

Verfahren für die Berechnung der Kennlinien von Flüssigkeitsstrahl-Ventilatoren und Strahlwäscher-Anlagen

Wolfgang Schacht*

Flüssigkeitsstrahl-Ventilatoren sind Strahlpumpen zum Ansaugen, Fördern und Verdichten von Gasen. Ihre Wirkung beruht darauf, daß ein unter hoher Geschwindigkeit aus einer Düse austretender Flüssigkeitsstrahl in eine Vielzahl von Tropfen zerfällt, die gleichmäßig über den Querschnitt eines Mischrohres verteilt, durch Stoß und Reibung das umgebende Gas mitreißen und verdichten. Derartige Strahlpumpen kommen beispielsweise in Strahlwäscher-Anlagen zur Absorption umweltschädlicher Gase und Dämpfe zum Einsatz. Durch intensive turbulente Vermischung der Treib- und Saugmedien (diskontinuierliche und kontinuierliche Phase) sowie die sehr große Oberfläche des in eine Vielzahl von Tropfen zerfallenden Treibstrahls wird ein guter Stoffübergang erzielt. Die Berechnung derartiger zweiphasiger Strahlpumpen erweist sich trotz ihres einfachen Aufbaus als äußerst kompliziert. Ungeachtet der großen Zahl theoretischer und experimenteller Arbeiten fehlt ein einfaches, für den Ingenieur überschaubares Verfahren zur Berechnung der Kennlinien und Förderdaten sowie des Wärme- und Stoffüberganges in derartigen „Strömungsmaschinen“. Im Rahmen einer Forschungsarbeit [1, 2] wurde deshalb der Versuch unternommen, ein derartiges komplexes Berechnungsverfahren zu entwickeln. Erste Ergebnisse liegen vor und werden in dieser Arbeit dargestellt.

Auf der Grundlage eines einfachen Tropfenmodells (Abb. 1) wurden für den Fall einer stationären Strömung folgende Gleichungen für die Beschreibung der Geschwindigkeitsänderung des Tropfenkollektivs und des Druckverlaufes (Pressung) in Flüssigkeitsstrahl-Ventilatoren mit variablem Querschnitt $A(y)$ abgeleitet:

$$w \frac{dw}{dy} = \frac{g}{u_{G,0}^2} - 18 \epsilon \frac{v_G}{d_T^2 u_{G,0}} \frac{\rho_G}{\rho_T} \left(W - \frac{A_0}{A(y)} \right) \quad ,$$

$$\frac{dp}{dy} = \rho_G \frac{u_{G,0}^2 A_0^2}{A^3(y)} \frac{dA}{dy} - \left(\frac{\lambda}{D} + \frac{\Sigma \xi}{L_{MR}} \right) \frac{\rho_G u_{G,0}^2 A_0^2}{2 A^2(y)} + 3 \pi \epsilon z_0 d_T v_G \rho_G u_0 \left(\frac{w - A_0}{w} \right) \quad (1)$$

Der einzige Versuchswert in diesen Gleichungen ist der Korrekturkoeffizient ϵ für den Tropfenwiderstandsbeiwert C_T . Die Berechnung dieser Größe erfolgt mit Hilfe der analytischen Ausdrücke

$$C_T = \frac{24}{Re_T} \epsilon \quad , \quad \epsilon = 10^E \quad ,$$

$$Re_T = \left| w - \frac{A_0}{A(y)} \right| \frac{u_{G,0} d_T}{v_G} \quad ,$$

$$E = 0,261 Re_T^{0,369} - 0,105 Re_T^{0,431} - \frac{0,124}{1 + (\lg Re_T)^2} \quad (2)$$

* Dr. W. Schacht, Institut für Heizung, Lüftung und Grundlagen der Bautechnik (IHLGB), Plauener Str., O-1125 Berlin.

