

Überschüssigen Niederdruckdampf energetisch nutzen

Pilotanlage zur Abdampfaufbereitung

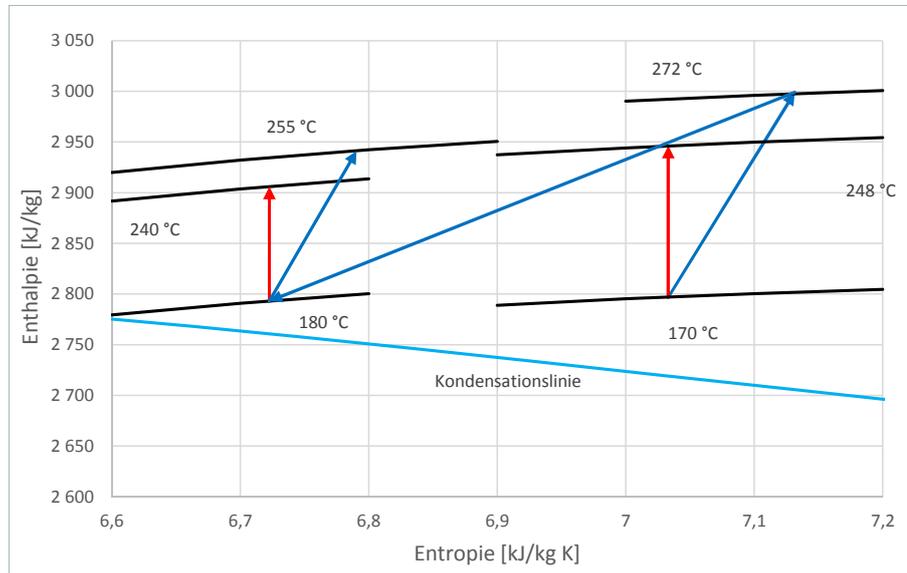


Bild 1 Thermodynamischer Prozess des Pilotprojektes im h-s-Diagramm.

Thermodynamische Grundlagen

MVR ist ein offenes Wärmepumpensystem und kann für viele Arten von Dämpfen verwendet werden, zum Beispiel Toluol, Propan oder Butan, und natürlich auch wie in diesem Fall für Wasserdampf. Durch die Kompression steigen Druck und Temperatur und somit auch die entsprechende Sättigungstemperatur des Dampfes an. Dies erfordert einen relativ kleinen Anteil Verdichtungsenergie bezogen auf den Anteil an latenter Wärmeenergie, die in dem rückgeführten Dampf bereits vorhanden ist. Das System wirkt als Wärmetransformator, der die Qualität der Wärme (das Temperaturniveau) verbessert. Die Anlage besteht aus einem Kompressor, der in den Dampfstrom eingebracht wird. Auf diese Weise kann aus gesättigtem Niederdruckdampf ein überhitzter Dampf auf einem wesentlich höheren Druckniveau generiert werden. Im h-s-Diagramm (**Bild 1**) werden diese Schritte gezeigt:

- 1. Stufe der Kompression,
- direkte Zwischenkühlung nach der 1. Kompressionsstufe (Mengenvergrößerung um rund 10 %),
- 2. Stufe der Kompression.

Aufgrund der Kompression tritt eine Überhitzung des Dampfes auf. Sollte dies nicht erforderlich sein, so kann leicht durch die Einspritzung von zum Beispiel Kesselspeisewasser ein Satttdampf auf einem gewünschten Temperaturniveau generiert werden. Auf diese Weise wird die Überhitzungsenergie des Dampfes in zusätzliche Dampfproduktion umgewandelt. Der „Trick“ im gesamten Prozess besteht darin, eine Kondensation des Dampfes zu verhindern und die latente Wärme zu erhalten; **Bild 2** zeigt das prinzipielle Diagramm der Dampfverdichtung mit Wassereinspritzung (Enthitzung) eines zweistufigen Verdichters.

Eingesetzte Verdichtertechnologie

Grundsätzlich steht eine breite Palette von Kompressoren zur Dampfverdichtung zur Verfügung. Die Art des Kompressors hängt unter anderem vom Medium, der gewünschten Druck- und Temperaturerhöhung und dem Volumenstrom ab.

