

Mit Volldampf in den Heizmantel

Mischapparat für Druckwasserkreisläufe bei hohen
Temperaturdifferenzen

Mit dem EC - MISCHAPPARAT wird Satt-
dampf gut mit dem Kreislaufwasser vermischt.

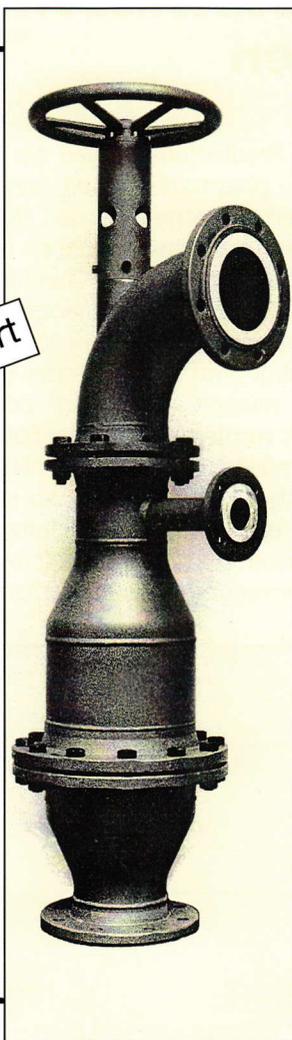
Die Vorteile:

- schnelles Aufheizen
- einstellbare Mischzone
- geräuscharmer Betrieb
- kompakte Bauform
- zuverlässige Versorgung

Die Aufgabe:

Produktionsapparate werden mit Energie auf
effektive, geräuscharme Weise versorgt.

patentiert



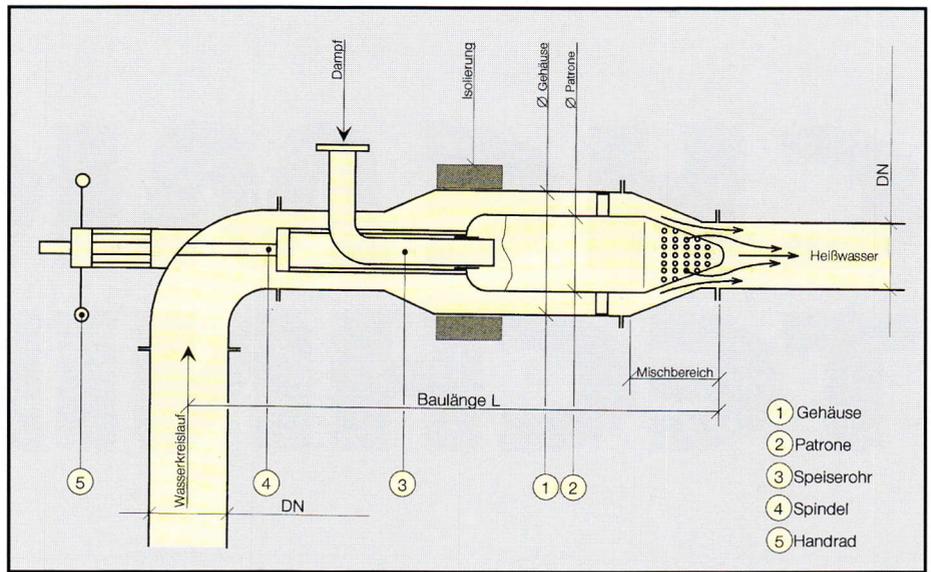
EMAIL-COVER

EMAIL-COVER R.SCHOLZ GmbH

Scheiffartsweg 31 · D-53919 Weilerswist

Telefon 02254 - 5566

Fax 02254 - 4084



Dipl.-Ing. B. Sauckel,
Dipl.-Ing. M. Scholz

Mit Volldampf in den Heizmantel

Mischapparat für Druckwasserkreisläufe bei hohen Temperaturdifferenzen

Apparate wie Rührkessel, Wärmeaustauscher oder Kolonnen werden in der Chemie häufig mit Druckwasserkreisläufen aufgeheizt. Dazu wird Satttdampf in einen Wasserkreislauf eingespeist. Ein neuartiger Mischapparat vermeidet die hohen Geräuschemissionen herkömmlicher Konstruktionen und vermeidet schädliche Wärmespannungen im Apparat.

