

Vorwort

Meine Damen und Herren,

ein ereignisreiches Jahr 2016 neigt sich seinem Ende zu und wir werden alle die Weihnachtszeit mit unseren Familien verbringen, um auszuspannen, Energie zu tanken und uns ein paar gute Vorsätze für das neue Jahr vorzunehmen. Dann passt es ganz gut, wenn in dieser Zeit ein HLK-Brief greifbar ist und zur Lektüre einlädt. Ich wünsche Ihnen viel Spaß beim Lesen und wie immer sind wir über Ihre Hinweise, Fragen und Anregungen, die den Wert des HLK-Briefes für Sie erhöhen, dankbar.

Der HLK-Brief erscheint nun seit 1989 und meine beiden Vorgänger Prof. Heinz Bach und Prof. Michael Schmidt haben diesen genutzt, um über die Forschungsaktivitäten am IGE und der HLK zu berichten. Mit diesem HLK-Brief möchte ich die Gelegenheit nutzen, Sie meine werten Leser, über mich den neuen Institutsleiter des IGE zu informieren und neben den aktuellen Forschungsvorhaben auch über die zukünftigen Schwerpunkte zu informieren.

„Nur“ zwei Jahre nach der Ausschreibung der Professur im Mai 2014 habe ich nun die Nachfolge von Prof. Michael Schmidt zum 1. Juli 2016 angetreten. Wohl der normale Zeithorizont für die Wiederbesetzung einer Professur.

Nach meiner Promotion am IGE zum Thema „Energieaufwand maschineller Wohnungslüftung in

Kombination mit Heizsystemen“ im Jahr 2006 wechselte ich zur Bosch Thermotechnik GmbH in den Bereich der Vorentwicklung neuer Technologien und Systeme. 2008 wurde ich Assistent des Bereichsvorstands Entwicklung. In dieser Funktion habe ich einen tiefen Einblick in die Abläufe eines weltweit tätigen Systemanbieters der Heizungs-, Lüftung- und Klimatechnik erhalten. Zwischen 2010 und 2016 war ich Projektleiter eines interdisziplinären Teams aus Forschung, Entwicklung und Fertigung, um eine neue Kompressor-Technologie für die Anwendung in Kältekreisläufen und Wärmepumpen zu entwickeln.

Es interessiert Sie sicherlich, welche Forschungsschwerpunkte sich das IGE unter einer neuen Leitung in Zukunft setzen wird. Zunächst einmal möchte ich betonen, dass das IGE in der Vergangenheit richtigerweise den Schwerpunkt auf anwendungsbezogene Forschungsthemen gesetzt hat. Themen, deren Ergebnisse die interessierten Kreise und demzufolge auch die Mitglieder unseres Fördervereins betrafen. Dieser Sichtweise fühle ich mich verpflichtet. Denn auch ein Forscher möchte, dass seine Ergebnisse nicht nur auf dem Papier stehen, sondern zur Weiterentwicklung der zugehörigen Branche und den auf dem Fachgebiet agierenden Menschen sowie der Gesellschaft im Allgemeinen dienen. Mit anderen Worten: die DNA

des IGE bleibt und wir werden auch weiterhin die Forschungsthemen der Vergangenheit in der Zukunft fortführen.

Die zukünftigen Forschungsaktivitäten beziehen sich auf:

- Die Sicherstellung des energetischen, thermischen, hygienischen und qualitativen Standards heiz- und raumlüftungstechnischer Anlagen bei unterschiedlichen Entwürfen sowie veränderten baulichen Randbedingungen,
- Die Verbesserung des energetischen Standards der Anlagen als Beitrag zur Senkung des Energieverbrauchs und der Emissionen,
- Die Verbesserung der energetischen und hygienischen Funktion des Gesamtsystems „Gebäude“ durch optimale Einbindung der Anlagentechnik.

Hierzu sind zum einen die Arbeiten zur gekoppelten Betrachtung von Bauentwurf, Baukonstruktion und Anlagentechnik weiter zu führen und zum anderen ist z.B. durch geeignete Planungswerkzeuge die Gewerke übergreifende Planungsintegration zu verstärken. Es existiert Forschungsbedarf, der in einem interdisziplinären, Gewerke übergreifenden Ansatz bearbeitet wird:

- Strategien der Konzeptfindung und Planungssystematik,
- Integrierte Planungsplattform für die Gebäudeplanung und über den Planungsprozess fort-

geschriebene Planungsdatenbank,

- Rechnergestützte Planungswerkzeuge für die Konzept- und Ausführungsplanung sowie zur Einregulierung und Fehlererkennung im Betrieb und
- Qualitätsmanagementsysteme für den Planungsprozess.

Bei Systemen der gekoppelten Energiewandlung kommt der Einbindung in übergeordnete Versorgungsstrukturen eine mitentscheidende Bedeutung zu. Hierzu gehören Kraft-Wärme-Kopplung, Speicher- und Wärmepumpentechnologien. Nur in Einzelfällen kann von autarken Gebäuden ausgegangen werden. Hier besteht Forschungsbedarf in Zusammenarbeit mit anderen inner- und außeruniversitären Forschungseinrichtungen:

- Einbindung von Gebäuden mit deren technischen Anlagen in Systeme virtueller Kraftwerke,
- Energiebereitstellung zur Heizung und Kühlung aus geothermischer Quelle, aus Gewässern und anderen erneuerbaren Quellen,
- Mess- und regeltechnische Einbindung von Gebäuden in übergeordnete Versorgungs- und Erzeugungsstrukturen.

Die Schwerpunkte werden zusammenfassend in der Energieeffizienz, Flexibilität, Digitalisierung und in der Sektorkopplung liegen. Wir werden uns mit be-

stimmten Anwendungsfällen und Gebäudetypen stärker auseinandersetzen, wie z.B. Schulgebäuden, Industriegebäuden und Hallenbädern.

In diesem HLK-Brief berichten wir unter anderem über den aktuellen Stand unser Forschungsvorhaben.

Hier ein Überblick, welche Artikel Sie erwarten werden:

167. Überblick der Studien-, Master-, und Bachelorarbeiten, Personelle Veränderungen am IGE

168. Neubau des Hallen- und Laborgebäudes Pfaffenwaldring 6B

169. Geothermienutzung in innerstädtischen Tunneln – Untersuchung des instationären Verhaltens einer Tunnelgeothermieanlage

170. Untersuchung der Luftströmungen in Orgelbauteilen

171. Instationäres Prüfverfahren zur energetischen Bewertung von leistungsgeregelten Wärmepumpen

172. Einfluss der Gebäudehülle auf den Energiebedarf von Schulgebäuden

173. Auswirkungen einer Abschaltung von RLT-Anlagen auf die Raumluftqualität

174. Energieaufwand für die Nutzenübergabe realer Heiz- und Kühlsysteme bei optimiertem Luftstrom und maschineller Lüftung

Es freut mich Ihnen mitteilen zu dürfen, dass uns in den letzten Wochen drei Forschungsvorhaben bewilligt wurden:

1. EwWalt: Energetische Bewertung der dezentralen kontrollierten Wohnraumlüftung in alternierender Betriebsweise
2. GeopNu: Gebäudebetrieboptimierung durch Nutzeridentifikation in Räumen
3. MEDIOR: Entwicklung eines mehrdimensionalen Strömungssensorsystems

Über diese werden wir ausführlich im nächsten HLK-Brief berichten.

Im Sinne der VdF HLK-Satzung fordere ich Sie auf, mit uns den wissenschaftlichen Gedankenaustausch auf dem Gebiet der Heizungs-, Lüftungs- und Klimatechnik aufzunehmen und uns mit Ihren Anregungen, Wünschen und Fragen zu konfrontieren.

Herzlichst
Ihr



Konstantinos Stergiaropoulos

Studien-, Diplom-, Bachelor- und Masterarbeiten ab 2. Halbjahr 2015 bis 1. Halbjahr 2016

Personelle Veränderungen

Felix Riedesser, M. Sc., der seit Dezember 2014 als wissenschaftlicher Mitarbeiter am IGE tätig war, ist im Mai 2016 zu Bosch Thermo-technik GmbH nach Wernau gewechselt. Dort ist er als Entwicklungsingenieur im Bereich der maschinellen Wohnungslüftung tätig.

Manuel Grimm, M. Sc. arbeitet seit Juni 2016 als wissenschaftlicher Mitarbeiter am IGE und befasst sich mit einem Projekt zur Entwicklung eines Wärmepumpenprüfverfahrens (siehe aktueller HLK-Brief Artikel 171). An der Universität Stuttgart absolvierte er den Bachelor- und Masterstudiengang Umweltschutztechnik.

Prof. Dr.-Ing. Konstantinos Stergiaropoulos dürfen wir seit 01. Juli 2016 hier am IGE als neuen Institutsleiter begrüßen. Er trat die Nachfolge von **Prof. Dr.-Ing Michael Schmidt** an, der jetzt endlich seinen wohlverdienten „Un-Ruhestand“ genießen kann - wobei sich in seinem neuen Büro noch die ein oder andere Arbeit auftürmt – und er immer wieder über die Flure huscht.

