

Schichtlüftung in Tiefgaragen

Dipl.-Ing. Silke Wilharm

Projektbeschreibung

Im Zuge der Überarbeitung der VDI-Richtlinie 2053 „Raumlufttechnische Anlagen für Garagen“ vom Januar 2004 wurde eine durch die Friedrich- und Elisabeth-Boysen-Stiftung geförderte Voruntersuchung zum Thema „Schichtlüftung in Tiefgaragen“ durchgeführt. Motivation der Untersuchung war, ob sich - beim Vergleich eines konventionellen Abluftsystems mit einem Zuluftsystem mit Schichtlüftung - eine Reduktion des Volumenstroms und folglich eine Energieeinsparung erzielen ließe. Im Dezember 2009 hat ein Expertenforum mit Sachverständigen und Mitgliedern des ehemaligen Richtlinienausschusses der VDI 2053 im Institut für Gebäudeenergetik stattgefunden. Es wurden erste Ansätze über mögliche Änderungen im technischen Regelwerk der VDI 2053 im Hinblick auf neue Lüftungsvarianten aufgrund der Untersuchungsergebnisse dieser Arbeit diskutiert.

Durch die Abgase der Kraftfahrzeuge sammeln sich für den Menschen gesundheitsgefährdende Schadstoffe in der Tiefgarage an. Als Marker für die verschiedenen Schadstoffe dient der Kohlenmonoxidgehalt der Luft, dessen Grenzwert in Tiefgaragen nach VDI 2056 bei 60 ppm liegt. In geschlossenen Großgaragen kommen bei maschineller Lüftung fast ausnahmslos Abluftanlagen zum Einsatz, um die Schadstoffe aus der Garage abzuführen. Bei dem Abluftsystem wird die Raumluft über Auslässe im Boden- oder Deckenbereich abgesaugt, eine Nachströmung der Luft erfolgt über freie Öffnungen wie Ein- und

Ausfahrt. Diesem System wurde vergleichend ein Zuluftsystem mit Schichtlüftung, auch Quelllüftung genannt, gegenübergestellt. Bei dieser Variante der Luftführung wird die Luft impulsarm mit Geschwindigkeiten bis zu 0,2 m/s durch Bodendurchlässe in die Tiefgarage geführt. Die Zuluft bildet im unteren Bereich einen Frischluftsee, die Schadstoffe steigen durch den thermischen Auftrieb aufgrund der erhöhten Schadstofftemperatur im Vergleich zur Raumtemperatur und wegen vorhandener Wärmequellen (Kraftfahrzeuge) im Raum auf und sammeln sich unter der Decke. Durch die Schichtlüftung entstehen somit ein unterer schadstoffarmer

unterschiede der beiden Lüftungssysteme gegenübergestellt. **Bild 1** zeigt die simulierte Tiefgarage mit einem Gesamtvolumen von 5750 Kubikmetern und einer Stellplatzanzahl von etwa 100 Kraftfahrzeugen. Für die Wärme- und Schadstoffabgabe werden Extremwerte angenommen und als gleichmäßige Quelle über das gesamte Volumen definiert. Zur weiteren Untersuchung von lokalen Konzentrationsunterschieden werden fünf Autos (in orange dargestellt) in der Tiefgarage simuliert, die zusätzliche Wärme- und Schadstoffquellen darstellen. Die Zulufttemperatur beträgt 15°C; die hier dargestellten Berechnungen basieren auf einem Luftwechsel von 1 h⁻¹. Die

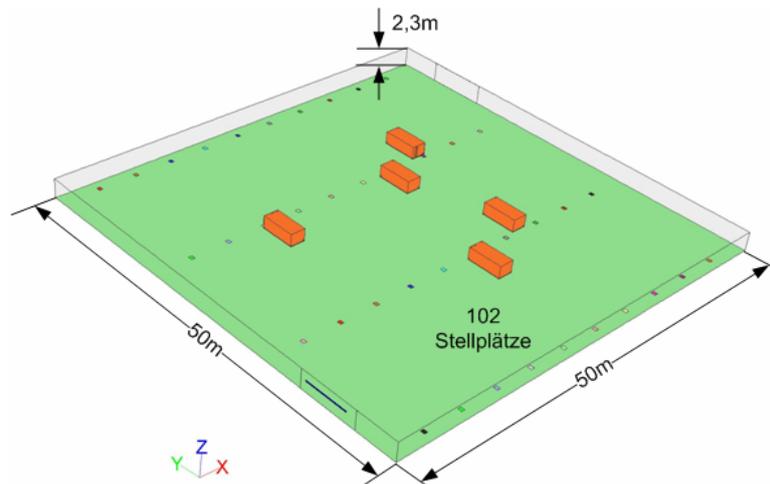


Bild 1: Simulierte Tiefgarage

Bereich und ein oberer Bereich mit erhöhter Schadstoffkonzentration. Durch Strömungssimulationen mit dem Programm FLUENT werden die CO-Konzentrationen anhand einer Beispielgeometrie für beide Luftführungsarten berechnet und anschließend verglichen. Weiterhin wird der Einfluss von freien Nachströmöffnungen betrachtet sowie lokal auftretende Konzentrations-

Berechnung erfolgt stationär. Im Boden befinden sich insgesamt 40 Durchlässe mit einer Gesamtfläche von acht Quadratmetern. Durch diese Durchlässe wird die Luft bei der Simulation des Abluftsystems abgesaugt, für das Zuluftsystem mit Schichtlüftung wird die Zuluft durch die Durchlässe in die Tiefgarage geführt. Die Luft strömt bei dem Abluftsystem durch die Ein-

und Ausfahrt nach, für das Zuluftsystem gelangt die belastete Luft der Tiefgarage über diese Öffnungen durch den entstehenden Überdruck in der Tiefgarage nach außen.

Einfluss von freien Nachströmöffnungen

Ein- und Ausfahrten haben durch ihre großen Öffnungsflächen einen erheblichen Einfluss auf die Strömung und auf die Höhe der Schadstoffkonzentration in der Tiefgarage. Dieses Strömungsverhalten wurde in einigen Berechnungen konkret untersucht. **Bild 2** zeigt erste Ergebnisse der Strömungsberechnung. Im linken Bild

Selbst durch Veränderung der Randbedingungen wie Erhöhung der Schadstoffemissionen oder Herabsetzung des Luftwechsels wird die Grenzkonzentration für diese Tiefgaragegeometrie nicht überschritten. Aufgrund der Größe von Ein- und Ausfahrt strömt die Luft durch diese Öffnungen nicht nur nach, sondern im oberen Bereich der Öffnungen strömt die Zuluft sofort wieder aus. In den Öffnungen entsteht ein Wirbel, die Außenluft gelangt nur zu einem gewissen Teil in die Garage. Die Fläche, durch die die Abluft entweichen kann, ist somit im Vergleich zur Zuluftöffnung größer, so dass die Schadstoffkonzentration

hend ausgeblendet. Die Ergebnisse der Berechnungen der CO-Konzentrationen für das Abluft- und Zuluftsystem sind in **Bild 3** dargestellt. Die Grafiken zeigen die Konzentrationsverteilungen in einer Höhe von 1,5 m. Im linken Bild ist das Abluftsystem abgebildet, die Konzentration liegt in dieser Ebene im Mittel bei 79 ppm. In den Ecken bilden sich Zonen mit deutlich höherer Konzentration, da die Luft in diesen Bereichen stagniert und keine Durchmischung erfolgt. Lokale Konzentrationsunterschiede sind in einer Tiefgarage unerwünscht, da sich in jedem Bereich der Tiefgarage Personen aufhalten können, die diesen er-

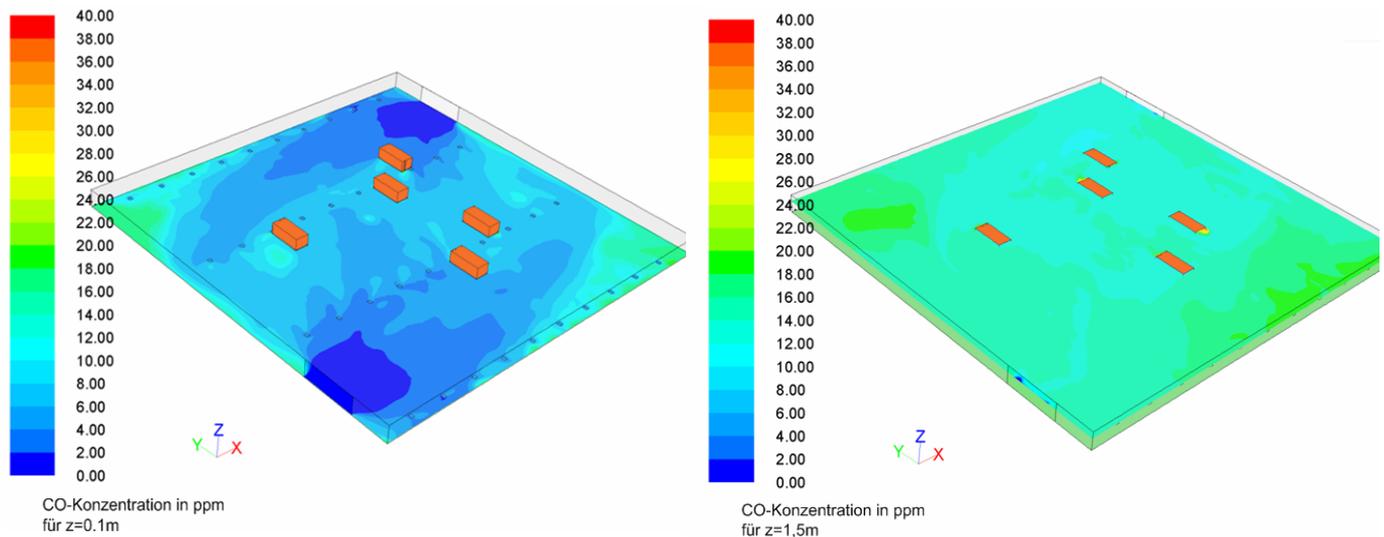


Bild 2: CO-Konzentrationsverteilung des Abluftsystems in 0,1m und 1,5m Höhe

ist die CO-Konzentrationsverteilung des Abluftsystems in 0,1 m Höhe dargestellt. Im Bereich der freien Nachströmöffnungen liegt die Konzentration nah bei Null, da die Luft in ständigem Austausch mit der Außenluft steht. Die Konzentration erreicht in allen Bereichen Werte weit unter den vorgeschriebenen Grenzwerten von 60 ppm. Die Schadstoffkonzentration nimmt auch über die Höhe nur unwesentlich zu. Im Kopf- bzw. Schulterbereich in 1,5 m Höhe (rechtes Bild) liegt die Konzentrationsverteilung nur unwesentlich höher bei etwa 10 bis 20 ppm.

in der Tiefgarage auf einem niedrigen Niveau bleibt. Aufgrund dieser entstehenden niedrigen Schadstoffkonzentration kommt eine maschinelle Lüftung in vielen Tiefgaragen gar nicht oder nur in Ausnahmesituationen zum Einsatz.

