

Kryschi, Rainer:
Hygienebewußte Planung, Ausführung, Betrieb und Instandhaltung von Trinkwasseranlagen

HLH 49 (1998) Nr. 10, S. 26–32, 8 Literaturangaben

Die Zusammenhänge zwischen technischer Gebäudeausrüstung, der Gesundheit und dem Wohlbefinden der Nutzer erfordern, daß Architekten, Hygieniker und Ingenieure künftig gemeinsam mit dem Betreiber die Anforderungen an die technische Ausrüstung von Gebäuden besonders auch unter hygienischen Gesichtspunkten festlegen.

Hautmann, Arthur:
Gefahren durch Nitritbildung in neuinstallierten verzinkten Wasserleitungen

HLH 49 (1998) Nr. 10, S. 34–38, 2 Bilder, 2 Tabellen, 8 Literaturangaben

Bei fabrikneuen Trinkwasserleitungen aus verzinktem Stahl, Kupfer und Edelstahl wurde in Abhängigkeit der Stagnationsdauer die Veränderung wichtiger Wassereigenschaften während der Stagnationsphase untersucht.

Bechte, Veit:
Armaturenoberfläche: Funktional und dekorativ?

HLH 49 (1998) Nr. 10, S. 40–49, 4 Bilder, 3 Tabellen

Die Entwicklung von Armaturenoberflächen, die gleichermaßen langlebig und ästhetisch sind, entsprechen einem weltweiten Kundenwunsch. Während unter Langlebigkeit die Kunden vorrangig eine hohe Kratzunempfindlichkeit und hohe Korrosionsbeständigkeit gegen Reinigungsmittelangriffe verstehen, so wird die Frage nach der Ästhetik deutlich differenziert betrachtet.

Krimmling, Jörn:
Technisches Gebäudemanagement für öffentliche Gebäude

HLH 49 (1998) Nr. 10, S. 51–54, 2 Bilder, 1 Literaturangabe

Technisches Gebäudemanagement ist für Gebäude der öffentlichen Hand sinnvoll und notwendig. Das Einsparpotential durch technisches Gebäudemanagement kann durchaus in einer Größenordnung von 30% der laufenden Gebäudekosten liegen.

Knabe, Gottfried:
Entwicklungstendenzen in der Gebäudeautomation

HLH 49 (1998) Nr. 10, S. 56–57, 1 Bild, 5 Literaturangaben

Bei der gesamttheitlichen Betrachtung der Prozesse im Gebäude mit Hilfe des Facility Managements nimmt die Gebäudeautomation eine Schlüsselposition ein.

Heidt, Frank-Dietrich; Fischer, Thomas:
Untersuchung lüftungstechnischer Eigenschaften von Raumlüftungsgeräten mit Indikatorgasverfahren

HLH 49 (1998) Nr. 10, S. 64–69, 5 Bilder, 4 Tabellen, 8 Literaturangaben

Bei der Altbausanierung ist der Einbau zentraler Zu- und Abluftanlagen sehr aufwendig, weil dazu Lüftungskanäle notwendig sind. Möchte man dennoch kontrolliert lüften und Wärmerückgewinnung aus der Abluft betreiben, so bieten sich Raumlüftungsgeräte an.

Lippe, Manfred:
Vorbeugender baulicher Brandschutz in der Installationstechnik

HLH 49 (1998) Nr. 10, S. 74–77, 2 Bilder, 1 Tabelle, 10 Literaturangaben

Vorbeugender baulicher Brandschutz sorgt für Sicherheit der Menschen in Gebäuden, hilft Leben retten und gewinnt Zeit bis zur Rettung. Die in drei Teilen angelegte Fachartikelserie soll in überschaubarer Form bei Lösung der Problemstellungen, durch Sensibilisierung auf die wesentlichen Punkte, helfen.

n and maintenance

AIVC 11610

HLH 49 (1998) No. 10, p. 26–32, 8 refs.

The relationships between technical building equipment, and the requisite health and well-being of the user, requires architects, hygienists and engineers to specify together with the operator, the requirements for the technical equipment of buildings, in particular with regard to the hygienic aspects.

Hautmann, Arthur:
Hazards from the formation of nitrites in newly installed, galvanized water pipes

HLH 49 (1998) No. 10, p. 34–38, 2 figs., 2 tables, 8 refs.

On brand new drinking water pipes of galvanized steel, copper and stainless steel, the alteration in major characteristics of the water during the stagnation phase was reviewed in relation to the stagnation period.

Bechte, Veit:
Surfaces for fittings. Functional and decorative?

HLH 49 (1998) No. 10, p. 40–49, 4 figs., 3 tables

The developments of surfaces for fittings, which are equally durable and aesthetic, comply with a worldwide customer requirement. Whilst customers view durability primarily as being a high level of insensitivity to scratching and high resistance to corrosion caused by detergents, the question as to the aesthetics is viewed in a noticeably different manner.

Krimmling, Jörn:
Technical building management for public buildings

HLH 49 (1998) No. 10, p. 51–54, 2 figs., 1 ref.

Technical building management is sensible and essential for central/local government buildings. The potential savings from technical building management can quite conceivably amount to 30% of the routine running costs for the building.

Knabe, Gottfried:
Development tendencies in building automation

HLH 49 (1998) No. 10, p. 56–57, 1 fig., 5 refs.

In the overall review of the processes in a building, with the aid of facility management, the building automation takes a key role.

Heidt, Frank-Dietrich; Fischer, Thomas:
Review of the ventilation engineering characteristics of room air ventilating equipment using the indicator gas process

HLH 49 (1998) No. 10, p. 64–69, 5 figs., 4 tables, 8 refs.

During the refurbishment of older buildings, the installation of central ventilation and exhaust air systems is very complex, since these require ventilation ducts. Even so, where controlled ventilation is a requirement as well as heat recovery from the outlet air, it is possible to use room air ventilating equipment.

Lippe, Manfred:
Preventive structural fire protection in domestic engineering

HLH 49 (1998) No. 10, p. 74–77, 2 figs., 1 table, 10 refs.

Preventive structural fire protection ensures the safety of people in buildings, helps to save lives and gains time until they are rescued. The series of articles, prepared in three parts, should help to provide in a clear manner a solution for the problems, by pointing out the sensitive nature of the major items.

Die Gebäudelüftung wird, besonders in Niedrigenergiehäusern, aufgrund des besseren Dämmstandards immer wichtiger, da der Anteil der Lüftungswärme an den Gesamtwärmeverlusten bei solchen Gebäuden bis zu 50% und mehr beträgt.

