

# Gesundheits Ingenieur

Haustechnik · Bauphysik · Umwelttechnik

Herausgegeben von K. W. USEMANN

133. Jahrgang 2012 · Heft 3 · Seite 113 – 172

unter Mitwirkung von

F. Baum, H. Erhorn und H.-J. Moriske

in Verbindung mit dem

Umweltbundesamt, Fachbereich Umwelt und Gesundheit, Wasser-, Boden- und Lufthygiene, Ökologie, Berlin-Dahlem; Bayerischen Landesamt für Umweltschutz, Augsburg und der Gesundheitstechnischen Gesellschaft, Berlin.

---

# Luftqualitätsgeführte Wohnungslüftung und Nutzerfeedback zur Fensteröffnungsdauer

Jens Knissel und Marc Großklos

## 1. Ausgangslage

Mechanische Lüftungsanlagen werden durch die Notwendigkeit der CO<sub>2</sub>-Reduktion und die dadurch bedingte Verschärfung der gesetzlichen Mindestanforderungen an die energetische Gebäudequalität in Wohngebäuden zunehmend Verbreitung finden. Durch mechanische Lüftungsanlagen wird einerseits auch bei hoher Luftdichtheit der Gebäudehülle zu jedem Zeitpunkt eine gute Luftqualität für die Bewohner sichergestellt. Andererseits bieten sie die Möglichkeit, durch den Einsatz einer Wärmerückgewinnung die Lüftungswärmeverluste und damit den Heizenergieverbrauch zu reduzieren. Die Vielzahl der bereits heute realisierten Passivhausprojekte belegen eindrucksvoll, dass die Technik für eine deutliche Verbesserung der Energieeffizienz am Markt verfügbar ist und das hierdurch hohe Energieeffizienz und hoher Wohnkomfort gleichzeitig realisiert werden kann.

Obwohl die Anlagen einen hohen Standard erreicht haben, besteht u. a. bei der Regelung der Anlagen noch ein Weiterentwicklungspotenzial. Heute verfügen Wohnungslüftungsanlagen üblicherweise über mindestens drei Lüftungsstufen – ggf. in Verbindung mit Möglichkeiten zur Programmierung von Tages- oder Wochenprogrammen –, die der Nutzer nach seinen Wünschen wählen kann.

Ergänzend wird von mehreren Lüftungsanlagenherstellern eine Feuchteregelung angeboten. Ziel ist einerseits die geregelte Abfuhr von Feuchtelasten, um Schimmelprobleme zu vermeiden. Andererseits soll durch die Feuchteregelung ein zu starkes Absinken der relativen Feuchte im Winter vermieden werden. Um diese Ziele bei energieeffizientem Betrieb zu realisieren, sind getrennte Feuchtesollwerte für Sommer und Winter erforderlich.

Eine luftqualitätsorientierte Anpassung des geförderten Luftvolumenstroms an den tatsächlichen Bedarf wird durch die Einbindung von CO<sub>2</sub>-Sensoren in die Lüftungsregelung erreicht. Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) entsteht im Gebäude hauptsächlich durch die Atemluft der Men-

schen. Das geruchlose Gas wird als Indikator für die durch menschliche Aktivität freigesetzten Luftverunreinigungen herangezogen. Es ist lediglich eine Hilfsgröße für die eigentlich interessierende Größe der Luftqualität.

