

# THERMISCHE UND STRÖMUNGSTECHNISCHE SIMULATION EINER FASSADENDÄMMUNG MIT INTEGRIERTER LUFTFÜHRUNG FÜR DIE BESTANDSSANIERUNG

Matthias Ziegler, Michael Krause und Jan Kaiser  
Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP), Kassel, Deutschland

Kontakt: [matthias.ziegler@ibp.fraunhofer.de](mailto:matthias.ziegler@ibp.fraunhofer.de)

## KURZFASSUNG

Dieser Beitrag beschäftigt sich mit der thermischen und strömungstechnischen Untersuchung eines Sanierungssystems für Bestandsgebäude mit zentralem Lüftungssystem und fassadenintegrierter Luftkanalführung. Zur Modellierung der wärmetechnischen Eigenschaften der Lüftungskanäle wird ein eindimensionaler Modellansatz vorgestellt. Die Berechnung der Luftvolumenströme für ein zweigeschossiges Wohnhaus erfolgt mit dem Luftströmungsmodell TRNflow. Auf Basis dieser Berechnungsmodelle können Auslegungsempfehlungen und Optimierungen für die Kanalführung über die Fassade erstellt werden.

## ABSTRACT

This paper deals with the thermal and hydraulic analysis of an innovative retrofitting system for existing buildings with a central ventilation system, in which the air duct system is integrated directly in the building envelope. The thermal properties of the air ducts are modeled with a one-dimensional model approach. The calculation of the air flows for a two-storey house is implemented with the air flow model TRNflow. Using the computational models design recommendations for optimizing the air duct system on the façade can be made.

## EINFÜHRUNG

Gegenwertig entfallen etwa 40% des Endenergieverbrauchs in Deutschland auf den Gebäudesektor [Friedrich et al., 2007]. Zur Senkung des Energieverbrauchs und den damit einhergehenden CO<sub>2</sub>-Emissionen, spielt die energetische Sanierung im Gebäudebestand eine entscheidende Rolle [Erhorn, 2007]. Umfassende Bestandssanierungen scheitern oft an den hohen Kosten, sodass meist nur Einzelmaßnahmen an der Fassade zur Reduzierung der Transmissionswärmeverluste durchgeführt werden. Die erhöhte Dichtigkeit der Gebäudehülle sanierter Gebäude führt oft aufgrund falscher oder unzureichender Lüftung zu feuchtetechnischen Problemen. Folglich ist eine mechanische Belüftung empfehlenswert, um eine ausreichende Frischluftmenge für die Bewohner sicherzustellen.

Sanierungshemmnisse verhindern meist den nachträglichen Einbau einer zentralen Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung im Bestand. So ist die innenliegende Kanalverlegung mit hohen Kosten verbunden und führt zu erheblichen Beeinträchtigungen der Nutzer durch Schmutz und Lärm.

Einen vielversprechenden Ansatz zur Sanierung von Gebäuden ist die Vereinigung der Funktionen Wärmedämmung und Luftkanalführung in einer Konstruktion. Die Ausführung des Kanalnetzes wird dabei über die Fassade realisiert, indem die luftführenden Kanäle direkt in den Dämmstoff integriert werden. Ein derartiges System wurde bereits in einem Pilotprojekt am Fraunhofer-Institut für Bauphysik in Kooperation mit dem Dämmstoffhersteller Fa. Schwenk-Dämmtechnik an einem zweigeschossigen Wohngebäude aus den 1920er Jahren in Kassel umgesetzt [Schiffke, 2010].

Das Gebäude wird über einen Zeitraum von mehreren Heizperioden messtechnisch überwacht [Kaiser, 2012]. Parallel dazu wird das Gebäude inklusive der fassadenintegrierten Lüftungskanäle in der Simulationsumgebung TRNSYS abgebildet. Ziel ist es dabei die Wärmeverluste der Kanalführung zu quantifizieren, eine möglichst gleichmäßige Luftverteilung in den Räumen des Gebäudes zu erreichen, sowie die Energieeinsparung und das Wärmerückgewinnungspotential des Systems zu bestimmen. Dies dient hierbei als Voraussetzung für die Erarbeitung von Auslegungsempfehlungen und Planungstools für die Kanalführung in der Fassade.

