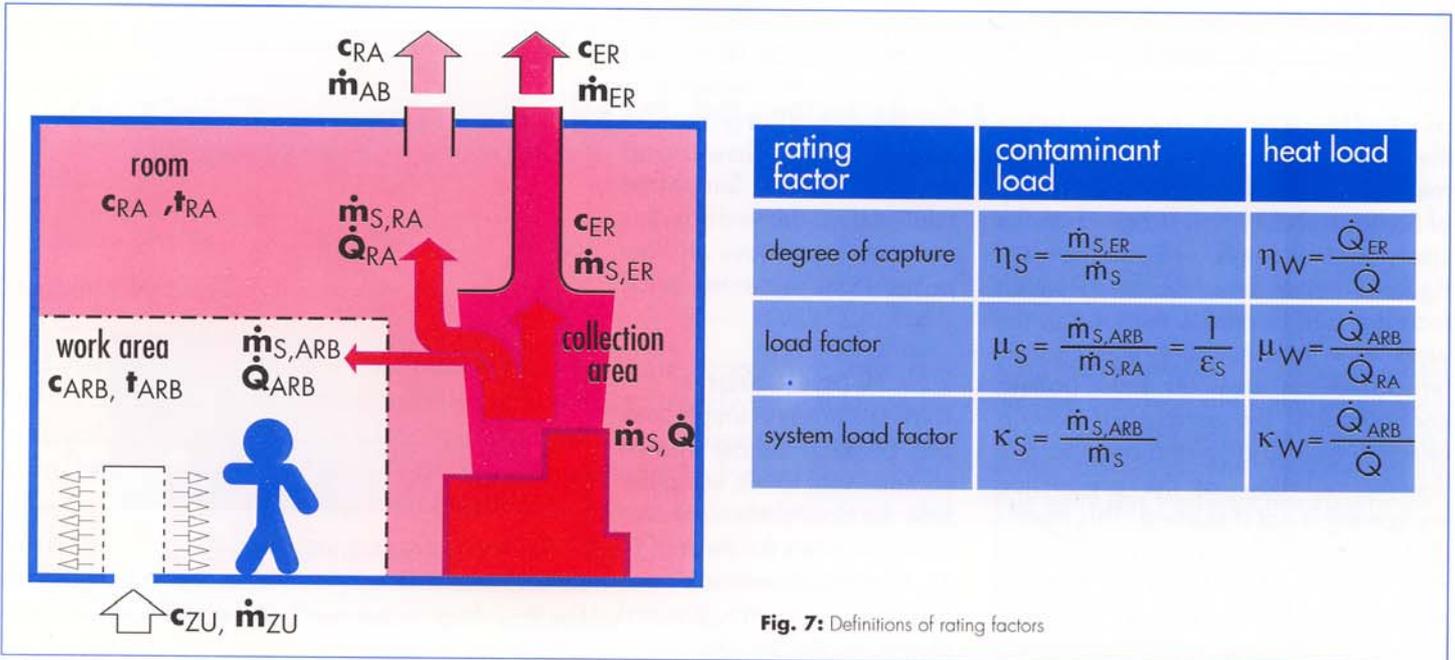


Fig. 7: Definitions of rating factors

ratio between the part of the load which is effective in the work area and the overall load emitted in the hall. Figure 7 gives the definitions, equations and two additional rating values, the so called degree of capture and the system load factor.

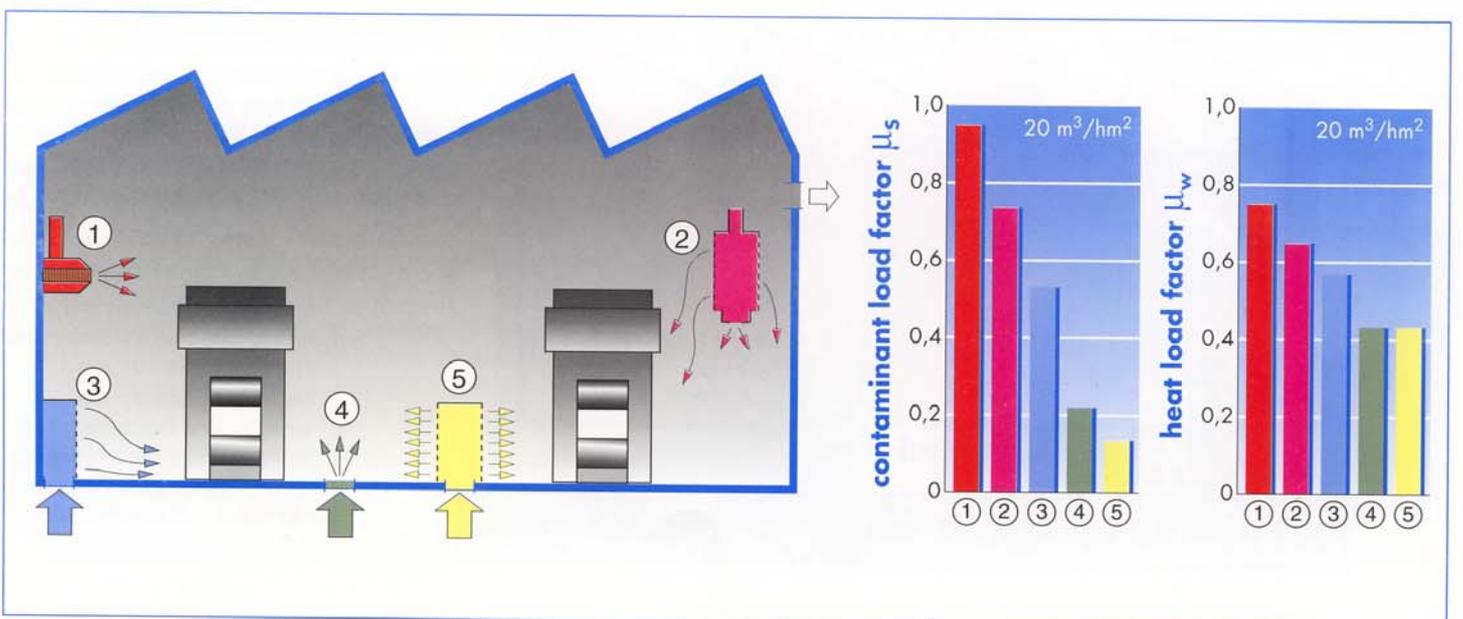
The air flow pattern concepts developed in the research project were tested in the laboratory at Kessler + Luch for pressing machines. For this application the flow conditions at a pressing mill were simulated at the scale of 1: 5. Figure 8 shows an intersection of the test set, the location of the presses and five modifications of the location and the type of air terminal device. In the lower part of figure 8 the contaminant and the heat load factors are given for these five modifications of the air flow

patterns. The results show a considerable bandwidth of the heat and contaminant load in the work area. The contaminant load factors can be reduced from 95% to only 12% by a modification of the air flow pattern. The bandwidth of the heat load factors is smaller. The values are between 73% and 45%. This is because of the fact that the largest portion of the heat load at the presses is emitted above the work area. In the work area not only convection occurs but also radiation. The lowest load factors are obtained for a stratified flow using the newly developed cylindrical air terminal devices. Though having a low-momentum air supply and undertemperature they avoid a downward flow in the supply air as known from the so-called

displacement flow. In the case that the surface temperatures at the production process are higher – e.g. in casting mills – even lower load factors can be obtained if a stratified flow is employed (see fig. 8).

Figure 9 shows the load factors versus the height. This kind of plot makes it easier to understand how the reduction of the loads is obtained in the lower area of the hall depending on the air flow patterns. The air flow supplied here is enough to produce a less contaminated layer 5 m in height.

Fig. 8: Experimental set and results for a pressing mill



6 Calculation Methods, Zonal Models

For the analysis of measurements and as a tool for planning – e.g. calculating the loads expected – a calculation method was developed at the University of Stuttgart, IKE-HLK. It is based on the analysis of the single air flows shown in figure 10 and takes the flows which increase and decrease the load in the work area into account. It is characteristic to the new air flow pattern concepts that the supply air flow is effective only in a limited area so that the thermal flow at the production equipment is not disturbed. This means that - for stratified flow and zonal mixed flow - almost all air flows are effective only in limited areas (zones). Therefore the single air flows can be analysed separately. For each of the hall areas explicit equations for air flow, heat and contaminant flows can be derived separately. By combining the zonal balance equations - they are also called zonal models - the load situation in the work area can be calculated explicitly. In all cases the load is determined by the contaminated and heated air flow which recirculates from the upper hall area into the work area and by air flows which disturb the thermal flows and so dilute the loaded air in the work area. This is shown in figure 10.

An equation to calculate the system load factor is also given in figure 10. This equation is valid for all air flow patterns in zonal mixed flows and stratified flows. Simplified relationships derived from this equation for various air flow patterns are presented in full detail in /1/.

7 Conclusions

The work areas of employees can be kept almost free of contaminant loads using the new air flow patterns if two conditions are fulfilled:

1. The contaminants are delivered into the thermal plume at the production equipment.
2. The supply air rate is sufficiently high to replace the ambient air flow induced by the thermal plume. These new air flow pattern concepts can be applied in all production processes where there is a combined heat and contaminant flow. The minimum load situation is achieved using stratified flow when air is supplied into the work area without disturbing the thermal plume. Special supply air terminal devices are necessary to meet the requirements. Air terminal devices for stratified flow differ considerably from air terminal devices for displacement flow.

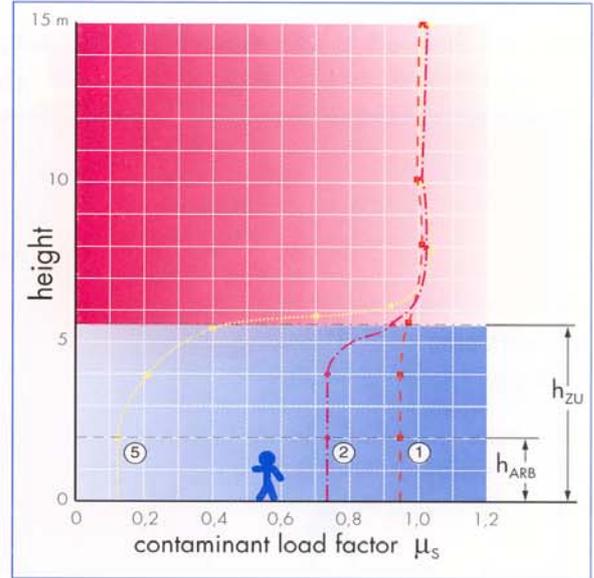
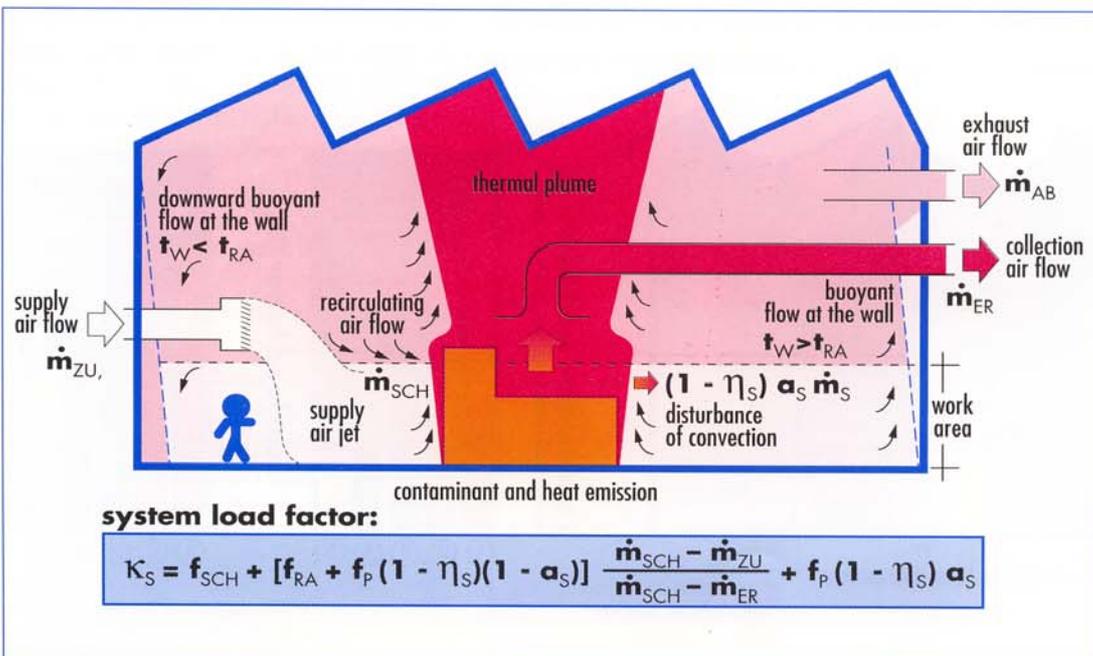


