

Studien-, Diplom-, Bachelor- und Masterarbeiten ab 2. Halbjahr 2014 bis 1. Halbjahr 2015

Personalia

Dr.-Ing. Jörg Arold arbeitete seit 2007 als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Gebäudeenergetik. Nach erfolgreicher Promotion hat er im Oktober 2014 zur Ed. Züblin AG gewechselt. Als Projektingenieur ist er dort für thermische Gebäudesimulation und Energiekonzepte zuständig.

Dr.-Ing. Álvaro de Andrés Grande war als Stipendiat der Baskischen Regierung am IGE tätig und konnte hier seine Doktorarbeit schreiben. Nachdem sein Stipendium Ende 2014 ausgelaufen ist, kehrte er nach Spanien zurück.

Felix Riedesser, M. Sc. arbeitet seit Dezember 2014 als wissenschaftlicher Mitarbeiter am IGE und befasst sich mit einem Projekt zur Entwicklung eines Wärmepumpenprüfverfahrens (siehe aktueller HLK-Brief Artikel 163).

An der Hochschule Ulm absolvierte er den Bachelorstudiengang Maschinenbau und wechselte anschließend für sein Masterstudium (Energietechnik) an die Universität Stuttgart.

Yuanchen Wang, M. Sc. ist seit 01. Oktober 2015 als neuer Mitarbeiter am Institut. Er studierte an der Tongji Universität in China und absolvierte an der Fachhochschule Erfurt den Bachelorstudiengang Gebäude- und Energietechnik. Seinen Masterabschluss Energietechnik machte er an der Universität Stuttgart.

Zusammen mit Frau Olga Kaschtschewaja bearbeitet er ein Projekt für mehrdimensionale Strömungs-Sensoren.

Sehr geehrte Mitglieder,
sehr geehrte Leser,

auch ich möchte mich an dieser Stelle kurz vorstellen. Schon seit dem 01. Oktober 2014 bin ich als Teamassistentin auf den Platz meiner pensionierten Vorgängerin Frau Fischer-Hampel gerückt. Unter anderem bin ich für den Förderverein VdF HLK Stuttgart e.V. tätig. Dazu gehört auch die redaktionelle Zusammenstellung des HLK-Briefes. Gerne nehme ich Anregungen und Ideen entgegen und freue mich auf eine gute Zusammenarbeit.

Tabea Kolarik

tabea.kolarik@hlk-stuttgart.de

Alena Apel: Vergleich der Lebenszykluskosten und des kumulierten Energieaufwandes zwischen einer konventionellen Pumpenwarmwasserheizung und einer Elektrodirektheizung

Maximilian Barwig: Untersuchung zur energetischen Nutzung von Bergwerken durch den Einsatz von Absorberrohren

Steffen Bedenik: Energetische Analyse eines Bestandsgebäudes und Simulation des thermischen Verhaltens

Sebastian Erhardt: Ermittlung der stationären Betriebsparameter einer Mikrogasturbine zur Kraft-Wärme-Kopplung

Gerhard Franz: Strömungssimulation verschiedener Raumbelegungsvarianten in Wohnräumen

Lisa Grabner: Messtechnische Untersuchung der Innenraumluft während Schadstoffbelastungen infolge Holzfeuerimmissionen

Manuel Grimm: Ermittlung des Energiebedarfs von Split-Systemen zur Kühlung von Einfamilienhäusern

Clément Halleumieux: Ausarbeitung eines Testzyklus zur Ermittlung der Jahresarbeitszahl von Wärmepumpen

Christian Heine: Erstellung eines Simulationsmodells für die Ermittlung des Lastgangs von Wärmepumpen

Michael Hofmann: Ermittlung von elektrischen Lastprofilen für Wärmepumpen in Einfamilienhäusern

Fabian Karl: Nutzung von Luftschleiern als Schadstoffbegrenzer in Krankenhäusern

David Kretschmann: Bewertung des Einflusses einzelner Parameter auf die Energiebedarfs-Baseline von Gebäuden im Hinblick auf energetische Optimierungen bei der Raumklimatisierung

Xiao Li: Untersuchung von Einflussfaktoren für adaptive Gebäudehüllen

Kang Lin: Einfluss offener Raumkonzepte auf die Raumtemperaturen und den Betrieb von Heizungsanlagen

Leonard Lorenz: Wirksamkeit einzelner Sanierungsmaßnahmen auf den Heizenergiebedarf eines einseitig angebauten Einfamilienhauses

Jakob Merk: Energiebedarf eines sanierten Mehrwohnungsgebäudes

Nicolai Peglow: Beurteilung des Einsatzes von solarer Kühlung in Einfamilienhäusern

Nicolai Peglow: Prototypenbau, Untersuchung und Optimierung des thermischen Verhaltens eines Thermosiphonsystems

Felix Riedesser: Feuchterückgewinnung in Regeneratoren

Wolfgang Röchner: Bedarfsgerechter Betrieb gebäudetechnischer Anlagen durch Präsenzerkennung

Vanessa Schönfelder: Möglichkeiten zur Nutzung von Peltier-Elementen zur Raumkühlung

Benedikt Schoch: Überprüfung eines Simulationsmodells für adaptive Gebäudehüllen

Preise - Auszeichnungen

Felix Riedesser hat mit seiner Arbeit „Feuchterückgewinnung in Regeneratoren“ den 1. Platz im Wettbewerb 2014/15 (Thema: ‚Energieeffiziente Belüftung von Innenräumen‘) der Dr. Albert Klein-Stiftung gewonnen. Er konnte ein Preisgeld in Höhe von 2.000 € entgegennehmen. Mit dieser Arbeit hat er auch für das Jahr 2015 am Albert-Tichelmann-Preis teilgenommen und den 3. Platz belegt.

Álvaro de Andrés Grande konnte mit seiner Doktorarbeit „Unternehmensstrategischer Ansatz für die energetische Teilsanierung von Mehrwohnungsgebäuden im Bestand“ zusammen mit einem zweiten Absolventen den 1. Platz des Otto F. Scharr-Preis im Jahr 2015 gewinnen und sich ein Preisgeld von 4.000 Euro sichern.

Magdalena Zwiehoff konnte mit ihrer Studienarbeit „Variantenstudie von passiven Maßnahmen zur Kühlung von Einfamilienhäusern“ den Albert-Tichelmann-Preis für das Jahr 2014 gewinnen. Der Wanderpokal stand ein Jahr lang bei uns im Institut und ist inzwischen weitergezogen.

Herzlichen Glückwunsch für die erfolgreiche Teilnahme und die hervorragenden Arbeiten!

Yuanchen Wang: Vergleich des Jahresenergiebedarfs von Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung unter verschiedenen Klimabedingungen

Zijing Wang: Einfluss der energetischen Sanierung eines Einfamilienhauses auf den Jahresenergiebedarf

Dantong Yang: Planung einer Heizungsanlage für ein Einfamilienhaus mit TRNSYS

Lichao Zhang: Modeling and optimization of the thermal behavior of small platform battery system using CFD simulation

Shuhao Zhang: Bi-direktionaler Austausch von Planungsdaten der TGA zwischen Datenbanken

Wenjun Zhu: Einfluss des konvektiven Wärmeübergangskoeffizienten bei Raumsimulationen

Magdalena Zwiehoff: Auslegung hydraulischer Komponenten einer Wohnungsstation

Dissertationen:

Jörg Arold „Perspektiven von Strom zur Wärmeerzeugung in Niedrigstenergiegebäuden“
Universität Stuttgart Mitteilung Nr. 23
ISBN 978-3-9811996-2-8

Álvaro de Andrés Grande „Unternehmensstrategischer Ansatz für die energetische Teilsanierung von Mehrwohnungsgebäuden im Bestand“
Universität Stuttgart Mitteilung Nr. 24
ISBN 978-3-9811996-3-5

Gekoppelte Simulation des thermischen Gebäudeverhaltens und des elektrischen Netzes

Tobias Henzler
Marc Brunner (IEH)

Einleitung

In Neubaugebieten werden immer häufiger Luft-/Wasser-Wärmepumpen als alleinige Wärmeerzeuger für Einfamilienhäuser eingesetzt. Damit werden Wärmepumpen zunehmend zu den größten elektrischen Verbrauchern in Gebäuden mit einer hohen Gleichzeitigkeit in der Leistungsabnahme im Ortsnetz.

Auf der anderen Seite führt der Ausbau von erneuerbaren Energien wie Photovoltaik oder Windkraft in Wohngebieten zu hohen Netzbelastungen. Diese Einspeiseleistungen sind jedoch abhängig von den Witterungsbedingungen und damit volatil. Oft ist deshalb ein Ausbau der Verteilnetze erforderlich, um eine Überlastung der elektrischen Netze zu verhindern.

Eine Möglichkeit zur verbesserten Netzauslastung bietet daneben das so genannte Demand-Side Management. Leistungsgeregelte Wärmepumpen stellen dabei verschiebbare Lasten in elektrischen Netzen dar, die durch eine Begrenzung/Abschaltung oder eine Erhöhung der Leistung einzelner Wärmepumpen genutzt werden können. Dieses Potential kann mit einer Entkopplung der Wärmeerzeugung vom Wärmeverbrauch erreicht werden. Dazu können entweder ein thermischer Speicher oder auch die Gebäudespei-

chermasse selbst als Speicher eingesetzt werden.