Vergleich eines Zuluftsystems mit Schichtlüftung und einer konventionellen Abluftanlage

Zum besseren Vergleich der beiden Lüftungssysteme auch bei höheren Kohlenmonoxidkonzentrationen wird der Einfluss der freien Nachströmöffnungen in den nachfolgenden Simulationen weitestge-

höhten gesundheitsgefährdenden Zonen ausgesetzt sein können. Im rechten Bild weist die Konzentration des Zuluftsystems mit Schichtlüftung eine konstante Verteilung über die gesamte Ebene auf, lokale Unterschiede existieren nur geringfügig. Der Mittelwert der Konzentration beträgt in 1,5 m Höhe für das Schichtlüftungssystem etwa 67 ppm, die Kohlenmonoxidkonzentration ist bei gleichem Luftwechsel für das Zuluftsystem im Vergleich zum Abluftsystem um 18 % gesunken. Der Konzentrationsmittelwert des gesamten Tiefgaragenvolumens verringert sich

durch die Zuluftvariante gegenüber dem Abluftsystem um etwa 16 %; durch das Zuluftsystem kann somit eine erhebliche Energieeinsparung erzielt werden.

Zusammenfassung und Ausblick

Im Ergebnis dieses Projekts wird eine erste Abschätzung über das Verhältnis der Volumenstromreduzierung und somit über mögliche Differenzen im Energiebedarf eines Zuluftsystems mit Schichtlüftung im Vergleich zu einem Abluftsystem getroffen.

der Schadstoffkonzentration in der Tiefgarage. Der Kohlenmonoxid-Grenzwert konnte für die vorgegebene Geometrie nicht erreicht werden, der Einsatz von maschinellen Lüftungen ist für viele Tiefgaragegeometrien somit nur selten erforderlich.

Für diese erste Untersuchung wurden viele Aspekte vernachlässigt, die weitere Berechnungen mit veränderten Randbedingungen erforderlich machen.

Zum einen sind weitere Berech-

nungen auf ein Gebäude untersuchen zu können. Dabei sollte sowohl der Winddruck in Ein- und Ausfahrten als auch hohe Außenlufttemperaturen berücksichtigt werden. Zur Simulation von Fahrzeugbewegungen, die einen Einfluss auf die Strömung und die Inhomogenität der Konzentrationsverteilung der Schadstoffe ausüben, sind instationäre Berechnungen notwendig. In diesen sollten auch andere gesundheitsgefährdende Schadstoffe wie Stickoxide (NO_x) aufgenommen werden. Die Wir-

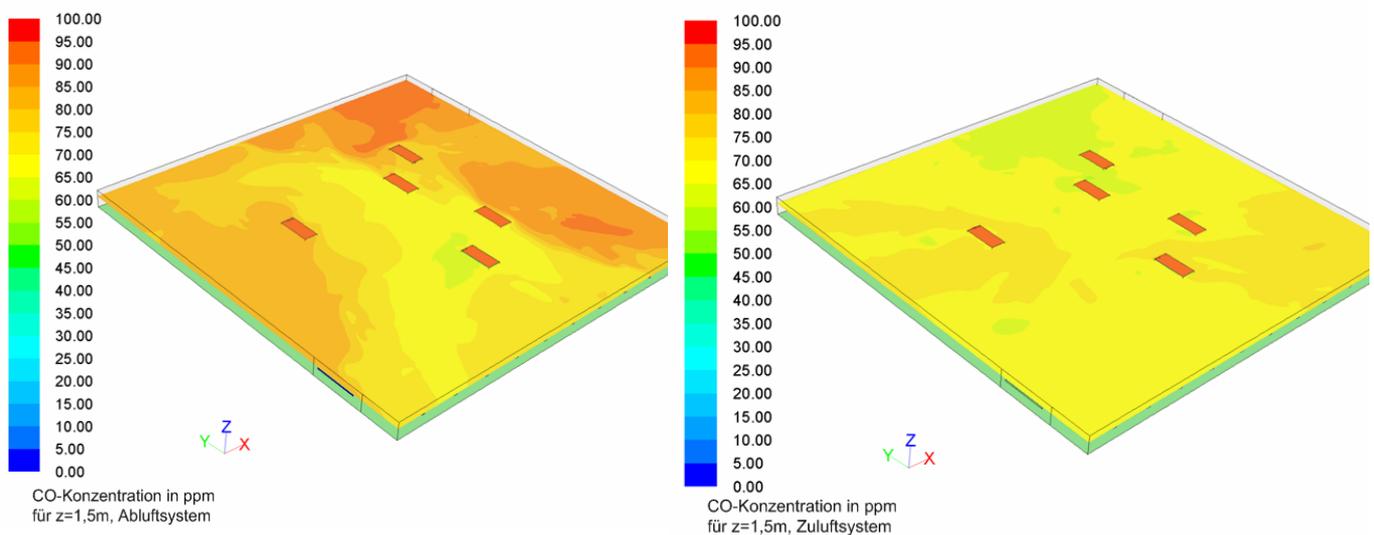


Bild 3: CO-Konzentration in 1,5m Höhe für das Ab- und Zuluftsystem

Das Zuluftsystem mit Schichtlüftung führt zu einer Reduzierung des Volumenstroms von etwa 20 % und somit zu einer lohnenswerten Energieeinsparung. Durch die Zuluftvariante können lokale Schwankungen in der Schadstoffkonzentration stark verringert werden. Durch freie Nachströmöffnungen entstehen aufgrund des veränderten Strömungsverhaltens erhebliche Einflüsse auf die Höhe

lungen für verschiedenste Tiefgaragegeometrien und -höhen vorzunehmen. Es sollen ebenso mehrgeschossige Tiefgaragen untersucht werden, um den Einfluss von möglichen Schadstoffansammlungen aufgrund des vertikalen Stofftransports zu untersuchen. Weitere Simulationen mit veränderten Randbedingungen sind notwendig, um eine realistische Abbildung der äußeren Gegeben-

kung des Zuluftsystems auf die Brandentrauchung und die Minimierung der Brandgaskonzentration im Bereich der Fluchtwege bleibt ebenfalls zu untersuchen.

Literatur

[1] VDI 2053 Raumlufttechnische Anlagen für Garagen, Januar 2004

Expertensystem zur CO₂- und Energieeinsparung – EXECO2*

Jörg Arold

Einleitung

Ziel des Forschungsvorhabens ist es, durch Bereitstellung eines sog. Expertensystems die Erschließung niedrig investiver Verbesserungsmaßnahmen im Gebäudebestand zur Senkung des Energiebedarfs und der energieumsetzungsbedingten Emissionen in der Fläche, d.h. für möglichst viele Gebäude, zu ermöglichen und zu erleichtern. Im Betrieb von Gebäuden wird in Deutschland ein Anteil von ca. 40% des Endenergieverbrauches umgesetzt. Die Erfahrung aus bisher punktuellen Untersuchungen [1],[2] zeigt, dass der Energieumsatz zum Gebäudebetrieb durch Maßnahmen mit geringen Investitionskosten um bis zu 30% gesenkt werden kann. Dabei werden Maßnahmen zur Verbesserung des Gebäudebetriebs an den Anlagen zur Heiz- und Raumluftechnik, zur Trinkwassererwärmung, zur Kühlung und zur Beleuchtung sowie deren zugehörige MSR - Technik berücksichtigt. Für höher und hoch investive Maßnahmen, wie z.B. Verbesserungen an der Gebäudehülle und Verbesserung der Anlagentechnik, sollen lediglich Vorschläge gemacht werden.

Die bisherigen Untersuchungen waren jeweils stark auf die jeweiligen Objekte angepasst. Eine wissenschaftliche, übertragbare Systematik wurde im Rahmen dieser Projekte nicht erarbeitet.

An dieser Stelle setzt das zu erarbeitende Expertensystem an. Es soll das mit der Inspektion von Anlagen bzw. dem Gebäudebetrieb betraute Personal in die Lage versetzen, sich schnell mit einem Gebäude und dessen Anlagen ver-

traut zu machen und Energiesparpotenziale eigenständig zu erkennen und zu erschließen. Hierzu ist es notwendig, ein Struktogramm zu entwerfen, welches schrittweise konkrete Handlungsanweisungen gibt. Das Expertensystem soll die Anforderungen an die energetische Inspektion gemäß der euro-

päischen „Energy Performance of Building Directive“ (Richtlinie 2002/91/EG) erfüllen und wird weiter konkretisiert und mit den Erfahrungen aus früheren Projekten erweitert. Da die bisherigen Erfahrungen gezeigt haben, dass der Verbrauch von nicht mehr überwachten Gebäuden schnell wieder

