

Thermisches Verhalten von Kühldecken*

Christoph Beck¹⁾

Der konvektive Wärmeübergang und somit auch die übertragene Wärmestromdichte an Kühldecken sind ganz erheblich von den jeweiligen Umgebungsbedingungen abhängig. Weiterhin zeigen Kühldecken ein je nach Aufbau unterschiedliches Zeitverhalten. Die Zeitkonstanten liegen dabei zwischen wenigen Minuten und über einer Stunde. Daher ist es ein erheblicher Mangel in der bisher üblichen Vorgehensweise bei der Auslegung und Planung von Kühldecken, wenn dort lediglich mit Kennliniengleichungen aus Prüfungen gearbeitet wird. Diese können die vielfältigen Zusammenhänge nicht annähernd korrekt wiedergeben. Es wird deshalb ein Verfahren entwickelt, mit dem der Wärmeübergang an ebenen geschlossenen Kühldecken für verschiedene Kombinationen aus Kühldecke, Luftdurchlass, Zuluftstrom sowie Außenfenster berechnet werden kann. Ausgangspunkt ist ein Berechnungsmodell, bei dem die Deckenfläche in drei Strömungsbereiche unterteilt wird. In jeder dieser Zonen dominiert eine der Grundströmungen:

- Einfluss der Grundkonvektion im Raum,
- erzwungene Konvektion, verursacht durch die Warmluftströmung vor dem Fenster,
- erzwungene Konvektion, verursacht durch Zuluft aus Luftdurchlässen in der Decke.

Für jeden der drei Bereiche werden Berechnungsansätze für die Luftströmung, die örtlichen Wärmeübergangskoeffizienten und die Wärmestromdichten entwickelt und anschließend gekoppelt, so dass eine ganzheitliche Berechnung möglich ist. Das Hauptergebnis ist

dann ein mittlerer Wert für die Wärmestromdichte an der Kühldecke. Der Berechnungsweg wird durch den Vergleich mit den experimentell bestimmten Werten verifiziert. Als Vergleichsgröße wird innerhalb der experimentellen Untersuchungen stets die Kühlleistung nach DIN 4715 verwendet. Zunächst werden diese Normleistungen für einige ausgewählte und typische Beispiele ebener geschlossener Kühldecken bestimmt. Diese Werte dienen als Referenz für die weiteren Untersuchungen. Innerhalb dieser Messungen werden auch jeweils die Oberflächentemperatur und deren Verteilung bestimmt. Hierbei wird die berührungslose Infrarotmesstechnik eingesetzt. Der Zusammenhang zwischen der Fenstertemperatur und der Fenstergröße sowie des aufgenommenen Wärmestroms wird in mehreren Versuchen hergestellt. Ergebnis dieser Untersuchungen ist, dass eine erhöhte Fenstertemperatur nicht nur durch die damit verbundene zusätzliche Wärmestrahlung auf die Kühldecke deren Leistung erhöht, sondern dass vielmehr durch den vor dem Fenster aufströmenden Luftstrom der konvektive Wärmeübergang an der Kühldeckenunterseite erhöht wird (Bild 1). Die festgestellten Abweichungen zwischen den Messergebnissen ohne erhöhte Fenstertemperatur und den Messwerten bei verschiedenen Fenstertemperaturen können nach ihrer jeweiligen Ursache aufgeteilt werden:

- Erhöhung der Wärmeströme durch direkte Zustrahlung sowie
- Erhöhung der Wärmeströme durch Luftstrom vor dem warmen Fenster

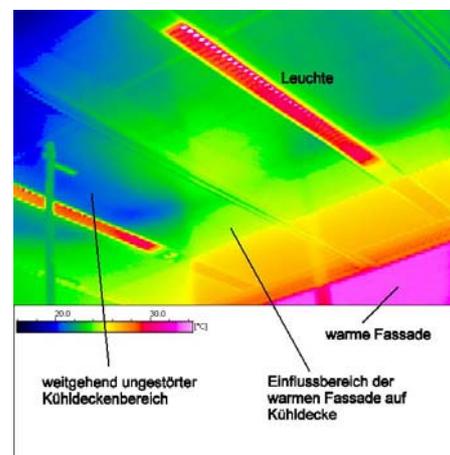


Bild 1: Thermographie einer Kühldecke in der Fassade

In einer weiteren Versuchsreihe wird der Einfluss von Luftdurchlässen auf den Wärmeübergang an ebenen Kühldecken untersucht. Hierfür werden verschiedene Durchlässe (Drallluftdurchlass, Linearluftdurchlass) untersucht. Diese in die Decken integrierten Luftdurchlässe erzeugen, je nach Zuluftstrom und -temperatur, unterschiedliche Luftströmung an der Kühldeckenunterseite. Hierdurch verändert sich der konvektive Wärmeübergang an der Oberfläche erheblich. Die Messungen zeigen, dass sowohl der Zuluftstrom und somit die Austrittsgeschwindigkeit am Luftdurchlass wie auch die Zulufttemperatur und somit der Verlauf der Temperatur im Luftstrahl einen erheblichen Einfluss auf den konvektiven Wärmeübergang und die übertragene Wärmestromdichte haben. Die durchgeführten Untersuchungen decken dabei die innerhalb der Anwendung von Kühldecken zu erwartenden Grenzen hinsichtlich des Zuluftstroms sowie der Zulufttemperatur ab. Die im Experiment gefundenen Zusammenhänge kön-

nen durch die Berechnung nachvollzogen werden. Die Abweichung der berechneten Werte von den gemessenen Werten liegt bei maximal 5%, zumeist jedoch deutlich darunter. Durch systematische Veränderung einzelner Parameter (wie z.B. Zuluftstrom, Zulufttemperatur) können qualitative und auch quantitative Aussagen über das Zusammenwirken der einzelnen Einflussgrößen gemacht werden. Es kann dabei festgestellt werden, dass die zumeist sehr unterschiedliche Einbausituation im Gebäude bei zum Teil sehr unterschiedlicher Nutzung einen erheblichen Einfluss auf die Wärmestromdichte hat. Die Abweichungen von den Basiswerten ohne Störung der freien Konvektion sind bemerkenswert. Abweichungen von -10% bis +20% sind möglich und müssen daher bei einer bedarfsorientierten Auslegung in jedem Fall berücksichtigt werden.

Eine der allgemeinen Erkenntnisse ist ferner, dass es in jedem Fall vorteilhaft ist, die Zulufttemperatur auf einen möglichst niedrigen Wert einzustellen. Die Summe der beiden Teilleistungen für Kühldecke und Belüftung ist in diesen Fällen stets am größten. Auf diesem Weg ist darüber hinaus eine ausreichende Entfeuchtung der Räume sichergestellt. Die bei der Entfeuchtung abgekühlte Zuluft sollte also nicht oder nur wenig nacherwärmt werden.

Diese zunächst für stationäre Anwendungen (Auslegungsfall) entwickelten Berechnungsansätze werden um die Zusammenhänge für die Berechnung dynamischer Vorgänge an und in der Kühldecke erweitert. Dies ist notwendig, da es in der praktischen Anwendung keine stationären Randbedingungen gibt. Stets sind die Temperaturen und Lasten über den Tag hin

weg im Fluss oder unterliegen sogar sprunghaften Änderungen (z.B. Innenlasten). Für diese Fälle ist es daher erforderlich, dass das Zeitverhalten der Komponente „Kühldecke“ ebenfalls mit in die Berechnungen aufgenommen wird. Die Erfahrung aus Untersuchungen an anderen Komponenten (z.B. Fußbodenheizung oder Heizkörper) zeigt, dass das jeweilige Zeitverhalten ganz erheblich die Regelfähigkeit und damit auch die bedarfsorientierte Auslegung beeinflusst.

