

Einfluss der Außentemperatur auf den Volumenstrom

# CFD-Simulation einer Druckbelüftungsanlage

## ✓ KOMPAKT INFORMIEREN

Über Rauchschutzdruckanlagen können im Brandfall Rettungs- und Fluchtwege für eine gesicherte Flucht und Rettung von Personen rauchfrei gehalten werden. Eine häufige Anwendung ist die Druckbelüftung notwendiger Sicherheitstreppe Räume in Hochhäusern.

Dann müssen Druckbelüftungsanlagen so bemessen und beschaffen sein, dass die Luft auch bei geöffneten Türen (und einer Abströmungsgeschwindigkeit durch die Tür von mindestens 2 m/s) zu dem vom Brand betroffenen Geschoss auch unter ungünstigen klimatischen Bedingungen entgegen der Fluchtrichtung strömt.

Für eine real verbaute Anlage wurde die Funktion mit einer CFD-Simulation unter Berücksichtigung der klimatischen Bedingungen und der maximal zulässigen Türöffnungskraft nachgewiesen. (Eine Validierung der Simulation ist bei Hochhäusern mit einer maßgebenden Höhe über 60 m im fertiggestellten Gebäude durch Messungen stets erforderlich.)



Weitere Fachberichte zum Thema enthält das TGA-Adossier

➔ Brandschutz **WEBCODE 724**

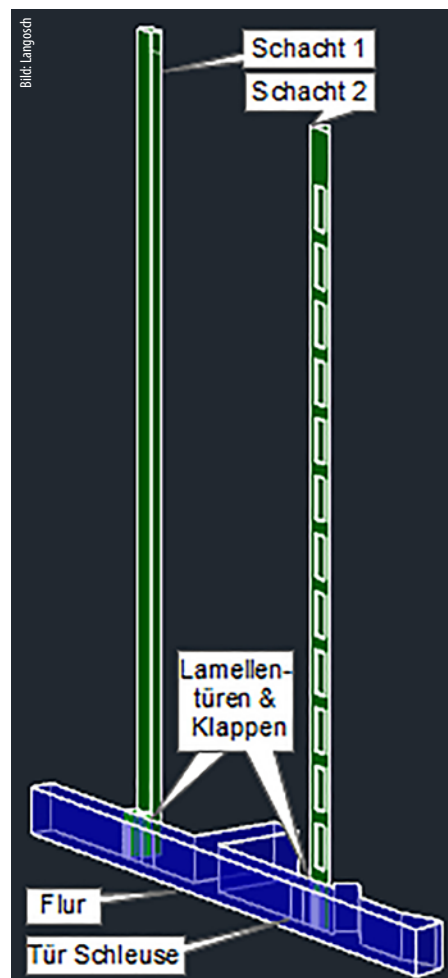
Bild: Langosch



**B. Eng. Lukas Langosch** ist Masterstudent im Masterstudiengang „Green Building Engineering“, zuvor „Energie- und Gebäudetechnik“, an der TH Köln und beruflich als Fachplaner für Wärme- und Kältetechnik bei der Deerns Deutschland GmbH, Köln, tätig.

Betreuer des beschriebenen Projekts sind Prof. Dr. Claudia Ziller, Hochschulprofessorin an der TH Köln am Institut für Technische Gebäudeausrüstung, Lehrgebiet Strömungslehre und Computational Fluid Dynamics (CFD) und Prof. Dr. Felix Hausmann, Hochschulprofessor an der TH Köln am Institut für Technische Gebäudeausrüstung, Lehrgebiet Raumluftechnik, Wärmeübertragung, Arbeits- und Strömungsmaschinen.