In einer vom Zentrum für Energieforschung (ZfES) geförderten Potentialstudie [1] werden hierfür in Zusammenarbeit mit dem Institut für Energieübertragung und Hochspannungstechnik (IEH) Simulationsmodelle zur Kopplung der thermischen Gebäudemodelle mit dem elektrischen Verteilnetz entwickelt.

Vorgehen

Für die Abbildung der wärmegeführten Lastverläufe der Wärmepumpe in einem Ortsnetz werden die Heizlastverläufe einer Vielzahl von unterschiedlichen Gebäuden benötigt; zudem muss die Rückkopplung auf das Gebäude bei einer veränderten Ansteuerung der Wärmepumpe abgebildet werden.

Der Aufwand für die Abbildung einer Vielzahl von Gebäuden in ausführlichen thermischen Simulationen und die Kopplung mit einer Lastflusssimulation erscheint aber hierfür zu hoch.

Daher wird ein am Institut für Energieübertragung und Hochspannungstechnik auf Basis der DIN EN 13790 [2] weiterentwickeltes vereinfachtes Gebäudemodell (MATLAB/Simulink) mit Berücksichtigung der Anlagentechnik eingesetzt und mit den Ergebnissen einer ausführlichen Gebäu-

desimulation (TRNSYS) verglichen.

Hierfür werden in einem ersten Schritt die Ergebnisse der Referenzenergiebedarfsermittlung untersucht, der mit einem idealen Heizer ohne Abbildung der Anlagentechnik bestimmt wird. Anschließend werden die Ergebnisse des MATLAB/Simulink-Gebäudemodells mit Anlagentechnik (insbesondere Fußbodenheizung) mit einer korrespondierenden Gebäude-/Anlagensimulation in TRNSYS verglichen und die Eignung des Modells aufgezeigt. Damit werden die Auswirkungen eines wärmegeführten Betriebs der Wärmepumpen auf den Lastfluss im Netz denjenigen eines netzoptimierten Betriebs gegenübergestellt.

Randbedingungen

Die Auswahl der Wohngebäude eines typischen Wohngebietes in der Bundesrepublik Deutschland erfolgt anhand der TABULA-Datenbank [3], die für verschiedene Baualtersklassen übliche Konstruktionsdaten zur Verfügung stellt. Für die Untersuchung werden nur solche Gebäude gewählt, deren energetischer Standard den Einsatz eines Niedertemperatursystems in Kombination mit einer Wärmepumpe zulässt. Für die Gebäude werden typische Nutzungsprofile erstellt.

Das Wohngebiet wird in Stuttgart und damit in der Klimaregion 12 angenommen.

Programmvergleich

Zuerst werden die Heizlastverläufe und die Jahresenergiebedarfswerte mit idealem Heizer (ohne Anlagentechnik), die sich mit dem ausführlichen Simulationsmodell (TRNSYS) und dem Modell nach DIN EN 13790 ergeben, verglichen und Unterschiede in den Berechnungsalgorithmen betrachtet. Dabei ergibt sich eine gute Übereinstimmung der Berechnungsergebnisse für die Energiebedarfswerte sowie die Heizlastverläufe.

Im zweiten Schritt werden die Leistungsprofile, die sich für die Wärmeabgabe der Fußbodenheizung in MATLAB ergeben, dem Gebäudemodell in TRNSYS aufgeprägt und die Temperaturverläufe verglichen. In Bild 1 sind diese Temperaturen exemplarisch für ein untersuchtes Gebäude dargestellt.

Die statistische Auswertung der Temperaturabweichungen für unterschiedliche Baualterklassen nach TABULA weist Abweichungen im Heizfall auf, deren mittlere Abweichung ca. 1 K beträgt. Somit kann aufgezeigt werden, dass die Erweiterung des Simulationsmodells nach DIN EN 13790 gut geeignet ist, um das thermische Verhalten von Gebäuden und somit den elektrischen Leistungsbedarf der Wärmepumpe abzubilden.

Be- und Entlastung elektrischer Netze

Bei der Untersuchung des elektrischen Lastflusses wird zuerst der Lastverlauf ermittelt, der sich bei einem rein wärmegeführten Betrieb der Wärmepumpen unter Berücksichtigung der Einspeisleistungen von Photovoltaikanlagen ergibt.

Das Ziel bei der Optimierung des Betriebs ist, die kumulierte Einspeisung aus Photovoltaik bestmöglich lokal durch einen geeig-

neten Wärmepumpenbetrieb zu nutzen und damit den Leistungstransport an übergeordnete Netze zu reduzieren.

In Bild 2 sind die Lastflüsse bei wärmegeführtem und optimiertem Betrieb für einen Tagesverlauf aufgetragen.

Es kann der Abbildung entnommen werden, dass insbesondere in der Zeit gegen 9 bzw. 12 Uhr die Wärmepumpen mit höherer Leistung in Betrieb gehen und dass es so möglich ist, die maximale Summenlast von ca. -99 kW für den wärmegeführten Betrieb auf ungefähr -51 kW bei optimiertem Betrieb zu reduzieren.

Fazit

In Vergleichsrechnungen mit einem ausführlichen Simulationsprogramm werden die Ergebnisse eines weiterentwickelten vereinfachten Simulationsmodells nach DIN EN 13790 betrachtet. Dieses eignet sich gut für die Simulation einer Vielzahl von Gebäuden in Wohngebieten und der Kopplung

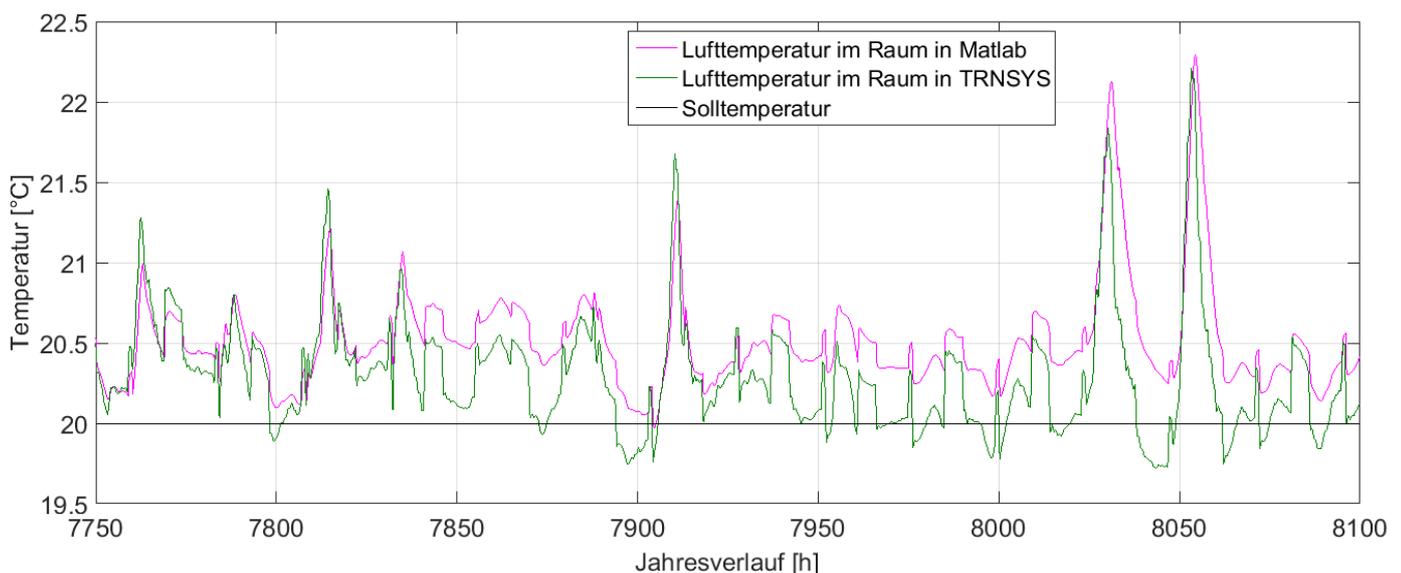


Bild 1: Vergleich der Temperaturverläufe

mit elektrischen Lastflusssimulationen.

Ein netzdienlicher Beitrag von Wärmepumpen erscheint besonders bei der Erwärmung von Trinkwasser vielversprechend. Speziell in den wärmeren Monaten, welche gleichzeitig die höchsten Energieerträge aus Photovoltaik vorweisen, kann so po-

tentiell ein netzstabilisierender Effekt erzielt werden.