Fig. 9: Contaminant load factor versus the height in a pressing mill

References

- /1/ Bach, H. et al: Zonal Ventilation of Work Areas in Production Halls to Reduce the Contaminant Load. Research Report HLK-1-1992. Editor: Verein der Förderer der Forschung im Bereich Heizung Lüftung Klimatechnik e.V., 2. Edition, Stuttgart, September 1993. (In German: Gezielte Belüftung der Arbeitsbereiche in Produktionshallen zum Abbau der Schadstoffbelastung.)
- /2/ Malmström, T.G.; Ahlgren, A.: Efficient Ventilation in Office Rooms. Environment Int., Vol. 8 (1982), pp 401-408.
- /3/ Skåret, E.; Mathiesen, H.M.: Ventilation Efficiency - A Guide to Efficient Ventilation, ASHRAE Trans. (1983).

Fig. 10: Air flows in factories which increase or decrease the heat and contaminant load in the work area; equation for the system load factor



- /4/ Detzer, R.: How to Judge Air Flow Patterns in Relation to Energy Consumption. (In German: Energetische Bewertung verschiedener Möglichkeiten der Luftführung im Raum.) Kälte-Klima-Ingenieur (1977), No. 7, pp 135-138.
- /5/ Esdorn, H.: A Unified Presentation of Load Factors for the Design of Ventilation Systems. (In German: Zur einheitlichen Darstellung von Lastgrößen für die Auslegung raumluftechnischer Anlagen.) HLH, Vol. 30 (1979), No. 10, pp 385-387.

Vorverdampfender, vormischender Flächenbrenner für Heizöl EL

61

Stephan Herrmann

Flüssige Brennstoffe so aufzubereiten, daß sie homogen mit der Verbrennungsluft gemischt werden können ist die Grundvoraussetzung für eine vollständige und schadstoffarme Verbrennung. In klassischen Ölbrennern hat man sich bei der Gemischaufbereitung auf den Kompromis beschränkt, den Brennstoff in feine Tröpfchen aufzuteilen, mit der Verbrennungsluft zu mischen und innerhalb der Flamme zu verdampfen. Es gilt bisher als schwierig, einen entscheidenden Schritt weiterzugehen und einen flüssigen Brennstoff auf rationelle Weise bereits vor der eigentlichen Verbrennungsreaktion zur Verbesserung der Durchmischung in einen feinen Nebel oder gar Dampf zu verwandeln. Dies ist aber der ideale Aggregatzustand für die problemlose homogene Vermischung von Brennstoff und Verbrennungsluft und demzufolge eine notwendige Zielsetzung bei den Bemühungen eine vollständige und schadstoffarme Verbrennung zu erzielen.

Bei modernen Brennern wird versucht das Brennstoffspray vor der eigentlichen Verbrennungsreaktion durch Zumischung heißer Abgase wenigstens teilweise zu verdampfen. Brenner dieser Bauart, die als Blaubrenner bezeichnet werden, machen deutlich, daß bereits durch eine teilweise Entkopplung des Ölverdampfungsvorgangs von der eigentlichen Verbrennungsreaktion deutliche Emissionsminderungen möglich sind.

Auf der Basis dieser Überlegungen wurde ein Ölbrenner entwickelt bei dem der Brennstoff zunächst unter hohem Druck erwärmt und anschließend durch Druckabsenkung verdampft wird. Je nach Temperatur zugeführten Verbrennungsluft bildet sich aus den höhersiedenden Molekülen durch Kondensation ein sehr feiner und stabiler Nebel. Der restliche Brennstoffanteil bleibt als Gas erhalten. Prinzipiell sind für die Verbrennung des Gemischs alle aus der Gasvormischbrennertechnik bekannten Verfahren geeignet.

Ausgangssituation

Kleine Geräteabmessungen, geringe Schadstoffemissionen sowie niedrige Anschaffungskosten haben in den letzten Jahren zu einem erheblichen Anstieg des Marktanteils gasbefeuert Heizsysteme beigetragen. Betrachtet man die Ölfeuerung als konkurrierendes System, so ist unschwer erkennbar, daß durch die Fokussierung der Entwicklungsaktivitäten auf die Schadstoffreduzierung, andere Produktanforderungen vernachlässigt wurden. Beispielsweise ist der Betrieb einer Ölfeuerung im Wohnbereich bzw. wohnungsnahen Bereich auf Grund der Abmessungen heutiger Brenner-/Kessel-Units sowie den hohen Verbrennungs- und Gebläsegeräuschen nicht möglich. Die Argumente niedrige Brennstoffversorgung und marktwirt-

schaffliche Brennstoffpreisbildung, die für den Einsatz einer Ölfeuerung sprechen, verlieren vor dem Hintergrund eines abnehmenden Wärmebedarfs aus Sicht der Verbraucher zunehmend an Bedeutung. Nur eine technologische Neuausrichtung ölbefueter Heizsysteme kann diesen Trend stoppen und damit die Attraktivität des Brennstoffes Heizöl EL in Zukunft sichern. Der im folgenden vorgestellte vorverdampfende und vormischende Ölbrenner (Free-Mix Technology) stellt lediglich eine vorläufige Verbindung der Teilsysteme Luftaufbereitung, Ölaufbereitung, Gemischaufbereitung und Reaktionszone zu Testzwecken dar. Es ist offensichtlich, daß die vorverdampfende, vormischende Verbrennungstechnik völlig neue konstruktive Gestaltungsmöglichkeiten für ölbefeuerte Heizsysteme eröffnet. Die Machbarkeit kompakter und damit auch kostengünstiger Wärmebereitstellungssysteme, wie sie für gasförmige Brennstoffe schon lange auf dem Markt sind, wird durch diese neuartige Verbrennungstechnik deutlich.

Klassische Ölbrenner

Die Vorgänge Brennstoffzerstäubung, Mischung des Ölsprays mit der zugeführten Verbrennungsluft, Tropfenverdampfung, -vergasung und Verbrennung laufen in klassischen Ölbrennern ungeordnet nebeneinander ab [1]. Die einzelnen Öltröpfchen sind von einer

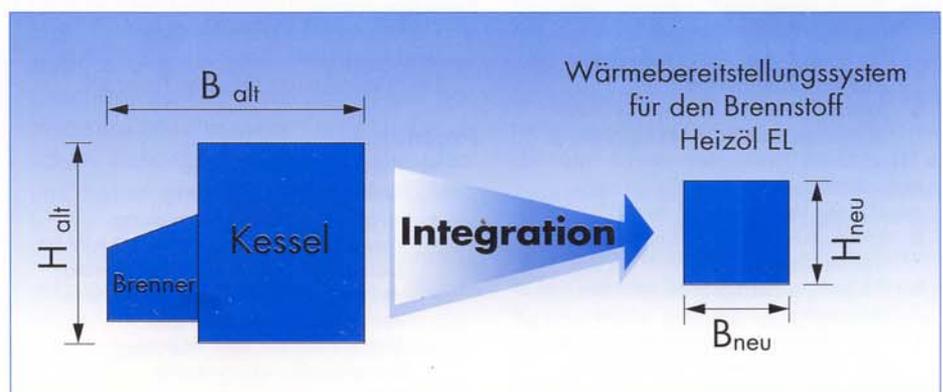


Bild 1:

Ziel: Betriebssicheres, kompaktes, kostengünstiges, emissionsarmes und nahezu geräuschloses Wärmebereitstellungssystem für den Brennstoff Heizöl EL

Flammenhülle umgeben /2/. Die hohen Temperaturen in Tropfennähe lösen bei gleichzeitig herrschendem Luftmangel Crackvorgänge aus, bei denen u.a. Ethin (C_2H_2) aus den Kohlenwasserstoffen herausgebrochen wird (Ethintheorie) /3/. Das Ethin neigt stark zur Polymerisation, wodurch es später bei Sauerstoffangebot nur sehr schwer zu verbrennen ist. Dies ist der Ruß, der in der Flamme eindeutig durch sein mehr oder weniger gelbes Leuchten sichtbar wird.

Heutige Blaubrenner vermeiden die Entstehung von Ruß, indem sie den Brennstoff vor der Verbrennung in der Flammenwurzel verdampfen /1, 2/. Aus der Flammenzone rückgeführte, heiße Rauchgase verdampfen hierbei das aus einer Dralldüse austretende Ölspray /1/. Der Wassergehalt der rückgeführten Rauchgase verhindert die Bildung langkettiger Kohlenwasserstoffe, die sich nur unter Rußbildung verbrennen lassen. Die Methode der Rauchgasrezirkulation senkt neben den Rußemissionen auch Stickoxidemis-

sionen /1, 4, 5, 6/. Um eine genügend große Menge heißer Rauchgase in die Flammenwurzel zu fördern, ist eine entsprechend große Induktionswirkung des Brennstoff-/Luftstrahls innerhalb der Gemischaufbereitung erforderlich. Der induzierte Gasstrom wird durch die Geschwindigkeit und den Querschnitt des Freistrahls beeinflusst /7/. Beide Parameter können nur in bestimmten Grenzen variiert werden. Ein hohe Austrittsgeschwindigkeit bei kleinem Austrittsquerschnitt führt zu hohen Strömungsgeräuschen und einer hohen Gebläseleistung. Eine Vergrößerung des Austrittsquerschnittes, verbunden mit einer Geschwindigkeitsreduzierung, führt dazu, daß bereits Zündbedingungen im Verdampfungsbereich vorliegen. Die beabsichtigte, von der Verbrennungsreaktion entkoppelte Brennstoffverdampfung, tritt nicht ein. Überdies nimmt der Impulsaustausch zwischen Brennstoff und Verbrennungsluft, der die Qualität der Mischung beeinflusst, ab. Konventionelle Blaubrenner führen daher die Verbren-

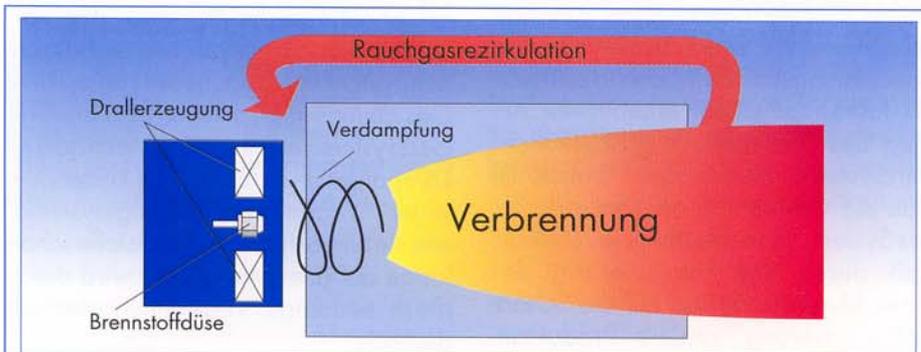
nungsluft unter hohem Druck über sehr kleine Auslaßquerschnitte in die Reaktionszone. Die hohe Austrittsgeschwindigkeit verhindert die Flammenbildung im Nahbereich der Mischeinrichtung und führt damit auch zu einer verringerten thermischen Belastung dieser Baugruppe. Die Verbrennungsluft wird meist verdraht zugeführt, wodurch die Mischung verbessert, die Rezirkulation verstärkt und die Flamme stabilisiert wird.

