

Hybrid Wärmetauscher

Von O. Nasser¹⁾

Einleitung

Der Austausch von Wärme hat in nahezu jedem verfahrenstechnischen Prozeß eine zentrale Bedeutung. Durch die prozeßbedingte Notwendigkeit, Fluide zu erhitzen, zu kühlen, zu verdampfen oder zu kondensieren, ist der Einsatz von Wärmetauschern unumgänglich. Gerade in den letzten Jahren hat die Ersparnis teurer Primärenergie bei der Abwärmenutzung, den Einsatz von Wärmetauschern gerechtfertigt. Bisher wurden in den meisten Anwendungsfällen Rohr- oder Plattenaustauscher eingesetzt.

Technisches Know-how und moderne Fertigungsanlagen bilden die Basis für die Produktion einer neuen Generation von Wärmetauscher-Systemen für verfahrenstechnische Anlagen.

Der vollverschweißte Hybrid-WT füllt die Lücke zwischen den konventionellen Rohrbündel- und Plattenwärmetauschern. Jedes System für sich hat seine spezifischen Vor- und Nachteile (Bild 1).

Mit der Entwicklung des Hybrid-Wärmetauschers ist es gelungen, die Temperatur- und Druckfestigkeit des Rohraustauschers mit der kompakten und materialsparenden Bauweise des Plattenaustauschers zu kombinieren.

Durch die flexiblen Gestaltungsmöglichkeiten des Hybrid-Systems ist bei gegebenen thermischen, physikalischen und geometrischen Voraussetzungen eine optimale Problemlösung möglich.

Die Temperaturgrenzen des Hybrid Platten-Wärmetauschers liegen in der Regel bei -200°C bis $+600^{\circ}\text{C}$. Der Druckbereich hat seinen momentanen oberen Grenzwert mit 60 bar Absolutdruck.

Erfahrungen durch eingesetzte Hybrid-Wärmetauscher haben gezeigt, daß vergleichend mit Rohrbündel-Wärmetauschern die spezielle Konstruktion der Strömungskanäle einen wesentlich besseren Wärmeübergang sowohl bei Gasen, als auch bei Flüssigkeiten erzielt (Bild 2).

¹⁾ Osama Nasser, Balcke-Dürr AG, Ratingen

Der Hybrid-Wärmetauscher wird in allen Gebieten der Verfahrenstechnik als Kreuzströmer oder Kreuzgegenströmer in geschlossenen Systemen bei Übertragungen von Wärmeenergie zwischen den verschiedensten Medien eingesetzt.

Heizflächendichten bis zu 250 qm Austauschfläche pro cbm Bauvolumen sind realisierbar. Einzelapparate bis zu 7000 qm Heizfläche können gebaut werden.

Aufbau des Hybrid-Wärmeaustauschers (Bilder 3, 4).

Grundelement für alle Bauformen des Hybrid-Wärmetauschers ist ein geprägtes Formblech mit einer Breite von 320 mm und Blechdicken von 0,4 bis 0,8 mm.

Zwei identische Formbleche seitenverkehrt übereinandergelegt und an den Seiten durch eine Rollnaht druckdicht verschweißt, ergeben ein Formblechelement. Es werden sechs rechteckige Strömungskanäle mit wellenförmigem Verlauf gebildet, die die plattenseitige Strömung ermöglicht. Die Abgrenzung der sechs separaten Strömungskanäle ist durch Querprägungen gegeben, auf denen die Formbleche aufeinanderliegen.

Der wellenförmige Verlauf bewirkt große Turbulenzen und somit gute Wärmeübergangsverhältnisse.

Das Hybrid-Paket entsteht, indem mehrere Formblechelemente gestapelt und an den Stirnseiten mit Quernähten verschweißt werden. Durch die spezielle Prägung werden elliptische Rohre senkrecht zu den plattenseitigen Strömungskanälen gebildet.

Schnittdarstellung des Blechpaketes (Bild 5)

Die Schnittdarstellung zeigt, daß nahezu die gesamte Blechfläche für den Wärmetausch zur Verfügung steht. Das eingesetzte Material wird also optimal genutzt.

