

Konstruktive und fertigungstechnische Gesichtspunkte eines HYBRID-Plattenwärmetauschers

Von O. Nasser ¹⁾

1 Allgemeine Beschreibung

Der vollverschweißte HYBRID-Plattenwärmetauscher füllt die Lücke zwischen den konventionellen Rohrbündel- und Plattenwärmetauschern. Er besteht im Inneren aus einem oder mehreren Blöcken mit einer Vielzahl wellenförmig geprägter Rechteckplatten. Die Medien werden im Kreuz- oder Kreuzgegenstrom geführt.

Gute Wärmeübertragung bei gleichzeitig günstigen Druckverlusten sind hervorzuhebende Merkmale. Die Auslegung der Apparate in statischer und verfahrenstechnischer Hinsicht wird über gegebene Anforderungen durch Rechneranlagen mit bewährten Programmen ermittelt. Konstruktion, Fertigung, Schweißtechnik und Gütesicherung runden den technischen Bereich ab.

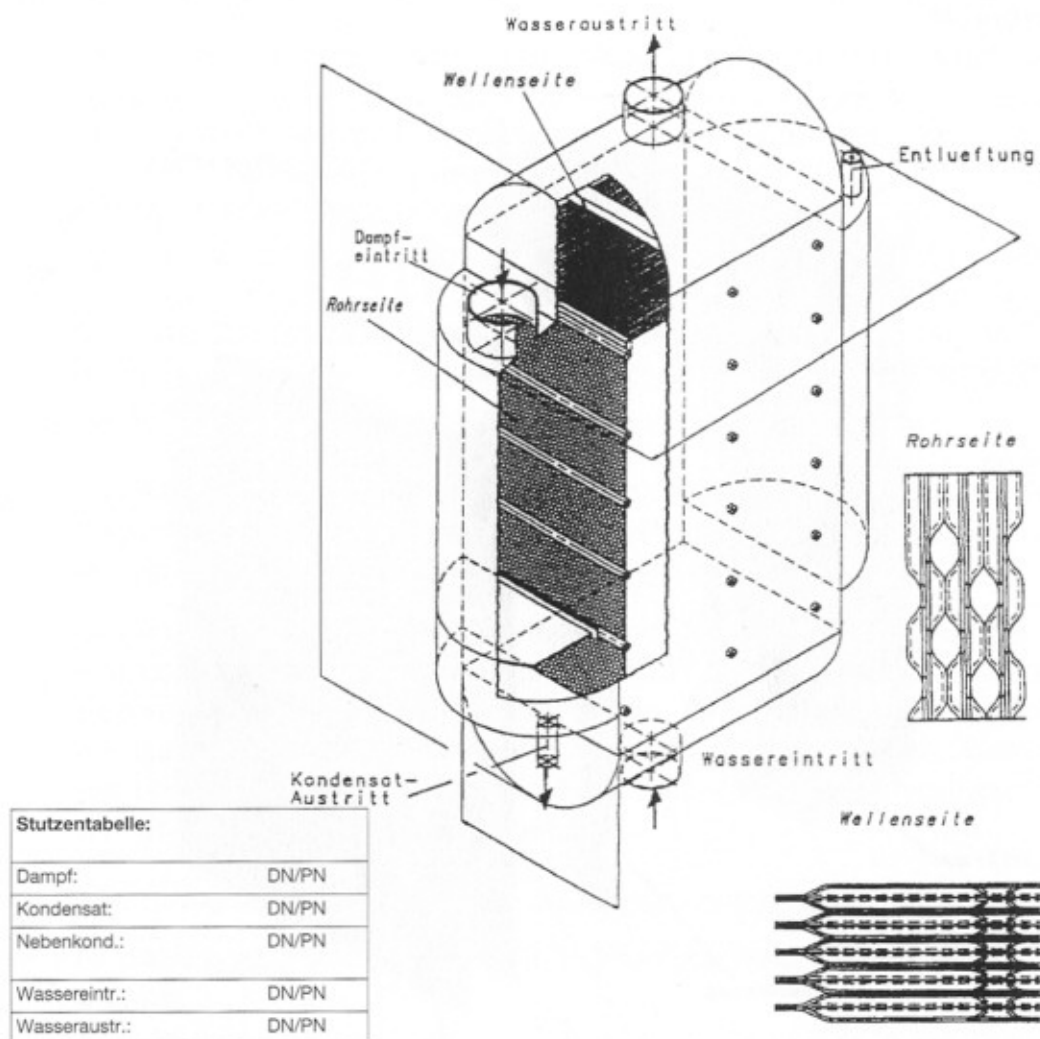