Aus Gründen der Betriebssicherheit werden konventionelle Öldruckzerstäubersysteme nicht für Feuerungsleistungen unter 10 kW eingesetzt. Die Gefahr einer Verstopfung der Düsenbohrung sowie der Tangentialschlitzes im Düsenkegel steigt bei einer weiteren Verkleinerung der durchströmten Querschnitte auf ein für den praktischen Betrieb unakzeptables Maß an.

Die vorverdampfende, vormischende Verbrennungstechnik

Betrachtet man die Brennstoffverdampfung als einen der Verbrennung vorgelagerten Prozeß, so liegt es nahe den flüssigen Brennstoff zunächst als dünnen Film an einer heißen Oberfläche zu verdampfen und zeitgleich oder zeitlich versetzt mit der Verbrennungsluft zu mischen. Die bei Erwärmung des Brennstoffes stattfindenden Crackvorgänge führen zu einem Umbau der Moleküle. Wird auf die Eindüsung von Wasserdampf verzichtet, bilden sich neben sehr kurzketigen Molekülen auch langkettige Moleküle, die unter atmosphärischen Bedingungen in dem hier angestrebten Temperaturbereich von maximal 500°C nicht in einen Dampf umwandelbar sind. Die Folge sind Ablagerungen aus Crackprodukten an der Verdampferoberfläche.

Um diese Problematik zu umgehen wird das unter Druck stehende Heizöl in einem geschlossenen Volumen erhitzt und erst durch Druckabsenkung während der Zerstäubung verdampft. Hierzu wird eine speziell entwickelte Rücklaufdüse, die als Dralldüse (Simplex-Prinzip) ausgeführt ist, eingesetzt. Die Kombination aus Heizölvorwärmung und Rücklaufsystem ergibt, je



Gemischaufbereitung:

Rücktransport heißer Verbrennungsgase zur Flammwurzel

- a Induktionswirkung turbulenter Freistrahlen
- b
 - äußere Rezirkulation (eingeschlossener Drallstrahl)
 - innere Rezirkulation (eingeschlossener und freier Drallstrahl bei überkritischem Drallgrad)

Verdrallung der zugeführten Verbrennungsluft:

- a Stabilisierung der Flamme an Orten niedriger Strömungsgeschwindigkeit (im Bereich der Begrenzungsfläche des Rezirkulationsgebietes)
- b Verlängerung der Mischwege durch schraubenförmige Strömungsführung

Hohe Strömungsgeschwindigkeit der zugeführten Verbrennungsluft:

- a Entkopplung von Verdampfung und Verbrennung
- b Steigerung des Impulsaustausches (Mischung)
- c Reduzierung der thermischen Belastung der Mischeinrichtung, einschl. Düse

Luftaufbereitung:

- a hohe Gebläsedrücke selbst bei kleiner Feuerungsleistung
- b steile Gebläsekennlinie im p/V-Diagramm

Brennstoffaufbereitung:

- a betriebsicheres Zerstäubungssystem für kleine Öldurchsätze
- b schneller Auf- und Abbau des Sprühmusters (kein Nachtropfen)

Reaktionszone:

- a Flammenform bestimmt die Gestalt des Feuerraumes (meist zylindrische, längliche Flammen)

Probleme:

- **Stömungsgeräusche**
- **hohe Gebläseleistung**
- **große Gebläseabmessung**
- **Feuerungsleistung unter 10 kW ist betriebssicher nicht realisierbar**
- **zylindrische, längliche Flamme erschwert eine kompakte Konstruktion des Wärmebereitstellungssystems**

Bild 2:

Herkömmliche Verbrennungstechnik: Schadstoffarme und rußfreie Verbrennung durch drallunterstützte Rauchgasrezirkulation

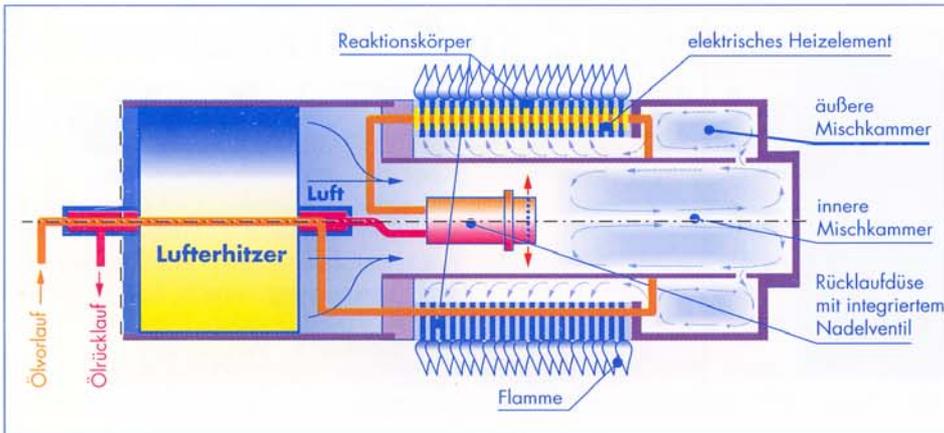


Bild 3: Prinzipskizze eines vorverdampfenden, vormischenden Flächenbrenners (Free-Mix-Technology)

nach Konstruktion der Düse, eine Durchsatzreduzierung von bis zu 98% gegenüber dem reinen Vorlaufbetrieb mit nicht vorgewärmtem Heizöl. Die Querschnittsfläche der Düsenbohrung sowie der Schlitze im vorgelagerten Drallerzeuger sind daher bei gleichem Öldurchsatz erheblich größer, als in entsprechenden Dralldüsen konventioneller Öldruckzerstäubersysteme.

Zur Erwärmung des Heizöls im Brennerbetrieb wird die Vorlaufleitung innerhalb des Reaktionskörpers geführt. Ein unterhalb des Reaktionskörpers angebrachter elektrisch betriebener Ölerhitzer erwärmt den Brennstoff vor dem Brennerstart. Die im Vergleich zur Zündtemperatur hohe Oberflächentemperatur des Heizelements ermöglicht es auf eine zusätzliche Hochspannungszündeinrichtung zu verzichten. Nach einer kurzen Betriebszeit des Brenners wird das Heizelement abgeschaltet. Die heiße Reaktionszone liefert im stationären Betrieb die zur Verdampfung des Brennstoffes notwendige Energie. Um Ablagerungen aus Crackprodukten zu vermeiden darf das Druckniveau in den Bereichen des Hydrauliksystems,

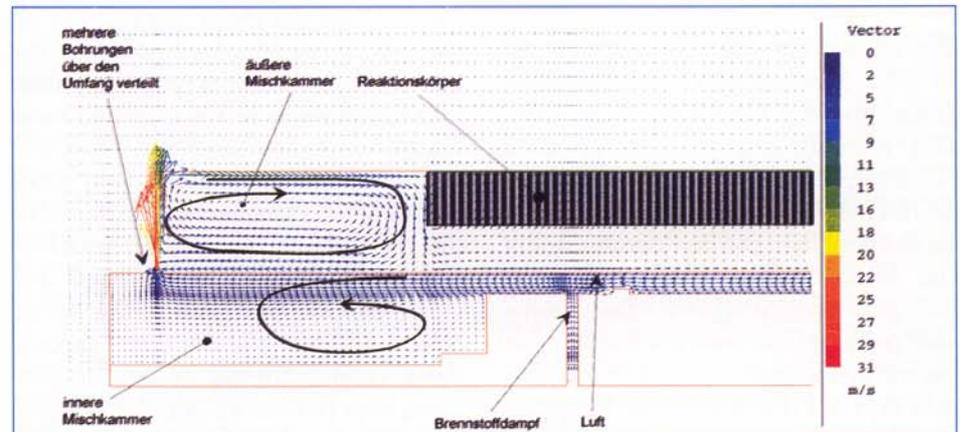


Bild 4: Geschwindigkeitsfeld innerhalb der Gemischaufbereitung für eine Feuerungsleistung von 6 kW / 8/

in denen sich erwärmtes Heizöl befindet, nicht unter einen vorgegebenen Grenzwert absinken. Dies gilt nicht nur für den stationären Betrieb des Brenners, sondern auch für die vorgeschaltete Aufheizphase sowie die Abkühlphase nach erfolgter Brennerabschaltung. Eine Rücklaufdüse mit integriertem Nadelventil, sowie Magnetventile in den Vor- und Rücklaufleitungen schließen den Ölerhitzer während dieser Zeit druckdicht ab. Die Druckdifferenz zwischen Vor- und Rücklaufdruck steuert die Bewegung des Ventilstößels im Nadelventil.

Während der Zerstäubung bildet sich aus den höhersiedenden Molekülen ein kolloiddisperses Mischsystem, der übrige Teil des Brennstoffes bleibt als stabiles Gas erhalten und bildet, vergleichbar einem Gasbrenner, ein homogenes Mischsystem. Der Anteil zwischen kolloiddispersierten Öltröpfchen und homogen gemischten Molekülen, hängt von der durch Crackreaktionen beeinflussten Brennstoffzusammensetzung und dem Grad der Luftvorwärmung ab. Die ausgezeichnete Beständigkeit des Brennstoffnebels ermöglicht eine intensive Mischung von Brenn-

stoff und Luft in einer ausgedehnten Vormischzone. Die niedrige Gemischtemperatur verhindert eine spontane Flammenbildung in diesem Bereich. Der gasförmige Anteil des Brennstoffes bildet direkt nach der Mischung durch molekularen Transport ein brennbares homogenes Gemisch mit der Verbrennungsluft. Für den kolloiddispers verteilten Brennstoffanteil gelten die Gesetze der Spray-Verbrennung. Dabei ist das Verhältnis aus Wärmeübertragung zwischen den Tropfen und der umgebenden Gasphase und der zur

Verdampfung des Tropfens notwendigen Energie charakteristisch für das Abbrandverhalten der Tropfen /9/. Aufgrund der kleinen Tropfendurchmesser ($< 1 \mu\text{m}$) ist im Vergleich zu konventionellen Ölsprays von einer extrem beschleunigten Tropfenverdampfung auszugehen. Die kleinen Tropfendurchmesser sowie das geringe Brennstoff-/Luftmassenverhältnis führen dazu, daß einzelne Tropfenansammlungen (Gruppen) zunächst in einer der Flamme vorgelagerten Zone verdampfen /9/. Aus der entstandenen Brennstoffdampf/Luftschicht entwickelt sich anschließend eine Vormischflamme /10/. Die Verbrennung einzelner Tropfen in sauerstoffarmen heißen Flammenzonen, die mit der Bildung von Ruß verbunden ist, wird durch die gemischbedingte Entkopplung von Brennstoffverdampfung und Verbrennung vermieden. Aus diesem Zusammenhang heraus ist es zulässig, das nach der "Free-Mix-Technology" erzeugte Gemisch, das neben gasförmigen Brennstoffbestandteilen auch flüssige, tropfenförmige Bestandteile enthält, als "quasi-homogen" zu bezeichnen.