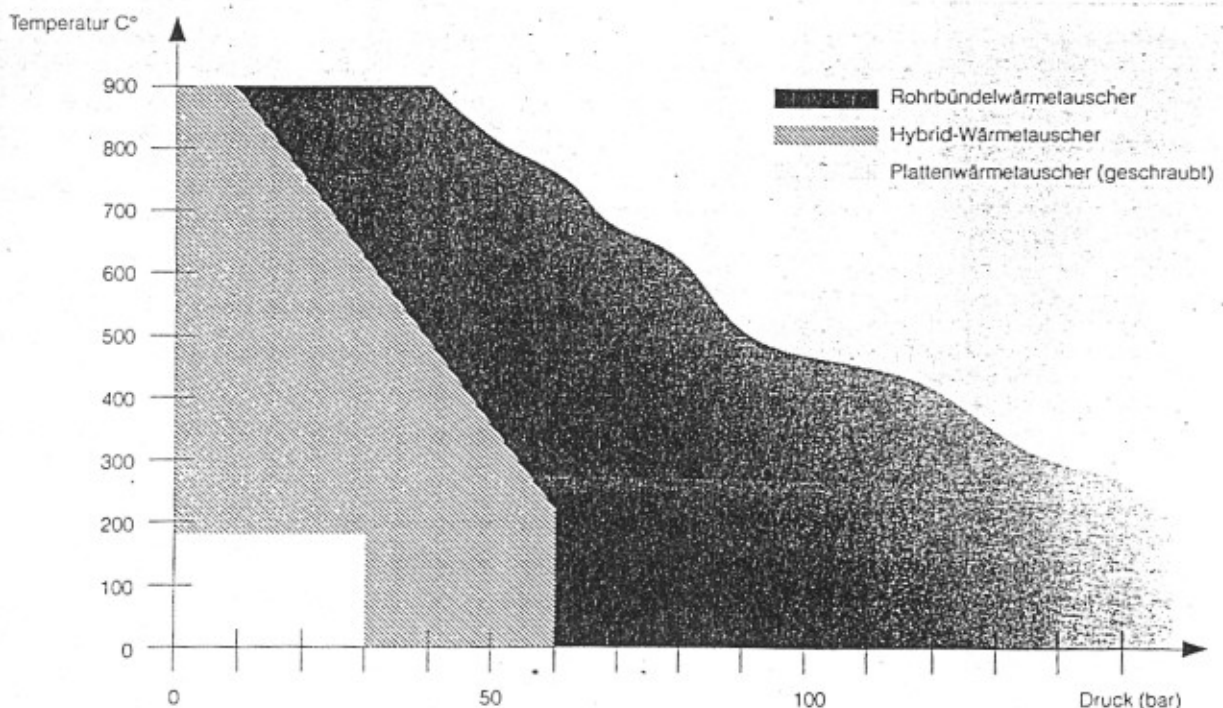


Bild 1: Vergleich der Einsatzmöglichkeiten von Wärmetauschern über den Druck- und Temperaturbereich