Mit dem CFD-Programm Fluent wurde auf Basis der Architektur-Grundrisse, der Montage- und Detailpläne zur Einbausituation relevanter Strömungswiderstände und der Geometriedaten der Hersteller für die Lüftungsgitter (Lamellentüren) und Entrauchungsklappen eine real verbaute Druckbelüftungsanlage für den Sicherheitstreppe Raum eines 13-geschossigen Hochhauses mit überwiegender Büronutzung auf Einhaltung der baurechtlichen Anforderungen, insbesondere unter Berücksichtigung der thermischen Bedingungen, untersucht.



① CAD-Gesamtmodell der Simulation (AutoCAD).

➔ Rauchschutzdruckanlagen werden dort eingesetzt, wo Räume in Überdruck gehalten werden müssen. Sie dienen so der Rauchfreihaltung von Rettungs- und Fluchtwegen im Brandfall, damit eine gesicherte Rettung und Flucht von Personen erfolgen kann. Bauordnungsrechtlich werden Rauchschutzdruck-

anlagen (RDA) beispielsweise für notwendige Sicherheitstreppe Räume in Hochhäusern vorgesehen und gleichzeitig Anforderungen an diese gestellt [1].

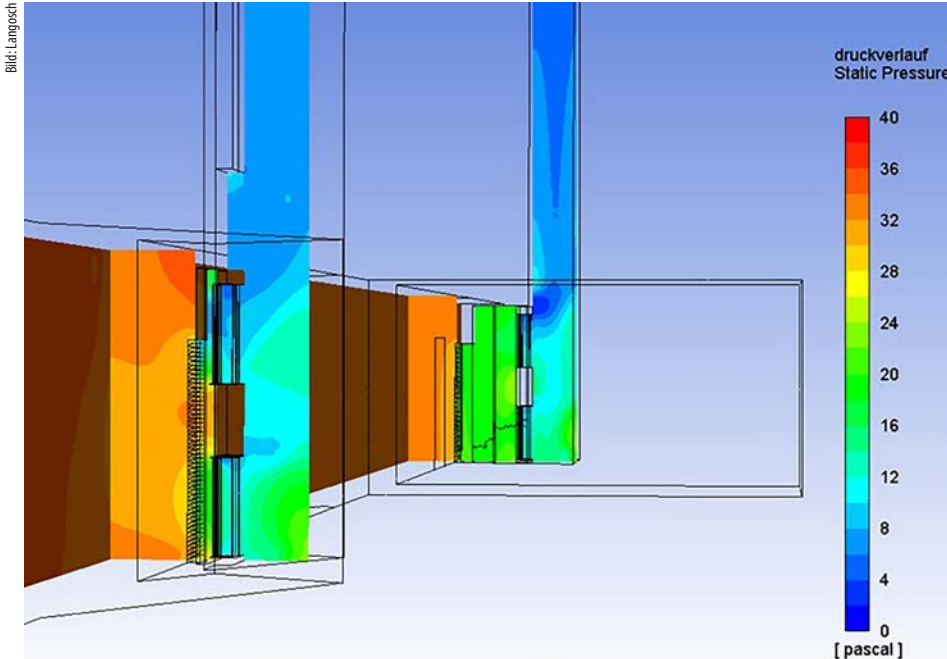
Im Rahmen eines Projekts im Masterstudiengang Green Building Engineering an der TH Köln wurde eine solche Druckbelüftungsanlage auf Einhaltung der Anforderungen, insbesondere bei Berücksichtigung der thermischen Bedingungen, untersucht. Gegenstand war die Strömungssimulation einer real verbaute Anlage für einen Sicherheitstreppe Raum über 13 Geschosse in einem Hochhaus mit überwiegender Büronutzung nach Ausführungs- und Montageplänen. Zu erwarten war eine positive bzw. negative Beeinflussung des Volumenstroms durch den thermischen Auf- und Abtrieb im Winter und Sommer.

## Funktionsweise einer RDA-Anlage

Die Rauchfreihaltung von Sicherheitstreppe Räumen im Brandfall ist von höchster Wichtigkeit, da diese als Fluchtweg fungieren und eine gesicherte Evakuierung ermöglichen. Damit bei einem Brand kein Rauch aus dem Brandgeschoss in die Sicherheitstreppe Räume gelangt, werden sie druckbelüftet.