In den Produktionsanlagen der chemischen, pharmazeutischen und verwandten Industrien werden Rührwerke, Wärmetauscher, Kolonnen und andere Apparate für die Durchführung chemischer Reaktionen eingesetzt. Je nach Wärmetönung muß Wärme zu- bzw. abgeführt werden, oder die Produkte müssen aufgeheizt oder abgekühlt werden. Um z.B. der Forderung nach möglichst kurzen Aufheiz- bzw. Produktionszeiten gerecht zu werden, sind entsprechend hohe Temperaturdifferenzen zwischen Produkt und Wärmeübertragungsmedium erforderlich.

Außerdem sind die Stoffwerte des Wärmeträgers von erheblichen Einfluß.

Bei zu hohen Temperaturdifferenzen, wie sie beim Anfahren der Apparate mit Direktampfbeheizung entstehen, kommt es jedoch zu instationären Wärmespannungen und damit zu Schäden an den Heizmänteln. Wo sind z.B. bei Emailapparaten die zulässigen Temperaturdifferenzen durch die vom Apparat hersteller erstellten Schock- und Fahrprogramme festgelegt. Für die Höhe der instationären Wärmespannungen sind außer der Temperaturdifferenz zwischen Produkt und Wärmeträger die Wärmeübergangskoeffizienten von maßgeblichen Einfluß.

Das Problem kann durch Druckwasserkreisläufe gelöst werden: Die Heizenergie wird durch Einspeisen von Satttdampf in den Wasserkreislauf gebracht. Hierzu sind diverse Konstruktionen von Dampfstrahlvorwärmern auf dem Markt, die aber alle wegen unzureichender Verteilung des Dampfes bei der Mischung mit dem Kreislaufwasser zu Schwingungen und Dampfschlägen und den damit verbundenen Geräuschemissionen neigen.

Mit dem EC-Mischapparat wurde ein neuartiger Vorwärmer entwickelt, der die Nachteile der bekannten Konstruk-

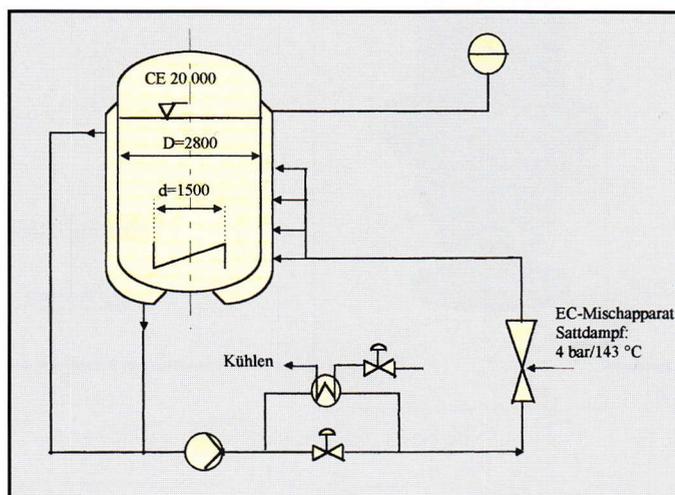


Abb. 2:
Druckwasserkreislauf

tionen vermeidet und im Einzelnen durch folgende Eigenschaften gekennzeichnet ist:

- minimale Geräuschemission bei der Mischung von Dampf und Wasser
- schnelles Aufheizen des Apparateinhalts
- gut regelbar
- sanftes Anfahren trotz hoher Satteldampftemperaturen

Der in Abb. 1 dargestellte Mischapparat ist so in den Druckwasserkreislauf (Abb. 2) montiert, daß das als erweiterte Rohrleitung ausgebildete Gehäuse direkt vom Kreislaufwasser durchströmt wird. Über ein Speiserohr wird der Heißdampf in die konische Patrone des Apparates gedrückt. Durch den Dampfdruck und den Sog des abströmenden Wassers wird die für den Aufheizvorgang erforderliche Heißdampfmenge durch die Löcher in der Patrone dem Kreislaufwasser zugeführt. Mit einer Spindel kann die Patrone im Mischapparat axial verschoben werden; die Wassergeschwindigkeit läßt sich so einstellen, daß eine optimale Dampfaufnahme erfolgt und die Geräusentwicklung minimiert wird.