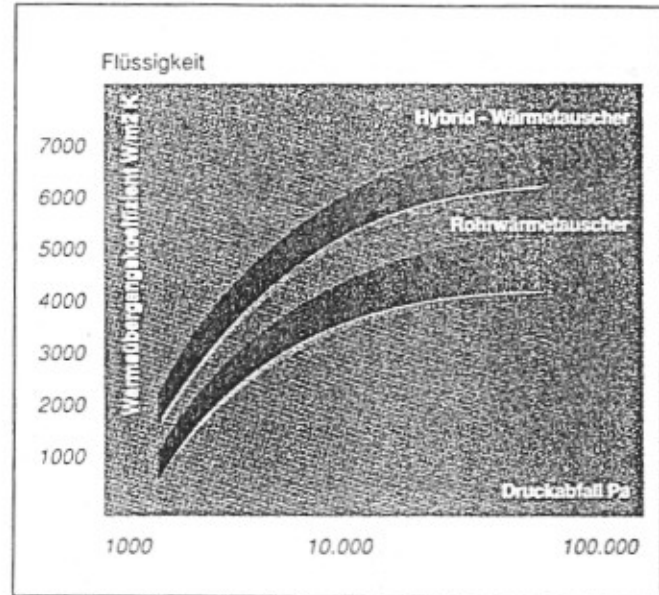
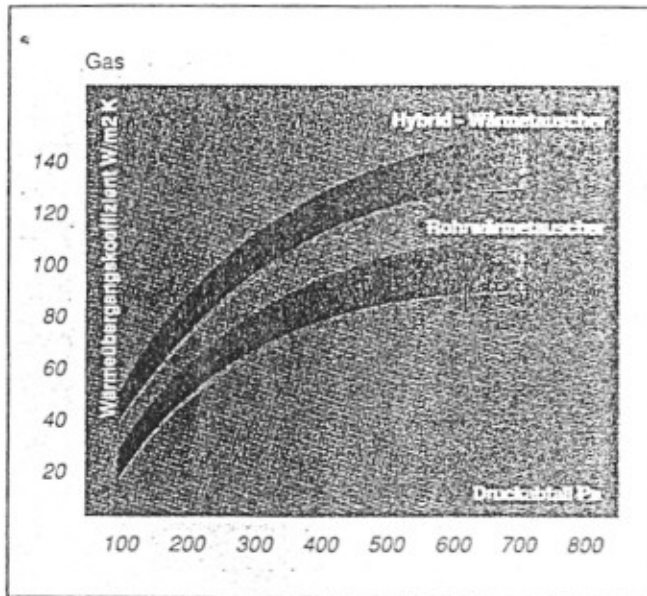


Bild 2: Vergleich von Wärmeübergangskoeffizienten

Die Möglichkeit, sehr geringe Blechdicken zu verwenden, hat neben der Materialeinsparung den Vorteil, daß der Wärmedurchgang bei Werkstoffen mit geringer Wärmeleitfähigkeit weniger beeinflusst wird.

Jede Querprägung unterbricht den Rohrquerschnitt und schafft eine neue Anströmkannte.

Neben den großen Turbulenzen in der Grenzschicht durch die Querprägungen (Stolperstellen) und den damit verbundenen positiven Einflüssen auf den Wärmeübergang und die Verschmutzungsneigung wirkt sich der Rohrdurchmesser derart aus, daß für die gegebene Wärmeübertragungsaufgabe eine sehr kurze Rohrlänge ausreicht und damit der Druckverlust gering bleibt.

Dieses kommt insbesondere dann zum Tragen, wenn große Ströme gekühlt oder erwärmt werden sollen.

Besonderheiten des wellenseitigen Strömungsquerschnittes:

Die Strömungsgeometrie der Wellenseite ergibt einen wellenförmigen Spalt ohne tote Strömungsecken mit sehr guter Wärmeübertragung bei gleichzeitig niedrigen Druckverlusten. Der Druckbereich der Wellenseite liegt je nach Blechstärke und Prägeform bei 0 bis ca. 60 bar Absolutdruck. Mögliche Querprägungen zwischen den Wellen ergeben auch bei ungünstigen Anströmverhältnissen eine gleichmäßige Auslastung der Heizfläche. Durch die große spaltseitige Strömungsfläche ist die Einteilung in mehrere Strömungswege und damit eine gute Näherung an das Gegenstromprinzip möglich.

Für Medien mit besonders ungünstigen Verschmutzungseigenschaften kann die Spaltgröße für eine mechanisch-physikalische Reinigung entsprechend erweitert werden.

