

**Kontrollierte natürliche Lüftung
in Büro- und Verwaltungsgebäuden
Ein Beitrag zur Steigerung von Energieeffizienz und
Nutzerbehaglichkeit**

Controlled natural ventilation
in office buildings
A contribution to increasing energy efficiency and
user comfort

An der Fakultät Bauingenieurwesen
der Technischen Universität Dresden
zur Erlangung des akademischen Grades
Doktor-Ingenieur (Dr.-Ing.)
vorgelegte

Dissertation

von

Dipl.-Ing. Leonie Scheuring

geboren am 17.11.1989 in Köln

Erster Gutachter	Prof. Dr.-Ing. Bernhard Weller Technische Universität Dresden
Zweiter Gutachter	Prof. Dr.-Ing. Clemens Felsmann Technische Universität Dresden
Dritter Gutachter	Prof. Dr.-Ing. Frank Wellershoff HafenCity Universität Hamburg
Tag der Verteidigung	30.06.2022

Bibliografische Information der Deutschen Bibliothek

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

Leonie Scheuring

**Kontrollierte natürliche Lüftung in Büro- und Verwaltungsgebäuden –
Ein Beitrag zur Steigerung von Energieeffizienz und Nutzerbehaglichkeit**

Dissertation. Dresden: Technische Universität, 2022.

© 2022 Leonie Scheuring

Technische Universität Dresden
Fakultät Bauingenieurwesen
Institut für Baukonstruktion
D-01062 Dresden

Telefon +49 351 463 34845
Telefax +49 351 463 35039

www.bauko.bau.tu-dresden.de

Kurzfassung

Es ist ein politisch erklärtes Ziel, den Ausstoß von klimaschädlichen Treibhausgasen weltweit zu verringern. Eine wesentliche Stellschraube im Gebiet des Bauwesens stellt hierbei die Einsparung von Energien zur Raumkonditionierung dar. Diese wird unter anderem über das Lüftungskonzept beeinflusst. Die Belüftung von Gebäuden ist zwingend notwendig, um die Emissionen der Baustoffe und die der Menschen, beispielsweise ihren CO₂-Ausstoß über die Atmung, abzuführen und der Schimmelbildung vorzubeugen. Erfolgt die Belüftung über offenbare Fenster – natürliche Lüftung – wird so allerdings energetisch aufwändig temperierte Raumluft mit untemperierter Außenluft ausgetauscht. Daraus können Wärmeverluste und thermisches Unbehagen resultieren. Energieeffiziente Technologien sind ventilatorgestützte Lüftungssysteme mit Wärmerückgewinnung. Doch nicht für alle Gebäudekonzepte und Nutzer stellen diese Lüftungskonzepte einen hohen Nutzerkomfort dar. Korrelationen zwischen Gebäuden mit ventilatorgestützten Lüftungssystemen und dem Sick-Building-Syndrom sind in der Literatur beschrieben, während hier für natürliche Lüftungskonzepte keine Korrelation besteht. Stattdessen wird in Nutzerbefragungen der natürlichen Lüftung eine hohe Akzeptanz zugeschrieben. Mit elektrisch angetriebenen Fenstern kann die natürliche Lüftung nutzerunabhängig gesteuert und so Wärmeverluste und thermisches Unbehagen kontrolliert werden. Bisher sind die Auslegungen solcher kontrollierten natürlichen Lüftungskonzepte noch sehr planungsintensiv.

Das Ziel der Arbeit ist es, für Büro- und Verwaltungsgebäude Öffnungs- und Schließsignale einer kontrollierten natürlichen Lüftung zu geben. Diese zeichnen sich darüber aus, dass sie ein gesundes Raumklima, eine hohe Nutzerbehaglichkeit und Energieeffizienz über den Jahresverlauf schaffen und auf ihre Robustheit gegenüber Änderungen von Gebäuderandbedingungen überprüft sind.

Für das Ziel wird ein über CO₂- und Temperatursensoren gesteuertes Fenstersystem mittels dynamisch thermischer Gebäudesimulationen in vier Varianten von Schließsignalen auf thermische Behaglichkeit und Energiebedarf untersucht. Die Grundlage dazu stellt die bezüglich Entwurf, Konstruktion und Nutzung allgemeingültige Entwicklung eines Bü-

roriums dar. Der Büroraum wird im Simulationsmodell abgebildet und in Realität errichtet. Die Kombination von Simulationsmodell und realem, als experimentellem Teststand ausgeführtem Büroraum ermöglicht verifizierte Ergebnisse.