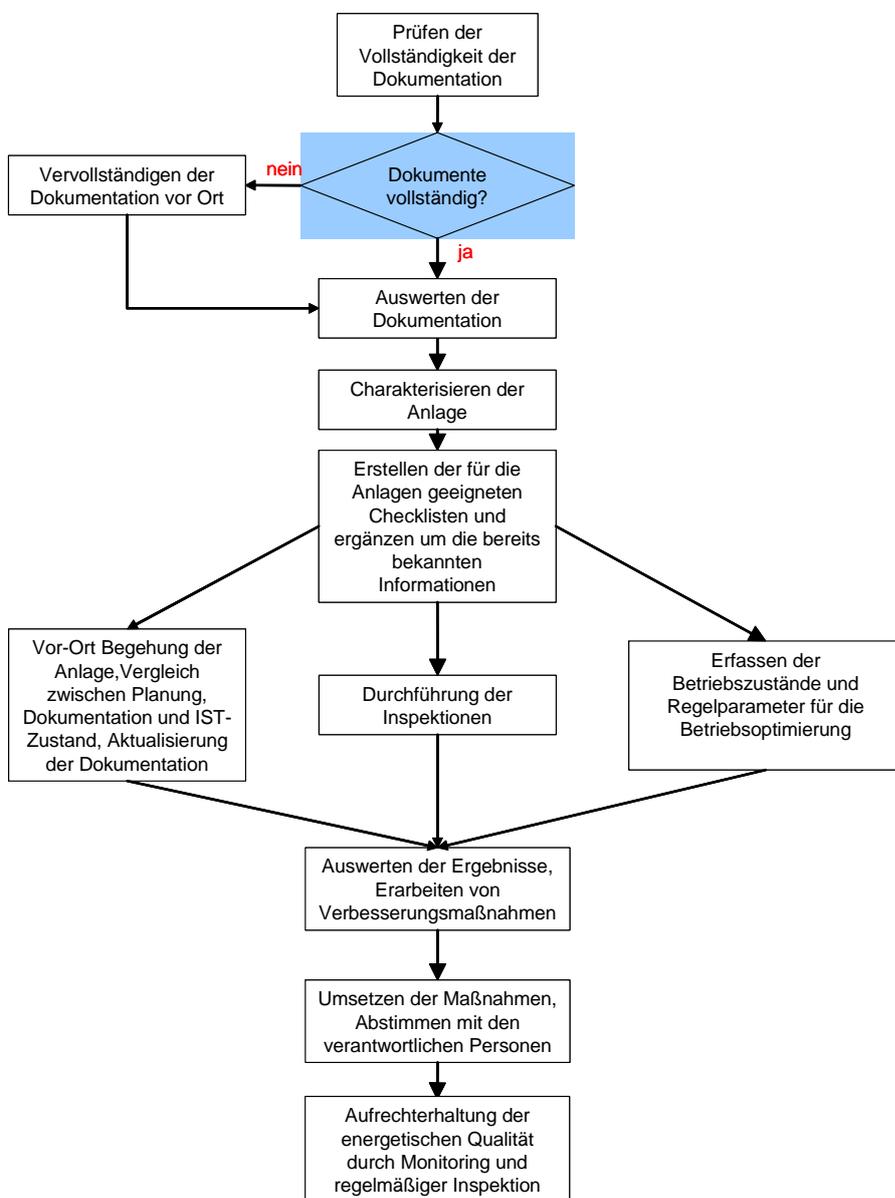


Bild 1: Struktur des Expertensystems EXECO2

steigt, ist es nötig, das Expertensystem regelmäßig anzuwenden und regelmäßig den Energieverbrauch des Gebäudes zu kontrollieren.

Die Handlungsanleitung wird neben technischen auch organisatorische und strategische Maßnahmen enthalten. Dies ist wichtig, da die Erschließung der Energiesparpotenziale häufig an organisatorischen und administrativen Hürden scheitert. Da sich vor allem die organisatorischen Maßnahmen nur bedingt auf den Wohnungsbau übertragen lassen, soll das Expertensystem hauptsächlich in Verwaltungs- und Gewerbeimmobilien zum Einsatz kommen.

Struktur des Expertensystems

Das Expertensystem soll für Gebäude mit verschiedener technischer Ausstattung anpassbar sein. Deshalb erfolgt die Hauptgliederung in die verschiedenen Gewerke:

- Heizung
- Lüftung
- Kälte
- MSR-Technik

Überschneidungen zwischen den Gewerken werden berücksichtigt. Der Arbeitsablauf stellt sich folgendermaßen dar (siehe auch **Bild 1**):

- Zusammenstellen und Auswerten der Gebäude- und Anlagendokumentation

- Erfassen des IST - Zustandes durch Inspektion
- Wartung und Instandhaltung der Anlagen
- Betriebsoptimierung: Anpassung der Regelparameter und Betriebszeiten an die Nutzung
- Umsetzen von Maßnahmen zur Energieeinsparung, Abstimmung mit Betreibern und Nutzern
- Dokumentation der Änderungen
- Aufrechterhaltung der hohen energetischen Qualität durch regelmäßige Inspektion

Stand des Projekts

In einem ersten Schritt wird eine Literaturrecherche durchgeführt und die bestehenden Normen zu Wartung und Inspektion analysiert.

- DIN EN 15239: 08-2007 Leitlinien für die Inspektion von Lüftungsanlagen
- DIN EN 15240: 08-2007 Leitlinien für die Inspektion von Klimaanlage
- DIN EN 15378: 07-2008 Leitlinien für die Inspektion von Kesseln und Heizsystemen

Die Normen erhalten Hinweise zu benötigten Dokumenten und zu

Inhalt und Auswertung der Inspektion. Es werden auch Hinweise hinsichtlich der Betriebsoptimierung gegeben, allerdings sind die Angaben und Anweisungen nur sehr oberflächlich und unvollständig und werden um eigene Erfahrungen erweitert. Neben der Auswertung dieser Normen und Richtlinien wurde damit begonnen, die systematische Vorgehensweise zum Ermitteln der Einsparpotenziale zu erarbeiten. Diese wird noch auf weitere Gewerke ausgedehnt und in die Gesamtstruktur eingefügt.

Literaturverzeichnis

[1] Schmidt, M.; Stergiaropoulos, K.; Schmidt, F.: CAMPUS: Energie- und Gebäudemanagement im Campus Pfaffenwald und seine Auswirkungen auf die Effizienz der Energieerzeugung, Schlussbericht, LHR 01-05, Stuttgart 2005

[2] Schmidt, F. Stergiaropoulos, K. et. al.: REUSE - Rational Use of Energy at the University of Stuttgart Building Environment, Technischer Abschlußbericht BU 343/94 DE, Universität Stuttgart IKE-Bericht 4-151. Stuttgart 1999.

* Dieses Forschungsprojekt wird mit Mitteln der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“ des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung gefördert. (Aktenzeichen: SF – 10.08.18.7-09.46 / II 3-F20-09-1-006) Die Verantwortung für den Inhalt liegt beim Autor

FÜR EINEN, DER JETZT MEISTENS IN GRIECHENLAND IST: GUNTHER CLAU

Noch als Student hat sich Gunther Claus 1976 mit einer fundierten Diplomarbeit über Wärmepumpen bei uns eingeführt. Als studentische Hilfskraft bei der Technischen Thermodynamik war er für das anspruchsvolle Thema prädestiniert. So wurde er in einem Team mit zwei erfahrenen Mitarbeitern auf das nächste schwierige Thema angesetzt, den BMFT-Forschungsauftrag „Ermittlung des Nutzungsgrades von Heizanlagen“. Er bewältigte schließlich 1981 den Auftrag allein und stellte damit seine Fähigkeit, mit Ausdauer dicke Bretter bohren zu können, unter Beweis.



Als Erster erkannte er die „Verkehrtheit“ des alten 2067-Ansatzes: Der damals so genannte „Gesamtwirkungsgrad“ einer Heizanlage hängt nämlich nur unwesentlich vom Kesselwirkungsgrad ab, aber umgekehrt der Kesselnutzungsgrad stark von der Anlage. Seinen Erkenntnisvorsprung hat er selbstlos dem Institut gestiftet. Der von ihm angelegte Gedanke der wirkgerechten Entwicklungsrichtung des Bedarfs von der Übergabe zur Erzeugung ist in zwölf (12!) Dissertationen fruchtbar eingeflossen und bildet die Grundlage der neuen VDI 2067.

Seine Selbstlosigkeit drückt sich auch dadurch aus, dass er sich von Anfang an mehr um die Gemeinschaftsaufgaben im Institut kümmerte als um die eigene Karriere mit den dazu erforderlichen Veröffentlichungen. Er sorgte für die Klammer zwischen den Mitarbeitern im Labor und am Schreibtisch. Wissenschaftlich blieb er trotzdem bei seinem Grundthema, der Wärmeerzeugung. Ich kenne kaum jemanden mit einem breiteren Wissensstand auf diesem Gebiet als ihn.

Einen Teil davon brachte er in den Aufbau unseres Versuchsfeldes für Kessel und Speichersysteme ein; vieles hat er auch in Vorträgen an der Technischen Akademie in Esslingen und in Vorlesungen an der Hochschule für Technik Stuttgart weitergegeben, das meiste aber in intensiven Gesprächen nach Feierabend.

Heinz Bach

Studien- und Diplomarbeiten 2008 - 2010

Böttcher, Katja: Optimieren eines geothermischen Sondenfeldes zum Heizen und Kühlen für das Terminal 3 der Fraport AG

Frech, Dominik: Der Einfluss klimatischer Randbedingungen auf die energetischen Kennwerte für RLT-Anlagen

Kay, Katharina: Einfluss verschiedener Faktoren auf den Jahresheizwärmebedarf eines Raumes

Lin, Tin-Huan: Fehlerkettenanalyse Kälteleistungsmessung an Verdampfern und Klimaanlage

Lutz, Timo: Bewertung verschiedener Sanierungsmaßnahmen bei vorgegebener Investitionssumme

Nenz, Kay: Berechnung des Temperaturprofils einer Fahrbahn mit und ohne Absorberrohre

Ott, Julia: Einfluss der zeitlichen Veränderungen von Bauteileigenschaften auf den Heizwärmebedarf von Niedrigenergiehäusern

Rübel, Silke: Wirtschaftlichkeitsvergleich der Erdwärmennutzung für reinen Heizbetrieb und kombinierten Heiz- und Kühlbetrieb

Schielein, Sebastian: Auslegung einer Wärmepumpenanlage für das Geothermieprojekt Fasanentunnel

Schrade, Holger: Beeinflussung der Erdreichtemperatur durch Geothermienutzung

Stäbler, Christian: Entwickeln eines Simulationsmodells zur Betriebsüberwachung der HLK-Anlagen von Verkaufsstätten

Stäbler, Christian: Entwicklung eines Simulationsmodells für einen thermisch aktivierten Tunnel

Tammler, Nina: Analyse der Mehraufwendungen von Büroimmobilien unter Anwendung von Green Building Labels wie DGNB und LEED

Waldenmaier, Michaela: Energetische Bewertung des Spiegel-Bürogebäudes mit den Werkzeugen der EnEV

Yoldas, Deniz: Energiesparpotentiale durch Betriebsoptimierung

Zeis, Oksana: Erarbeiten eines Verteilschlüssels zur Korrektur des Lageinflusses bei der Heizkostenabrechnung

PERSONALIA

Folgende personelle Veränderungen ergaben sich beim Verein der Förderer im Bereich Heizung Lüftung Klimatechnik Stuttgart e.V. und bei den Kooperationspartnern des Instituts für GebäudeEnergetik:

Dipl.-Ing. **Gunther Claus**, langjähriger Geschäftsführer der Forschungsgesellschaft HLK und des Vereins (1985 – 2008) ging in Ruhestand.