Eine genauere Erfassung der Luftverunreinigungen kann durch Mischgassensoren erfolgen, die auch als VOC-Sensoren (Volatile Organic Compound) oder Luftqualitätsensoren bezeichnet werden. Diese messen neben den vom Menschen abgegebenen Verunreinigungen auch die Ausdünstungen aus Möbeln oder Baustoffen. Für die Luftqualitätsmesswerte gibt es jedoch keine allgemeingültigen Grenzwerte. Die Vergleichbarkeit der Messwerte von unterschiedlichen Messverfahren ist nicht möglich und Grenzwerte sind selbst für ein Messverfahren aufgrund der Bandbreite der auftretenden Stoffe nur schwer festzulegen. Denn in der Raumluft sind durch die menschlichen Aktivitäten und Verunreinigungen durch Einrichtungen und Baustoffe bis zu 10000 unterschiedliche Stoffe zu finden. Diese werden von der Nase, aber auch von den VOC-Sensoren bei gleicher Konzentration unterschiedlich wahrgenommen. Das Sensorsignal muss dabei nicht zwangsläufig mit der menschlichen Geruchsempfindung parallel laufen. Diese Luftverunreinigungen sollten kontinuierlich abgeführt werden unabhängig davon, ob sie ein Geruchsstoff darstellen oder geruchlos sind. Hierzu bieten Mischgassensoren (VOC-Sensoren) einen Anhaltspunkt.

Fragen, die sich bei der Umsetzung einer bedarfsabhängigen Wohnungslüftung stellen, sind:

- Wo werden die Sensoren platziert (Führungsraum, Abluft)?
- Wie wird der Grenzwert (Schaltwert) eingestellt (fest, manuell, automatisch) oder wird der Volumenstrom kontinuierlich mit dem Sensorsignal verändert?
- Wie wird mit unterschiedlichen Grundpegeln der Verunreinigungen und deren Änderung im Zeitverlauf umgegangen?
- Wie wird mit einem in der Betriebsphase auftretenden Sensordrift umgegangen?

Heutzutage werden Feuchte-, CO<sub>2</sub>- und VOC-Sensoren von einigen Herstellern angeboten. Bei der Einbindung in die Anlagenregelung gibt es aber noch Entwicklungspotenzial. Typischerweise werden die Sensoren in einem Führungsraum angebracht und die Sollwerte sind fest oder manuell einzustellen.

Prof. Dr.-Ing. Jens Knissel, Universität Kassel, Fachgebiet Technische Gebäudesanierung im Fachbereich Architektur, Stadtplanung und Landschaftsplanung, E-Mail: Knissel@uni-Kassel.de; Marc Großklos, Institut Wohnen und Umwelt GmbH, Rheinstraße 65, 64295 Darmstadt, E-Mail: m.grossklos@iwu.de

## 2. Forschungsprojekt: Energieeffiziente Komfortlüftungsanlagen<sup>1</sup>

Im Zentrum des hier vorgestellten Forschungsprojektes stehen Weiterentwicklungsmöglichkeiten bei Wohnungs-lüftungsanlagen im Hinblick auf die luftqualitätsorientierte Volumenstromregelung. Eine wichtige Anforderung ist dabei die Nutzerfreundlichkeit. Ein Aspekt der Nutzerfreundlichkeit ist eine einfache Bedienung der Anlage. Sie muss die gewünschten Zielgrößen „hohe Luftqualität“ und „geringer Energieverbrauch“ möglichst automatisch erzielen. Damit ist ein manuelles Einstellen der Sollwerte bzw. ein Nachstellen bei Änderungen der Verunreinigungslasten oder Sensordrift nicht mehr erforderlich. Eine nennenswerte Senkung des Heizenergieverbrauchs kann durch die luftqualitätsgeführte Volumenstromregelung bei Anlagen ohne Wärmerückgewinnung erzielt werden. Bei Anlagen mit Wärmerückgewinnung steht die Verbesserung der Luftqualität im Vordergrund.

Ein anderer Aspekt der Nutzerfreundlichkeit, der in dem Vorhaben behandelt wird, ist die Zurückmeldung eines bewerteten Feedbacks zur Fensteröffnungshäufigkeit. Dies kann den Bewohnern helfen, Unsicherheiten in Bezug auf die Fensteröffnung abzubauen und ihr Verhalten - wenn gewünscht - zu optimieren.

Im Projekt werden somit zwei Schwerpunkte verfolgt.