## GEBÄUDE- UND SYSTEMMODELLIERUNG

Das Gebäude und das fassadenintegrierte Lüftungssystem sind in der Simulationsumgebung TRNSYS 16 abgebildet. Dazu werden alle Räume des Gebäudes im Mehrzonengebäudemodell Type 56 definiert. Alle 13 Zonen sind mit einer idealen Heizung ausgestattet, sodass die Raumtemperatur innerhalb der Heizperiode auf 20°C und nachts auf 18°C gehalten wird. Als Klimarandbedingung wird das Testreferenzjahr (TRY) der Region Nr.7 (Kassel) verwendet. Der Luftaustausch zwischen den einzelnen Zonen, sowie die Infiltrations- und

Exfiltrationsströme werden im Luftströmungsmodell TRNflow berechnet. Das Lüftungszentralgerät mit Kreuz-Gegenstrom-Wärmeübertrager steht im unbeheizten Keller des Gebäudes und weist Rückwärmezahlen von über 90% auf.

### Modellierung der Lüftungskanäle

In Abbildung 1 ist der Horizontalschnitt des Außenwandaufbaus mit den fassadenintegrierten Luftkanälen dargestellt. Die massive Ziegelwand weist eine Dicke von 300 mm auf und die 160 mm dicke Außendämmung ist als Wärmedämmverbundsystem ausgeführt. Der Lüftungskanal hat einen Querschnitt von 30 mm x 30 mm und liegt in einer Tiefe von 100 mm. Die strömende Luft im Kanal steht sowohl mit der Umgebung, als auch mit dem innenliegenden Raum im Wärmeaustausch. Bei winterlichen Randbedingungen während der Heizperiode führt dies zu Wärmeeinträgen in den Kanal über die Außenwand und zu Wärmeverlusten über die Dämmschicht nach außen.

In TRNSYS kann das thermische Verhalten eines Kanals, in dem ein Fluid strömt, mit der Komponente Type 31 abgebildet werden. Das Kanalmodell berechnet die Austrittstemperatur eines strömenden Mediums in einem runden Kanal bei bekannter Umgebungstemperatur und gegebenem Wärmedurchgangskoeffizienten des Kanals. Die Modellierung der rechteckigen Flachkanäle in TRNSYS erfordert somit die Transformation auf ein rundes Rohr mit nur einem Wärmedurchgangskoeffizienten und einer Umgebungstemperatur.

In einem ersten Ansatz werden die beiden schmalen Kanten des Lüftungskanals als adiabat angesetzt, sodass nur die breiten Kanten des Kanals mit der Umgebung bzw. dem Raum im Wärmeaustausch stehen. Der Bauteilquerschnitt wird in 5 mm dicke Teilabschnitte diskretisiert und die spezifischen Wärmeverluste UA in beiden Orientierungen aufsummiert. Die Bauteilfläche, die im Wärmeaustausch mit dem Lüftungskanal steht, wird als Trapezfläche mit einem Öffnungswinkel von  $45^\circ$  dargestellt [Ziegler, 2011]. In Abbildung 1 sind diese Flächen dunkel gefärbt. Aus den spezifischen Wärmeverlusten werden dann die wärmeübertragenden Kantenlängen in Richtung Umgebung und Innenraum berechnet. Nun kann der resultierende Wärmedurchgangskoeffizient aus der Gewichtung der beiden Werte bestimmt werden. Der eindimensionale Ansatz berücksichtigt jedoch keine lateralen Einflüsse. Je nachdem wie groß der Öffnungswinkel gewählt wird, vergrößert sich die Wegstrecke in den Randbereichen, sodass der Wärmewiderstand hier deutlich größer wird. Dieser Randeinfluss sinkt bei niedriger Wärmeleitfähigkeit und bei schmalen Bauteilaufbauten.

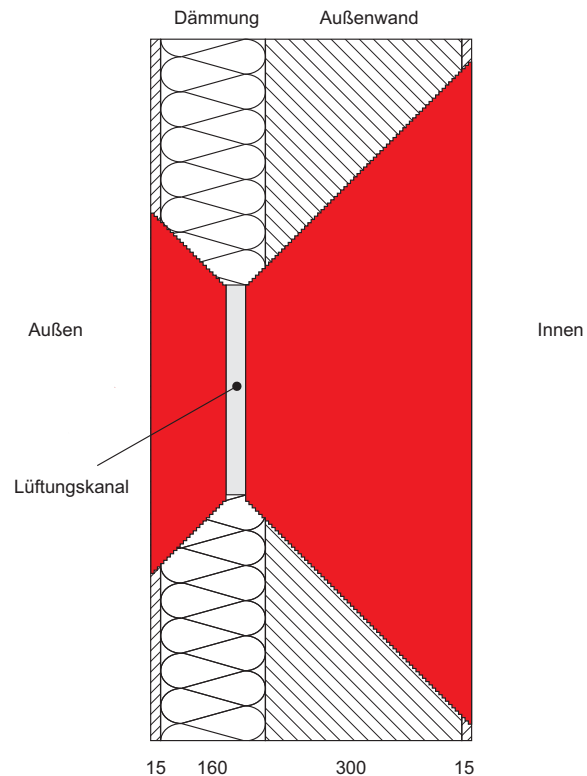


Abbildung 1 Eindimensionaler Modellansatz zur Berechnung der Wärmevorgänge am Lüftungskanal