Bild 4 zeigt das berechnete Geschwin-



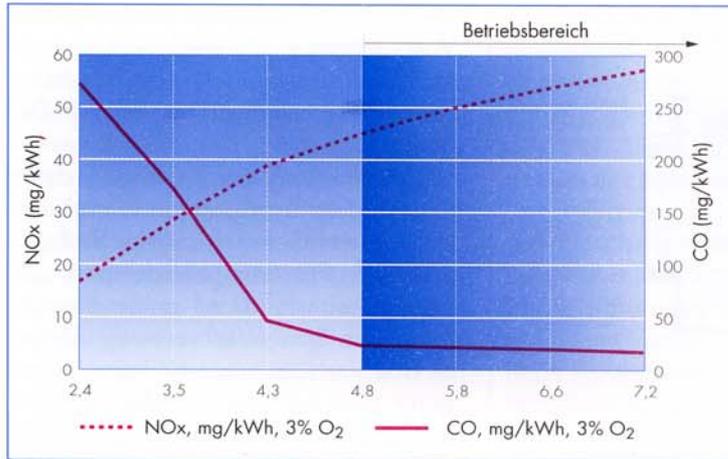


Bild 5: Einfluß der Feuerungsleistung auf die NO_x- und CO-Emissionen bei konstantem Luftverhältnis ($\lambda=1.26$).

Literatur:

- /1/ Dreher, H.: Abgasrezirkulation zur Stickoxidminderung - Bestimmung der Rezirkulationsrate in Brenner/ Kessel Kombinationen mittels numerischer Simulation, Dissertation, ETH Zürich, 1994.
- /2/ Baumgärtner, K.-J.: Partikelemissionen aus Leichtölf Feuerungen - Charakterisierung und Verminderung, Fortschr.-Ber., VDI Reihe 15, Nr. 105, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1993.
- /3/ Günther, R.: Verbrennung und Feuerungen, Springer Verlag, Berlin, 1984.
- /4/ Schmitz, T.: Untersuchung der Gemischaufbereitung zur Realisierung eines schadstoffarmen, regelbaren Verbrennungskonzeptes für Ölbrenner im Leistungsbereich 5-18 kW, Dissertation, RWTH Aachen, 1995.
- /5/ Lucka, K.: Ein Beitrag zur Reduzierung der NO_x-Emissionen durch gezielte Beeinflussung der Strömungsführung bei der Verbrennung, Dissertation, RWTH Aachen, 1996.
- /6/ Buschulte, W.: Der Raketen-Blau-brenner, Wärmetechnik, Heft 12, 1988.
- /7/ Thumm, C.: Entwicklung eines Brennerkonzeptes für Wärmeerzeuger kleiner Leistung, bei dem die Verbrennung von der Öldampferzeugung räumlich entkoppelt ist, Studienarbeit, IKE - Abt. HLK, Universität Stuttgart, 1995.
- /8/ Kolarik, F.: Untersuchung eines vorverdampfenden, vormischenden Ölbrenners unter Verwendung numerischer Simulation, Studienarbeit, IKE - Abt. HLK, Universität Stuttgart, 1996.
- /9/ Kuo, K. K.: Principles of Combustion, John Wiley & Sons, New York, 1986.
- /10/ Fristrom, R.M.: Flame structure and processes, Oxford University Press, New York, 1995.
- /11/ DIN EN 267: Ölzerstäubungs-brenner vom Typ Monoblock, Ausgabe Oktober 1991.

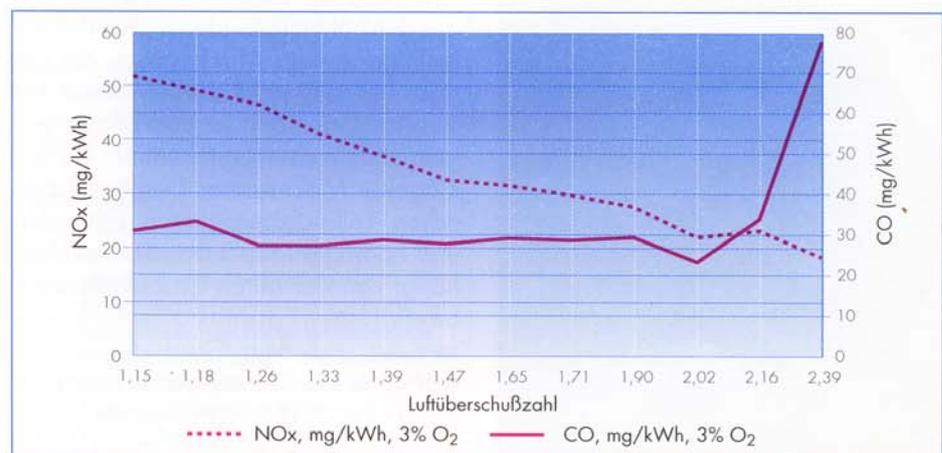
digkeitsfeld über den Längsschnitt der in Bild 3 schematisch dargestellten Geometrie der Gemischaufbereitung. Die Berechnung wurde für eine Feuerungsleistung von 6 kW durchgeführt. Eine Vorwärmung der Luft wurde nicht betrachtet. Die Temperatur des in die Mischkammer eintretenden Öldampfes beträgt 400°C. Der Brennstoff gelangt über mehrere Freistrahlen verteilt in die innere Mischkammer und trifft dort auf die über einen Ringspalt zugeführte Verbrennungsluft. Das so gebildete Gemisch tritt erneut in Form von Freistrahlen in die äußere Mischkammer ein. Unabhängig von der gewählten Brennerleistung bilden sich in beiden Mischkammern ausgeprägte Strömungswalzen /8/. Sie bewirken, neben den Freistrahlen, eine intensive Mischung von Brennstoff und Verbrennungsluft innerhalb eines kleinen Mischvolumens /8/.

Erste Prüfstandsversuche mit einem auf der Free-Mix-Technology basierenden Flächenbrenner verliefen außerordentlich erfolgversprechend. Das Verhalten der Stickoxidemissionen und der Kohlenmonoxidemissionen in Abhängigkeit der Feuerungsleistung ist für eine fest vorgegebene Luftüberschusszahl in Bild 5 dargestellt. Der Einfluß des Luftüberschusses auf diese Schadstoffemissionen ist für unterschiedliche Feuerungsleistungen in Bild 6 wiedergegeben. Die gemessenen Emissionswerte sind entsprechend DIN-EN 267 /11/ auf einen Bezugssauerstoffgehalt von 3% umgerechnet. Der Stickstoffgehalt des verwendeten Heizöls beträgt 108 mg/kg.

technik (Free-Mix-Technology) mit einem Flächenbrennersystem ergeben sich für ölbefeuerte Heizsysteme neue Gestaltungsspielräume. Die flache und in ihrer räumlichen Ausdehnung exakt vordefinierte Flammenform gestattet es die wasserseitigen Wärmetauscherflächen in geringem Abstand zur Flammenfront anzuordnen. Die kurze Ausbrandlänge und die damit verbundene raumsparende Feuerraumgeometrie führt zu einer kompakten Bauweise des Wärmebereitstellungssystems.

Neben der zentralen Frage nach der Betriebssicherheit eines solchen Systems steht im Mittelpunkt künftiger Untersuchungen insbesondere die anwendergerechte Gestaltung, der bisher lediglich unter Laborbedingungen erprobten Verbrennungstechnik. Gelingt der Nachweis der Praxistauglichkeit, sind Merkmale wie kleine Feuerungsleistungen, kompakte Bauweise und nahezu geräuschloser Betrieb nicht länger nur Gasheizgeräten vorbehalten. Nicht ohne Bedeutung ist in diesem Zusammenhang die mit dieser Technologie erneut verbundene drastische Reduzierung der Schadstoffemissionen.

Bild 6: Einfluß des Luftüberschusses auf die NO_x- und CO-Emissionen bei konstanter Feuerungsleistung ($Q_N = 5,2$ kW)



Zusammenfassung

Durch die Kopplung der vorverdampfenden, vormischenden Verbrennungs-

Simulation von Strömungsvorgängen an Stofffassungseinrichtungen

62

Walter Dittes, Armin Walz

Erfassungseinrichtungen werden bislang weitgehend nach Erfahrungswerten oder mit Hilfe von Näherungsverfahren ausgelegt. Die zunehmenden Anforderungen an die Luftqualität in Fertigungsstätten sowie das Bestreben der Unternehmen, den Energieaufwand und die daraus entstehenden Kosten zu begrenzen, bedingen künftig nur noch hochwirksame Erfassungseinrichtungen einzusetzen, die mit möglichst niedrigen Erfassungsluftströmen auskommen.

Erfassungseinrichtungen lassen sich nur dann verbessern und anwendungsgerecht konzipieren, wenn das Zusammenwirken von Erfassungströmung, Stoffausbreitungsvorgängen und gegebenenfalls bestehenden Störluftbewegungen untersucht und beschrieben werden kann. Möglichkeiten hierzu bestehen durch:

- experimentelle Untersuchung in Meßkabinen (in Anlehnung an DIN 33891 oder DIN EN 1093)
- Strömungssimulation mit CFD-Programmen auf dem Rechner.

Im Rahmen eines von der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin geförderten Forschungsvorhabens mit dem Thema: "Optimierung lufttechnischer Einrichtungen zur Erfassung von Gefahrstoffen unter Berücksichtigung realer Bedingungen, vor allem der Querströmung und der Thermik" wird die Wirkung von Senkenströmungen auf thermikgeprägte Stoffausbreitungs-

vorgänge experimentell und rechnerisch analysiert. Dieses Vorhaben führt die Arbeiten zum Thema "Entwicklung numerischer Berechnungsverfahren von Schadstofffassungseinrichtungen" (Forschungsvorhaben der Bundesanstalt für Arbeitsschutz) weiter, bei denen ebenfalls die numerische Strömungssimulation eingesetzt wurde.

Ziel dieses Forschungsvorhabens ist, für den oben genannten Anwendungsbereich Auslegungsgrundlagen für Stofffassungseinrichtungen zu schaffen. Hierzu werden Erfassungsluftströme und Erfassungsgrade ermittelt, und zwar bei umfassenden Parametervariationen mit den die Vorgänge prägenden Randbedingungen: Stoffausbreitung, Bauform und Größe von Erfassungseinrichtungen sowie Störströmungen. Die Ergebnisse werden als Auslegungsdiagramme und in Form vereinfachter Berechnungsverfahren für die Nutzung in der Praxis aufbereitet.