Um diese Verluste zu reduzieren, werden die Gebäude möglichst luftdicht gebaut. Damit in solch dichten Gebäuden der hygienisch und bauphysikalisch notwendige Luftwechsel sichergestellt ist, werden zunehmend mechanische Lüftungsanlagen eingesetzt. Bei der Altbausanierung ist der Einbau zentraler Zu- und Abluftanlagen sehr aufwendig, weil dazu Lüf-

tungskanäle notwendig sind. Möchte man dennoch kontrolliert lüften und Wärmerückgewinnung aus der Abluft betreiben, so bieten sich Raumlüftungsgeräte an. Mit solchen Geräten werden einzelne Zonen dezentral mit Frischluft versorgt.

Untersuchung lüftungstechnischer Eigenschaften von Raumlüftungsgeräten mit Indikatorgasverfahren

F.D. Heidt und T. Fischer

Bedingt durch ihre Konstruktionsweise können in Raumlüftungsgeräten innere und äußere Strömungsrückflüsse auftreten, durch die die Frischluft mit rückfließender Abluft angereichert wird. Findet dies in größerem Umfang statt, so verfehlt das Lüftungsgerät seinen Zweck. Eine ausreichende Versorgung des Raumes mit Frischluft ist dann nicht mehr gewährleistet.

Mit Indikatorgasverfahren können die lüftungstechnischen Eigenschaften solcher Geräte vermessen werden. Von besonderem Interesse sind die Luftströmungen innerhalb der Lüftungsgeräte, sowie die Belüftung des Raumes und die Fortluftabfuhr. Daraus lassen sich Rückschlüsse auf die Lüftungseffektivität sowie auf die damit verbundene Einsparung von Primärenergie ziehen [1; 2].

Dieser Beitrag enthält nachfolgend eine Beschreibung des eingesetzten Meßverfahrens und der ihm zugrunde liegenden Theorie. Weiterhin wird in einer exemplarischen Anwendung ein dezentrales Raumlüftungsgerät vermessen, ausgewertet und anhand seiner Ergebnisse diskutiert.

Das Meßverfahren

Bild 1 zeigt die zugrunde liegende Strömungssituation und das Verfahren zu ihrer Untersuchung: Ein dezentrales Lüftungsgerät ist in der Gebäudehülle eingebaut und versorgt das Gebäude-Innere mit Zuluft bzw. entsorgt seine Abluft. Dem entspricht auf der Außenseite des Gebäudes die Zufuhr von Frischluft bzw. Abfuhr von Fortluft.

Sowohl vor, wie auch im und nach dem Wärmetauscher eines Lüftungsgeräts können Leckagen auftreten, die durch die Art der Luftführung, Ventilator(en) und Bauart des Wärmetauschers bedingt werden. Dabei wird zwischen zwei Leckageströmen V_{INT1} und V_{INT2} unterschieden: V_{INT1} mischt Abluft in die Zuluft und verschlechtert somit deren Qualität – bei gleichzeitiger Vergrößerung des Volumenstroms der Zuluft; V_{INT2} mischt Frischluft in die Fortluft und verringert so den Volumenstrom der Zuluft, ohne jedoch deren Qualität zu beeinträchtigen.

Zur qualitativen Überprüfung, welche Leckagen vorliegen, und zu deren quantitativer Bestimmung wird an geeigneter Stelle – hier im Einlaßbereich für die Frischluft – ein Indikatorgas mit einem konstanten Volumenstrom Q in das Lüftungsgerät injiziert. Das Indikatorgas vermischt sich mit der von außen angesaugten Frischluft und führt auf seinem weiteren Strömungsweg im Frischluft einlaß zu einer Konzentration C_1 . In diesem Bereich wird auch der Frischluftvolumenstrom V_1 bestimmt.

Bei ihrem Weg durch das Lüftungsgerät gibt die Frischluft einen Teil ihrer Masse über den Volumenstrom V_{INT2} an die Fortluft ab, ohne damit ihre Indikatorgaskonzentration zu ändern. Dies geschieht im Strömungspfad erst später, wenn sich der Leckagevolumenstrom V_{INT1} der Abluft mit dem Volumenstrom der Zuluft vereinigt. Da die Abluft aus dem Raum i.a. nur geringe Indikatorgaskontaminationen mit der Konzentration $C_2 < C_1$ aufweist, ist bei vorhandener Leckage die in der Zuluft gemessene Indikatorgaskonzentration C_3 ebenfalls kleiner als C_1 .

Umgekehrt erhöht sich wegen der internen Leckagen die in der raumseitigen Abluft vorhandene Konzentration C_2 des Indikatorgases bei ihrem Weg durch das Lüftungsgerät nach außen: Zwar führen positive Werte von V_{INT1} zu keiner Änderung, da sie lediglich eine Abgabe von Abluft an die Zuluft darstellen, wohl aber positive Werte von V_{INT2} , die i.a. in Fortluftkonzentrationen $C_4 > C_2$ resultieren. Am Luftauslaß des Geräts wird zusätzlich der Fortluftvolumenstrom V_4 bestimmt.

Aus dem Wertevergleich der Konzentrationen des Indikatorgases an verschiedenen Stellen (z.B. $C_3 < C_1$, $C_4 > C_2$) lässt sich somit qualitativ auf das Vorhandensein von internen

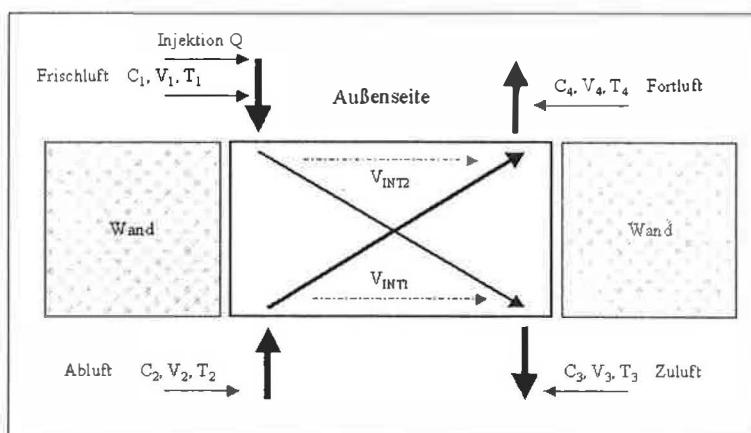


Bild 1 Prinzipskizze zur Vermessung der internen Leckagen und Indizierung der Meßstellen für die Indikatorgas-Konzentrationen und Volumenströme.

