

# Rechenverfahren zur Bestimmung des Betriebsverhaltens adiabater Wäscher

Von der Fakultät Energietechnik der Universität Stuttgart  
zur Erlangung der Würde eines Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)  
genehmigte Abhandlung

vorgelegt von

Jinchang Ni

geboren in VR China/Anhui

Hauptberichter:

Prof. Dr.-Ing. H. Bach

Mitberichter:

Prof. Dr.-Ing. E. Hahne

Tag der Einreichung:

16. 6. 1992

Tag der mündlichen Prüfung

5. 9. 1994

Institut für Kernenergetik und Energiesysteme der  
Universität Stuttgart

1994

## Kurzfassung

Es wird eine vereinfachte Berechnungsmethode zur Darstellung des Befeuchtungsverhaltens adiabater gleichstrombetriebener Luftwäscher vorgestellt. Die aufgestellte Theorie und die anschließenden Berechnungen werden sowohl durch Meßergebnisse aus der Literatur, als durch eigene Messungen überprüft.

Das Modell basiert auf einer Betrachtung der Wärme- und Stoffübertragungsvorgänge an einem Einzeltropfen. Zuerst werden die aerodynamischen Vorgänge, d.h. die Flugbahn der von der Düse versprühten Wassertropfen, erfaßt. Die Flugbahn wird grundsätzlich in zwei Bereiche unterteilt, in einen Verzögerungsbereich und einen stationären Bereich. Damit können die Änderung der Relativgeschwindigkeit, die Verweilzeit der Tropfen in der Kammer, die Wassermasse in der Kammer und die Austauschoberfläche an den Wassertropfen, die Kenngröße  $\sigma_T \cdot A_T / \dot{m}_L$  und schließlich der Befeuchtungsgrad errechnet werden.

Als kennzeichnende Größe wird zusätzlich ein neuer Parameter, das Volumenverhältnis  $k_v$  (Verhältnis der Volumina aller Wassertropfen zum Kammervolumen), eingeführt.

Eigene experimentelle Untersuchungen werden auf einem Prüfstand für Klimaanlagenkomponenten durchgeführt. Als Versuchswäscher wird ein Gleichstrom-Sprühdüsenbefeuchter mit drei unterschiedlichen Düsentypen eingesetzt. Bei den Messungen wird der Wasserdruck vor den Düsen, die Luftgeschwindigkeit durch die Düsenkammer sowie die Düsenzahl variiert, und so die Abhängigkeit des Befeuchtungsgrades und der Wassermasse in der Kammer von allen denkbaren Einflußparametern ermittelt.

Ein Vergleich der berechneten Werte mit Literaturangaben und eigenen Meßergebnissen zeigt eine gute Übereinstimmung. Jedoch zeigt sich, daß die Verdunstungsprozesse an den benetzten Wänden zusätzlich berücksichtigt werden müssen (insbesondere bei kleinem versprühten Wassermassenstrom).

Anschließend wird aus den Berechnungs- und Meßergebnissen die Austausch Kenngröße für übliche gleichstrombetriebene Wäscher durch eine Potenzfunktion beschrieben und damit die Berechnung des Befeuchtungsgrades erleichtert.

So steht nun ein geeignetes Berechnungsverfahren zur Berechnung des Befeuchtungsverhaltens von Luftwäschern zur Verfügung.

## Abstract

A simplified calculation method of showing the humidifying characteristics of adiabatic, parallel flow operated air washers is presented. The theory and the subsequent calculations have been corroborated both by test results given in the literature and by the author's own tests.

The model is based on observation of the heat and mass transfer on one droplet. First, the aerodynamic processes are recorded, that is, the trajectory of the water droplets sprayed by nozzle. The trajectory is subdivided into two general ranges - a deceleration range and a stationary range. This permits calculation of variations in relative velocity, dwell time of droplets within the spray chamber, water mass in the chamber and exchange surface area on the water droplets, the  $\sigma_T \cdot A_T / \dot{m}_L$  characteristic value and, finally, the effectiveness of the humidifier.

A new parameter is introduced, namely the volume ratio  $k_v$  (the ratio of total volume of all water droplets to the chamber volume).

The author's experiments have been conducted on a test rig for air conditioning equipment components. The test washer used was a parallel flow operated spray nozzle humidifier with three different nozzle types. Water pressure upstream of the nozzle, air velocity through the nozzle chamber and number of nozzles were varied to determine the humidifying effectiveness and water mass in the chamber as functions of any imaginable influencing parameters.

A comparison of the calculated results with data from literature and the author's own test results reveals good coincidence. However, it also shows that the evaporation processes on the wetted walls must be taken into account, too (especially at low water spray mass flow rates).

In conclusion, the author describes by a power function from calculated and measured results the exchange parameter for conventional parallel flow operated washers and thereby facilitates the calculation of the humidifying effectiveness.

This thereby provides an appropriate calculation method for determining the humidifying characteristics of air washers.

# Inhalt

Formelzeichen	5
1 Einleitung	9
1.1 Technische Beschreibung eines Luftwäschers	10
1.2 Physikalische Vorgänge in einem Luftwäscher	11
1.3 Ziel der Arbeit	13
2 Literaturlauswertung	15
3 Thermodynamische Grundlagen des adiabaten Luftwäschers	22
3.1 Grundlagen der Wärme- und Stoffübertragung an einem Einzeltropfen im wärmedichten Kanal	22
3.1.1 Stoffaustausch	23
3.1.2 Energieaustausch	24
3.2 Bestimmung des Stoffaustauschkoeffizienten $\sigma_T$	26
4 Rechenmodell für adiabate Wäscher	30
4.1 Voraussetzungen und vereinfachende Annahmen	30
4.2 Beschreibung der Zustandsänderung der Luft	31
4.3 Befeuchtungsgrad des Luftwäschers	34
4.4 Rechenmodell	35
4.4.1 Vereinfachter Befeuchtungsprozeß	35
4.4.2 Wasserzerstäubung und mittlere Tropfengröße	39
4.4.3 Mittlere Verweilzeit $t_m$ und Austauschkenngroße $\sigma_T \cdot A_T$	43
4.4.4 Ermittlung des Befeuchtungsgrades	55
4.5 Beispielrechnungen und Vergleich mit experimentellen Untersuchungen	58
4.6 Einfluß der benetzten Umfassungsoberflächen auf den Befeuchtungsvorgang	66

<b>5</b>	<b>Versuche</b>	<b>72</b>
5.1	Ziel des Versuchs . . . . .	72
5.2	Versuchsanlage . . . . .	72
5.2.1	Luftaufbereitung . . . . .	72
5.2.2	Wasserkreislauf im Luftwäscher . . . . .	74
5.2.3	Versuchsluftwäscher und verwendete Düsen . . . . .	76
5.3	Meßmethode . . . . .	82
5.3.1	Meßstellen und Meßeinrichtungen . . . . .	82
5.3.2	Meßdatenerfassung . . . . .	86
5.3.3	Durchführung der Messungen . . . . .	86
5.4	Auswerten der Messungen . . . . .	88
5.5	Meßunsicherheit . . . . .	90
<b>6</b>	<b>Meßergebnisse</b>	<b>95</b>
<b>7</b>	<b>Vergleich von Rechnung und Messung</b>	<b>107</b>
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>121</b>
<b>A</b>	<b>Tabellen der Versuchswerte</b>	<b>129</b>