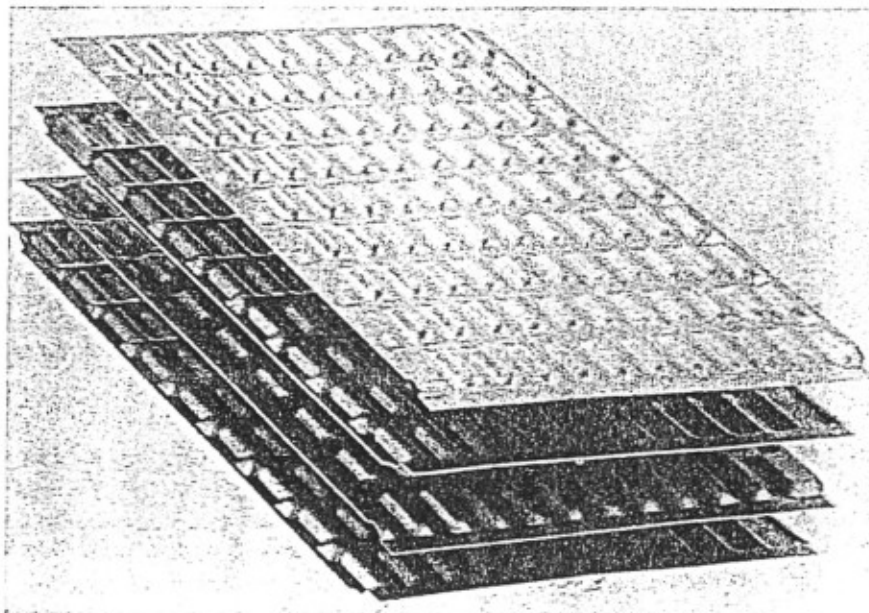


Bild 3: Aufbau eines Hybrid-Wärmetauscherblocks

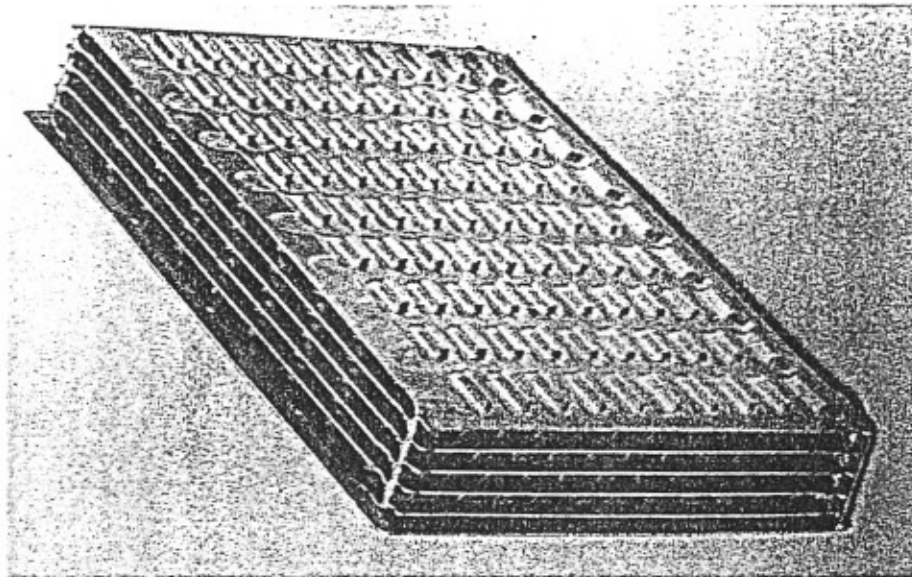


Bild 4: Aufbau eines Hybrid-Wärmetauscherblocks

Besonderheiten des rohrseitigen Strömungsquerschnittes:

Die Strömungsgeometrie der Rohrseite wird durch rohrförmige Querschnitte von 320 mm langen Strömungskanälen gebildet. Regelmäßige Querprägungen in einem Abstand von 50 mm erzeugen sogenannte Stolperstellen für die Strömung, wobei jede Querprägung eine neue Anströmkante mit großen Turbulenzen in der Grenzschicht der Strömung bildet. Diese wesentliche Erniedrigung des Wärmeübergangswiderstandes wird im Gegensatz zu anderen Möglichkeiten (Umlenkung der Strömung) mit einem geringen Druckverlust erreicht.