- Es werden Realisierungsmöglichkeiten der luftqualitätsgeführten Volumenstromregelung in Wohngebäuden untersucht, die sich möglichst automatisch an die jeweilige Verunreinigungssituation kalibriert. Verwendet wird der Mischgassensor LuQaS. Dieser wurde im Rahmen der vom BMWA geförderten Forschungsvorhaben „LuQaS I“ und „LuQaS II“ für den Einsatz in bedarfsgeregelten Lüftungsstrategien entwickelt. Das entwickelte Sensorsystem ist nach Angaben der Projektdokumentation unempfindlich gegenüber Luftströmung und Umgebungstemperatur. Die Beeinflussung des Sensorsignals durch den Wassergehalt in der Luft konnte auf ein Minimum reduziert werden. Aufgrund dieser Eigenschaften lassen sich mit dem Mischgas-Sensorsystem eindeutige und reproduzierbare Signaländerungen erzielen [1, 2]. Das von der Firma ETR entwickelte Auswerteverfahren ist international patentiert.
- Ergänzend dazu wird ein Verfahren weiterentwickelt, mit dem die Öffnungsdauer der Fenster in einem Gebäude mit hoher Genauigkeit über die Lüftungsanlage ermittelt werden kann. Dieses als Druckdifferenzmethode (Drd-Methode) bezeichnete Verfahren wurde in dem Forschungsprojekt „Wohnen in Niedrigenergie- und Passivhäusern“ [3] entwickelt und erstmals mit Erfolg eingesetzt. Die Fensteröffnungsstellung konnte mit einer Genauigkeit von über 99% ermittelt werden [4]. Dieses Verfahren wird für ein Nutzerfeedback in Bezug auf die Fensteröffnungshäufigkeit verwendet.

Das Projekt gliedert sich in drei Phasen. Neben theoretischen Untersuchungen zum Anwendungsbereich und möglichen Regelstrategien (Phase I), werden die neuen Regelungsansätze in konkreten Lüftungsanlagen umgesetzt (Phase II). Diese werden in vier Gebäuden (Wohn-einheiten) eingebaut und über mindestens zwei Jahre wird das Betriebsverhalten unter realen Wohnbedingungen gemessen und analysiert (Phase III). Die Phasen I und II sind abgeschlossen. Derzeit werden die Regelungen in den vier Gebäuden unter realen Wohnbedingungen erprobt.

Das Forschungsvorhaben wird durchgeführt vom

- Institut Wohnen und Umwelt GmbH (IWU) als Projektleiter,
- Ingenieurbüro für Energieberatung, Haustechnik und ökologische Konzepte GbR (ebök),
- Elektronik Technologie Rump GmbH (ETR) bzw. AL-KO THERM GmbH Maschinenfabrik und
- Schwörer Haus KG.

Es wird gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie.

Im Weiteren werden Ergebnisse der theoretischen Untersuchungen aus Phase I zusammenfassend dargestellt.

## 3. Luftqualitätsregelung

Die Umsetzung der luftqualitätsgeführten Volumenstromregelung in Wohngebäuden ist aus folgenden Gründen deutlich schwieriger als in Nicht-Wohngebäuden:

- Die Dynamik der Verunreinigungslasten in Wohngebäuden ist geringer
- Der Grundpegel der Gebäude schwankt aufgrund unterschiedlicher Einrichtung stark
- Volumenströme und damit Möglichkeiten zur Beeinflussung der Luftqualität sind geringer.

Vor diesem Hintergrund war zur Entwicklung der Regelstrategie zunächst die Frage nach der ausreichenden und sinnvollen Signaldynamik beim LuQaS-Signal zu klären. Da keine entsprechenden Informationen in der Literatur verfügbar waren, wurden zu Beginn des Projektes mit drei LuQaS-Sensoren die Konzentrationen und Konzentrationsänderungen in zwei Passivhaus-Wohngebäuden punktuell gemessen. Aufgezeichnet wurden dabei die vom LuQaS gemessenen Verunreinigungen in einzelnen Räumen sowie in der Zu- und Abluft. Als Ergänzung wurde die CO<sub>2</sub>-Konzentration in einem Raum mit erfasst. *Bild 1* zeigt einen Auszug über zwei Tage aus der Messreihe und gleichzeitig die protokollierten Aktivitäten der Bewohner. Fast über den gesamten Zeitraum wurde die Lüftung in einer abgesenkten Stufe betrieben.