Literatur

[1] Tenbohlen, Brunner, Schmidt, Henzler: Be- und Entlastung elektrischer Verteilnetze durch Wärmepumpen bei der Wärmeerzeugung in Wohngebäuden. Endbericht ZfES. 2015

[2] DIN EN 13790: Energieeffizienz von Gebäuden – Berechnung des Energiebedarfs für Heizung und Kühlung; 2008-09

[3] Loga, Diefenbach, Born: Deutsche Gebäudetypologie. Beispielhafte Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz von typischen Wohngebäuden. Darmstadt 2011

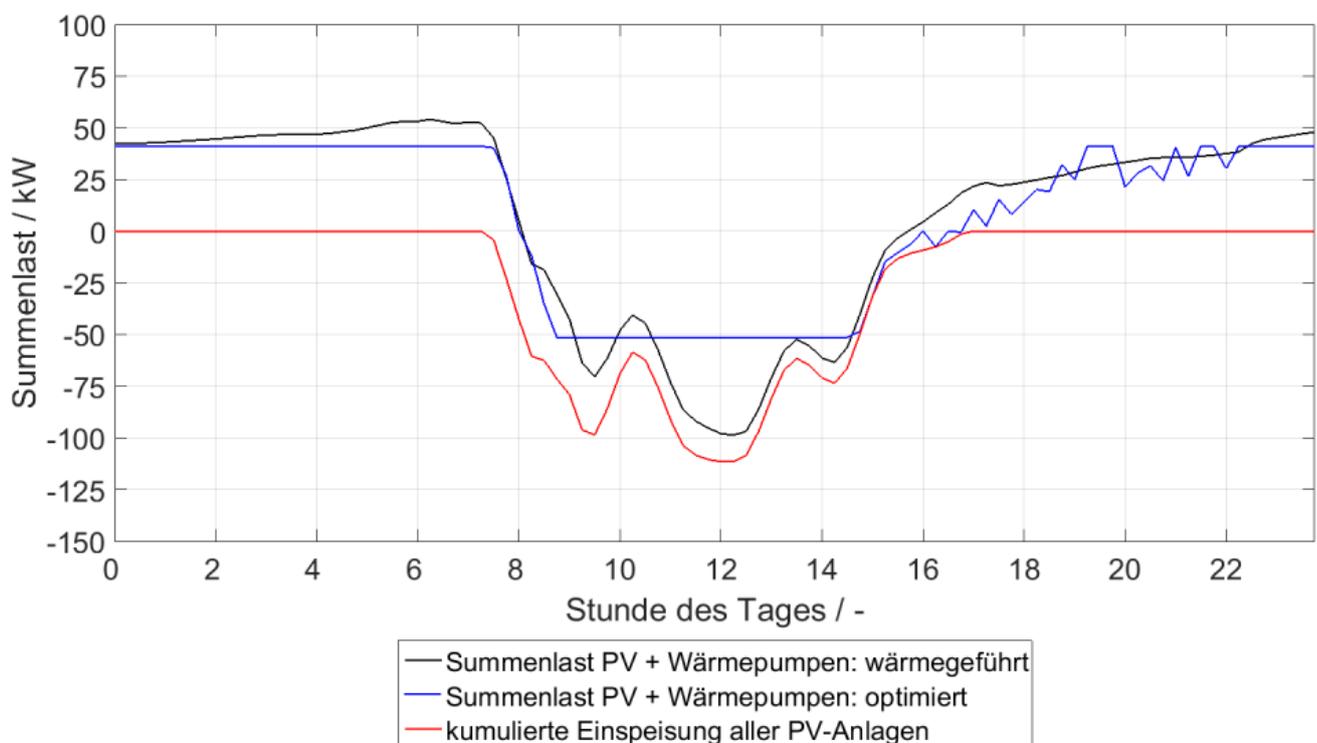


Bild 2: Kumulierte Einspeisung / Last

Energieeinsparung durch Nachtkühlung und Optimierung des Luftstroms bei maschineller Lüftung

Bing Gu
Weixiao Zhou

Einleitung

Lüftungsanlagen in Wohngebäuden bzw. Nicht-Wohngebäuden wie Schulen, Büro- oder Verwaltungsgebäuden dienen in erster Linie zur Sicherstellung der Raumluftqualität (DIN EN 13779 [1]), DIN EN 15251 [2]).

Allerdings macht der Lüftungswärmebedarf eines Gebäudes bis zu 38 % des gesamten Heizwärmebedarfs aus (Bauernhansl [3]). Insofern kann das Energieeinsparpotenzial beim Lüften nicht vernachlässigt werden. Während aber die Minimierung des Außenluftstroms im Heizfall den Energiebedarf immer reduziert, trifft dies für den Kühlfall über weite Strecken eben nicht zu.

Vorgehen

Eine im letzten Jahr von der FGHLK Stuttgart durchgeführte Studie [4] zeigt, dass das Lüften mit großen Luftströmen im Hinblick auf den Energiebedarf und besonders auf den Primärenergiebedarf nicht immer nachteilig ist, wenn dabei auch der Kühlfall akzeptiert und berücksichtigt wird, der bei konventionellen Konzepten mittels Kälteerzeugung abgedeckt wird.

In der genannten Studie wird der Betrieb der Lüftungsanlage eines Büros zunächst nur während der Arbeitszeit angenommen. Jedoch

sollte der Kühleffekt der Außenluft in der Nacht nicht übersehen werden, weil die Außenlufttemperaturen in der Nacht auch im Sommer die meiste Zeit niedriger sind als die Raumtemperaturen. Deshalb befasst sich diese Untersuchung mit den Möglichkeiten der Nachtkühlung durch Außenluft. Neben Gebäuden nach EnEV 2009 und WSchV 82 wird auch ein Passivhaus betrachtet.

Die entsprechenden Randbedingungen können im Bericht der Studie und in der Studienarbeit von Frau Zhou [5] nachgelesen werden.

Unter Sicherstellung der Raumbehaglichkeit und der Raumluftqualität durch ideales Heizen und Kühlen sowie des Einsatzes von Entstoffern (Luftreinigern) wird der Luftstrom der Lüftungsanlage nach dem Primärnutzenenergiebedarf¹ geführt und mittels eines selbst entwickelten Tools in Verbindung mit der Gebäudesimulation in TRNSYS [6] optimiert. Der Einsatz von Entstoffern ermöglicht es, die Außenluftströme auf unter 0,05 l/h zu reduzieren.

¹ In dieser Studie bezieht sich die Primärenergie spezifisch nur auf die Nutzenergie, deswegen wird diese immer mit Primärnutzenenergie bezeichnet.

Fazit

Der jährliche Energiebedarf des betrachteten Gebäudes wird für die Fälle mit und ohne Nachtkühlung im Diagramm 1 gegenübergestellt. Im Vergleich mit dem Betrieb ohne Nachtkühlung trägt der Betrieb mit Nachtkühlung zur Energieeinsparung bei. Das Energieeinsparpotenzial hängt jedoch vom Gebäudeaufbau ab. Beim Passivhaus lässt sich ca. 30 % Energie einsparen, dagegen liegt das Potenzial beim „Altbau“ (WSchV 82) nur bei ca. 10 % (siehe Tabelle 1).

Literatur

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

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

[3] Bauernhansl, T. (Hrsg.), Energieeffizienz in Deutschland – eine Metastudie Analyse und Empfehlungen, ISBN 978-3-642-55172-7, Springer Vieweg, 2014.

[4] Gu, B.; Schmid, J. und Schmidt, M., Energy Conservation Potential by Optimization of Air Flow Rate of Mechanical Ventilation, 3rd International High Per-

formance Buildings Conference at Purdue, July 14-17, 2014.

[5] Zhou, Weixiao, Energieeinsparpotenzial durch Optimierung der Außenluftströme einer Lüf-

tungsanlage, Studienarbeit, IGE Uni. Stuttgart, 2015 (nicht veröffentlicht).

[6] TRNSYS 17.0, 2010, Volume 1, Getting started.

Diagramm 1: Vergleich des jährlichen Nutzenergie- und Primärnutzenergiebedarfs des betrachteten Gebäudes für Heizen und Kühlen

