

**Merkmale des Hybridsystems**

# Hoher Wärmeübergang auf kleinstem Raum

## Verfahrensverbesserungen durch geschweißte Plattenwärmeübertrager

Osama Nasser

**Kaum ein Prozess in der Chemie und der Verfahrenstechnik funktioniert ohne Wärmeübertrager. Die Bauformen sind dabei ebenso unterschiedlich und zahlreich wie die Einsatzbereiche. Dies verdeutlichen einige Projekte am Beispiel der Hybridwärmeübertrager.**

**W**ärmeübertrager werden hauptsächlich nach drei Verfahren betrieben: im Gegenstrom-, im Gleichstrom- oder im Kreuzstromverfahren. Abhängig vom jeweiligen Prozess gibt es spezifische Varianten, wobei der Rohrbündelwärmeübertrager in den verschiedensten Bauformen den Hauptanteil einnimmt. An zweiter Stelle liegt, mit steigender Tendenz, der Plattenwärmeübertrager. Auch hier gibt es inzwischen eine große Anzahl von verschiedenen Bautypen. Besonders durch die kompakte und platzsparende Bauweise eroberte sich der Plattenwärmeübertrager in zunehmendem Maße neue Einsatzgebiete.

### Voll verschweißter Hybridwärmeübertrager

Ein besonderer Plattenwärmeübertrager ist der Hybridwärmeübertrager, der fast alle industriellen Anwendungen abdeckt. Er eignet sich für die Chemie, Petrochemie, Zucker-, Lebensmittel- und Pharmaindustrie. Dieser Wärmeübertrager vereint die konventionellen Rohrbündel-, Platten- und Spiralwärmeübertrager und lässt sich an nahezu alle thermischen Bedingungen anpassen. Ferner kann er auch als Verdampfer oder Kondensator gebaut

werden, wobei die kompakte Bauweise ( $250 \text{ m}^2/\text{m}^3$ ) für ein geringes Gewicht sorgt (Abb. 1). Die voll verschweißte Konstruktion hat keine Lötstellen oder großflächige Dichtungen, so dass Beanspruchungen für die Wärmeübertrager lediglich aus den Gegebenheiten der Prozessabläufe resultieren. Wichtige Auswahlkriterien für einen Wärmeübertrager sind hierbei die Druck-, Temperatur- und Korrosionsbeständigkeit, die Effektivität der Wärmeübertragung, der wärmeübertragungsspezifische, strömungsbedingte Druckverlust sowie die räumlichen Abmessungen und die Position der Anschlussstutzen. Darüber hinaus spielt die Neigung zur Verschmutzung und damit die Lebensdauer, die Werkstoffwahl, durch die in wesentlichem Maß der Anschaffungspreis bestimmt wird, die anfallenden Instandhaltungskosten, z. B. für Dichtungen und Dichtungswechsel und die Flexibilität des Wärmeübertragers bezüglich der räumlichen und verfahrenstechnischen Dimensionierung, eine wichtige Rolle.

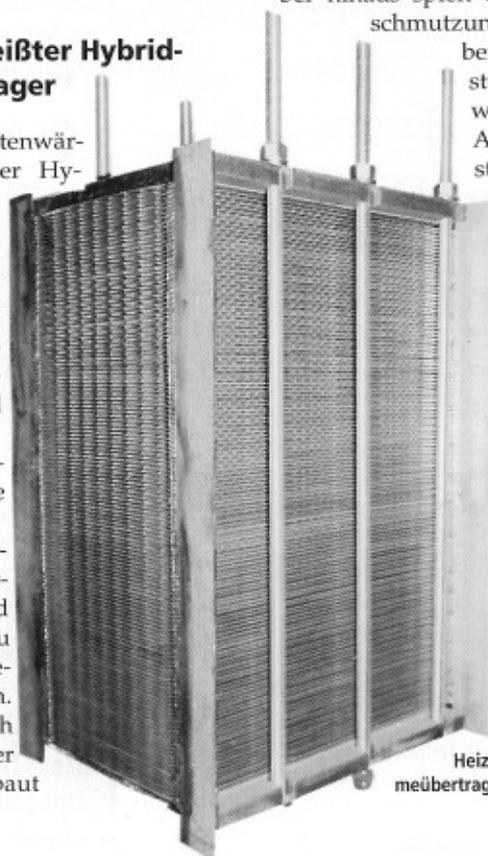


Abb. 1 Durch standardisierte Elemente mit fixer Breite, beliebiger Plattenlänge bis ca. 8 m und einer Plattenzahl von bis zu 1500 Stück je Block lassen sich Heizflächen bis zu  $7000 \text{ m}^2$  je Wärmeübertrager realisieren