Bild 1: Heizvorwärmer in Hybridbauweise

¹⁾ Osama Nasser, OTTO HEAT, Heizungs-, Energie- und Anlagentechnik GmbH, Kreuztal

2 Schweißtechnik

Die Schweißtechnik mit ihren produktspezifischen Einrichtungen hat einen hohen Stellenwert im Wärmetauscherbau. Die Schweißbarkeit der Apparate ist abhängig von der Schweißbeignung 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 Fertigungsvorschriften und Bauprüfplänen.

Der Nachweis der Schweißsicherheit wird über Verfahrensprüfungen nach AD-Merkblatt HP 2/1 erbracht.

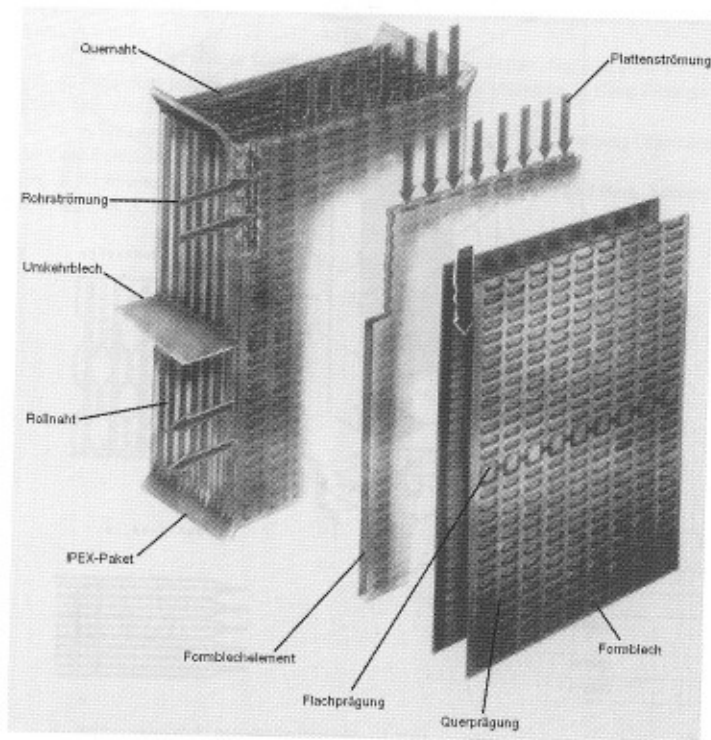


Bild 2: Aufbau eines Hybrid-Paketes

Für den Behälterbau werden die konstruktionsbedingten Rund-, Längs- und Kehlnähte untersucht.

Beim Wärmetauscherblock haben wir es mit immer wiederkehrenden Schweißnähten zu tun – es sind lediglich werkstoff- und wanddickenbedingte Änderungen der Schweißparameter zu beachten.