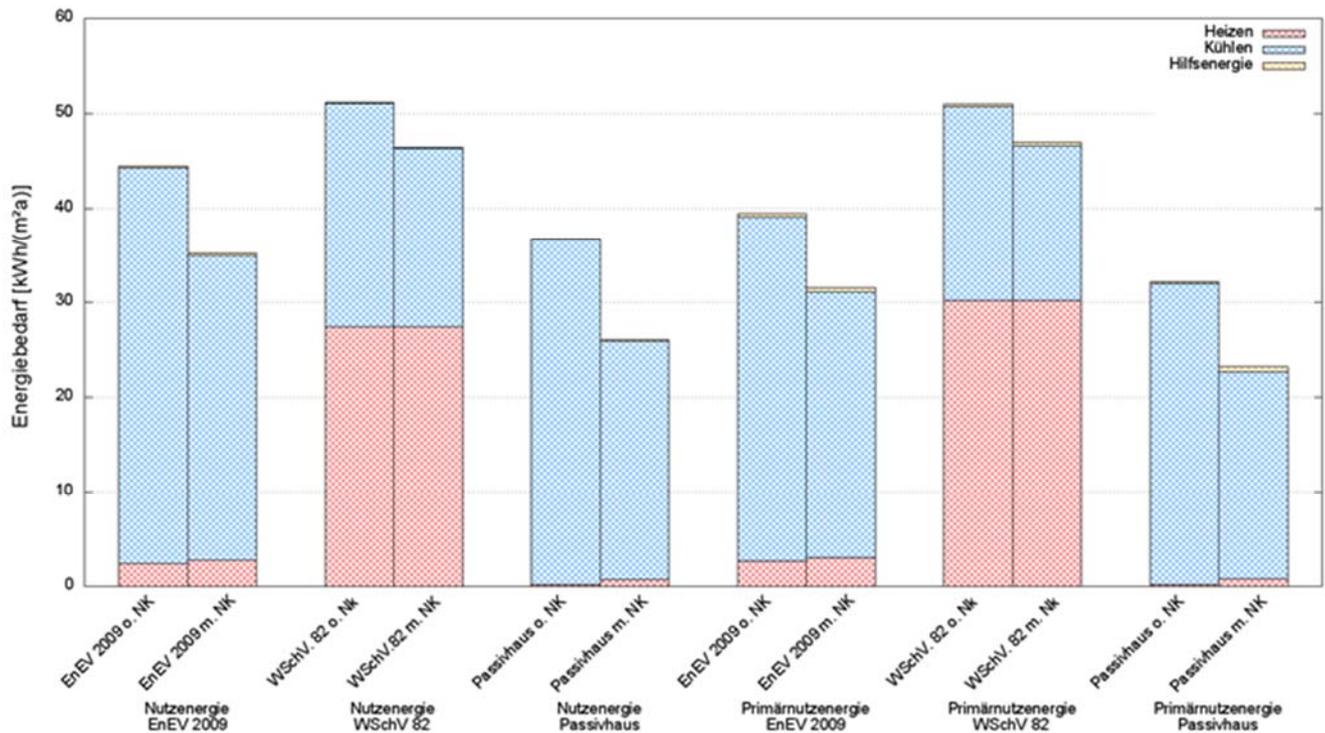


Tabelle 1: Energieeinsparpotenzial an Nutzenergie (NE) und Primärnutzenergie (PNE)

		ohne Nachkühlung (kWh/(m²a))	mit Nachkühlung (kWh/(m²a))	Potenzial [%]
EnEV 2009	NE	44,4	35,2	21 %
	PNE	39,4	31,6	20 %
WSchV 82	NE	51,2	46,4	9 %
	PNE	51,0	46,9	8 %
Passivhaus	NE	36,8	26,1	29 %
	PNE	32,2	23,2	28 %

Instationäres Prüfverfahren zur energetischen Bewertung von leistungsgeregelten Wärmepumpen

Felix Riedesser

Einleitung

In Zusammenarbeit des IGE der Universität Stuttgart mit der Technischen Universität Dresden und der Technischen Hochschule Aachen sollen im Rahmen dieses Forschungsvorhabens Vorüberlegungen zu einem neuen Prüfverfahren zur dynamischen Prüfung von Wärmepumpen entwickelt werden.

Hierfür wird zunächst ein mehrtägiger Testzyklus durch Simulationen ermittelt und überprüft. Anschließend sollen Messungen an einer Wärmepumpe mit Hilfe eines neuen Prüfstandes durchgeführt und mit der Simulation verglichen werden.

In einem Ringverfahren sollen dann die Prüfungen an allen drei Instituten wiederholt und somit die Unabhängigkeit von Ort und Zeit der Messung aufgezeigt werden. Geplant ist, die Messung an einer leistungsgeregelten Wärmepumpe mit drehzahlgeregeltem Verdichter durchzuführen. Dabei sollen neben der Leistungszahl auch die Regelgüte in die Betrachtung und die Bewertung der Wärmepumpe einfließen.

Das Vorhaben läuft derzeit. Daher sind nur die aktuellen Ergebnisse dargestellt.

Vorgehensweise

Zuerst wird durch Simulation ein geeigneter Testzyklus entwickelt,

bei dem in mehreren Tagen ein ganzes Jahr dargestellt werden kann. Hierfür ist die Neu- bzw. Weiterentwicklung eines Wärmepumpenmodells notwendig. Dazu wird im ersten Schritt eine Analyse durchgeführt, in welcher nach geeigneten Wärmepumpenmodellen gesucht wird und diese nach ihrer möglichen Anwendbarkeit bewertet werden. Im zweiten Schritt sollen Wärmepumpen mit dem bisherigen Prüfstand stationär vermessen werden. Dies dient als Grundlage für die Erarbeitung des Prüfverfahrens. Hier werden der Testzyklus und ein dynamisches Modell entwickelt und durch Simulation überprüft. Anschließend wird der Prüfstand entsprechend abgeändert und Wärmepumpen mit dem erarbeiteten Testzyklus vermessen. Im letzten Schritt werden an mehreren Wärmepumpen Messungen durchgeführt und das Prüfverfahren verifiziert.

Simulationsmodell

Die Simulation wird mit TRNSYS 17, einer transienten Simulationssoftware, durchgeführt. Dabei sollen ein Ein- und ein Mehrfamilienhaus abgebildet werden, mit denen durch die Kopplung an einen Wärmepumpenprüfstand die Last der Wärmepumpe simuliert werden kann. Die Projektpartner verwenden zur Simulation jeweils eine andere

Software. Dresden simuliert mit einem auf Grundlage von TRNSYS 14 weiterentwickeltem Programm. Aachen verwendet das Simulationsprogramm Modelica.

In einem ersten Vergleich stellte sich heraus, dass die errechneten Ergebnisse erheblich voneinander abweichen. Daher ist es zunächst wichtig, die Simulationsmodelle abzugleichen.

Um einen besseren Vergleich zu ermöglichen, wird ein Einraummodell entworfen, mit welchem Problemstellen definiert werden können. Hierfür wird ein quadratischer Raum mit einer Außenwand definiert. Die anderen Wände werden als adiabatisch angenommen. In die Außenwand kann bei Bedarf ein Fenster eingebaut und der Raum in alle Himmelsrichtungen gedreht werden. Damit konnte herausgefunden werden, dass die Solarstrahlung und die nicht exakt identischen Fenster zu verhältnismäßig großen Abweichungen führen.

Testzyklus

Neben dem Simulationsmodell ist die Entwicklung eines mehrtägigen Testzyklus Teil des Forschungsprojekts. Ziel davon ist die Erstellung eines etwa sieben-tägigen Verlaufs der Randbedingungen des Gebäudes, mit welchem die Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe ermittelt werden

kann. Dabei werden zwei mögliche Vorgehensweisen durchgeführt.

Auf Grundlage von Wetterdaten werden repräsentative Tage automatisiert ausgewählt. Somit kann bei verschiedenen Gebäudetypen (Ein-, Mehrfamilienhaus, Bürogebäude,...) die Last simuliert und der Testzyklus erstellt werden. In Bild 1 sind für die Jahressimulation alle Heiztage dargestellt. Daraus können nun einzelne Tage, welche eine ähnliche Heizlast aufweisen, ausgewählt werden.

Bei der zweiten Vorgehensweise wird der Heizbedarf energetisch aufgeteilt und für jeden Bereich ein repräsentativer Tag ausgewählt. In Bild 2 ist die automatisierte Auswahl von sieben Typtagen dargestellt.

Dabei wird der Jahresheizbedarf durch die Anzahl der Typtage geteilt. Ein Mindestheizbedarf von 20 % der maximalen Heizlast wird eingeführt, da gerade bei einer geringen Heizlast der Einsatz einer Wärmepumpe nicht sinnvoll ist. Die typischen Tage werden dann ausgewählt und die entsprechenden Wetterdaten, wie bspw. Außentemperatur, Außenfeuchte, Solarstrahlung, etc. für die jeweiligen Typtage kopiert. Darauf folgend werden die Tage so aneinander gereiht, dass ein Außentemperaturverlauf von der höchsten Starttemperatur über den Minimalwert wieder zurück zur Ausgangstemperatur entsteht. Wichtig dabei ist, dass die Start- und die Endbedingungen identisch sind, sodass Speicherwirkungen im Haus keine Auswirkungen haben. Zudem muss die

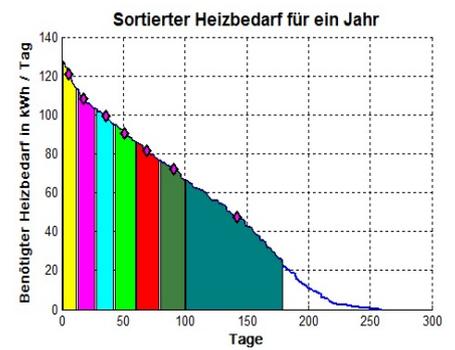


Bild 2: Aufteilung des Heizbedarfs für ein Jahr

Tageszeit eingehalten werden. Hierfür wird jeder Tag um 2 Stunden gekürzt, da die Zeit für das Erreichen der Temperatur am nächsten Tag benötigt wird. Das Einhalten der Tageszeit ist nötig, da viele Wärmepumpen eine automatische Nachtabenkung besitzen und diese von der einprogrammierten Tageszeit abhängig ist. Daher startet der erste Tag