Für die Untersuchungen zur Dynamik von Kühldecken wird ein einfaches Ersatzmodell für die Kühldecke verwendet. Dabei wird die Kühldecke durch Widerstände und Kapazitäten abgebildet (PT-Glied). Die maßgebliche Größe für die Quantifizierung der übertragenen Wärmestromdichte ist die Kühldeckenoberflächentemperatur. Die Temperaturdifferenzen zwischen Raum- und Oberflächen- bzw. zwischen Oberflächen- und Kühlwassertemperatur werden dabei durch die jeweiligen Widerstände festgelegt. Der äußere Widerstand wird durch den Wärmeübergang zwischen Raumluft und Oberfläche beschrieben. Der innere Widerstand wird bestimmt durch die Wärmeleitfähigkeit der verwendeten Materialien, deren Schichtdicken sowie durch die Wärmeübergänge an und in den Kühlrohren. Für dieses einfache Modell lassen sich analytische Lösungen in Form von Differentialgleichungen aufstellen, so dass die Berechnung der dynamischen Vorgänge wesentlich vereinfacht wird. Dieser Berechnungsansatz kann wie die bisher verwendeten Kennliniengleichungen in ein überlagertes Modell zur Berechnung der fehlenden Raumdaten (Fassadentemperatur, Kühllasten usw.)

eingebunden werden. Das aufgezeigte Verfahren hat gegenüber der bisherigen Vorgehensweise den wesentlichen Vorteil, dass erst so das Zeitverhalten der Kühldecke mit in die Berechnungen einfließen kann. Die Ergebnisse dieses vereinfachten Rechenmodells werden durch vergleichende Messungen verifiziert. Mit einfachen, dynamischen Vorgängen (Sprungantwort, Frequenzgang) können die Ergebnisse verglichen werden.

Die Übereinstimmung zwischen Mensch und Rechnung ist gut. So ist z.B. die Abweichung für die Zeitkonstante – eine der wesentlichen Größen bei der Beschreibung dynamischer Vorgänge – im Minutenbereich. Das vereinfachte Rechenmodell bildet den gemessenen zeitlichen Verlauf der Temperaturen an verschiedenen Kühldecken gut ab. Die Abweichungen der berechneten Temperaturen sind zumeist unter 0,5 K.

Die Erkenntnisse dieser Arbeit sollten zunächst dazu genutzt werden, die entsprechenden Modelle für die Gebäude- und Anlagensimulation zu verbessern. Damit wären dann Betrachtungen für die gesamte Kühlperiode möglich. Die Nutzenübergabe durch Kühldecken kann somit für Bedarfsberechnungen (Mehraufwand, Aufwandszahl im Sinne der Neufassungen der Richtlinie VDI 2067 an unterschiedliche Lösungen bei der Verteilung (Hydraulik) und Erzeugung (z.B. freie Kühlung oder Eisspeicher) gekoppelt werden. So lassen sich die jeweils besten Kombinationen für verschiedene Anwendungen feststellen (Energie-diagnose, Anlagen- und Betriebsoptimierung).

¹⁾ Beck, Christoph: Thermisches Verhalten von Kühldecken, Mitteilung Nr. 9, Stuttgart 2002 (Dissertation über den Herausgeber erhältlich)

* In den Blättern des HLKBRIEFes wird über die Aktivitäten des Lehrstuhls für Heiz- und Raumlufttechnik der Universität Stuttgart, der Forschungsgesellschaft HLK Stuttgart mbH, der HLK Stuttgart GmbH und des Vereins der Förderer der Forschung im Bereich HLK Stuttgart e.V (Herausgeber) berichtet. Pfaffenwaldring 6A, 70569 Stuttgart. E-Mail: info@vdf.info.

Der Energieaufwand der Nutzenübergabe bei Einzelheizgeräten*

Jörg Dipper¹⁾

In der vorliegenden Arbeit wird das energetische Verhalten von Einzelheizgeräten untersucht. Als Werkzeug wird die gekoppelte Simulation von Gebäude und Anlage eingesetzt, mit der Jahressimulationen durchgeführt werden. Beim Gebäudemodell werden dabei der Dämmstandard (ALTBAU, WSV95 und ESV), die Bauschwere (leicht und schwer) sowie der Fensterflächenanteil (20%, 40% und 60% Anteil an der Fassadenfläche) variiert. Die Nutzung wird über unterschiedliche Solltemperaturprofile und Innenlastprofile abgebildet. Für ein Elektrospeichergerät, ein elektrisches Direktheizgerät und einen Kachelofen wird der Energieaufwand der Nutzenübergabe berechnet.

Teilweise bestehende Rechenmodelle werden erweitert und durch Messungen kalibriert. Für das Direktheizgerät und den Kachelofen werden neue Rechenmodelle erstellt und die Ergebnisse mit Literaturwerten verglichen.

Ergebnis der Simulationsrechnungen ist die Gesamtaufwandszahl e_{ges} , die das Verhältnis von Aufwand des Heizsystems zum eigentlich nötigen Bedarf beschreibt.

Da hier aus Platzgründen nicht der volle Umfang der Arbeit dargestellt werden kann, soll im Folgenden die Bedeutung der Aufwandszahl für die Verhältnisse im Raum dargestellt werden. Die einzelnen Ergebnisse für die unterschiedlichen Heizsysteme und Randbedingungen sind in der Arbeit zu finden.

Die Heizlast unter Auslegebedingungen kann nach Gleichung (1) berechnet werden. Sie setzt sich aus dem Anteil für die Transmissi-

on und dem Anteil für die Lüftung zusammen:

$$\begin{aligned} \dot{Q}_N &= k \cdot A \cdot (\vartheta_i - \vartheta_a) + \dot{m}_L \cdot c_p \cdot (\vartheta_i - \vartheta_a) \\ \dot{Q}_N &= (k \cdot A + \dot{m}_L \cdot c_p) \cdot (\vartheta_i - \vartheta_a) \\ \dot{Q}_N &= F \cdot (\vartheta_i - \vartheta_a) \end{aligned} \quad (1)$$

Der Referenzenergiebedarf kann als über den Betrachtungszeitraum integrierte, konstante Wärmeleistung gesehen werden, die bei einer durchschnittlichen Temperaturdifferenz zwischen Innen und Außen entsteht:

$$Q_{0,N} = F \cdot \Delta \bar{\vartheta}_0 \cdot 8760\text{h} \quad (2)$$

Daraus folgt:

$$\Delta \bar{\vartheta}_0 = \frac{Q_{0,N}}{F \cdot 8760\text{h}} \quad (3)$$

Der Energieaufwand der Nutzenübergabe führt zu einer Erhöhung dieser durchschnittlichen Temperaturdifferenz.

$$Q_1 = F \cdot (\Delta \bar{\vartheta}_0 + \Delta \vartheta) \cdot 8760\text{h} \quad (4)$$

Aus der Definition der Relativen Heizlast folgt für den Referenzenergiebedarf:

$$\beta = \frac{Q_{0,N}}{\dot{Q}_N \cdot 8760\text{h}} \quad (5)$$

$$Q_{0,N} = \beta \cdot \dot{Q}_N \cdot 8760\text{h}$$

Mit (2) und (4) folgt aus der Definition der Aufwandszahl:

$$e_1 = \frac{Q_1}{Q_{0,N}} \quad (6)$$

$$\Delta \vartheta = \Delta \bar{\vartheta}_0 \cdot (e_1 - 1) \quad (7)$$

(3) in (7) eingesetzt ergibt:

$$\Delta \vartheta = \frac{Q_{0,N}}{F \cdot 8760\text{h}} \cdot (e_1 - 1) \quad (8)$$

Mit (5) erhält man:

$$\Delta \vartheta = \frac{\beta \cdot \dot{Q}_N \cdot 8760\text{h}}{F \cdot 8760\text{h}} \cdot (e_1 - 1) \quad (9)$$

Und schließlich mit (1):

$$\Delta \vartheta = \beta \cdot (\vartheta_i - \vartheta_a) \cdot (e_1 - 1) \quad (10)$$

Wenn die Solltemperatur für den Referenzbedarf um den Betrag $\Delta \vartheta$ angehoben würde, wäre der Energiebedarf $Q_{0,N}$ des Referenzheizsystems gleich groß wie der Energieaufwand Q_1 des realen Heizsystems. Wird der Raum nicht durchgehend beheizt, muss der Wert der Temperaturerhöhung noch korrigiert werden:

$$\Delta \vartheta_{\text{korrt}} = \Delta \vartheta \frac{24\text{h}}{t_{\text{Heiz}}} \quad (11)$$

In der folgenden Tabelle sind für

$$\vartheta_i = 20^\circ\text{C} \text{ und } \vartheta_a = -12^\circ\text{C}$$

für verschiedene untersuchte Heizsysteme Zahlenbeispiele angeführt.

