

# AUSLEGUNGSGRUNDSÄTZE FÜR RAUCHSCHUTZ-DRUCKANLAGEN IN SICHERHEITSTREPPENRÄUMEN

Prof. Dr.-Ing. Karl-Josef Albers<sup>1</sup>, Dipl.-Ing. Bernd Rahn<sup>2</sup>

<sup>1</sup>FHT Esslingen, Fachbereich Versorgungstechnik und Umwelttechnik  
<sup>2</sup>Alfred Eichelberger GmbH & Co. KG, Berlin

## Kurzfassung

Rauchschutz-Druckanlagen (kurz: RDA) sollen das Eindringen von Rauch in Sicherheitstreppe nräumen verhindern. Um dieses Ziel zu erreichen, wird im Treppenraum ein Überdruck zu den angrenzenden Geschossen aufgebaut. Dieser Überdruck wird, damit die Türen zum Sicherheitstreppe nräum sicher geöffnet werden können, in den entsprechenden Verordnungen der Bundesländer auf 50 Pa bei 2m<sup>2</sup> Türfläche begrenzt. Um die Funktion von Rauchschutz-Druckanlagen zu gewährleisten, müssen mehrere Aspekte berücksichtigt werden, auf die im Vortrag näher eingegangen wird. Im Einzelnen sind dieses:

- Die Thermik:  
Im Winter wie auch im Sommer kommt es bei großen Unterschieden zwischen Innen- und Außenlufttemperatur zu erheblichen Auf- bzw. Abtriebsströmen im Treppenraum, die in Hinblick auf die Drucksituation im Treppenraum und die Auslegung der RDA beachtet werden müssen.
- Die Abströmung im Brandgeschoß:  
In den einzelnen Verordnungen über Sicherheitstreppe nräume wird nicht näher auf die Abströmung im Brandgeschoß eingegangen. Die Rauchfreiheit des Sicherheitstreppe nräum wird über eine Luftströmung vom Sicherheitstreppe nräum über die geöffnete Tür in das Brandgeschoß gewährleistet. Diese Strömung kann aber nur dann aufrechterhalten werden, wenn der in das Brandgeschoß einströmende Massenstrom an einer anderen Stelle wieder abströmen kann.
- Die Regelung der RDA:  
Die RDA muss in der Lage sein, auf sich schnell ändernde Betriebszustände, wie sie durch das Öffnen und Schließen der Türen gegeben sind, zu reagieren.

**Stichworte:** Sicherheitstreppe nräum; Rauchschutz-Druckanlage (RDA);  
Auslegung

[Veröffentlicht im Tagungsbericht über die Kälte-Klima-Tagung 2003 des Deutschen Kälte- und Klimatechnischen Vereins, Bonn 19.-21.11.2003, Band IV S. 203-209]

## 1 Einleitung

Im Baurecht gilt grundsätzlich das Prinzip, dass vertikal zwei Rettungswege zur Verfügung stehen müssen. Ist dieses, vor allem bei Hochhäusern, nicht möglich, muss der einzige vertikale Rettungsweg als Sicherheitstreppenraum ausgeführt werden. Da eindringender Rauch den Treppenraum unpassierbar machen kann, muss dieses verhindert werden. Hierzu wird mit Rauchschutz-Druckanlagen (kurz: RDA) im Treppenraum ein Überdruck zu den angrenzenden Geschossen aufgebaut.

Für die Auslegung findet man in den entsprechenden Verordnungen des Bauordnungsrechts (z.B.: [1]) nur die folgenden zwei Kriterien:

- 1) Der maximal zulässige Überdruck an den Türen darf einen Wert von 50 Pa nicht überschreiten.
- 2) Der erforderliche Volumenstrom der RDA berechnet sich nach der Gleichung

$$\dot{V} = k \cdot b \cdot h^{1,5} \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right], \quad (1)$$

wobei  $b$  die Breite und  $h$  die Höhe der Tür in [m] ist. Mit  $k$  wird die Temperatur im Raum vor der Schleuse berücksichtigt. Grenzt ein Flur an die Schleuse, ist  $k = 1,5$ . In allen anderen Fällen ist  $k = 1,8$ .