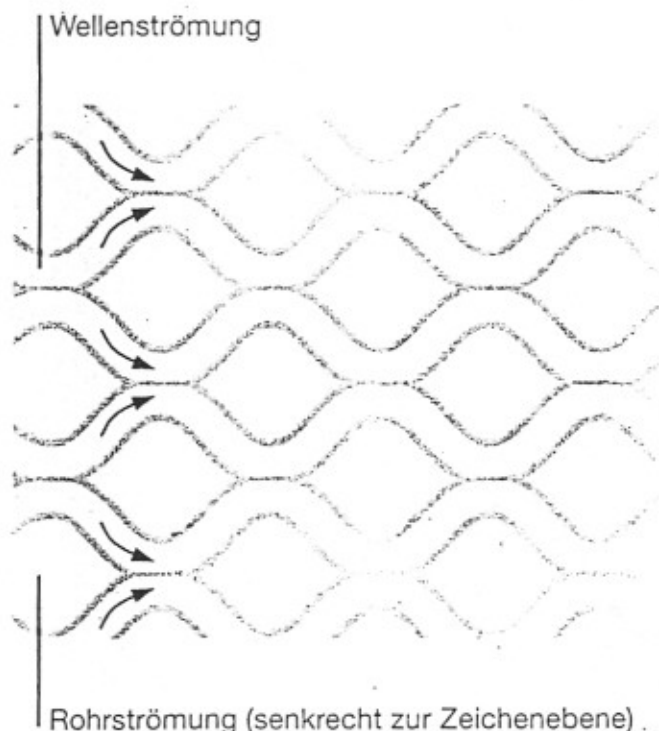


Bild 5: Schnitt durch einen Hybrid-Wärmetauscherblock

Ein Rohrbündelwärmetauscher mit üblichem Konstruktionskonzept und den gleichen verfahrenstechnisch günstigen geometrischen Abmessungen wie Hybridwärmetauscher wird durch den hohen Materialeinsatz (Rohrböden) und Arbeitsaufwand um ein mehrfaches teurer als das Hybridsystem.

Die Schweißtechnik

Die Schweißtechnik mit ihren produktspezifischen Einrichtungen hat einen hohen Stellenwert im Wärmetauscherbau. Die Schweißbarkeit der Apparate ist abhängig von der Schweißbarkeit der Werkstoffe, Schweißsicherheit der Konstruktion und Schweißmöglichkeiten in der Fertigung.

Unter dieser Prämisse setzt sich das Hauptaufgabengebiet der Schweißtechnik wie folgt zusammen:

- Mitarbeit bei der Werkstoffauswahl
- Zusammenarbeit und schweißtechnische Beratung der Konstruktion
- Festlegung der Schweißverfahren mit Angaben der Schweißzusatzwerkstoffe
- Durchführung von Schweißer- und Verfahrensprüfungen
- Erstellen der Schweißfolgepläne und Mitarbeit bei der Ausarbeitung von Fertigungsverfahren und Bauprüfplänen

Rollnahtschweißen

Dieses Verfahren findet Anwendung bei der Verbindung von zwei Formblechen zu einem Formblechelement. Die beiden Formbleche werden gleichzeitig, im Abstand von ca. 320 mm, beidseitig durch Längsnähte mit dem Rollnaht-Schweißverfahren verschweißt. Für jede Wanddicke und Werkstoffqualität wird vor Schweißbeginn ein Rollnaht-Schweißversuch durchgeführt und mit den ermittelten Daten die späteren Rollnähte ausgeführt.

Die Quernaht

Die Quernaht wird in der Regel automatisch in Vorrichtungen ohne Schweißzusatz fallend geschweißt.

In Zukunft wird eine Quernahtschweißvorrichtung eingesetzt, um auch eine Zusatzschweißung durchführen zu können.

Jeder Hybrid-Wärmetauscher-Block weist die charakteristische gleiche Schweißnahtausführung auf. Es sind lediglich werkstoff- und wanddickenbedingte Änderungen des Schweißparameters zu beachten.