Sein Nachfolger ist seit August 2008 Dipl.-Ing. **Armin Ruppert**, zugleich stellv. Leiter des IGE.

Dipl.-Ing. **Silke Wilharm** kam im Oktober 2008 vom Hermann-Rietschel-Institut der TU Berlin nach Stuttgart, um am IGE zu promovieren.

Dipl.-Ing. **Christian Stäbler** war nach seinem Maschinenbaustudium Stipendiat beim IGE. Seit Herbst 2009 ist er bei der HLK Stuttgart GmbH tätig und für das neue Raumluftrömlabor verantwortlich.

OTTO F. SCHARR-PREIS FÜR ENERGIETECHNIK 2009

Das Ziel des mit 10.000 Euro dotierten Otto F. Scharr-Preises für Energietechnik ist es, besondere wissenschaftliche Leistungen auf dem Gebiet der Energietechnik zu fördern und anzuerkennen. Er wird von der Otto F. Scharr-Stiftung in Zusammenarbeit mit der Fakultät Energie-, Verfahrens- und Biotechnik der Universität Stuttgart ausgelobt. Professor Michael Schmidt, Leiter des IGE und derzeitiger Dekan dieser Fakultät konnte den Preis an die Wirtschaftsingenieurin **Julia Ott** übergeben. Ihre Diplomarbeit am IGE beschäftigte sich mit unterschiedlichen Faktoren, die den Heizwärmebedarf von Niedrigenergiehäusern beeinflussen (*„Einfluss der zeitlichen Veränderungen von Bauteileigenschaften auf den Heizwärmebedarf von Niedrigenergiehäusern“*).



v.l.n.r.: Prof. Dr.-Ing. Michael Schmidt, die Preisträgerin Julia Ott, Preisträger B. Misic und S. Müller, Dr. F. Ochs sowie R. Scharr, Vorstand der Otto F. Scharr-Stiftung (Foto: Scharr-Stiftung)

HONORARPROFESSUR FÜR MICHAEL BAUER AM 29. SEPTEMBER 2009

Dr.-Ing. Michael Bauer, Geschäftsführer der **Drees & Sommer Advanced Building Technologies**, wurde in Anerkennung seiner langjährigen, erfolgreichen Tätigkeit als Lehrbeauftragter am 29. September vom Senat der Universität Stuttgart zum Honorarprofessor bestellt.

Seit 15 Jahren hält Michael Bauer am **Institut für GebäudeEnergetik (IGE)** der Universität Stuttgart Vorlesungen in den Bereichen energieeffizientes Bauen und Gebäudetechnik. Für seinen akademischen Einsatz haben Rektor Prof. Wolfram Ressel und Prof. Michael Schmidt ihm mit der Überreichung der Ernennungsurkunde am 29. September 2009 gedankt.



Michael Bauer hat nach seinem Studium an der Universität Stuttgart am **Lehrstuhl für Heiz- und Raumluftechnik** (1985 bis 1991) im Jahr 1999 über die Simulation von energiesparenden Heizanlagen¹ promoviert und wurde für seine herausragende wissenschaftliche Arbeit mit dem Förderpreis des Verbandes der Metallindustrie Baden-Württemberg e.V. (VMI) in Höhe von DM 10.000,- ausgezeichnet. Im selben Jahr trat M. Bauer in das Unternehmen Drees & Sommer ein. Seit 2003 betreut er als Geschäftsführer und Partner die Schwerpunkte gewerkeübergreifende Systemplanung, Energiedesign, Energiemanagement und Green Building. Sein Wissen hat Michael Bauer in vielen Veröffentlichungen und als Mitautor in dem Buch "Green Building"² publiziert. Seit 1970 begleitet Drees & Sommer als internationales Unternehmen für Projektmanagement, Immobilienberatung und Engineering öffentliche und private Bauherren sowie Investoren. Das Unternehmen ist förderndes Mitglied in unserem Verein.

¹ Bauer, M.: Methode zur Berechnung und Bewertung des Energieaufwandes für die Nutzenübergabe bei Warmwasseranlagen. Universität Stuttgart, Mitteilung Nr. 3, 1999

² Bauer, M.: Mösle, P.; Schwarz, M.: Green Building – Konzepte für nachhaltige Architektur. Mai 2007

EHRENRING DES VEREINS DEUTSCHER INGENIEURE 2009



Dr.-Ing. Konstantinos Stergiaropoulos wurde am 12. November 2009 mit dem VDI-Ehrenring für besondere „Verdienste in der Technik“ geehrt.

Diese Auszeichnung würdigt seine wissenschaftliche Leistungen bei seiner Doktorarbeit „Energieaufwand maschineller Wohnungslüftung in Kombination mit Heizsystemen“ und sein Engagement in der Gesetzgebung.

K. Stergiaropoulos studierte von 1988 bis 1995 „Maschinenwesen“ an der Universität Stuttgart und war wissenschaftlicher Mitarbeiter des **Lehrstuhls für Heiz- und Raumluftechnik**. 2006 promovierte er „mit Auszeichnung“ bei den Professoren Bach und Schmidt. Seit 2007 ist er bei der Firma **Bosch Thermotechnik** tätig. Zunächst war er als Ingenieur für den Bereich der Entwicklung von Wohnungslüftungsgeräten mit Wärmerückgewinnung verantwortlich, seit 2008 ist er Assistent des Bereichsvorstands für Entwicklung.

Foto: Presse-
Information Bosch

ALBERT-TICHELMANN-PREIS DES VDI 2009



Der Preis wurde 2009 **Christian Stähler** für seine Diplomarbeit „*Entwicklung eines Simulationsmodells für einen thermisch aktivierten Tunnel*“ verliehen. Sie hat die Modellierung eines thermisch aktivierten Tunnels für das Simulationsprogramm TRNSYS zum Inhalt.

Das Modell (Finite-Volumen-Methode) koppelt und löst die Wärmetransportgleichungen numerisch, indem zeitlich und geometrisch diskretisiert wird.

Anhand von Plausibilitätskontrollen werden dem Modell Randbedingungen für einfache Wärmeleitfälle aufgeprägt, Lösungen berechnet und mit analytischen Lösungen verglichen. Dabei stellt sich eine gute Übereinstimmung ein. Weiterhin wird gezeigt, dass das Modell für kleine Zeitschrittweiten numerisch stabil rechnet. Abschließend werden vereinfachte Betriebssituationen mit Heiz- und Kühlbetrieb nachgebildet und relevante Temperaturen dargestellt.

Forschungsberichte 2008 - 2010

Schmidt, M.; Gu, B.; Schmid, J.: Wirksamkeit von Lüftungskonzepten. Gefördert durch die Heinz-Trox-Stiftung. Universität Stuttgart 2008.

Schmidt, M.; Arold, J.; Stähler, C.: Solargestützte Kühlung mit innovativer Motortechnik (SOKÜMO). Optimierung und Implementierung eines Systems zur solarthermischen Kühlung mit innovativer Motortechnik Teilprojekt III: Erprobung und Messung im Labor. AiF-Förderkz.: KF 0273301TN5. Universität Stuttgart 2009. IGE-08-09

Schmidt, M.; Arold, J.: Untersuchung zur Erschließung niedrig investiver Energieeinsparpotenziale. Gefördert durch das BBSR, AZ: 10.08.17.7-08.41. Universität Stuttgart 2009. IGE-09-09

Schmidt, M.; Gu, B.; Wilharm, S.: Schichtlüftung in Tiefgaragen. Gefördert durch die Friedrich- und Elisabeth-Boysen-Stiftung. Universität Stuttgart 2009. IGE-10-09

Schmidt, M.; Schlosser, Th.: ENERGO 2 – Entwicklung eines Verfahrens zur Ermittlung von Energetischen Kennwerten für Raumluftechnische Anlagen 2. AiF-Vorhaben Nr. 15426 N. Universität Stuttgart 2009. IGE -11-09

Ruppert, A.; Schlosser, Th.; Schulz, C.: Untersuchung der Wärmeeinflusszone (WEZ) erdverlegter Tunnel. Stuttgart 2009. FG 0904.F.607.XFEL

Hinweis:

Unsere Forschungsberichte und Dissertationen sind entweder käuflich beim Förderverein (Kontakt: info@vdf.info) zu erwerben oder zum Herunterladen als pdf-Datei auf der IGE Homepage (www.ige.uni-stuttgart.de) unter der Rubrik „Veröffentlichungen“

Neubau des Raumluftrömungslabors

Christian Stähler

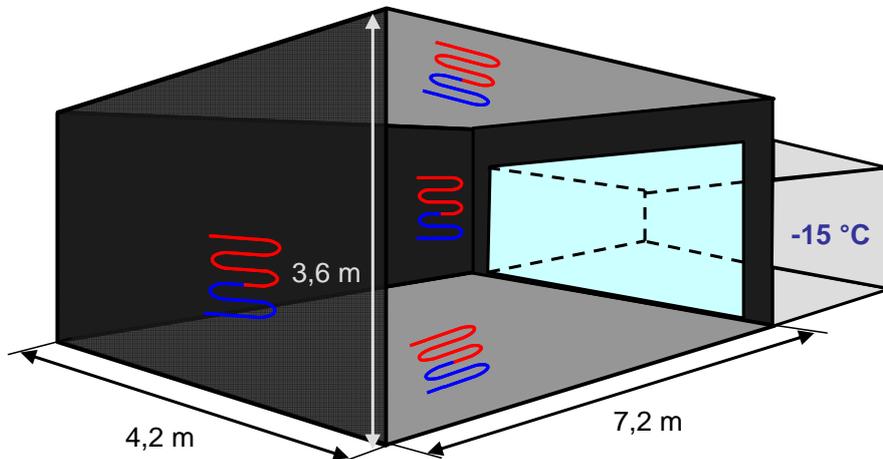


Bild 1: Abmessungen des Prüfraumes

Die HLK Stuttgart GmbH baut im Auftrag des Instituts für Gebäude-Energetik (IGE) ein neues Raumluftrömungslabor. Das neue Labor wird in der Halle der HLK Stuttgart GmbH im Pfaffenwaldring 6A, am Standort des alten Raumluftrömungslabors, aufgebaut. Die Fertigstellung des neuen Raumluftrömungslabors ist für Juni 2010 geplant.