Heizsystem	Relative Heizlast	Aufwandszahl	Temperaturerhöhung
Direktheizgerät	0,04	1,15	0,3 K
Elektrospeichergerät	0,04	2,8	3,45 K
Kachelofen	0,04	1,7	1,35 K

Tabelle 1: Zahlenbeispiel mit verschiedenen Heizsystemen für den Zusammenhang zwischen Relativer Heizlast, Aufwandszahl und mittlerer Temperaturerhöhung

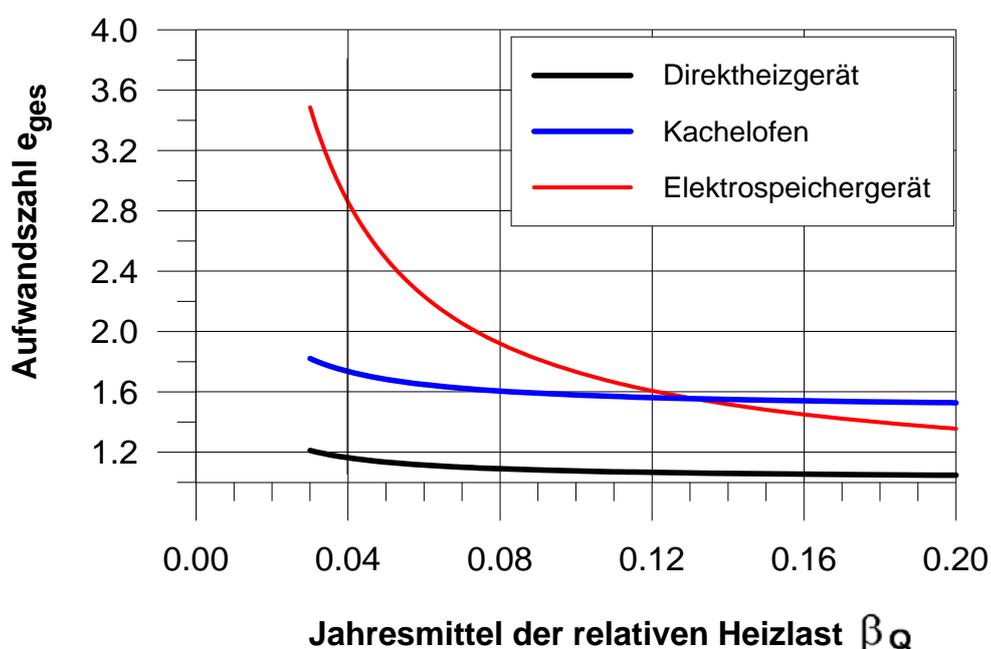


Bild 1: Verlauf der Aufwandszahl über der Relativen Heizlast für die beispielhaft angeführten Heizsysteme.

Die Zahlenwerte beziehen sich auf Solltemperaturprofil mit Nachtabsenkung. Dies bedeutet, dass trotz der hohen Aufwandszahl von z.B. 2,8 beim Elektrospeichergerät die

Raumtemperatur nur ca. 3,5 K über dem Sollwert liegt. Dieser Unterschied wird von den meisten Nutzern weder wahrgenommen noch als unbehaglich eingestuft.

¹⁾ Dipper, Jörg (Modine Europe GmbH, Filderstadt): Der Energieaufwand der Nutzenübergabe bei Einzelheizgeräten, Mitteilung Nr. 10, Stuttgart 2002 (Dissertation über den Herausgeber erhältlich).

* In den Blättern des HLKBRIEFes wird über die Aktivitäten des Lehrstuhls für Heiz- und Raumlufttechnik der Universität Stuttgart, der Forschungsgesellschaft HLK Stuttgart mbH, der HLK Stuttgart GmbH und des Vereins der Förderer der Forschung im Bereich HLK Stuttgart e.V. (Herausgeber) berichtet. Pfaffenwaldring 6A, 70569 Stuttgart. E-Mail: info@vdf.info.

Auslegung lufttechnischer Einrichtungen zur Stofferrfassung*

Armin Walz¹⁾

Die rechnerische Auslegung von Erfassungseinrichtungen basiert bisher im Wesentlichen auf der Betrachtung von entkoppelten Einzelströmungsvorgängen (Senkenströmung, Thermikströmung). Um andere Einflussgrößen (Störluftbewegungen, Größe der Produktionseinrichtung) bei der Dimensionierung des Erfassungsluftstroms zu berücksichtigen, bedarf es einer subjektiven Entscheidung des Planers. Diese Unsicherheiten bei der Planung von Erfassungseinrichtungen können dazu führen, dass der Erfassungsluftstrom deutlich überdimensioniert wird oder, bei einer ungünstigen Auswahl bzw. Anordnung der Erfassungseinrichtung, dass die Erfassungswirkung nicht ausreicht, um die Gefahrstoffgrenzwerte im Arbeitsbereich einzuhalten. In der vorliegenden Arbeit wird nun ein Verfahren zur bedarfsgerechten Konzipierung von Erfassungseinrichtungen (offene Bauart) bei isothermen sowie thermisch geprägten Stoffausbreitungsvorgängen vorgestellt.

Zur Erarbeitung von Grundlagen für die Auslegung von Erfassungseinrichtungen, mit denen die Strömungsvorgänge vollständig und geschlossen berücksichtigt werden können, werden die wesentlichen Einflussgrößen auf die Erfassungswirkung systematisch untersucht.

Die experimentellen Untersuchungen werden auf einem Prüfstand für Erfassungseinrichtungen durchgeführt. Zur numerischen Simulation wird ein kommerzielles Finite-Volumen-Programm eingesetzt. Um sicherzustellen, dass die Simu-

lationsergebnisse gleich den Messergebnissen gewichtet werden können, werden die beiden Untersuchungsmethoden für verschiedene Beispielfälle miteinander verglichen. Die in der Simulation vorgegebenen Randbedingungen werden, falls erforderlich, so angepasst, dass eine gute Übereinstimmung zwischen Experiment und Berechnung erzielt wird. Die auf diese Weise kalibrierte numerische Simulation wird anschließend für Parameterstudien eingesetzt, die auf dem Prüfstand nicht realisiert werden können.

Ausgehend von Untersuchungen zum ungestörten Strömungsfeld vor frei stehenden Saugrohren mit Einströmdüsen und Flansch werden die Isotachenfelder der Erfassungselemente in Abhängigkeit von der Flanschgröße berechnet und allgemeingültig aufbereitet. Zur Absicherung der Ergebnisse werden die Simulationsdaten mit Messwerten und Angaben aus der Literatur verglichen. Die ermittelten örtlichen Sauggeschwindigkeiten dienen als Bezugsgrößen sowohl für die weiteren Untersuchungen zur Erfassungswirkung als auch für die Erstellung der Auslegungsgrundlagen. Darüber hinaus werden aus den Ergebnissen Berechnungsgleichungen

$$w_x / w_0 = f(x/d) \text{ bzw.}$$

$$w_x / w_0 = f(x/d, b/d)$$

für den Geschwindigkeitsverlauf auf der Saugachse entwickelt. Es kann gezeigt werden, dass die örtlichen Luftgeschwindigkeiten w_x mit den entwickelten Polynom- und Kennfeldgleichungen präziser berechnet werden können als mit den bisher vorliegenden Ansätzen.

Basierend auf experimentellen Untersuchungen und numerischen Simulationen wird der Erfassungsgrad von unterschiedlich geformten Erfassungseinrichtungen (Saugrohre mit Einströmdüse und kleinem, mittelgroßem und großem Flansch) in Abhängigkeit vom Erfassungsluftstrom (sog. Erfassungsgradkennlinie) ermittelt. Als Parameter werden die Geschwindigkeit der Störluftbewegung, der Abstand bzw. Versatz zwischen Erfassungselement und Stoffquelle, die Quellstärke sowie die Hauptabmessungen der Stoffquelle variiert. Insgesamt werden acht Wärme- und Stoffquellen in Kombination mit bis zu drei Erfassungselementen untersucht.

Die ermittelten Erfassungsluftströme machen noch einmal deutlich, dass eine Erfassungseinrichtung offener Bauart nur dann eingesetzt werden sollte, wenn aus Handhabungsgründen keine andere Maßnahme zur direkten Stofferrfassung (in die Produktionseinrichtung integrierte Absaugung, Kapselung, Einhausung) möglich ist.