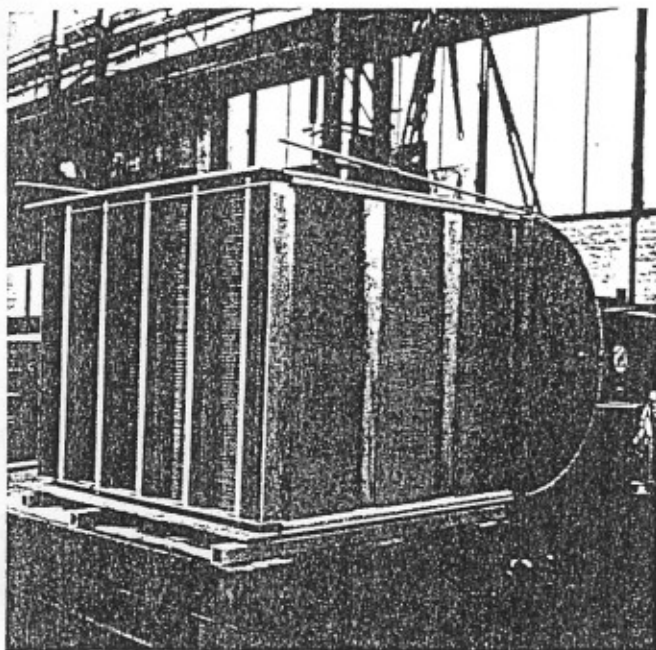


Bild 6: Zusammenbau der Hybrid-Blöcke und Montage der Hauben

Schweißverbindungen am Wärmetauscherblock:

- Längsnähte an den Formblechelementen (Rollnaht)
- Stirnflachnaht an den Quernähten
- Anschlußnaht Block/Anschlußblech
- Kammeinschweißung

Fertigung

In einer Paketierungsvorrichtung werden die Formblechelemente einzeln gestapelt und auf Stapelhöhe plus Schweißzugabe gepreßt. Hier wird auf die genau festgelegte Lage der Heftstelle geachtet (Bild 6).

Mit je einem Halbautomaten werden an beiden Seiten die Quernähte fallend ohne Zusatzwerkstoff geschweißt. Es ist auf die satte Auflage der Bleche zu achten und der Anpreßdruck der Cu-Backen der Werkstoffqualität und Wanddicke anzupassen.

Eine visuelle Kontrolle durch die Schweißaufsicht wird in regelmäßigen Abständen durchgeführt.

Die Ecknaht ist die schweißtechnisch aufwendigste Naht und hat zwei Anforderungen zu erfüllen. Zum einen die vorgeschriebene Dichtheit zwischen Spalt- und Rohrseite und zum anderen als Anschlußnaht für die Anschlußprofile (Hauben etc.). Auf eine gute Nahtvorbereitung wird hier speziell geachtet.

Es ist auf die Parallelität der beiden Nähte (Anschluß Profile) und die Einhaltung des Höhenmaßes (Stapelhöhe) zu achten. Für diese Arbeiten werden die Schweißer besonders geschult und – über Farbeindringprüfung und Begutachtung der Fehlerhäufigkeit bei den Dichtungsprüfungen – überwacht.

Die Anschlußnaht Block/Seitenwand ist wegen der krassen Wanddickenunterschiede (z. B. 0,8 mm Blech an 10 mm Seitenblech) als kritisch zu bezeichnen. Hier muß auf eine gute Wärmeführung bei der Schweißfolge geachtet werden.

Die vollgeschweißte Ausführung bedeutet sichere Trennung der beiden Medien, Einsatz bei höheren Drucken und Temperaturen, d. h., bedeutend erweitertes Einsatzgebiet als z. B. bei Plattenwärmetauschern.

Die Seitenplatten sind mit eingeschweißten Ankern gehalten und nach Bedarf mit Tragpratzen versehen.

Die Rohr- und Spaltseite sind mit halbrunden oder eckigen Hauben versehen. Die Hauben sind eingeschweißt oder nach Wunsch geschraubt.

Der Hybridwärmetauscher hat alle für den Betrieb erforderlichen Stutzen und Nocken/Meßstutzen.

Individuelle Problemlösungen

Die flexible Gestaltungsmöglichkeit des Hybrid-Systems gestattet individuelle Problemlösungen bei einfachster Bauweise.

Das Wärmetauscher-Paket ist in seinen Abmessungen durch die Länge der eingesetzten Formbleche (Plattenlänge) sowie die Anzahl der übereinandergestapelten Formblechelemente (Stapelhöhe) gekennzeichnet. Durch die Möglichkeit, mehrere Pakete hintereinander anzuordnen, ist der Wärmetauscher-Block in allen Dimensionen variabel.

Neben der Variation der äußeren Abmessungen kann die Geometrie der Strömungskanäle den jeweiligen Anforderungen angepaßt werden.