Der Heißdampf kondensiert im Mischbereich des EC-Mischapparates und gibt seine Verdampfungsenthalpie an das Kreislaufwasser ab. Das Kreislaufwasser überträgt nun die vom Heißdampf aufgenommene Wärmeenergie über die Apparatewand an das aufzuheizende Produkt. Der Heizvorgang ist in zwei Phasen aufgeteilt:

- Aufheizen des Kreislaufwassers
- Aufheizen des Produktes

In der Anfahrphase wird zunächst das Kreislaufwasser von seiner Ausgangs- bzw. Umgebungstemperatur auf Heißdampf-temperatur aufgeheizt. Gleich-

zeitig beginnt das Aufheizen des Apparateinhaltes. Damit verteilt sich die Verdampfungsenthalpie des Heißdampfes (in der Zeit t_0 bis t_5) wie folgt:

Gleichung 1 beschreibt die Aufheizung des Kreislaufwassers, Gleichung 2 das Aufheizen des Apparateinhaltes (Produkt) während der Wasseraufheizung.

$$Q_M = V_M \rho c_p (\vartheta_{M,5} - \vartheta_{M,0}) \quad (1)$$

$$Q_P = V_P \rho c_p (\vartheta_5 - \vartheta_0) \quad (2)$$

$$\Delta H_v = D \Delta h_v = Q = Q_M + Q_P \quad (3)$$

Hierauf folgt das Aufheizen des Produktes, denn nun hat der Druckwasserkreislauf die Temperatur des Heißdampfes erreicht. Die eigentliche Heizphase, die ausschließlich dem Produkt zugute kommt, ist damit eingeleitet.

Das Kreislaufwasser nimmt nun nur noch die für die weitere Aufheizung des Produktes auf die gewünschte Endtemperatur ϑ_E erforderliche Verdampfungsenthalpie auf (Gleichung 4).

$$\Delta H_v = D \Delta h_v = Q_P \quad (4)$$

Charakteristisch für den Einsatz des Mischapparates ist, daß zu Beginn der Anfahrphase das Kreislaufwasser trotz hoher Heißdampf-temperatur eine nicht so große Temperaturdifferenz zur Produkttemperatur hat und damit die instationären Wärmespannungen so niedrig bleiben, daß die Apparate nicht gefährdet werden. Die während des Prozesses auftretende höchste Temperaturdifferenz zwischen Kreislaufwasser und Produkt liegt am Ende der Anfahrphase vor. Bei Emailapparaten muß si-

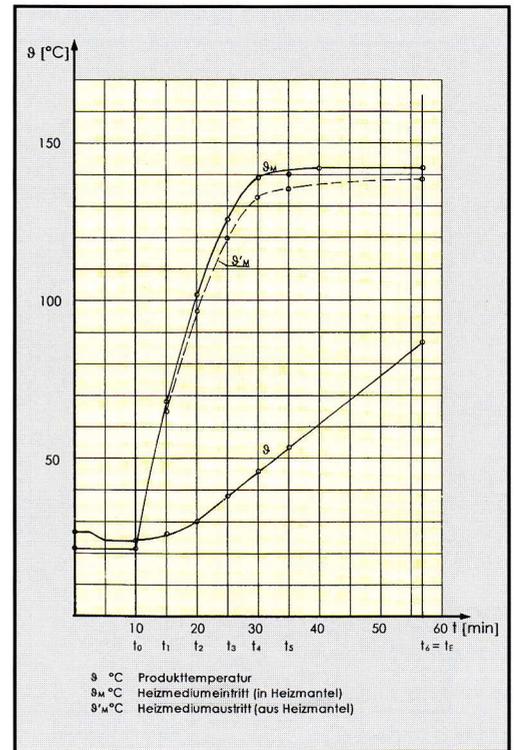


Abb. 3: Auswertung der Messung: Temperaturverlauf über der Zeit; ϑ Produkttemperatur; ϑ_M Temperatur des Heizmediums beim Eintritt; ϑ'_M Temperatur des Heizmediums am Austritt aus dem Heizmantel

chergestellt werden, daß diese Temperaturdifferenz im zulässigen Bereich des vom Apparatersteller festgelegten Fahrdiagramms liegt.

Die Funktion des EC-Mischapparates soll im folgenden an Hand eines emailierten Rührkessels CE 20000, beschrieben werden.

Eigenschaften in der Praxis bestätigt

In dem Rührkessel sollen 16 m³ Lösemittel aufgeheizt werden. Der Inhalt des Druckwasserkreislaufes beträgt 2,3 m³, je Stunde werden 120 m³ Wasser als Wärmeträger umgewälzt. Der Apparat hat einen Durchmesser von 2800 mm und eine wirksame Heizfläche von 30 m². Als Heizenergie wird Satteldampf von 4 bar eingesetzt.