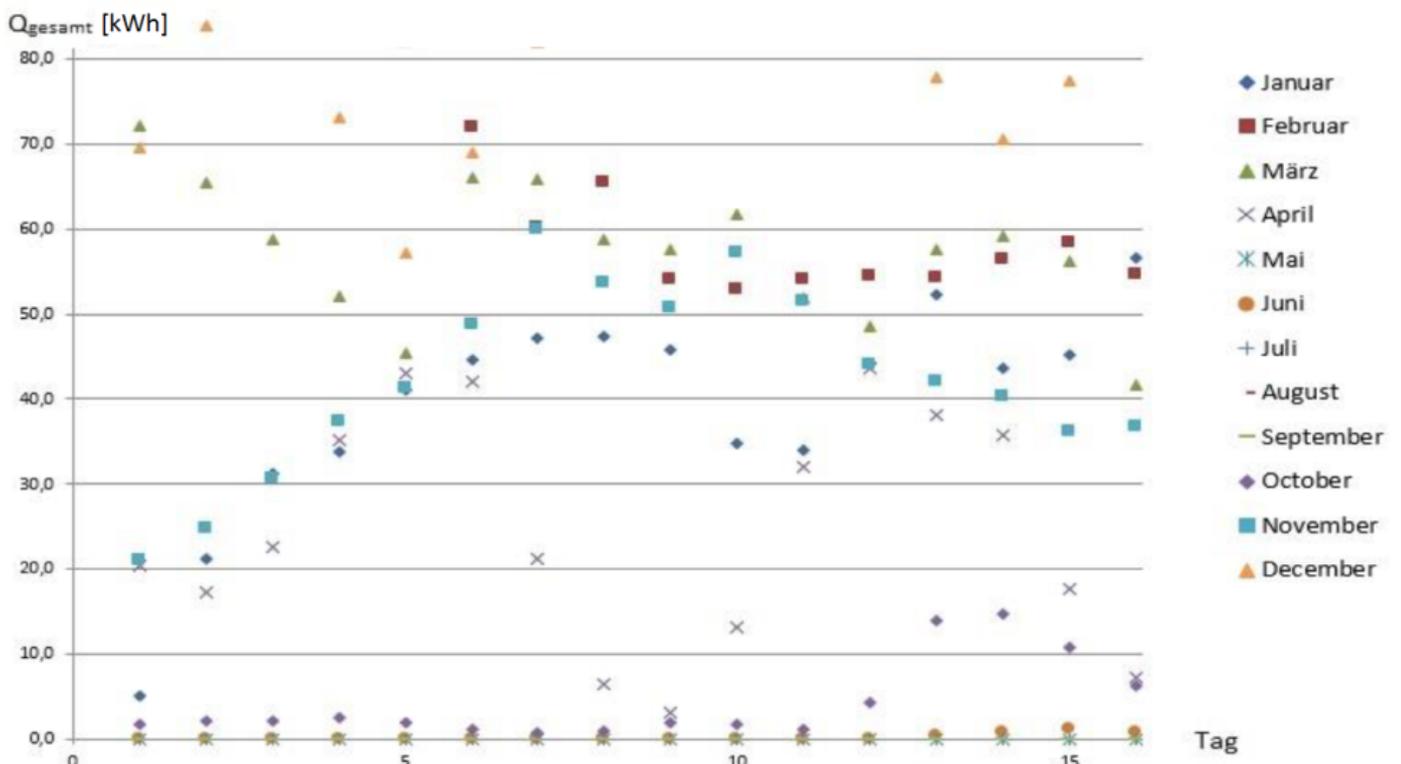


Bild 1: Simulationsergebnis für ein Einfamilienhaus (Heizlast pro Tag) [1]

zum Zeitpunkt 0 Uhr und endet am letzten Tag um 24 Uhr. Der Übergang der Temperatur soll jeweils nachts durchgeführt werden, da zu diesem Zeitpunkt die Lasten des Gebäudes unverändert bleiben und die Temperaturänderung der Außenluft gering ist.

Ein exemplarischer Temperaturverlauf ist in Bild 3 dargestellt. Dabei sind die gleichbleibende Anfangs- und Endtemperatur und der Übergang zwischen den einzelnen Tagen zu erkennen.

Fazit und folgende Schritte

Ziel der Entwicklung eines kurzen Testzyklus ist die spätere Ermittlung der Jahresarbeitszahl während einer signifikant kürzeren realen Messzeit. Dabei soll die

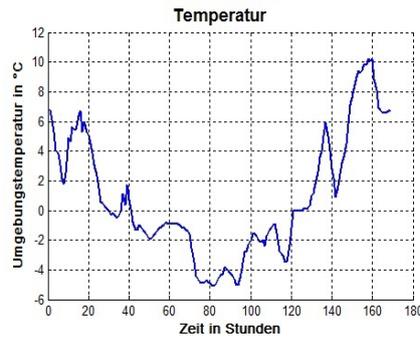


Bild 3: Temperaturverlauf des Testzyklus

Anwendung des Testzyklus mit der Jahressimulation verglichen werden. Hierfür werden die Jahressimulation eines Gebäudes mit dem Testzyklus als Wetterdaten wiederholt und die errechneten Jahresarbeitszahlen miteinander verglichen. Aufgrund des noch nicht vollständig entwickelten Wärmepumpenmodells können

bisher keine genauen Aussagen über die korrekte Berechnung der Jahresarbeitszahl getroffen werden. Erste Simulationen weisen jedoch darauf hin, dass die Jahresarbeitszahl sowohl mit der Aufteilung der Wetterdaten, wie auch mit dem sortierten Heizbedarfsverlauf näherungsweise bestimmt werden kann. Durch die Gewichtung der einzelnen Tage kann dieses Verfahren im späteren Verlauf optimiert werden.

Quellenangabe

[1] C. Halleumieux, unveröffentlichte Studienarbeit 2015 „Ausarbeitung eines Testzyklus zur Ermittlung der Jahresarbeitszahl von Wärmepumpen“ (Tabelle Seite 28).

Untersuchungen zur Entrauchung – Aktuelle Vorgaben der Musterindustriebaurichtlinie

Anders Berg, Silke Rott, Fabian Zweck

Einleitung

Jährlich werden etwa 200.000 Brände in Deutschland registriert. Für den Menschen ist hierbei die entstehende Rauchentwicklung besonders gefährlich. So sterben etwa 80 Prozent der Brandtoten an einer Rauchvergiftung.

In Industriegebäuden gibt es im Vergleich zu Wohngebäuden nur sehr wenig Brandtote, trotzdem ist es wichtig, dass die Brandschutz- und Brandbekämpfungsmaßnahmen wirksam sind und insbesondere auch eine gute Rauchableitung in Industriegebäuden erfolgen kann. Die Unterstützung der Feuerwehr beim Brandeinsatz sollte ebenfalls ein Ziel der Rauchableitung sein.

Um Bränden vorzubeugen bzw. deren Ausbreitung weitestgehend zu verhindern, existieren eine Reihe von Normen und Richtlinien.

Eine dieser Richtlinien ist die Muster-Richtlinie über den baulichen Brandschutz im Industriebau (M IndBauRL). Die letzte Fassung stammt aus dem Jahr 2000, eine aktualisierte Version existiert seit 2014.

Da die Richtlinie Veränderungen hinsichtlich der Schutzziele sowie der Rauchableitung beinhaltet, wurden im Rahmen dieses Forschungsvorhabens, welches von der Heinz-Trox-Stiftung gefördert wurde, verschiedene Brandberechnungen mit dem Simulati-

onsprogramm Fire Dynamics Simulator (FDS) durchgeführt. Dabei wurden verschiedene Parameter wie Gebäudegröße, Position des Brandherdes sowie die Art der Entrauchung variiert, um den Einfluss der Vorgaben der neuen Muster-Industriebaurichtlinie zu untersuchen und zu bewerten. Die Brandlast betrug für alle Berechnungen 2 MW.

Fragestellung

Anhand der neuen Vorgaben zur Entrauchung von Industriehallen sind einige Fragen aufgetreten, die näher betrachtet werden sollten. Von Interesse waren dabei die Höhe der entstehenden raucharmen Schicht sowie die Temperaturverteilung im Raum unter verschiedenen Randbedingungen.

Bild 1 zeigt die Darstellung eines simulierten Gebäudes mit einem Brandherd und den entsprechenden Zu- und Abluftöffnungen für die maschinelle Entrauchung.

re Gebäudegrundfläche zu einem höheren Abluftvolumenstrom bzw. Querschnitt der Abluftöffnungen führt, sinnvoll ist.

Anhand der Simulationen wurde berechnet, wie sich die raucharme Höhe für unterschiedliche Grundflächen verändert. Weiterhin kann es notwendig sein, größere Querschnitte für die Entrauchungsöffnungen festzulegen bzw. Angaben für eine konkrete Verteilung der Öffnungen vorzugeben.

Hierbei wurden zwei Entrauchungsvarianten betrachtet. Das Prinzip der natürlichen Rauchabzugsanlage (NRA) beruht auf der natürlichen Abführung des Rauchgases durch Öffnungen im Dach. Aufgrund der Temperaturdifferenz zwischen heißem Rauchgas und kalter Umgebungsluft entsteht eine treibende Auftriebskraft, durch die das Rauchgas auf natürlichem Wege nach oben steigt und durch die Öffnungen im Dach aus dem Ge-

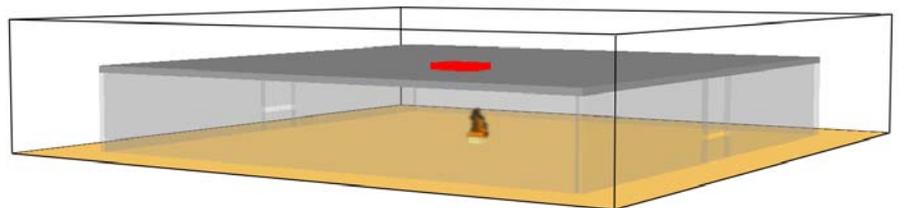


Bild 1: Rechengebiet mit Gebäude, Brandherd und umgebender Luft

Es wurde zum einen untersucht, ob eine grundflächenbezogene Auslegung der Entrauchungsvolumenströme, bei der eine große-

bäude geleitet wird. Zur Umsetzung dieses Konzeptes sind entsprechend große Zuluftöffnungen erforderlich, die ein ausreichen-

des bodennahes Nachströmen von Luft gewährleisten sollen.