Es zeigt sich in den einzelnen Räumen eine deutliche und im Wesentlichen interpretierbare Signaldynamik. Aufgrund der Verdünnung sind die Signaländerungen in der Abluft unschärfer. Die Dynamik scheint aber auch hier noch ausreichend, um die wesentlichen Nutzungszustände (gering, mittel, hoch) eines Gebäudes zu identifizieren, so dass eine Regelung mit einem LuQaS je in Zu- und Abluft möglich scheint.

<sup>1</sup> Entwicklung energieeffizienter Komfortlüftungsanlagen mit luftqualitätsgeführter Volumenstromregelung und kontinuierlicher Erfassung des Fensteröffnungszustandes – Förderkennzeichen: 0327398A

Bei der Definition der Regelungsstrategie wird zwischen einer energie- und einer komfortorientierten Betriebsweise unterschieden. Ziel der komfortorientierten Betriebsweise ist die Verbesserung der Luftqualität, d.h. Reduktion der VOC-Konzentration. Der Anlagenvolumenstrom wird hier bei niedrigen VOC-Konzentrationen reduziert und bei hohen Konzentrationen erhöht. Diese Betriebsweise ist insbesondere bei Lüftungsanlagen mit hocheffizienter Wärmerückgewinnung empfehlenswert, wie sie z. B. bei Passivhäusern üblich sind. Die zusätzlichen Lüftungsverluste bei erhöhtem Luftvolumenstrom sind hier wegen der hohen Rückwärmehzahlen gering.

Von entscheidender Bedeutung für den Erfolg der Luftqualitätsregelung ist die Definition der Schaltschwellen. Dabei ist zu beachten, dass die Amplitude der VOC-Konzentration und die Grundbelastung der Gebäude sich im Zeitverlauf ändern können. Dies tritt beispielsweise beim Bezug eines Neubaus auf. Die zu Beginn höhere Grundbelastung wird im Zeitverlauf deutlich sinken. Die Schaltschwellen können also nicht fest definiert werden, sondern müssen immer wieder automatisch angepasst werden.

Als Orientierungswert wird die VOC-Konzentration (besser LuQaS-Signal) herangezogen, die sich im Fall einer unregelmäßigen Lüftungsanlage auf „Normal“-Stufe einstellen würde. Dieser Wert wird für jeden Zeitschritt intern von der Regelung berechnet. Die Schaltschwellen orientieren sich an Amplitude und Grundbelastung, die sich für den unregelmäßigen Fall ergeben. Über diesen Algorithmus ist die Regelung in der Lage, sich selbst zu kalibrieren und an die wechselnden Lasten in einem Gebäude automatisch anzupassen. Desgleichen können so Drifts von Sensoren in gewissem Umfang kompensiert werden.

#### 4. Drd-Methode

Zur Beantwortung der Frage, ob alle Fenster in einem Gebäude geschlossen sind, wird von der Lüftungsanlage eine Testsequenz mit drei Schritten durchfahren.

1. Es wird die Druckdifferenz zwischen der Umgebung und einer im Gebäude angebrachten Messstelle gemessen.
2. Ein Ventilator wird abgeschaltet (Zu- oder Abluft).
3. Es wird erneut die Druckdifferenz zwischen innen und außen gemessen.

Führt das Abschalten des Ventilators zu einer nennenswerten Veränderung der Druckdifferenz innen-außen, wird davon ausgegangen, dass alle Fenster geschlossen sind.

