



UNIVERSITÉ DU LUXEMBOURG
Research Unit in Engineering
Sciences (RUES)

PhD-FSTC-2015-05

Fakultät für Naturwissenschaften, Technologie und Kommunikation

DISSERTATION

verteidigt am 11.02.2015 in Luxemburg zur Erlangung des Titels

DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ DU LUXEMBOURG EN
SCIENCES DE L'INGENIEUR

von

Alexander Merzkirch
geboren am 09.11.1983 in Saarburg

Energieeffizienz, Nutzerkomfort und Kostenanalyse von
Lüftungsanlagen in Wohngebäuden: Feldtests von neuen Anlagen und
Vorstellung bedarfsgeführter Prototypen

Prüfungskommission

Dr.-Ing. Stefan Maas, Betreuer der Doktorarbeit
Professeur, Université du Luxembourg

Dr.-Ing. Frank Scholzen, Vorsitzender
Assistant Professeur, Université du Luxembourg

Dr.-Ing. Danièle Waldmann
Assistant Professeur, Université du Luxembourg

Dr. Claude-Alain Roulet
Professeur, École Polytechnique Fédérale de Lausanne

Dr. rer. nat. Oliver Kornadt
Professeur, Technische Universität Kaiserslautern

Berichte aus dem Bauwesen

Alexander Merz Kirch

**Energieeffizienz, Nutzerkomfort und Kostenanalyse
von Lüftungsanlagen in Wohngebäuden:
Feldtests von neuen Anlagen und Vorstellung
bedarfsgeführter Prototypen**

Shaker Verlag
Aachen 2015

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Zugl.: Luxemburg, Univ., Diss., 2015

Copyright Shaker Verlag 2015

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-3675-6

ISSN 0945-067X

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: www.shaker.de • E-Mail: info@shaker.de

Vorwort

Während meiner vier-jährigen Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Universität Luxemburg ist diese Dissertationsschrift entstanden. Ich möchte mich hiermit bei meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr.-Ing. S. Maas bedanken, dessen Unterstützung ich mir jederzeit sicher sein konnte und der an den richtigen Meilensteinen entscheidene Impulse setzte, mir aber gleichzeitig viel Freiheit in der Gestaltung meiner Arbeit zugestand. Für sein immer offenes Ohr, seinen Rat und Fachwissen, seine Fairness und sein Vertrauen in meine Arbeit bin ich sehr dankbar.

Weiterhin möchte ich Herrn Prof. Dr.-Ing. F. Scholzen und Frau Prof. Dr.-Ing. D. Waldmann für deren Unterstützung danken, fachlich wie persönlich. Gleiches gilt für meine beiden externen Prüfer Herrn Prof. Dr.-Ing. Claude-Alain Roulet und Herrn Prof. Dr. rer. nat. Oliver Kornadt, die mich bei meiner Arbeit fachlich unterstützt haben und Teil der Prüfungskommission waren.

Diese Arbeit wurde finanziert durch ein AFR-Stipendium des luxemburgischen Fonds National de la Recherche (FNR), wofür ich mich herzlich bedanken möchte. Das Projekt entstand durch eine Kooperation mit dem Ministère de l'Economie du Luxembourg und der Société Nationale des Habitations à Bon Marché. Bei dieser Gelegenheit möchte ich mich für die tatkräftige Unterstützung bei Herrn Entringer, Herrn Daubenfeld und Herrn Gillet bedanken.

Sehr dankbar bin ich außerdem für die Unterstützung meiner Kollegen Anja Degens, Jessica Brensing, Andreas Thewes und Thorsten Hoos mit welchen ich mein Büro, unzählige interessante Diskussionen und die stets freundschaftliche Atmosphäre teilen durfte.

Nicht zuletzt gehört mein Dank meiner Mutter, meinem Vater und meiner Großmutter, die mich jederzeit unterstützen, nie eine Gegenleistung erwarten und mir Halt und Vertrauen schenken.

