

Untersuchungen über die aerodynamische Wirksamkeit von Rauchabzügen

(Teil 2)

C. Kramer, H. J. Gerhardt, H. Bösch, H. Meessen

4. Prüfverfahren und Prüfrichtlinien

4.1. Prüfrichtlinien des Verbandes der Sachversicherer e.V., Köln

Die ersten Richtlinien zur Bestimmung der wirksamen Öffnungsflächen A_w von Rauch- und Wärmeabzugsanlagen mit und ohne Seitenwind wurden vom Verband der Sachversicherer (VdS), Köln, erlassen [6]. Bild 10 zeigt die in dieser Prüfrichtlinie beschriebene Versuchsanordnung. Der zu prüfende RA wird auf einer Beruhigungskammer montiert, in der ein statischer Überdruck von 5 Pa eingestellt werden kann. Der zur Erzeugung dieses Überdruckes erforderliche Volumenstrom wird gemessen und dieser Vorgang bei Seitenwind, für den eine Geschwindigkeit von 10 m/s vorgeschrieben ist, wiederholt. Eine Anblasung des RA braucht nur in Richtung der Hauptachsen des Austrittsquerschnittes zu erfolgen. Die Bestimmung der aerodynamisch wirksamen Fläche erfolgt für einen Überdruck in der Beruhigungskammer von 5 Pa. Der niedrigste c_v -Wert wird für die Bestimmung von A_w benutzt.

In der Praxis ergaben sich häufig Schwierigkeiten, die Meßanlage bei exakt $\Delta p_{int} = 5$ Pa einzuregulieren. Um dennoch eine einwandfreie Messung zu gewährleisten, kann der Volumenstrom V in Abhängigkeit der inneren Druckdifferenz Δp gemessen werden. Die Auftragung V über

$v = \sqrt{2 \cdot \Delta p_{int} / \rho}$ dient zur Kontrolle, da die Meßpunkte auf einer Geraden durch den Nullpunkt liegen müssen, Bild 11a). Mit den aus diesem Diagramm entnommenen Werten kann c_{v0} als Funktion von Δp_{int} berechnet werden, Bild 11b). Da der Reynoldszahl-Einfluß im betrachteten Druckbereich unbedeutend ist, ergibt sich eine Gerade parallel zur Abszisse, also ein von Δp_{int} unabhängiger c_{v0} -Wert. Die Bestimmung von V in Abhängigkeit von Δp_{int} wird mit Seitenwind wiederholt. Zur Auswertung dient das Diagramm Bild 11c). In dimensionsfreier Darstellung ist der Volumenstrom $V/A_g \cdot U_\infty$, mit $U_\infty =$ Seitenwindgeschwindigkeit, über der Druckdifferenz $\Delta p_{int} / (\frac{\rho}{2} \cdot U_\infty^2)$ aufgetragen. Die Meßwerte liegen wieder mit guter Näherung auf einer Geraden.

Der Schnittpunkt der Geraden durch die Meßpunkte der Abszisse entspricht der Druckdifferenz, die sich in der Beruhigungskammer ohne Volumenzustrom einstellt. Der c_{vw} -Wert wird durch den Schnittpunkt der Geraden durch die Meßpunkte mit der Geraden $\Delta p_{int} / (\frac{\rho}{2} \cdot U_\infty^2) = 0,0833$ ($\Delta p_{int} = 5$ Pa; $U_\infty = 10$ m/s) bestimmt. Mit dem für diesen Schnittpunkt abgelesenen Wert $V/A_g \cdot U_\infty$ ergibt sich

$$c_{vw} = \frac{V}{A_g U_\infty} \cdot \sqrt{\frac{\rho/2 \cdot U_\infty^2}{\Delta p_{int}}}$$

4.2. Einflußparameter für aerodynamische Untersuchungen an RA

In den VdS-Prüfrichtlinien, Form 2002, werden keine speziellen Angaben über

Versuchsanordnung für Lüftermessung

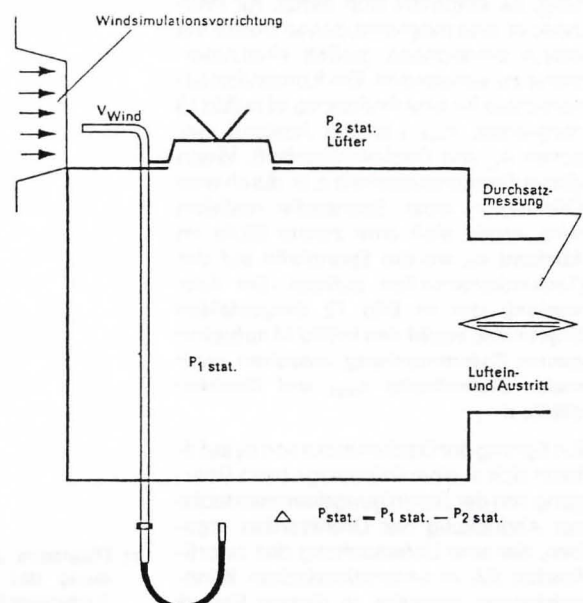


Bild 10. Versuchsanordnung für aerodynamische RA-Untersuchungen, nach den Prüfrichtlinien des Verbandes der Sachversicherer e.V., Köln [6]