Der Wärmetauscher kann als reiner Kreuzströmer oder Kreuzgegenströmer eingesetzt werden. Mehrere Durchgänge sind sowohl auf der Rohr-, als auch auf der Plattenseite realisierbar (Bild 7).

Die Rohrquerschnitte sind durch unterschiedliche Prägetiefen im Bereich vom 6,0 mm bis 9,0 mm veränderbar.

Die plattenseitigen Strömungskanäle können durch eine spezielle seitliche Prägung erweitert werden.

Auf der Plattenseite sind durch die Querprägungen sechs Strömungswege voneinander getrennt.

Auf der Rohrseite wird bei Bedarf eine Trennung von Strömungswegen durch Flachprägungen erreicht.

Die vielfache Umlenkung des Fluids führt zu einer Kreuz-Gegenstrom-Konfiguration, die eine weitgehende Annäherung an das Gegenstromprinzip bedeutet (Bild 8).

Zur Umlenkung der Stoffströme müssen lediglich Umlenkbleche in den Hauben und dem Paket installiert werden.

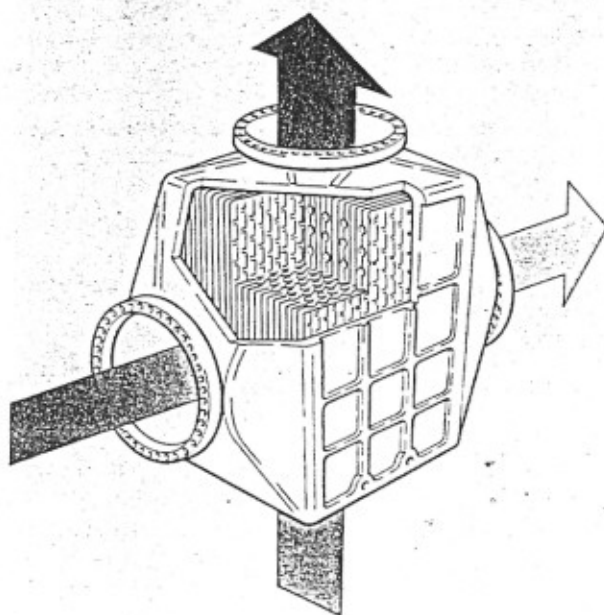


Bild 7: Hybridwärmetauscher als Kreuzströmer

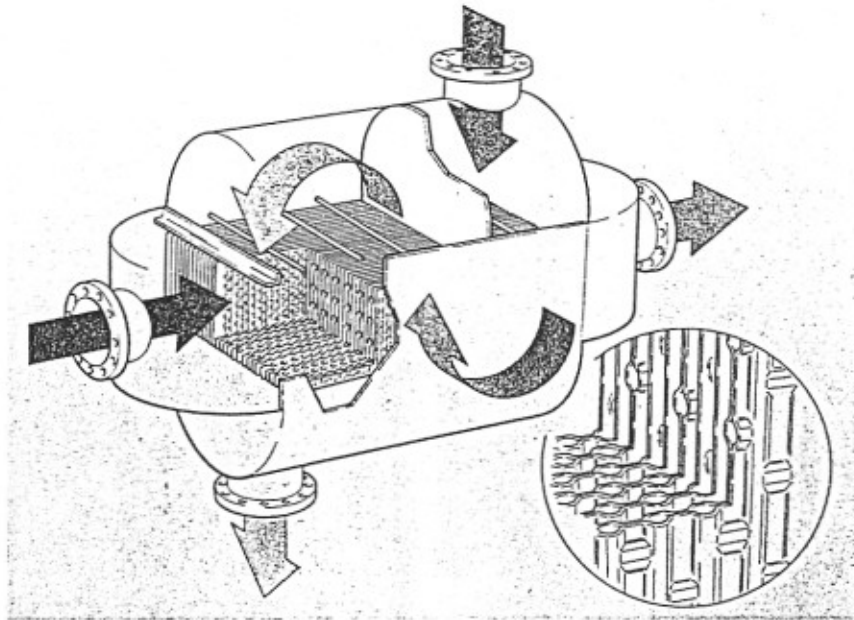


Bild 8: Hybridwärmetauscher als Kreuzgegenströmer

Somit können Wärmetauscher für die unterschiedlichsten Anwendungsfälle angeboten werden, wobei das Ausgangsmaterial stets ein Blech mit identischen Abmessungen bleibt. Die sich daraus ergebenden Vorteile hinsichtlich der Fertigung ermöglichen maßgeschneiderte Problemlösungen zu konkurrenzfähigen Preisen.