Für die Strömungssimulationen wird das Finite-Volumen-Programm "FLUENT" auf einer Workstation eingesetzt. Um eine der Möglichkeiten dieses CFD-Programms aufzuzeigen, ist in Bild 1 als Beispiel aus vielen Rechenergebnissen die Stoffausbreitung durch die Konzentrationsverteilung dargestellt. Bei dem Beispiel strömen die Stoffe großflächig aus der porösen Deckfläche an einem erwärmten Körper (Eigenbewegung 0,8 m/s). Die Stoffausbreitung wird durch eine leichte Luftbewegung von der Seite (mit der Geschwindigkeit von 0,1 m/s) gestört. Das Ergebnis zeigt, daß die Baugröße der Stofffassungseinrichtung (Düsenplatte) sowie der Erfassungsluftstrom hier zu knapp bemessen sind. Der Stofffassungsgrad wird bei diesen Beispiel zu 26 % ermittelt. In den Bildern ist der freigesetzte Stoff (Stoffkonzentration 100 %) rot und die reine Luft (Stoffkonzentration 0 %) blau gekennzeichnet. In Bild 2 wird das Konzentrationsfeld gezeigt, das sich bei gleichem Stoffstrom, einem um ca. 30 % erhöhtem Erfassungsluftstrom und bei einer wesentlich höheren Geschwindigkeit der Störluftbewegung (0,6 m/s) einstellt; der Stofffassungsgrad beträgt hier lediglich 7 %.

Bild 1: Stoffkonzentrationsverteilung bei zu knapp ausgelegter Stofffassungseinrichtung; Eigenbewegung der freigesetzten Stoffe 0,8 m/s, Geschwindigkeit in der Erfassungseinrichtung 27 m/s, Geschwindigkeit der Störluftbewegung von der Seite 0,1 m/s

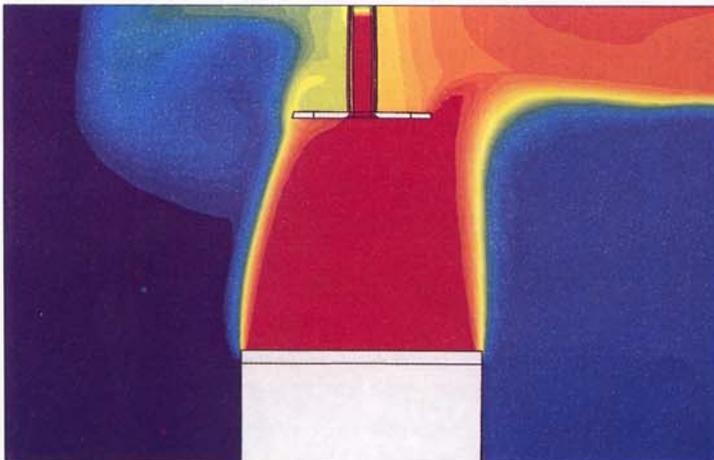
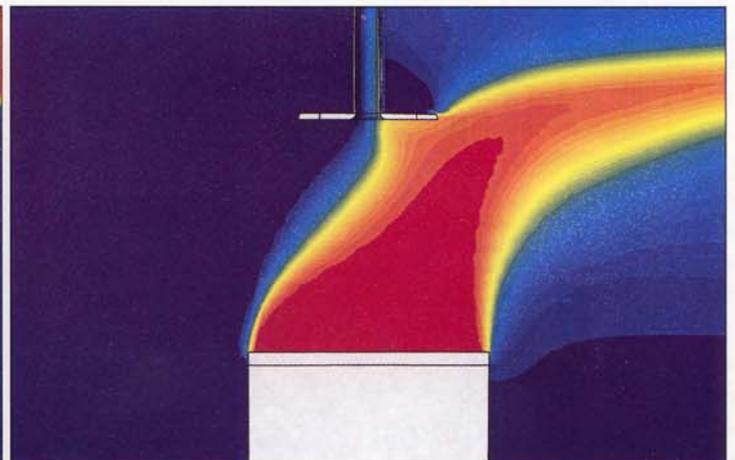


Bild 2: Stoffkonzentrationsverteilung bei zu knapp ausgelegter Stofffassungseinrichtung; Eigenbewegung der freigesetzten Stoffe 0,8 m/s, Geschwindigkeit in der Erfassungseinrichtung 35 m/s, Geschwindigkeit der Störluftbewegung von der Seite 0,6 m/s



Verbundforschung zur Raumluftechnik in Laboratorien

Bernhard Biegert, Walter Dittes, Christoph Kochendörfer

Das Forschungsverbundvorhaben "Energieeinsparung in Laboratorien durch Reduzierung der Luftströme - RELAB" wird gefördert vom Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg und von den Industriepartnern: Bühler Lufttechnik Gerlingen, Daldrop und Dr. Huber Neckartailfingen, LTG Stuttgart, Rentschler und Riedesser Ingenieures. Stuttgart und Waldner Laboreinrichtungen Wangen/Allgäu. Bearbeitet wird das Vorhaben gemeinsam von den Forschungsstellen Lehrstuhl für Heiz- und Raumluftechnik, Universität Stuttgart und Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik, Stuttgart sowie den oben genannten Industriepartnern.

Ziel des Vorhabens, ist die Voraussetzungen zu schaffen, damit RLT-Anlagen in Laboratorien lastgerecht ausgelegt und betrieben werden können. Ausgangssituation ist, daß DIN 1946, Teil 7 für Laborräume einen Mindestaußenluftstrom vorschreibt, der dem achtfachen Luftwechsel entspricht. Dem Vorhaben liegen die Erkenntnisse zugrunde, daß Laboratorien in Industrie, Forschung, Lehre und Amt selten so genutzt werden, daß der in der Norm vorgegebene Luftstrom ständig benötigt wird. So werden bei neuen Bauarten von Laborabzügen die Schiebefenster selbsttätig geschlossen und die Erfassungsluftströme vermindert, wenn an den Abzügen nicht gearbeitet wird.

Dadurch lassen sich während großer Zeiträume sowohl die Zu- als auch die Abluftströme erheblich reduzieren. Dabei ist jedoch sicherzustellen, daß außerhalb des Laborabzugs im Laborraum keine Stoffe freigesetzt werden.

Im Rahmen des Forschungsverbundvorhabens werden Fragen der Nutzung und der Belastungssituation in Laboratorien, der Luftführung, der erforderlichen Regelungskonzepte und der Energie- und Kostenersparnis durch den lastangepaßten Betrieb untersucht. Hierzu wurden vom Fraunhofer Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik umfangreiche Istzustandsanalysen in mehr als 300 Laboratorien

durchgeführt. Für die experimentellen Untersuchungen im HLK-Raumlufströmungslabor hat die Firma Rentschler und Riedesser den Versuchsaufbau geplant. Die Versuchsraumeinrichtungen (Laborabzüge, Labormöbel) wurden von der Firma Waldner bereitgestellt und eingebaut. Die Lufttechnikbauteile (Luftdurchlässe und Luftstromregler) stammen von der Firma LTG; sie erarbeitete auch die Konzepte für die Regelung der RLT-Anlage. Die raumluftechnischen Einrichtungen wurden von der Firma Bühler installiert. Die Regelungskonzepte für die RLT-Anlagen des Versuchsraumes hat die Firma Daldrop und Dr. Huber mit DDC-Technik verwirklicht.

Zur Beurteilung der Luftführungen wurde im HLK-Raumlufströmungslabor ein umfangreiches Versuchsprogramm (ca. 120 Varianten) abgearbeitet. Der Versuchsraum ist in Bild 1 zu sehen. Bei Raumlufströmungsuntersuchungen interessiert vor allem die Frage, wie sich Stoffe abhängig von der Luftführung, vom Luftstrom und von den thermischen Lasten ausbreiten, die von Stoffquellen auf den Labortischen freigesetzt werden (z.B. beim unsachgemäßen Umfüllen von Chemikalien). Zum Problemfeld der "Luftstromregelung" werden derzeit handelsübliche Luftstromregler untersucht, Konzepte für die Kanalnetzstruktur erstellt und Regelungskonzepte entwickelt. Die Unterschiede die sich beim Energiebedarf zwischen RLT-Anlagen mit konventioneller Betriebsweise und denen mit lastangepaßtem Betrieb ergeben, werden mit Hilfe der Gebäude- und Anlagensimulation erörtert. Diese Berechnungen werden durch Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen abgerundet. Das Vorhaben wird im Februar 1997 abgeschlossen.