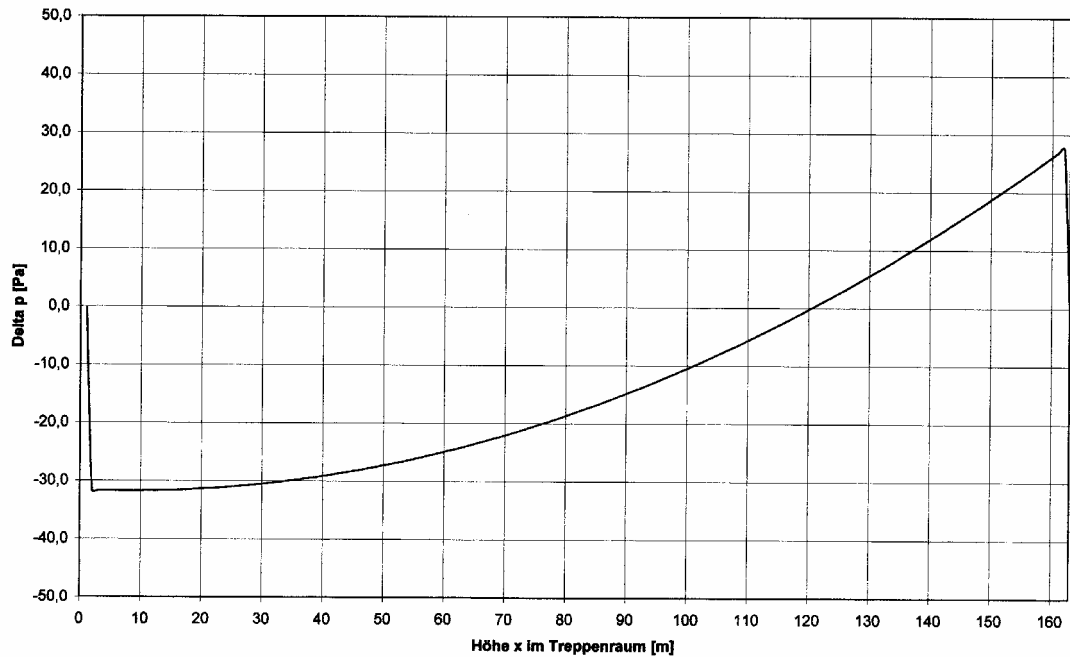
Um eine funktionsfähige RDA auszulegen, sind diese Kriterien nicht ausreichend. Zusätzlich müssen noch die Thermik im Treppenraum, die Abströmung der bei geöffneter Tür in das Brandgeschoß eintretenden Luft sowie die Regelfähigkeit der RDA beachtet werden. Diese Aspekte werden nachfolgend näher betrachtet.

## 2 Thermik im Sicherheitstreppenraum

Tabelle 1: Daten des Beispieltreppenraums [2]

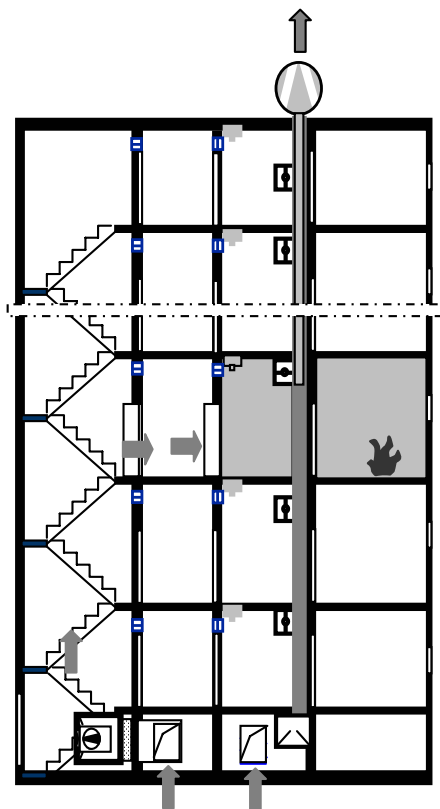
Höhe des Treppenraums:	160 m
Grundfläche des Treppenraums:	5,5 * 2,5 m <sup>2</sup>
Temperatur im Gebäude:	20 °C
Aussenlufttemperatur:	-10 °C
Dicke der Treppenraumwand: [ $\lambda = 1,1 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ]	24 cm
Wärmeübergangskoeffizienten:	12,5 W/(m <sup>2</sup> ·K) (Treppenr.) 7,7 W/(m <sup>2</sup> ·K) (Gebäude)
Rohrreibungszahl:	0,5
Öffnungsfläche am Fuß:	5 % der Grundfläche
Öffnungsfläche am Kopf:	10 % der Grundfläche
Widerstandsbeiwerte:	nach Idelchik [3]