Aus den gewonnenen Ergebnissen werden neue, in der Praxis einfach zu handhabende Auslegungsgrundlagen für Erfassungseinrichtungen entwickelt. Die Ergebnisse sind so aufbereitet und in Auslegungsdiagrammen (Bild 1 und Bild 2) dargestellt, dass sie für die Planung in der Praxis unmittelbar genutzt werden können. Bei der Dimensionierung des Erfassungsluftstroms können nun die relevanten thermischen und strömungstechnischen Randbedingungen, die Bauform und die Anordnung des Erfassungselements sowie die

Abmessungen der Produktionseinrichtung berücksichtigt werden. Ausgangspunkt für die Auslegung eines Saugrohrs mit Einströmdüse und Flansch ist die Analyse der relevanten Randbedingungen (Temperaturdifferenz ΔT , Geschwindigkeit der Querströmung w_{quer} usw.) im Arbeitsbereich. Sind diese bekannt oder definiert, wird die betreffende Produktionseinrichtung einer der in dieser Arbeit untersuchten Wärme- und Stoffquellen mit ähnlichen Abmessungen zugeordnet. Anschließend werden die minimale Anordnungshöhe der Erfassungseinrichtung H und deren mögliche Baugröße (Saugrohrdurchmesser d bzw. Flanschbreite b) gemäß den produktionstechnischen Erfordernissen ermittelt. Nach der Auswahl des Erfassungselements und der Festlegung des erforderlichen Erfassungsgrads η wird der Erfassungsluftstrom \dot{V}_{ER} für eine zentri-

sche Anordnung des Erfassungselements über der Stoffquelle aus dem zugehörigen Auslegungsdiagramm ($\Delta T = 0 \dots 60 \text{ K}$, $w_{\text{quer}} \leq 0,4 \text{ m/s}$) abgelesen. Höhere Übertemperaturen zwischen Produktionseinrichtung und Umgebungsluft ($\Delta T \geq 60 \text{ K}$), Quergeschwindigkeiten $w_{\text{quer}} > 0,4 \text{ m/s}$, horizontaler Versatz zwischen Saugrohr und Stoffquelle E sowie der tatsächliche Durchmesser der Produktionseinrichtung D^* können über empirische Korrekturfaktoren K_i berücksichtigt werden. Anhand eines Beispiels wird die Handhabung der Auslegungsgrundlagen demonstriert.

Mit den Auslegungsdiagrammen und den Korrekturfaktoren K_i sind die Grundlagen geschaffen, damit Erfassungseinrichtungen einfach, systematisch und bedarfsgerecht ausgelegt werden können. Der Ablauf der Planung wird dadurch transparent und sowohl für Betrei-

ber von Erfassungseinrichtungen als auch für Aufsichtsorgane in den Betrieben nachvollziehbar. Da in der vorliegenden Arbeit nur die Stoffemission in Richtung der Saugöffnung betrachtet wird, ist der Anwendungsbereich der Auslegungsgrundlagen noch eingeschränkt. Ziel weiterer Untersuchungen muss es deshalb sein, die Anwendbarkeit derartiger Auslegungsgrundlagen auf andere Emissionsvorgänge zu erweitern. Dazu sind die Einflüsse der Stoffart, der Emissionsrate, des Anfangsimpulses und der Ausbreitungsrichtung auf die Stofffassung eingehend zu untersuchen.

¹⁾ Walz, Armin (Modine Europe GmbH, Filderstadt): Auslegung lufttechnischer Einrichtungen zur Stofffassung, Mitteilung Nr. 13, Stuttgart 2003 (Dissertation über den Herausgeber erhältlich).

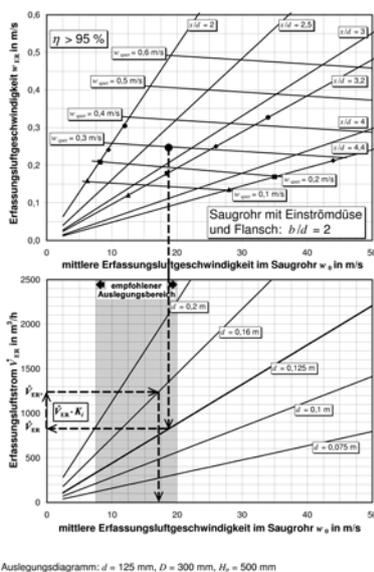


Bild 1: Beispiel eines Auslegungsdiagramms

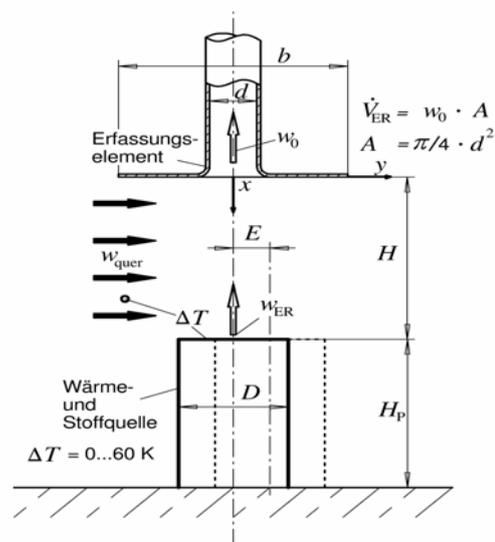


Bild 2: Parameterbezeichnung zur Nutzung der Auslegungsdiagramme

* In den Blättern des HLKBRIEFes wird über die Aktivitäten des Lehrstuhls für Heiz- und Raumlufttechnik der Universität Stuttgart, der Forschungsgesellschaft HLK Stuttgart mbH, der HLK Stuttgart GmbH und des Vereins der Förderer der Forschung im Bereich HLK Stuttgart e.V (Herausgeber) berichtet. Pfaffenwaldring 6A, 70569 Stuttgart. E-Mail: info@vdf.info.

Einfluss des Strahlungsanteils auf den energetischen Aufwand von Deckenstrahlplatten*

Klaus Menge¹⁾

Deckenstrahlplatten sind ein übliches System zur Beheizung vorrangig von hohen Räumen. Bei genauer Betrachtung der einzelnen Systeme sind jedoch Unterschiede in der Art der Nutzenübergabe erkennbar.

Deckenstrahlplatten sind für den Laien ein rein strahlendes Übergabesystem; bei genauerer Betrachtung wird deutlich, dass auch diese Systeme konvektive Wärme abgeben.

Die Wärmeabgabe erfolgt:

- 1.) an der Unterseite etwa zu 65 bis 70% der Gesamtwärmeleistung in Form von Strahlung
- 2.) an der Unterseite etwa zu 20 bis 25% in Form von Konvektion
- 3.) zu 10% an der gedämmten Oberseite durch Konvektion und Strahlung.

Daher bildet sich in jedem Raum ein vom Anteil der konvektiven Wärmeleistung abhängiger Lufttemperatur-Gradient aus. Dies bedeutet, dass sich die wärmste Luft unter dem Dach des zu beheizenden Raumes befindet. Diese dient nicht der Beheizung des Aufenthaltsbereiches hoher Räume, sondern erhöht den Wärmeverlust an der Dachfläche, welcher proportional der Lufttemperatur zunimmt. Aufgrund des üblichen Aufenthaltsbereiches der Nutzer hoher Räume ist eine Aufteilung in eine Anforderungszone und eine Technikzone daher nahe liegend, wovon lediglich die Anforderungs-

zone beheizt werden müsste. Da keine Trennung der Zonen möglich ist, muss der Lufttemperatur-Gradient so klein wie möglich gehalten und die konvektive Wärmeabgabe der Deckenstrahlplatten auf ein Minimum begrenzt werden. Das anzustrebende Verhältnis liegt bei 85 % Strahlungswärmeleistung und 15% Konvektion.

Deckenstrahlplatten lassen sich nur dann optimieren, wenn das Zusammenwirken von Strahlung und Konvektion untersucht und beschrieben werden kann. Daher bietet sich die Möglichkeit der numerischen Simulation an, was einen umfassenden Einblick in die Nutzenübergabe an den sowie die Thermik im umschließenden Raum erlaubt. Für die Simulation eines hohen Raumes wird ein Ausschnitt aus einem 6 m hohen Raum gewählt.