Der Einsatzbereich und die Vorhersagegenauigkeit der Drd-Methode werden im Wesentlichen durch die Dichtigkeit der Gebäudehülle bestimmt. Die theoretischen

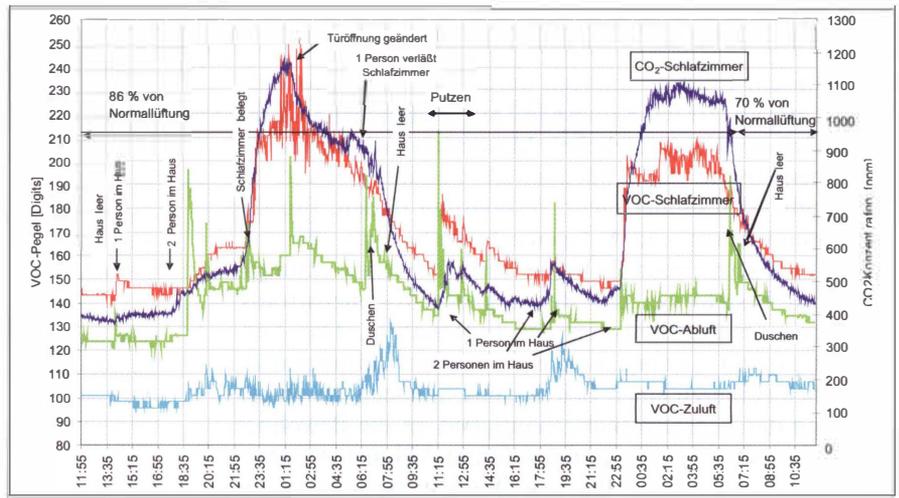


Bild 1. VOC- und CO<sub>2</sub>-Messungen über einen Zeitraum von zwei Tagen in einer Passivhaus-Wohnheit.

Untersuchungen haben gezeigt, dass die Drd-Methode mit den bei Lüftungsanlagen erforderlichen Dichtheitsanforderungen erfolgreich realisiert werden kann. Zudem scheint die Drd-Methode robust gegen den Witterungseinfluss sowie Änderungen der anlagentechnischen Randbedingungen und der Betriebsweise. Die theoretischen Ergebnisse müssen durch praktische Ergebnisse untermauert werden.

Wird die Fensteröffnungshäufigkeit über die Drd-Methode ermittelt, kann diese zusammen mit einer Bewertung an die Bewohner zurückgemeldet werden. Die Beeinflussung des Bewohnerverhaltens durch solche Rückmeldungen konnte in verschiedenen empirischen Untersuchungen – bisher insbesondere im Hinblick auf die Einsparung von elektrischer Energie – nachgewiesen werden [5]. Zur Bewertung der Fensteröffnungshäufigkeit wird eine Bewertungsgröße  $\Pi$  ermittelt und diese in einer verständlichen Bewertungsskala den Bewohnern dargestellt. Ein Beispiel für eine derartige Bewertungsskala zeigt der linke Teil von Bild 2. Um den Bewohnern die Bewertung zu verdeutlichen, werden die Ampelfarben rot-gelb-grün zur Kennzeichnung der Klassen verwendet. Zudem wird angezeigt, in welche Richtung die Heizkosten steigen.

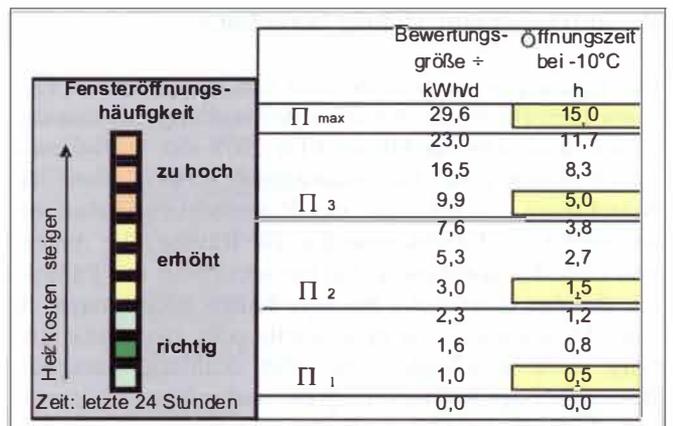


Bild 2. Bewertungsskala, Bewertungsgröße sowie Fensteröffnungszeit bei einer Außentemperatur von -10°C.