In [2] wurde untersucht, welche Druckverhältnisse zwischen Treppenraum und Umgebung sowie welcher Volumenstrom sich auf Grund der im Treppenraum wirksamen Thermik einstellen. Auf dieser Basis ist für ein Beispiel in Bild 1 die Druckdifferenz zwischen Treppenraum und Umgebung über die Höhe aufgetragen. Die Daten des Beispiels sind in der



**Bild 1:** Druckdifferenzen zwischen Treppenraum und Umgebung

Tabelle 1 zusammengefasst. Der sich einstellende Volumenstrom beträgt  $17.900 \text{ m}^3/\text{h}$ .

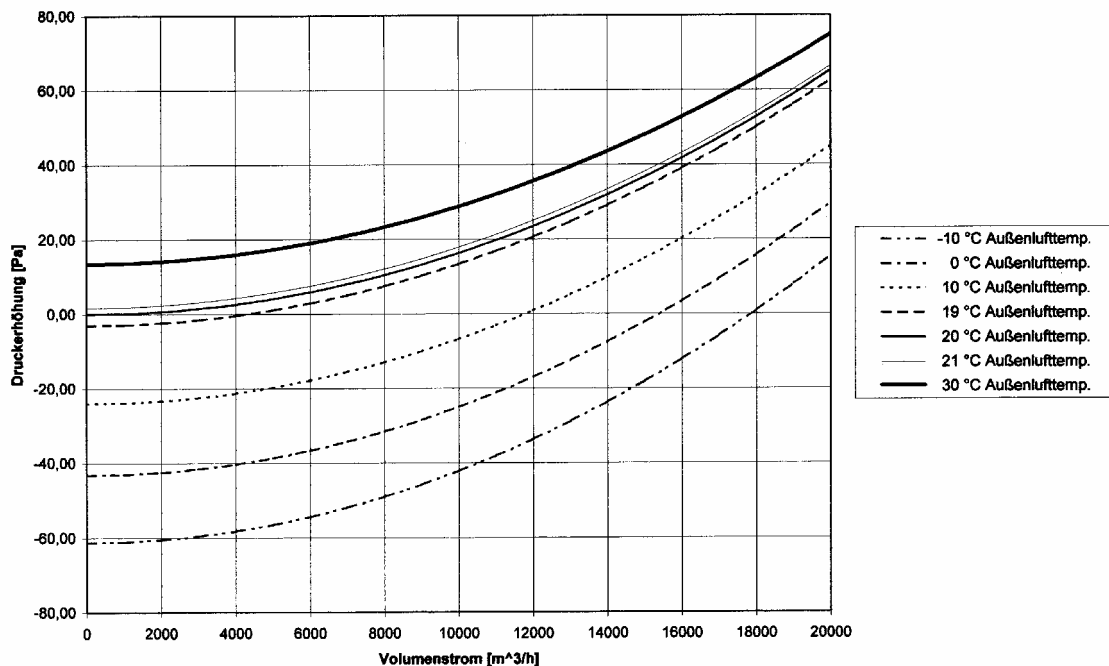


**Bild 2:** RDA mit Abströmung über das Brandgeschoß

Aus Bild 1 wird ersichtlich, dass der untere Teil des Treppenraums sich im Unterdruck zur Umgebung befindet. Nur der obere Teil befindet sich im Überdruck. Bei einem von unten nach oben durchströmten Treppenraum ist also die Forderung, dass kein Rauch in den Treppenraum eindringen darf, nicht zu erfüllen. Es stellt sich damit die Frage, ob es nicht sinnvoller ist, entsprechend der Darstellung im Bild 2 den von der RDA geförderten Luftvolumenstrom komplett über das Brandgeschoß abströmen zu lassen.