Wie erwartet, bleibt die Temperaturschichtung im Raum stabil. Es wird ersichtlich, dass die Lufttemperaturschichtung bei einer konventionellen ebenen Deckenstrahlplatte über die Anforderungszone hinaus bis zu einem Abstand von ca. 80 cm unter der Strahlplatte konstant bleibt. Ab dieser Höhe nimmt sie stark zu, was die getroffenen Annahmen bestätigt (Bild 1). Um eine niedrigere konvektive Wärmeabgabe zu erzielen, muss bereits durch die Deckenstrahlplatte erwärmte Luft so weit wie möglich unter der Platte gehalten werden. Ein allseitig umlaufender nach unten geneigter Rand würde

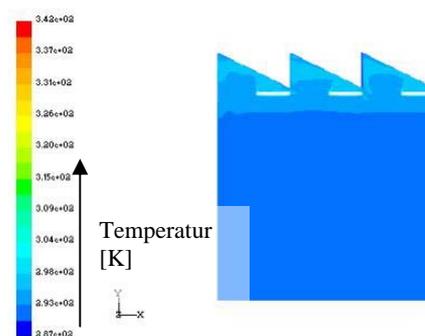


Bild 1: Lufttemperatur in einem hohen Raum bei Einsatz einer konventionellen Strahlplatte

das verhindern. Mit diesem Grundkonzept wird eine in der Konvektion reduzierte Deckenstrahlplatte simuliert.

Im Vergleich erfolgt ein Anstieg der Lufttemperatur erst oberhalb der neu entwickelten Strahlplatte. Die gebogene Strahlplatte weist einen um 11 %-Punkte gesteigerten Strahlungsanteil von 80 % auf. Die durch Strahlplatten erwärmte Luft zirkuliert generell im oberen Bereich eines Raumes. Die Erwärmung des Raumes, seiner Umschließungsflächen, der im Raum befindlichen Personen und Gegenstände erfolgt nur durch Wärmestrahlung. Der Konvektivanteil einer Strahlplatte hat keinen Einfluss auf die Lufttemperatur der Anforderungszone (Bild 2). Für die energetische Bewertung wird der Raum in drei Zonen aufgeteilt:

- A1 Anforderungszone
- A1' Luftraum
- A2 Technikzone

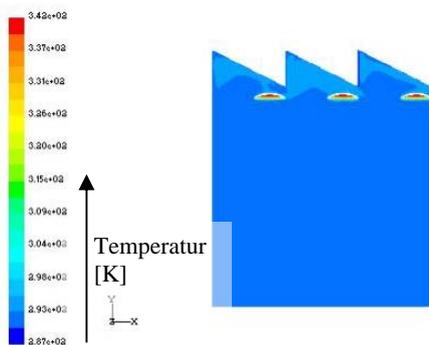


Bild 2: Lufttemperatur in einem hohen Raum bei Einsatz einer gebogenen Strahlplatte

Als Referenzheizlast wird in Analogie zum Referenzbedarf die Leistung zur Erwärmung des Raumes auf Solltemperatur in allen Zonen definiert

Im realen Fall sind die Lufttemperaturen in den Zonen A1' und A2 höher als der Sollwert mit der Folge einer größeren Wärmeleistung. Für die energetische

Bewertung wird das Verhältnis der Wärmeleistung zur Referenzheizlast gebildet. Der „Leistungsaufwand der Nutzenübergabe bei hohen Räumen“ wird hier mit LAHR abgekürzt und für den simulierten Raum berechnet. Für ebene Strahlplatten ergibt:

$$\text{LAHR}_{\text{konv DSP}} = 1,16$$

sowie für Deckenstrahlplatten mit kleinem Konvektivanteil:

$$\text{LAHR}_{\text{Neue DSP}} = 1,05$$

Der Vergleich zeigt eine um 10% reduzierte Leistung bei Einsatz einer in der Konvektion reduzierten Strahlplatte.

Mit der Beurteilung der Wärmeübergangsvorgänge an dem entwickelten CFD-Modell für Raumluftströmungen von Deckenstrahlplatten wird die gängige Vorstellung, dass die Konvektion an

Strahlplatten der Beheizung der Anforderungszone zugute kommt, widerlegt. Es wird deutlich, dass die Nutzenübergabe von der Deckenstrahlplatte an die zu erwärmende Zone nur auf der abgegebenen Wärmestrahlung basiert. Mit dieser Erkenntnis wird eine in der Konvektion reduzierte Deckenstrahlplatte entwickelt. Weiterhin wird eine Kenngröße zum Vergleich verschiedener Strahlplatten definiert. Ziel ist es somit, durch geeignete Rahmenbedingungen eine Verbreiterung der energiesparenden Deckenstrahlplatte zu forcieren.

¹⁾ Menge, Klaus (Frenger-Systeme BV, Heiz- und Kühltechnik GmbH, Groß-Umstadt): Einfluss des Strahlungsanteils auf den energetischen Aufwand von Deckenstrahlplatten, Mitteilung Nr. 12, Stuttgart 2003 (Dissertation über den Herausgeber erhältlich).

* In den Blättern des HLKBRIEFes wird über die Aktivitäten des Lehrstuhls für Heiz- und Raumlufttechnik der Universität Stuttgart, der Forschungsgesellschaft HLK Stuttgart mbH, der HLK Stuttgart GmbH und des Vereins der Förderer der Forschung im Bereich HLK Stuttgart e.V (Herausgeber) berichtet. Pfaffenwaldring 6A, 70569 Stuttgart. E-Mail: info@vdf.info.

Überprüfung von Automatisierungsfunktionen heiz- und raumluftechnischer Anlagen*

Robert F. Grob¹⁾

Neu erstellte heiz- und raumluftechnische Anlagen befinden sich wider der allgemeinen Erwartung häufig nicht in ihrem planungsgemäßen Zustand. Die Anlagen funktionieren zwar im Hinblick darauf, dass beispielsweise die geforderten Raumlufbedingungen erreicht werden, weisen aber dennoch energetische Mängel auf, die für den Endverbraucher nicht erkennbar sind. Diese Mängel sind vor allem darauf zurückzuführen, dass prinzipielle Fehler in den Automatisierungsfunktionen zur Steuerung und Regelung der Anlagen bei der Inbetriebnahme unentdeckt bleiben.

Die Ursache hierfür liegt zum einen darin, dass heiz- und raumluftechnische Anlagen in der Regel als Einzelstücke, die auf den jeweiligen Anwendungsfall genau zugeschnitten sind, geplant und ausgeführt werden und somit keine Möglichkeit besteht, die Anlage im Gegensatz zu Serienprodukten in einer „Nullserie“ zu testen und zu überprüfen. Zum anderen besteht bei der Inbetriebnahme der Automatisierungsfunktionen heiz- und raumluftechnischer Anlagen aufgrund des vorgegebenen zeitlichen Ablaufs des Bauprozesses, der meist mit einem vertraglich festgelegten Übergabetermin endet, ein zeitliches Problem. Dieses resultiert aus dem Sachverhalt, dass die Automatisierungsfunktionen erst in Betrieb genommen und überprüft werden können, wenn die übrigen Anlagen installiert sind. In den der Inbetriebnahme und Abnahme der Automatisierungssysteme vor gelagerten Bauprozessen treten jedoch im Allgemeinen Verzögerungen

auf. Dadurch wird der ohnehin knapp bemessene Zeitraum für die Inbetriebnahme der Automatisierungsfunktionen in den meisten Fällen so stark verkürzt, dass bei dieser – wenn überhaupt – nur noch elementare Sicherheitsfunktionen überprüft werden können.

In der vorliegenden Arbeit wird eine Methode vorgestellt, mit der Automatisierungsfunktionen heiz- und raumluftechnischer Anlagen unabhängig vom Stand des Baufortschritts und der Anlageninstallation überprüft werden können. Damit kann die Inbetriebnahme solcher Funktionen aus dem bisher fest vorgegeben zeitlichen Ablauf des Bauprozesses herausgelöst werden. Für die Überprüfung von Automatisierungsfunktionen werden dabei InbetriebnahmeprozEDUREN in einer virtuellen Testumgebung ausgeführt. Die InbetriebnahmeprozEDUREN werden auf der Basis von grundsätzlichen Überlegungen zur Überprüfung von Automatisierungsfunktionen sowie von in der Praxis ermittelten Anforderungen an deren Inbetriebnahme erarbeitet. Die Prozeduren werden in einem eigens hierfür entwickelten Emulator für Automatisierungssysteme von heiz- und raumluftechnischen Anlagen durchgeführt. Der Emulator bildet dabei eine virtuelle Testumgebung, in der eine Betriebssimulation der zu steuernden und zu regelnden Anlagen mit dem zu überprüfenden Automatisierungssystem verbunden wird.