Schweißverbindungen am Wärmetauscherblock:

- Längsnähte an den Formblechelementen (⊖)
- Stirnflachnaht an den Quernähten (III)
- Anschlußnaht Block/Seitenwand (∟)
- Anschlußnaht Block/Anschlußblech (II)
- Ecknaht (~III)

3 Festigkeitsberechnung

Der HYBRID-Wärmetauscher ist ein Druckbehälter nach Paragraph 8 der Druckbehälterverordnung. Sein Einsatzgebiet in der Industrie für den Wärmetausch der unterschiedlichen Medien und Temperaturen reicht vom Gas/Gas-Wärmetauscher der Gruppe I bis hin zum Flüssigkeit/Flüssigkeit-Wärmetauscher der Gruppe V. Da das Druckinhaltsprodukt $p \times V$ in mehreren voneinander getrennten Druckräumen in den meisten Fällen Gruppe I und II übersteigt, so unterliegen diese Behälter vor Inbetriebnahme einer erstmaligen Prüfung durch den Sachverständigen einer technischen Überwachungsorganisation. Die Druckbehälter der Gruppen III, IV, VI und VII werden einer Vor-, Bau- und Druckprüfung unterzogen. Bei der rechnerischen Vorprüfung des HYBRID-Systems sind zwei unterschiedliche Bemessungskriterien zu beachten.

- Keine Rundbehälter – die spaltseitige Druckkraft im Wärmetauscherblock wird über Zuganker oder ähnlichem in zwei ebene Platten eingeleitet. Die Rohrseite wird ähnlich den Rundbehältern (Halbrohr) ausgeführt.
- Eingespannte Formblechelemente – eine Berechnung der Beanspruchung in den einzelnen Formblechelementen und die Kraftverteilung im Wärmetauscherblock läßt sich nur unter größtem Aufwand rechnen. Zum Nachweis der Sicherheit des Wärmetauscherblocks werden, in Absprache mit der technischen Überwachungsorganisation, über Berstversuche die Standsicherheit der Schweißverbindungen und des geprägten Blechmaterials getestet.

In Tafel 1 sind Versuchsergebnisse div. Berstversuche beschrieben.

- Ni-Basislegierungen (alloy C4, c 276, MONEL) nach AD-Merkblatt HPO – Werkstoffgruppe 7
- Titan Grad 1

In den Anwendungsbeispielen werden aus dieser Materialpalette die Werkstoffe der Tafel 2

Tafel 1: Berstversuchsergebnisse verschiedener Werkstoffe

Werkstoff Wandstärke Prägetiefe	Übergang elastisch/plastisch bar	Berstbereich Berstdruck bar
X6CrNiMoTi 17 22 2		Eckaufbaunaht (WEZ)
S = 0,8 mm PT = 4,00 mm	78	540
S = 0,6 mm PT = 2,75 mm	45	440
X2CrNiMoCuN 20 18 6		Rollnaht (WEZ)
S = 0,8 mm PT = 3,15 mm	85	370
S = 0,6 mm PT = 2,75 mm	60	350
NiMo16Cr16Ti		Rollnaht (WEZ)
S = 0,7 mm PT = 2,75 mm	60	530

4 Werkstoffe

Hier kommt die gesamte Materialpalette des konventionellen Wärmetauscherbaues nach AD-Merkblatt HPO zum Einsatz: Werkstoffauswahl: Entsprechend durchzusetzende Medien, atmosphärische Umweltbedingungen und konstruktive Anforderungen.

Für den Wärmetauscherblock, mit seiner Vielzahl an Formblechelementen im Wanddickenbereich von 0,2-1,0 mm, können alle tiefziehfähigen und gut verschweißbaren Materialien eingesetzt werden.

Im Regelfall werden folgende Werkstoffe verarbeitet:

- Austenitische Stähle nach AD-Merkblatt HPO – Werkstoffgruppe 6
- Austenitische Sonderstähle nach AD-Merkblatt HPO – Werkstoffgruppe 7
- Ni-Basislegierungen (alloy C4, C276, MONEL) nach AD-Merkblatt HPO-Werkstoffgruppe 7
- Titan Grad 1

In den Anwendungsbeispielen werden aus dieser Materialpalette die Werkstoffe der Tafel 2 angesprochen.