Im Labor sollen Versuche zu folgenden Themen durchgeführt werden:

- Wirksamkeit örtlicher Senkenströmungen zur Erfassung örtlich freigesetzter Schadstoffe
- Herstellung stabiler, inhomogener, örtlich definierter Strömungs-, Temperatur und Konzentrationsfelder.
- Herstellung stabiler, homogener Strömungs-, Temperatur- und Konzentrationsfelder
- Lüftungs- und hygienische Bewertungen von Raumströmungen und Zuluftdurchlässen
- Validierung von CFD-Berechnungen
- Messungen in Modellräumen

Aufbau des neuen Raumluftrömungslabors

Wie in **Bild 1** skizziert, hat der Prüfraum die inneren Grundabmaße von 7,2 m x 4,2 m x 3,6 m. Der aufgeständerte Boden, die linke Seitenwand, die Rückwand und die Decke sind temperierbar. Hierzu stehen mehrere Heizstationen zur Verfügung, mit denen stufenlos die Vorlauftemperaturen eingestellt werden können. Der aufgeständerte Boden besteht aus faserverstärkten Calciumsulfatplatten mit integrierten Heiz- und Kühlleitungen. Die temperierbaren Wände und die Decke bestehen aus aktivierten Metallplatten. Die rechte Seitenwand hat eine große Öffnung mit einer daran angebauten Klimakammer. Somit ist es möglich, an dieser Seite Aufbauten mit einer Anbindung an Außenluftbedingungen zu realisieren. Die Front ist als transparente Doppelfassade ausgeführt. Durch diese Fassade können alle Versuche beobachtet werden und die Strömungen beispielsweise mit Nebel oder verschiedenen Lasermetho-

den sichtbar gemacht werden. Die Ausführung als Doppelfassade dient der Entkopplung der Versuche von der Hallenluft, um zu große thermische Belastungen auszuschließen. Dies ist notwendig, da in der Halle weitere Prüfstände betrieben werden.

Neben den Begrenzungen durch die äußeren Wände ist es möglich, individuell, dem jeweiligen Versuchsaufbau angepasste Wände zu stellen und so den Raum in seinen Abmessungen den Erfordernissen anzupassen. Hierzu besteht außerdem die Möglichkeit, die Ständer des Doppelbodens zu verlängern, um die Höhe des Prüfraumes anzupassen. Durch den Aufbau dieser inneren Wände, z.B. aus Plexiglas, wird ein so genannter innerer Hüllraum geschaffen. Dieser kann mit Luft temperiert werden. Somit sind auch den Innenwänden des Versuchsraumes beliebige Randbedingungen wie konstante Temperaturen oder definierte Wärmeströme aufzuprägen.

Luftversorgung

Es stehen eine Zuluft-Klimaanlage sowie ein Abluftventilator zur Verfügung. Mit dem realisierten Lüftungskonzept sind Luftströme von 10 m³/h bis 10 000 m³/h einstellbar. Je nach Luftstrombereich sind Zulufttemperaturen von – 15 °C bis 50 °C und relative Zuluftfeuchten von 5 % bis 95 % einstellbar. Außerdem besteht die Option, einen Umluftbetrieb zu realisieren. Bei Bedarf sind Zu- und Abluftstrom vollständig voneinander getrennt, um z.B. Tracergas-Messungen vorzunehmen. Die gesamte Klimaanlage sowie das Kanalnetz sind von der Hallende-

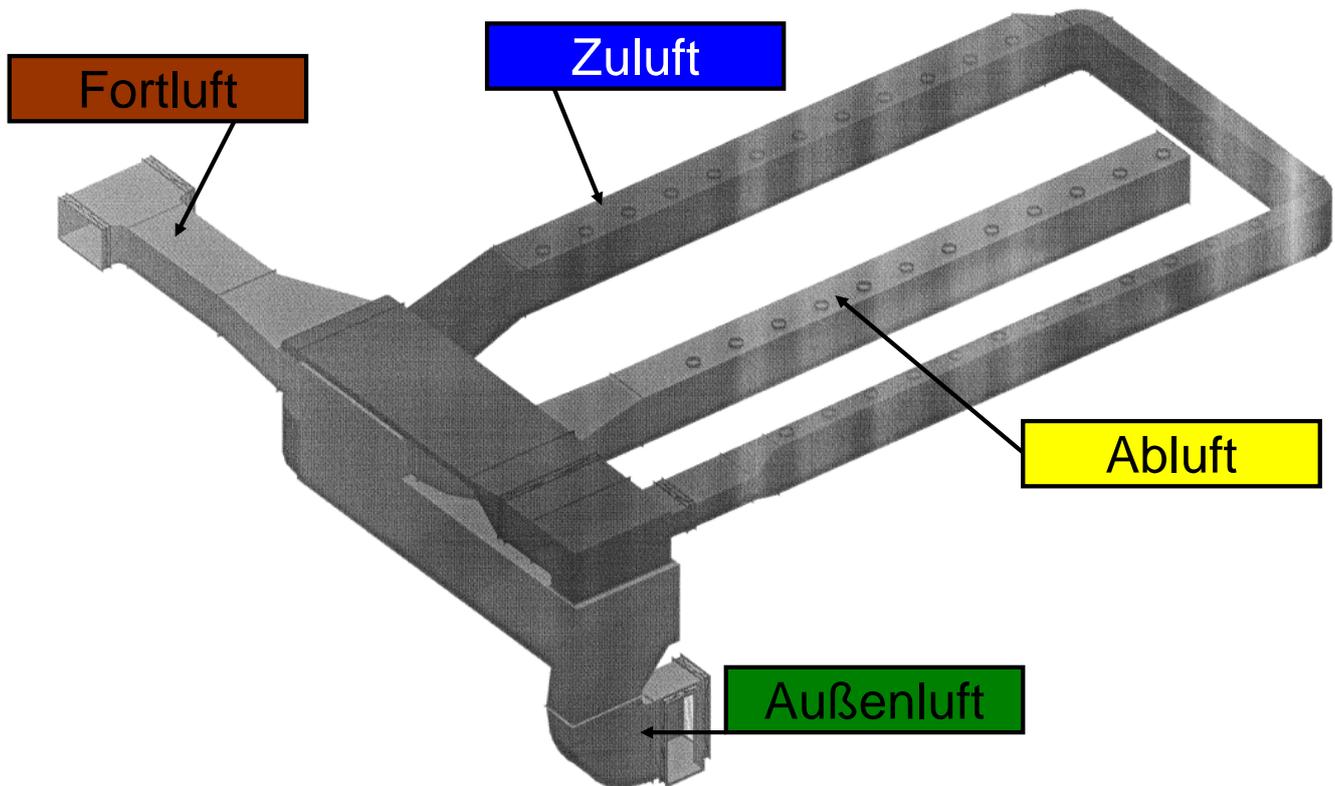


Bild 2: Perspektivische Ansicht der Klimaanlage mit Luftverteilnetz

cke abgehängt. Die prinzipielle Luftführung ist in **Bild 2** zu sehen.

Messtechnik

Zur Erfassung der interessierenden Größen werden folgende Sensoren eingesetzt:

- Pt100 Temperaturfühler für Lufttemperaturen
- Pt100 Temperaturfühler für Wassertemperaturen
- Pt100 Fühler für Oberflächentemperaturen
- Magnetisch induktive Durchflussmesser für Wasser
- Thermische Anemometer für Luftgeschwindigkeiten
- Luftfeuchtesensoren
- Infrarotgasanalysator mit Messstellenumschalter für Tracergas (N_2O)
- Messgerät für elektrische Leistungen

- Düsen zur Luftstrommessung
- Messkreuze zur Luftstrommessung
- Differenzdruckmesser

Sondenverstelleinrichtung

Da die manuelle Positionierung von Sensoren im Raum sehr zeitaufwändig ist und das Betreten des Raumes während eines Messvorgangs die Strömungsverhältnisse beeinflusst, wird die Installation einer Sondenverstelleinrichtung geplant. Dabei handelt es sich um eine Konstruktion aus linearen Achsen und einer Scherenmechanik, die unterhalb der Labordecke angebracht ist. Mit der Sondenverstelleinrichtung lassen sich beliebige Sensoren im Raum positionieren und, ohne diesen zu betreten, an einen anderen Ort versetzen. Somit können ohne einen Eingriff

durch den Benutzer automatisiert Messprogramme abgefahren werden.

Datenerfassung/ Software

Die Mess- und Regelgrößen werden mittels eines Mehrkanalmultiplexers und eines Multifunktions-Schalt-/Messsystems oder eines Feldbussystems erfasst und für die softwareseitige Verarbeitung an einen PC weitergeleitet. Auf diesem PC befindet sich die Prüfstandssteuersoftware, um alle vorhandenen Daten zu erfassen und die entsprechenden Kreise zu regeln und zu steuern. Außerdem werden Prozessverläufe dargestellt und Speicherroutinen aktiviert, um spätere Auswertungen zu ermöglichen.

Neubau einer Doppelklimakammer

Bernd Klein

Die Wärmepumpe ist eine Komponente der Haustechnik mit Zukunft. Dies spiegelt sich bei der Prüfstelle HLK im Umfang der durchgeführten Prüfungen wider. So kann man sagen, dass die Entscheidung, in die Prüfung von Wärmepumpen einzusteigen und damit die Grundlage für ein weiteres Standbein zu schaffen, richtig war.

Die Prüfung von Luft-Wasser-Wärmepumpen erfolgt nach DIN EN 14511. Zur Bestimmung des COP müssen Temperatur und Feuchte der Außenluft innerhalb enger Toleranzen konditioniert werden. Die Prüfpunkte der Norm liegen zwischen -15 °C und $+20\text{ °C}$, der Normpunkt liegt bei $+7\text{ °C}$. Es wird demzufolge eine Klimakammer benötigt, die in diesem Temperaturbereich stabil konditioniert werden kann. Bei den Prüfpunkten unterhalb des Normpunktes vereist in der Regel der Verdampfer der Wärmepumpe. Dieses Eis muss in regelmäßigen Zyklen abgetaut werden. Üblicherweise geschieht dies durch eine kurzzeitige Prozessumkehr, so dass der Verdampfer als Kondensator wirkt und dabei abtaut. Es handelt sich um eine Prüfung unter instationären Bedingungen. Die Schwierigkeit bei der Prüfung besteht darin, dass die Toleranzen für die Umgebungsbedingungen sowie die Zeit für das Wiederherstellen des gewünschten Luftzustandes eng begrenzt sind. Normalerweise löst man dieses Problem dadurch, dass man die Klimakammer möglichst groß wählt, so dass die Trägheit der Kammer gegenüber der Störgröße Wärmepumpe dominiert.