Der Lufteintrag durch die Druckbelüftungsanlage in die Etage muss für eine kontinuierliche Strömung wieder aus der Etage abgeführt werden. Beim untersuchten Objekt erfolgt die Abströmung über zwei zum Dach geführte Druckentlastungsschächte, die sich in Nähe zum Sicherheitstreppe Raum befinden.

Im Brandfall werden pro Schacht zwei Entrauchungsklappen geöffnet, die sich hinter einer Lamellentür zum Druckentlastungsschacht befinden, sodass die Luft aus der Schleuse heraus über den Flur in der Nutzungseinheit weiter über die Schächte entweichen kann.



## 2 Isothermer Fall mit zwei Abströmschächten: Druckverteilung im Schnitt.

Die Anforderungen an die Auslegung der Druckbelüftungsanlage finden sich im zugehörigen Brandschutzkonzept und in der für das Bundesland jeweils geltenden Hochhausrichtlinie. Die Muster-Hochhausrichtlinie (MHHR) [1] schreibt u. a. vor:

- Strömungsgeschwindigkeit in den Türöffnungen vom Treppenraum zur Schleuse und von der Schleuse zu der jeweiligen Nutzungseinheit in der Etage von mindestens 2 m/s.
- Maximal notwendige Türöffnungskraft von 100 N an den Türen der innen liegenden Treppenräume und der Schleuse (am Türgriff gemessen).

Die zur Öffnung von Personen aufzuwendende Kraft von 100 N wird durch den zulässigen Überdruck auf die Tür, ihre Abmaße (Fläche) und durch die Kraft des Türschließers bestimmt.

Gewöhnlich wird ein Überdruck von 50 Pa im Treppenraum angesetzt, sodass das Schließmoment des Türschließers zur Einhaltung der maximalen Öffnungskraft davon abhängig gemacht wird [2].

### Inhalt der Untersuchung

Mit dem CFD-Programm Fluent von Ansys wurden die erreichbaren Volumenströme bzw. die zu überwindenden Druckverluste bei Einhaltung von 50 Pa Überdruck bzw. 2 m/s am Türquerschnitt ermittelt. Dabei wurde zwischen dem isothermen ( $t_{\text{Außen}} = 20\text{ °C}$ ), dem winterlichen ( $t_{\text{Außen}} = -10\text{ °C}$ ) und dem sommerlichen Fall ( $t_{\text{Außen}} = 35\text{ °C}$ ) unterschieden. In allen Fällen wurde eine Innentemperatur von  $20\text{ °C}$  angesetzt.

Für die Durchführung der Simulation ist ein darauf zugeschnittenes geometrisches Modell mit definierten Flächen der Ein- und Auslässe er-

forderlich. Randbedingungen sind externe physikalische Größen, die auf das Modell wirken und bekannt sind. In dem Fall waren dies beispielsweise die Einströmgeschwindigkeit der Luft von mindestens 2 m/s und die Vorgabe einer maximalen Druckdifferenz von 50 Pa über den Türquerschnitt der Tür zum Flur.