Prof. Dr.-Ing. C. Kramer, Aachen
Prof. M. Sc. H.J. Gerhardt, Aachen
Dipl.-Ing. Abt.-Ltr. H. Bösch, Hamburg
Dipl.-Ing. Abt.-Ltr. H. Meessen, Hamburg

die Einbausituation der zu prüfenden RA gemacht. Es werden keine Meßtoleranzen vorgeschrieben, und über die Größen der Meßkammergrundfläche, des Seitenwindstrahlquerschnittes und der Prüfplattform relativ zu den Abmessungen der zu prüfenden Anlage gibt es keine Hinweise. Die Erfahrungen mit dieser ersten Prüfrichtlinie zeigten, daß eine weitere Spezifikation der Vorschriften erforderlich ist, wenn sichergestellt sein soll, daß in unterschiedlichen Prüfanlagen die Prüfung gleicher Anlagen zu gleichen Ergebnissen führt.

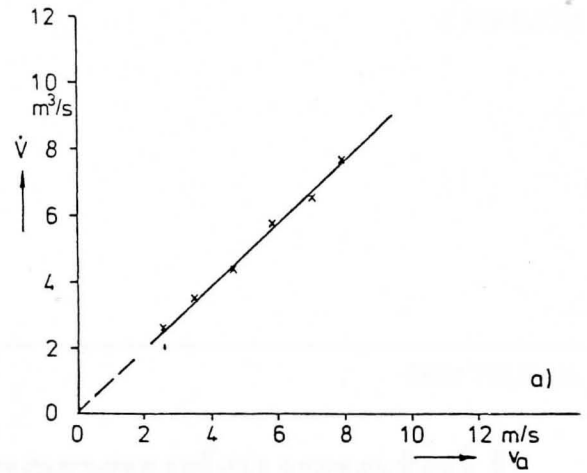
Um die Grundlagen für die Überarbeitung und Ergänzung der Prüfrichtlinie zu schaffen, wurden von den Prüfungsinstituten, der Deutschen Forschungs- und Versuchsanstalt für Luft- und Raumfahrt e.V., Aerodynamische Versuchsanstalt Göttingen, Institut für Strömungsmechanik, Dr.-Ing. H. u. Meier, sowie den Autoren für die Versuchsanlagen in Hamburg, Norf und Aachen auf Veranlassung des Verbandes der Sachversicherer e.V., Köln, umfangreiche Grundlagenuntersuchungen durchgeführt.

Die Anströmung aus einem RA ist in hohem Maße von der Zuströmung im Deckenbereich der Beruhigungskammer abhängig. Daher hat der Aufbau der Prüfdecke großen Einfluß auf die aerodynamisch wirksame Fläche A_w . Wenn die Deckenöffnung mit der Auflagefläche des Aufsatzkranzes des RA eine Stufe bildet, können sich je nach Deckenstärke und Kranzüberstand Steigerungen des c_{v0} -Wertes um bis zu 30% ergeben. Bild 12 zeigt Ergebnisse einer Parameterstudie. Besonders für steile Stufen ($x/d = 0,5-2$) ändert sich der c_{v0} -Wert bezogen auf den c_{v0} -Wert für Stufenbreite $x = 0$ für einen 90° -Kranz beträchtlich. Geringe Abweichungen im Prüfaufbau können folglich schon bedeutende Unterschiede bei der c_{v0} -Messung verursachen. Bei sehr flachen Stufen (großes x/d) verliert der Einfluß an Bedeutung. Es empfiehlt sich daher, für Prüfzwecke eine möglichst dünne Decke mit einem hinreichend großen Kranzüberstand zu verwenden. Ein Konstruktionsvorschlag für eine Prüfdecke ist in Bild 13 dargestellt. $x_{min 1}$ ist der Abstand zwischen A_g und Deckenausschnitt. Wenn dieser Deckenausschnitt z. B. durch eine Öffnung in einer Spanplatte realisiert wird, ergibt sich eine zweite Stufe im Abstand x_2 , wo die Spanplatte auf der Deckenkonstruktion aufliegt. Die Auswertung der in Bild 12 dargestellten Ergebnisse ergibt den in Bild 14 aufgetragenen Zusammenhang zwischen minimaler Stufenbreite x_{min} und Deckenstärke d .

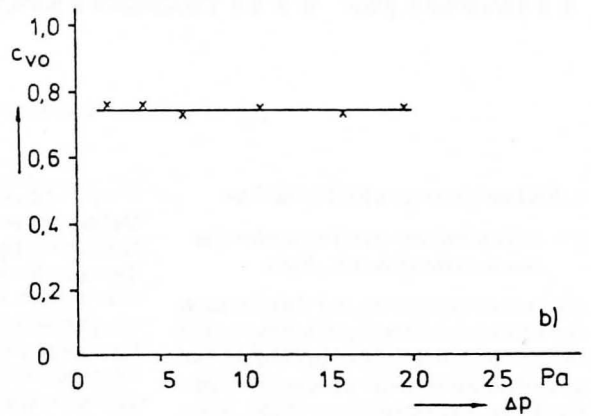
Ein Sprung der Deckendicke von d_2 auf d_1 kann sich in einer Prüfanlage beim Übergang von der Beruhigungskammerdecke zur Abdeckung des Drehkranzes ergeben, der eine Untersuchung des zu prüfenden RA in unterschiedlichen Windrichtungen gestattet. In diesem Fall ist