DAMPFVERSORGUNG | Die Anlage von Dow Benelux B. V. am Standort Terneuzen (Niederlande) produziert viele chemische Produkte und Halbfabrikate. Der Dampfdruck dieser Anlage liegt zwischen 3 und 80 bar(g). Verschiedene Anlagenteile haben einen kontinuierlichen Überschuss von Niederdruckdampf, zum Beispiel auf einem Druckniveau von 3 bar(g). Dieser Dampf wird kondensiert, jedoch bleibt dadurch die enthaltene Abwärme ungenutzt. In diesem Beitrag wird das Prinzip einer Pilotanlage erklärt, die die Kondensation dieses Überschussdampfes vermeidet und wertvollen Dampf auf hohem Druckniveau generiert. Dieser Dampf kann wiederum als Prozessdampf oder zum Antrieb von Dampfturbinen verwendet werden. Aus einem Abfallprodukt wird somit ein wertvoller Energieträger.

Dampf ist weiterhin einer der wichtigsten Hochtemperaturenergieträger in der Industrie (Petrochemie, Chemie, Papier, Pharma, Nahrungsmittel und Stahl). Dampf kann auf allen Druckniveaus erzeugt und verwendet werden. Je höher die Temperatur (Druck), desto

höher der Mehrwert. Beispielsweise als Prozessdampf, zum Betrieb von Dampfturbinen oder für Heizprozesse.

Dampf mit niedrigem Druck, beispielsweise unter 5 bar, hat oft keinen oder nur einen geringen Wert, da er wegen der niedrigen Temperatur und des niedrigeren Drucks schwieriger zu verwenden ist. Viele Industrieunternehmen sind mit diesem Problem konfrontiert.

Durch die Verdichtung des Dampfes erfolgt eine effiziente Aufwertung. Ein Restprodukt wird zu einem wertvollen Wärmeträger. Die dafür verwendete Technik wird Dampfdruckverdichtung genannt. Diese bewährte Technik ist eine Variante der mechanischen Dampfverdichtung (Mechanical Vapour Recompression, MVR). Die Technik ist sowohl energetisch als auch wirtschaftlich sehr interessant.

Autoren

Dipl.-Ing. **Egbert Klop**, Jahrgang 1960, studierte Maschinenbau an der Fachhochschule in Eindhoven/NL. Seit 2015 Managing Director bei BlueTerra Energy Experts in Veenendaal/NL.

egbert.klop@blueterra.nl

Dipl.-Ing. **Dirk Eschweiler**, Jahrgang 1973, studierte Maschinenbau an der Fachhochschule Aachen. Seit 2006 Sales Manager Germany & Benelux bei Atlas Copco Energas GmbH, Köln.

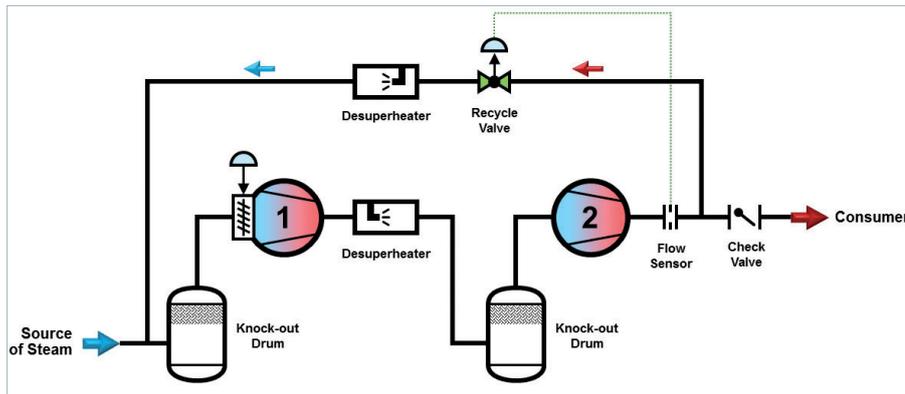


Bild 2 Prinzipdiagramm einer zwei-stufigen Verdichtung mit Zwischenentwässerung (Kondensateinspritzung).

Wirtschaftliche Auswertung

MVR ist immer maßgeschneidert. Die Rentabilität der Investition der MVR hängt unter anderem von den folgenden Faktoren ab:

- Maßstab (Kapazität in t/h; von 100 kg/h bis mehr als 100 t/h),
- Dampfpriß (wird oft durch den Erdgaspreis bestimmt),
- Druckverhältnis,
- Wert des Restdampfes,
- Elektrizitätspreis.