Tafel 2

Kurzname DIN	Werkstoffe		Chemische Zusammensetzung (Massenteile in %)							
	Werkstoff- Nr.	nach DIN/Vd: TÜV Wbl	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	sonstiges	
x 6 CrNiMoTi	1.4571	DIN	=	=	=	16,5	10,5	2,0	Ti 5 x % C bis 0,80	
17 12 2		17 44 0	0,08	1,0	2,0	18,5	13,5	2,5	N=0,12-0,22	
X 2 CrNiMoCuN		Vd TÜV Wbl.:	=	=	=	19,5	17,5	6,0	Cu=0,5-1,0	
20 18 6		473	0,02	0,8	1,0	20,5	18,5	6,5	N=,18-0,22	
NiMo16Cr16Ti	2.4610	Vd TÜV Wbl.:	=	=	=	14,5	58	14,0	Ti = 0,70	
		424	0,009	0,05	1,0	17,5	17,0	17,0	Fe = 3,0 Co = 2,0	

5 Konstruktive und fertigungstechnische Details

Die Fertigung dieser Apparate unterteilt sich in drei Fertigungsabschnitte:

- a) Paketfertigung
- b) Blockfertigung
- c) Gehäusefertigung

An einem ausgewählten, repräsentativen Apparat wird nachfolgend auf wesentliche konstruktive und fertigungstechnische Details eingegangen (Bilder 1, 2, 3 und 4):

Zu a) Paketfertigung

Zuerst werden die Formbleche (Pos. 1, Bild 3) auf einer Presse geprägt. Die Prägetiefe sowie Formblechlänge ergibt sich aus den thermodynamischen Anforderungen (wärmetechnische und strömungsmechanische Auslegung), die der Kunde vorgibt.

Danach werden paarweise die geprägten Formbleche über ein Rollnahtschweißverfahren auf der Längsseite beidseitig zu Formblechelementen verbunden.

Beim Rollnahtschweißen werden die Schweißparameter in einem Schweißversuch ermittelt und stichprobenweise über Zwei-Kanal-Schreiber überprüft. Bei Vollast im Betrieb ist auf Stromschwankungen zu achten. Eine permanente Überwachung der Rollnahtschweißbereiche in Bezug auf Öl- und Schmiermittelreste ist, trotz vorhandener Dampfentfettungsanlage, zu beachten. Auch kann die Oberflächenbeschaffenheit der einzelnen Chargen eine Beeinflussung der eingestellten Schweißparameter bewirken. Hier helfen nur permanente Aufschreibungen, Kurzschweißversuche in der laufenden Fertigung, gute Unterweisung durch die Schweißaufsicht.

Zu b) Blockfertigung

In einer Paketierungsvorrichtung werden die Formblechelemente einzeln eingestapelt, auf Stapelhöhe plus Schweißzugabe gepreßt. Zwischen zwei dünnwandigen Seitenblechen (Pos. 5, Bild 3) wird das fertige Paket (Pos. 3) eingelegt und mittels einer Spannvorrichtung auf Stapelhöhe zusammengedreht.

Danach werden die Schraubenhülsen (Pos. 6, Bild 3) eingepaßt und in die Seitenbleche geheftet und eingeschweißt.

Hier ist auf die genau festgelegte Lage der Heftstelle zu achten. Ein allgemeiner Hinweis: Unkontrolliert eingebrachte Heftstellen verursachen in der Regel nur Nacharbeit oder eine verminderte Schweißnahtgüte.