### Das Objekt im Simulationsmodell

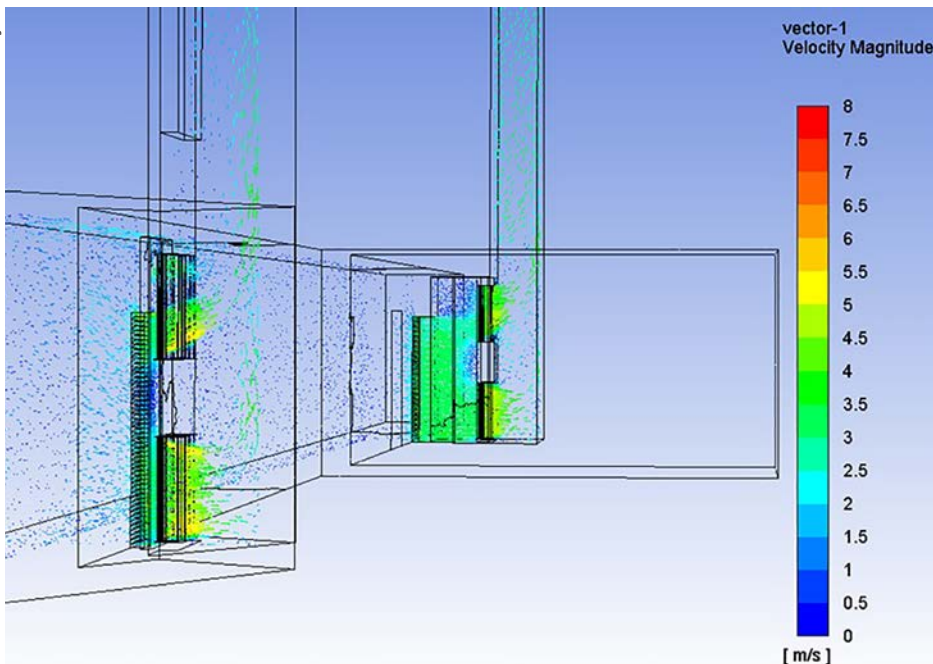
Die Architektur-Grundrisse dienten als Grundlage zur Darstellung des für die Druckbelüftung relevanten Strömungswegs. Montage- und Detailpläne zur Einbausituation der Lamellentüren und der Entrauchungskappen sind ins Modell auf Basis von Geometriedaten der Hersteller eingepflegt worden.

Dabei wurden bei der CFD-Simulation (CFD: Computational Fluid Dynamics) der Flur mit der Türöffnung zur Schleuse (Vorraum des Sicherheitstreppenraums), die Lamellentür am Schachteintritt, die Entrauchungskappen und die Abströmschächte bis zur Auslassöffnung am Dach betrachtet. Die Schleuse und der Treppenraum waren nicht Bestandteil des Simulationsmodells.

Die Druckentlastungsschächte besitzen eine Grundfläche (Strömungsquerschnitt) von jeweils  $1\text{ m}^2$ , wobei Schacht 2 der hydraulisch ungünstigste mit einer dreieckigen Grundfläche ist. 1 zeigt den Modellumfang als Geometrie.

Das Geschoss mit dem längsten Weg der Abströmung ist das unterste und für den Druckverlust das ungünstigste Geschoss. Somit wurde dieses in der Simulation betrachtet. Der angrenzende Flurbereich, über den im Brandfall abgeströmt wird, ist insgesamt rund 40 m lang. Der geodätische Höhenunterschied zwischen OKFB Brandgeschoss und den Schachtoberkanten (Austrittsöffnungen) beträgt ungefähr 50 m.

Bild: Langosch



3 Isotherme Abströmung über zwei Schächte: Geschwindigkeitsvektoren im Schnitt.

**Durchführung der CFD-Simulation**

Für den winterlichen, sommerlichen und isothermen Fall wurde jeweils die Vorgabe von maximal 50 Pa und 2 m/s über den Türquerschnitt als Randbedingung gesetzt und der sich ergebende Volumenstrom respektive der Überdruck als baurechtlich einzuhaltende Auslegungsgröße aufgenommen.

Die Abströmung über beide Schächte ist der planerische Auslegungsfall. Zusätzlich wurden analog dazu Simulationen zu einer Abströmung nur über den ungünstigsten Schacht (Schacht 2) getätigt, um das Worst-Case-Szenario für den Volumenstrom zu ermitteln.

Die Forderungen der Hochhausrichtlinie sind erfüllt, wenn 18900 m<sup>3</sup>/h mit weniger als 50 Pa zu überwindendem Druck erreicht werden. Der Volumenstrom ergibt sich aus dem angesetzten Türöffnungsmaß von 1,25 x 2,1 m im Modell.