Aus verschiedenen Studien und Machbarkeitsüberprüfungen ergibt sich, dass MVR wirtschaftlich sehr robust für die Wiederverwendung von Abdampf ist. Bei einem Verhältnis zwischen Strom- und Gaspreis von 3:1 in Kombination mit einem optimierten COP ist MVR immer (sehr) profitabel. Die einfache Amortisationszeit liegt grob zwischen einem und fünf Jahren. Für industrielle Anwendungen bedeutet dies, dass MVR relativ unempfindlich gegenüber dem Strompreis ist und der Erdgaspreis für die Anwendung von MVR ausschlaggebend ist. Mit MVR gewinnt die Industrie eine Alternative, um Dampf auf verschiedene Weisen zu erzeugen: MVR ergänzt die traditionelle Methode über Kessel und/oder Kraft-Wärme-Kopplung.

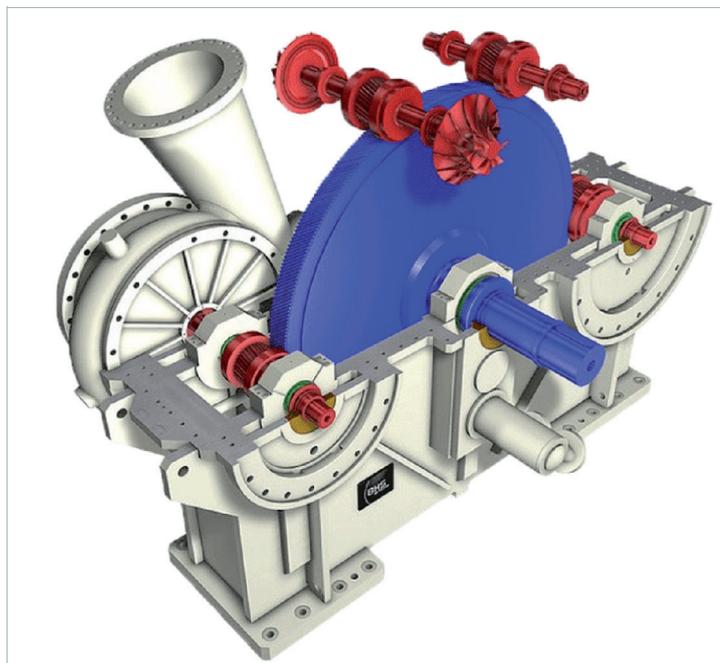


Bild 3 Explosionszeichnung eines mehrstufigen Zentrifugalverdichters.

Beim Projekt in Terneuzen kommt ein mehrstufiger Zentrifugalkompressor (Integrally Geared Centrifugal Compressor) zum Einsatz (**Bild 3**).

Energetische Auswertung

Der Coefficient of Performance (COP) wird verwendet, um die Effizienz von MVR zu charakterisieren. Der COP ist ein einfach zu verwendender Indikator für die Energieeffizienz von Kältemaschinen, Wärmepumpen und (auch) MVR. Der COP zeigt das Verhältnis zwischen der rückgewonnenen Wärmeleistung und der zugeführten elektrischen Kompressorleistung. Energetisch und wirtschaftlich attraktive Anwendungen haben einen COP von mindestens 2 oder höher. Praktische Anwendungen von MVR zeigen, dass COP von 10 und mehr möglich sind. Der Wirkungsgrad der

Kompression und eine direkte Zwischenkühlung sind entscheidend für den COP. Der COP des Pilotprojektes bei DOW in Terneuzen liegt bei 5,89.

Eine gute energetische Effizienz kann erreicht werden durch:

- Auslegung des Verdichters auf die kundenspezifischen Prozessdaten,
- Kondensateinspritzung nach jeder Kompressionsstufe.

MVR schneidet im energetischen Vergleich zu anderen Techniken sehr gut ab. Für Power-to-Heat (PtH)-Anlagen, das heißt elektrischer Dampfkessel, ist der COP beispielsweise 1: 1 kW elektrische Energie liefert auch 1 kW thermische Energie. Bei Kompressionswärmepumpen wird im günstigsten Fall ein COP von 5 erreicht, wobei zu beachten ist, dass Wärmepumpen im Dampfbereich kaum im Handel erhältlich sind.