Dipl.-Ing. Vasileios Stergiaropoulos kam im November 2016 als wissenschaftlicher Mitarbeiter ans Institut. Er betreut ein Projekt des Staatlichen Hochbauamtes Heidelberg, Bundesbau Baden-Württemberg.

Mathias Arnold: Korrosion in TGA-Anlagen - Problematik und Vermeidungsstrategien

Albert Blank: Untersuchung des Einflusses einer Nutzererkennung auf den Energiebedarf in Bürogebäuden

Matthias Böhringer: Erstellen eines Hydraulik-Wasserbad-Prüfstandes für Thermostatventile

Anna Dao: Energetische Optimierung von Frostschutzstrategien bei Wärmepumpen

Phillip Eder: Erstellen eines Luftkanal-Prüfstandes für Thermostatventile

Felix Geiger: Bewertung der Anpassungsfunktionen für die Testreferenzjahre

Robin Götz: Vergleich der Raumlufthqualität von Schüllüftungssystemen

Manuel Grimm: Entwicklung eines Hardware-in-the-Loop-Verfahrens zur dynamischen Prüfung von Wärmepumpen

Emil Hanna: Verschmutzung und Schimmelbildung in Lüftungsanlagen

Christina Kendel: Erweiterung und Erprobung eines Simulationsmodells für leistungsgeregelte Wärmepumpen

Andre Kretschmar: Kritische Luftzustände für Kulturgüter

Larissa Labenski: Entwicklung eines anwendungsorientierten Energiedatenmanagementsystems für Energieeinspar-Projekte

Cai Lexiao: Potentialstudie zur Geothermienutzung in Tunnelbauwerken - Vergleich herkömmlicher Wärme- und Kältequellen

Yixin Li: Energetische Bewertung verschiedener Fassadensysteme in China

Tilman Linde: Nutzung von Tunnelgeothermie für die Beheizung und Kühlung eines Gebäudes

Jakob Merk: Modellierung, Kalibrierung und Betriebsoptimierung eines thermohydraulischen Gebäudeanlagensystems mit Modelica

Andreas Mödinger: Möglichkeiten der Klimatisierung bei Expeditionsfahrzeugen

Nora Novak: Energetische Optimierung von Frostschutzstrategien bei Wärmerückgewinnern

Fabiana Reusch: Untersuchung der Luftströmungen in Orgelpfeifen

Vanessa Schönfelder: Einfluss der Gebäudehülle auf den Energiebedarf von Schulgebäuden

Julian Schwarz: Einfluss der Dimensionierung einer Fußbodenheizung auf das Betriebsverhalten

Sebastian Warmuth: Untersuchung der elektrischen Lastgänge von Wärmepumpen in Wohngebieten

Wei Zhang: Untersuchung von Heizanlagen für die Erdgasvorwärmung

Yunhui Zhang: Vergleich des Jahresenergiebedarfs eines Einfamilienhauses mit und ohne maschinelle Lüftung

Weixiao Zhou: Vergleich zweier Simulationsprogramme für Lüftungssysteme in kommerziellen Gebäuden

Weixiao Zhou: Energieeinsparung durch Nachtkühlung und Optimierung des Luftstroms bei maschineller Lüftung

Fabian Zweck: Numerische Untersuchung von Rauchabzugsanlagen in Industriegebäuden

Neubau des Büro- und Laborgebäudes Pfaffenwaldring 6B

Joachim Stimpel



Bild 1: Entwurf Neubau Pfaffenwaldring 6B

Kurzfassung

Endlich ist es soweit! Wir bekommen neben dem bestehenden Gebäude auf dem Universitätsgebiet Stuttgart-Vaihingen, Pfaffenwaldring 6A, ein neues Forschungsgebäude mit Versuchshalle und Büroräumen. Bezug ist im Januar 2017.

Ausgeführt und beaufsichtigt wird der Bau durch das Generalunternehmen Berthold Kuhnle GmbH & Co. KG. Die Planung erfolgte durch den Architekt Hanspeter Glemser (Waiblingen) und in der Verantwortung des

Architekten Urs Lotz (Stuttgart) lag die Bauantragstellung.

Rückblickend betrachtet war es ein langer und holpriger Weg, bis das Gebäude errichtet werden konnte. Angefangen hat es im Jahre 2000 mit einem Erbbauvertrag, zwischen dem Land Baden-Württemberg (Liegenschaftsverwaltung), vertreten durch das staatliche Vermögens- und Hochbauamt Stuttgart als Grundstückseigentümer und der Forschungsgesellschaft HLK Stuttgart mbH als Erbbauberechtigte. Dies ermöglichte auf

dem Grundstück ein zusätzliches Gebäude zu errichten. Die ersten Ideen und Entwürfe wurden wieder verworfen und im Jahr 2010 ein neuer Anlauf unter dem wissenschaftlichen Leiter, Prof. Dr.-Ing. Michael Schmidt, unternommen.

Trotz unterschiedlicher Verzögerungen wurde konsequent an der Umsetzung des Projekts weitergearbeitet und am 17. Juni 2015 der Bauantrag durch die Stadt Stuttgart genehmigt. Ein historischer Tag!

Hier einen Einblick in die Ereignisse der zurückliegenden Monate und einige baulichen Details:

Das Gebäude ist 26,3 m lang und 12,7 m breit. Die Höhe der Versuchshalle beträgt 9,4 m und die des Verwaltungskomplexes 12,4 m.

Die Technikzentrale ist im Untergeschoss untergebracht. Im Erdgeschoss befinden sich der Eingangsbereich, Sozialräume und die Versuchshalle. Büroräume und ein Besprechungszimmer sind im 1. und 2. Obergeschoss vorhanden.



Bild 2: Spatenstich am 01.12.2015



Untergeschoss



Bodenplatte Halle



Erdgeschoss

Bild 3: Rohbauarbeiten Januar 2016 – Juni 2016



1.Obergeschoss



2.Obergeschoss



Fassade

Bild 4: Ausbauarbeiten Juli 2016 – Dezember 2016

Geothermienutzung in innerstädtischen Tunneln – Untersuchung des instationären Verhaltens einer Tunnelgeothermieanlage

Anders Berg

Kurzfassung

Es ist nur ein geringer technischer Aufwand nötig, um Tunnelbauwerke als geothermische Quelle oder Senke für Heiz- und Kühlzwecke zu nutzen. In Tunneln ist aufgrund der großen erdberührten Fläche ein hohes geothermisches Potential vorhanden.

Diese Idee wird im Rahmen des GeoTU6-Projektes umgesetzt. Dabei sind zwei jeweils etwa 10 Meter lange Tunnelabschnitte der Stuttgarter Stadtbahnlinie U6 beim Fasanenhof mit Absorberrohren ausgestattet und mit einer Wärmepumpe gekoppelt. Um den Temperaturverlauf im Erdreich, der Tunnelschale und in der Tunnelluft zu erfassen, ist der Tunnel mit Messtechnik ausgerüstet. Bild 1 zeigt die geothermische Teststrecke und den Wärmepumpenprüfstand.

Bei den ersten quasistationären Messungen konnten Ergebnisse für die Entzugsleistung für Heizen und Kühlen zwischen 5 W/m^2 und 37 W/m^2 bezogen auf die Wärmeübertragerfläche ermittelt werden. Weitere numerische Untersuchungen zeigen, dass bei längeren Zeitperioden Entzugsleistungen zwischen 3 W/m^2 und 8 W/m^2 zu erwarten sind.

Im Rahmen des GeoTU6-II-Projektes werden nun Emulationen durchgeführt, um Interaktionen zwischen den Tunnelabsorbern, der Wärmepumpe und einem potenziellen Verbraucher über einen längeren Zeitraum zu untersuchen.

Methode

Die erste Untersuchung stellt eine Kühlphase für ein potentielles Gebäude dar (Durchführungszeitraum: Juni bis Oktober 2016). Hierzu wird zwischen dem geothermischen Prüfstand und dem Simulationsprogramm TRNSYS eine Kopplung erzeugt und dafür ein mehrstöckiges Bürogebäude modelliert, welches den Anforderungen der EnEV 2014 entspricht. Eine schematische Darstellung des Bürogebäudes zeigt Bild 2 und der

Aufbau des Emulationsmodells ist in Bild 3 dargestellt.