### Luftströmungsmodell in TRNflow

Im Luftströmungsmodell TRNflow [TRNflow, 2006] wird das Gebäude als ein Netzwerk von Berechnungsknoten und Strömungsdurchlässen idealisiert. Jede Zone wird hierbei durch einen Berechnungsknoten dargestellt, der das Raumvolumen repräsentiert. Die Außenluftknoten enthalten je nach Himmelsrichtung die Winddruckkoeffizienten für die unterschiedlichen Windrichtungen. Die Kopplung der einzelnen Luftknoten erfolgt über Strömungsdurchlässe wie Fenster, Türen und den Komponenten des Luftkanalnetzes. Geschlossene Fenster und Türen wirken wie eine Undichtigkeit und werden mit einem Fugendurchlasskoeffizienten charakterisiert. Bei geöffneten Fenstern und Türen hängt die Druckdifferenz zwischen zwei Zonen mit unterschiedlichen Luftdichten von der Höhe der Öffnung ab. Deshalb stellt sich ein vertikales Geschwindigkeitsprofil ein und es sind im Gegensatz zu Leckagen Massenströme in beide Stromrichtungen möglich.

Das Luftkanalnetz wird in verschiedene Luftkanalabschnitte unterteilt, die über Hilfsluftknoten miteinander verknüpft sind. In TRNflow werden die Reibungsdruckverluste in den einzelnen Rohrabschnitten und dynamische Verluste an Einzelwiderständen berechnet. Die Ventilatoren im Zu- und Abluftkanalnetz werden durch Wertepaare der Druckdifferenz und des

Volumenstroms charakterisiert. Somit können die Kennlinienfelder der Ventilatoren abgebildet werden. Das vollkommen geschlossene Luftströmungsmodell für das Pilotgebäude in Kassel ist in Abbildung 2 zu sehen. Die Zuluft gelangt über eine zentrale Verteilung und drei Strangleitungen in die einzelnen Wohnräume. Der Wohnungsflur dient als

Überströmbereich. Die Abluft aus den Küchen und den Sanitärräumen wird über jeweils drei Anbindeleitungen und einem zentralen Sammelkanal in den Keller zum zentralen Lüftungsgerät gefördert.