**Ergebnisse**

Der Druckverlauf im System für den isothermen Fall und zwei Schächte ist in 2 mit dem Druck auf drei Schnittebenen dargestellt. Der Flur ist längs mittig geschnitten, die einzelnen Schächte mittig durch die Lamellentür.

Bei Vorgabe des Mindestvolumenstroms von 18900 m<sup>3</sup>/h sind rund 33 Pa über den Strömungsweg zu überwinden. Den Lamellentüren sind bis zu 8 Pa und den Entrauchungsklappen und Schächten bis zu 11 Pa zuzuordnen. In den Schächten ist eine Wandrauigkeit von 3 mm berücksichtigt, die etwa 3 Pa vom Druckverlust verursacht. Bis zu den Schachtaustritten baut sich der statische Druckanteil aufgrund der Reibung bis auf den Umgebungsdruck ab.

3 stellt die entsprechenden Geschwindigkeitsvektoren auf den mittigen Schnitten dar. Durch die Querschnittsverkleinerung an der La-

mellentür und den Klappen erhöht sich die Strömungsgeschwindigkeit in diesem Bereich lokal auf bis zu rund 7 m/s in den Klappen.

Zum Vergleich zeigt sich in 4 für den Winterfall eine deutliche Unterdruckausbildung innerhalb des Schachts bei 18900 m<sup>3</sup>/h, welcher mit der Schachttiefe (gegenüber dem Schachtaustritt) auf bis zu -25 Pa steigt und aus dem thermischen Auftrieb der sich erwärmenden Luft resultiert. Dieser baut sich bis zum Schachtaustritt wieder auf Umgebungsdruck ab, zum Teil durch die Schachtreibung, die dem Auftrieb entgegenwirkt. Um den baurechtlich geforderten Mindestvolumenstrom einzuhalten, beträgt der erforderliche Überdruck vor der geöffneten Tür (theoretisch) nur rund 4 Pa.

Der Sommerfall hingegen erhöht den Überdruck durch die sich auf dem Strömungsweg an den Bauteilen abkühlende Luft um etwa 3 Pa auf 36 Pa.

5 beinhaltet die wichtigsten Ergebnisse als Darstellung der sich ergebenden Volumenströme bei einer Vorgabe von 50 Pa Druckdifferenz an der Tür. Die waagerechte rote Linie markiert die Mindestanforderung nach der MHHR.

Gut zu erkennen ist, dass bei zwei Abströmschächten die Anforderung der Mindestströmungsgeschwindigkeit in der Türöffnung bei allen thermischen Fällen erfüllt ist. Bei einer Abströmung ausschließlich über den ungünstigeren Schacht 2 ist hingegen selbst im hydraulisch günstigen Winterfall der geforderte Volumenstrom nicht zu erreichen.

Insgesamt lassen sich im Winter bei Einhaltung der maximal zulässigen Türöffnungskraft über 22 % höhere Volumenströme unabhängig von der Anzahl der angesetzten Abströmschächte im Vergleich zum isothermen Fall aufgrund des thermischen Auftriebs erlangen:

Reizt man den 50-Pa-Wert aus, lassen sich bei zwei Abströmschächten 27150 m<sup>3</sup>/h erreichen (isotherm: 22100 m<sup>3</sup>/h). Die relative Steigerung ist auch bei einer Abströmung nur über Schacht 2 der Fall. Dort werden bis zu 12700 m<sup>3</sup>/h anstatt 10400 m<sup>3</sup>/h abgeströmt 5. Die Außenluft erwärmt sich dabei von -10 °C um 19 K auf 9 °C.