Prof. Dr.-Ing. Frank-Dietrich Heidt, Jahrgang 1944, leitet seit 1981 das Fachgebiet Bauphysik und Solarenergie im Fachbereich Physik der Universität Siegen.

Dipl.-Phys. Thomas Fischer, Jahrgang 1967, ist seit 1995 wissenschaftlicher Mitarbeiter in diesem Fachbereich.

Leckagen schließen. Daß dies auch quantitativ geht, zeigt der nächste Abschnitt. Zuvor soll aber das Meßverfahren zur Erfassung außenseitiger Kurzschlußströmungen an einem Lüftungsgerät erläutert werden.

Ein äußerer Strömungskurzschluß liegt vor, wenn außerhalb des Lüftungsgeräts Fortluft in die angesaugte Frischluft gelangt. Dies kann z.B. dann auftreten, wenn Auslaß- und Einlaß-Öffnungen für den kontrollierten Luftaustausch nahe beieinander liegen, und wenn die aufgesetzten Lüftungsgitter ungünstige Strömungsformen hervorrufen. Bild 2 skizziert wiederum die vorliegende Strömungssituation, den Injektionsort des Indikatorgases sowie vier verschiedene Positionen in der Strömung, in denen die Indikatorgaskonzentrationen C_0 , C'_0 , C_1 und C_4 bestimmt werden. V_1 ist der nahe am Frischlufeinlaß des Lüftungsgeräts gemessene Volumenstrom. Durch die Verlagerung des Injektionsorts in die Fortluft ergibt sich eine bessere Detektierbarkeit der äußeren Kurzschlußströmung. Die weiter außen vor dem Frischlufeinlaß liegenden Konzentrationsmeßstellen C_0 und C'_0 dienen zur Kontrolle einer etwaigen Hintergrundkonzentration des Indikatorgases in der Außenluft. In der Praxis sind C_0 und C'_0 meist nicht voneinander unterscheidbar und liegen beide nahe bei Null. Das Auftreten einer von Null verschiedenen Konzentration $C_1 < C_4$ ist dann der Hinweis für die Existenz eines äußeren Kurzschlußstroms von der Fortluft in die Frischluft hinein.

Theoretische Grundlagen

Die beiden in Bild 1 und Bild 2 skizzierten Strömungskonfigurationen mit ihren jeweils verschiedenen Injektionsorten und Konzentrationsmessungen des Indikatorgases können quantitativ bestimmt werden. Grundlage hierfür sind die Massenstrombilanzen von Luft und Indikatorgas, die für die jeweiligen Strömungspfade gelten. Die nachstehenden Betrachtungen erfolgen separat für jede der beiden Strömungskonfigurationen.

Aus Bild 1 erhält man für die Strömungspfade der Fortluft und der Zuluft aus den Massenstrombilanzen von Luft und Indikatorgas vier Gleichungen:

$$V_4 \cdot p_4 = (V_2 - V_{INT1}) \cdot p_2 + V_{INT2} \cdot p_1 \quad (1)$$

$$V_3 \cdot p_3 = (V_1 - V_{INT2}) \cdot p_1 + V_{INT1} \cdot p_2 \quad (2)$$

$$V_4 \cdot p_4 \cdot C_4 = (V_2 - V_{INT1}) \cdot p_2 \cdot C_2 + V_{INT2} \cdot p_1 \cdot C_1 \quad (3)$$

$$V_3 \cdot p_3 \cdot C_3 = (V_1 - V_{INT2}) \cdot p_1 \cdot C_1 + V_{INT1} \cdot p_2 \cdot C_2 \quad (4)$$

Dabei ist p die Massendichte der Luft. Sie ist wegen der hier gültigen allgemeinen Gasgleichung ($p = p \cdot R \cdot T$; p : Druck in Pa, T : Temperatur in K) umgekehrt proportional zur absoluten Temperatur T am Meßort. Unter isothermen Bedingungen kürzt sich deshalb die Massendichte aus den Gln. (1) bis (4) heraus, und die Massenstrombilanzen werden in diesem Spezialfall zu Volumenstrombilanzen.

Bei als bekannt vorausgesetzten Temperaturen T_1 bis T_4 und Indikatorgaskonzentrationen C_1 bis C_4 sind (1) bis (4) vier lineare Gleichungen mit sechs unbekannten Volumenströmen V_1 bis V_4 , V_{INT1} und V_{INT2} . Werden daher zwei dieser Volumenströme durch Messungen ermittelt, so lassen sich die restlichen vier aus den Gleichungen bestimmen. Im vorliegenden Fall wurden die Volumenströme der Frischluft (V_1) und der Fortluft (V_4) meßtechnisch erfaßt, die anderen berechnet.

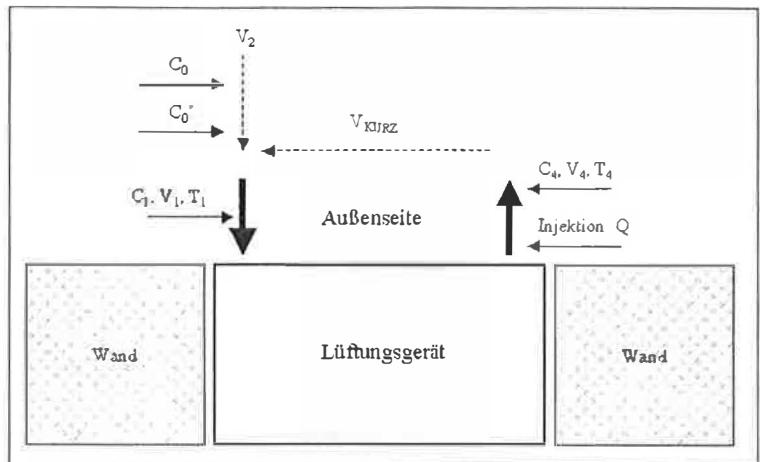


Bild 2 | Meßanordnung zur Bestimmung eines äußeren Kurzschlußvolumenstroms.