Mit je einem Halbautomaten werden an beiden Seiten die Quernähte fallend ohne Zusatzwerkstoff beim 1.4571 mit dem WPL-Verfahren geschweißt. Es ist auf die satte Auflage der Bleche zu achten und der Anpreßdruck der Cu-Backen der Werkstoffqualität und Wanddicke anzupassen. Kleine Luftspalte führen zu Bindefehlern, ungenügend gepreßte Bleche haben einen Luftangriff wurzelseitig mit den bekannten Begleiterscheinungen im hochlegierten Werkstoffbereich. Die gleichen Voraussetzungen müssen für das Schweißen mit Schweißzusatzwerkstoffen beim X 2 Cr Ni Mo Cu N 20 18 6 geschaffen werden. Hier werden die Stirnflachnähte in q-Position geschweißt. Dem Schweißer muß die Notwendigkeit des Schweißzusatzwerkstoffes bekannt sein – ein Verlassen der Naht ohne Zusatzwerkstoff ist für ihn einfacher. Eine visuelle Kontrolle durch die Schweißaufsicht ist in regelmäßigen Abständen durchzuführen.

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. Auf eine gute Nahtvorbereitung muß hier speziell geachtet werden. Mit Sonderwerkzeugen wurden die geringen Spalte und Kantensersatz bei den I-Stößen vor Schweißbeginn vom Schweißer noch nachbehandelt. Die Wurzellage wird mit dem WPL-Verfahren bei einer Stromstärke von 10-20 A, die Aufbaunähte werden, je nach Ausführung der Wurzellage, mit dem WPL- oder WIG-Verfahren geschweißt.

Es ist auf die Parallelität der beiden Nähte (Anschluß Profile) und die Einhaltung des Höhenmaßes (Stapelhöhe) zu achten. Für diese Arbeiten werden die Schweißer gesondert geschult und – über Farbeindringprüfung und Begutachtung der Fehlerhäufigkeit bei den Dichtheitsprüfungen – überwacht. Die entsprechenden Vorgaben im Schweißfolgeplan mit Angabe der Schweißzugaben basieren auf Erfahrungswerten aus Voraufträgen und Auswertungen von durchgeführten Schweißversuchen.

Es ist auf die Parallelität der beiden Nähte (Anschluß Profile) und die Einhaltung des Höhenmaßes (Stapelhöhe) zu achten. Für diese Arbeiten werden die Schweißer gesondert geschult und – über Farbeindringprüfung und Begutachtung der Fehlerhäufigkeit bei den Dichtheitsprüfungen – überwacht. Die entsprechenden Vorgaben im Schweißfolgeplan mit Angabe der Schweißzugaben basieren auf Erfahrungswerten aus Voraufträgen und Auswertungen von durchgeführten Schweißversuchen.

Zu c) Gehäusefertigung

Zunächst werden die rohrseitigen Hauben (Pos. 7 und 8, Bilder 1 + 2) mit den entsprechenden systemseitigen Anschlußstutzen (Pos. 13 und 14, Bild 1) sowie, falls erforderlich, mit entsprechenden Umlenklechen (Pos. 10, Bild 1) zwischen die Stirnbleche (Pos. 9) eingepaßt und verschweißt.

Danach erfolgt die Anpassung der wellenseitigen Hauben (Pos. 12) mit den notwendigen systemseitigen Anschlußstutzen (Pos. 15 und 16, Bild 1) an die Stirnbleche (Pos. 9) und Seitenbleche (Pos. 5) sowie die Verschweißung der entsprechenden Bauteile.

Zum Abschluß werden die beiden Druckhalteplatten (Pos. 17, Bild 4) mit der entsprechenden Tragkonstruktion (Tragpratzen oder Fußkonstruktionen Pos. 18, Bild 4) montiert.

Die Druckhalteplatten liegen auf den beiden Seitenblechen (Pos. 5) und werden mit Zugankerschrauben, die durch die Schraubhülsen (Pos. 6) geführt werden, mit einem erforderlichen Anzugsdrehmoment zusammengehalten (siehe Bild 4).