In der Simulation wird das Betriebsverhalten der zu steuernden und regelnden realen Anlage nachgebildet, indem das Verhalten

der einzelnen heiz- und raumluftechnischen Komponenten modelliert wird. Um eine möglichst große Abbildungsgenauigkeit zu erhalten und gleichzeitig das Betriebsverhalten der virtuellen Anlage mit dem der realen Anlage möglichst einfach abgleichen zu können, wird das Verhalten der einzelnen Anlagenkomponenten mit Hilfe von Kennlinienmodellen beschrieben. Die Modelle sind dabei so aufgebaut, dass sie mit Hilfe vom Hersteller vorgegebenen oder direkt an der betreffenden Komponente gemessenen Betriebspunkten parametrisiert werden können. Bei der Inbetriebnahme von Automatisierungsfunktionen in der virtuellen Testumgebung können des Weiteren im Gegensatz zur realen Anlage, in der die inneren und äußeren Lasten nicht oder nur mit großem Aufwand verändert werden können, mit Hilfe der Betriebssimulation beliebige realitätsnahe Randbedingungen generiert werden. Da diese Randbedingungen beliebig reproduzierbar sind, besteht für den Fall, dass bei einer Überprüfung Mängel festgestellt werden, die Möglichkeit, die gleichen Tests zu einem späteren Zeitpunkt zu wiederholen und so nachzuweisen, dass die Fehler behoben sind.

Die entwickelte Methode wird schließlich auf das Automatisierungssystem einer realen, im Betrieb befindlichen Anlage angewandt. In den Automatisierungsfunktionen dieser Anlage, die entsprechend den derzeit gültigen Vorschriften und Richtlinien beispielhaft geplant und ausgeführt ist, können mit Hilfe der erarbeiteten InbetriebnahmeprozEDUREN in-

nerhalb kürzester Zeit bisher unentdeckte Mängel, die sich vor allem auf den Energieaufwand der Anlage auswirken, aufgezeigt werden. So wird beispielsweise ein Fehler in der Mischklappenregelung der Anlage festgestellt, der im Kühlfall einen deutlich erhöhten Kühlenergieaufwand zur Folge hat. Mit der in dieser Arbeit vorgestellten Methode und dem zugehör-

igen Instrumentarium zur Überprüfung von Automatisierungsfunktionen heiz- und raumluftechnischer Anlagen besteht erstmals die Möglichkeit, die Inbetriebnahme von Automatisierungssystemen aus dem bisher praktizierten zeitlichen Ablauf herauszulösen. Dadurch ist eine vollständige Überprüfung der in solchen Systemen implementierten Funktionen möglich. Der

flächendeckende Einsatz der Methode könnte ein gewaltiges energetisches und wirtschaftliches Einsparpotential erschließen.

¹⁾ Grob, Robert F. (DS-Plan GmbH, Stuttgart): Überprüfung von Automatisierungsfunktionen heiz- und raumluftechnischer Anlagen, Mitteilung Nr. 11, Stuttgart 2003 (Dissertation über den Herausgeber erhältlich).



Bild 1: Frontansicht des neuen Emulationsstands

* In den Blättern des HLKBRIEFes wird über die Aktivitäten des Lehrstuhls für Heiz- und Raumluftechnik der Universität Stuttgart, der Forschungsgesellschaft HLK Stuttgart mbH, der HLK Stuttgart GmbH und des Vereins der Förderer der Forschung im Bereich HLK Stuttgart e.V (Herausgeber) berichtet. Pfaffenwaldring 6A, 70569 Stuttgart. E-Mail: info@vdf.info.

BOLKA– Bestimmung des Energieaufwands zur Optimierung von Luftkanalsystemen Raumluft-technischer Anlagen*

Fred Kolarik¹⁾, Jens Lampert²⁾*

Bei RLT-Anlagen wird ein Großteil der Primärenergie für die Luftförderung und Verteilung im Gebäude benötigt. Bei der Planung und Auslegung von RLT-Anlagen steht aber meist die Deckung des jeweiligen maximalen Heiz- und Kühlbedarfs im Vordergrund. Gegenwärtig wird jedoch mehr und mehr auch der zu erwartende Jahresenergiebedarf der Anlage berücksichtigt, sofern dieser bekannt ist. In Zusammenarbeit mit der TU Dresden ist deshalb ein Verfahren, mit dem der Jahresenergieaufwand für den Lufttransport berechnet werden kann, entwickelt worden. Hervorzuheben ist dabei, dass das Verfahren die wechselnden hydraulischen Verhältnisse im Netz, berücksichtigen kann, d.h. instationäre strömungstechnische Vorgänge, n werden bei der Berechnung berücksichtigten kann. Somit steht ein weiteres Werkzeug für die energetische Beurteilung von RLT-Anlage zur Verfügung und kann in das Berechnungsverfahren der VDI 2067 Blatt 21 integriert werden. Derzeit wird im Richtlinienwerk nur auf den Teilbereich Luftbehandlung eingegangen. Das Projekt wird von der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen (AiF**) gefördert.

Der gewählte Ansatz hierzu basiert auf der für die Heiztechnik entwickelten und auf den Bereich der Raumlufttechnik erweiterte Theorie /2/ der Bedarfsentwicklung, mit den Systembereichen Nutzenübergabe, Verteilung und Erzeugung. Der Systembereich Nutzenübergabe lässt sich in Richtung der Bedarfsentwicklung wiederum in die leicht abgrenzbaren Untersysteme unterteilen:

- Luftführung (Luftdurchlass, Erfassungseinrichtungen etc.)
- Luftverteilung (Ventilator, Luftkanal, Luftklappe etc.)
- Luftbehandlung (Kühler, Erwärmer, Befeuchter, Filter etc.)

unterteilen.

Berechnungsverfahren

Der Energieaufwand für den Lufttransport wird in zwei Schritten berechnet. Dabei entfällt bei Anlagen mit konstantem Volumenstrom (KVS) der erste Schritt. Die Zu- und Abluftseite wird dabei getrennt betrachtet. In einem

1. Schritt:

Hier wird mit Hilfe der Gebäudesimulation für jeden Raum der Zuluftvolumenstrom zur Einhaltung der Nutzenanforderungen (Temperatur, Feuchte, Stoffkonzentrationen) des Raums berechnet. Im Ergebnis liegen Daten für den Zuluftvolumenstrom je Zone und je Zeitschritt vor. Für den Abluftstrom gilt dasselbe Vorgehen.

2. Schritt:

In Schritt 2 wird mit der Anlagensimulation der Energieaufwand für den Lufttransport je Zeitschritt berechnet. Durch Aufsummieren der

Einzelwerte über den Zeitraum eines Jahres erhält man den jährlichen Energieaufwand.

Da in einem Zeitschritt an allen Luftauslässen die Zuluftvolumenströme aus Schritt 1 bekannt sind, liegen somit auch die Geschwindigkeiten in allen Teilstrecken vor. Damit lassen sich für alle Abzweigungen die Widerstandsbeiwerte ohne Iterationen berechnen. Im Ergebnis der Druckverlustberechnung liegen bei Beachtung der Art der Regelung des Ventilators der Gesamtdruckverlust des Netzes und der Volumenstrom für jeden Zeitschritt vor. Zusätzlich werden zum Gesamtdruckverlust des Netzes die Verluste am Ein- und Austritt des Ventilators addiert. Zusammen mit dem Ventilator Kennfeld kann der Betriebspunkt des Ventilators und somit die erforderliche Leistung an der Ventilatorwelle bestimmt werden. Nach Berücksichtigung der

Verluste des Keilriemenantriebs, des Wirkungsgrads von Motor und Frequenzumformer liegt die elektrische Leistungsaufnahme des Ventilators für jeden Zeitschritt vor. Die Integration der Ergebnisse für die elektrische Leistungsaufnahme des Frequenzumformers über den Zeitraum von einem Jahr liefert den jährlichen Energieaufwand für den Lufttransport.