Durch Substitution von V_2 in (3) aus (1) ergibt sich:

$$V_{INT2} = V_4 \cdot [(C_4 - C_2)/(C_1 - C_2)] \cdot (T_1/T_4) \quad (5)$$

Entsprechend folgt durch Einsetzen von V_1 aus (2) in (4):

$$V_{INT1} = (V_1 - V_{INT2}) \cdot [(C_1 - C_3)/(C_3 - C_2)] \cdot (T_2/T_1) \quad (6)$$

Die noch fehlenden Volumenströme der Abluft (V_2) und der Zuluft (V_3) erhält man durch entsprechendes Auflösen von (1) und (2), wobei V_{INT1} und V_{INT2} aus (6) und (5) berechnet werden.

$$V_2 = V_{INT1} + V_4 \cdot (T_2/T_4) - V_{INT2} \cdot (T_2/T_1) \quad (7)$$

$$V_3 = V_{INT1} \cdot (T_3/T_2) + (V_1 - V_{INT2}) \cdot (T_3/T_1) \quad (8)$$

Bild 2 zeigt nur einen Strömungspfad: den äußeren Kurzschlußvolumenstrom V_{KURZ} von der Fortluft in die Frischluft, der sich vor der meßtechnischen Bestimmung des Volumenstroms V_1 am Frischlufeinlaß mit einem (fiktiven = nicht gemessenen) Außenluftvolumenstrom V_2 vereinigt. Auch hier können Massenstrombilanzen sowohl für die Luft wie für das Indikatorgas formuliert werden:

$$V_1 \cdot p_1 = V_2 \cdot p_2 + V_{KURZ} \cdot p_4 \quad (9)$$

$$V_1 \cdot p_1 \cdot C_1 = V_{KURZ} \cdot p_4 \cdot C_4 + V_2 \cdot p_2 \cdot C_0 \quad (10)$$

Durch Substitution von V_2 aus (9) in (10) erhält man für den außenseitigen Kurzschlußvolumenstrom:

$$V_{KURZ} = V_1 \cdot [(C_1 - C_0)/(C_4 - C_0)] \cdot (T_4/T_1) \quad (11)$$

Durch das Auftreten solcher interner Leckagen und äußerer Kurzschlüsse wird zum einen der Frischluftanteil in der Zuluft reduziert. Mit der Definition

$$\eta_{FR} = 1 - (V_{KURZ} + V_{INT1})/V_3 \quad \text{für } V_{INT1} \geq 0, V_{INT2} \geq 0 \quad (12.a)$$

$$\text{oder}$$

$$\eta_{FR} = 1 - (V_{KURZ} + V_{INT1} - V_{INT2})/V_3 \quad \text{für } V_{INT1} \geq 0, V_{INT2} \leq 0 \quad (12.b)$$

$$\text{oder}$$

$$\eta_{FR} = 1 - V_{KURZ}/V_3 \quad \text{für } V_{INT1} \leq 0, V_{INT2} \geq 0 \quad (12.c)$$

$$\text{oder}$$

$$\eta_{FR} = 1 - (V_{KURZ} - V_{INT2})/V_3 \quad \text{für } V_{INT1} \leq 0, V_{INT2} \leq 0 \quad (12.d)$$

erhält man für $V_{KURZ} \geq 0$ den Frischluft-Wirkungsgrad η_{fe} der Zuluft, der angibt, wieviel Prozent des Volumenstroms der Zuluft aus Frischluft bestehen. Er ist wichtig für die Beurteilung einer hygienisch ausreichenden Luftversorgung durch ein Lüftungsgerät. Ist $V_{KURZ} < 0$, mischt sich also Frischluft in die Fortluft, so wird dadurch der Frischluftanteil in der Zuluft nicht beeinträchtigt. Damit gelten die Gln. (12.a) bis (12.d), wenn man in ihnen $V_{KURZ} = 0$ setzt.

**Untersuchung
lüftungstechnischer Eigenschaften
von Raumlüftungsgeräten
mit Indikatorgasverfahren**

Zum anderen wird durch solche Leckagen und Kurzschlüsse die Fähigkeit eines Lüftungsgeräts zur Wärmerückgewinnung aus der Abluft falsch bewertet. Diese wird üblicherweise durch eine (sensible oder enthalpische) Rückwärmmezah ϵ_{WRG} beschrieben. Im einfacheren Fall der sensiblen Rückwärmmezah (d.h., wenn im Gerät keine Kondensation oder Verdampfung auftreten) lautet diese:

$$\epsilon_{WRG} = (T_3 - T_1)/(T_2 - T_1) \quad (13)$$

Wenn also die Zuluft vollständig aus Abluft bestünde ($T_3 = T_2$), so ergäbe sich mit der Definition aus Gleichung (13) eine Rückwärmmezah von eins, obwohl überhaupt keine Wärmeübertragung stattgefunden hat. Deshalb müssen bei vorhandenen internen Leckagen und äußeren Kurzschlußströmungen die gemessenen Zuluft- und Frischluft-Temperaturen T_3 und T_1 entsprechend korrigiert werden. Dies wird nachstehend für die Zuluft-Temperatur erläutert.

Die am Austritt der Zuluft an einem Lüftungsgerät gemessene Temperatur T_3 ergibt sich aus der Mischung der beiden Volumenströme V_{INT1} mit der Temperatur T_2 (Abluft) und ($V_1 - V_{INT2}$) mit der Temperatur T'_3 (Temperatur der erwärmten Frischluft nach Austritt aus dem Wärmeaustauscher). Daher wird zur Bestimmung der tatsächlichen Rückwärmmezah ϵ'_{WRG} eines Wärmeaustauschers anstelle der durch interne Leckagen beeinflußten Temperatur T_3 am Zuluftauslaß des Lüftungsgeräts die Temperatur T'_3 der erwärmten Frischluft unmittelbar hinter dem Wärmeaustauscher verwendet:

$$\epsilon'_{WRG} = (T'_3 - T_1)/(T_2 - T_1) \quad (14)$$

Die Temperatur T'_3 erhält man aus der Massen- und Wärmestrombilanz des Zulufttraktes im Lüftungsgerät aus:

$$T'_3 = T_3 - [V_{INT1}/(V_1 - V_{INT2})] \cdot (T_2 - T_3) \cdot (T_1/T_2) \quad (15)$$

Zur korrekten Beurteilung der wärmetechnischen Eigenschaften des Wärmeaustauschers in einem Lüftungsgerät sollte berücksichtigt werden, daß die Temperaturerhöhung in der Zuluft eventuell zum Teil durch Energieeinträge der Ventilatormotoren in Form von Abwärme und Dissipation verursacht worden sein kann. Dazu müssen der Geräteaufbau bzw. die Anordnung der Motoren, sowie deren Leistungsaufnahme und Wirkungsgrad bekannt sein. Durch vollständige Übertragung der Abwärme eines Ventilators mit der elektrischen Aufnahmleistung P und einem Wirkungsgrad ϵ_{VENT} auf die Zuluft ergäbe sich z.B. die motorbedingte Temperaturerhöhung ΔT der Zuluft aus:

$$\Delta T = (1 - \epsilon_{VENT}) \cdot P / (V \cdot p \cdot c) \quad (16)$$

Dabei sind V der Zuluftvolumenstrom, p die Dichte der Luft und c deren massenspezifische Wärmekapazität. Bei der Bestimmung der wahren, auf reiner Wärmerückgewinnung beruhenden Rückwärmmezah des Wärmeaustauschers muß diese Temperaturerhöhung von der Zulufttemperatur des Gerätes abgezogen werden.