In Abb. 3 sind die während der Produktion im CE 20 000 gefahrenen Temperaturen von Produkt und Wärmeübertragungsmedium in Abhängigkeit von der Zeit dargestellt. Mit den technischen Daten und den Stoffwerten von Lösemittel und Wasser unter Anwendung der aus der Literatur [3] bekannten Formeln wird der Wärmedurchgangskoeffizient $k = 306 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ er-

Tab. 1: Meß- und Rechenergebnisse

n	1	2	3	4	5	6
t/min	t ₁ =15	t ₂ =20	t ₃ =25	t ₄ =30	t ₅ =35	t ₆ =t _E =57
$\Delta t = t_n - t_{n-1}$	5	5	5	5	5	57-35
$\Delta \vartheta_M = \vartheta_{M,n} - \vartheta_{M,n-1}$	68-21	101-68	126-101	139-126	140-139	0
$\dot{Q}_M = 562969 \cdot \Delta \vartheta / \Delta t$	5291908,6	3715595,4	2814845,0	1463719,4	112593,8	0
$\Delta \vartheta_m = \vartheta_M - \vartheta^1$	68-26	101-30	126-38	139-46	140-53	141-87
$\dot{Q}_P = 33048 \cdot \Delta \vartheta_m$	1388016	2346408	2908224	3073464	2875176	1784592
$\dot{Q} = \dot{Q}_M + \dot{Q}_P \text{ kJ/h}$	6679924,6	6062003,4	5723069,0	4537183,4	2987769,8	1784592
$\dot{D} = \dot{Q} / 2133 \text{ kg/h}$	3132	2842	2683	2144	1401	837
$\Delta \vartheta_U = \dot{Q}_M / \dot{V} \rho c_p$	10,81	7,59	5,75	2,99	0,23	0
$\vartheta_M - \vartheta'_M = \dot{Q} / \dot{V} \rho c_p$	2,83	4,8	5,94	6,3	5,9	3,65

¹ für $\Delta t \rightarrow 0$ kann in erster Näherung $\Delta \vartheta_m = \vartheta_M - \vartheta$ gesetzt werden

Tab. 2: Gleichungen zur Berechnung der Werte in Tab. 1

$\dot{Q}_P = kA \cdot \Delta\vartheta_m = \dot{V}\rho c_p \cdot (\vartheta_M - \vartheta'_M) \quad (5)$
$\dot{Q} = \frac{Q_M}{t_n - t_{n-1}} + \dot{Q}_P \quad (6)$
$\dot{Q} = 562969 \cdot \frac{(\vartheta_{M,n} - \vartheta_{M,n-1})}{(t_n - t_{n-1})} + 33048 \cdot (\vartheta_{M,n} - \vartheta_n) \frac{kJ}{h} \quad (6)$
$\dot{D} = \frac{\dot{Q}}{\Delta h_v} = \frac{\dot{Q}}{2133} \text{ kg/h} \quad (7)$
$t_U = \frac{V_M}{\dot{V}} \quad (8)$
$\Delta\vartheta_U = \frac{\dot{Q}_M}{\dot{V}\rho c_p} \quad (9)$
$\vartheta_M - \vartheta'_M = \frac{\dot{Q}_P}{\dot{V}\rho c_p} \quad (10)$

rechnet. Damit kann der Wärmestrom des Rührkessels berechnet werden. Die Gleichungen, auf denen die Ergebnisse in Tab. 1 beruhen, sind in Tab. 2 angegeben. t_U bezeichnet darin die Zeit für einen Umlauf des Kreislaufwassers im Druckwasserkreislauf, $\Delta\vartheta_U$ ist die Aufheizung des Kreislaufwassers während eines Umlaufes. Der Temperaturverlauf des Kreislaufwassers während eines Umlaufes ist in Abb. 4 dargestellt, Tab. 1 zeigt die Auswertung der Meßergebnisse.

Wie aus Abb. 3 und Tab. 1 zu erkennen ist, dauert die Anfahrphase ca. 25 Minuten ($t_0 - t_3$). Während der Wärmestrom \dot{Q}_M , der für das Aufheizen des Kreislaufwassers benötigt wird, zur Zeit t_1 am größten ist und mit fortlaufender Zeit abnimmt, ist der Verlauf des Wärmestroms \dot{Q}_P für das Aufheizen des Produktes genau umgekehrt. Er erreicht seinen Höchstwert zur Zeit t_4 .

In der Heizphase ($t_5 - t_6$) ist $\dot{Q}_M = 0$, d. h. das Kreislaufwasser wird nicht weiter aufgeheizt, da es etwa die Satt-dampftemperatur erreicht hat. Die Verdampfungsenthalpie dient in dieser Phase ausschließlich der Aufheizung des Produktes.

