

Berechnung von Dampfumformventilen mit CONVAL®

Seit langem schon gibt es herstellerspezifische wie auch unabhängige Softwarelösungen, um verschiedenste Arten von Stellventilen auszulegen und zu optimieren. CONVAL® hat bisher das Spektrum vom Hubventil über Klappen und Kugelhähne bis hin zum Membranventil mit allen nötigen Zusatzberechnungen abgedeckt.

Im kommenden Release 6.0 wird das Paket unter anderem auch durch Optionen zum Auslegen von Dampfumformventilen und dem dazugehörigen Einspritzventil erweitert.

Am Beispiel des Hochdruck-Bypasses einer Turbine (Bild 1) sollen das prinzipielle Vorgehen und die Möglichkeiten bei der Auslegung des Dampfumformventils und des Kühlwasserventils aufgezeigt werden.

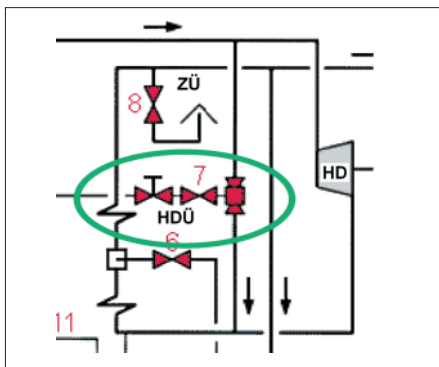


Bild 1: Auslegungsbeispiel: Hochdruck-Bypass einer Turbine

Neben der eigentlichen Berechnung werden natürlich auch für diese Anwendung Herstellerbaureihen von Dampfumformventilen direkt aus der Datenbank selektierbar sein. Es darf jedoch nicht unerwähnt bleiben, dass es sich bei diesen Ventilen je nach Anwendung in der Regel um Geräte mit einem hohen Grad an individuellem Engineering handelt. Somit sind die verfügbaren Standardbaureihen begrenzt.

Für diese Fälle bietet CONVAL® jedoch trotz allem eine einfache und doch genaue Vorab-Auslegung, die alle wesentlichen Fragen beantwortet.

Auslegung des Dampfventils

Zunächst sind alle auch für eine übliche Stellventilauslegung notwendigen Daten vorzugeben, um den K_V -Wert der Armatur zu ermitteln. CONVAL® greift

schon hier bei der Stoffdatenberechnung auf die IAPWS-IF97 [1] zurück, um alle auf den K_V -Wert Einfluss nehmenden Stoffeigenschaften wie die Dichte, den Isentropenexponenten oder die Viskosität zu ermitteln.

In Bild 2 sehen wir die Daten der Grundauslegung.

Bestimmung der Kühlwassermenge

Für die Bestimmung der Wassermenge zur Kühlung des Dampfes kann im Weiteren eine Endtemperatur vorgegeben werden oder bei Bedarf auch die Temperaturdifferenz zur Sattdampflinie. CONVAL® ermittelt dann die erforderliche Menge gemäß $q_{mw} = q_m \cdot \frac{h_1 - h_2}{h_2 - h_w}$,

wobei h_1 , h_2 die Dampfenthalpie im Eingangs-/Ausgangszustand sind, und h_w die Wasserenthalpie im Eingangszustand darstellt.

Hierfür sind dann natürlich noch der Druck und die Temperatur des eingespritzten Wassers nötig, wie in Bild 3 zu sehen ist.

Mit diesem ermittelten K_V -Wert sowie

dem angenommenen Druckabfall an der Einspritzdüse in diesem Arbeitspunkt kann nun schon sofort die Berechnung für das Einspritzventil erzeugt werden. Da CONVAL® für diese Betriebsdaten jedoch Durchflussbegrenzung meldet (choked flow), wählen wir im folgenden noch drei weitere unregelmäßige Stufen im Ventil an, damit die Durchflussbedingungen in jeder Stufe unterkritisch bleiben (Bild 4).

Diese werden von CONVAL® bei der Auslegung ähnlich wie eine Nachdruckanhebung durch nachgeschaltete Widerstandsstrukturen (mehrstufige Silencer) behandelt und berechnet.

Auslegung des Wasserventils

Nach der (optionalen) Eingabe eines weiteren Betriebspunktes mit $q_m = 53 \text{ kg/s}$ bei 92 bar auf 22,5 bar absolut kann nun auf Knopfdruck die Berechnung des Einspritzventils erzeugt werden, das beide Arbeitspunkte abdeckt (Bild 5).