Meßtechnik und Versuchsdurchführung

Zur Durchführung des beschriebenen Meßverfahrens muß im Lüftungsgerät Indikatorgas injiziert werden und die Konzentrationen dieses Gases müssen an mehreren Stellen innerhalb und außerhalb des Geräts kontinuierlich aufgezeichnet werden. Außerdem sind die Volumenströme der Frischluft und der Fortluft zu bestimmen. Soll weiterhin die Rückwärmmezah des Lüftungsgeräts bestimmt werden, so sind die Lufttemperaturen – und ggf. die relativen Feuchten – an den vier Ein- und Auslässen des Geräts zu erfassen.

Injektion und Konzentrationsmessungen des Indikatorgases N_2O (Lachgas) wurden mit dem Meßstand „MULTI-CAT“ (multichannel concentration analysis of tracers) durchgeführt [3]. MULTI-CAT ermöglicht, den zeitlichen Verlauf der Konzentrationen an bis zu acht Stellen aufzunehmen. Zur Detektion des Indikatorgases N_2O wird ein Gasanalysator eingesetzt; die Injektion eines konstanten Volumenstroms des Indikatorgases übernimmt ein elektronisch geregelter Magnetventil. Einbringung und Probenentnahmen des Indikatorgases am Lüftungsgerät erfolgen über (dünne) Verbindungsschläuche zum Meßstand MULTI-CAT.

Zur Bestimmung der Volumenströme von Frischluft (V_1) und Fortluft (V_4) werden zwei Methoden eingesetzt. Mit Staudruckmeßblenden können aus den Druckdifferenzen an den Meßblenden die Volumenströme bestimmt werden. Außerdem kann in diesen Rohren Indikatorgas mit bekannter, konstanter Injektionsrate Q verbracht werden, so daß nach dessen Vermischung mit dem Luftstrom der Luftvolumenstrom V aus der dort vorhandenen Konzentrationserhöhung $C_1 - C_0$ des Indikatorgases (über eine möglicherweise bereits bestehende Hintergrundkonzentration C_0 hinaus) bestimmbar ist. Dabei gilt:

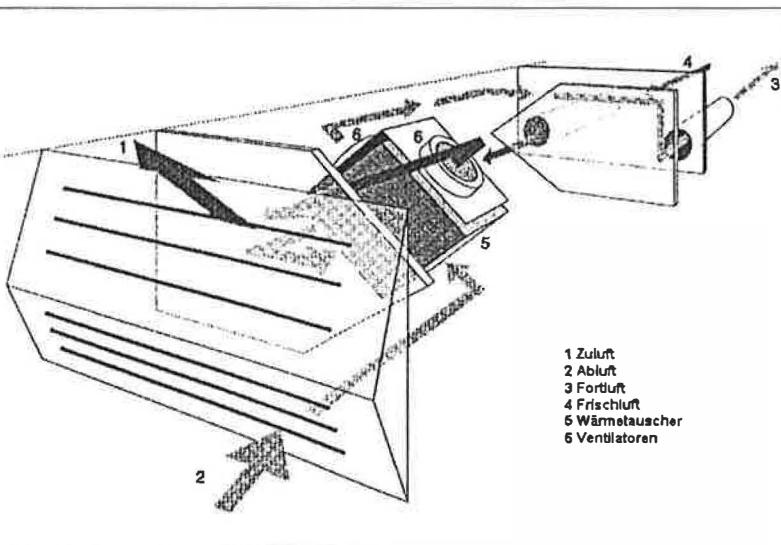
$$V = Q/(C_1 - C_0) \quad (17)$$

Zur Ermittlung der Rückwärmzahlen ϵ_{WRG} bzw. ϵ'_{WRG} des Lüftungsgeräts werden die Temperaturen von Zu-, Ab-, Fort- und Frischluft mit je einem Präzisionswiderstand aus Pt 100 in Verbindung mit einem Datenlogger gemessen. Dabei ist der elektrische Anschluß in Vierleitertechnik geschaltet. Die Bestimmung der relativen Feuchten erfolgt mit einem Sensor und Meßgerät über die optische Ermittlung des Taupunkts.

Auswertung von Meßergebnissen und Fehleranalyse

Am Beispiel eines untersuchten Lüftungsgeräts wird nachstehend die Auswertung von Meßdaten einschließlich der Fehleranalyse demonstriert.

Bild 3 | Prinzipskizze des vermessenen Lüftungsgeräts.



**Untersuchung
lüftungstechnischer Eigenschaften
von Raumlüftungsgeräten
mit Indikatorgasverfahren**

Beschreibung des Lüftungsgeräts

Das dezentrale Lüftungsgerät (Bild 3) besitzt einen integrierten Kreuzstromwärmetauscher aus Spezialpapier. Es enthält im Zu- und Abluftstrang jeweils einen Gleichstromventilator mit 16 Watt Aufnahmefähigkeit. Die Förderleistung der Ventilatoren kann über einen stufenlos einstellbaren Festspannungsregler frei gewählt werden.

Auf der Zuluft-Seite des Geräts befindet sich eine Abdeckplatte aus Kunststoff-Lamellen, welche die Zuluft- und die Abluftöffnung beinhaltet. Als Frischlufteneinlaß bzw. Fortluftauslaß dient je ein PVC-Rohr mit 150 mm Durchmesser, welches am Ende mit einer Wetterschutzkappe aus Aluminium versehen ist.