Vorteile dieser Konstruktion mit Druckhalteplatten ergeben sich vor allem bei Edelstahlwärmetauschern, wodurch der Edelstahlanteil drastisch verringert werden kann. Durch die gewählte Konstruktion wird erreicht, daß die Seitenbleche (Pos. 5) aus dünnwandigem Edelstahl gefertigt werden können, da diese keine tragende Funktion mehr ausüben haben. Diese Edelstahlteile dienen somit lediglich dem eigentlichen Korrosionsschutz, während die Festigkeits- und Stabilitätsaufgaben durch die Druckhalteplat-

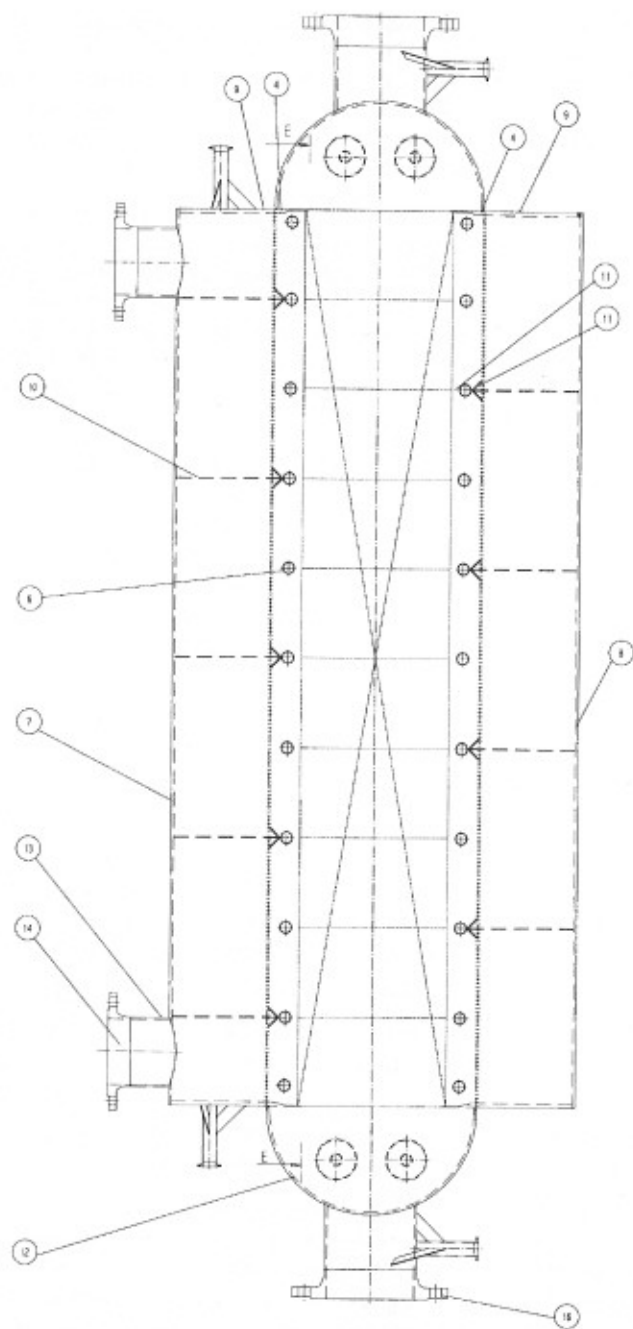


Bild 3: Vorderansicht Block

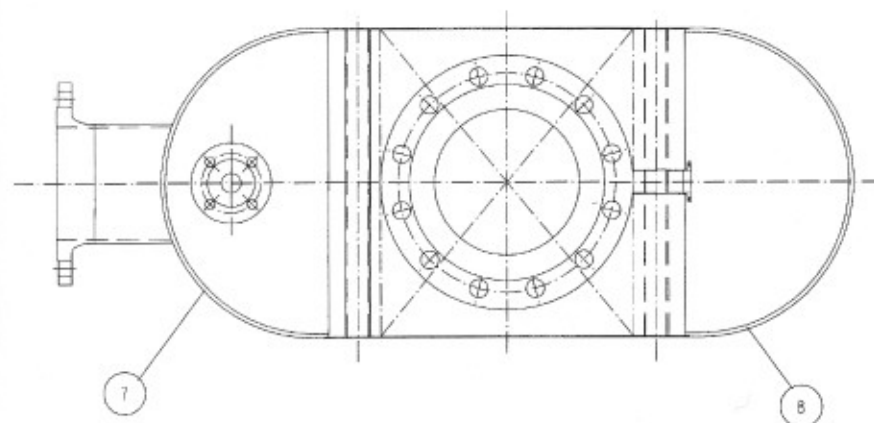


Bild 4: Draufsicht Block

ten (Pos. 17) übernommen werden. Diese können aus unlegiertem Material (z. B. P265 GH) gefertigt werden, da sie nicht mit den Medien in Berührung kommen.

Da die Druckhalteplatten mit dieser Einheit (Paket Pos. 3, Seitenbleche Pos. 5 und Hauben Pos. 7, 8 und 12) nicht verschweißt sondern verschraubt sind, kann diese sich bei