Die Wärmeabfuhr aus den Räumen des Gebäudes erfolgt über Kühldecken, die mit einer Vorlauftemperatur von 17°C betrieben werden. Als hydraulische Weiche und Kältespeicher ist in TRNSYS ein thermischer Schichtspeicher eingefügt und ein zusätzlicher Kühler im unteren Teil des Speichers integriert, um die Vorlauftemperatur von 17°C sicherzustellen. Um die Kühldecken zu betreiben,



Bild 1: Links: Absorberrohre im Tunnel vor Betonierung, Rechts: Prüfstand im Betriebsraum des Fasanenhoftunnels

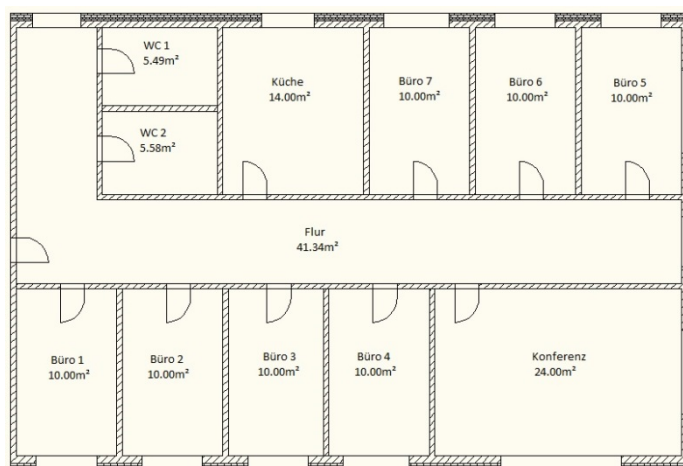


Bild 2: Grundriss des in TRNSYS abgebildeten Bürogebäudes

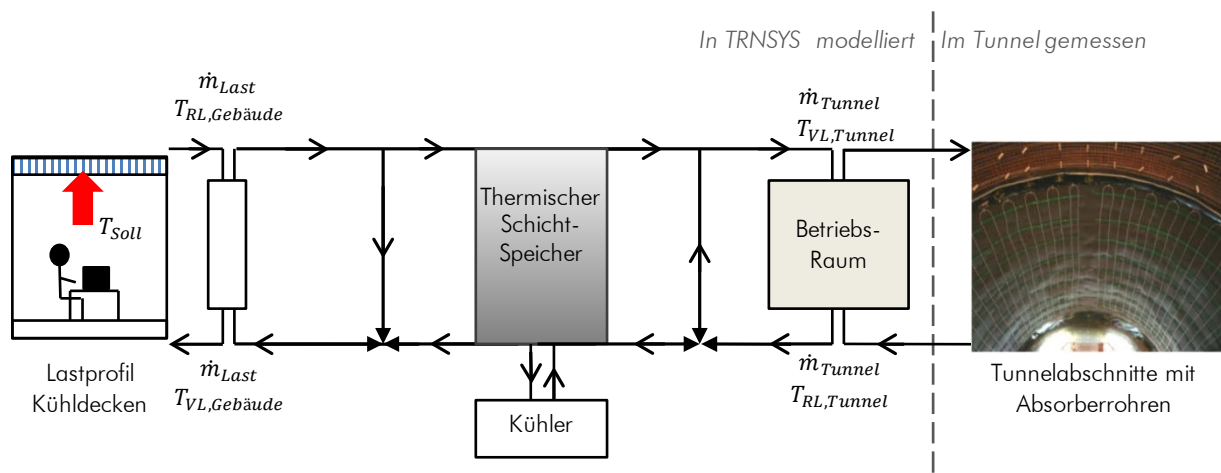


Bild 3: Struktur der Untersuchungen

wird das Wärmespeichermedium vom unteren Teil des Speichers entnommen und während der Emulation wird die Tunnelanlage im Fasanenhof genutzt, um diesen fiktiven Speicher zu kühlen. Solange die Rücklauftemperatur der Tunnelabsorber kälter ist als die höchste Temperatur im Speicher, kühlt die Geothermieanlage. Fällt die Temperatur Kühlmediums zu weit ab, wird über ein Mischventil die Temperatur für die Kühldecken auf 17°C erhöht.

Die Temperatur des entnommenen Wärmespeichermediums wird dem Prüfstand im Fasanenhof aufgeprägt. Die Vorlauftemperatur der Tunnelabsorber wird am Prüfstand im Fasanenhof auf das entsprechende Niveau eingestellt.

Der Wärmeträger wird nun durch den Absorber in den Tunnel geleitet und die Rücklauftemperatur gemessen. Diese Messdaten werden anschließend zurück in das Simulationsmodell als Vorlauftemperatur für den Wärmeübertrager im Schichtspeicher weitergeleitet.

Ergebnisse

Ein erheblicher Teil der Kühlenergie wird durch direkte Kühlung vom geothermischen Tunnelsystem gedeckt. Die geothermische Tun-

nelanlage hat während des Emulationszeitraums eine mittlere Entzugsleistung für die Kühlung von 2,1 kW, was 6 W/m², bezogen auf die Wärmeübertragerfläche, entspricht. Dies zeigt eine gute Übereinstimmung mit den Ergebnissen der vorherigen numerischen Berechnungen.

Die Ergebnisse zeigen auch, dass die hohen Entzugsleistungen, die am Anfang der stationären Messungen ermittelt wurden, nicht über eine längere Zeitperiode zu erwarten sind.

In Bild 4 werden die akkumulierte Energiezufuhr der Tunnelanlage

und des Zusatzkühlers sowie der Energiebedarf des Bürogebäudes dargestellt.

77 % der Kälteenergie konnte von der Tunnelanlage bereitgestellt werden, was 6.718 kWh entspricht.

Als Ergebnis lässt sich insgesamt feststellen, dass die Geothermienutzung in innerstädtischen Tunneln in Zukunft eine zunehmende Rolle spielen kann. Dazu müssen genaue Planungsmodelle für die Prognostizierung der potentiellen Entzugsleistungen von Geothermieranlagen in Tunneln entwickelt werden.

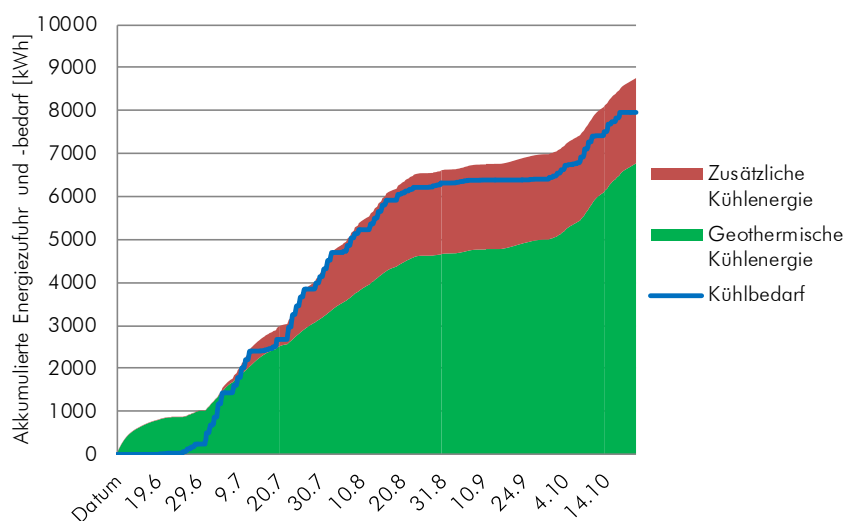


Bild 4: Akkumulierte Energiezufuhr der Tunnelanlage und des Zusatzkühlers zusammen mit dem Energiebedarf des Bürogebäudes

Untersuchung der Luftströmungen in Orgelbauteilen

Tobias Henzler
Matthias Hartnagel

Einleitung

Seit Jahren ist ein zunehmender Schimmelpilzbefall an Kunst- und Kulturgütern, insbesondere in historischen Gebäuden mit schwierigen klimatischen Bedingungen zu verzeichnen. Gegenstand dieses IGF-Projektes ist die Entwicklung technischer Verfahren, durch die einem Schimmelbefall in Orgeln vorgebeugt werden kann. Dabei stehen die Vorbehandlung der einströmenden Luft (Orgelwind) sowie die Optimierung der Luftströmungen innerhalb des Instruments im Mittelpunkt. Die Orgel dient dabei gleichzeitig als Beispiel für Objekte in Innenräumen mit extrem schwierigen Bedingungen, in denen ein Schimmelpilzbefall mit üblichen Maßnahmen nicht verhindert werden kann. Somit sollen die Erkenntnisse auch auf andere schimmelpilzgefährdete Objekte aus den Bereichen Kunst, Kultur sowie Archivierung übertragen werden.