Bild 11. Auswertung von aerodynamischen Ra-Untersuchungen

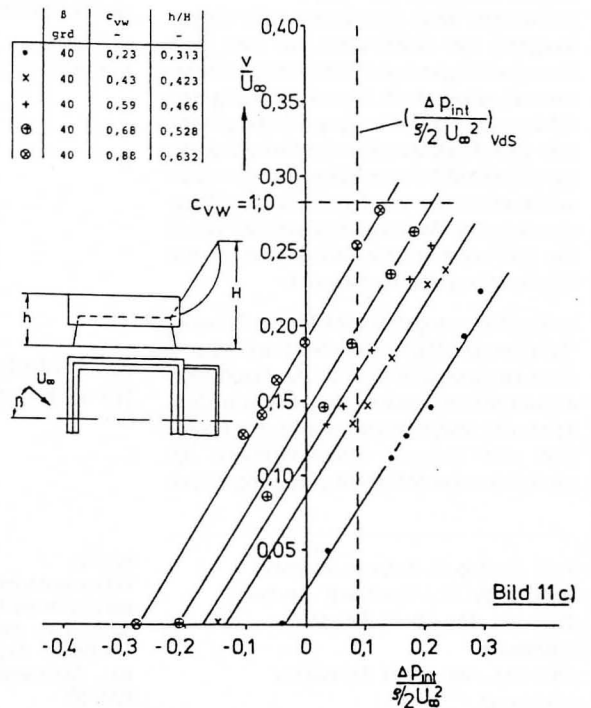
a) Volumenstrom \dot{V} über der Ausströmgeschwindigkeit v , berechnet aus der Druckdifferenz Δp



b) c_{v0} -Wert über der Druckdifferenz Δp



RA-Modell (NG 120x240)



c) Diagramm zur Bestimmung des c_{vw} -Wertes (Lüfterkennlinie)

die Stufe d_1/d_2 nicht geradlinig, sondern entsprechend dem Durchmesser des Aufsetzkranzes gekrümmt. Gekrümmte Stufen wirken sich jedoch, wie Bild 15 zeigt, nicht stark auf die Veränderung des c_{v0} -Wertes aus.

Eine Kontrollmöglichkeit für die c_{v0} -Bestimmung in einer Prüfanlage ist die Messung des c_{v0} -Wertes für eine freie

Öffnung mit den Austrittsmaßen der zu prüfenden RA. Für eine im Verhältnis zum hydraulischen Durchmesser des Öffnungsquerschnitts kleine Deckenstärke, $\delta = \text{ca. } 0,01$, muß sich $c_{v0} = 0,6$ bis $0,62$ ergeben.

Bei Versuchsanlagen mit einem zu kleinen Seitenwind-Strahlquerschnitt relativ zur Projektionsfläche speziell von einhü-

tigen Geräten können die c_{vw} -Werte zu niedrig ausfallen. Dabei übt die Strahlhöhe einen stärkeren Einfluß als die Strahlbreite aus.

Schließlich kann die Länge der Plattform, auf die die Anlagen aufgebaut werden, die c_{vw} -Werte insofern beeinflussen, als bei nicht gewährleisteteter Führung des Seitenwindstrahles nach dem Gerät in

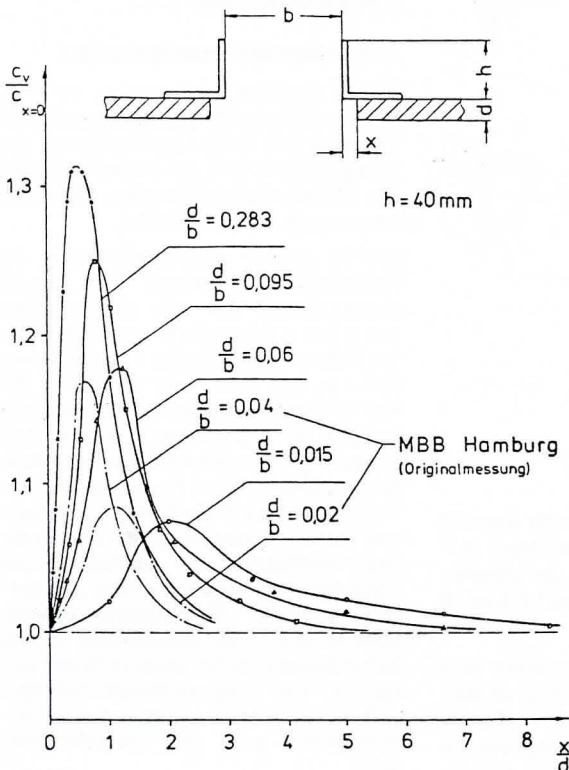


Bild 12. Einfluß der Deckenstufe auf den c_{v0} -Wert, Ergebnisse von Modellversuchen (Aachen) und Originalmessungen (Hamburg)