Im Hybridwärmeübertrager lenken rohrförmige Strömungsquerschnitte ohne Strömungsschatten mit regelmäßigen Querprägungen die Strömung um (Abb. 2). Sie sorgen für eine erhebliche Steigerung des Wärmeübergangs, ohne den Druckabfall wesentlich zu erhöhen. Gleichzeitig bewirken die Querprägungen eine Abstützung zwischen benachbarten Rohrquerschnitten und erreichen damit eine erhebliche Versteifung des Formblechpaketes (Drücke bis 60 bar). Die Temperaturbelastungsgrenzen liegen bei  $-200$  bis  $+600$  °C. Die Wärmeübertragung erfolgt über die zwischen 0,4 bis 0,8 mm dicke Wand des Austauscherelementes, das als Primärheizfläche ausgebildet ist. Der Einsatz von korrosionsbeständigen Materialien ist ohne Rücksicht auf die Wärmeleitfähigkeit des Werkstoffes möglich, solange dieser verform- und schweißbar ist. Die Strömungskanäle lassen sich mit Wasser-, Luft- und Dampfstrahl sowie chemisch reinigen. Der Wärmeübertrager ist voll verschweißte und besitzt somit keine Lötstellen oder großflächige Dichtungen. Durch einfache Unterteilung in mehrere Strömungswege (Kreuzgegenstrom) lässt er sich an die verschiedensten Aufgabenstellungen angleichen. Eine Anpassung der thermodynamischen Eigenschaften der Wärmeübertragerelemente erfolgt sehr kostengünstig durch ein Prägwerkzeug und unterschiedliche Prägertiefen. Die kompakte Bauweise erfordert einen geringeren Materialeinsatz, wodurch sich das Betriebsgewicht vermindert (Stahlunterbau). Ebenso wird eine geringe Füllmenge an Medien (Hold-up) benötigt. Sowohl die niedrige Füllmenge als auch die dünne Wandstärke verleihen dem Hybridwärmeübertrager ein gutes und schnelles Regelungsverhalten. Durch die nicht schwingungsfähige Konstruktion ist eine hohe Betriebssicherheit gewährleistet, gleichzeitig erfolgt ein elastischer Ausgleich von Wärmespannungen.

### Einsatzbeispiel aus der Kältetechnik

Mit einer Plattenstärke von 0,6 mm ist der Hybridwärmeübertrager in kältetechnischen Anwendungen bis zu 60 bar einsetzbar. Durch mögliche Varianten der Prägertiefe, und somit eine Änderung der Plattenstruktur, ist eine Optimierung der Wärmeübertragung und eine Minimierung der Druckverluste gegeben. Ferner ergibt sich dadurch eine wesentlich geringere Kältemittelfüllmenge gegenüber konventionellen Rohrwärmeübertragern in diesem Anwendungsfall. Der Hybridwärmeübertrager arbeitet sozusagen als Naturumlauf-

## Wärmetauscherprofil

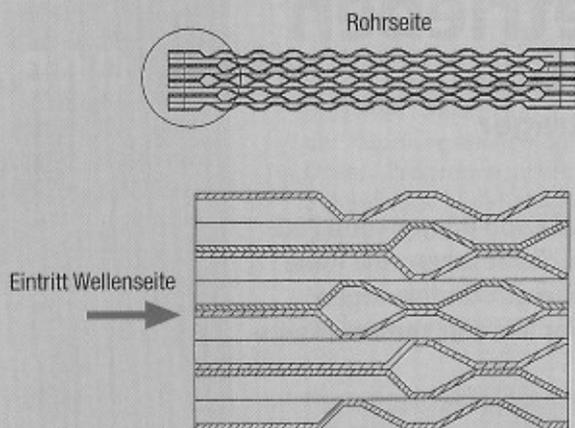


Abb. 2 Rohrförmige Strömungsquerschnitte ohne Strömungsschatten mit regelmäßigen Querprägungen sorgen für eine erhebliche Steigerung des Wärmeübergangs ohne eine wesentliche Erhöhung des Druckabfalls.

verdampfer. Bei der konstruktiven Ausführung des Verdampfers wird auf die sonst separat oben angeordnete Dampftrommel und die verbindenden Fall- und Steigrohre verzichtet. Die Funktion der Phasentrennung und der Flüssigkeitsrückführung werden bei diesem Hybridverdampfer in einem Apparat integriert.

