

# Einspritzkühler für die Heißdampfkühlung

*Sowohl in Kraftwerken aber auch in den meisten Industrien wie der Chemie, Raffinerien aber auch in der Nahrungsmittelindustrie und der Papierindustrie, wird für vielfältige Prozesse Heißdampf benötigt. Für die jeweiligen Prozesse wird der Heißdampf zumeist mit ganz genau definierten Parametern verlangt. Wenn dieser aus einem anderen Prozess, wie meistens einem Kraftwerksbetrieb, ausgekoppelt wird, muss er entsprechend auf den notwendigen Druck und die verlangte Temperatur reduziert werden. Dazu gibt es verschiedene Möglichkeiten. Wenn nur eine reine Temperaturreduzierung erreicht werden soll, werden in der Regel Einspritzkühler eingesetzt. Die verschiedenen Kühlsysteme werden hier näher erläutert.*

**BERTRAM GÖGELEIN, DIETER SCHUBEIS**

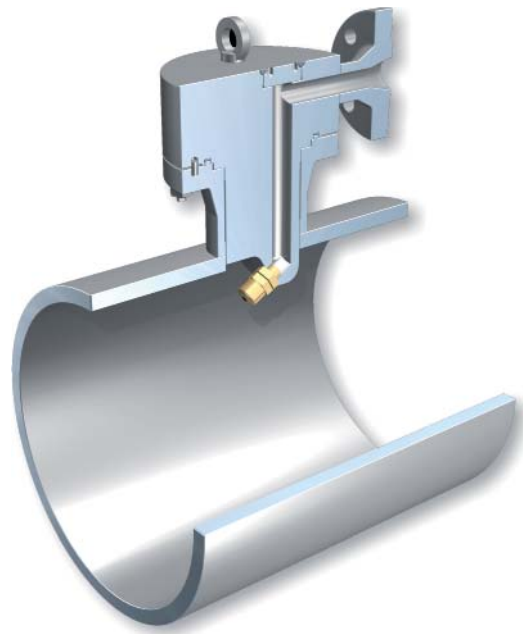
Technisch wird die Kühlung des Dampfes durch Kühlwasser erreicht, das bei der Einspritzung durch verschiedene Verfahren in feinste Tropfen dispergiert wird. Durch die Wärmeübertragung vom Dampf auf die Tropfen werden die Tropfen erhitzt und im Idealfall schnell und vollständig verdampft. Dadurch wird die gewünschte Temperaturreduzierung des Dampfes in Abhängigkeit von der Kühlwassermenge erreicht (Verdampfungsenthalpie). Die Menge des einzuspritzenden Wassers kann mit Hilfe einer Temperaturmessung des Austrittsdampfes geregelt werden. Außerdem werden auch sogenannte Enthalpieregeln eingesetzt, bei denen durch die gemessenen Parameter am Eintritt (Druck, Temperatur und Massenstrom) sowie der gewünschten Parameter am Austritt die rechnerisch notwendige Wassermenge über eine Enthalpiebilanz ermittelt wird und das Einspritzregelventil entsprechend der Ventilcharakteristik in die Position für den erforderlichen Wassermengenstrom gebracht wird.

Die Verdampfungszeit der einzelnen Tropfen ist dabei im Wesentlichen von der verfügbaren Oberfläche der Tropfen und dem möglichen Wärmeübergang abhängig. Der Wärmeübergang kann in allgemeiner Form beschrieben werden:

$$Q = A \cdot \alpha \cdot (T_D - T_W) \cdot \Delta t \text{ [J]}$$

- Q: übertragene Wärmemenge [J]  
 $\alpha$ : Wärmeübergangskoeffizient [W/(m<sup>2</sup> · K)]  
 A: betrachtete Kontaktfläche [m<sup>2</sup>]  
 $T_D, T_W$ : Stofftemperaturen der Medien Dampf und Wasser [K]  
 $\Delta t$ : betrachtetes Zeitintervall [s]