Historische, organische Materialien bilden einen Nährboden für Mikroorganismen, wobei Pilze eine übergeordnete Rolle spielen, da manche Arten auch bei geringerer Feuchte wachsen und Materialien schädigen können. Im Bereich der Orgel sind dabei Holzpfeifen, Pfeifenstöcke und -bretter, mechanische Trakturteile, Lederteile an Bälgen und Stellmuttern aus Leder von Schimmelbefall betroffen. Bild 1 zeigt exemplarisch einen mit Schimmel befallenen Windkanal. Auch im Inneren von orgelwindführenden Bauteilen (Kanäle, Windlade) tritt Schimmelpilzbefall

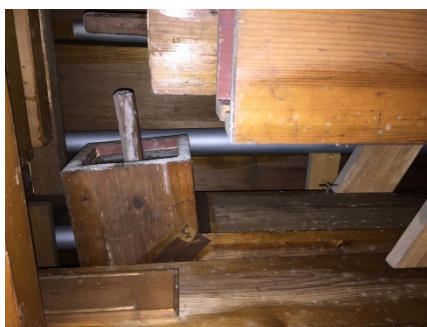


Bild 1: Schimmelpilzbefall an einem Windkanal

auf. Diese verborgenen Bereiche sind besonders problematisch, da sie nur durch aufwändige Demontagearbeiten eingesehen und kontrolliert werden können. Das Forschungsvorhaben wird in Kooperation mit dem Institut für Holztechnologie Dresden (IHD) und dem Institut für Diagnostik und Konservierung an Denkmalen in Sachsen und Sachsen-Anhalt e.V. (IDK) sowie mit Praxispartnern

und Vertretern aus Verbänden und Ämtern durchgeführt.

Methodik

Im Rahmen des Forschungsprojektes werden die Luftströmungen in den einzelnen Orgelbauteilen untersucht. Die Strömungsvorgänge werden mit Hilfe der CFD-Software ANSYS Fluent dreidimensional numerisch berechnet. Zunächst werden auf Basis einer von Schimmelpilz befallenen Orgel Modelle der grundlegenden Orgelbauteile entwickelt. Die zu betrachtenden Bauteile sind dabei der Windbalg, das Kanalnetz, die Windlade [1] und die Orgelpfeifen [2] (siehe Bild 2). Das gesamte System steht dabei unter einem Druck von 71 mmWS (Millimeter Wassersäule), was etwa 700 Pa entspricht. Das Ziel ist es, anhand der Luftströmungen innerhalb des Orgelsystems auf kriti-

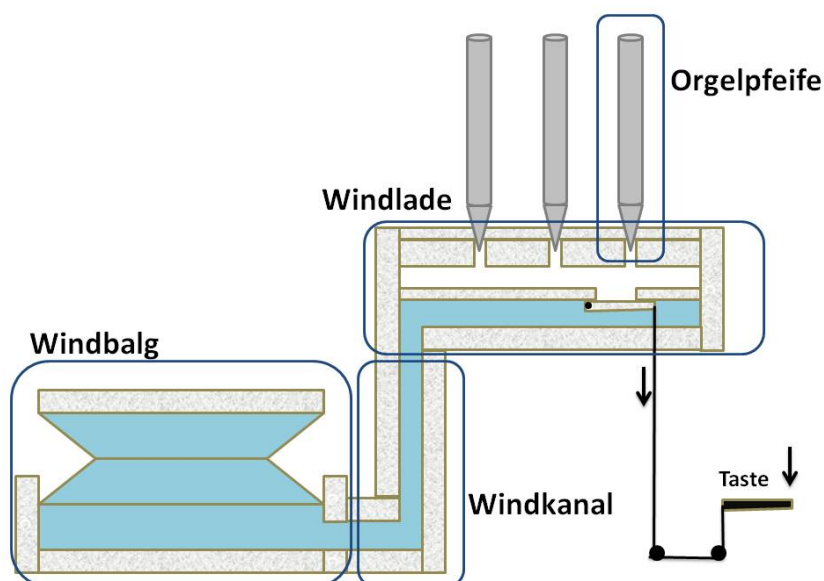


Bild 2: In der Simulation betrachtete Orgelbauteile [1]

sche Stellen aufmerksam zu machen, an denen ein erhöhtes Potential für biogenen Befall herrscht. Diese Stellen lassen sich anhand einer geringen Luftbewegung bzw. eines hohen Luftalters identifizieren.

Ergebnisse & Diskussion

Bild 3 zeigt exemplarisch die Geschwindigkeitsverteilung in der Windlade, dargestellt anhand der Strömungslinien von Partikeln. Es ist zu erkennen, dass jeweils an den Enden der Tonkazzellen und in den unteren Ecken des Ventilkastens kaum bis gar keine Luftbewegung stattfindet. Zwischen den Pfeifenbohrungen und den Ventildurchlässen entsteht eine Art Kurzschlussströmung in der Tonkazzelle. Untersuchungen des Luftalters im System der Windlade haben ergeben, dass an diesen strömungsarmen Stellen die Luft nicht ausgetauscht wird. Somit ist eine Ablagerung von Partikeln und Sporen in den Enden der Tonkazzelle und den Ecken des Ventilkastens prinzipiell möglich. Bild 4 zeigt die Temperaturverteilung für einen theoretischen Winterfall in der Windlade. Wenn am Tag eines Gottesdienstes morgens die Heizung eingeschaltet wird, erwärmt sich die Luft im Raum schneller als

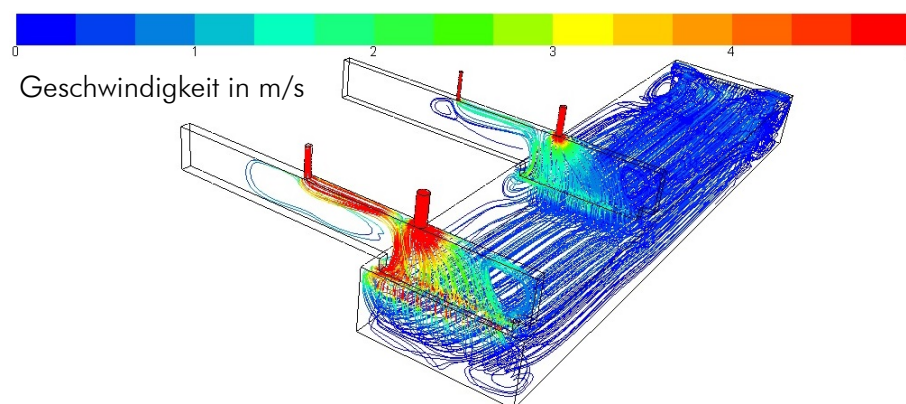


Bild 3: Geschwindigkeitsverteilung in der Windlade [1]

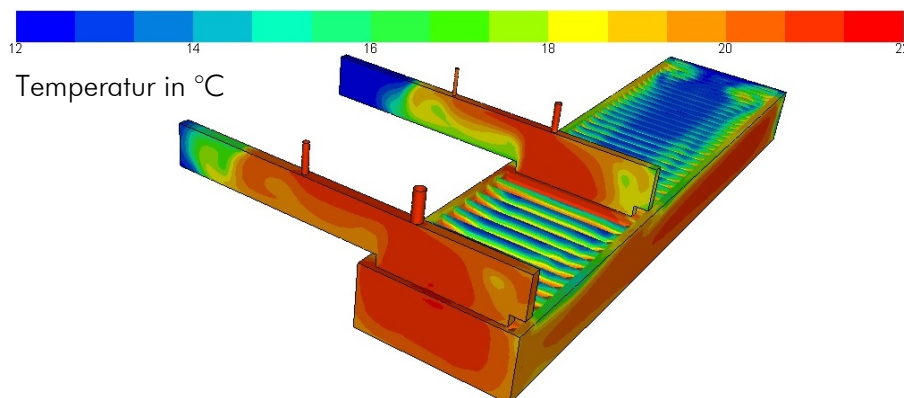


Bild 4: Temperaturverteilung an der Oberfläche des Bauteils im theoretischen Winterfall [1]

die einzelnen Bauteiloberflächen der Orgel. Somit wird die Zulufttemperatur des Luftsystems der Orgel für diesen Fall mit 22°C festgelegt und die Oberflächen-temperatur der Orgelbauteile mit 12°C definiert. Ersichtlich ist, dass sich auch bei dieser Betrachtung die Enden der Tonkazzellen und die Ecken des Ventilkastens als kritische Punkte identifizieren lassen.

Fazit

Derzeit sind die Bauteile Windlade und Orgelpfeife als 3D-Modell fertiggestellt und strömungstechnisch untersucht. Weiterführend werden nun auch der Windkanal und die Balganlage in ein 3D-Modell überführt. Daneben soll auch ein typischer Sommerfall sowie weitere

Parameter wie die Luftfeuchte und ggf. die Partikelbeladung der Zuluft abgebildet werden. Ziel ist es, ein funktionierendes 3D-Modell einer Orgel zu erstellen, um mit Hilfe der Strömungssimulation und der Variation der einzelnen Parameter Aussagen bezüglich kritischer Stellen zu treffen und die Wirksamkeit möglicher Maßnahmen (Trocknung der Zuluft, gezielte Belüftung kritischer Stellen) abschätzen zu können.

Literatur

- [1] Hartnagel, Matthias: Untersuchung zu den Luftströmungen innerhalb einer Orgel; unveröffentlichte Masterarbeit; IGE 2016
- [2] Reusch, Fabiana: Untersuchung der Luftströmungen in Orgelpfeifen; unveröffentlichte Bachelorarbeit; IGE 2016

Instationäres Prüfverfahren zur energetischen Bewertung von leistungsgeregelten Wärmepumpen

Manuel Grimm

Einleitung

Das Forschungsvorhaben wird in Kooperation mit der TU Dresden und der RWTH Aachen durchgeführt. Dabei soll ein neues Prüfverfahren zur dynamischen Prüfung von leistungsgeregelten Wärmepumpen entwickelt werden.