Allerdings ist der Abtriebseffekt im Sommer bei nur einem zur Verfügung stehenden Schacht größer als bei zwei Schächten. Der Volumenstrom sinkt um 12,5 % bzw. 2 % bei Abkühlung der Außenluft von 35 °C bis zum Schachtaustritt auf 25 °C respektive 30 °C. Zumindest korreliert im Ein-Schacht-Fall die relative Änderung im Volumenstrom mit dem Maß der Temperaturänderung der Luft (-10 K zu +19 K) im Sommer und Winter. Der Volumenstrom ändert sich entsprechend um -12,5 % bzw. +22 %. Im betrachteten Temperaturbereich ist die Luftdichte nach dem allgemeinen Gasgesetz ungefähr linear von der Temperatur abhängig [3].

Eine ähnliche relative Minderung ist im Zwei-Schacht-Fall zu erwarten gewesen, die hier nur mit -2% ermittelt werden konnte. Der durch den Schacht 2 geförderte Volumenstrom in beiden Varianten (ein Schacht / zwei Schächte) kann näherungsweise als gleich angenommen werden, sodass die Wärmeabgabe an die Luft

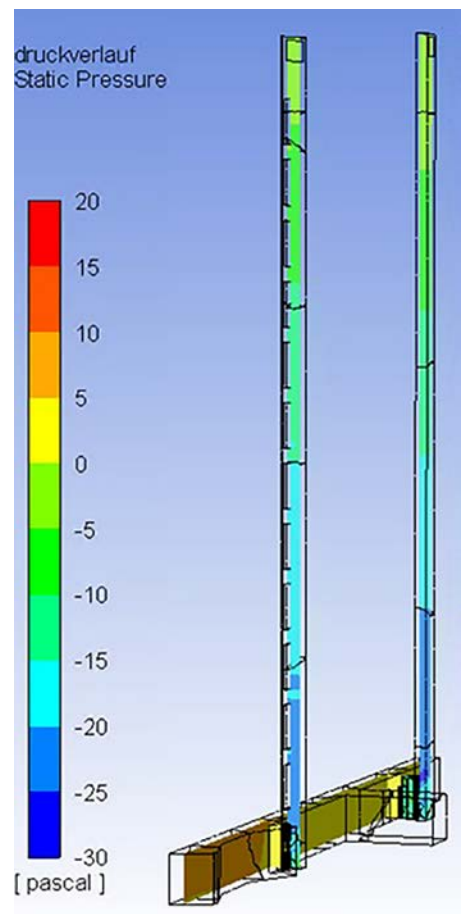
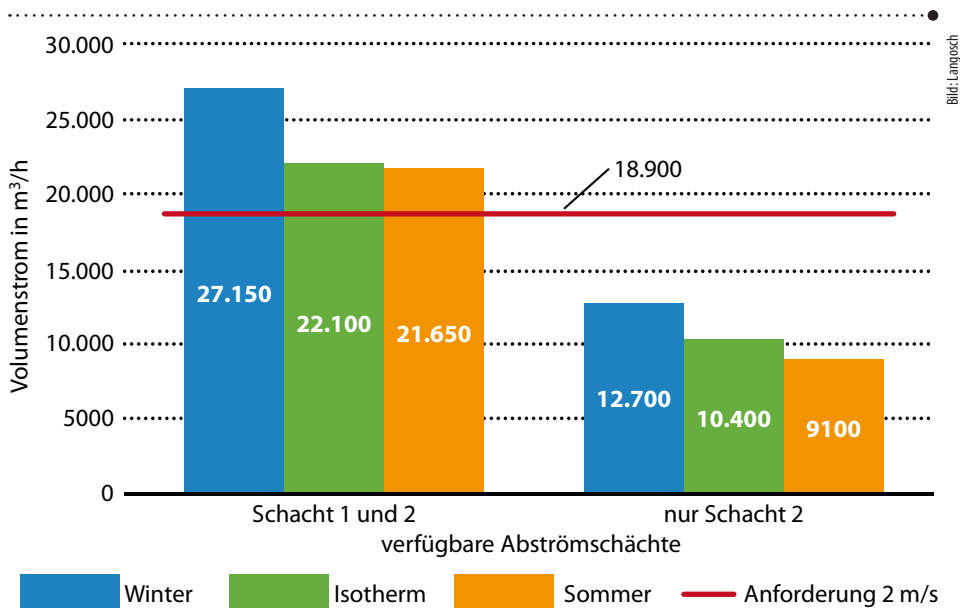