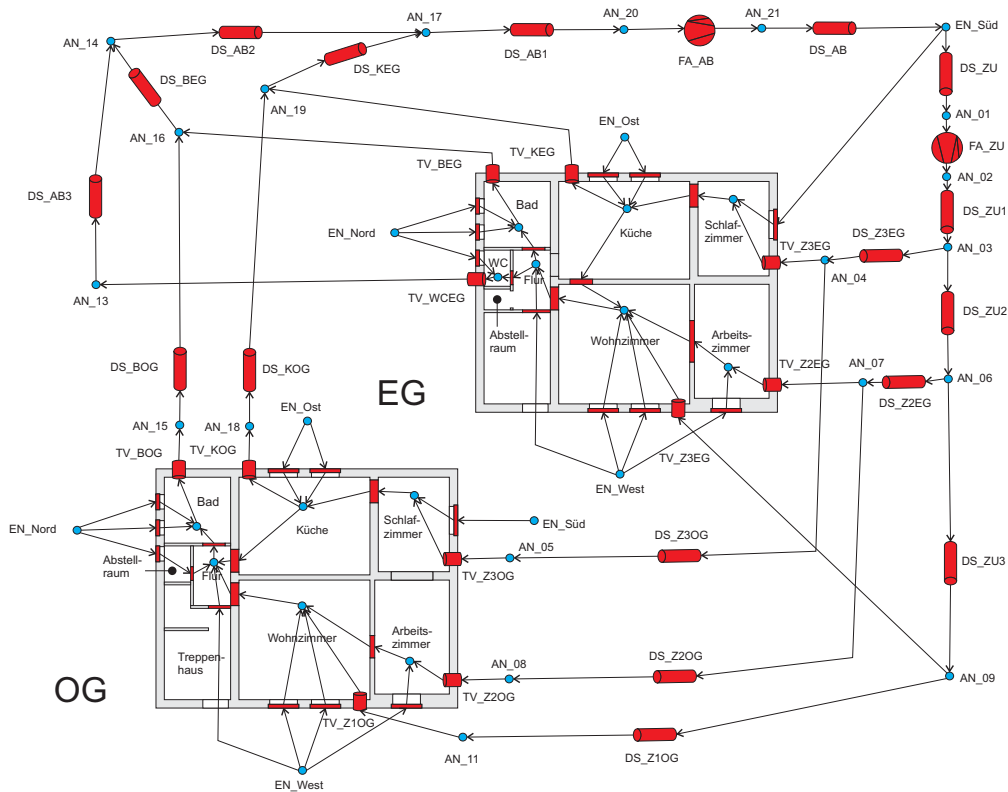


Abbildung 2 Luftströmungsmodell des Gebäudes in TRNflow

## DISKUSSION UND ERGEBNISANALYSE

Die Validierung der thermischen und strömungstechnischen Simulationen erfolgt über den Vergleich mit den gemessenen Lufttemperaturen am Pilotgebäude in Kassel. Dazu wird untersucht, welche durchschnittliche Lufttemperatur sich am Eintritt der Räume nach Durchströmung der fassadenintegrierten Luftkanalführung in Simulation und Messung einstellt. Die gemessene Austrittstemperatur an der Kaltseite des Wärmeübertragers (Zuluftseite) wird hierbei als Randbedingung für die Simulation verwendet. Auch die gemessene Außenlufttemperatur liegt der Simulation zugrunde. In Abbildung 3 ist die mittlere simulierte Zulufttemperatur in den Räumen des Gebäudes mit den gemessenen Lufttemperaturen am Eintritt der Luft in die Räume für einen Messzeitraum im November dargestellt. Der Vergleich der Lufttemperaturen zeigt, dass die simulierte Temperatur recht gut mit der gemessenen Temperatur übereinstimmt, wobei die simulierte Lufttemperatur maximal ein Kelvin über den

gemessenen Werten liegt. Der Vergleich der Ablufttemperaturen im Abluftkanalnetz in Messung und Simulation führt zu etwas größeren Abweichungen.

Mithilfe der oben beschriebenen Berechnungsmodelle wurde in weiteren Untersuchungen auch der Systemwirkungsgrad des Lüftungssystems inklusive der fassadenintegrierten Kanalführung bestimmt. Dieser beträgt innerhalb der Jahressimulation mit TRNSYS etwa 74%.

In Abbildung 4 ist der Vergleich der gemessenen Luftmengen mit den simulierten Volumenströmen im Erdgeschoss des Demonstrationsgebäudes aufgetragen. Man sieht, dass eine gleichmäßige Luftverteilung über alle Räume erreicht werden kann. Die gemessenen Volumenströme sind etwas geringer als die mit dem Luftströmungsmodell TRNflow simulierten Werte. Dies liegt zum einen an der recht ungenauen Messmethode mit dem Flügelradanemometer und zum anderen an der unbekanntem Rauigkeit der Luftkanaloberfläche. Des Weiteren können Leckagen im Luftkanalnetz des Testgebäudes nicht ausgeschlossen werden.