### Erweiterter Einsatz als Heizvorwärmer

Die Rohrseite lässt bei gleicher Anströmfläche größere Volumenströme zu als die Wellenseite. Durch mehrere Prägeschritte, also größere Plattenlänge, kann die Menge des rohrseitigen Volumenstroms noch gesteigert werden, so dass sich die Rohrseite für den kondensierenden ND-Dampf in einem Vorwärmer anbietet, weil für den Dampf große Anströmflächen notwendig sind. Durch die kompakte Bauform ist der Hybridwärmeübertrager in seinem Regelverhalten besonders gut für die Kondensatstauregelung geeignet. Der Dampf wird über einen Halbzylinder verteilt und kondensiert auf der waagrecht angeordneten Rohrseite. Das Kondensat kann im unteren Teil über mehrere rohrseitige Wege geführt werden, wobei ein integrierter Unterkühler mit Kreuzgegenstrom entsteht. Durch Anstauen des Kondensates bis zum oberen Ende der Dampfhaube kann der stehende Vorwärmer bis auf 0% heruntergekühlt werden.

Abb. 3 Der Hybridwärmetauscher hat sich in der Zuckerindustrie bewährt

### Hybridverdampfer in der Zuckerindustrie

Die Verdampferstation einer Zuckerfabrik hat die Aufgabe, Dünnsäfte zu konzentrieren. Das Eindampfen soll möglichst schonend erfolgen, um Zuckerverluste (Saftverfärbung) zu vermeiden. Hierzu wurden Rohrbündel-Fallstromverdampfer eingesetzt. Aufgrund ihrer Arbeitsweise benötigen diese Apparate eine relativ große Temperaturdifferenz und haben außerdem noch den Nachteil ihres großen Platzbedarfs. Der Hybridapparat als Fallfilmverdampfer hat in einer deutschen Zuckerfabrik in einer Kampagne hervorragende Ergebnisse geliefert (Abb. 3). Es ergaben sich im Betrieb

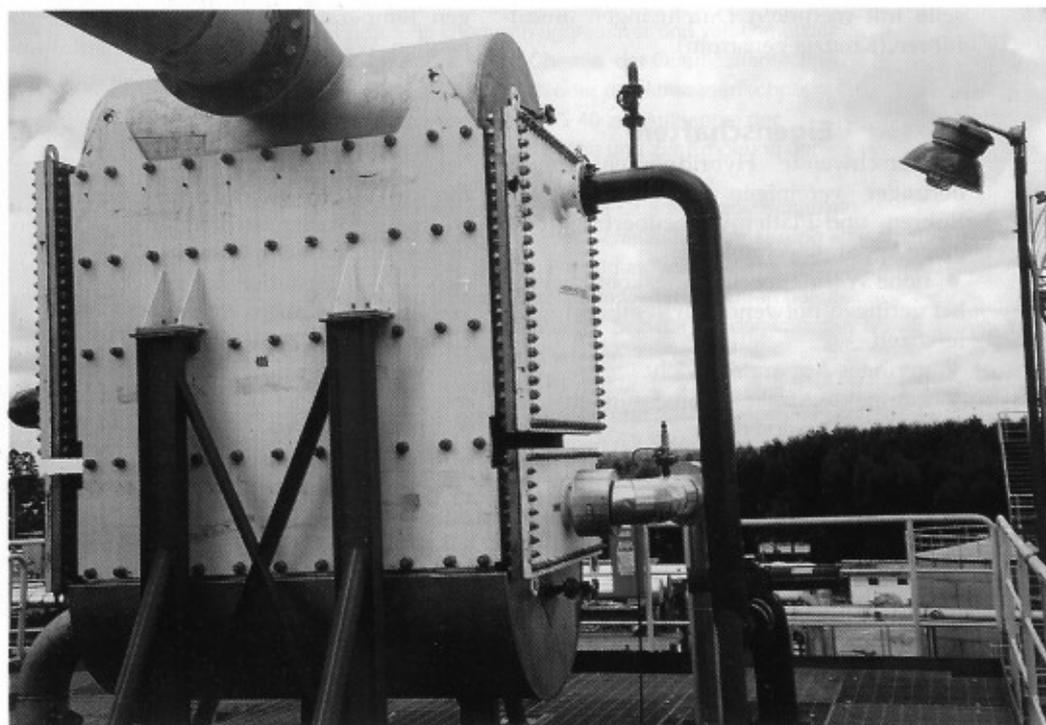
k-Werte von  $5500 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Sowohl in Voll- last- wie auch in Teillastbereichen wurden diese Werte erreicht. Am Ende der Kampagne ergab eine eingehende Untersuchung des Apparates, dass die Heizfläche absolut sauber und das Produkt an keiner Stelle verbrannt war (Saftverfärbung). Die Konzeption der Stufenflüssigkeitsverteilung hat sich als richtig erwiesen.