Bild: Langosch

4 Druckverlauf im angesetzten Winterfall.



5 Erreichbarer Volumenstrom für die sechs Betrachtungsfälle bei einer Vorgabe von 50 Pa Druckdifferenz an der Tür.

und somit der Effekt des thermischen Abtriebs ähnlich sein sollte. Aber selbst dann wären noch über  $19\,300\text{ m}^3/\text{h}$  zu erreichen und somit die Anforderung der MHHR im Sommer erfüllt.

### Schlussbetrachtung

Die Untersuchung zeigt, dass die existierende RDA-Anlage in dem Hochhaus die Anforderungen nach der Hochhausrichtlinie bei einer Abströmung über beide Schächte einhält. Mit 36 Pa Überdruck an der Tür zum Flur kann selbst im Sommer der Mindestvolumenstrom

von  $18\,900\text{ m}^3/\text{h}$  (entspricht 2 m/s in der Tür) bei Unterschreitung der maximal notwendigen Türöffnungskraft von 100 N gefördert werden. Die geplante und realisierte RDA-Anlage hält somit auch bei ungünstigen Bedingungen im Sommer die Anforderungen nach der Musterhochhausrichtlinie ein.

Eine Abströmung nur über den ungünstigsten Schacht reicht in keinem Fall aus, da selbst im Winterfall der geförderte Volumenstrom nur etwa 67 % der baurechtlichen Anforderung erreicht.

Bei Außentemperaturen, die niedriger als die Innentemperatur sind, erwärmt sich mit dem Strömungsweg langsam die Luft und ein thermischer Auftrieb entsteht, der je nach Blickwinkel entweder den abführbaren Volumenstrom erhöht oder bei gleichem Volumenstrom den zu überwindenden Druck an der Tür des Flures zur Schleuse senkt. Der Auftrieb wirkt dem Druckverlust im Schacht teilweise entgegen. Ist die Außentemperatur höher, so wirkt der thermische Abtrieb entsprechend gegenteilig.

Es ist auf das Fehlen des Sicherheitstreppenraumes und der Schleuse im Simulationsmodell hinzuweisen. In den thermischen Betrachtungen ist das Druckniveau im Flur abhängig von den Druckverhältnissen im Treppenraum. Denn mit der Höhe des Treppenraumes wird es, beispielsweise im Winter und im Winter mit Brandfall, schwieriger, ihn mit steigender Tiefe, also im unteren Bereich, aufgrund des thermischen Auftriebs im Überdruck zu halten. Hier spielt dann das Einblaskonzept der Zuluft in den Treppenraum eine Rolle und ist bei hohen Treppenräumen in der Planung zu berücksichtigen.

### Literatur

- [1] Muster-Richtlinie über den Bau und Betrieb von Hochhäusern. Berlin: Fachkommission Bauaufsicht, Projektgruppe MHHR, Abschnitt 6.2, Fassung 2008, Stand Februar 2012
- [2] Rauchschutz-Druckanlagen. Berlin: Alfred Eichelberger GmbH & Co. KG, Abschnitt „Grundlagen“, [www.alfred-eichelberger.de/produkte/rauchschutz-druckanlagen](http://www.alfred-eichelberger.de/produkte/rauchschutz-druckanlagen), zuletzt aufgerufen am 16. Oktober 2018
- [3] Cerbe G., Wilhelms, G.: Technische Thermodynamik. München: Carl Hanser Verlag, 14. Auflage, Seite 38, 2008