Die Maximierung der Tropfenoberfläche A im Verhältnis zur Masse der Wassertropfen wird durch die Minimierung der Tropfengröße erreicht. Die Maximierung des Wärmeübergangs  $\alpha$  wird durch die Maximierung der Relativgeschwindigkeit zwischen Tropfen und Dampf erreicht. Zwar ergibt die Formel dass eine möglichst niedrige Wassertemperatur einen größeren Kühleffekt hat, jedoch wird der hauptsächliche Anteil der Wärmeaufnahme durch die Verdampfungsenthalpie des Wassers bewirkt. Eine niedrige Wassertemperatur hat dabei aufgrund der temperaturabhängigen Auswirkungen auf die Oberflächenspannung einen negativen Einfluss auf die Dispergierung der Tropfen. Außerdem wird die Verweilzeit der Tropfen vor der Verdampfung erhöht, die bei Auftreffen auf der Innenseite der Rohrwand erhöhte Spannungen



**Bild 1:** Einspritzkühlung mit Druckzerstäuberdüse

hervorrufen. Ein weiterer Nachteil sind höhere Spannungen an der Eindüsung, wo Dampf und Wasser unmittelbar zusammentreffen. Zur Vermeidung dieser Effekte sollte daher die Wassertemperatur für die Heißdampfkühlung  $T_w > 120$  °C betragen.

In der Regel kommen folgende Verfahren zur Heißdampfkühlung zum Einsatz:

- Integrierte Kühlung in einem Druckreduzierventil
- Düseneinspritzung mit Druckzerstäubung
- Düseneinspritzung mit Treibdampfzerstäubung
- Venturi-Kühler

### KÜHLUNG IN KOMBINATION IN EINEM DRUCKREDUZIERVENTIL

Beste Ergebnisse bei der Heißdampfkühlung können erzielt werden, wenn es der Prozess erlaubt, dass die Temperaturreduzierung in Kombination mit einer notwendigen Druckreduzierung durchgeführt wird. In solchen Applikationen lassen sich die Eigenschaften des Dampfes bei der Druckreduzierung zur Unterstützung der Zerstäubung des Einspritzwassers nutzen. Es wird dabei von „Treibdampf“ gesprochen oder eine integrierte Einspritzung eingesetzt. Detaillierte Ausführungen dazu sollen jedoch hier nicht vorgenommen werden.

### DÜSENEINSPRITZUNG MIT DRUCKZERSTÄUBUNG

Bei der **Düseninspritzung mit Druckzerstäubung** wird das Wasser mittels einer speziellen Zerstäuberdüse möglichst zentral in die Rohrleitung bzw. den Dampf eingebracht. Dabei kommen beispielsweise

Hohlkegeldüsen oder Federspaltdüsen zum Einsatz (**Bild 1**).

In der Hohlkegeldüse wird das Wasser durch die spezielle Geometrie der Düse und mit Hilfe der Druckdifferenz zwischen Dampf und Wasser in einen Drall gebracht, so dass der Wasserstrahl durch die Zentrifugalkraft kreisförmig in feine Tropfen zersprüht wird. Allgemein gilt, dass bei steigender Druckdifferenz zwischen dem eingespritzten Kühlwasser und dem Dampf die einzelnen Tropfendurchmesser kleiner werden (Druckdifferenzen von 3-40 bar zwischen Wasser und Dampf).

Bei der **Federspaltdüse** wird abhängig von Druck und Durchsatz ein Spalt wassergesteuert variabel gehalten. Dazu wird eine Feder verwendet, die eine allzeit optimierte Zerstäuberfläche ermöglicht (Druckdifferenzen von 0,8 bis 20 bar).

**Vorteile** der Druckzerstäubung bestehen darin, dass innen liegende Einbauten der Armatur nicht in Berührung mit Wassertropfen kommen, was ihre Standzeiten wesentlich erhöht. Darüber hinaus ermöglicht der modulare Austausch der Düsen eine punktuelle Eingrenzung von Verschleißteilen. Insgesamt sind Druckzerstäuberdüsen mit geringeren Herstellungskosten als Treibdampfdüsen verbunden.