### Zyclodest- und Zyclodampf- anlagen

Eine spezielle Anwendung findet der Hybridwärmeübertrager als Zyclodest- und Zyclodampfanlage. Bei der Zyclodestanlage handelt es sich um eine besonders wirtschaftliche Wasserdestillationsanlage, die in der pharmazeutischen Industrie zur Erzeugung von Wasser für Injektionszwecke dient. Kleine Druckdifferenzen sind für ein energetisch sehr günstiges Destillationsverfahren notwendig.

Die Zyclodampfanlagen produzieren Reinstdampf für Sterilisationszwecke. Der konstruktive Aufbau des Hybridwärmeübertragers verhindert Thermospannungen und beugt der Bildung von Mikrorissen vor. Gerade bei Reinstdampfherzeugern, die meistens sehr starken Lastschwankungen ausgesetzt sind, ist dies wichtig. Die bei manchen Wasserdestillationsanlagen und Reinstdampfherzeugern auftretenden Ablagerungen durch Silikate werden beim Hybridwärmeübertrager durch hohe Turbulenzen im überfluteten Verdampfer und durch niedere Oberflächentemperaturen verhindert.

► cav 247



# Im Kreuzstrom betrieben

## Vollverschweißte Hybridwärmeübertrager

Hybridplattenwärmeübertrager vereinigen die Vorteile von Röhren- und Plattenwärmeübertragern in einer Apparatetechnologie. Sie besitzen eine hohe Wärmeübertragungsleistung bei kompakten Abmessungen und geringen Druckverlusten. Einsatz finden die Hybridapparate vor allem in Verdampfungs- und Kondensationsprozessen.

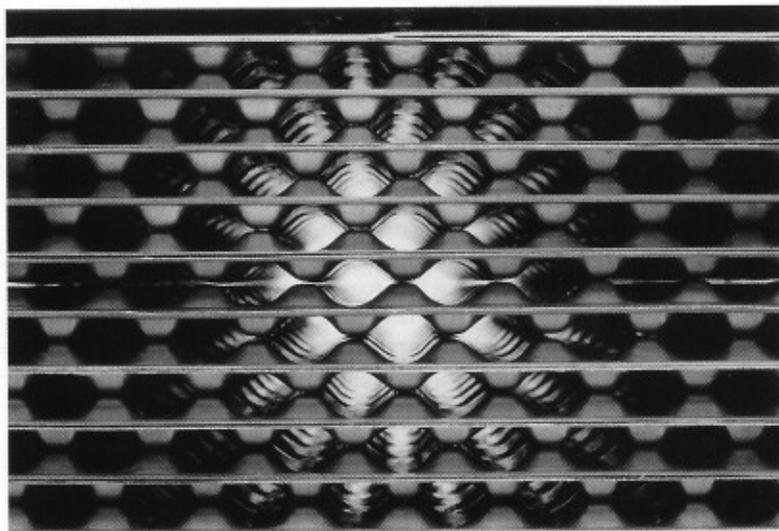
Hybridwärmeübertrager werden im Kreuzstromverfahren betrieben. Die senkrecht durchströmte Rohrseite und die waagrecht durchströmte Wellenseite des Apparates entstehen durch übereinandergestapelte Formbleche. Dabei bilden je zwei Formbleche ein Formblechelement, das den wellenförmigen Strömungskanal darstellt. Zwei verschweißte Formblechelemente aneinander gelegt ergeben eine Rohrreihe umgeben von zwei Wellenkanälen (Abb.). Die resultierenden Rohrdurchmesser liegen in der Regel zwischen 6 und 9 mm, die Spaltbreite auf der Wellenseite zwischen 4 und 6 mm. Querprägungen dienen als Stützen zwischen den einzelnen Formblechelementen und erhöhen die Turbulenz auf der Rohrseite. Die Anzahl der Formblechelemente und die Plattenhöhe, das bedeutet die Länge des durchströmten Rohres, bestimmen die Leistung des Wärmeübertragers. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, die Rohrseite mit mehreren Durchgängen auszuführen (Kreuzgegenstrom).