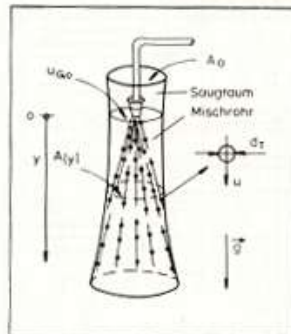


Abb. 1. Berechnungsmodell für Flüssigkeitsstrahl-Ventilatoren und Strahlwäscher-Anlagen.

die über einen großen Bereich von Reynolds-Zahlen ($Re_T \leq 3 \cdot 10^3$) exakt die experimentell ermittelten Werte für Wassertropfen widerspiegeln [3, 4].

Abb. 2 demonstriert die gute Übereinstimmung der Versuchs- und Rechenergebnisse an einer Strahlwäscher-Anlage mit konstantem Mischrohrquerschnitt ($A(y) = A_0$). Die Messungen erfolgten an einer stillgelegten Strahlwäscher-Anlage für die Rauchgasreinigung sowie an einem analogen Versuchsstand im IHLGB. Versuchs-aufbau und Versuchsparameter sind in Abb. 3 dargestellt. Als Wirkungsgrad des Strahlwäschers wurde das Verhältnis

$$\eta_{sw} = \frac{\text{gewonnener Saugstrahlimpuls}}{\text{aufgewandter Treibstrahlimpuls}} = \frac{V_G \Delta p_G}{V_W \Delta p_W} \quad (3)$$

definiert. Die Berechnung der in der Abb. 2 dargestellten Kennlinie erfolgte durch numerische Lösung der Differentialgleichungen (1) und Variation der Tropfenanzahl z_0 ($d_T = \text{const}$, $u_0 = \text{const}$). Bei $z_0 = 815000$ Tropfen/m³ wurde eine gute Korrelation mit den gemessenen Werten erreicht. Der Ausnutzungsgrad des Treibmediums bzw. des Gesamtimpulses betrug 63,9%, d. h., ca. 27% der eingesetzten Wassermenge werden in diesem Strahlwäscher nicht für die Förderung des Gases genutzt.

Mit Hilfe des dargelegten Verfahrens können Flüssigkeitsstrahl-Ventilatoren und Strahlwäscher-Anlagen hinsichtlich ihres Energieverbrauches optimal dimensioniert und ihr Betriebsverhalten selbst unter extremen Bedingungen im voraus berechnet werden.

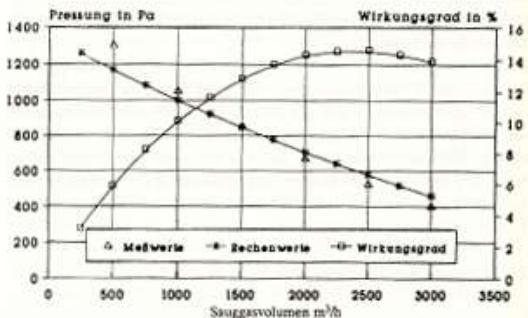


Abb. 2. Berechnete und gemessene Kennlinie eines Strahlwäschers.

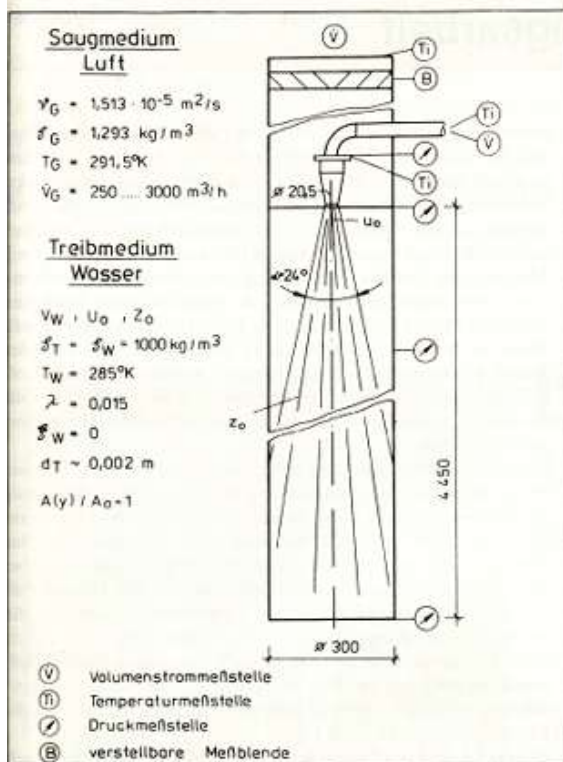


Abb. 3. Versuchsaufbau und Versuchsparameter der Strahlwäscher-Anlage.