Für dieses Vorhaben soll ein Simulationsmodell mit einem Wärmepumpenprüfstand gekoppelt werden, um die Wärmepumpe mit zeitlich veränderbaren Bedingungen zu beaufschlagen.

In einem Ringversuch sollen Prüfungen an allen drei Instituten wiederholt und somit die Unabhängigkeit der verwendeten Methoden aufgezeigt werden. Jedes der drei Institute setzt für den Ringversuch unterschiedliche Wärmeerzeuger ein. Das IGE benutzt für die Instationäre Prüfung eine Luft/Wasser-Wärmepumpe, während die TU Dresden eine Mikro-KWK-Anlage und die RWTH Aachen eine Sole/Wasser-Wärmepumpe bereitstellt.

Vorgehensweise

Grundüberlegung ist die Messung der Jahresarbeitszahl während eines dynamischen Betriebes des Wärmepumpenprüfstandes. Dabei sollen der Wärmepumpe Umgebungsbedingungen und thermische Gebäudelasten (Heizen und Trinkwarmwasser) aufgeprägt werden. Eine Feldmessung würde hierfür eine zu lange Zeit beanspruchen, um repräsentative Jahresarbeitszahlen zu ermitteln. Daher wird versucht die Prüfung durch die Entwicklung eines Zyklus von 4 Tagen zu verkürzen. Die Entwicklung des Prüfzyklus mit den entsprechenden repräsentativen Tagen wurde bereits im HLK-Brief Artikel 163 [1] ausführlich erläutert.

Nach der Festlegung des Prüfzyklus wird ein Simulationsmodell mit einem Gebäude,- und Anlagenmodell aufgebaut, das mit dem Prüfstand gekoppelt wird. Wichtig ist dabei, ein Modell zu entwickeln, welches bei allen drei Projektpartnern vergleichbare

und reproduzierbare Ergebnisse liefert.

Gebäudemodell

Das exemplarisch gewählte Gebäude ist ein nicht unterkellertes Einfamilienhaus mit einer beheizten Grundfläche von ca. 160 m². Der Gebäudetyp wurde mittels einer statistischen Untersuchung der TU Dresden ermittelt. Die Gebäudeform ist ein zweistöckiges Wohnhaus mit einem Satteldach. Der Grundriss des Gebäudes ist in Bild 1 dargestellt. Das verwendete Gebäude ist ein nach WSchVO 84 erbautes Bestandsgebäude mit einem klassischen Zweirohrheizungssystem. Die Wärmeabgabe erfolgt mit insgesamt zehn freien Raumheizflächen, welche auf die einzelnen Räume verteilt sind

Prüfstand

Der Prüfstand besteht aus einer Klimakammer, in der mithilfe eines Luftkühlers die Außenlufttemperatur eingestellt wird. Zudem kann die Außenluftfeuchte mit einem Befeuchter vorgegeben werden. Die Trinkwarmwassererwärmung wird ebenfalls mit der Wärmepumpe bewerkstelligt. Ein Zapfprofil nach DIN EN 16147 [3] wird für den Trinkwarmwasserbedarf herangezogen. Die Anordnung der Messtechnik zur Untersuchung der Wärmepumpe wird nach DIN EN 14511 [2] vorgenommen. Der Aufbau der Klimakammer mit allen relevanten

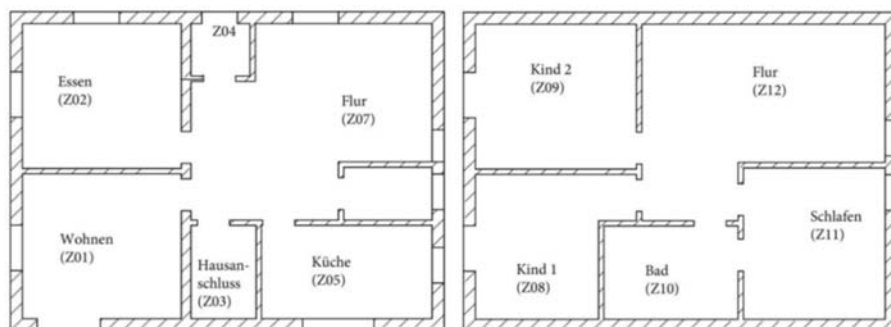


Bild 1: Grundriss Erdgeschoss (links) und Obergeschoss (rechts)

Einfluss der Gebäudehülle auf den Energiebedarf von Schulgebäuden

Vanessa Schönfelder, Mohammad Reza Adili

Einleitung

Der Großteil der Schulgebäude in Deutschland stammt aus den 1980er Jahren und ist inzwischen sanierungsbedürftig [1]. Bei Sanierung oder Neubau sind Gebäudehüllen mit hoher Wärmedämmung heutzutage Standard [1]. Daraus kann sich gerade in Schulgebäuden aufgrund der hohen inneren Wärmelasten durch die Schüler in den Klassenräumen im Sommer allerdings eine Überhitzung auftreten [2]. Um diesem Problem zu begegnen, untersucht diese Arbeit den Ansatz, einen Teil der Gebäudehülle weniger zu dämmen und wägt dabei Heiz- und Kühlenergiebedarf gegeneinander ab.

Vorgehen

Mit Hilfe des Programms TRNSYS 17 wird ein Schulgebäude simuliert. Für dieses werden verschiedene Bauteile der Gebäudehülle mit unterschiedlichen Dämmstandards entworfen. Es werden drei unterschiedliche Varianten im Massivbau und drei im Leichtbau betrachtet. Als höchster Dämmstandard wird für Massiv- sowie Leichtbau eine Dämmung der Gebäudehülle nach EnEV angenommen. Die weiteren Varianten haben Gebäudehüllen mit jeweils höherem U-Wert. Unter Betrachtung der verschiedenen Varianten werden mit Hilfe des Programms

der Heiz- und Kühlenergiebedarf des Schulgebäudes über einem Jahr berechnet und ausgewertet.

Randbedingungen

Das Schulgebäude befindet sich am Standort Stuttgart. Es handelt sich um ein Gebäude mit drei Stockwerken, Keller und Flachdach. Die Grundfläche eines Klassenraums beträgt 60 m² bei einer Höhe von 3 m. Jedes Klassenzimmer hat mindestens eine Außenwand mit großflächigen Fenstern.

Interne Wärmequellen sind zu Belegungszeiten Personen und Beleuchtung. Zusammen ergibt sich bei einer Anwesenheit von 30 Schülern und einem Lehrer eine Wärmeleistung von 3,51 kW [3],[4],[5]. Diese wird als Annahme im Verhältnis 1:1 aufgeteilt in Strahlungs- und Konvektionswärmeabgabe. Die Wärmeabgabe der Personen und der Beleuchtung sowie der zuzuführende Luftvolumenstrom werden mit einem Belegungsprofil verknüpft. Im Belegungsprofil wird für normale Schultage von einer Belegung zwischen 7.45 Uhr und 17.15 Uhr ausgegangen. Wochenend- und Ferientage werden ohne Belegung angenommen. Zu Belegungszeiten wird der Luftvolumenstrom vorrangig durch die Anzahl der anwesenden Personen bestimmt,

während er sich zu Zeiten der Nichtbelegung aus der Grundfläche ergibt. Nach DIN EN 15251 berechnet sich ein für die Belegung geforderter Luftvolumenstrom von 932 m³/h und für die Nicht-belegung 22 m³/h.

Für die Regelung der Lüftungsanlage ist zum einen ein Frostschutz nötig, welcher die Temperatur der der Anlage zugeführten Luft über 0°C hält. Zum anderen ist bei Einsatz eines Wärmerückgewinners zusätzlich ein Bypass mit Regelung zu installieren. Die Regelung sorgt dafür, dass der Wärmerückgewinner zu den Zeiten abgeschaltet wird, zu denen ein Einsatz nicht sinnvoll ist. Beispielsweise bei Kühlbedarf im Raum und gleichzeitig wärmeren Raum- als Außentemperaturen. Als zu erzielende Temperatur wird 16°C im Modul des Wärmerückgewinners in TRNSYS eingestellt.

Weitere einzustellende Temperaturen sind eine minimale Raumtemperatur von 20°C und eine maximale Raumtemperatur von 26°C zu Belegungszeiten. Bei Nichtbelegung werden diese Grenzen in dieser Arbeit mit 17°C und 28°C angenommen. Es geht dabei darum, den Raum nicht unnötig auskühlen beziehungsweise aufheizen zu lassen, da dies zu hohen Anfahrleistungen führen würde.

Des Weiteren wird ein Sonnenschutz für das Schulgebäude in Form von Jalousien simuliert. Diese werden in Abhängigkeit der Bestrahlungsstärke geregelt und zwischen 150 und 200 W/m² bezogen auf die jeweilige Fläche geschlossen.