Aufgrund der begrenzten Platzverhältnisse war diese Lösung bei HLK nicht umsetzbar. Es wurde deshalb ein Konzept entwickelt, wie mit einer Klimakammer auch bei kleinem Raumvolumen die Konstanz des Luftzustandes durch geführte Luftströme sowie eine ausgeklügelte Regelungstechnik erreicht werden kann. Die Regelung der Lufttemperatur enthält hierbei eine Vorsteuerung, die mit Hilfe eines Modells, die Energieströme des Prüfaufbaus online simuliert. So kann bei Abtaubetrieb eine schnell-

le Gegenreaktion stattfinden und damit die Zustände bei der Abtauung innerhalb der geforderten Toleranzen gehalten werden.

Der Arbeitsbereich der provisorischen Klimakammer erwies sich bald als zu klein. Der Wärmetauscher war nur für eine Leistung bis ca. 14 kW ausgelegt und die Kabine konnte aufgrund von Leckage nicht tief genug temperiert werden. Basierend auf den gesammelten Erfahrungen fiel die Entscheidung, eine neue Klimakammer aus Sandwichpaneelen zu errichten.

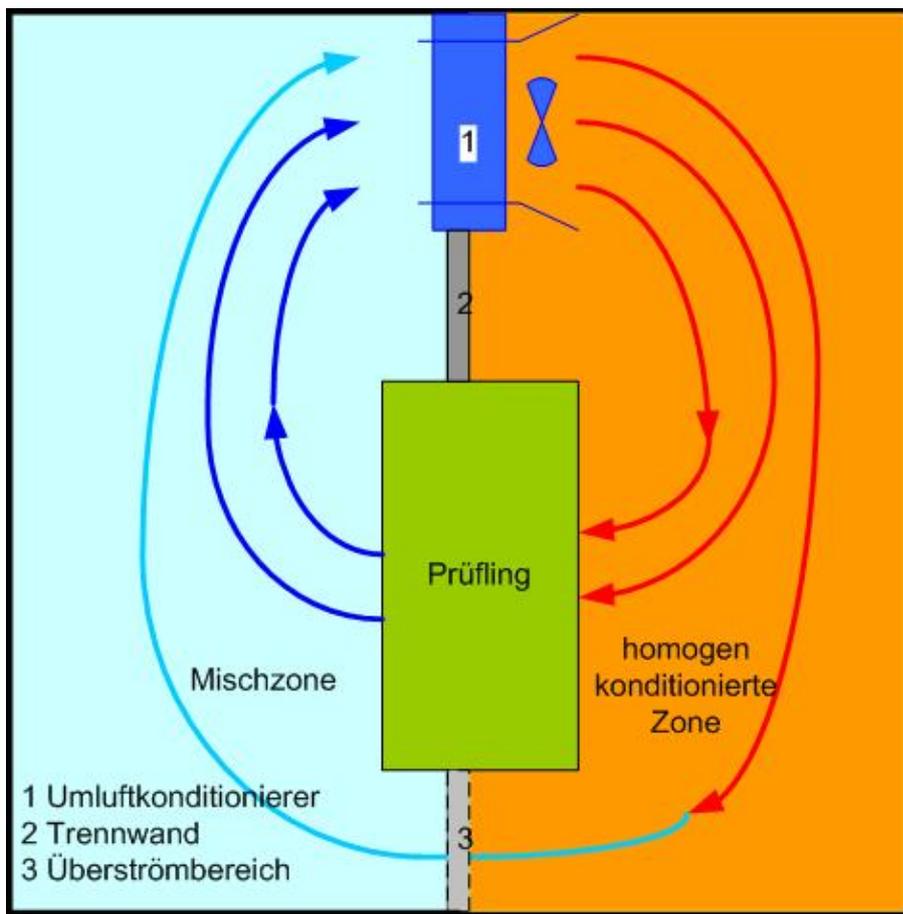


Bild 1: Luftführungskonzept der Klimakammer zur Prüfung einer Luft- / Wasser-Wärmepumpe

Die neue Klimakammer sollte so flexibel sein, dass Prüfungen an folgenden Geräten möglich sind:

- Luft/Wasser-Wärmepumpen für Innen-, Außen- und Splitaufstellung
- Sole/Wasser-Wärmepumpen
- Wärmepumpen zur Heizung oder Kühlung
- Luft/Luft-Klimageräten
- Wohnungslüftungsgeräten mit Wärmerückgewinnung

Diese Anforderungen führten zum Konzept einer Doppelklimakammer mit einer flexiblen Trennwand, die auf einer Grundfläche von 4 x 6 m untergebracht werden musste.

Die Doppelklimakammer ist so konzipiert, dass jede Kammer unabhängig betrieben werden kann. Ein Umluftkonditionierer mit einem Luft/Wasser-Wärmetauscher sowie zwei Ventilatoren konditioniert die Luft. Zur Bereitstellung der Heizenergie werden Gasthermen verwendet, zur Kühlung wird eine Kältsolanlage eingesetzt. Jede Kammer ist ausgelegt für die Prüfung von Luft/Wasser-Wärmepumpen bis 35 kW Heizleistung sowie einer minimalen Lufttemperatur von -25 °C.

Die beiden Kammern sind spiegelbildlich angeordnet. Die Trennwand ist aus flexiblen Platten erstellt. Zur Prüfung von größeren Wärmepumpen kann die Trennwand entfernt werden, so dass Geräte bis 70 kW Heizleistung geprüft werden können. Luftvolumenströme können mit Hilfe mobiler Module gemessen werden. Für die



Bild 2: Umluftkonditionierer und flexible Zwischenwand

Wärmeabnahme stehen Heizkreise mit Durchflussmessgeräten unterschiedlicher Dimension zur Verfügung.



Bild 3: Eingang zu einer der Kammern

Die Prüfung von Sole/Wasser-Wärmepumpen kann in jeder Kammer mit Hilfe eines mobilen Solemoduls erfolgen.

Zur Prüfung von Wärmepumpen stehen nun insgesamt drei Prüfplätze zur Verfügung, auf denen flexibel Luft/Wasser oder Sole/Wasser-Wärmepumpen geprüft werden können. Durch das Vorhandensein einer Erdgasversorgung in unmittelbarer Nähe zur neu errichteten Klimakammer ist es auch möglich, gasbetriebene Wärmepumpen zu prüfen.

Die Aufnahme der Schallmessung in die Akkreditierung nach ISO 17025 Anfang dieses Jahres vervollständigte das Spektrum der Prüfungen im Bereich Wärmepumpen.

Energetische Bewertung von RLT-Anlagen

Dipl.-Ing. Thomas Schlosser

Einleitung

Zur Verringerung des Energiebedarfs und des CO₂-Ausstoßes im Gebäudebereich und der technischen Anlagen wurden in den vergangenen Jahren Mindestanforderungen an die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden durch die Energieeinsparverordnung (EnEV) eingeführt. Diese Anforderungen wurden durch eine aktuelle Überarbeitung (EnEV 2009) bereits verschärft. Eine Limitierung des Energiebedarfs, auch für raumluftechnische Anlagen (RLT-Anlagen), ist demnach notwendig und sinnvoll. Ziel ist es, die energetische Qualität raumluftechnischer Anlagen zu sichern und zu verbessern. Für RLT-Anlagen sind in der neuen EnEV Teilkennwerte definiert wie der Grad der Wärmerückgewinnung oder die spezifische Leistungsaufnahme der Ventilatoren. Diese Kennwerte sind jedoch nur komponentenbezogen und geben keinen Vergleich, ob die vorgesehene Anlage für die geplante Nutzung energetisch sinnvoll ist. Nur mit einem systembezogenen Ansatz lässt sich die Energieeffizienz einer RLT-Anlage feststellen.

Für die Bewertung einer technischen Lösung müssen nutzenabhängige Vergleichswerte definiert werden. Für RLT-Anlagen gibt es aber bisher keine wie in der Heizungstechnik übliche Kennwerte, um die Bedarfswerte ihrer Höhe nach zu beurteilen.

Ziel

Anforderungen an RLT-Anlagen entstehen durch ihre vorgesehene Nutzung (z. B. Sollwertanforderungen hinsichtlich Temperatur und Feuchte). Die Vielzahl unterschiedlicher Nutzungsfälle von RLT-

Anlagen macht eine einfache Anwendung des Bewertungsverfahrens schwierig. Es können zwar mit Hilfe der rechnerischen Simulation sehr viele Kennwerte erzeugt werden, die Anwendbarkeit bleibt jedoch beschränkt. Daher wird eine Reduzierung der Nutzungsfälle auf wesentliche Fälle vorgeschlagen.

Durch eine Beschreibung der Anforderungen in Form von „physikalischen Größen“, wie z. B. Quellstärken, Personendichten oder ähnlichem, soll der ausgearbeitete Katalog erweiterbar und offen für weitere Nutzungsfälle gestaltet werden. Zusätzliche Problemstellungen lassen sich durch eine Variation dieser „physikalischen Größen“ beschreiben.

Die Ergebnisse des Vorhabens sind energetische Kennwerte für Vergleichsprozesse, technisch realisierbare und „Stand der Technik“-Prozesse. Der Kennwert aus dem Vergleichsprozess ist der Vergleichswert bzw. Minimalwert. Der Kennwert aus dem „Stand der Technik-Prozess“ ist um einen Differenzbetrag größer. Um eine

Bandbreite für unterschiedliche Anlagenausführungen zu erhalten, werden verschiedene Anlagenkonzepte für die definierten Nutzungsfälle untersucht und mit dem „Minimalwert“ verglichen.