Als zweite Entrauchungsvariante wurde eine maschinelle Entrauchungsanlage (MRA) untersucht. In diesem Fall wird das Rauchgas mittels Ventilatoren aus dem Gebäude gefördert. Auch im Falle der maschinellen Entrauchung ist ein ausreichendes Nachströmen an Luft erforderlich, das wiederum durch entsprechend große Zuluftöffnungen gewährleistet sein muss. Aufgrund der hohen Strömungsgeschwindigkeiten bildet sich bei der maschinellen Entrauchung während des Betriebs eine Mischströmung aus.

Um einen konkreteren Eindruck über die Brandausbreitung im Raum zu erhalten, ist nicht nur die Rauchgastemperatur von Interesse, ebenso wichtig ist die Höhe der raucharmen Schicht. Diese sollte eine Höhe von 2,5 m nicht unterschreiten, damit bei der Flucht von Personen aus dem Gebäude angemessene Sichtverhältnisse herrschen und eine gewisse Orientierung zu den Fluchtwegen gewährleistet werden kann.

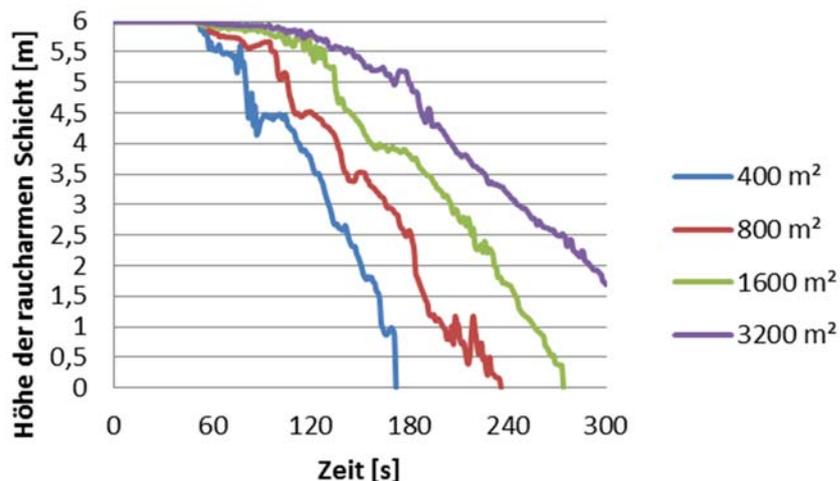


Bild 2: Höhe der raucharmen Schicht für verschiedene Gebäudegrößen ohne Entrauchung

Ergebnisse ohne Entrauchung

Bei der Betrachtung eines Gebäudes ohne Entrauchung wird deutlich, dass die Höhe der raucharmen Schicht mit Verringerung der Grundfläche abnimmt, siehe Bild 2. Es zeigt sich, dass ein kleines Gebäude mit einer Grundfläche von 400 m² unter den beschriebenen Randbedingungen schon nach etwa 150 s so verrauchert ist, dass eine Selbstrettung ab diesem Zeitpunkt kaum mehr möglich ist. Dies ist nur einer der Gründe, die die Installation einer Entrauchungsanlage, ob natürlich oder maschinell, erforderlich machen.

Im Vergleich dazu weist ein größeres Gebäude mit einer Grundfläche von 1600 m² nach etwa 240 s noch immer eine raucharme Schicht von etwa 2,5 m auf. Die Bedeutung einer funktionierenden Entrauchung nimmt somit mit kleiner werdender Fläche zu.

Ergebnisse mit Entrauchung

Nach Vorgaben der *M IndBauRL* bleibt der flächenbezogene Volumenstrom bis 1600 m² konstant, für größere Gebäudeflächen nimmt der Volumenstrom pro m² stetig ab. Bild 3 stellt die Ergebnisse der berechneten Höhe der raucharmen Schicht nach 300 s Simulationszeit unter Variation der Gebäudefläche und Art der Entrauchung zusammenfassend dar.

Die Entrauchungsmethoden wurden für jede Methode nach der *M IndBauRL* ausgelegt. Bei einem Vergleich der unterschiedlichen Gebäudegrößen wird ersichtlich, dass die Höhe der raucharmen Schicht für beide Entrauchungsarten mit steigender Fläche zunimmt. Dies ist auf das zunehmende Raumvolumen zurückzuführen sowie die erhöhte gefor-

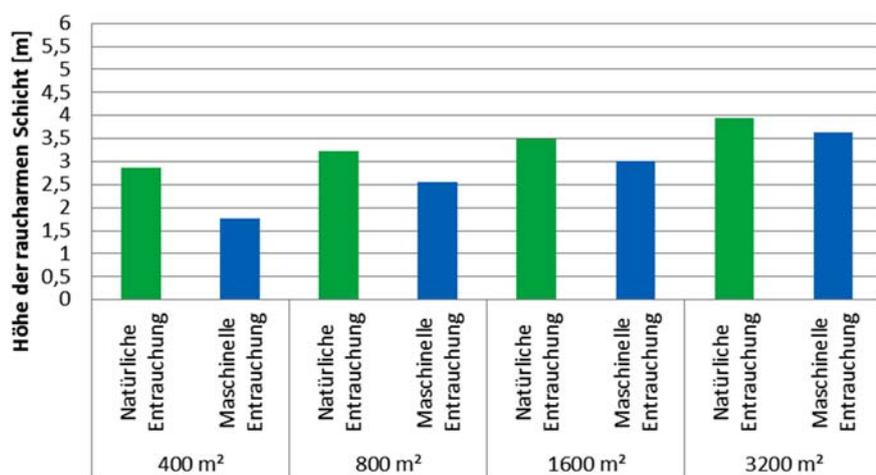


Bild 3: Höhe der raucharmen Schicht für natürliche und maschinelle Entrauchung nach *M IndBauRL*

derte Anzahl an Abluftöffnungen (NRA) bzw. Abluftvolumenstrom (MRA).

Die Ergebnisse veranschaulichen, dass die natürliche Entrauchung unter den vorgegebenen Bedingungen der *M IndBauRL* die einzige Methode ist, die eine 2,5 m hohe raucharme Schicht für sämtliche Gebäudegrößen sicherstellen kann.

Eine maschinelle Entrauchung kann unter den vorgegebenen Bedingungen der *M IndBauRL* die geforderte raucharme Schicht bei größeren Gebäudeflächen sicherstellen. Bei kleinen Gebäuden ist die maschinelle gegenüber der natürlichen Entrauchung im Nachteil.

Weitere Simulationen zeigten jedoch, dass es möglich ist, einen einzigen flächenbezogenen Volumenstrom für alle Gebäudegrößen zu definieren, die eine raucharme Schicht von 2,5 m sicherstellt. Die Auslegung dessen müsste dann über das Gebäude mit der kleinsten Grundfläche definiert werden. Grund dafür ist wiederum die größere Gefahr des Verrauchens eines kleinen Gebäudes.

Einfluss des Strömungsvorgangs auf die Wirksamkeit der Entrauchung

Es wurden zusätzliche Berechnungen hinsichtlich einer maschinellen Entrauchung, welche eine Schichtströmung im Raum induziert, durchgeführt. Für diese Simulationen wurde die Zuluftgeschwindigkeit auf maximal 0,2 m/s begrenzt und die Fläche der Zuluftöffnungen entsprechend vergrößert.

Ein Vergleich aller drei Varianten zeigt, dass die Schichtströmung bessere Ergebnisse hinsichtlich der Höhe der raucharmen Schicht erzeugt als die maschinelle Entrauchung mit Mischströmung. Dies verdeutlicht, dass die Strömungsvorgänge im Raum eine bedeutende Rolle spielen und dass die Vergrößerung der Zuluftöffnungen einen positiven Einfluss auf die Entrauchung hat.

Es wurden zusätzliche Simulationen durchgeführt, bei denen der Brandherd in der Ecke statt in der Mitte des Gebäudes positioniert ist, um den Effekt der Lage des Brandherds und der Zuluftöffnungen auf die Entrauchung zu untersuchen. Für alle Fälle war die Höhe der raucharmen Schicht

größer, wenn der Brandherd in der Ecke des Gebäudes war. Eine Erklärung dafür wäre, dass je weiter entfernt sich der Brandherd von den Zuluftöffnungen befindet, desto ungestörter kann der Rauch zu der Decke steigen.

In Bild 4 bis Bild 6 werden qualitativ die Rauchentwicklungen nach 300 s für alle drei Fälle mit einer Grundfläche von 1600 m² und einem Brandherd in der Mitte des Gebäudes gezeigt.