Luxemburg, März 2015

Abstract

From the year 2020 onwards, new buildings and renovations have to fulfill the Nearly Zero Energy Standard, as stated in the Building Directive by the European Parliament. This means that buildings should have a balanced ratio between consumed and produced primary energy. To achieve this ambitious goal, the use of mechanical ventilation and heat recovery systems seems inevitable, not only to achieve high energy efficiency, but also to ensure good air quality in airtight buildings. This work compares state-of-the-art centralized and decentralized concepts for mechanical ventilation of residential buildings in field tests in terms of energy efficiency, user comfort and costs. 20 centralized and 60 decentralized systems have been assessed. In addition to that, demand driven prototypes have been tested and their possibilities and limitations discussed. It was shown, that the mean values of key efficiency parameters vary distinctively from nominal values. These deviations may have an influence on the accuracy of energy demand calculation for buildings since ventilation losses and demand for electrical energy may be higher than expected. Nonetheless, all assessed systems showed a positive primary energy balance and an increased user comfort in airtight buildings, the sound pressure level induced by the devices being the crucial factor for users' satisfaction. Decentralized devices often show high values, leading to intolerance towards the ventilation system. While showing advantages compared to the non-ventilation case in terms of energy efficiency, the ventilation systems show high amortization periods of more than 50 years. For the centralized systems, potential for improvement lies within a careful planning, installation and maintenance of the systems including their ductwork and the avoidance of unnecessary pressure losses. An airtight building envelope and balanced volume flows result in high heat recovery rates. For the decentralized systems, a reduction of the sound pressure level and external shortcuts is crucial for their performance and acceptance among users. The use of air quality sensors to establish a demand controlled ventilation system is common use within commercial buildings or schools, but not state-of-the-art in residential buildings. Tests on three demand driven prototypes with CO₂ and VOC sensors showed a high potential for this concept in residential buildings. For all concepts the run-time could be reduced about 50 percent, resulting in lower energy losses, lower maintenance costs, possibly longer life-time of the system and a higher cost-efficiency than constant driven systems. A semi-centralized prototype with VOC sensors was equipped with decentralized

fans, thus, avoiding pressure losses caused by valves and being able to ventilate each ventilation zone separately. This lead to the highest energy savings of 65 percent in a test dwelling compared to a conventional system.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Zielsetzung und Vorgehensweise	3
3	Grundlagen	7
3.1	Spannungsfeld der Lüftungstechnik	7
3.2	Lüftungskonzepte	8
3.3	Außenluftbedarf und Luftströme	9
3.4	Komponenten einer Lüftungsanlage	15
3.4.1	Ventilator- und Anlagenkennlinie	15
3.4.2	Ventilator	18
3.4.3	Wärmetauscher und Primärenergie	20
3.4.4	Filter	28
3.4.5	Gesundheit, Hygiene, Reinigung	38
4	Feldtests	41
4.1	Messtechnik	43
4.2	Energieeffizienz	52
4.2.1	Volumenströme	52
4.2.2	Kurzschlüsse	56
4.2.3	Alter der Luft und Lüftungseffizienz	62
4.2.4	Spezifische Leistungsaufnahme unter Berücksichtigung von Kurzschlüssen	68
4.2.5	Wärmerückgewinnung	73
4.2.6	Spezifische Primärenergieeinsparungen (SPEE)	75
4.3	Nutzerkomfort	80
4.3.1	Luftqualität	80
4.3.2	Schallpegel	84
4.3.3	Zugluftisiko	85

4.4	Kosten	88
4.4.1	Investitionskosten	88
4.4.2	Betriebskosten	90
4.4.3	Instandhaltungskosten	92
4.4.4	Gesamtkosten	93
4.5	Zusammenfassung	95
5	Bedarfsgeführte Lüftung	103
5.1	Grundlagen der bedarfsgeführten Lüftung	103
5.2	Varianten der bedarfsgeführten Lüftung	109
5.3	CO ₂ Sensor im Abluftstrang einer zentralen Anlage	111
5.3.1	Konzept und Funktionsweise	111
5.3.2	Ergebnisse	112
5.4	VOC-gesteuerter Pendellüfter mit Außenverschluss	117
5.4.1	Konzept und Funktionsweise	117
5.4.2	Energieeffizienz und Einsparungen	118
5.5	Zentrale Anlage mit dezentralen Ventilatoren pro Lüftungszone und VOC Steuerung	120
5.5.1	Konzept und Funktionsweise	120
5.5.2	Energieeffizienz und Einsparungen	125
5.5.3	Weitere Entwicklungen	129
5.6	Primärenergiebedarf und Gesamtkosten der bedarfsgeführten Anla- gen im Vergleich	130
5.6.1	Primärenergiebedarf	132
5.6.2	Gesamtkosten	139
5.7	Zusammenfassung	141
6	Schlussfolgerung und Ausblick	145
6.1	Schlussfolgerung	145
6.2	Ausblick	147
7	Literaturverzeichnis	151