Die Aufteilung in die zwei Berechnungsschritte ist für die Berechnung des Energieaufwands bei der Annahme möglich, dass im 2. Schritt die Volumenstromregler exakt den im ersten Schritt berechneten Zuluftvolumenstrom bereitstellen. Dies ist in der Praxis in guter Näherung auch so, da selbst bei auftretenden Volumenstrommessfehlern, sich immer der zur Einhaltung des Raumtemperatursollwerts erforderliche Zuluftstrom einstellt.

Vereinfachtes Berechnungsverfahren

Das Ziel ist, dem Planer ein einfaches Berechnungsverfahren für den jährlichen Elektroenergieaufwand des Lufttransports zur Verfügung zu stellen. Der Planer wählt im Rahmen der Entwurfsplanung für ein Gebäude z.B. drei Anlagenvarianten aus und berechnet damit jeweils den jährlichen Energieaufwand. Als Grundlage des vereinfachten Rechenverfahrens werden dann Kennzahlen verwendet. Damit lässt sich zusammen mit den Auslegungsgrößen der Anlage (Nennvolumenstrom, Betriebszeit, usw. ...) der jährliche Energieaufwand ermitteln.

Für die elektrische Leistungsaufnahme im Auslegungsfall gilt:

$$P_{el,N} = \frac{\Delta p_t \cdot \dot{V}_N}{\eta_t \cdot \eta_R \cdot \eta_M \cdot \eta_{FU}} \quad (1)$$

Die Totaldruckerhöhung beinhaltet dabei die Einbauverluste am Ventila-

latorein- und -austritt. Mit der Auslegung der raumlufttechnischen Anlage durch den Planer, liegen alle diese Daten vor. So kann der Planer z.B. für eine Anlage die Varianten *großes* Zentral-Gerät vs. *kleines* Zentral-Gerät beurteilen. Weiterhin kann der Einfluss des Ventilator Typs, z.B. Gehäuseventilator mit Keilriemenantrieb vs. ein freilaufendes Rad, bestimmt werden.

Mit den Ergebnissen der Gl.Gleichung (1) für alle Varianten sind die Unterschiede bei der elektrischen Leistungsaufnahme im Auslegungsfall bekannt. Diese prozentualen Unterschiede entsprechen den Unterschieden beim jährlichen Energieaufwand einer Anlage mit der Betriebsweise KVS, da sich dieser Wert durch die Multiplikation der elektrischen Leistungsaufnahme im Auslegungsfall mit der Betriebszeit errechnet:

$$W_{KVS} = P_{el,N} \cdot t \quad (2)$$

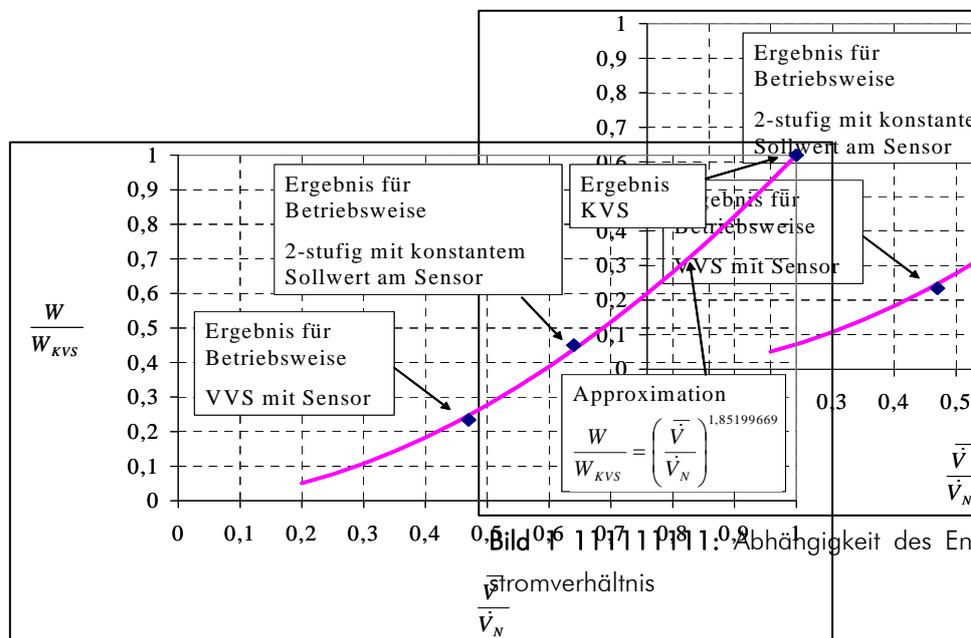
Für Anlagen mit mehrstufigem Betrieb gilt:

$$W_{2\text{-stufig}} = P_{el,N} \cdot t_N + P_{el,1.Stufe} \cdot t_{1.Stufe} \quad (3)$$

Im Rahmen des Projekts wurde zusätzlich ein Verfahren erarbeitet, mit dem auch Anlagen mit der Betriebsweise VVS berücksichtigt werden können (Bild 1). Das Verhältnis zwischen mittlerem Luftstrom zu Auslegungsluftstrom ist dabei eine wesentliche Eingangsgröße. Der Energieaufwand für die Betriebsweise VVS kann damit aus der KVS Betriebsweise über folgende Gleichung berechnet werden:

$$W = \left(\frac{\bar{V}}{\dot{V}_N} \right)^h \cdot W_{KVS} = \left(\frac{\bar{V}}{\dot{V}_N} \right)^h \cdot P_{el,N} \cdot t \quad (4)$$

Die für die Bestimmung des Exponenten h notwendigen Gleichungen und Kennzahlen sind im Forschungsbericht /3/ angegeben.



Weitere Informationen zum Forschungsprojekt und der dazugehörige Forschungsbericht finden sich unter

<http://www.lhr.ike.uni-stuttgart.de/projekts/laufproj.html>

Literatur:

/1/ VDI 2067 , Blatt 21, Februar 2002. Wirtschaftlichkeit gebäude-

* In den Blättern des HLKBRIEFes wird über die Aktivitäten des Lehrstuhls für Heiz- und Raumluftechnik der Universität Stuttgart, der Forschungsgesellschaft HLK Stuttgart mbH, der HLK Stuttgart GmbH und des Vereins der Förderer der Forschung im Bereich HLK Stuttgart e.V (Herausgeber) berichtet. Pfaffenwaldring 6A, 70569 Stuttgart. E-Mail: info@vdf.info.

* Institut für Thermodynamik und

TGA, TU Dresden

** Arbeitsgemeinschaft industrieller Förderer

technischer Anlagen: Energieaufwand der Nutzenübergabe Raumluftechnik.

/2/ Reichert, E.: Ein Verfahren zur Bestimmung des Energie- und Stoffaufwands zur Luftbehandlung bei raumluftechnischen Anlagen. Universität Stuttgart. Dissertation 2000.

/3/ Kolarik, F.; Lampert, J.: Bestimmung des Energiebedarfs zur Optimierung von Luftkanalsyste-

men Raumluftechnischer Anlagen. Aif-Nr.: 13269/BG.

¹⁾ Lehrstuhl für Heiz- und Raumluftechnik (LHR), Universität Stuttgart

²⁾ Institut für Thermodynamik und TGA, TU Dresden

ENERGO- Entwicklung eines Verfahrens zur Ermittlung von energetischen Kennwerten für raumluftechnische Anlagen*

Michael Schmidt¹⁾, Jinchang Ni²⁾

Mit der Energieeinsparverordnung (EnEV) hat die Bundesregierung die Ausführungsverordnung zum Energieeinsparungsgesetz vorgelegt. Die Verordnung stützt sich auf die DIN 4701, Teil 10 und die DIN 4108, Teil 6. Damit können die Bedarfswerte beim Betrieb von Heizanlagen für das Nachweisverfahren bestimmt werden. Für den Energiebedarf beim Betrieb von RLT-Anlagen gibt es bisher keine entsprechenden technischen Regeln, mit denen in analoger Weise energetische Kennwerte für diese ermittelt und bewertet werden können.