Neben den Druckverhältnissen im Treppenraum wirkt sich die Thermik auch auf die Anlagenkennlinie des Treppenraums aus. In Bild 3 ist die Anlagenkennlinie für den Beispieltreppenraum (siehe Tabelle 1) bei verschiedenen Außenlufttemperaturen aufgetragen. Die Anlagenkennlinie für den isothermen Fall wird im Winter durch den Auftrieb nach unten und im Sommer durch den Abtrieb nach oben verschoben. Im Sommer ist damit die

erforderliche Druckerhöhung am größten und muss bei der Bemessung des Ventilators der RDA berücksichtigt werden.



**Bild 3:** Anlagenkennlinie des Treppenraums bei 20°C Gebäudetemperatur in Abhängigkeit der Außenlufttemperatur

### 3 Abströmung im Brandgeschoß

Die Rauchfreihaltung des Sicherheitstreppenraums wird über eine Luftströmung vom Sicherheitstreppenraum über die geöffnete Tür in das Brandgeschoß gewährleistet. Damit durch diese Strömung nicht der Druck im Brandgeschoss erhöht wird, muss der einströmende Massenstrom an einer anderen Stelle wieder abströmen können. Dieses kann über Öffnungen in der Fassade oder über eine separate Entrauchungsanlage erfolgen. Will man bei innen liegenden Fluren Abströmöffnungen in der Fassade realisieren, muss sichergestellt werden, dass eine offene Verbindung zwischen Flur und Fassade besteht. Weiterhin muss bei dieser Varianten beachtet werden, dass es durch die an der Fassade herrschenden Winddruckverhältnisse zu Druckerhöhungen im Brandgeschoß kommen kann. Da die o. g. offenen Verbindungen zwischen Flur und Fassade im Einzelfall nur aufwendig zu realisieren und die Winddruckverhältnisse an der Fassade nicht zu beherrschen sind, wird die Abströmung über eine separate Entrauchungsanlage, wie sie in Bild 2 dargestellt ist, favorisiert. Um auch eine Strömung bei geschlossenen Schleusentüren sicherzustellen, sind in den Wänden der Schleuse Überströmklappen angeordnet, die zusätzlich den brandschutztechnischen Anforderungen genügen müssen.

#### 4 Regelung der RDA

In dem europäischen Normenentwurf über Differenzdrucksysteme [4], zu denen auch die RDAs gehören, werden die folgenden Anforderungen formuliert. Die RDA muss innerhalb von 180 s hochgefahren sein. Weiterhin muss sie innerhalb von 3 s nach Öffnen oder Schließen einer Tür zwischen 90 % und 110 % des erforderlichen Volumenstroms erzielen. Um die geforderte Reaktionszeit von 3 s bewerten zu können, wird zunächst ermittelt, wie viel Volumen dem Treppenraum zugeführt werden muss, um einen Überdruck zur Umgebung in Höhe von 50 Pa zu erzielen.

Wegen der geringen Druckänderungen kann dieser Vorgang als inkompressibel betrachtet werden. Weiterhin kann die Annahme getroffen werden, dass der Vorgang isotherm ist. Damit erhält man aus der Zustandsgleichung für ideale Gase

$$\frac{\Delta V}{V_0} = \frac{\Delta p}{p_0} \quad (2)$$

Das Volumen des Beispieltreppenraums gemäß Tabelle 1 beträgt  $V_0 = 2200 \text{ m}^3$ . Gilt für den Umgebungsdruck  $p_0 = 10^5 \text{ Pa}$ , benötigt man für eine Druckerhöhung von  $\Delta p = 50 \text{ Pa}$  ein Luftvolumen von  $\Delta V = 1,1 \text{ m}^3$ , das dem Treppenraum zugeführt werden muss. Wird nun eine Tür zum Treppenraum geöffnet, strömt Luftvolumen aus dem Treppenraum ab. Infolge dessen sinkt im Treppenraum der Überdruck zur Umgebung. Für den Fall, dass dem Treppenraum kein Luftvolumenstrom nachgeführt wird, ist in Bild 4 die Abnahme des Überdrucks für drei