Ein ausführliches Berechnungsbeispiel ist im vollständigen Manuskript enthalten.

Aufbauend auf diesem Berechnungsverfahren wurde vom Verfasser ein neues mathematisches Modell für die Berechnung des Stoff- und Wärmeüberganges in Gas/Flüssigkeits-Kontaktapparaten ausgearbeitet. Seine experimentelle Erprobung steht noch aus.

Ergänzte u. überarbeitete Fassung
 eingegangen am 7. Oktober 1991

Formelzeichen

A	$[\text{m}^2]$	Querschnittsfläche des Mischrohres
$A(y)$	$[\text{m}^2]$	Querschnittsfläche des Mischrohres als Funktion der y -Koordinate
C	$[-]$	Widerstandsbeiwert (Tropfen)
d	$[\text{m}]$	Durchmesser (Tropfen)
D	$[\text{m}]$	Durchmesser (Anlage)
E		Hilfsgröße
g	$[\text{m/s}^2]$	Fallbeschleunigung
L	$[\text{m}]$	Länge
p	$[\text{Pa}]$	Druck
Re	$[-]$	Reynolds-Zahl
u	$[\text{m/s}]$	Geschwindigkeit (Tropfen oder Gas)
V	$[\text{m}^3/\text{h}]$	Volumenstrom
w		dimensionslose Geschwindigkeit ($w = u/u_{G,0}$)
y	$[\text{m}]$	Koordinate
z	$[\text{m}^3]$	Tropfenanzahl
ϵ	$[-]$	Korrekturkoeffizient für den Tropfenwiderstandsbeiwert
η	$[\%]$	Wirkungsgrad
λ	$[-]$	Rohrreibungszahl
ν	$[\text{m}^2/\text{s}]$	kinematische Zähigkeit
ξ	$[-]$	Widerstandsbeiwert für Krümmer, Armaturen und Einbauten
ρ	$[\text{kg/m}^3]$	Dichte

Indices

T	Tropfen	SW	Strahlwäscher
G	Schleppmedium (Gas)	MR	Mischrohr
0	bei $y = 0$	W	Treibmedium

Literatur

- [1] Schacht, W.; Wessely, S.: Entwicklung eines Verfahrens für die Berechnung von Flüssigkeitsstrahl-Ventilatoren, Strahlwäscher-Anlagen u. Venturi-Wäschern, Teil 1: Konstanter Mischrohrquerschnitt, Forschungsbericht des IHLGB, Berlin 1991.
- [2] Patentanmeldung P 41 15 090.2 vom 6. Mai 1991 (Erf. W. Schacht).
- [3] Reinhart, A.: Chem.-Ing.-Tech. 36 (1964) Nr. 7, S. 740/746.
- [4] Flemmer, R. L. C.; Banks, C. L.: Powder Technol. 48 (1986) S. 217/221.

Schlüsselwörter: Flüssigkeitsstrahl-Ventilator, Strahlwäscher-Anlage, Berechnungsverfahren, Kennlinien, Betriebsverhalten, Optimierung, Energieverbrauch.

Das vollständige Manuskript dieser Arbeit umfaßt 32 Seiten mit 11 Abbildungen, 2 Tabellen und 12 Literaturzitaten. Es ist als Fotokopie oder Mikrofiche MS 2036/92 erhältlich.



Armaturen für die Industrie



ABSPERRKLAPPEN
 mit System manuell
 pneumatisch
 elektrisch

Ewald Kraft Apparatebau und Vertriebs GmbH · D-5600 Wuppertal · Telefon (02 02) 78 30 03 · Telefax (02 02) 78 52 74