### Eigenschaften

Vollverschweißte Hybridplattenwärmeübertrager vereinigen die Vorteile von Röhren- und Plattenwärmeübertragern in einer Apparatetechnologie:

- hohe Wärmeübertragungskoeffizienten bei geringen notwendigen Temperaturdifferenzen
- geringes Apparategewicht
- kompakte Apparateabmessungen
- geringe Druckverluste
- mechanische Stabilität auch bei relativ hohen Differenzdrücken
- gasdichte Trennung der Stoffströme
- Wartungs- und Reinigungsfreundlichkeit

Diese Eigenschaften legen den Einsatz von Hybridapparaten immer in solchen verfahrenstechnischen Anlagenbereichen nahe, in denen eine Optimierung des Energiehaushalts angestrebt wird, besonders in



Die Anzahl der Formblechelemente und die Plattenhöhe bestimmen die Leistung des Wärmeübertragers

Verdampfungs- und Kondensationsprozessen. Dabei erlauben die thermodynamischen Eigenschaften der Hybriden durch kurze Verweilzeiten bei gleichzeitig geringen Temperaturen an den wärmeübertragenden Wänden milde Prozessbedingungen im Umgang mit sensiblen Medien.

### Einsatzgebiete

Ein großes Einsatzgebiet für den Hybridwärmeübertrager ist die Zuckerindustrie. In den letzten zehn Jahren wurden die in den Eindampfstationen der Zuckerfabriken üblichen Robert-Verdampfer mit einer Gesamtfläche von 150 000 m<sup>2</sup> gegen Hybridverdampfer ausgetauscht. In der chemischen und petrochemischen Industrie beschränkt sich der Einsatz der Hybriden mit Blick auf ihr technisches Potential bislang auf relativ wenige, wenn auch sehr erfolgreiche Nischenanwendungen. Beispiele hierfür sind Ammoniakverdampfer, Clausgaswärmeübertrager und Kälteanlagen.

Ein Grund dafür, dass sich der Hybridplattenwärmeübertrager hier nur langsam durchsetzen kann mag darin liegen, dass die Vorteile nur dann zum Tragen kom-

men, wenn bei der Planung des entsprechenden Verfahrens die zugehörigen Parameter – in erster Linie die Temperaturen – an die höhere Leistungsfähigkeit des Apparates angepasst werden. Dies wiederum beeinflusst meist die gesamte Energiebilanz des Prozesses, womit natürlich ein erheblicher prozessseitiger Engineering-Aufwand verbunden ist. Die unbefangene Gegenüberstellung der Prozess- und Apparatdaten – zum Beispiel der dreifache k-Wert des Hybridverdampfers gegenüber dem Rohrbündelapparat – lässt die Vorteile erkennen, die der Hybrid dem Verfahrensplaner bei der Pinch-Analyse bietet. Dass sich dieser Planungsaufwand offensichtlich lohnt, beweisen jüngere Projekte

in denen Hybride als zusätzliche Dampferzeuger zur Wärmerückgewinnung aus Prozessgasen eingesetzt werden.

### Einsatzkriterien

Aus den bislang gesammelten Erfahrungen heraus ergibt sich eine Liste von pauschalen Kriterien, unter denen sich der Einsatz eines Hybridplattenwärmeübertragers besonders lohnen kann:

- charakteristische Temperaturdifferenz 0,1 bis 5 K
- Verdampfung oder Kondensation zumindest auf einer Seite
- wärmeübertragende Fläche pro Apparat größer 400 m<sup>2</sup>
- Material 1.4571, 1.4404, 1.4301, SMO
- Betriebstemperaturen bis 550 °C und Drücke bis 60 bar

Die Auslegung und die Konstruktion der Hybridplattenwärmeübertrager erfordert im Vergleich zu den international standardisierten Rohrbündelapparaten ein größeres Spezialwissen des Apparatebauers. Daher ist in der Regel eine Prozessdatenspezifikation notwendig, nach der die Hybriden berechnet und konstruiert werden.

► cav 248