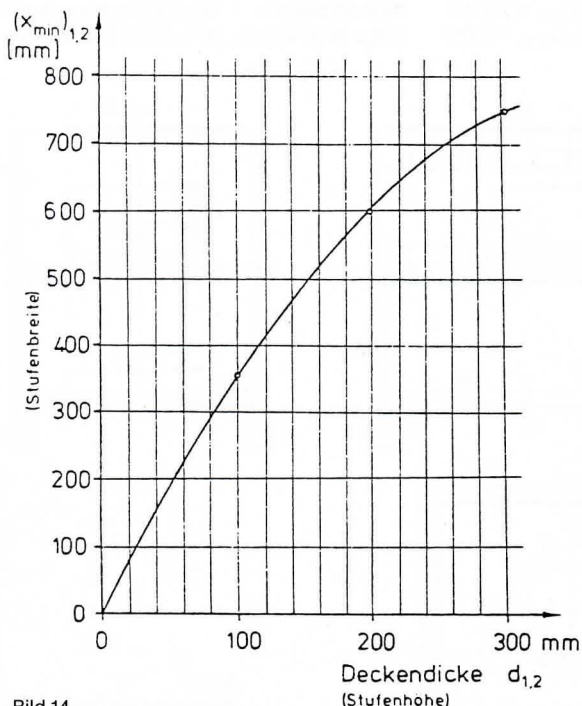


Bild 14. Zulässige Abmessungen der Deckenstufe im Prüfaufbau nach Bild 13

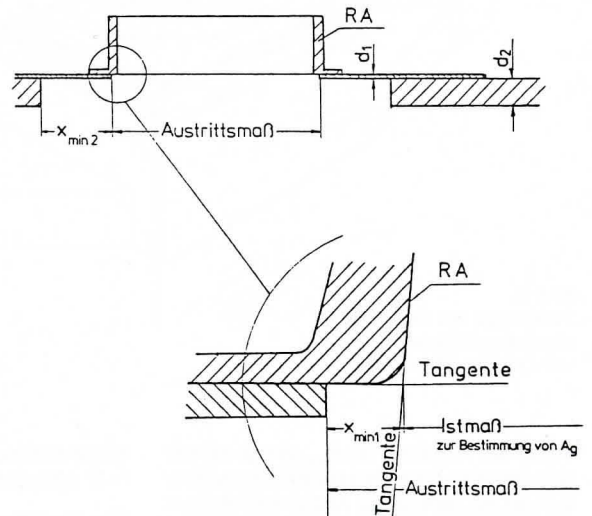


Bild 13. Vorschlag für den Aufbau einer RA auf der Beruhigungskammer der Prüfeinrichtung

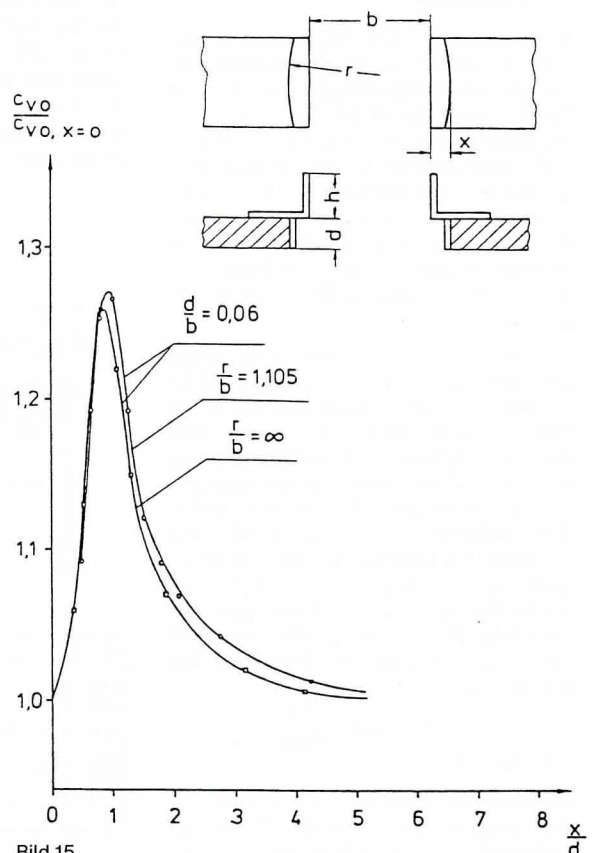


Bild 15. Einfluß einer gekrümmten Deckenstufe auf den c_{v0} -Wert

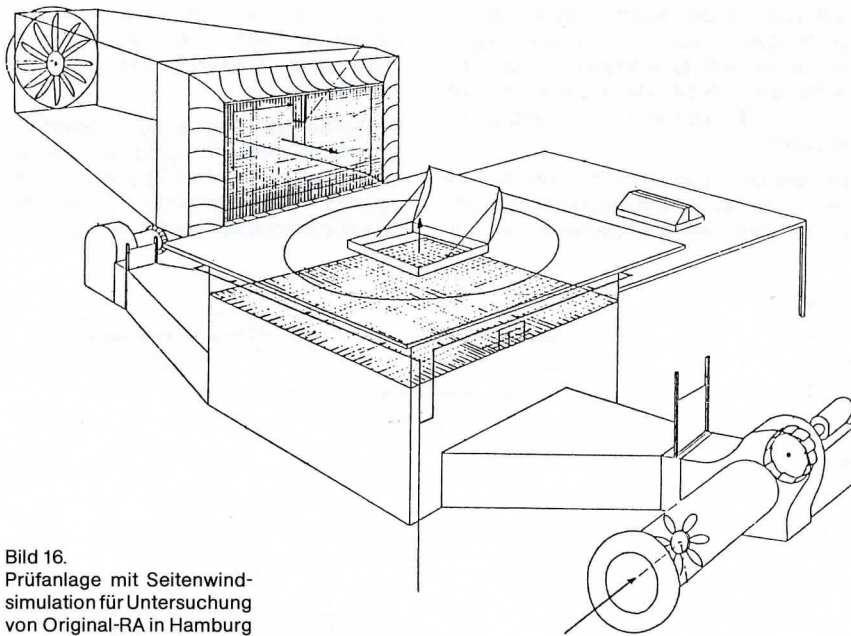


Bild 16.
Prüfanlage mit Seitenwind-
simulation für Untersuchung
von Original-RA in Hamburg

Höhe der Plattform die c_{vw} -Werte erheblich gemindert werden können. Anzustreben ist ein definierter Abfluß des Seitenwindes.