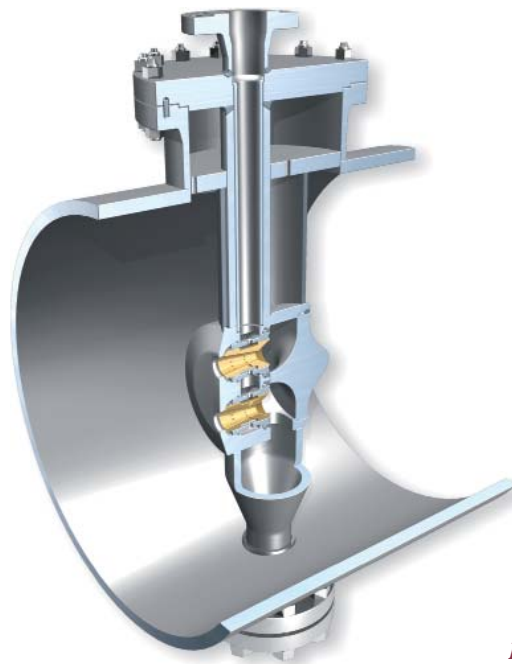
**Nachteile** der Druckzerstäubung resultieren daraus, dass das mögliche Einsatzgebiet für zu kühlende Temperaturen in Bereichen von weniger als 50 °C oberhalb der Sättigungstemperatur als kritisch anzusehen ist. Auch ist ein Lastabfall unter 20 Prozent des Maximaldurchsatzes bei Druckzerstäubungsdüsen nicht zu empfehlen, da in beiden Fällen der Anteil des kom-

plett verdampften Einspritzwassers sinkt. In der Rohrleitung zurückbleibendes Wasser kann Spannungen verursachen oder sogar Wasserschläge auslösen. Außerdem steht das notwendige Wasser für die Kühlung dann nur eingeschränkt zur Verfügung.

### DÜSENEINSPRITZUNG MIT TREIBDAMPFERSTÄUBUNG

Bei der Treibdampfdüse wird die Zerstäubung des Wassers durch gesondert zugeführten Zerstäuber Dampf bzw. Treibdampf unter hohem Druck erreicht. Der Treibdampf wird mit sehr hoher Geschwindigkeit in der Düse an der Einspritzstelle vorbeigeführt und zerreißt dabei das eingespritzte Wasser sofort in feinste Tropfen. Die Treibdampfdüse wird häufig direkt hinter einer Druckreduzierung angeordnet. Dadurch kann der zugeführte Treibdampf hochdruckseitig entnommen werden und unter optimierten geometrischen Verhältnissen zu sehr hohen Relativgeschwindigkeiten zwischen Wassertropfen und Dampf führen (**Bild 2**).

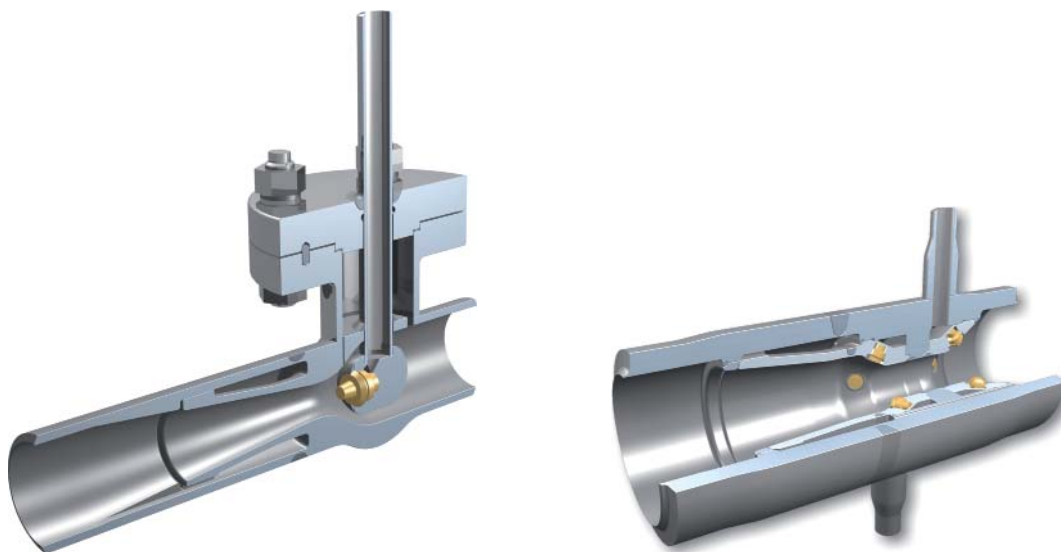
**Vorteile** der Treibdampfkühlung sind eine besonders effiziente Verdampfung des eingespritzten Wassers mit kurzen Verdampfungsstrecken und dadurch bedingt guten Messmöglichkeiten der Temperatur. Innenteile werden von eingespritztem Wasser nicht berührt da die Treibdampfkühlung hinter der Druckreduzierung angeordnet wird. Dadurch ergeben sich geringe Belastungen aller inneren Bauteile und des Rohrleitungssystems. Ein weiterer wichtiger Vorteil sind die möglichen Fahrweisen mit Minimaldurchsätzen von fünf Prozent der maximalen Menge oder sogar weniger, ohne maßgebliche Einschränkung der Verdampfung des Einspritzwassers. Außerdem