In diesen Abbildungen erscheint die maschinelle Entrauchung mittels Schichtung (Bild 6) für diese Gebäudegröße als beste Variante, um eine raucharme Schicht sicherzustellen. Bei einem Vergleich der Ergebnisse für die Höhe der raucharmen Schicht für die

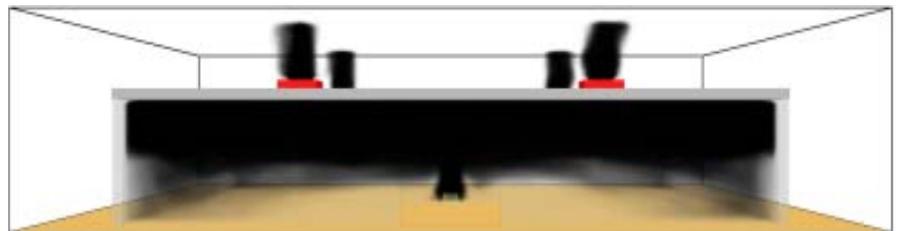


Bild 4: Rauchgasentwicklung für natürliche Entrauchung, Grundfläche: 1600 m²

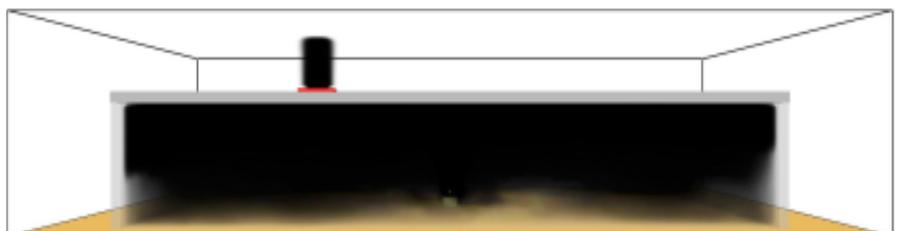


Bild 5: Rauchgasentwicklung für maschinelle Entrauchung, Mischströmung Grundfläche: 1600 m²

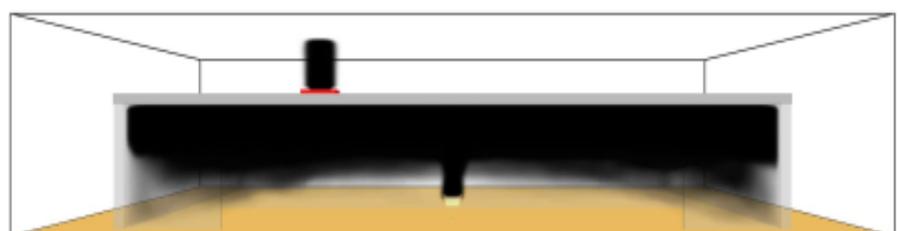


Bild 6: Rauchgasentwicklung für maschinelle Strömung, Schichtströmung, Grundfläche: 1600 m²

natürliche Entrauchung (Bild 4) mit den Ergebnissen aus Bild 3 zeigt sich eine gute Übereinstimmung zwischen den qualitativen und quantitativen Ergebnissen. Obwohl die untere raucharme Schicht nicht immer als komplett rauchfrei bezeichnet werden kann, gibt es zwei markant unterschiedliche Zonen. Ähnlich gute Ergebnisse liefert auch der qualitative und quantitative Vergleich der Höhe der raucharmen Schicht für eine maschinelle Entrauchung mit einer Schichtströmung (siehe Bild 6).

Bei einer maschinellen Entrauchung mit Mischströmung (Bild 5) ist auffällig, dass die untere raucharme Schicht oft viel Rauch enthält. Aufgrund dieser Mischungseffekte ist keine klare Abgrenzung der Zonen wie in Bild 4 und Bild 6 erkennbar. Eine Angabe für eine präzise Höhe der raucharmen Schicht erscheint bei dieser Variante daher nur wenig sinnvoll.

Einfluss der Auslösezeit auf die Wirksamkeit der Entrauchung

Weiterhin wurde im Rahmen der Simulationen der Einfluss der Auslösezeit, die die Zeit zwischen Brandereignis und Betrieb der Entrauchungsanlage beschreibt, durchgeführt. Die Entrauchung wurde in den Berechnungen folglich nicht sofort, sondern mit unterschiedlichen Verzögerungszeiten gestartet.

Für die natürliche Entrauchung wurden die Öffnungen in der Decke nach 60, 120 bzw. 180 s geöffnet, dieser Variante wird eine maschinelle Entrauchung mit Mischlüftung gegenübergestellt.

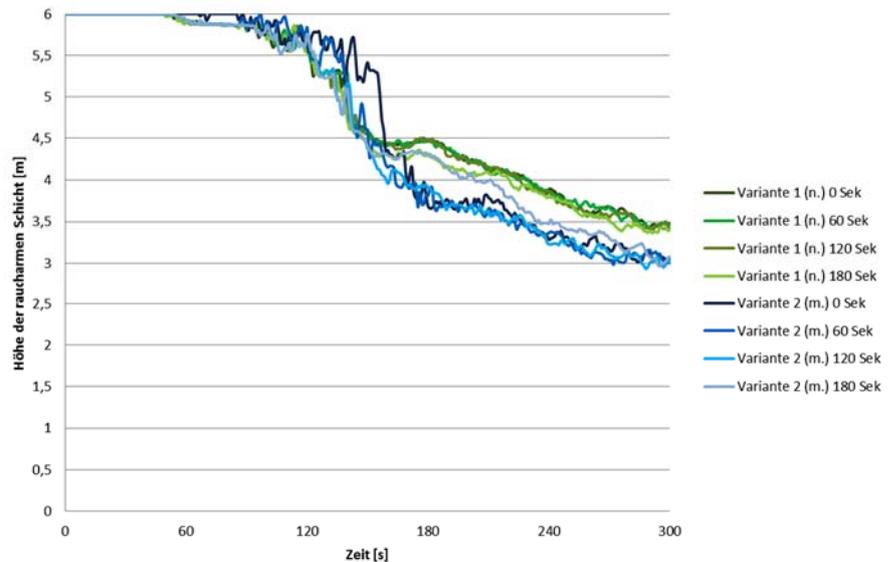


Bild 7: Höhe der raucharmen Schicht für die ersten 300 Sekunden für natürliche und maschinelle Entrauchung

Bei der maschinellen Entrauchungsmethode wurden die Abluftventilatoren in der Decke nach 60, 120 bzw. 180 s angeschaltet. In Bild 7 wird die Höhe der raucharmen Schicht für die ersten 300 s der verschiedenen Entrauchungsfälle gezeigt.

Es wird deutlich, dass die natürliche Entrauchung für alle simulierten Auslösezeiten zu einer höheren raucharmen Schicht führt als die maschinelle Entrauchung. Insgesamt zeigte sich bei diesen Berechnungen, dass die Auslösezeit für die Entrauchung des Raumes eine untergeordnete Rolle spielt. Da sich der Rauch zuerst unter der Decke sammelt und dieses Raumvolumen mit Rauch gefüllt wird, ist die Auswirkung des Rauches auf die Sicht von flüchtenden Personen im unteren Bereich des Raumes nur gering. Es zeigte sich, dass ein größeres Gebäudevolumen zu einem größeren Puffer für den Rauch führt.

Aus den untersuchten Fällen ging hervor, dass die maschinelle Entrauchung während der Anfangsphase einen höheren Abluftvolumenstrom aufwies als bei der natürlichen Variante. Für die Höhe der raucharmen Schicht war dies unbedeutend, da am Anfang mehr Luft als Rauch durch die Ventilatoren abgesaugt wurde. Für die spätere Phase wies die natürliche Entrauchung aufgrund der gestiegenen Temperaturdifferenz zwischen innen und außen einen größeren Abluftvolumenstrom im Vergleich zur maschinellen Variante auf. Da sich zu diesem Zeitpunkt bereits eine Rauchsicht unter der Decke gebildet hat, konnte durch die natürliche Entrauchungsmethode mehr Rauch als bei der maschinellen Variante aus dem Raum transportiert werden. Folglich führen alle berechneten natürlichen Varianten nach 300 s zu einer höheren raucharmen Schicht als bei den maschinellen Varianten.

Lüftungseffektivität von Wohnungslüftungsanlagen

Mohammad Reza Adili

Einleitung

Neue Wohngebäude sind nach den Anforderungen der Energieeinsparverordnung (EnEV) luftdicht auszuführen. Dies führt zu einer Minimierung des natürlichen Luftaustausches durch Undichtigkeiten der Gebäudehülle. Dadurch wird die Innenraumluftqualität stark beeinträchtigt und es besteht auch die Gefahr von Schimmelbildung. Für einen ausreichenden Luftaustausch zur Abfuhr von Feuchte- und Schadstofflasten müssen die Gebäude daher maschinell belüftet werden. Bei maschinellen Wohnungslüftungsanlagen wird die Zuluft an den Raum durch Luftdurchlässe mit unterschiedlicher Ortsposition und unterschiedlichem Strömungscharakter eingebracht. Die Auslegungsluftströme werden unter Annahme einer idealen Mischströmung im Raum bestimmt. Hierbei bleiben die Art und Position der Durchlässe unberücksichtigt.

Ziel dieser Arbeit ist der Vergleich der Lüftungseffektivität von typischen Varianten der Luftdurchlässe, sowie deren Einfluss auf die Raumluftströmung. Des Weiteren werden Verbesserungsmaßnahmen für die Lüftungseffektivität untersucht.