Nutzungsfälle

Über 30 verschiedene Nutzungsfälle, die für die energetische Bewertung nach EnEV festgelegt sind, werden hinsichtlich ihrer internen Belastungen analysiert. Ergebnis der Analyse ist eine Reduzierung der Nutzungsfälle auf sechs Gruppen. Diese definieren sich über ihre thermische Belastung und ihre Feuchtebelastung und decken die Bandbreite der typischen Nutzungsfälle für RLT-Anlagen ab. In **Tabelle 1** sind diese neuen Nutzungsfälle dargestellt. Beispielhaft werden typische Nutzungen in der Tabelle aufgeführt. Eine Zuordnung anderer Nutzungsfälle erfolgt über die Größe der internen Belastung. Dabei repräsentiert Gruppe 1 die hoch belasteten Räume und Gruppe 6 die gering belasteten Räume.

	Thermische Belastung	Feuchtebelastung	Personen
Nutzungsfall (Nutzfläche: 17,5m ²)	W/m ²	g/(hm ²)	Anzahl
Gruppe 1 (Zuschauer, Hörsaal)	60	30	11
Gruppe 2 (Messe, Kantine)	40	20	7
Gruppe 3 (Besprechung, Klassenzimmer)	30	10	4
Gruppe 4 (Büro)	30	4	1
Gruppe 5 (Hotel, Sporthalle, Museum)	15	4	1
Gruppe 6 (Nebenflächen, Lager)	4	0	0

Tabelle 1: Nutzungsfälle Raumluftechnik

Ergebnisse

Die Berechnungen werden für den Beispielraum nach VDI 2067-21 mit einer Nutzfläche von 17,5 m² durchgeführt. Als Temperatur- und Feuchtesollwerte werden die Angaben aus DIN EN 15251 für alle drei Komfortkategorien eingesetzt. Die Mindestaußenluftströme sind ebenfalls nach DIN EN 15251

aufwand der RLT-Anlagen. Auf der linken Seite ist der bezogene Minimalwert mit **29 kWh/(m²a)** aufgetragen. Es folgen die Werte für die unterschiedlichen realen Anlagen. Die EnEV-Werte auf der rechten Seite des Diagramms sind mit den Angaben für die Referenzanlagen der jeweiligen EnEV-Variante berechnet. Unterstellt man, dass

besteht und in welche Richtung die technische Entwicklung gehen muss. Es ist ebenfalls erkennbar, wie der Deckelwert in Zukunft angepasst werden kann und muss, um bestimmte, energetisch ungünstige Anlagen auszuschließen.

Zusammenfassung

Durch die Vorgabe von energetischen Deckelwerten wird die Planung und Realisierung von Anlagen ermöglicht, die einen fallbezogenen, niedrigen Energiebedarf haben. Damit wird die Voraussetzung für Anlagen mit gegenüber heute niedrigerem Energieverbrauch geschaffen.

Eine energetische Bewertung von geplanten Anlagenkonzepten setzt die Kenntnis entsprechender Ziel- bzw. Deckelwerte voraus. Diese sind der wesentliche Gegenstand des Vorhabens.

Es entsteht für die Fachwelt ein einheitliches Verfahren, mit dem unterschiedliche RLT-Anlagen auf ihren Energiebedarf, d. h. auf ihre energetische Eignung, überprüft und verglichen werden können. Mit den Ergebnissen, in Katalogform (**Tabelle 2**), werden die Fachleute in die Lage versetzt, mit angemessenem Aufwand einen energetischen Nachweis zu erbringen.

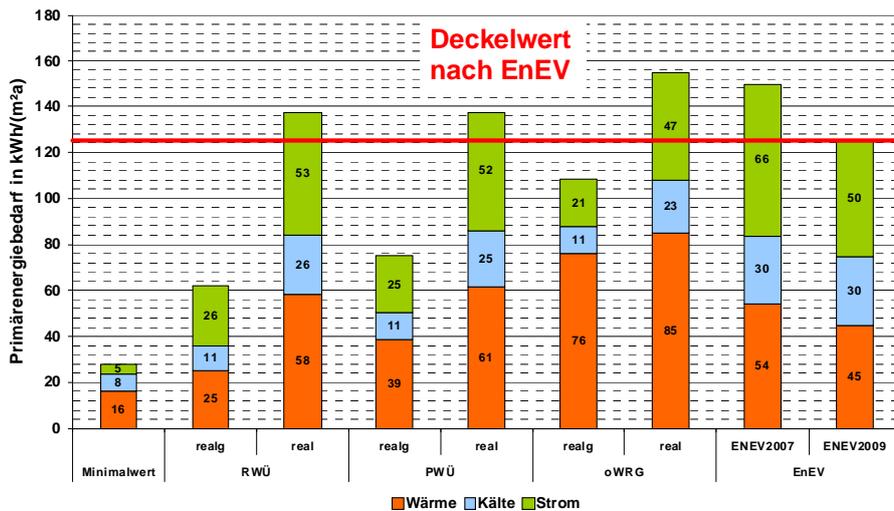


Bild 1: energetische Kennwerte für Büronutzung (Komfort-Kategorie 2)

ermittelt, wobei ein personenbezogener Anteil und ein gebäudebezogener Anteil enthalten sind.

Für alle Fälle werden zunächst die minimalen Jahresenergieaufwandswerte ermittelt. Diese stellen den Minimalwert dar.

Zur Bestimmung von Deckelwerten zur Begrenzung des Energiebedarfs wird eine Anzahl von realen Anlagentypen berechnet. Betrachtet werden energetische sehr günstige Anlagen (realg) und energetisch eher ungünstige Anlagen (real). Weiter werden Anlagen ohne (oWRG) und mit unterschiedlichen Wärmerückgewinnungssystemen betrachtet (RWÜ - Rotorwärmeübertrager, PWÜ - Plattenwärmeübertrager).

Für das Beispiel Büronutzung (Gruppe 4) sind die Ergebnisse in **Bild 1** zusammengefasst. Dargestellt ist der Jahresprimärenergie-

zur Limitierung des Energieaufwandes von RLT-Anlagen die heutigen Anforderungen gelten, dann ergibt sich der Deckelwert für die Büronutzung (Kategorie 2) zu **125 kWh/(m²a)**.

Es wird auch deutlich, welches energetische Potenzial selbst bei energetisch günstigen Anlagen

Nutzungsfall	Primärenergiebedarf	
	Minimalwert	Deckelwert (EnEV 2009)
	kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)
Hörsaal	37	286
Messe	32	216
Besprechung	32	166
Büro	29	125
Hotel	42	141
Nebenflächen	57	161

Tabelle 2: Katalog energetischer Kennwerte für RLT-Anlagen

Wirksamkeit von Lüftungskonzepten

Bing Gu

Einleitung

Heutzutage bemüht man sich immer mehr, Behaglichkeit und Luftqualität in Räumen zu verbessern. Hohe CO_2 -Konzentrationen findet man vor allem in Räumen, in denen Menschen dicht versammelt sind, z. B. in Klassenzimmern oder Hörsälen. Die Situation in Schulen verdient besondere Aufmerksamkeit, weil nicht nur die Gesundheit der Schüler während des Unterrichts beeinträchtigt werden kann, sondern auch ihre Lernfähigkeit zur Diskussion steht. Maschinelle Lüftung für Klassenzimmer scheint dringend geboten [1].

Diese Studie befasst sich mit zwei maschinellen Lüftungskonzepten für ein typisches Klassenzimmer. Verglichen werden die Konzepte Mischlüftung und Schichtlüftung. Ziel dieser Studie ist es, beurteilen zu können, ob die im Raum durch ein Lüftungssystem erzeugte Raumluftströmung den Nutzern eine behagliche und hygienische Um-

gebung verschaffen kann und wie effizient dies geschieht. Oder anders ausgedrückt: Wie sollten solche Klassenzimmer lufttechnisch versorgt werden?

Diese Studie bedient sich sowohl experimenteller als auch numerischer Methoden. Die experimentellen Untersuchungen werden im Raumströmungslabor (RLS-Labor) am IGE durchgeführt. Dabei werden die Ergebnisse aus den numerischen Berechnungen validiert. Die Strömungs- und Stoffausbreitungsvorgänge im Raum werden durch die CFD-Software Fluent dreidimensional numerisch berechnet.

Dabei werden die Kühl- und Feuchtelasten zuerst durch eine Simulation mittels TRNSYS16 (A TRaNsient SYstems Simulation program) für einen extremen Witterungsverlauf, d. h. ein Jahr mit extremem Sommer und Winter, dynamisch betrachtet.

Modell und Randbedingungen

Bild 1 und **Bild 2** zeigen die Simulationsmodelle für die beiden Lüftungskonzepte Misch- und Schichtlüftung.

Das untersuchte Klassenzimmer ist 9 m lang, 7,7 m breit und 3 m hoch. Der vorne stehende Dummy sei der Lehrer; vor ihm steht ein Tisch. Die anderen Dummies (Schüler) stehen ihm gegenüber, jeweils hinter den Tischen in vier Quer-Reihen zu je 6 Dummies.

Die Raumtemperaturen betragen 26°C im Sommer und 20°C im Winter. Das Lüftungssystem führt sowohl im Sommer als auch im Winter die Zuluft mit 5 K bzw. 3 K Untertemperatur in den Raum. Die Luftströme in beiden Lüftungskonzepten betragen ca. 1800 und 1000 m^3/h für den Sommer- bzw. Winterfall. Die Zuluft mit 8 K Untertemperatur wird auch für das Mischlüftungskonzept im Sommer untersucht. Der Luftstrom soll ca. 1.200 m^3/h betragen.