## 5. Fazit

Mechanische Lüftungsanlagen werden durch die Notwendigkeit zu verstärkten Klimaschutzanstrengungen und die Verschärfung der gesetzlichen Mindestanforderungen an die energetische Gebäudequalität zukünftig auch in Wohngebäuden immer mehr Verbreitung finden. Für die Breitenumsetzung sind Anlagen erforderlich, die effizient, robust und nutzerfreundlich sind. Ein Weiterentwicklungspotenzial besteht bei der Reglung des Volumenstroms, insbesondere abhängig von der Luftqualität. Das Forschungsprojekt „Energieeffiziente Komfortlüftungsanlagen“<sup>2</sup> liefert hierzu einen Beitrag, indem neben der Rückmeldung der Fensteröffnungshäufigkeit an die Bewohner eine luftqualitäts- und feuchtegeführte Volumenstromregelung entwickelt wird. Die neue Regelstrategie ist in der Lage, sich automatisch auf die unterschiedlichen Verunreinigungssituationen verschiedener Gebäude zu kalibrieren und in gewissem Umfang Drifts der Sensoren abzufangen. Die neuen Ansätze stellen damit eine wertvolle Weiterentwicklung von energieeffizienten Komfortlüftungsanlagen dar. Sie werden über zwei Jahre in vier Gebäuden im praktischen Betrieb getestet. Die theoretischen Untersuchungen zur DrD-Methode und zum Einsatz von Luftqualitätssensoren sind auf der Internetseite des Institut Wohnen und Umwelt zu finden ([www.iwu.de](http://www.iwu.de)).

## Literatur

- [1] Abschlussbericht des Forschungsprojektes LuQaS „Reduzierung des Energieeinsatzes Raumlufttechnischer Anlagen durch den Einsatz von Luftqualitätssensoren“. BMWi Förderkennzeichen: 0329795 A, 2001.
- [2] *Wetzel, R. und Steimle, F.*: Luftqualitätssensoren – Potentiale eines neu entwickelten Mischgas-Sensorsystems. Institut für Angewandte Thermodynamik und Klimatechnik Universität Essen, Universitätsstraße 15, D-45141; Essen 2002.
- [3] *Ebel, W.; Großklos, M.; Knissel, J.; Loga, T. und Müller, K.*: Wohnen in Passiv- und Niedrigenergiehäusern – Teilprojekt: Bauprojekt, messtechnische Auswertung, Energiebilanzen und Analysen zum Nutzereinfluss. Gefördert mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft, Technologie (Förderkennzeichen: 032 7256A); Institut Wohnen und Umwelt; Darmstadt, 2003.
- [4] *Großklos, M. und Knissel, J.*: Entwicklung eines Verfahrens zur automatischen Erkennung von Fensteröffnungen über die Lüftungsanlage. Teilbericht des Forschungsprojekts „Wohnen in Niedrigenergie- und Passivhäusern“. Gefördert mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft, Technologie (Förderkennzeichen: 032 7256A); Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt, 2003.
- [5] *Flade A.; Hallmann, S.; Lohmann, G. und Mack, B.*: Wohnen in Passiv- und Niedrigenergiehäusern aus sozialwissenschaftlicher Sicht. Gefördert mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft, Technologie (Förderkennzeichen: 032 7256A); Institut Wohnen und Umwelt; Darmstadt, 2003.

<sup>2</sup> Förderung des Projektes: Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, BMWi  
 Projektentwicklung: Projektträger Jülich PTJ, Forschungszentrum Jülich GmbH  
 Projektleitung: Institut Wohnen und Umwelt GmbH, Rheinstraße 65, 64295 Darmstadt, Tel. (06151) 2904-47, [www.iwu.de](http://www.iwu.de)