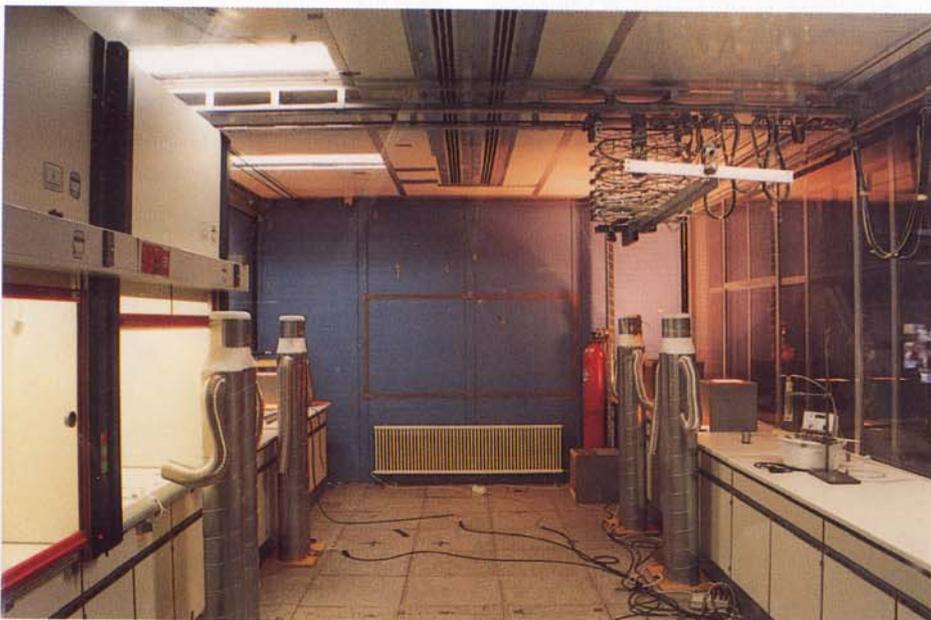


Bild 1:
Ansicht des Versuchs-Laborraums,
eingebaut im HLK-Raumlufströmungslabor

Jahresenergiebedarf, Jahreskosten und Wirtschaftlichkeit

- Neufassung der VDI 2067

64

Heinz Bach, Michael Bauer

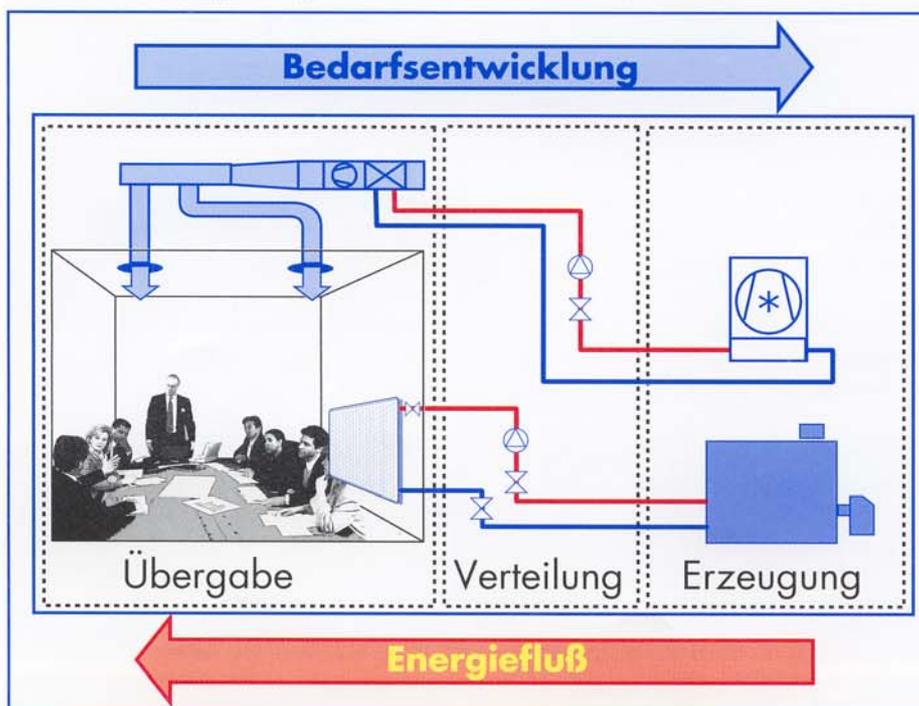
Die offizielle Grundlage für Wirtschaftlichkeitsbeurteilungen und somit auch Grundlage für die Berechnung des Energiebedarfs von Anlagen der technischen Gebäudeausrüstung ist die bestehende VDI 2067 /1/. Bei dieser Richtlinie stützt sich die Energiebedarfsberechnung im wesentlichen auf Erfahrungswerte - man spricht daher auch von Verbrauch anstatt Bedarf. Unterschiede im Betrieb oder von Anlagenvarianten werden durch vereinbarte Faktoren berücksichtigt. Nun haben sich seit Einführung der VDI 2067 die Randbedingungen für Anlagen der technischen Gebäudeausrüstung deutlich verändert. Die zunehmende Entfernung von der Erfahrungsbasis führte zu einer unvermeidbaren Beliebigkeit bei der Bestimmung der Korrekturfaktoren und somit mindestens bei modernen heiz- und raumluftechnischen Anlagen zu schlimmen Fehlbeurteilungen. Das neue Konzept für die VDI 2067 beginnt in seiner Vorgehensweise nicht mit einer Analyse gemessener Ver-

brauchswerte (induktiv), sondern geht deduktiv den Weg der Bedarfsentwicklung vom Gebäude mit der vorgesehenen Nutzung und den sich hieraus sowie aus dem Klima ergebenden Lasten über die Nutzenübergabe (von Wärme, Kälte, aufbereiteter Luft u.a.) und die Verteilung hin zum Erzeugungssystem für Wärme und Kälte. Da jeder dieser Systembereiche - Nutzenübergabe, Verteilung, Erzeugung - nicht ideal realisierbar ist, entsteht in ihnen jeweils unterschiedlich ein zusätzlicher Energieaufwand, der sich zusammen mit dem für das Gebäude und seine Nutzung typischen Mindestjahresenergiebedarf zum Gesamtenergiebedarf, der beim Erzeugungssystem auftritt, aufsummiert. Mit dieser Vorgehensweise ist gewährleistet, daß Anlagensysteme im festen Zusammenhang mit dem jeweiligen Gebäude und der vorgesehenen Nutzung energetisch beurteilt und vergleichend bewertet werden können.

Vorgehensweise für die Bereiche Heizung, Lüftung, Klimatisierung

Der Energiebedarf von beheizten und klimatisierten Gebäuden ist bestimmt durch die Form und Orientierung des Gebäudes, durch die Größe und den Aufbau der Umschließungsflächen (Außenwand und Außenfenster), durch die Größe der Nutzbereiche und durch die gegebene Nutzung. In der Konzeptionsphase von Gebäude und Anlage sind jedoch oftmals nur unzureichend die Nutzungsanforderungen formuliert. Deshalb beschränkt man sich bei einer Anfangsbewertung des Gebäudes auf die bauphysikalischen Eigenschaften. Da der Energiebedarf des Gebäudes aber maßgeblich von der Nutzung beeinflusst wird, ist eine Gebäudebewertung mit Nutzungseinfluß unumgänglich; dies ist die eigentliche Bewertung. Mit der neuen VDI 2067 wird folgerichtig zuerst ein sogenannter bauphysikalischer Gebäudeenergiebedarf berechnet. Dieser bauphysikalische Gebäudeenergiebedarf hat einfache Randbedingungen, wie z.B. durchgehende Beheizung und keine inneren Lasten. Bei der weiteren Planung können dann die Beheizungsprofile, Nutzungsprofile bzw. Lastprofile konkretisiert werden. Je nach Nutzung und Gebäude ist dieser Gebäudeenergiebedarf unterteilt in einen solchen für Heizung, Kühlung oder Lüftung usw.. So kommt man letztendlich zu einem nutzenbedingten Gebäudeenergiebedarf. Hierauf bauen die für die Bedarfsdeckung erforderlichen Anlagenbereiche Nutzenübergabe, Verteilung und Erzeugung/Bereitstellung mit ihren Bedarfswerten auf. Diese Gliederung kann, wie Bild 1 zeigt, für sämtliche Anlagen in der Heiz- und Raumluftechnik aufgestellt werden. Sie ermöglicht eine Aufschlüsselung der Energieverluste in den Teilbereichen. Bei einem Vergleich mehrerer Anlagensysteme können somit die Stärken aber

Bild 1: Bedarfsentwicklung und Energiefluß



auch die Schwächen der einzelnen Teilbereiche sowie der gesamten geplanten Anlagensysteme für jedes konkrete Projekt detailliert aufgezeigt werden. Nur so ist die Planung von bedarfsgerechten und damit energiesparenden Anlagen möglich.

Mit der neuen Richtlinie VDI 2067 soll die Planung von energiesparenden, dem Bedarf angepassten Anlagen verbessert werden. Zudem wird die Energiebedarfsberechnung als wesentlicher Teil des Wirtschaftlichkeitsnachweises deutlich verbessert und nachvollziehbar. Somit kann eine geschlossene Kosten-Nutzen-Analyse durchgeführt werden. Durch die Transparenz der Vorgehensweise können die Stärken, aber auch die Schwächen von Anlagen der technischen Gebäudeausrüstung aufgezeigt werden. Somit hat man die Möglichkeit, sich von dem in einer reinen Versorgungsmentalität befangenen Submissionswettbewerb zu lösen, und sich zu einem am Nutzer und der Nutzung des Gebäudes orientierten Ideen- oder Entwurfswettbewerb (ähnlich wie bei den Architekten) hinzubewegen. D.h. es werden dann nicht, wie in einem Submissionwettbewerb üblich, die Kosten für den Einbau einer Heiz- oder RLT-Anlage verglichen, sondern es können verschiedene Heiz- bzw. RLT-Anlagen für das Planungsobjekt in Bezug auf Energiebedarf und Investitionskosten vergleichbar bewertet werden.

Literatur:

/1/ VDI 2067: Berechnung der Kosten von Wärmeversorgungsanlagen
Blätter 1 - 7.

Studien- und Diplomarbeiten 1995/96

Ade, M.: Vergleich unterschiedlicher HKV-Systeme in Einrohranlagen unter verschiedenen Anschlußbedingungen.

Baumert, S.: Bewertung unterschiedlicher Heizkostenverteilsysteme für den Einsatz in vertikalen Einrohrheizanlagen.

Butz, J.: Fußbodenheizungen und ihr Einfluß auf die Wärmeübergabe.

Deiring, K.: Entwicklung von Simulationsmodellen zur Qualitätssicherung von Steuer- und Regeleinrichtungen für Warmwasser-Heizanlagen.

Dipper, J.: Die zukünftige Wärmeschutzverordnung und ihre Auswirkung auf die Heizungstechnik.

Dorn, M.: Betriebsverhalten von geregelten Pumpen beim Einsatz in einem Gebäudeleittechniksystem mit integrierter Heizkostenverteilung.

Flach, M.: Statistische Auswertung von Zeitreihen zur modellbasierten Fehlererkennung von Heiz- und raumluftechnischen Anlagen.

Grob, R.: Die Auslegung von Heizkörperheizungen und ihr Einfluß auf die Wärmeabgabe.

Haller, R.: Optimierung der Wärmeübergabe in Klassenräumen mit Hilfe der Gebäude- und Anlagen-simulation.

Hensger, S.: Wiederaufbau und meßtechnische Überarbeitung einer Wärmepumpenanlage.

Hesslinger, A.: Auswertung von Feldmessungen an Lüftungsanlagen in einem Mehrfamilien-NEH.

Kalis, B.: Berechnung der Wärme- bzw. Kühlleistung von Boden-, Wand- und Deckenflächen mit einem Simulationsprogramm.

Karampatziakis, K.: Erstellung von Meß- und Auswertprogrammen für Prüfungen nach DIN 4715-1 (Raumkühlflächen).

Katz, I.: Numerische Simulation eines öldampfbefeuerten Drallbrenners.

Keppler-Hefe, S.: Vergleich der bestehenden VDI 2067 (Raumheizung) mit der derzeit in Arbeit befindlichen Neufassung.

Kranich, J.: Optimierung eines Öldampfbrenners mit verdrahter, gestufter Verbrennungsluftzufuhr und diffusorunterstützter Expansion des Gemisches.

Krispin, H.: Entwicklung eines universell einsetzbaren c-Wert-Meßprogrammes.

Langer, M.: Simulation Niedrigenergiehaus Viernheimer Weg - Erstellung und Validierung des Anlagenmodells.

Loullis, P.: Erstellung eines Simulationsmodells für einen Gebäudeteil der Grund- und Hauptschule Plieningen.

Malich, B.: Konstruktion und Erprobung einer mobilen Laserlichtschnitteinheit.

Pilia, G.: Der Einfluß von integrierten Luftdurchlässen auf den Wärmeübergang an Kühldecken.

Reiner, T.: Konzipierung und Erprobung eines Prüfstandes für Einzelraumlüftungsgeräte.

Roskamp, F.: Messungen an Raumkühlkörpern ohne und mit Kondensation.

Ruppert, A.: Feldmessung an Deckenstrahlplatten.

Schädler, F.: Vergleich zweier Systeme zum Beheizen und Kühlen von Hotelzimmern.

Schlotter, J.: Konzeption einer Lüftungsanlage im Geschoßwohnungsbau.

Schmid, A.: Simulation Niedrigenergiehaus Viernheimer Weg - Erstellung und Validierung des Gebäudemodells.

Schweitzer, J.: Integration von mechanischen Wohnungslüftungsanlagen bei der Altbauanierung.

Stritzelberger, G.: Konzeption und Auslegung eines Kältespeichers für die Kältezentrale Pfaffenwald.

Tischler, T.: Fehler und Unsicherheiten bei der experimentellen Prüfung von Warmwasserfußbodenheizung.

Wacker, A.: Untersuchung des dynamischen Verhaltens von HK und HKV zur Validierung der Simulationsmodelle.