Bei Versuchsanlagen mit einem Meßstrahlquerschnitt von 10–12 m² liegt die sinnvolle Grenze für Messungen an einhängigen Geräten bei Abmessungen von 1,50 m x 2,50 m.

4.3 Normentwurf DIN 18 232 für RA-Prüfungen

Aufbauend auf den Prüfrichtlinien des VdS und den Ergebnissen der beschriebenen Grundlagenstudie wurde die Normvorlage DIN 18 232 Teil 3 erarbeitet [7]. Diese Prüfvorschrift, die auch vom VdS übernommen wurde, enthält eine genauere Beschreibung der Prüfanordnung. Für den Aufbau der RA auf der Beruhigungskammer wurden die im vorigen Kapitel beschriebenen und in den Bildern 13 und 14 dargestellten Empfehlungen übernommen.

Die neue Vorschrift enthält auch Angaben über die geforderte Genauigkeit für die Messung des Massenstromes in die Beruhigungskammer. Es wird eine Reproduzierbarkeit besser als 2% und eine Genauigkeit besser als 5%, bezogen auf den jeweiligen Anzeigenwert, gefordert. Außerdem ist vorgeschrieben, daß vor jeder RA-Vermessung eine Kontrolluntersuchung des c_{vo} -Wertes für die freie Öffnung mit den Austrittsmaßen der RA erfolgt. Weicht der c_{vo} -Wert vom Wert 0,6 ab, so ist eine Korrektur nach der Beziehung

$$c_v = c_{v \text{ Mess}} \cdot \frac{0,6}{c_{vBK}}$$

erforderlich.

Seitenwinduntersuchungen werden für die ungünstigste Anblasrichtung β_{krit} gefordert. Zur Überprüfung von β_{krit} sind

Kontrollmessungen bei $\beta_{krit} + 5^\circ$ und $\beta_{krit} - 5^\circ$ erforderlich.

Zur Bestimmung von A_w ist der kleinste gemessene c_v -Wert zu verwenden. Dieser c_v -Wert wird zuvor in der zweiten Stelle hinter dem Komma auf 0 bzw. 5 nach unten gerundet.

Neben Messungen an Original-RA sind auch Messungen an maßstäblich verkleinerten RA-Modellen gestattet. Dabei ist das Reynoldssche Ähnlichkeitsgesetz für die Durchströmung und für die Seitenwindanströmung des RA einzuhalten. Außerdem muß das Verhältnis von Seitenwindstaudruck zur Druckdifferenz in der Beruhigungskammer Δp_{int} entsprechend dem Originalversuch ($\Delta p_{int} = 5 \text{ Pa}$,

$U_\infty = 10 \text{ m/s}$) eingehalten werden. Zur Simulation von Öffnerelementen, Verriegelungen usw. können strömungstechnisch gleichwertige Attrappen verwendet werden. Für die Genauigkeit der Druckmessung werden 5% des Anzeigenwertes gefordert. Diese Forderung ist höher als für die Untersuchung an Original-RA, wo 10% des Anzeigenwertes ausreichen.

5. Prüfeinrichtungen

5.1 Windsimulationseinrichtungen

Windsimulationseinrichtungen für Prüfungen von RA in Originalgröße stehen in Hamburg und in Norf zur Verfügung. Die Anlage in Norf wird für Untersuchungen des Strömungslaboratoriums der Fachhochschule Aachen benutzt.

Bild 16 ist eine Schemazeichnung der Prüfanlage in Hamburg. Die Beruhigungskammer hat die Kantenlängen 5 m x 5 m x 3,5 m. Die Freistrahldüse für die Seitenwindsimulation hat eine Breite von 4 m und eine Höhe von 2,5 m. Die Plattform auf der Decke der Beruhigungskammer ist so bemessen, daß die Strömung hinter dem RA wieder auf der Plattform aufsetzen kann. Zur Förderung des Volumenstroms in die Beruhigungskammer stehen, je nach geförderter Menge, zwei Ventilatoren zur Verfügung. Die Volumenstrommessung erfolgt über speziell geeichte Flügelradanemometer. Sowohl unter der Meßöffnung in der Beruhigungskammer als auch in der Vorkammer der Seitenwinddüse befinden sich Gleichrichter und Siebe zur Strömungsberuhigung und Vergleichmäßigung.