Die Merkmale des Hybridsystems in Kurzform

1. Rohrförmige Strömungsquerschnitte ohne Strömungsschatten mit regelmäßigen Querprägungen, die einerseits als Stolperstellen in der Strömung für eine erhebliche Steigerung des Wärmeübergangs sorgen, ohne den Druckabfall wesentlich zu erhöhen, andererseits bewirken die Querprägungen eine Abstutzung zwischen benachbarten Rohrquerschnitten und erreichen damit eine erhebliche Versteifung des Formblechpaketes.
2. Die Wärmeübertragung erfolgt über die zwischen 0,4–0,8 mm dicke Wand des Austauscherelementes, welche als Primärheizfläche ausgebildet ist.
3. Einsatz von korrosionsbeständigen Materialien ohne Rücksicht auf die Wärmeleitfähigkeit des Werkstoffes, solange dieser vorm- und schweißbar ist.
4. Reinigungsmöglichkeit der Strömungskanäle mittels Wasser-, Luft- und Dampfstrahl sowie chemisch.
5. Voll verschweißte Konstruktion, somit keine Lötstellen oder großflächige Dichtungen.
6. Anpassung an die verschiedensten Aufgabenstellungen durch einfache Unterteilung in mehrere Strömungswege (Kreuzgegenstrom).
7. Eine Anpassung der thermodynamischen Eigenschaften der Wärmetauscherelemente erfolgt sehr kostengünstig durch ein Prägewerkzeug und unterschiedliche Prägetiefen.
8. Durch die automatisierte Fertigung der Formbleche und höchste Präzision der Schweißarbeiten wird ein Höchstmaß an Qualität bei gleichzeitig geringem Kostenaufwand gewährleistet.
9. Es kann ein großer Temperatur- und Druckbereich abgedeckt werden. Drücke: ca. 60 bar Absolutdruck (mit Sonderkonstruktionen auch höher).
10. Die Temperaturbelastungsgrenzen liegen bei -200°C bis $+600^{\circ}\text{C}$.
11. Hohe Betriebssicherheit durch nicht schwingungsfähige Konstruktion und elastischen Ausgleich von Wärmespannungen.
12. Durch standardisierte Elemente mit fixer Breite, beliebiger Plattenlänge (bis ca. 8 m) und Plattenzahl (bis ca. 1500 Stück je Block), können Heizflächen bis zu 7000 qm je Wärmetauscher realisiert werden.
13. Durch die kompakte Bauweise wird weniger Material eingesetzt. Dadurch vermindert sich das Betriebsgewicht (Stahl-Unterbau), ebenso wird eine geringe Füllmenge an Medien (Hold-up) benötigt.
14. Niedrige Füllmengen und die dünne Wandstärke verleihen dem Hybrid-Wärmetauscher ein sehr gutes und sehr schnelles Regelverhalten.

Schlußbemerkung

Durch die flexiblen Gestaltungsmöglichkeiten des Hybridsystems ist bei gegebenen thermischen-, physikalischen- und geometrischen Voraussetzungen eine optimale Problemlösung möglich.

Die Auslegung des Apparates wird über die gegebenen Rahmenbedingungen durch EDV mit bewährten Programmen ermittelt. Die physikalischen Daten für eine Vielzahl von Stoffkombinationen sind dafür abrufbar.

Zulassungen aller bedeutenden Abnahmegesellschaften für den Hybridwärmetauscher liegen bereits vor.

Beim Bau des Hybrid-Systems kommen durch die Dünnschichtverarbeitung unter Einsatz moderner Schweißverfahren leichte, platzsparende und wirtschaftliche Wärmetauscher auf den Markt. Es ist zu erwarten, daß dieses System einen angestammten Platz in der Industrie einnimmt und bei Weiterentwicklung der Schweißtechnik noch kostengünstiger gefertigt werden kann.