MEDUSA - Minimierung des Energiebedarfs von Gebäuden durch Simulation von Heizanlagen

65

Michael Bauer

Mit der WSVO 1995 wird der Dämmstandard von Außenbauteilen erheblich verbessert. Dies führt erstens zu einem deutlich geringeren Energiebedarf zukünftiger Gebäude, zweitens nimmt der Anteil solarer und innerer Wärmelasten, bezogen auf die gesamte Heizlast, deutlich zu. Somit wirken sich auftretende Fremdlasten in beheizten Räumen stärker und auch schneller aus als bisher. Diese veränderten Randbedingungen für beheizte Gebäude haben praktisch keinen Einfluß auf die Verluste bei der Wärmeerzeugung und Wärmeverteilung, sie beeinflussen aber stark die Wärmeübergabe im Raum. Um die anfallenden inneren Wärmelasten für Heizzwecke auszunutzen zu können, müssen energieeffiziente Heizsysteme in der Lage sein, auf den sich ständig ändernden Bedarf im Raum zu reagieren. Bild 1 zeigt die Einflußgrößen bei der Wärmeübergabe.

Mit der Heizanlagenverordnung sind selbsttätige, raumweise Regeleinrichtungen für jeden beheizten Raum vorgeschrieben. Nun wird die Wärmeübergabe von Heizsystemen nicht nur durch die Regeleinrichtung beeinflusst, sondern die thermische Trägheit des Heizsystems verursacht bei sich änderndem Bedarf ein verzögertes Verhalten des Heizsystems. Jedes System mit Speicherwirkung, wie z.B. eine Fußbodenheizung oder Heizungen mit größerem Wasservolumen, ist mit entsprechenden Totzeiten und Zeitkonstanten behaftet. Ein schnelles Reagieren auf Fremdwärme ist selbst durch schlagartiges Schließen des Regelorgans für die Wärmezufuhr nicht gegeben, da durch die Speicherkapazität des Heizsystems weiterhin Wärme in den Raum abgegeben wird. Dies führt zu einem mehr oder weniger hohen Anstieg der Raumtemperatur; damit wird mehr Energie zugeführt als

benötigt. Somit hat jedes Heizsystem sein charakteristisches Wärmeübergabeverhalten. Das System mit der besten Anpassung an das vorgegebene Nutzungsprofil hat den geringsten Energiebedarf. Alle anderen Systeme benötigen demnach für das vorgegebene Nutzungsprofil mehr Energie um den gleichen Nutzen bzw. Bedarf zu decken.

Für die Planung energiesparender Heizsysteme ist es Voraussetzung, die Wärmeübergabe der Heizsysteme bewerten zu können. Energiesparende Heizsysteme können jedoch nur dann bewertet werden, wenn das Reaktionsvermögen der Heizsysteme auf sich ändernde Bedarfsfälle bekannt und quantifizierbar ist. Nur so können an den Bedarf bzw. den Nutzen angepasste Heizsysteme entstehen, die eine rationelle Energieanwendung gewährleisten. Für die Untersuchung der Wärmeübergabe scheiden Feldversuche bzw. Feldmessungen aus, da gemessene Verbräuche grundsätzlich nicht verallgemeinerbar sind; sie sind oftmals 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. Da eine Nachbildung des Gesamtsystems, 'Gebäude - Nutzer - Heizsystem - Klima' im Labor praktisch nicht durchführbar ist, bleibt nur die Möglichkeit, das System durch mathematische Modelle zu beschreiben und sein dynamisches Verhalten durch rechnerische Betriebssimulation zu untersuchen. Das Forschungsvorhabens wird durch die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen (AiF) vom Bundesministerium für Wirtschaft gefördert.

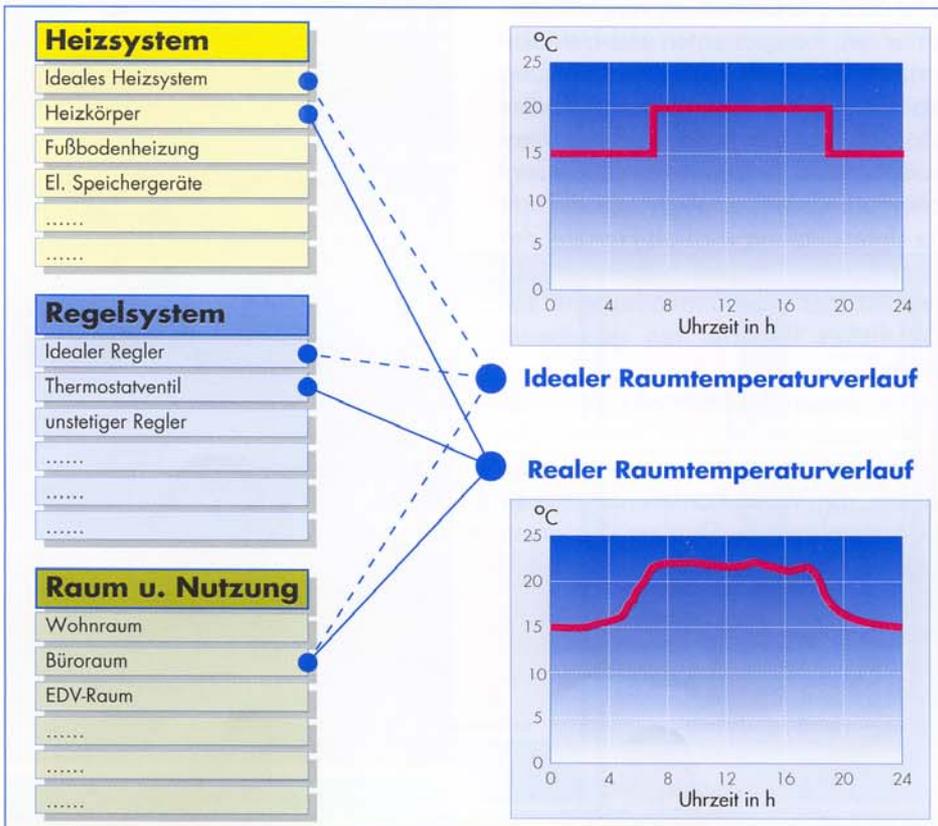


Bild 1: Einflußgrößen bei der Wärmeübergabe

INTESOL - Integrale Planung von solaroptimierten Gebäuden



Michael Bauer, Raphael Haller

Das Forschungsvorhaben wird vom Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie gefördert. Das Vorhaben ist ein Verbundprojekt zwischen der RUD. OTTO MEYER in Hamburg, dem Institut für industrielle Bauplanung der Universität Karlsruhe, den Ebert-Ingenieuren Niederlassung München, der Abteilung Wissensverarbeitung und Numerik (IKE/WN) des Institut für Kernenergetik und Energiesysteme der Universität Stuttgart und dem Lehrstuhl für Heiz- und Raumluftechnik (LHR) der Universität Stuttgart. Ziel des Verbundprojekts ist es, normalen Planungsbüros Werkzeuge für die integrale Planung zur Verfügung zu stellen. Die Arbeiten am IKE/WN und am LHR konzentrieren sich auf prototypische Software-Lösungen zur Unterstützung der anforderungsorientierten Planung von heiz- und raumluftechnischen Anlagen. Das Hauptaugenmerk liegt hierbei auf der konsequenten Weiterentwicklung der Bausteine OPTIMA /1/ und INHEAD /2/.

Die anforderungs- bzw. bedarfsorientierte Anlagenplanung basiert auf der genauen Festlegung der Nutzeranforderungen für jeden Raum. Durch diese Festlegung wird ein HLK-Raumbuch definiert bzw. ein bereits vorhandenes Raumbuch um HLK-Aspekte erweitert. Mit dieser genauen Definition der Anforderungen wird ein Entscheidungsbaum in Form einer Wertanalyse durchlaufen, der die möglichen Anlagenalternativen ermittelt. Anschließend sollen die Konsequenzen (Kosten/Energie) einzelner Nutzeranforderungen des Raumbuchs quantifiziert bzw. die Anlagenalternativen bewertet werden. Erst nachdem die verschiedenen Anlagenalternativen und die Auswirkung der Nutzeranforderungen bewertet wurden, soll mit der „traditionellen“ Planung begonnen werden. Um das oben skizzierte Szenario zu realisieren, sind eine Reihe

von Software-Werkzeugen notwendig, die nach dem Prinzip des „Rapid-Prototyping“ Zug um Zug erstellt und erprobt werden. In einem ersten Schritt soll das bisher entwickelte System OPTIMA durch die Abteilung WN bereitgestellt werden und durch den LHR validiert werden. Ziel ist ein Modellierungswerkzeug für Gebäudemodelle zur Verfügung zu haben, daß im Rahmen von Simulations-Vorhaben am LHR eingesetzt werden kann.

Für die weitere Entwicklung ist es notwendig, das bestehende Planungswerkzeug OPTIMA in einer Form bereitzustellen, die auch außerhalb des Lehrstuhls genutzt werden kann. Im Rahmen einer Reimplementierung wird daher das Gebäudesimulationswerkzeug auf der Basis von ORACEL und Windows/NT bis zum Projektende zur Verfügung gestellt. Die anforderungsorientierte Planung erfordert über die Gebäudesimulation hinaus die detaillierte Bewertung von Anlagenvarianten, -komponenten und -betriebsweisen. Eine effektive Unterstützung des HLK-Ingenieurs bei dieser Aufgabe erfordert es, daß Anlagensimulationsmodelle aus Anlagen- bzw. Strang-schemata ableitbar sind. Diese Form der Unterstützung wird als Fernziel der Arbeiten an OPTIMA angesehen. Im Rahmen des Verbundvorhabens soll auf dieses Fernziel hin gearbeitet werden.

Neben diesen Arbeiten wird von IKE/WN untersucht, wie ein Szenario für das kooperative Arbeiten unter Zuhilfenahme von Video-Konferenzsystemen und „Application Sharing“-Systemen angewandt werden kann.

Literatur:

/1/ OPTIMA; Integration von Planung, Computersimulation und Betrieb. HLKBRIEF 6, 1994.

/2/ INHEAD; Wissensbasierte Planung von Anlagen zur technischen Gebäudeausrüstung. HLKBRIEF 3, 1991.

DISSERTATIONEN und BERICHTE 1995/96

Mit Prof. Bach als Hauptberichter wurden **1995/96** folgende **DISSERTATIONEN** abgeschlossen:

Hirschberg, R.:

Rechnergestützte Planung heiz- und raumluftechnischer Anlagen; 1995.

Madjidi, M.: Beitrag zur modellbasierten Überwachung und Optimierung des Betriebes heiz- und raumluftechnischer Anlagen; 1996 (ISBN 3-9805218-0-X).

FORSCHUNGSBERICHTE

Bach, H., T. Kondermann,

M. Madjidi: Systemsimulation in der Praxis - Erfahrungen und Perspektiven. Stuttgart, HLK-2-95. (Der Bericht kann beim Fachinstitut Gebäude-Klima e.V. in Bietigheim-Bissingen bezogen werden).

Bach, H., C. Bacher,

M. Bauer, M. Madjidi, K. Zou: VITE-BEMS - Virtuelle Testumgebung für Building Energy Management Systeme. Stuttgart, HLK 2-96.

Ast, H.; H. Bach; W. Stephan.:

Bestimmung und Bewertung des Energieverbrauchs von Heiz- und RLT-Anlagen durch Rechnergestützte Betriebssimulation, IKE 7-22, 1988, Neuauflage 1996.

Bach, H.; M. Bauer; K. Baer;

J. Dipper; M. Hinkelmann; M. Madjidi; F. Schmidt;: Entwicklung eines Systems zur Erkennung und Diagnose von Fehlern beim Betrieb von HLK-Anlagen, IKE 7-FB-10, Dezember 1995.