Eine Prinzipzeichnung der Prüfanlage in Norf, die vom Strömungslaboratorium der FH Aachen während der unter 5.3 beschriebenen Vergleichsmessungen eingesetzt wurde, ist in Bild 17 wiederge-

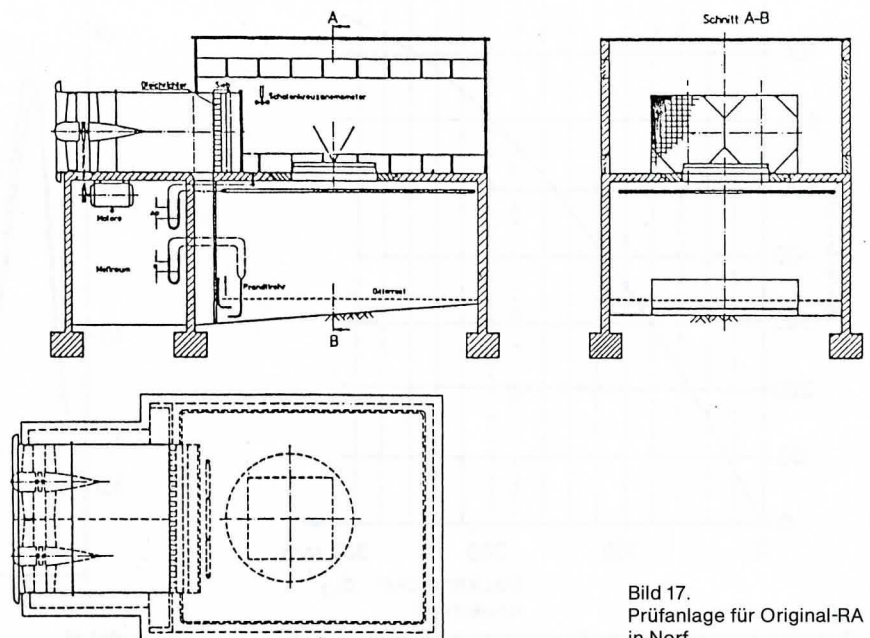


Bild 17.
Prüfanlage für Original-RA
in Norf

geben. Bei dieser Anlage werden für die Erzeugung des Seitenwindes und des Volumenstromes in die Beruhigungskammer die gleichen Ventilatoren verwendet. Der Strom in die Beruhigungskammer wird durch einen vertikal verstellbaren Schieber eingestellt, der einen Düsenquerschnitt bildet, in dem sich ein rechteckiges Geschwindigkeitsprofil einstellt. In der Beruhigungskammer sind Siebe zur Vergleichmäßigung der Strömung angeordnet. Vor der Seitenwinddüse ist ein Gleichrichter mit nachfolgenden Sieben eingebaut. Der Seitenwindstrahl hat einen Querschnitt von 4,8 m Breite und 2,5 m Höhe. Die Abmessungen der Meßplatte sind ähnlich wie bei der Anlage in Hamburg.

Ausführliche Beschreibungen der Prüfanlagen wurden in [8] und [9] gegeben.

5.2 Modellversuchstechnik

Für Modellversuche mit RA-Modellen ist grundsätzlich jeder Freistrah-Windkanal mit einstellbarer Seitenwindgeschwindigkeit verwendbar, in dessen Meßstrecke eine Beruhigungskammer mit der erforderlichen Einrichtung zur Erzeugung und Messung des Volumenstromes eingebaut werden kann. Bild 18 zeigt den im Strömungslaboratorium der Fachhochschule Aachen verwendeten Versuchsaufbau. Die achteckige Windkanaldüse ist so modifiziert, daß am unteren Ende der parallelen Düsenseitenwände die Plattform der Modell-Beruhigungskammer angebaut werden kann. Die Beruhigungskammer besitzt in einem Abstand, der störungsfreie Zuströmung zur RA-Öffnung gestattet, eine Drosselplatte mit einer Filtermatte zur Strömungsberuhigung. Der Volumenstrom in die Beruhigungskammer wird wie bei der Großanlage in Hamburg von einem zusätzlichen Ventilator erzeugt. Die Messung des Volumenstroms erfolgt mit einem Präzisions-Flügelradanemometer im Zuleitungsquerschnitt zur Beruhigungskammer hinter einem Gleichrichter. Die maximale Seitenwindgeschwindigkeit beträgt 40 m/s. Der Ventilator erlaubt die Erzeugung entsprechender innerer Überdrücke in der Beruhigungskammer.

Bei der Fertigung der RA-Modelle ist besonderer Wert auf die Ausbildung der Kanten zu legen. Die Modelle im Maßstab 1 : 6 bis 1 : 8 werden mit maßstäblich hergestellten Kuppeln versehen. Zur Überprüfung des Reynoldszahl-Einflusses kann auf der Unterseite der Decke in der Nähe der Austrittsöffnung ein Schmirgelpapierstreifen aufgeklebt werden, um eine stärkere Turbulenz der Zuström-Grenzschicht zu erzeugen.

Wie bei Untersuchungen an Original-RA wird auch im Modellversuch zunächst der c_{vo} -Wert bestimmt. Die Messung bei Seitenwind erfolgt bei möglichst hoher interner Druckdifferenz Δp_{int} , damit die