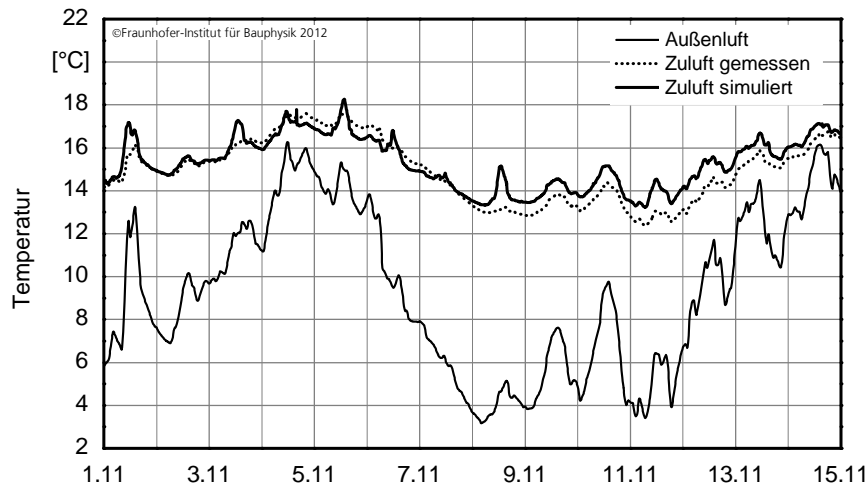


Abbildung 3 Vergleich der Zulufttemperaturen in Messung und TRNSYS-Simulation

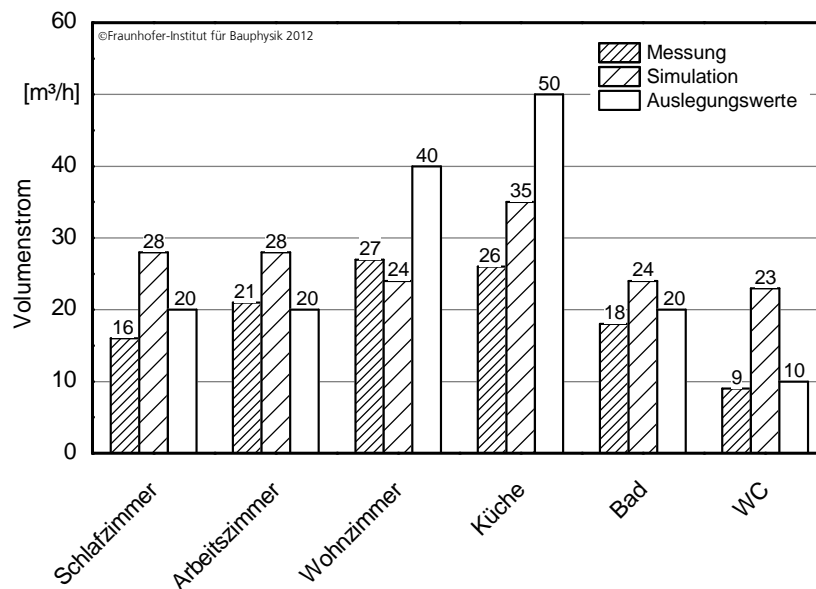


Abbildung 4 Vergleich der gemessenen und simulierten Volumenströme im Erdgeschoss des Gebäudes

## ZUSAMMENFASSUNG

Das innovative Lüftungssystem mit fassadenintegrierter Luftführung wurde in der Simulationsumgebung TRNSYS abgebildet. Die thermische Modellierung der Lüftungskanäle erfolgte dabei mit einem eindimensionalen Modellansatz. Die Luftvolumenströme in den einzelnen Räumen des Gebäudes wurden mit dem Luftströmungsmodell TRNflow berechnet.

Parallel dazu konnte mithilfe von messtechnischen Untersuchungen am Pilotgebäude in Kassel die grundsätzliche Funktionsweise des Lüftungssystems mit fassadenintegrierter Luftführung aufgezeigt werden. Die thermischen und strömungstechnischen Berechnungsmodelle des neuartigen Lüftungssystems wurden über den Vergleich mit den

messtechnischen Untersuchungen validiert. Auf Basis der Berechnungsmodelle können in einem weiteren Schritt Optimierungen des Lüftungssystems sowie Auslegungsempfehlungen erarbeitet werden und ein Planungstool für die Kanalführung entwickelt werden.

## LITERATUR

- Friedrich, M., Becker, D., Grondey, A., Laskowski, F., Erhorn, H., Erhorn- Kluttig, H., Hauser, G., Sager, Ch. und Weber, H. 2007. CO<sub>2</sub> Gebäudereport 2007. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Berlin
- Erhorn, H. 2008. Gebäudesanierung – Potentiale der Zukunft, Seminar Gebäude-Update: Marktchancen der Sanierung mit vorgefertigten Bauteilen, Kassel
- Schiffke, P. 2010. Innovatives Wärmedämmsystem mit integrierten Lüftungskanälen zur Nutzung von Wärmerückgewinnung, 8. GRE-Kongress „Effizienz Bauen“, Kassel
- Kaiser, J. 2012. Dämmstoffintegrierte Lüftungskanäle - Erste Ergebnisse, 9. GRE-Kongress „Die Energiewende entscheidet sich im Gebäudebereich“, Kassel
- Ziegler, M. 2011. Innovative Gebäudesanierung über eine Fassadendämmung mit integrierter Luftführung, Master-Thesis Universität Kassel
- University of Wisconsin-Madison. 2006. TRNflow – A module of an air flow network for coupled simulation with TYPE 56 (multi-zone building of TRNSYS). Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin-Madison