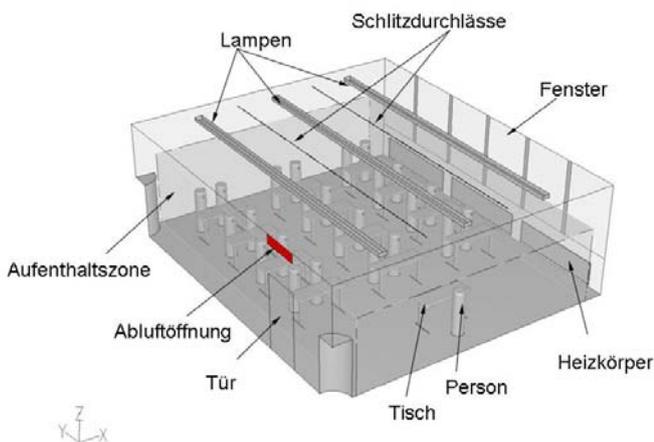


Bild 1: Modell für Mischlüftung mit Schlitzdurchlässen in der Decke

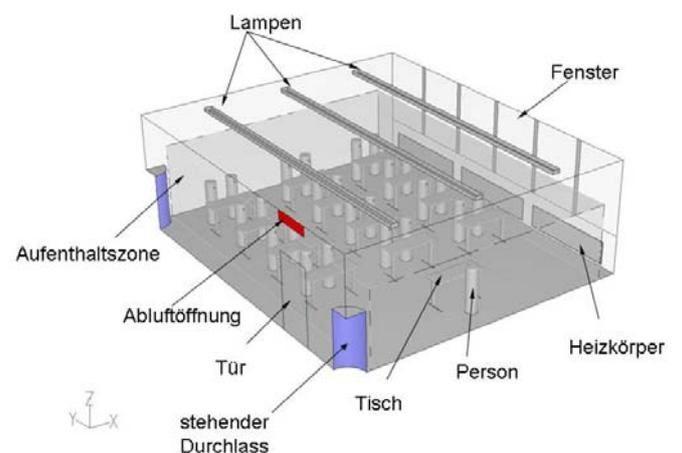


Bild 2: Modell für Schichtlüftung mit stehenden Viertelkreisdurchlässen

Experiment und Validierung

Um die Genauigkeit und Gültigkeit des CFD-Modells zu bestätigen, sollte man, wann immer möglich, die Simulationsergebnisse validieren. Im vorliegenden Fall wurden experimentelle Untersuchungen für die Validierung im RLS-Labor der Prüfstelle HLK Stuttgart des IGE durchgeführt. **Bild 3** zeigt den Versuchsaufbau im RLS-

Labor und **Bild 4** stellt die Messstellen im Experiment und im Simulationsmodell dar.

Im Experiment werden zwei Größen – Temperatur und Geschwindigkeit – gemessen. **Diagramm 1** zeigt die Ergebnisse der Validierung. Sowohl die Temperaturen als auch die Geschwindigkeiten im Experiment stimmen sehr gut mit denen der Simulation überein,

insbesondere in der Höhe von 1,1 m (Atembereich). Deutliche Abweichungen sind allerdings in der Nähe des Bodens und des Zuluftdurchlasses festzustellen. Die Validierung belegt, dass die Simulationsmodelle geeignet und somit für weitere numerische Berechnungen verwendbar sind.



Bild 3: Versuchsaufbau im RLS-Labor

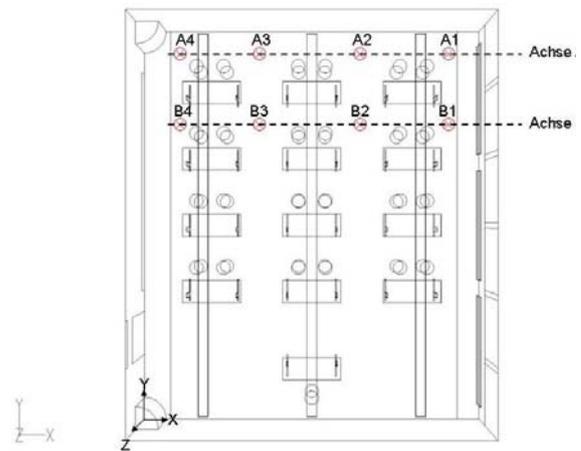


Bild 4: Messstellen im Experiment und im Modell für die numerische Simulation

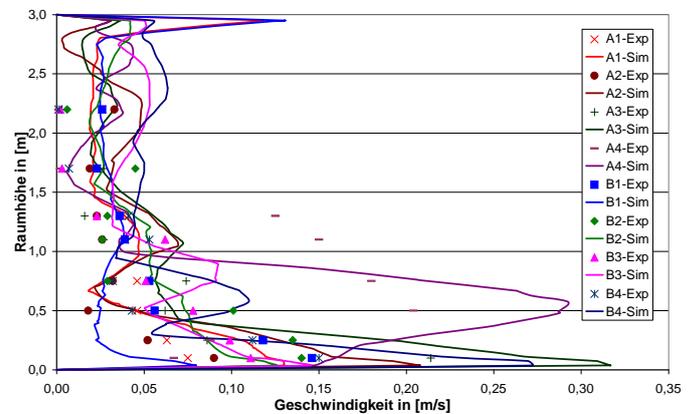
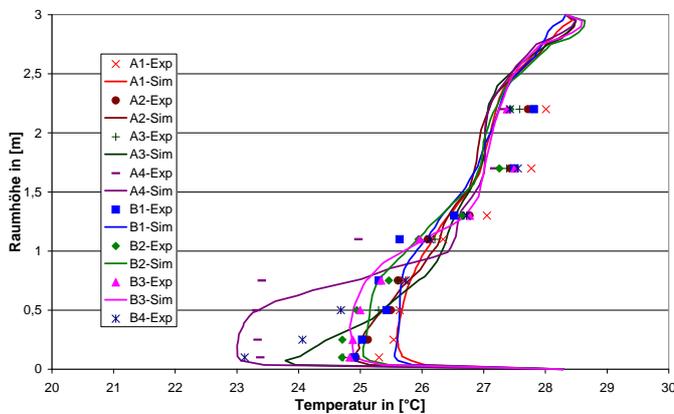


Diagramm 1: Validierung der Temperaturen bzw. Geschwindigkeiten im Raum für Schichtlüftung mit Viertelkreisdurchlässen

Ergebnisse

Bild 5 und **6** zeigen beispielhaft die Verteilung der CO₂-Konzentration in mehreren xz-Ebenen im Sommer für Misch- und Schichtlüftung im Raum.

Tabelle 1 zeigt die mit den Lüftungssystemen erzielten Mittelwerte der CO₂-Konzentration und die Bewertungsgrößen für die Wirksamkeit der Lüftung im Aufenthaltsbereich. Die CO₂-Konzentration ist von der Luftwechselrate abhängig. Eine wichtige Feststellung dabei ist, dass das Schichtlüftungssystem – gemessen an der CO₂-Konzentration im Aufenthaltsbereich – für bessere Luftqualitäten sorgen kann. Die Luftfüh-

rungsart hat Einfluss auf die Lüftungseffektivität. Unter gleichen Randbedingungen erzielt die Schichtlüftung eine höhere Wirksamkeit. Ein wesentlicher Vorteil der Mischlüftung besteht zwar darin, dass eine recht homogene Umgebung für die Personen erzielt werden kann. Die Schichtlüftung benötigt aber kleinere Untertemperaturen als die Mischlüftung bei gleichen Luftwechselraten, womit Energie eingespart werden kann. Ein Nachteil der Schichtlüftung ist, dass die Behaglichkeitsbedingungen in der Nähe der Luftdurchlässe kritische Werte annehmen können. Welche Luftführungsart und welche Anordnung der Zu- und

Abluftöffnungen man wählt, muss man von Fall zu Fall entscheiden. Ein besonderer Aspekt für Klassenzimmer ist, dass diese in der Regel sehr intensiv belegt sind, folglich gibt es einfach nicht genügend Platz, damit alle Schüler weit genug entfernt von Zuluftöffnungen, wie im Fall der Schichtlüftung, sitzen können.

Literatur

- [1] Ribic, Werner: Nachweis des Zusammenhanges zwischen Leistungsfähigkeit und Luftqualität. GI Gesundheits-Ingenieur - Haustechnik - Bauphysik - Umwelttechnik 129 (2008) Heft 2, S.88-91.

Sommerfall					
	Luftwechselrate [1/h]	CO ₂ -Konzentration	Belastungsgrad [-]	Luftaustauschwirkungsgrad [-]	Lüftungswirkungsgrad [-]
Mischlüftung mit Schlitzdurchlässen in der Decke (mit 5K Untertemperatur)	9	670	1	0,5	0,5
Mischlüftung mit Schlitzdurchlässen in der Decke (mit 8K Untertemperatur)	6	880	1	0,5	0,5
Schichtlüftung mit stehenden Viertelkreisdurchlässen (mit 3K Untertemperatur)	9	490	0,5	0,9	0,7
Winterfall					
Mischlüftung mit Schlitzdurchlässen in der Decke (mit 5K Untertemperatur)	5	900	1	0,5	0,5
Schichtlüftung mit stehenden Viertelkreisdurchlässen (mit 3K Untertemperatur)	5	590	0,5	0,7	0,7

Tabelle 1: Mittlere Werte der CO₂-Konzentration und der Kriterien für die Lüftungseffektivitäten

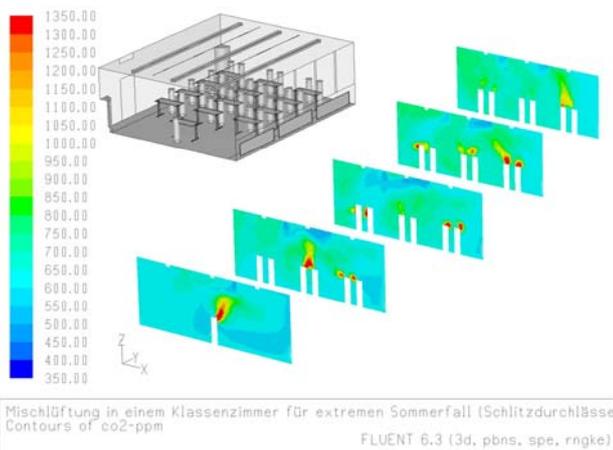


Bild 5: Verteilung der CO₂-Konzentration in xz-Ebenen im Sommer für Mischlüftung

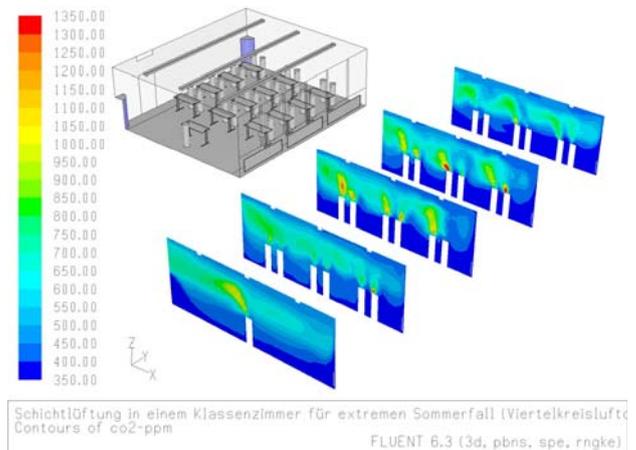


Bild 6: Verteilung der CO₂-Konzentration in xz-Ebenen im Sommer für Schichtlüftung