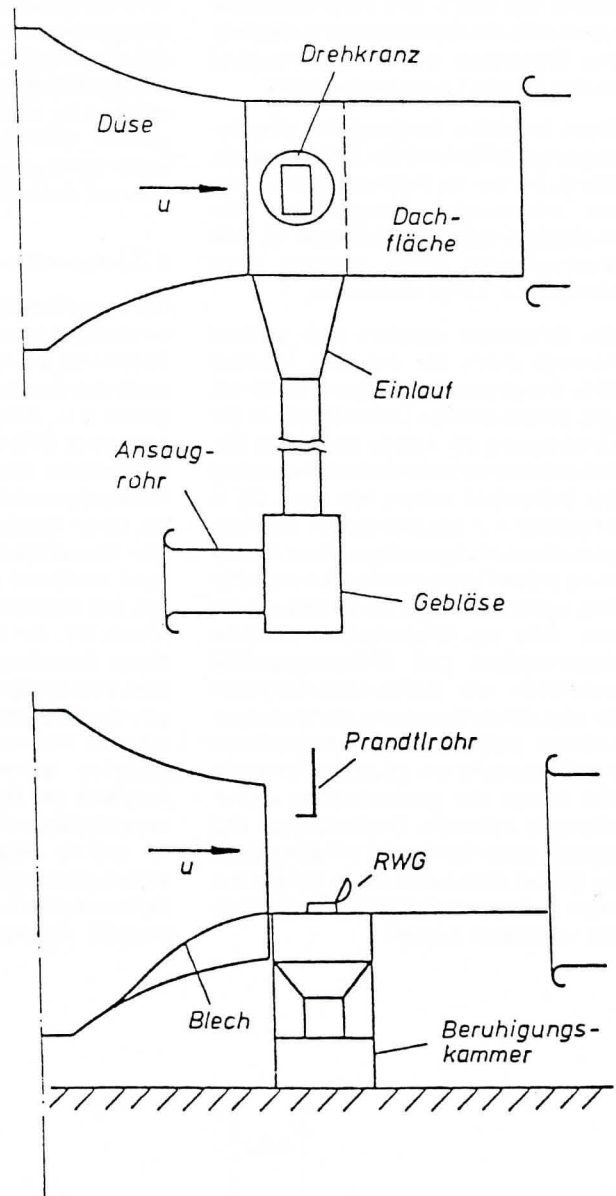


Bild 18. Prüfanlage für Modell-RA in Aachen

Reynoldszahlen für die RA-Durchströmung bei Original und Modell möglichst wenig voneinander abweichen.

5.3 Vergleich von Untersuchungsergebnissen

Zum Vergleich der Meßergebnisse zwischen den beiden beschriebenen Prüfan-

lagen für Original-RA und bei Modellversuchen wurde auf Veranlassung und mit Unterstützung des Verbandes der Sachversicherer e.V., Köln, ein Ringversuch durchgeführt. Für diesen Ringversuch standen vier einseitig öffnende RAs mit einem Öffnungswinkel von 120°, ein einseitig öffnendes RA mit einem Öffnungs-

| RA | Messung in Versuchsanlage | | | | | |
|--------------------|---------------------------|----------|------------|----------|-----------------|----------|
| | Hamburg (1:1) | | Norf (1:1) | | Aachen (Modell) | |
| | c_{vo} | c_{vw} | c_{vo} | c_{vw} | c_{vo} | c_{vw} |
| NG 100 x 100; 120° | 0,76 | 0,83 | 0,80 | 0,75 | 0,80 | 0,83 |
| NG 120 x 240; 120° | 0,73 | 0,58 | 0,74 | 0,56 | 0,71 | 0,52 |
| NG 150 x 250; 120° | 0,72 | 0,50 | 0,73 | 0,43 | 0,72 | 0,45 |
| NG 180 x 250; 120° | 0,69 | 0,36 | 0,71 | 0,29 | - | - |
| NG 150 x 250; 180° | 0,74 | 0,56 | 0,73 | 0,62 | - | - |
| Jalousie-Anlage | 0,65 | 0,51 | 0,66 | 0,48 | - | - |

Tabelle 1.

winkel von 180°C und Scharnierspoiler sowie eine Jalousieanlage zur Verfügung. Die Ergebnisse dieses Ringversuches sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

Einen besseren Vergleich der Messungen ohne Seitenwind gibt das Diagramm, Bild 19, in dem die Kontraktionszahl μ für die untersuchten Anlagen über der Kranzhöhezahl δ aufgetragen ist. Alle Meßergebnisse liegen innerhalb eines Bandes von 2,5% Fehlerbreite.

Bei Seitenwind ergeben sich größere Abweichungen. Sie betragen maximal 10%. Der physikalische Grund hierfür ist, daß bereits geringe Unterschiede in der Umströmung der Anlage deutlichen Einfluß auf die aerodynamische Wirksamkeit bei Seitenwind haben, wie auch die in Abschnitt 4.2 beschriebenen Grundlagenuntersuchungen zeigen. Eine Vermeidung dieser Unterschiede wäre nur möglich, wenn die Anlagen zur Untersuchung von RAs in Originalgröße ähnliche Abmessungen und Strömungsqualität aufwiesen wie Großwindkanalanlagen für die Luftfahrtforschung. Bei Modellversuchen ergibt sich bei komplizierten Anlagenformen ein gewisser Fehlereinfluß infolge der geometrischen Abweichungen zwischen Originalanlage und Modell, daher sollten RA mit kompliziert im Modell nachzubildenden Elementen, wie z. B. Jalousien, möglichst nur im Original vermessen werden.

Trotz der Unzulänglichkeit der Windsimulationsanlagen zeigen die Ergebnisse, daß die verfügbaren Prüfanlagen und die überarbeiteten und erweiterten Prüfvorschriften für eine praxisgerechte vergleichende Bewertung der aerodynamischen Wirksamkeit von RAs, auch bei Seitenwind, ausreichend sind.