So werden vier Berechnungsmodelle für Luftvolumenströme von Fenstern über den Teststand verifiziert. Dazu dienen Luftwechselfmessungen nach der Konstantinjektionsmethode an 173 Fensteröffnungen für fünf Außentemperatur- und elf Windgeschwindigkeitsbereiche. Das Berechnungsmodell nach DIN EN 16798-7 zeigt sich als realitätsnah. Da dieses Berechnungsmodell nicht im Gebäudesimulationsprogramm implementiert ist, wird eine Methode zur Implementierung entwickelt. Über das entwickelte Simulationsmodell zeigt sich, dass eine kombinierte CO₂- und temperaturgesteuerte kontrollierte natürliche Lüftung nur zweimal im Jahr ihre Grenzwerte zur Fensteröffnung und -schließung variieren muss, um ganzjährig eine hohe Energieeffizienz und Nutzerbehaglichkeit zu schaffen.

Die Schließsignale des sensorgesteuerten Fenstersystems werden in eine Zeitsteuerung überführt. Es zeigt sich, dass für die kühlen Monate jede Öffnung mit identischer Dauer angesetzt werden darf. In wärmeren Monaten muss die Öffnungsdauer in Abhängigkeit der Außentemperatur angepasst werden, so dass eine Zeitsteuerung mit einer Außentemperaturmessung gekoppelt werden muss.

Die Ergebnisse zeigen, dass über eine Variation der Schließsignale einer kontrollierten natürlichen Lüftung die Energieeffizienz und die thermische Behaglichkeit wesentlich gesteigert werden und dass selbst bei geringen Windgeschwindigkeiten und Temperaturdifferenzen die Raumluftqualität stets gewährleistet ist. Für nahezu alle Standorte in Deutschland kann die kontrollierte natürliche Lüftung so den Kühlbedarf der untersuchten Büroräume eliminieren, ohne in einer sommerlichen Überhitzung der Räume zu resultieren.

Die entwickelten und bezüglich Raumluftqualität und thermischer Behaglichkeit charakterisierten Sensor- und Zeitsteuerungen tragen dazu bei, die kontrollierte natürliche Lüftung als wartungsarme, technikreduzierte Alternative zu der ventilatorgestützten Lüftung zu etablieren.

Abstract

It is a politically declared goal to reduce the emission of climate-damaging greenhouse gases worldwide. To support this goal by the building industry a key driver is the saving of energy for room conditioning. Among other factors, this is influenced by the ventilation concept. Also the ventilation of buildings is absolutely necessary in order to remove the emissions of the building materials and those of the people, for example their CO₂ emissions through breathing as well as to prevent mould. However, if ventilation is carried out via openable windows - natural ventilation - then energetically expensive tempered room air is exchanged with cold outside air. This could result in heat loss and thermal discomfort. Mechanical ventilation systems with heat recovery are energy-efficient technologies. However, these ventilation concepts do not represent a high level of user comfort for all building concepts and users. Correlations between buildings with mechanical ventilation systems and sick building syndrome are described in the literature, while there is no such correlation for natural ventilation concepts. Instead, a high level of acceptance is attributed to it in user surveys. With electrically driven and controlled windows, natural ventilation can be controlled independently from the user, thus minimizing heat loss and thermal discomfort. So far, the design of such controlled natural ventilation concepts is still very planning-intensive.

The aim of this work is to provide opening and closing signals for controlled natural ventilation in office buildings. These are characterized for their capability to create a high indoor air quality, high user comfort and high energy efficiency over the course of the year and are tested for their robustness against changes in building characteristics.

To achieve this goal, a window system controlled by CO₂ and temperature sensors is examined for its impact on thermal comfort and energy demand by means of building simulation tools with four variants of closing signals. As a basis for this examination an office room is utilized that conforms to the current standards in terms of design, construction and use. The office space is transferred to a simulation model and constructed in reality. The combination of the simulation model and the real office space, which is designed as an experimental test rig, enables verified results.

Thus, four calculation models for air flow volumes of windows are verified via the test rig. Air exchange measurements according to the constant injection method on 173 window openings for five outdoor temperature and eleven wind speed ranges are used for this purpose. The calculation model according to DIN EN 16798-7 proves to be close to reality. Since this calculation model is not implemented in the building simulation program, a method for its implementation is developed. Using the developed simulation model, it is shown that a combined CO₂- and temperature-controlled natural ventilation creates a high energy efficiency and user comfort throughout the year by varying its limit values for window opening and closing only twice a year.

The closing signals of the sensor controlled window system are transferred to a time control system. It turns out that for the cold months, each opening could be set to the same opening time. In warmer months, the opening time must be adjusted depending on the outside temperature. Thus, a time control should be coupled with an outside air temperature measurement.

The results show that by varying the closing signals of a controlled natural ventilation system, the energy efficiency and thermal comfort is significantly increased and that a high indoor air quality is always guaranteed even at low wind speeds and low temperature differences. For almost all locations in Germany, controlled natural ventilation can thus eliminate the cooling requirements in the office spaces studied without overheating in the summer.

The developed sensor and time control systems are characterized by high indoor air quality and good thermal comfort. Thus, these systems are a contribution to promote controlled natural ventilation as a low-maintenance and technically reduced alternative to mechanical ventilation.