Meßdaten und Auswertungsergebnisse

Für das Fallbeispiel erweist sich durch die in Bild 2 dargestellte Injektionsmethode, daß kein äußerer Kurzschlußvolumenstrom vorhanden ist ($V_{KURZ} = 0$). Zur Bestimmung der internen Leckageströme V_{INT1} und V_{INT2} wird danach eine Indikatorgasinjektion gemäß Bild 1 durchgeführt. Bild 4 zeigt den zeitlichen Verlauf der dabei gemessenen Konzentrationen. Man erkennt deutlich, daß die Indikatorgaskonzentration der Zuluft geringer ist als die der Frischluft nach der Injektion. Dies deutet darauf hin, daß Abluft mit geringer Indikatorgaskonzentration der Frischluft beigemengt wird ($V_{INT1} > 0$). Weiterhin ist der Indikatorgasanteil in der Fortluft höher als der in der Abluft. Daraus schließt man auf das Beimischen von Frischluft nach der Injektionsstelle zur Abluft ($V_{INT2} > 0$). Die gemessenen Volumenströme der Frischluft, der Fortluft und des injizierten Indikatorgases sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

Bei der Bestimmung der Leckage-Volumenströme V_{INT1} und V_{INT2} werden nach den Gl. (5) und (6) Quotienten der Differenzen von Indikatorgas-Konzentrationen benötigt. Da jede Indikatorgas-Konzentration als Zeitreihe vorliegt, können die relevanten Quotienten von Konzentrations-Differenzen ebenfalls als Zeitreihen dargestellt und ausgewertet werden. Als Beispiel mag Bild 5 dienen, in dem die zeitliche Fluktuation des nach Gl. (5) für die Bestimmung von V_{INT2} erforderlichen Ausdrucks $(C_4 - C_2)/(C_1 - C_2)$ präsentiert wird. Der über den gesamten Zeitraum genommene Mittelwert 0,26 ist mit einer zeitlichen Standardabweichung von 0,01 überlagert. In ähnlicher Weise ergibt sich der Quotient der anderen Konzentrationsdifferenzen zur Bestimmung von V_{INT1} . Beide Ergebnisse werden in Tabelle 2 dargestellt.

Zusätzlich zur Indikatorgasmessung wurden in diesem Fall auch die Temperaturen von Zu-, Ab-, Frisch- und Fortluft aufgezeichnet. Die Ergebnisse sind in Tabelle 3 enthalten.

Mit den Werten aus den Tabellen 1, 2 und 3 liegen alle Bestandteile der Gleichungen (5), (6), (7) und (8) für die zu ermittelnden Größen V_2 , V_3 , V_{INT1} und V_{INT2} mit Mittelwert und Fehlerangabe vor, so daß der jeweilige Gesamtfehler nach den Regeln der Fehlerfortpflanzung bestimmt werden kann. Tabelle 4 zeigt die Zusammenstellung der Ergebnisse.

Der Zuluftvolumenstrom V_3 von $99,3 \text{ m}^3/\text{h}$ beinhaltet $40,1 \text{ m}^3/\text{h}$ Abluft, die durch V_{INT1} beigemischt werden. Damit ergibt sich ein Abluftanteil in der Zuluft von 40,4%. Das entspricht nach Gl. (12.a) einem Frischluftwirkungsgrad von $\eta_{FR} = 59,6\% \pm 5,0\%$.

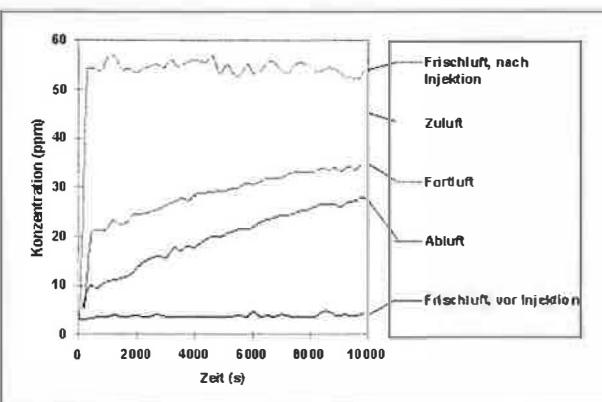


Bild 4 | Konzentrationsverläufe des Indikatorgases an verschiedenen Meßstellen.

Tabelle 1 | Gemessene Luftvolumenströme und Injektionsrate des Indikatorgases.

Frischluftvolumenstrom V_1 (m^3/h)	Fortluftvolumenstrom V_4 (m^3/h)	Injektionsvolumenstrom Q (ℓ/h)
74 ± 4	74 ± 4	$5,6 \pm 0,1$

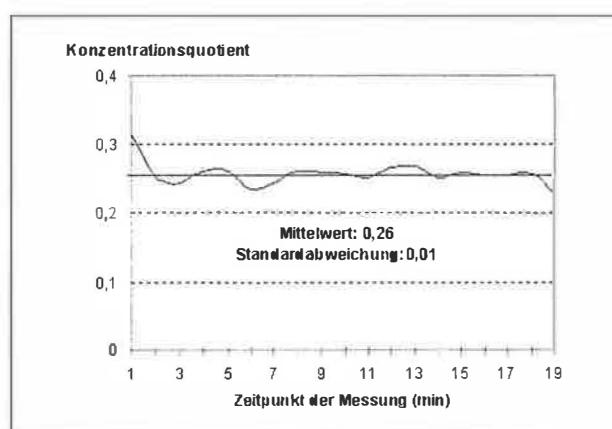


Bild 5 | Zeitlicher Verlauf des Quotienten der Konzentrationsdifferenzen für die Berechnung des internen Leckagestroms V_{INT2} .

Formelzeichen

c	massenspezifische Wärmekapazität ($\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$)
C	Indikatorgaskonzentration (-)
HGT	Heizgradtage ($\text{K} \cdot \text{d}$)
HT	Heitzage (d)
K_E	volumenspezifische Energieeinsparung (Wh/m^3)
p	Druck (Pa)
P	elektrische Leistung (W)
Q	Injektionsvolumenstrom (m^3/h oder ℓ/h)
T	Lufttemperatur ($^\circ\text{C}$ oder K)
V	Luftvolumenstrom (m^3/h oder ℓ/h)
ϵ_{vent}	Ventilatorwirkungsgrad (-)
ϵ_{WRG}	Rückwärmzahl (-)
η_{FR}	Frischluftwirkungsgrad (-)
ρ	Massendichte der Luft (kg/m^3)

**Untersuchung
lüftungstechnischer Eigenschaften
von Raumlüftungsgeräten
mit Indikatorgasverfahren**

Tabelle 2 | Mittelwerte und Standardabweichungen der Quotienten der Konzentrationsdifferenzen zur Bestimmung der internen Leckagevolumenströme V_{INT1} und V_{INT2} gemäß Gl. (5) und (6).