6. Zusammenfassung

Die Haupteinflußgrößen auf die aerodynamische Wirkung von RA ohne und mit Seitenwind werden aufgezeigt. Die Prüfrichtlinien des Verbandes der Sachversicherer e.V., Köln, zur Bestimmung der wirksamen Öffnungsflächen werden kurz beschrieben. Wichtige Einflußparameter für aerodynamische Untersuchungen an RA, deren Bedeutung mittels umfangreicher Grundlagenuntersuchungen eingehend analysiert wurden, werden erläutert. Der Normentwurf DIN 18 232 Teil 3 Absatz 3.7., der auf einigen Ergebnissen dieser Grundlagenuntersuchungen aufbaut, wird ausführlich diskutiert. Prüfanlagen für die Untersuchung der aerodynamischen Wirksamkeit von RA und RA-Modellen wurden beschrieben. Zum Vergleich der Meßergebnisse zwischen verschiedenen Prüfanlagen für Original-RA und für Modellversuche wurde auf Veranlassung und mit Unterstützung des Verbandes der Sachversicherer ein Ringversuch durchgeführt. Ergebnisse für

Messungen ohne Seitenwind liegen innerhalb eines Bandes von 2,5% Fehlerbreite. Die Abweichungen bei Berücksichtigung des Seitenwindes betragen für kleine und mittlere RA-Normgrößen maximal 10%.

Literaturverzeichnis:

- [1] P. H. THOMAS, P. L. HINKLEY
Investigation into the flow of hot gases in roof venting.
Fire Research Techn. Pap. Nr. 7
London: Her Majesty's Stationary Office, 1963.
- [2] E. PEPPING
Die Durchflußzahl des Rechteckschlitzes in einer sehr großen Wand.
Forschungsbericht des Wirtschafts- und Verkehrsministeriums
Nordrhein-Westfalen Nr. 330
Westdeutscher Verlag, Köln
und Opladen 1957
- [3] C. KRAMER, H. J. GERHARDT
Windströmung um Flachbauten-Auswirkungen auf den Rauchabzug
Industriebau 25. Jahrg. H4 (1979) S. 245-249
- [4] H. U. MEIER
Über die Wirkungsweise, Auslegungsprobleme und Prüfungen von Rauch- und Wärmeabzugsanlagen (RWA).
In: Dokumentation zum 2. Kolloquium über Industrieraerodynamik, Aachen 1976,
Herausgeber: C. Kramer und H. J. Gerhardt
- [5] C. KRAMER u. H. J. GERHARDT
Windlasten auf Flachdächern,
Bundesbaublatt, Nov. 1977, H11, S. 496 ff
(siehe auch die dort zitierten Arbeiten).

- [6] Verband der Sachversicherer e.V., Köln
Richtlinien für Planung und Einbau von Rauch- und Wärmeabzugsanlagen (RWA) für den Brandfall in gewerblichen und industriellen Hallenbauten, Form 2002
(Sachverband), Juni 1973.

- [7] Normenausschuß Bauwesen im DIN,
Deutsches Institut für Normung e.V.,
Baulicher Brandschutz, Rauch- und Wärmeabzugsanlagen,
Rauchabzüge-Prüfungen
DIN 18 232, Teil 3,
Vorlage April 1980

- [8] F. WÄSCHE, H. BÖSCH
Die neue Meßanlage zur Prüfung von Rauch- und Wärmeabzugsanlagen bei Messerschmitt-Bölkow-Blohm GmbH, Hamburg
Proceed. 3rd Colloqu. on Industrial Aerodynamics, Aachen, 1978
Editors: C. Kramer und H. J. Gerhardt

- [9] W. DALHOFF, G. DOHSE, C. KRAMER, H. J. GERHARDT
Rauch- und Wärmeabzugsgeräte
Industriebau 23. Jahrg., H.4 (1977)
S. 126-132

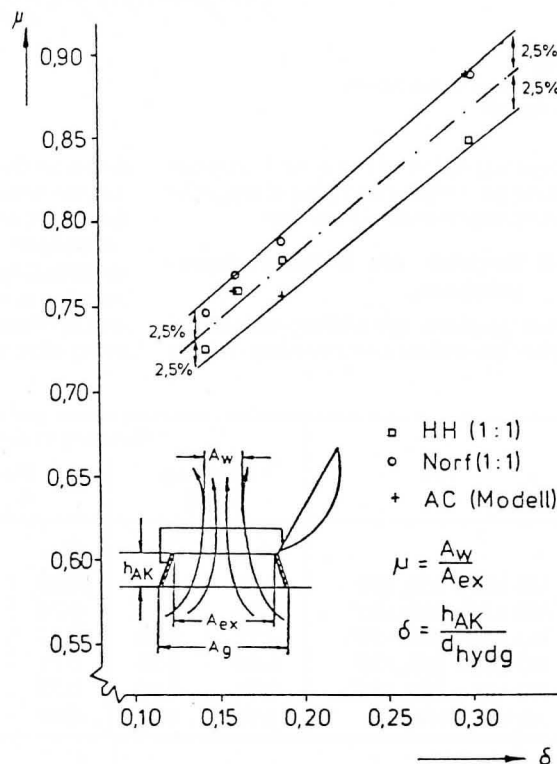


Bild 19.
Verlauf der Kontraktionszahl über der Kranzhöhe δ . Ergebnisse eines Ringversuches an Original-RA und entsprechenden RA-Modellen