Varianten

Tabelle 1 führt die U-Werte der Bauteile der Gebäudehülle für die betrachteten Varianten des Massivbaus auf. Die U-Werte der Leichtbau-Varianten unterscheiden sich kaum.

Ergebnisse

Bei der Simulation zeigt sich, dass ein Einsatz eines Wärmerückgewinners in Verbindung mit einer maschinellen Lüftung, deutliche Energieeinsparungen ermöglicht. Aus diesem Grund wird im weiteren Verlauf vom Einsatz eines Wärmerückgewinners ausgegangen.

Die Varianten des Massivbaus benötigen im Vergleich mit den zugehörigen Varianten des Leichtbaus weniger Energie, sowohl beim Heiz- als auch beim Kühlenergiebedarf. Dies ist in Bild 1 zu sehen. Das Kürzel M

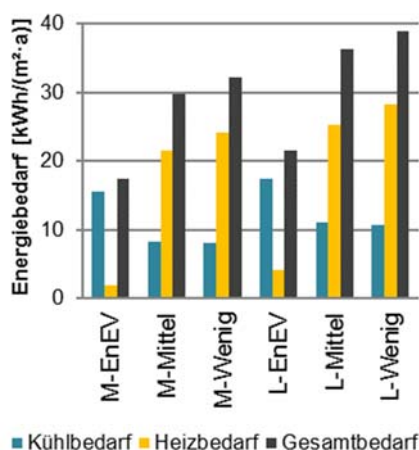


Bild 1: Mittelwerte der Energiebedarfswerte

steht hierbei für Massivbau, während L für Leichtbau steht. Es ist hier erkennbar, dass der nach EnEV gedämmte Fall zwar jeweils den höchsten Kühlenergiebedarf besitzt, dies jedoch durch einen deutlich geringeren Heizenergiebedarf gegenüber den anderen Varianten kompensiert wird. Der nach EnEV gedämmte Fall hat aus diesem Grund den geringsten Gesamtenergiebedarf.

Werden Gebäudehüllen mit verschiedenen Gebäudeteilen nach unterschiedlichen Dämmstandards betrachtet, so ergibt sich nicht mehr die Variante EnEV als energetisch günstigster Variante, sondern eine Variante der Gebäudehülle nach EnEV mit einer geringeren Dämmung der nach Süden gerichteten Außenwände. Die im Zusammenhang mit einer nicht einheitlichen Gebäudehülle untersuchten Varianten sind in Tabelle 2 aufgelistet. Die dazugehörigen Mittelwerte der Energiebedarfswerte einiger simulierter Räume sind in Bild 2 dargestellt. Der eben beschriebene energetisch günstigste Fall entspricht Fall EnEV-C.

Ausblick

Da in dieser Arbeit nur auf den energetischen Aspekt einer Sanierung eingegangen wurde, wäre es weiter von Bedeutung, Aufwand und Kosten der verschiedenen Sanierungsmöglichkeiten zu betrachten und diese der jeweiligen Energieeinsparung gegenüberzustellen. Es können zudem verschiedene Kühlsysteme untersucht und in Bezug auf ihre Energieeffizienz verglichen werden.

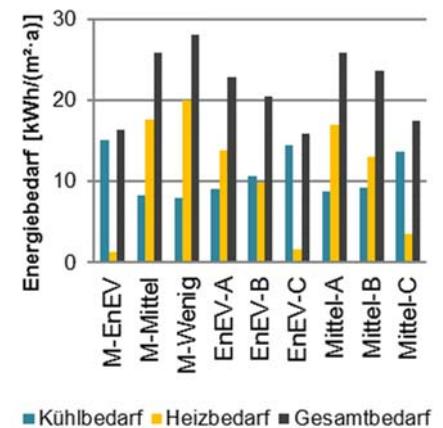


Bild 2: Vergleich der Energiebedarfswerte der Varianten mit nicht einheitlicher Gebäudehülle

Literatur

- [1] Brand, S./Steinbrecher, J.: Kommunalen Investitionsrückstand bei Schulgebäuden erschwert Bildungserfolge. Verfügbar unter: www.kfw.de [08.11.2016]
- [2] Venus, D./Knotzer, A.: Thermal comfort analyses in classrooms. Verfügbar unter: schoolventcool.eu/node/91 [08.11.2016]
- [3] Moriske, H.-J./Szewzyk, R.: Leitfaden für die Innenraumhygiene in Schulgebäuden. Verfügbar unter: www.umweltbundesamt.de [08.11.2016]
- [4] Unfallkasse Nordrhein-Westfalen: Die sieben Beleuchtungskriterien. Verfügbar unter: www.sichere-schule.de [22.10.2016]
- [5] klima:aktiv: Infoblatt Licht [Online]. Verfügbar unter: www.ztk.at [22.10.2016]

Tabelle 1: Fallunterscheidungen des Massivbaus

	M-EnEV	M-Mittel	M-Wenig
	U-Wert [W/(m²K)]	U-Wert [W/(m²K)]	U-Wert [W/(m²K)]
Außenwand	0,22	0,37	0,55
Innenwand	0,36	0,36	0,36
Flachdach	0,19	0,38	0,38
Fußboden	0,35	0,46	0,46
Kellerdecke	0,29	0,46	0,46
Fenster	1,27 (g-Wert: 0,624)	2,83 (g-Wert 0,755)	2,83 (g-Wert 0,755)

Tabelle 2: Varianten der nicht einheitlichen Gebäudehülle

Variante	Südfassade		Restliches Gebäude		
	Außenwand	Fenster	Außenwand	Fenster	Restliche Hülle
EnEV-A	M-Mittel	M-Mittel	M-EnEV	M-Mittel	M-EnEV
EnEV-B	M-Mittel	M-Mittel	M-EnEV	M-EnEV	M-EnEV
EnEV-C	M-Mittel	M-EnEV	M-EnEV	M-EnEV	M-EnEV
Mittel-A	M-Mittel	M-Mittel	M-EnEV	M-Mittel	M-Mittel
Mittel-B	M-Mittel	M-Mittel	M-EnEV	M-EnEV	M-Mittel
Mittel-C	M-Mittel	M-EnEV	M-EnEV	M-EnEV	M-Mittel

Auswirkungen einer Abschaltung von RLT-Anlagen auf die Raumluftqualität

Hagen Kaul, Yuanchen Wang

Einleitung

Der steigende Anteil an volatilen erneuerbaren Energien (z.B. Windenergie oder Photovoltaik) im Stromnetz führt immer wieder zu Situationen, bei denen Angebot und Nachfrage divergieren. Dieses Problem kann nicht nur durch Maßnahmen auf der Angebotsseite, sondern auch durch eine Anpassung der Nachfrage gelöst werden.

Einen möglichen Ansatzpunkt bieten hierbei raumluftechnische (RLT) Anlagen, beispielsweise von größeren Bürogebäuden. Die Luft eines Büroraumes kann dabei mit Hilfe einer RLT-Anlage als energetischer Speicher genutzt werden. Der Ladezustand des Speichers wird durch die Luftqualität bestimmt. Die Lüftungsanlage kann solange ausgeschaltet oder gedrosselt werden, bis in den Räumlichkeiten Grenzwerte überschritten sind oder die Behaglichkeit für Personen nicht mehr gegeben ist.

Ziel dieser Arbeit ist es daher, exemplarisch für einen Büroraum, den zeitlichen Verlauf der Luftqualität nach Abschaltung der RLT-Anlage im Sommerfall zu untersuchen. Dabei werden die Parameter Luftgeschwindigkeit, Lufttemperatur, Luftfeuchte und Kohlenstoffdioxidgehalt berücksichtigt.

Methodik

Der im Rahmen dieser Arbeit betrachtete Büroraum hat eine Grundfläche von ca. 15 m² (siehe Bild 1). Die Strömungs- und Schadstoffausbreitungsvorgänge werden mit Hilfe der CFD-Software ANSYS Fluent dreidimensional numerisch berechnet.

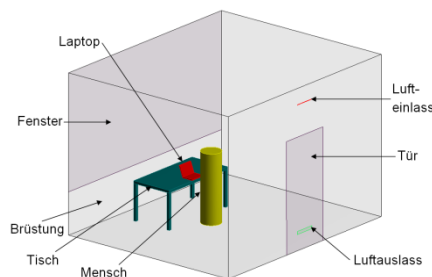


Bild 1: Untersuchungsraum [1]

Die Zuluft wird über einen Wand-schlitz auf einer Höhe von 2,70 m in den Raum geleitet und durch ein Lüftungsgitter in der Tür wieder abgeführt. Ein sitzender Mensch wird mit Hilfe eines Zylinderdummys dargestellt. Im Raum befindet sich außerdem ein Schreibtisch mit einem Laptop.

Die Wärmeabgabe der Person beträgt 75 W, die des Laptops 47,5 W. Des Weiteren gibt der Dummy 60 g/h Feuchte und 15 l/h Kohlenstoffdioxid ab. Der Zuluftstrom bei eingeschalteter RLT-Anlage beträgt 84 m³/h, mit einem Außenluft-Anteil von 63 m³/h.