$(C_1 - C_3)/(C_3 - C_2)$	$(C_4 - C_2)/(C_1 - C_2)$
$0,67 \pm 0,06$	$0,26 \pm 0,01$

Tabelle 3 | Gemessene Lufttemperaturen am Lüftungsgerät mit Fehlerangabe.

Frischluft T_1 (°C)	Abluft T_2 (°C)	Zuluft T_3 (°C)	Fortluft T_4 (°C)
$3,0 \pm 0,1$	$23,0 \pm 0,1$	$21,0 \pm 0,1$	$19,0 \pm 0,1$

Tabelle 4 | Berechnete Volumenströme mit Fehlerangabe gemäß Fehlerfortpflanzungsgesetz.

Abluft V_2 (m³/h)	Zuluft V_3 (m³/h)	V_{INT1} (m³/h)	V_{INT2} (m³/h)
$95,6 \pm 13,6$	$99,3 \pm 13,7$	$40,1 \pm 7,7$	$18,2 \pm 1,7$

Mit den am Lüftungsgerät gemessenen Temperaturen aus Tabelle 3 ergibt sich die sensible Rückwärmezahl zu $\epsilon_{WRG} = 90\% \pm 2\%$.

Da interne Leckagen vorliegen ($V_{INT1} > 0$), wird die Temperatur der Frischluft unmittelbar hinter dem Wärmeaustauscher nach Gl. (15) bestimmt. Man erhält als korrigierte Zulufttemperatur anstelle von $T_3 = 21,0$ °C den Wert $T'_3 = 19,7$ °C. Nach Gl. (14) ergibt sich die korrigierte Rückwärmezahl ϵ'_{WRG} zu $83,5\% \pm 2\%$.

Bei der energetischen Beurteilung der Rückgewinnung thermischer Energie aus der Abluft ist zu berücksichtigen, daß hierfür elektrische Energie aufgewendet werden muß. Die beiden Energiearten sind aus ökonomischen Gründen – aber auch hinsichtlich ihres Primärenergieaufwandes – unterschiedlich zu bewerten; in der seit 1995 gültigen Wärmeschutzverordnung (WSVO) [4] wird für Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung ein Bonus bei der Berechnung des Lüftungswärmebedarfs nur dann gegeben, soweit je kWh aufgewendeter elektrischer Arbeit mindestens 5,0 kWh thermische Energie eingespart bzw. nutzbar gemacht worden sind. Mit den beiden gerätespezifischen Kennzahlen η_{FR} und ϵ'_{WRG} sowie der elektrischen Leistungsaufnahme des Geräts ($P = 2 \times 16$ W = 32 W) läßt sich eine Aussage über die in einer Heizperiode zu erwartende Energieeinsparung machen. Sie basiert auf einer Berechnung der Reduzierung des Lüftungswärmebedarfs nach dem Heizgradtageverfahren und gewichtet elektrische zu thermischer Energie mit dem in der WSVO vorgegebenen Faktor 5. Die Einsparung der Lüftungswärme darf hierbei nur den Frischluftanteil des Zuluftvolumenstroms berücksichtigen, und die Rückwärmezahl des Lüftungsgeräts muß hinsichtlich der Abluftleckagen korrigiert sein. Als Bewertungsmaßstab für die energetische Effizienz eines Lüftungsgeräts mit Wärmerückgewinnung wird eine dimensionsbehaftete Kenngröße K_E vorgeschlagen, die angibt, wie groß in einer Heizperiode die durch das Gerät bedingte Netto-Einsparung an thermischer Energie pro gefördertem Kubikmeter Frischluft ist. Multipliziert man diese Kenngröße, die als volumenspezifische Nettoenergieeinsparung bezeichnet werden kann, mit dem Preis für eine Wh thermischer

Energie, so erhält man die monetäre Einsparung pro gefördertem Kubikmeter Luft. Um zu Werten für die jährliche Einsparung zu gelangen, muß die Kenngröße K_E mit den Heiztagen (HT) und dem Zuluftvolumenstrom (V_{ZU}) des Lüftungsgeräts multipliziert werden. Mit diesen Festlegungen ergibt sich K_E (in Wh/m³) aus:

$$K_E = 0,34 \text{ Wh}/(\text{m}^3 \cdot \text{K}) \cdot \eta_{FR} \cdot \epsilon'_{WRG} \cdot HGT(K \cdot d)/HT(d) - 5 \cdot P(W)/V_{ZU} (\text{m}^3/\text{h}) \quad (18)$$

Hierbei bezeichnet HGT die Heizgradtage in K · d. Aus den vorliegenden Meßwerten ergibt sich für den Standort Würzburg mit 3500 Heizgradtagen und 210 Heiztagen die volumenspezifische Energieeinsparung zu $K_E = 1,21$ Wh/m³. Würde man allerdings von den nominellen Werten des Lüftungsgeräts mit $\eta_{FR} = 100\%$ und $\epsilon_{WRG} = 0,90$ ausgehen, so ergäbe sich der wesentlich günstigere, aber unrealistische Wert $K_E = 4,06$ Wh/m³.

Diskussion der Ergebnisse und Schlußfolgerungen

Indikatorgasmessungen bieten die Möglichkeit, unbekannte und zuweilen auch unerwünschte Luftströmungen innerhalb von Lüftungsgeräten zu quantifizieren. So ist eine quantitative Bestimmung äußerer Kurzschlußströmungen mit keinem anderen als dem Indikatorgas-Verfahren möglich.

Aus den Messungen lassen sich Kenngrößen ermitteln, die für das lüftungstechnische und energetische Verhalten dieser Geräte wichtig sind. Die hier vorgestellten Meßergebnisse machen deutlich, daß solche Untersuchungen notwendig sind. Die nominelle volumenspezifische Energieeinsparung des untersuchten Lüftungsgeräts (für $\eta_{FR} = 100\%$ und $\epsilon_{WRG} = 0,90$) beträgt 4,06 Wh/m³. Vergleicht man diesen Wert mit der tatsächlichen volumenspezifischen Energieeinsparung von 1,21 Wh/m³, so wird die Bedeutung solcher Messungen unterstrichen.

Nicht zu vernachlässigen ist auch die hygienische Relevanz des Frischluftwirkungsgrads η_{FR} . In DIN 1946 [5] sind Frischluftraten für verschiedene Raumnutzungen festgelegt. Würde man bei einer Planung den Frischluftbedarf durch den nominellen Zuluftvolumenstrom des betrachteten Lüftungsgerätes decken wollen, so ergäbe sich eine erhebliche Unterversorgung mit frischer Luft.