Diese Arbeit wird von der Graduierten- und Forschungsschule Effiziente Energienutzung Stuttgart (GREES) gefördert.

Methodik

Im Rahmen der Arbeit werden verschiedene Varianten der Zuluftdurchlässe und der Luftführung im Raum untersucht. Der betrachtete Raum ist ein typisches Wohnzimmer mit 20 m² Grundfläche. Die Strömungs- und Schadstoffausbreitungsvorgänge im Raum werden mit Hilfe der CFD-Software ANSYS Fluent dreidimensional numerisch berechnet.

Zunächst werden Modelle für 3 typische Zuluftdurchlässe entwickelt. Die dabei simulierten Durchlässe sind eine Weitwurfdüse, eine Schnabdüse und ein Tellerventil (siehe Bild 1).



Bild 1: Weitwurfdüse, Schnabdüse und Tellerventil (von links)

Bei allen Simulationsmodellen sind die Durchlässe in einer Höhe von 2,20 m mittig über der Tür angeordnet. Als Abluftdurchlass wird eine Überströmöffnung als Türschlitz angenommen.

Ein Dummy in der Mitte des Raumes repräsentiert eine sitzende Person. Die Wärmeabgabe der Person beträgt 85 W und die CO₂-Abgabe eines Erwachsenen mit sitzender Tätigkeit wird mit 18 l/h angenommen.

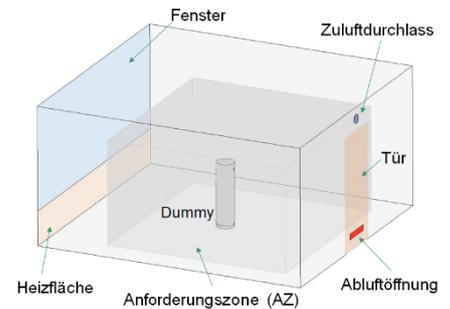


Bild 2: Untersuchungsraum

Die Außenluftvolumenströme für alle Varianten betragen 20 l/s (1,0 l/sm² nach DIN EN 15251 [1] für Verunreinigungs-kategorie II bei 20 m²). Alle Flächen außer der Fassade werden adiabatisch angenommen. Die Fassade besteht aus einem großen Fenster und einer Heizfläche. Die Zulufttemperatur wird im Winterfall mit 14°C angenommen. Die Luftverteilung im Raum sowie die Verteilung der CO₂-Konzentration und die Lüftungseffektivität werden für alle Fälle analysiert.

Für die Bewertung der Lüftungseffektivität wird der Parameter Lüftungswirksamkeit ϵ^c verwendet, mit dem die Konzentration der Abluft C_{AB} mit der mittleren Konzentration im Raum $\langle C \rangle$ verglichen wird:

$$\epsilon^c = \frac{C_{AB}}{\langle C \rangle}$$

Ergebnisse & Diskussion

Die Bilder 3 und 4 zeigen exemplarisch die Verteilung der CO₂-Konzentration für den Winterfall im Schnitt durch die Raummittelachse für die Weitwurfdüse und das Tellerventil.

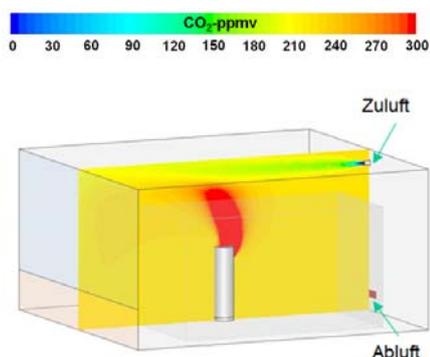


Bild 3: Verteilung der CO₂-Konzentration für eine Weitwurfdüse

Die Ergebnisse zeigen, dass die Weitwurfdüse für eine bessere Raumluftqualität sorgen kann. Mit dem Tellerventil entsteht ein Kurzschluss. Der zugeführte Zuluftstrahl verbreitet sich über die Zuluft-Wandfläche, so dass ein Teil der Außenluft gleich wieder über die Abluftöffnung abgeführt wird.

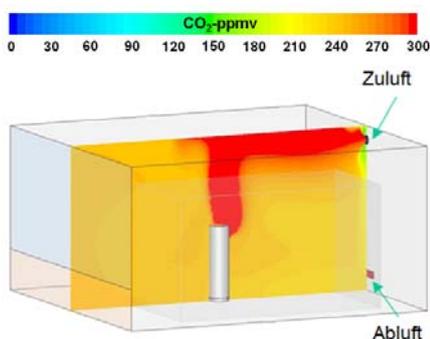


Bild 4: Verteilung der CO₂-Konzentration für ein Tellerventil

Da alle untersuchten Durchlässe eine Mischlüftung im Raum verursachen, sind die Werte für die Lüftungswirksamkeit nahe eins.

Tabelle 1 zeigt die Ergebnisse der CO₂-Konzentration in der Aufenthaltszone sowie die Lüftungswirksamkeit für den ganzen Raum (R) und für die Aufenthaltszone (AZ).

Tabelle 1: Mittlere Werte der CO₂-Konzentration und Lüftungswirksamkeit für typische Durchlässe

	C_{AZ} (ppm)	ϵ_R	ϵ_{AZ}
	234	0,99	0,98
	245	0,94	0,93
	248	0,91	0,92

Ausgehend von den bisherigen Standardlösungen mit typischen Durchlässen werden Verbesserungsmaßnahmen untersucht. Dabei werden ein Kombi-Schlitzdurchlass mit integrierten Zuluft- und Abluftöffnungen sowie ein vertikales Fassadenlüftungsgerät simuliert (siehe Bild 5).

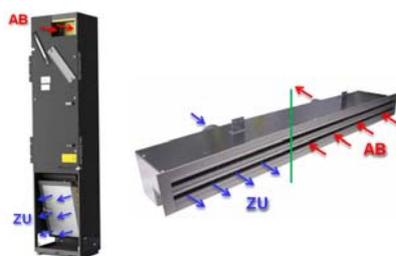


Bild 5: Fassadenlüftungsgerät und Kombi-Schlitzdurchlass

Die Lüftungseffektivität dieser Systeme wird ermittelt und mit den Standardlösungen verglichen.

Bild 6 zeigt exemplarisch die Verteilung der CO₂-Konzentration im Schnitt durch die Raummittelachse für einen Kombi-Schlitzdurchlass.

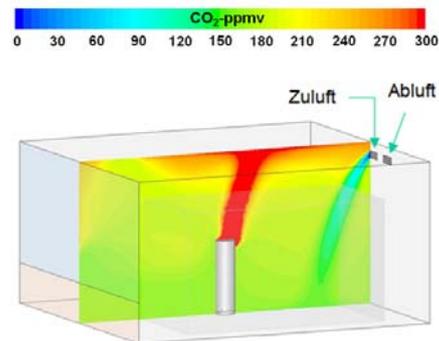


Bild 6: Verteilung der CO₂-Konzentration für einen Schlitzdurchlass

Die Ergebnisse zeigen, dass mit einem Kombi-Schlitzdurchlass eine bessere Raumluftqualität im Vergleich mit typischen Durchlässen erzielt werden kann.

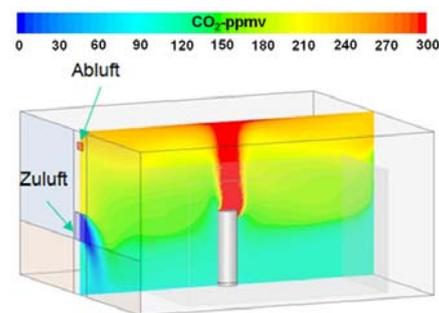


Bild 7: Verteilung der CO₂-Konzentration für ein Fassadenlüftungsgerät

Dies gilt auch für das Fassadenlüftungsgerät (siehe Bild 7). Mit diesen zwei Lösungen entsteht eine Quasi-Schichtlüftung im Raum und die Lüftungseffektivität wird verbessert (Tabelle 2).

Tabelle 2: Mittlere Werte der CO₂-Konzentration und Lüftungswirksamkeit für die optimierten Lösungen

	C_{AZ} (ppm)	ϵ_R	ϵ_{AZ}
	179	1,23	1,28
	149	1,40	1,54

Zusammenfassung

Mit der numerischen Strömungssimulation werden unterschiedliche Durchlasstypen hinsichtlich ihrer Lüftungseffektivität in einem Wohnraum untersucht. Die typischen Durchlässe wie Weitwurfdüse, Schnabeldüse und Teller-ventil verursachen eine Mischlüftung im Raum. Daher sind die Werte für die Lüftungseffektivität nahe eins.

Die besten Ergebnisse erzielt die Weitwurfdüse, womit eine vollständige Durchmischung erreicht werden kann.

Für das Teller-ventil und die Schnabeldüse sind die Werte kleiner als eins, was auf eine Kurzschlussströmung hinweist.

Mit dem Einsatz eines Kombi-Schlitzdurchlasses oder eines Fasadenslüftungsgerätes besteht die Möglichkeit, die Lüftungseffektivität zu verbessern. So kann bei

gleichem Energieaufwand eine bessere Raumluftqualität erzielt werden.

Literatur

[1] DIN EN 15251: Eingangsparemeter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden - Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik. Beuth Verlag, Berlin (2012).