**Bild 2:** Einspritzkühlung mit Treibdampf

kann bis in die unmittelbare Sattdampfnahe (ca. 1 bis 5 °C Überhitzung) gekühlt werden.

**Nachteile** der Treibdampfkühlung liegen darin, dass große Einspritzwassermengen nur mit relativ hohem Aufwand bewältigt werden können. Für alle Varianten ist darüber hinaus die notwendige Länge der ungestörten Verdampfungsstrecke zu beachten, das heißt es sollten sich keine weiteren Einbauten in der Strömung in der unmittelbaren Umgebung hinter der Einspritzung befinden.



**Bild 3:** Venturikühler

Auch wenn die notwendige Länge der Verdampfungsstrecken bei einer Treibdampfkühlung deutlich unterhalb der Verdampfungsstrecken einer reinen Druckzerstäubung liegt, sind sie dennoch länger als bei einer integrierten Einspritzung. Zudem ist eine Treibdampfölung kostenintensiver als andere genannte Varianten.

## VENTURIKÜHLER

Der Venturikühler bietet eine effiziente Möglichkeit der Dampfkühlung in Rohrleitungen. Durch die Verringerung des Rohrleitungsquerschnittes werden erhöhte Geschwindigkeiten erzeugt, die zu größeren Turbulenzen und damit zu erhöhtem Durchmischungsverhalten führt. Dabei wird der Durchmesser der Leitung ungefähr halbiert. Aufgrund der hohen Strömungsgeschwindigkeit entsteht ein feiner Sprühnebel, der schnell und effizient verdampft. Damit werden Endtemperaturen von 6 bis 8 °C über Sattdampf Temperatur erreicht. Der Einsatzbereich dieses Kühlers liegt zwischen DN 40 und DN 300. Es werden bei BOMAFA-Armaturen je nach Größe und Einsatzart verschiedene Bauformen angeboten. Zur Einspritzung des Wassers wird eine Hohlkegeldüse verwendet oder das Wasser wird über eine Ringkammer an der Stelle des niedrigsten Querschnitts und höchsten Turbulenz in den Dampfstrom eingespritzt (*Bild 3*).

**Vorteile** der Venturikühler bestehen darin, dass ein hohes Lastspektrum von 10 bis 100 Prozent des maximalen Dampfstromes geregelt werden kann. Eine optimale Durchmischung kann erreicht werden, ohne dass bewegte Teile im Dampfstrom stehen wie es beispielsweise bei einem Düsenventil mit Kolbenregelung der Fall ist. Es handelt sich um eine sehr robuste Bauart, die extrem wenig anfällig für Verschleiß ist. Die Eigenschaften des Venturiprinzips (definierter

Öffnungswinkel hinter einer strömungsoptimierten Einschnürung) verursachen dabei, trotz Querschnittsverengung, nur geringste Druckverlusten.

**Nachteile** der Venturikühler bestehen darin, dass sie als integrales Bauteil in die Dampfleitung eingeschweißt werden müssen und nicht in einfacher Bauart aufgesetzt werden können, wie es beispielsweise bei der Druckzerstäubung der Fall ist. Dies wiederum gewährleistet die robuste und langlebige Betriebsweise.

## QUELENNACHWEIS

Zeichnungen und Abbildungen aus dem Produktspektrum der BOMAFA Armaturen GmbH

## AUTOREN



### DIPL.-ING. BERTRAM GÖGELEIN

Technischer Leiter  
BOMAFA Armaturen GmbH  
Bochum  
Tel.:  
E-Mail: ?



### DIPL.-ING. DIETER SCHUBEIS

Leiter Technisches Büro  
BOMAFA Armaturen GmbH  
Bochum  
Tel.:  
E-Mail: ?