Weiterhin ist zu sehen, daß zur Zeit t_1 Die Temperaturdifferenz zwischen Kreislaufwasser und Produkt $\vartheta_M - \vartheta = 42 \text{ K}$ am niedrigsten ist und damit die instationären Wärmespannungen ungefährlich sind. Erst gegen Ende der Anfahrphase, zur Zeit t_4 , erreicht $\vartheta_M - \vartheta$ mit 93 K ihren Höchstwert, wodurch eben-

falls keine Gefährdung für den Apparat gegeben ist. Hinzu kommt, daß sich der Apparat zu diesem Zeitpunkt in einem quasistationären Zustand befindet und damit eine Gefährdung durch instationäre Wärmespannungen ausgeschlossen ist. Nach Fahrdiagramm des Apparateherstellers ist zur Zeit t_4 für den CE 20000 ein Temperaturdifferenz $\vartheta_M - \vartheta = 130 \text{ K}$ zulässig.

Gefahrloses Aufheizen von Chemieapparaten

Der EC-Mischapparat ermöglicht ein schnelles und gefahrloses Aufheizen von Chemieapparaten durch Einspeisen

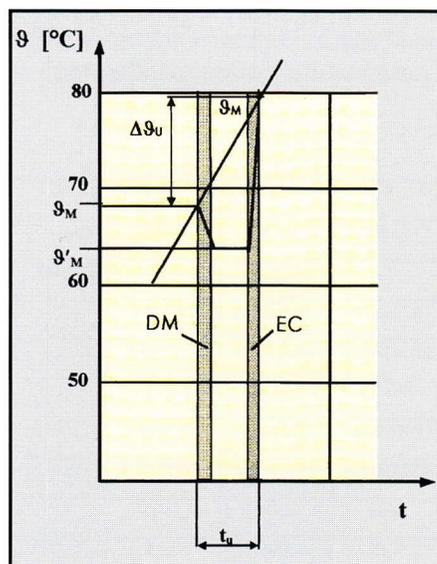


Abb. 4: Temperaturverlauf im Druckwasserkreislauf zur Zeit t_4

von hochgespannten Satttdampf in den als Wärmeträger dienenden Druckwasserkreislauf. Das sanfte Anfahren wird dadurch erreicht, daß in der Anfahrphase das Kreislaufwasser auf Satttdampf-temperatur aufgeheizt werden muß. Dadurch werden die hohen Temperaturdifferenzen zwischen Produkt und Wärmeträger und die dadurch bedingten hohen Wärmespannungen, die sich bei der direkten Einspeisung von Satttdampf in den Heizmantel einstellen, auf eine unbedenkliche Höhe reduziert. Die Gefahr von Thermoschockschäden an den Schweißnähten von Heizmänteln (Halbrohrschlange und Doppelmantel) oder Emailbruch bei emaillierten Apparaten kann somit ausgeschlossen werden.

Wegen der für die Wärmeübertragung günstigen Stoffwerte von Wasser ermöglichen Druckwasserkreisläufe optimale Aufheiz- und Abkühlzeiten. Die lästige, durch die Einspeisung von Dampf in Wasser bedingte Geräuschemission wird durch den Einsatz des EC-Mischapparates auf ein Minimum reduziert.

Verwendete Formelzeichen:

A	Wärmeübertragungsfläche m^2
c_p	spezifische Wärme $J/(kgK)$
k	Wärmedurchgangszahl $W/(m^2K)$
Q	Wärmemenge kJ
\dot{Q}	Wärmestrom kW oder kJ/h
t	Zeit s, h, min
V	Volumen m^3
\dot{V}	Wärmeträgerdurchsatz m^3/h
ϑ	Temperatur $^{\circ}C$
$\Delta\vartheta_m$	mittlere logarithmische Temperaturdifferenz K
ρ	Dichte kg/m^3

Indizes

M	Mantelkreislauf
P	Produkt
U	Umlauf

Die Langfassung des Beitrages mit einem Berechnungsbeispiel kann im Hüthig-Fax-Service unter der Dokument Nummer 1815 oder über Kennziffer abgerufen werden.

Literatur

- [1] Email-Cover: EC- Mischapparat; CHEMIE TECHNIK, 24. Jahrgang (1995) Nr. 6, S.90
- [2] VDI-Wärmeatlas: 7. Auflage, VDI-Verlag Düsseldorf
- [3] Sauckel, B.: Wärmeübertragung in emaillierten Rührwerksapparaten, CHEMIE TECHNIK (1986) Heft 8, S. 48-54

Email-Cover