Die Parameter der Zuluft werden so dimensioniert, dass sich bei eingeschalteter RLT-Anlage im

Nennbetrieb eine Lufttemperatur von 24°C einstellt. Die Temperatur ist in Hinblick auf den Grenzwert von 28°C niedriger gewählt, um eine möglichst hohe „Speicherdauer“ zu gewährleisten. Für die relative Feuchte stellt sich ein Wert von 50% ein. Hinsichtlich des Kohlenstoffdioxidgehalts wird der Anteil der Umluft mitberücksichtigt, sodass sich eine Konzentration oberhalb der Außenluft von 223 ppm ergibt. Der Endzustand der stationären Simulation bildet den Ausgangspunkt für eine spätere instationäre Simulation mit abgeschalteter RLT-Anlage.

Ergebnisse & Diskussion

Die einzuhaltenden durchschnittlichen Grenzwerte sind in den Normen DIN EN 15251 [2] und DIN EN 13779 [3] aufgeführt. Die Werte sollen im Aufenthaltsbereich, definiert nach Norm DIN EN 13779 [3], eingehalten werden. Für den Sommerfall mit einer zugrunde gelegten Außentemperatur von 32°C gilt eine Obergrenze von 28°C, für die relative Feuchte ein Bereich von 30% bis 65% und für den CO₂-Gehalt eine Obergrenze von 600 ppm (oberhalb der Außenluft).

Nach Abschaltung der RLT-Anlage werden die Luftströmungen im Raum nun hauptsächlich durch die Wärmeabgabe von Dummy und Laptop und die daraus resultierenden Konvektions-

ströme dominiert. Die Konvektionsströme beeinflussen maßgeblich die Verteilung des Kohlenstoffdioxids und der Luftfeuchte im Raum. Die auftretenden Luftgeschwindigkeiten verändern sich dabei im Laufe der Zeit nur minimal.

Die Auswertungen der Durchschnittswerte im Raum und Aufenthaltsbereich ergeben, dass die Lufttemperatur ansteigt, die relative Feuchte aufgrund der Temperaturabhängigkeit sinkt und der Kohlenstoffdioxidgehalt der Luft zunimmt. Dabei wird ein erster Grenzwert im Aufenthaltsbereich nach 20 min erreicht. Es handelt sich dabei um den Temperaturgrenzwert von 28°C. Dagegen werden die Grenzwerte für Feuchte und Kohlenstoffdioxid auch 30 min nach Abschaltung der RLT-Anlage nicht erreicht. Die relative Feuchte ist während dieser Zeitspanne auf 38% gesunken und der CO₂-Gehalt auf 391 ppm (oberhalb der Außenluft) gestiegen.

Bild 2, 3 und 4 zeigen Konturen im Schnitt durch die Raummittelachse bei Minute 20.

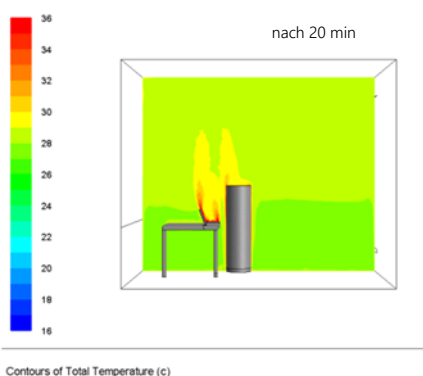


Bild 2: Verteilung der Temperatur [1]

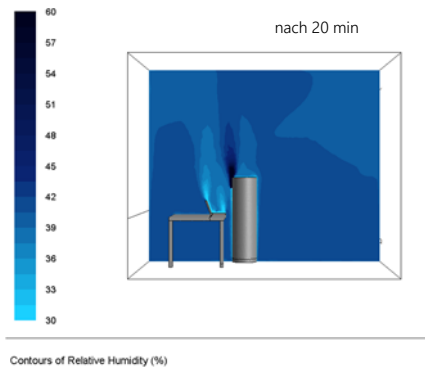


Bild 3: Verteilung der rel. Feuchte [1]

Die Betrachtung zeigt dabei, dass die Temperatur im Kopfbereich ca. 30°C und in der weiteren Umgebung ca. 28°C beträgt. Die relative Feuchte am oberen Bereich des Dummys zeigt, aufgrund der Temperaturabhängigkeit der relativen Feuchte, Schwankungen von 30% bis 60%. Beim Kohlenstoffdioxidgehalt fallen die erhöhten Konzentrationen im Nasenbereich auf. Der Kohlenstoffdioxidstrom folgt dabei der aufsteigenden warmen Luft.

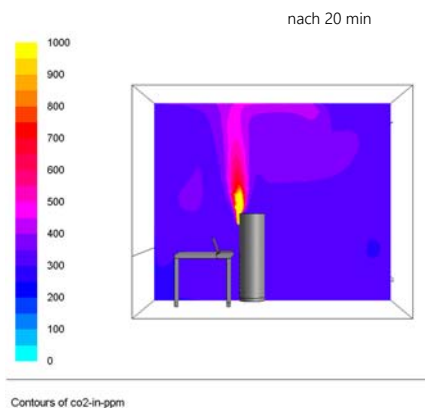


Bild 4: Verteilung des CO₂-Gehalt [1]

Es stellt sich heraus, dass beim Erreichen des zuvor erwähnten Temperaturgrenzwertes bei Minute 20 der gesamte Dummy, laut Klimabeurteilungsskala des PMV-Indexes, von einer Schicht „etwas zu warm“ umgeben ist. Im Oberkörper- und Kopfbereich er-

reicht die Index-Skala den Zustand „warm“ bis „zu warm“.

Aufgrund der Analyse der Durchschnittswerte sollte nach 20 min die RLT-Anlage wieder hochgefahren werden, da der Toleranzbereich der empfohlenen Komforttemperatur nach dieser Zeitspanne überschritten wird.

Die differenzierte Betrachtungsweise mit Hilfe von Simulationsquerschnitten lässt dahingegen die Interpretation zu, dass bereits vor dem Erreichen des durchschnittlichen Temperaturgrenzwertes, bei 20 Minuten, das Gefühl der Unbehaglichkeit auftritt. Unter diesen Gesichtspunkten wäre es zu empfehlen, die RLT-Anlage bereits vor dem Erreichen des Temperaturgrenzwertes wieder einzuschalten.

Fazit

Mit der numerischen Strömungssimulation wird für einen Büroraum ermittelt, wie sich die Luftqualität und Behaglichkeit nach Abschaltung der RLT-Anlage verändert.

Von den vier beobachteten Parametern ist hierbei die Temperatur derjenige, der am schnellsten den Grenzbereich erreicht. Die restlichen Parameter sind zu diesem Zeitpunkt noch weit von den entsprechenden Grenzbereichen entfernt.

Die lokale Betrachtung zeigt, dass bereits beim Erreichen des durchschnittlichen Grenzwertes der Temperatur eine kritische Behaglichkeit im nahen Umfeld des Menschen herrscht.

Das gezielte Abschalten von RLT-Anlagen kann zur Nachfrageregulierung im Stromnetz eingesetzt werden. Eine besonders große Wirkung kann erzielt werden, wenn viele RLT-Anlagen intelligent eingebunden werden (z.B. in Smart Grids). Bei der möglichen maximalen Abschaltdauer ist jedoch auf die Behaglichkeit der Personen im Raum zu achten, die schon vor dem Erreichen von normierten Grenzen unange-

nehme Zustände erreichen kann. In weiteren Untersuchungen soll der Zuluftvolumenstrom reduziert werden und eine energetische Bewertung der Potentiale erfolgen.

Literatur

[1] Kaul, Hagen, Auswirkungen einer Abschaltung von RLT-Anlagen auf die Raumluftqualität, Masterarbeit, IGE Uni Stuttgart, 2016 (nicht veröffentlicht).

[2] DIN EN 15251: Eingangsparameter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden, Deutsches Institut für Normung e.V. (2012)

[3] DIN EN 13779: Lüftung von Nichtwohngebäuden, Deutsches Institut für Normung e.V. (2007)

Energieaufwand für die Nutzenübergabe realer Heiz- und Kühlsysteme bei optimiertem Luftstrom und maschineller Lüftung

Bing Gu, Weiyang Huang

Einleitung

Die hier vorgestellten Ergebnisse sind Teil einer Studie [1] und eine weitere Untersuchung zum Thema **„Optimierung des Luftstroms bei maschineller Lüftung“**, mit dem sich die FG HLK schon seit Längerem befasst. Früheren Studien zu diesem Thema [2], [3] haben das Potenzial der Energieeinsparung durch Optimierung des Luftstroms bei maschineller Lüftung im Vergleich mit KVS-Lüftung gezeigt; dabei wurden nur ideale Heiz- und Kühlsysteme¹ angenommen. Der Vorteil dieser Annahme liegt darin, dass ausschließlich der Einfluss der Luftstrom-Optimierung der RLT-Anlage auf das Potenzial der Energieeinsparung betrachtet wird.