In Deutschland werden Tausende von raumluftechnischen (RLT)-Anlagen betrieben. In Zukunft werden RLT-Anlagen auch in zahlreichen Neubauten, die immer besser gedämmt werden, eingeplant und eingebaut. Das bedeutet, dass die RLT-Anlagen künftig nicht nur für die Lüftung, sondern auch für die Kühlung zur Verfügung stehen. Die Energieeinsparung und sogar eine Limitierung des Energiebedarfs für RLT-Anlagen sind daher sinnvoll. Der Energiebedarf einer RLT-Anlage hängt von den Nutzungsanforderungen, baulichen Randbedingungen, dem technischen Standard, der Betriebsführung etc. ab. Um die Voraussetzungen für einen energetisch optimierten Betrieb einer RLT-Anlage zu schaffen, ist es notwendig, in der Reihenfolge von Ursache und Wirkung durch Vor-

gabe von Ziel- oder Deckelkriterien geeignete Anlagen zu erzwingen.

Ziel des Forschungsvorhabens ist es, ein Verfahren zu entwickeln, mit dem differenziert nach Nutzungsfällen für den Betrieb von RLT-Anlagen energetische Ziel- und Deckelwerte abgeleitet werden können. Die Einhaltung des Deckelwerts soll dann durch Vergleich mit den Bedarfswerten der geplanten Anlagen gewährleistet werden. Dieses Verfahren wird in eine zu schaffende Verordnung, die alle Energieverbräuche im Gebäude erfasst, einfließen.

Die Ergebnisse des Vorhabens sind Kennwerte für Vergleichsprozesse und „Stand der Technik-Prozesse“. Der Kennwert aus dem Vergleichsprozess ist der Zielwert. Der Kennwert aus dem „Stand der Technik-Prozess“ ist um einen Differenzbetrag größer. Die Summe des Zielwerts mit dem Produkt des Differenzbetrags und eines Faktors kleiner 1 ist dann der Deckelwert. Der Kennwert der geplanten RLT-Anlage muss kleiner als der Deckelwert sein, um dessen Eignung zu bestätigen. Bei zukünftigen Begrenzungen des Deckelwerts bleibt das Verfahren unverändert und der Faktor wird erniedrigt.

Durch die Vorgabe von energetischen Deckel- oder Zielwerten werden die Planung und die Realisierung von Anlagen ermöglicht, die einen Fall bezogenen, niedrigen Energie- und Exergiebedarf

haben. Damit wird die Voraussetzung für einen Anlagenbetrieb mit gegenüber heute niedrigerem Energieverbrauch geschaffen.

Für die Möglichkeit der Bewertung von RLT-Anlagen werden Nutzungsfälle definiert. Für die definierten Nutzungsfälle werden Vergleichs- bzw. Idealprozesse entwickelt und ausgewählt. Des Weiteren werden für die gleichen Nutzungsfälle sog. „Stand der Technik-Prozesse“ aufgestellt. Für beide Prozesse werden Jahresenergie- und Jahresexergiebedarfswerte berechnet. Die erste Prozessart führt zu idealisierten Zielwerten und die zweite zu Deckelwerten, die somit als Kriterium zur Einordnung der zu bewertenden Anlage dienen. Das geplante Anlagenkonzept muss unterhalb des Deckelwerts liegen, um der Anforderung eines Nachweisverfahrens zu genügen. Die Nutzungsfälle richten sich nach den Anforderungen, die durch den zu versorgenden Raum gestellt werden. Hinsichtlich Temperatur, Feuchte und Raumlufqualität können sowohl maximale als auch minimale Anforderungen formuliert werden. Die Einteilung der Anforderungen führen zu thermodynamischen Funktionen, die die geplante RLT-Anlage zu erfüllen hat. Die Datentypen werden hierbei über Flächen bezogene Kennwerte für den Luftstrom, die Kühllast, die Heizlast und die Stofflast den einzelnen Nutzungsfällen zugeordnet.

Für diese Nutzungsfälle wiederumwerden typische Anwendungsfälle benannt. Zunächst wird ein Katalog relevanter Nutzungsfälle aufgestellt. Den definierten Fällen werden die Datentypen zugeordnet, die für eine eindeutige Kennzeichnung der Nutzenanforderungen erforderlich sind. Zu diesen definierten Fällen werden energetische Vergleichsprozesse entwickelt, auf ihre Anwendbarkeit überprüft und eventuell weitere erarbeitet. Mittels rechnerischer Simulation der Vergleichsprozesse wird für alle Fälle ein Minimalwert des Jahresenergie- und Jahresexergiebedarfs ermittelt. Für alle Fälle werden jeweils mindestens zwei reale Prozessführungen bzw. Anlagentypen erarbeitet. Dabei soll eine der Prozessführungen das – aus momentaner Sicht – energetische und exergetische Optimum darstellen und eine den Stand der Technik. Ein Vergleich mit dem oben beschriebenen Minimalwert ergibt eine Bandbreite heutiger Gütegrade.

Letztlich wird ein Katalog raumluftechnischer Nutzungsfälle erstellt und jedem Nutzungsfall geeignet bezogener Wert des minimalen Jahresenergie- und Jahresexergiebedarfs, eine Bandbreite geeignet bezogener Ziel- oder Deckelwerte des Jahresenergie- und Jahresexergiebedarfs sowie eine Bandbreite von Gütegraden zugeordnet. RLT-Anlagen werden in Deutsch-

land weit überwiegend von kleinen und mittleren Unternehmen (kmU) geplant und errichtet. Mit diesem Forschungsvorhaben soll den kmU der Raumluftechnik ein Werkzeug an die Hand gegeben werden, das es Ihnen in einer objektiven Weise ermöglicht, die Notwendigkeit und damit den Einsatz von RLT-Anlagen zu prüfen. Mittels Kennwerten soll die energetische Eignung einer speziellen anlagentechnischen Lösung für eine gestellte Aufgabe geprüft werden können und gegebenenfalls sogar rückwirkend auf die, die Anforderungen verursachenden Parameter, wie z.B. die vermeintlich notwendigen Nutzungsanforderungen und die Eignung der entworfenen und baukonstruktiven Randbedingungen, Einfluss genommen werden können.

Die kmU der Raumluftechnik in Deutschland sollen auf der einen Seite die Räume und Gebäude thermisch funktionsfähig machen, auf der anderen Seite aber dafür möglichst wenig Energie einsetzen und insbesondere keine Emissionen verursachen. Daraus entsteht eine sich immer mehr verschärfende Nachweispflicht bezüglich der energetischen Qualität der geplanten oder gebauten anlagentechnischen Lösung. Mit den Ergebnissen des Vorhabens werden die kleinen und mittleren Unternehmen in die Lage versetzt, diesen Nachweis vergleichbar, nach

vollziehbar und mit angemessenem Aufwand zu erbringen. Die Wettbewerbssituation der kmU der Raumluftechnik wird damit abgesichert.

Der Ergebnistransfer des Vorhabens in diese Unternehmen ist direkt gegeben, da das entwickelte Verfahren in eine zukünftige Verordnung. Die kleinen und mittleren Unternehmen würden – im Zuge der Planung von entsprechenden Anlagen – energetische Vorgaben erarbeiten und dann anschließend im Zuge der Realisierung den Nachweis der Einhaltung der Vorgaben erbringen.

Die Anwendung des erarbeiteten Verfahrens und der dann revidierten Fassung der EnEV wird in Vorträgen, Seminaren und Veröffentlichungen verbreitet. Die Ergebnisse fließen in die Lehre ein.

* Gefördert mit Mitteln des Ministeriums für Wirtschaft und Technologie über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen AiF. AiF-Vorhaben Nr. L 203

- 1) Schmidt, Michael:
Lehrstuhl für Heiz- und Raumluftechnik, Universität Stuttgart
- 2) Ni, Jinchang:
Lehrstuhl für Heiz- und Raumluftechnik, Universität Stuttgart

* In den Blättern des HLKBRIEFes wird über die Aktivitäten des Lehrstuhls für Heiz- und Raumluftechnik der Universität Stuttgart, der Forschungsgesellschaft HLK Stuttgart mbH, der HLK Stuttgart GmbH und des Vereins der Förderer der Forschung im Bereich HLK Stuttgart e.V (Herausgeber) berichtet. Pfaffenwaldring 6A, 70569 Stuttgart. E-Mail: info@vdf.info.