Wie man sehen kann, errechnet CONVAL® automatisch den Druckabfall an der Düse für den zweiten Arbeitspunkt,

Bild 2: Daten der Grundauslegung

Auswahl und Zustand des Mediums	
Medium	Wasser/Wasserdampf
Temperatur	t1 568,0 °C
Zustand	Dampförmig
Erster Betriebspunkt (größter Durchfluss)	
Berechnung	K_V/C_v
Absoluter Druck vor dem Ventil	p1 131,0 bar(a)
Absoluter Druck nach dem Ventil	p2 65,5 bar(a)
Absoluter Druck nach der Widersta... p2,end	32,0 bar(a)
Durchflusskoeffizient	K_V 235,41 m³/h
Massendurchfluss	qm 75,0 kg/s
Volumendurchfluss	qv 7.407,9 m³/h
Dampförmigventil	<input checked="" type="checkbox"/>
Strömungszustand	Turbulenter Durchfluss
Betriebstemperatur (Ventilaustritt)	t2 360,0 °C
Temperaturdifferenz zum Siedepunkt Δt_v	122,54 K
Durchflussbedingungen	Unterkritisch
Kritische durchflussbezogene Druckdif... Δp_c	84,732 bar(a)
Kritische tatsächliche Druckdifferenz Δp_{xc}	71,425 bar(a)

Bild 3: Eingabe von Druck und Temperatur des eingespritzten Wassers

Daten des Einspritzventils	
Einsatzbereich	Prozessdampfversorgung
Temperatur (Einspritzwasser)	t1,i 152,4 °C
Abs. Druck (Einspritzwasser)	p1,i 152,0 bar(a)
Druckabfall der Einspritzdüse	$\Delta p_{2,i}$ 10,0 bar(a)
Massendurchfluss (Einspritzwasser)	qm,i 41.534,0 kg/h
Empfohlener Einspritztyp	Hochdruckeinspritzung möglich
Einspritzventil	<input checked="" type="checkbox"/>

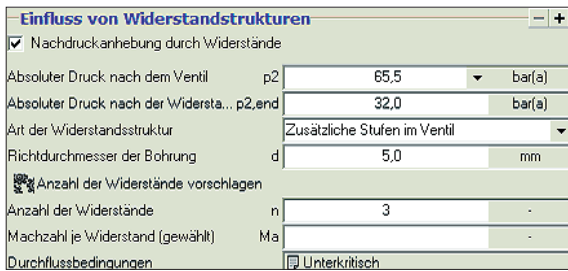


Bild 4: Auswahl weiterer Stufen im Ventil

	Größter Durchfluss	Mittlerer Durchfluss	Kleinsten Durchfluss	
t1	152,4	152,4		°C
p1	152,0	166,0		bar(a)
p2	42,0	27,875		bar(a)
p2,end	32,0	22,5		bar(a)
Kv	4,1221	2,724		m³/h
qm	41.534,0	30.452,0		kg/h
qv	45,001	32,967		m³/h
pv1	5,0753	5,0753		bar(a)
p1	922,96	923,71		kg/m²
LpAa	95,902	92,061		dB(A)
u	2,8295	2,0728		m/s
h/h100	84,7	74,11		%
	Partielle Kavitation	Maximale Kavitation		

Bild 5: Berechnung des Einspritzventils



Bild 6: Berechnungsergebnis: Abfall an der Düse

Bild 7: Warnmeldungen



da die Düse quasi als eine Nachdruckanhebung für das Einspritzwasserventil betrachtet wird (Bild 6).

Die weitere Auslegung erfolgt dann mit allen Möglichkeiten von CONVAL®, wie für jedes andere Ventil auch. Das heißt,

das z. B. für das Dampf- wie das Wasserventil eine Betriebskennlinienermittlung möglich ist, die eine genaue Abschätzung des Systemverhaltens über den gesamten Hubbereich der Ventile erlaubt.

Natürlich erkennt und warnt CONVAL® auch hier vor Gefahren wie Kavitation, so dass geeignete Maßnahmen getroffen werden können, um die damit einhergehenden Probleme wie Schall und mechanische Zerstörung zu lösen, wie z. B. die Verwendung eines mehrstufigen Kühlwasserventils (Bild 7).

Zusammenfassung

Die Möglichkeiten, die CONVAL® für die Auslegung des Dampfumformventils nebst Einspritzventil bietet, werden letztlich nicht die Detailauslegung des Herstellers für den speziellen Anwendungsfall ersetzen können. Dies ist aber auch nicht das Ziel. Vielmehr wird man in die Lage versetzt, im Vorfeld der Anfrage mit hoher Sicherheit zu ermitteln, wie eine Lösung aussehen kann und mit welchen Problemen (wie z. B. Kavitation, Schallpegel etc.) zu rechnen ist.

Literatur

[1] Wagner, W.; Kruse, A.: The Industria Standard IAPWS-IF97 for the Thermodynamic Properties and Supplementary Equations for Other Properties. Properties of Water and Steam. Der Industrie-Standard IAPWS-IF97 für die thermodynamischen Zustandsgrößen und ergänzende Gleichungen für andere Eigenschaften: Zustandsgrößen von Wasser und Wasserdampf. ISBN 3-540-64339-7

(Andreas Vogt, F. I. R. S. T. GmbH, Wermelskirchen, Tel. 02196-8877812, Fax 02196-8877832, a.vogt@firstgmbh.de)