Im Vergleich zu idealen Heiz- und Kühlsystemen weisen reale Systeme einen höheren Energiebedarf auf, um Behaglichkeit und Hygiene für die Nutzer sicherzustellen. Die Bewertung dieses Energieaufwands erfolgt in einer Betrachtung in Richtung der Bedarfsentwicklung (also entgegen des Energieflusses) als

Aufwandszahl für die Nutzenübergabe [4]. Im Hinblick auf instationäre Vorgänge mit Teillastbetrieb im Bereich der Nutzenübergabe wird die Aufwandszahl dem Jahresmittel der relativen Heizlasten β_Q zugeordnet.

Die dargestellten Ergebnisse beziehen sich auf den Energieaufwand für die Nutzenübergabe unter Berücksichtigung des optimierten Luftstroms mit maschineller Lüftung. Weitere Ergebnisse, wie der Vergleich des Energieaufwands zwischen den Fällen mit konstantem und optimiertem Luftstrom, können im Bericht der Studie nachgelesen werden.

Die Untersuchungen werden mittels des modular aufgebauten Simulationsprogramms TRNSYS [5] in Verbindung mit selbst entwickelten Tools (Type 881 [2]) für die Optimierung des Luftstroms mit maschineller Lüftung durchgeführt.

Modellaufbau und Randbedingungen

In der Studie wird ein Büroraum mit einem klar definierten Nutzungsprofil betrachtet, was den Modellaufbau vereinfacht. Der Raum wird mit zwei verschiedenen Aufbauten – ein „gut“ ge-

dämmtes Gebäude nach EnEV 2009 [6] und ein „schlecht“ gedämmtes nach WSchV 82 [7] simuliert.

Beheizt wird der Raum mit einem Gliederheizkörper und gekühlt mit einem der zurzeit handelsüblichen Kühlsegel.

Die ausgewählten Heiz- und Kühleinrichtungen werden mit einem Zweipunkte-Regler und alternativ mit einem PI-Regler für die Raumlufttemperatur betrieben.

Dem Untersuchungskonzept liegen einige weitere wichtige Module („Types“) unter TRNSYS zugrunde:

Das Raummodell wird mit TRN-Build [8] (Type 56) abgebildet, das Lüftungssystem wird durch TRNFlow [9] in Verbindung mit Type 881 abgebildet. Type 362 dient als Heizkörpermodell und das integrierte Modell in Type 56 für das Kühlsegel. Type 2b und Type 23 modellieren jeweils den Zweipunkt- und den PI-Regler.

Die Anforderungen an die Behaglichkeit werden nach DIN EN 13779 [10] und DIN EN 15251 [11] definiert und bewertet.

Der detaillierte Modellaufbau und die Randbedingungen kön-

¹ Ideales Heiz- und Kühlsystem bedeutet, dass Regel- und Betriebsverhalten des Systems nicht von ausgewählten Anlagen und Regeleinrichtungen abhängig sind.

nen in der Studie [1] nachgelesen werden.

Schlussfolgerung

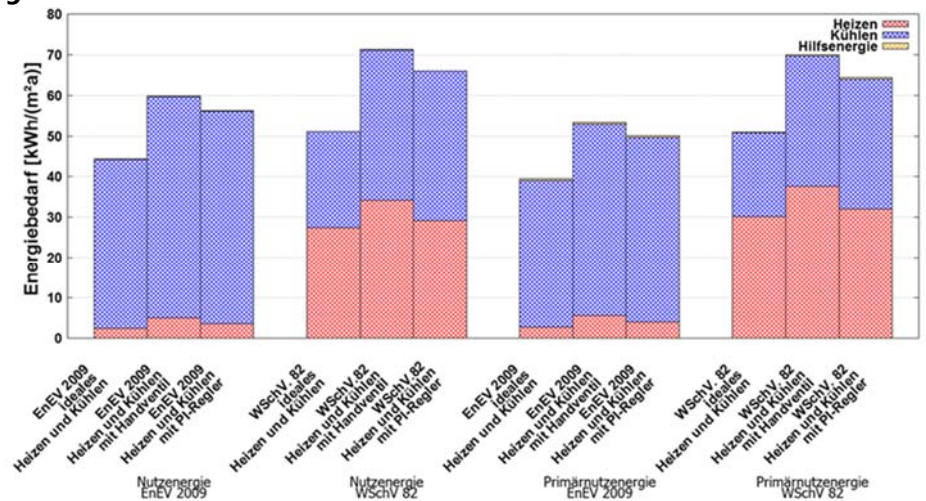
Diagramm 1 zeigt den jährlichen Energiebedarf² des betrachteten Gebäudes bei verschiedenen Regeleinrichtungen. In Tabelle 1 ist der Mehrenergiebedarf mit realem Heiz- und Kühlsystem eingetragen. 35 % bzw. 40 % Mehrbedarf für das Gebäude nach EnEV 2009 bzw. nach WSchV 82 Gebäude sind beim Zweipunkt-Regler zu verzeichnen. Beim Einsatz des PI-Reglers liegt der Mehrbedarf bei rund 30 %, da der PI-Regler keine bleibende Regelabweichung hat und dank optimierter Regelparameter die Sollwerte sehr gut einhält. Dieser Energieaufwand ist durch die Aufwandszahl in Diagramm 2 dargestellt.

Diagramm 2 zeigt auch, dass der Energieaufwand für Heizen und Kühlen unterschiedlich ist. Bei gut gedämmten Gebäuden (EnEV 2009) ist der Mehraufwand für das Heizen größer als für das Kühlen. Bei schlecht gedämmten Gebäuden (WSchV 82) verhält es sich genau umgekehrt.

„Je kleiner das Jahresmittel der relativen Heizlast, desto mehr überwiegt der Teillastbetrieb“ [4]; das ist der Grund für den größeren Mehrbedarf beim Heizen in gut gedämmten Gebäuden respektive für das Kühlen in schlecht gedämmten Gebäuden.

² In dieser Studie bezieht sich die Primärenergie nur auf die Nutzenergie, deswegen wird diese immer mit Primärnutzenergie bezeichnet.

Diagramm 1: Vergleich des jährlichen Nutzenergie- und Primärnutzenergiebedarfs



Literatur

- [1] **Huang**, Weiyang, „Energieeinsparung durch Optimierung des Luftstroms bei maschineller Lüftung unter Berücksichtigung realer Heiz- und Kühlsysteme“, Masterarbeit, IGE Uni. Stuttgart, 2016 (nicht veröffentlicht)
- [2] **Gu**, B.; Schmid, J. und Schmidt, M., Energy Conservation Potential by Optimization of Air Flow Rate of Mechanical Ventilation, 3rd International High Performance Buildings Conference at Purdue, July 14-17, 2014.
- [3] **Zhou**, Weixiao, Energieeinsparpotenzial durch Optimierung der Außenluftströme einer Lüftungsanlage, IGE 7-D-561, Studienarbeit, Uni. Stuttgart, Jun. 2015.
- [4] **Bauer**, M., Methode zur Berechnung und Bewertung des Energieaufwandes für die Nutzenübergabe bei Warmwasserheizanlagen, Diss. Mitteilung Nr. 3, 1999, ISBN-3-9805218-2-6.
- [5] **TRNSYS** 17.0, Volume 1, Getting started, 2010.

[6] **EnEV 2009**, Energieeinsparverordnung für Gebäude, Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung – EnEV 2009).

[7] **WSchV 82**, Verordnung über einen energiesparenden Wärmeschutz bei Gebäuden, 1982.

[8] **TRNSYS 17 Volume 5**, Multi-zone Building modeling with Type 56 and TRNBuild, 2010.

[9] **TRNFLOW**, a module of an air flow network for coupled simulation with TYPE 56 (multi-zone building of TRNSYS), Version 1.4, 19.11.2009.

[10] **DIN EN 13779**, Lüftung von Nichtwohngebäuden – Allgemeine Grundlagen und Anforderungen für Lüftungs- und Klimaanlage und Raumkühlsysteme, Ausgabe: Sept. 2007.

[11] **DIN EN 15251**, Eingangsparameter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden – Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik, Ausgabe: August 2007.

Tabelle 1: Mehrbedarf an Nutzenergie (NE) und Primärnutzenergie (PNE)

		Ideales Heizen und Kühlen	Heizen und Kühlen mit Handventil	Mehrbedarf [%]	Heizen und Kühlen mit PI-Regler	Mehrbedarf [%]
EnEV2009	Nutzenergie	44	60	35 %	56	27 %
	Primärnutzenergie	39	53	35 %	50	27 %
WSchV82	Nutzenergie	51	71	39 %	66	29 %
	Primärnutzenergie	51	70	37 %	64	26 %

Diagramm 2: Vergleich der Aufwandszahl für die Nutzenübergabe mit Zweipunkt-Regler bzw. PI-Regler