Vorteile von MVR

MVR bietet sowohl energetisch als auch wirtschaftlich attraktive Vorteile in Verbindung mit einem geringen technischen und finanziellen Risikoprofil. MVR ist daher vor allem für Unternehmen mit einem Überschuss an Niederdruckdampf attraktiv. Diese Vorteile sind:

- Die Amortisationszeiten liegen zwischen einem und fünf Jahren,
- MVR verringert die Energieverschwendung,
- die Energieeffizienz wird verbessert und der Energieverbrauch sinkt,
- Wiederherstellung der Dampfbilanz kann auf flexible Weise erfolgen,
- verfügbare Kapazitäten reichen von 100 kg/h bis zu 100 t/h pro Einheit,
- mehrere Einheiten können zur Kapazitätserweiterung und/oder Flexibilität parallel geschaltet werden,
- aktive Kontrolle des Kraft-Wärme-Ver-

| Pilotanlage von DOW in Terneuzen | |
|----------------------------------|---|
| Kapazität | 12 t Dampf pro Stunde |
| Eintritt | 170 °C und 3 bar(g) |
| Austritt | 266 °C und 12,5 bar(g) |
| Wellenleistung Elektromotor | 1 350 kW |
| Kompressor-Spezifikationen | <ul style="list-style-type: none"> • Kühlung mit demineralisiertem Wasser für die erste Stufe und zwischen der ersten und zweiten Stufe der Verdichtung • Radialverdichter mit zwei Kompressionsstufen • Eintrittsleitapparat zur Regelung • Hersteller: Atlas Copco Energas GmbH, Köln |
| Planung | <ul style="list-style-type: none"> • Machbarkeitsstudie: 2016 • Detail Engineering: 2017/2018 • Bestellung Kompressor: Q4/2017 • Lieferung Kompressor: Q4/2018 • Inbetriebnahme: Q2/2019 • Kontinuierliches Bewertungs- und Messprogramm: 2019 bis 2020 |

Tabelle Technische Daten der Pilotanlage von Dow Benelux B. V. in Terneuzen, Niederlande.



Bilder: Atlas Copco

Bild 4 MVR-Anlage in Süditalien mit einem dreistufigen Dampfverdichter (GT040T3K1).

© Springer-VDI-Verlag GmbH & Co. KG, Düsseldorf 2018

- hältnisse einer Kraft-Wärme-Kopplungs (KWK)-Anlage, was zu einem besseren wirtschaftlichen Betrieb führt,
- flexible Reaktionsmöglichkeiten auf einen volatilen Strommarkt,
 - reduzierte Abhängigkeit vom Erdgaspreis,
 - Einsatz von bewährter Technologie.

Pilotanlage bei Dow in Terneuzen

Dow Benelux in Terneuzen realisiert momentan eine Pilotanlage zur Abdampfaufbereitung (Tabelle). Diese Anlage soll gleichzeitig als Demonstrationsprojekt genutzt werden. Bei Bestätigung des erwarteten wirtschaftlichen Erfolgs des Projektes soll das Konzept ebenfalls in weiteren Anlagen in Spanien und den USA umgesetzt werden. Dazu Kees Bies-

heuvel, Technologieinnovationsmanager bei Dow Benelux: „In der chemischen Industrie wird Dampf als Energieträger für Antriebs- und Heizzwecken in großem Maße eingesetzt. Dow in Terneuzen ist keine Ausnahme. Deshalb sieht Dow definitiv Möglichkeiten für diese Technik. Durch die Berücksichtigung von Wartbarkeit, Zuverlässigkeit und Flexibilität beim Entwurf kann eine zuverlässige Anwendung erreicht werden. Insbesondere bei Kapazitätserweiterungen in Verbindung mit eingeschränkter Verfügbarkeit von Versorgungskapazität kann MVR eine Lösung bieten.“

Fazit

MVR ist eine relativ unbekannt aber bewährte Technologie mit der auf sehr

wirtschaftlicher Weise Energie eingespart werden kann, und gleichzeitig die Wärmeversorgung teilweise elektrifiziert wird. Überdies, gibt MVR die Möglichkeit die Wärmeversorgung zu flexibilisieren.

Diese Technologie kann auch in anderen Industriezweigen wie zum Beispiel dem Metallsektor, der Petrochemie und Chemie, dem Lebensmittelsektor und in der Molkerei angewendet werden.

In Bild 4 wird ein anderes Beispiel dargestellt. Es handelt sich um eine vergleichbare Anlage für Energierückgewinnung aus Abdampf (22 500 m³/h; Eintritt 6,5 bar(g), Austritt 17 bar(g), Antrieb rund 6 MW(el.).