Bach, H. et al.

Building Energy Management System BEMS, IKE 7-23, 1991, Neuauflage 1996.

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

SENSOR - Modell- und regelbasierte Betriebsüberwachung

(62)

Michael Bauer, Robert F. Grob

Im Rahmen des vom BMBF und der FGHLK Stuttgart mbH geförderten Vorhabens IEA-Annex25 der Internationalen Energieagentur wird derzeit ein System zur Fehlererkennung und Diagnose (FDD) von Betriebsfehlern aufgebaut. In das Fehlererkennungssystem (Fault Detection), das den Preprocessor des Gesamt-FDD-Systems darstellt, gehen zwei Datenströme ein. Der eine Datenstrom besteht aus Daten, die in dem zu überwachenden, realen Prozeß (Process) gemessen werden. Der zweite Datenstrom enthält den gemessenen Prozeßgrößen entsprechende Vergleichsdaten. Diese Vergleichsdaten werden mit Hilfe eines Simulationsmodelles (Model), das das Sollverhalten des Prozesses abbildet, erzeugt. Das Grundgerüst für die Fehlerdiagnose (Fault Diagnosis) bilden eine Wissensbasis (Knowledge Base) sowie ein Regelwerk (Rule Base).

Im Preprocessor der Fehlererkennung werden Performance Indices (PI's) für simulierte und gemessene Daten gebildet. Im einfachsten Fall ist ein PI eine gemessene bzw. simulierte Prozeßgröße (z.B. eine Temperatur oder ein Druck). Eine andere Art von PI's sind charakteristische Prozeßgrößen, die

nicht direkt meßbar sind (z.B. Nutzungsgrade).

Im Classifier wird die eigentliche Fehlererkennung vorgenommen, d.h. es wird mit Hilfe der beobachteten PI's entschieden, ob ein Fehler aufgetreten ist. Dazu wird in einem *Comparator* ein Soll-Ist-Vergleich vorgenommen. Da stets Abweichungen auftreten, werden bei dem Soll-Ist-Vergleich Schwellwerte (Thresholds) berücksichtigt. Sobald für einen PI der vorgegebene Schwellwert überschritten wird, erkennt der Comparator einen fehlerhaften Betrieb und stößt den Diagnoseprozeß an.

Dabei werden zunächst im Preprocessor alle verfügbaren Informationen bezüglich des initiiierenden PI gesammelt (Information Collector). Danach werden weitere PI's, die für die Diagnose von Interesse sein könnten, in einer Liste zusammengestellt.

Aufgrund der Annahme, daß ein Fehler am wahrscheinlichsten an der Komponente auftritt, an der das erste Symptom entdeckt wird, beginnt die Suche nach weiteren, relevanten Performance Indices an der Komponente, an der der initiiierende PI lokalisiert ist.

Im Classifier wird mittels Extrapolation der in vorangegangenen Zeitschritten

gemessenen bzw. simulierten Daten eine Prognose über das Verhalten dieser PI's im nächsten Zeitschritt erstellt. Ergeben sich aus der Prognose auch Schwellwertüberschreitungen, so werden mit Hilfe der im Regelwerk abgelegten Regeln eine oder mehrere Hypothesen bezüglich des Fehlers generiert.

PERSONALIA

Seit dem Erscheinen des HLKBRIEFes Nr. 7 sind folgende Veränderungen zu verzeichnen:

Dr.-Ing. M. Madjidi, der für den Bereich Systemsimulation verantwortlich war, hat uns im April 96 verlassen und ist nun dabei, sich eine Existenz als beratender Ingenieur aufzubauen.

Die derzeitige Auftragslage machte es erforderlich, mehrere neue wissenschaftliche Mitarbeiter einzustellen:

Dipl.-Ing. C. Bacher
(Bereich modellbasierte Planung)

Dipl.-Ing. J. Dipper
(Systemsimulation und Konzeption neuer Heizsysteme)

Dipl.-Ing. R. Grob
(Emulation und Betriebsüberwachung)

Dipl.-Ing. A. Walz
(Strömungssimulation im Bereich Lufttechnik)

Dipl.-Ing. F. Roskamp
(Laborbereich Wärmeerzeuger)

Dipl.-Ing. K. Stergiaropoulos
(Laborbereich Lüftungsgeräte)

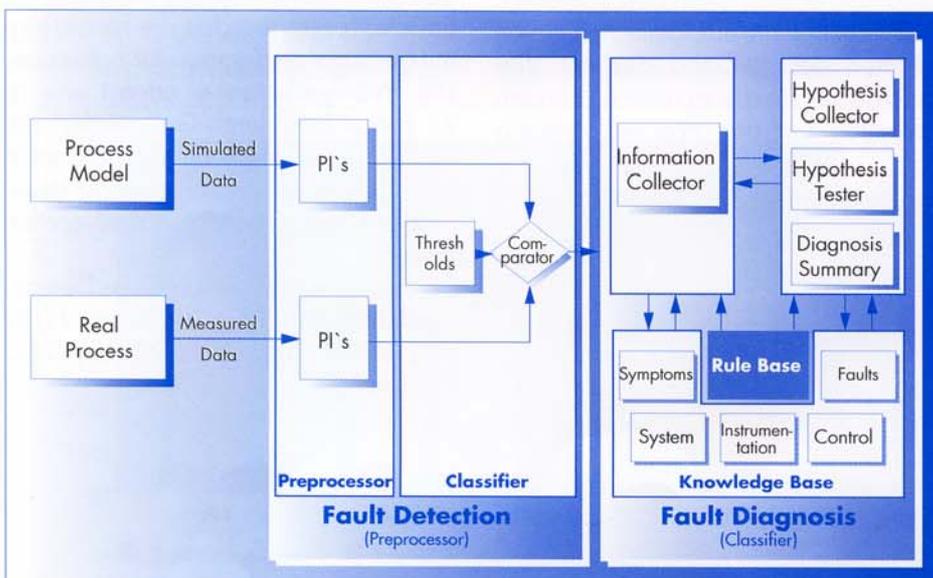
Als Stipendiaten arbeiten mit:

Dipl.-Ing. S. Herrmann
(Neue Brenntechnologien)

Dipl.-Ing. R. Haller
(Systemsimulation Planung)

Auch im technischen und Verwaltungsbereich wurde mehr Personal erforderlich:

Das Sekretariat wurde durch **Frau Bakhouché** verstärkt, in Labor und Werkstatt kamen die **Herren Dobrikovic, Keller, Patschi** und **Zinßer** hinzu.



MOSES - Modellhafte Sanierung einer Schule



Christoph Bacher, Bernhard Biegert, Raphael Haller

Schulen kommt bei Energieeinsparmaßnahmen eine besondere Bedeutung zu. Zum einen sind sie in der Regel zu über 50 % am gesamten Heizenergieverbrauch der kommunalen Gebäude beteiligt /1/, /2/, zum anderen weisen sie aufgrund der speziellen Anforderungen eines Schulbetriebes von anderen Gebäuden abweichende Nutzungseigenarten auf. Charakteristisch ist ein stark instationärer Heizbetrieb mit vorher bekannten Nutzungszeiten (Stundenplan) tagsüber und evtl. Zusatznutzung (Erwachsenenbildung, Sportvereine) in den Abendstunden.

In einem Forschungsprojekt¹, an dem der Lehrstuhl für Heiz- und Raumlufttechnik und das Fraunhofer-Institut für Bauphysik als Unterauftragnehmer des Amts für Umweltschutz der Landeshauptstadt Stuttgart beteiligt sind, wird ein energiegerechtes Sanierungskonzept in Form einer systematisierten, auf andere Schulen übertragbare Vorgehensweise erarbeitet. Das Konzept wird an einem typischen Objekt, der Grund- und Hauptschule Stuttgart-Plieningen (GHS) umgesetzt und anschließend durch eine zweijährige Meßphase validiert. Die Finanzierung erfolgt anteilig durch das BMBF, die Landeshauptstadt Stuttgart und durch 12 Industriepartner. Diese beteiligen sich mit Sachleistungen, Barmitteln und ggf. Ingenieurleistungen.

Durch zeitgleiche, integrierte Planung und Durchführung der Sanierung der Heizanlage und der Gebäudehülle werden Synergieeffekte genutzt, um ein energetisch und betriebswirtschaft-

lich gleichermaßen optimiertes Sanierungsergebnis zu erreichen.

Bereits beim Konzeptentwurf werden verschiedene Anlagenkonzepte und wichtige Einflußgrößen (z.B. Speicherhalten der Bauteile, passive solare Wärmegewinne, innere Wärmequellen, Nutzerverhalten) in ihrer komplexen Wechselwirkung berücksichtigt. Entscheidungskriterium ist die maximale Energieeinsparung mit damit verbundenen reduzierten Emissionen und Betriebskosten bei gleichzeitig optimaler Gesamtwirtschaftlichkeit.

Analyse des Istzustandes

Ziel der Analyse ist es, den Istzustand des Gebäudes zu erfassen und die Gebäude- und Anlagenstruktur in einem entsprechenden Modell für die dynamische Simulation aufzubereiten. Damit können die energetischen Eigenschaften des Ist-Gebäudes als Vergleichsbasis für die zu untersuchenden Varianten bei der Wärmedämmung

und der Heizanlage herangezogen werden.

Die Schule besteht aus drei Bauteilen (BT). Der technische Stand entspricht der jeweiligen Bauzeit (30er Jahre: BT1, 50er: BT2, 70er: BT3). Alle drei Gebäudebauteile werden von einer gemeinsamen Heizzentrale im ältesten Bauteil versorgt. Die beiden Niederdruckdampfheizkessel mit einer Gesamtleistung von 800 kW (Bj. 1969) wurden zunächst mit Koks befeuert und später durch Zweistoffgebläsebrenner für Erdgas- bzw. Ölbetrieb umgerüstet. Die Wärmeerzeugung ist über die gesamte Heizperiode durchgehend in Betrieb, auch am Wochenende und in den Schulferien.

BT1 wird noch direkt mit Niederdruckdampf beheizt. Wärmeverteilung und -übergabe entsprechen noch dem ursprünglichen Zustand. Eine Regelung ist nur durch manuellen Eingriff durch Handstellventile möglich.

BT 2 und BT 3 sind mit einer Pumpen-Warmwasserheizung ausgestattet. Das Heizungswasser wird über einen Gegenstrom-Wärmeaustauscher durch den Dampf erwärmt. Die Vorlauftemperaturen dieser Heizkreise werden abhängig von der Außentemperatur geregelt. Außerhalb der fest eingestellten Einschaltzeiten werden die Heizkreise mit abgesenkter Temperatur betrieben. Die Wärmeübergabe erfolgt wie in BT 1 ebenfalls durch Gußgliederheizkörper bzw. durch Röhrenradiatoren in BT 3. Eine raumweise Temperatursteuerung ist nur mittels Handstellventilen möglich.

Der Heizenergieverbrauch des Demonstrationsobjektes lag zwischen 1990 und 1994 bei ca. 220 bis 250 kWh/m²a.

Variante	Auslegungstemperaturen in °C	Raumtemperatur-Regelung	max. Absenkung bis °C
A1	60/40	Thermostatventil	10
A2	60/40	Einzelraum elektronisch	10
B1	70/50	Einzelraum elektronisch	15
C1	80/60	Einzelraum elektronisch	15

Tab. 1: Auswahl aus den untersuchten Varianten