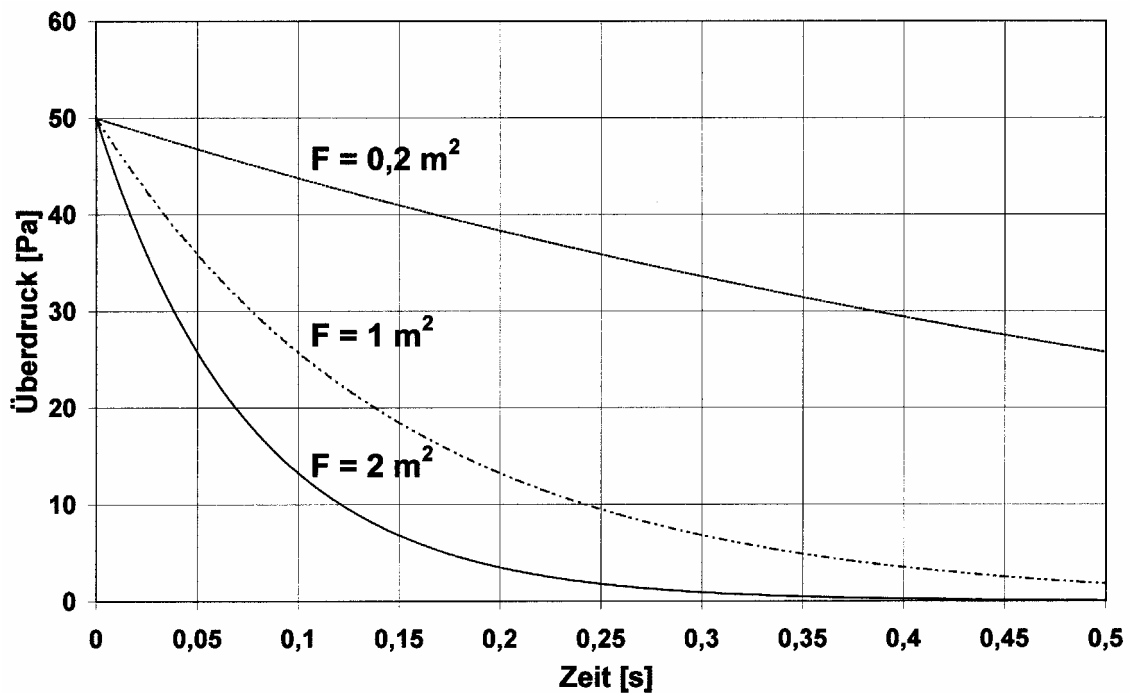


Bild 4: Abnahme des Überdrucks bei Öffnungen im Treppenraum

verschiedene Öffnungsquerschnitte über die Zeit aufgetragen. Der Öffnungswinkel von 2 m<sup>2</sup> steht dabei für eine vollständig geöffnete Tür. Bei einer vollständig geöffneten Tür ist der anfängliche Überdruck von 50 Pa nach einer halben Sekunde auf unter 0,1 Pa gefallen.

In der prEN 12101-6 [4] wird in Abhängigkeit der Klasse eine Strömungsgeschwindigkeit im geöffneten Türquerschnitt von 0,75 m/s bzw. von 2,0 m/s gefordert. Nimmt man vereinfachend die Bernoulli-Gleichung für das reibungsfreie Ausströmen aus einem Druckbehälter, folgt für die Ausströmgeschwindigkeit:

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p}{\rho}} \quad (3)$$

Daraus folgt, dass für eine Strömungsgeschwindigkeit von 2,0 m/s eine Druckdifferenz von 2,4 Pa und für 0,75 m/s Strömungsgeschwindigkeit eine Druckdifferenz von 0,3 Pa benötigt wird. Aus Bild 4 ergibt sich, dass eine Druckdifferenz von 2,4 Pa nach 0,23 s und eine Druckdifferenz von 0,3 Pa nach 0,38 s unterschritten wird.