Kritisch zu hinterfragen sind die momentan gültigen Prüfvorschriften zum Erlangen der bauaufsichtlichen Zulassung (Ü-Zeichen) für Lüftungsgeräte mit Wärmerückgewinnung [6]. Die dort vorgesehene Überprüfung eines Gerätes auf Dichtheit mit Überdruckverfahren [7, 8] ist nicht geeignet, um Aussagen über die Größe und Richtung von internen Leckagevolumenströmen zu machen. Sie bestimmt lediglich den Leckagevolumenstrom bei definierten, aufgeprägten Druckdifferenzen zwischen dem Wärmeaustauscher und seiner Umgebung, respektive zwischen seinem Zuluft- und Ablufttrakt. Die tatsächlichen Leckagevolumenströme resultieren aber aus der im Gerät unter Betriebsbedingungen bestehenden Druckverteilung. Daher bleibt noch zu untersuchen, inwieviel Messungen von Geräteleckagen nach der Überdruckmethode für die Leckagevolumenströme unter Betriebsbedingungen aussagekräftig sind.

**Untersuchung
lüftungstechnischer Eigenschaften
von Raumluftungsgeräten
mit Indikatorgasverfahren**

Danksagung

Die Autoren danken dem Ministerium für Wissenschaft und Forschung des Landes Nordrhein-Westfalen für die Unterstützung des Forschungsvorhabens im Rahmen der AG Solar NRW unter der Projektnummer 253-009-91. [H 683]

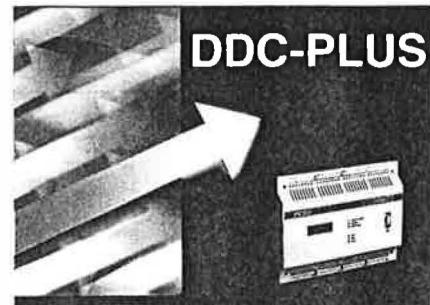
Literaturangaben

- [1] Fischer, T. and Heidt, F.D.: Testing the ventilation efficiency of ventilation units with tracer gas methods. Proceedings Second International Conference 'Buildings and the Environment', June 9-12, 1997, Vol. 1, pp. 405-413.
- [2] Fischer, T. und Heidt, F.D.: Verbesserungen in der Blower-Door Meßtechnik und neue Anwendungen für Tracer-Gas Verfahren, VDI Fortschrittsbericht, Reihe 4, Nr. 139, 1997.
- [3] Heidt, F.D. und Rabenstein, R.: MULTI-CAT – für Lüftungskenngrößen. KI – Luft- und Kältetechnik, 30. Jahrgang, Heft 3, 1994, S. 119-124.
- [4] Wärmeschutzverordnung vom 16. August 1994, Bundesgesetzblatt, S. 2121.
- [5] DIN 1946, Teil 2: Raumlufttechnik, Gesundheitstechnische Anforderungen, Beuth Verlag, Berlin, 1988.
- [6] Ostertag, D.: Energetische Bewertung von Wohnungslüftungsgeräten mit Wärmerückgewinnung gemäß WSVO '95, Anlage 1, Ziffer 2.1 und Ziffer 1.6.3. Tagungsband „Wohnungslüftung mit Wärmerückgewinnung“, Deutsches Institut für Bautechnik, Berlin, 1997.
- [7] Nordtest Method VVS 021, Heat recovery units: External leakage. Nordtest, P.O. Box 116, FIN-02151 Espoo, Finnland.
- [8] Nordtest Method VVS 022, Heat recovery units: Internal leakage. Nordtest, P.O. Box 116, FIN-02151 Espoo, Finnland.

Berichtigung

In LH 9/98, S. 72-73, sind beim Beitrag von Dipl.-Ing. Wolfgang Möllenbrück „Wärmeleitung in stehenden Luftsichten und Wärmedurchgang am Beispiel Fenster“ leider die Literaturhinweise nicht mit gesetzt worden. Die Redaktion bittet dies vielmals zu entschuldigen und reicht an dieser Stelle die Literaturangaben nach:

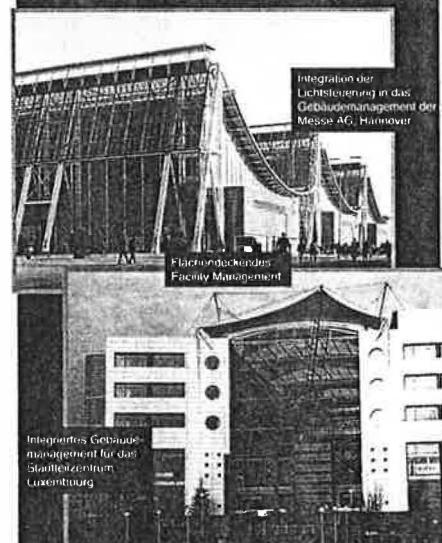
- [1] DIN 4701: Regeln für die Berechnung des Wärmebedarfs von Gebäuden. Beuth Verlag Berlin.
- [2] Elsner, N.; Fischer, S.; Huhn, J.: Grundlagen der Technischen Thermodynamik Bd. 2 Wärmeübertragung. 8. Aufl. Akademie Verlag Berlin 1993.
- [3] Fricke, J.: Von der thermischen Isolation zur Vakuumsuperisolations. Physik in unserer Zeit/15. Jahrg. 1984/Nr. 2, S. 42-50. Verlag Chemie Weinheim.
- [4] Schmidt, E.: Thermodynamik 9. Aufl. Springer-Verlag Berlin 1962.
- [5] VDI, GVC (Hrsg.); VDI-Wärmeatlas 7. Aufl. 1994, VDI-Verlag Düsseldorf.



Projektieren

- gewerkeübergreifend
 - system-offen
 - zuverlässig
- betreiberfreundlich
 - preisgünstig

Starke Tools führen zu Systemintegrations-Leistungen wie diesen:



SAIA-Burgess Electronics heißt:
Sicherheit
durch einen starken Partner
Innovativ
in der Welt der Automatisierungstechnik
Kompetenz
mit 1600 Mitarbeitern in 4 Werken
und Niederlassungen in allen wichtigen Ländern der Welt

SAIA-Burgess Electronics

SWITCHES • MOTORS • CONTROLLERS

SAIA-Burgess Electronics
(Deutschland) GmbH & Co. KG
Daimlerstraße 1 · 63303 Dreieich
Tel. 06103/8906-0 · Fax 8906-66
<http://www.saia-burgess.de>