Für dieses Beispiel folgt daraus, dass die RDA innerhalb weniger als einer halben Sekunde den für eine geöffnete Tür erforderlichen Volumenstrom fördern muss. Der umgekehrte Vorgang, nämlich schnelles Zurückfahren des geförderten Volumenstroms, ist erforderlich, wenn eine geöffnete Tür wieder verschlossen wird.

Will man die Reaktionszeit der RDA ermitteln, muss von der o. g. Zeit für den Druckabbau noch die Signalzeit abgezogen werden. Druckstörungen breiten sich mit Schallgeschwindigkeit aus. Nimmt man für den hier behandelten Beispieltreppenraum mit einer Höhe von 160 m den ungünstigsten Fall an, dass nämlich im obersten Geschoss die Tür zum Treppenraum geöffnet wird und der Druckaufnehmer zur Regelung der RDA im Erdgeschoß platziert ist, ist das Signal, dass die Tür geöffnet wurde, erst 0,47 s nach Öffnen der Tür ( $c = 340$  m/s) beim Druckaufnehmer angekommen. Für die RDA verbleibt also keine Reaktionszeit mehr. Damit kann die Forderung an die RDA nur lauten, dass sie so schnell wie möglich auf das Öffnen oder Schließen von Türen reagieren muss. Die oben aus der DIN EN E 12101-6 zitierte maximal zulässige Zeit von 3 s (Signal- plus Reaktionszeit) ist unter diesem Aspekt keineswegs zu groß bemessen.

Verwendet man für die Abströmung aus dem Brandgeschoß eine separate Entrauchungsanlage, so gelten für diese Anlage die gleichen Überlegungen zu den Reaktionszeiten wie für die RDA selbst.

Sind nun die Anforderungen an die Reaktionszeit der RDA bzw. der separaten Entrauchungsanlage formuliert, gilt es im Weiteren ein System zu finden, das diesen Anforderungen gerecht wird. Bedenkt man, dass Ventilatoren unter Berücksichtigung des Antriebs üblicherweise einige Sekunden benötigen, um einen Betriebspunkt über einen größeren Volumenstrombereich zu ändern, ist die Suche nach einem solchen System nicht einfach.

## 5 Resümee

Neben dem maximal zulässigen Überdruck sowie den erforderlichen Volumenstrom sind die Thermik, die Abströmung aus dem Brandgeschoß sowie die Regelung wichtige, für eine funktionsfähige RDA unerlässliche Auslegungsaspekte. Insbesondere der Regelung der RDA kommt eine besondere Bedeutung zu. Es ist unerlässlich, dass die RDA schnell auf das Öffnen und Schließen von Türen reagiert. Noch unerledigt ist die Aufgabe, ein System zu finden, das diese Anforderungen erfüllt.

## 6 Literatur

- [1] Richtlinien über Bau und Einrichtung von Hochhäusern des Bundeslandes Hessen (HHR); Erlass vom 29.12.1983 (StAnz. 1984 S. 300, 540), zuletzt geändert durch Erlass vom 20.12.1992 (StAnz. 1992 S. 600)
- [2] Albers, K.-J.; Rahn, B.: Strömungsverhältnisse in einem Sicherheitstreppe-raum – Einfluß der Thermik; TAB 34(2003)1, S. 51-56
- [3] Idelchik, I.E.: Handbook of Hydraulic Resistance, 2<sup>nd</sup> Ed., Washington, New York, Hemisphere Publishing Corporation 1986
- [4] prEN 12101-6: Rauch- und Wärmefreihaltung – Teil 6: Differenzdrucksys-teme – Bausätze; Berlin, Beuth Verlag 2001