Wärmeeinwirkung frei ausdehnen. Dadurch können höhere Temperaturdifferenzen zwischen den beiden aneinander vorbeigeführten Medien als auch zwischen dem jeweiligen Medium und der Umgebung problemlos aufgenommen werden.

Dieser Plattenwärmetauscher kann somit bei gleicher Funktionssicherheit und Korrosionsbeständigkeit auch für Medien mit höheren Temperaturdifferenzen eingesetzt werden.

Schrifttum

- [1] Nasser, O.: „Hybridwärmetauscher“, Vulkan Verlag, Wärmeaustauscher 2. Ausgabe 94
- [2] Nasser, O.; Morgenroth, B.: „Hybridwärmetauscher als Verdampfer“, Vulkan Verlag, Wärmeaustauscher 2. Ausgabe 94
- [3] Nasser, O.: „In allen Dimensionen variabel“, Konradin Verlag, CAV Ausgabe 5.96
- [4] Nasser, O.: „Das Material ist entscheidend“, Vogel Verlag, Process Ausgabe 7/8.96
- [5] Nasser, O.: „Hybrid-Wärmeübertrager“, VWEV-Verlag, Fernwärme international Ausgabe 10.96

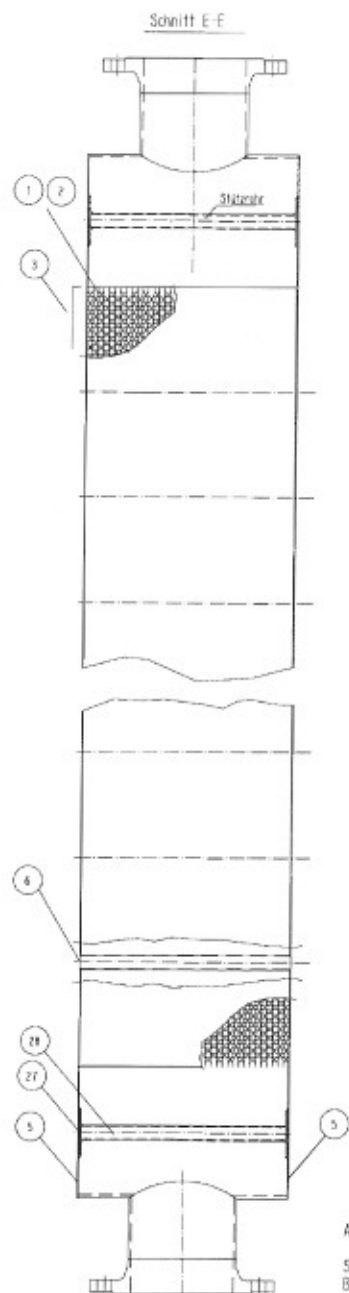


Abb. 3
Seitenansicht
Block

Bild 5: Seitenansicht Block

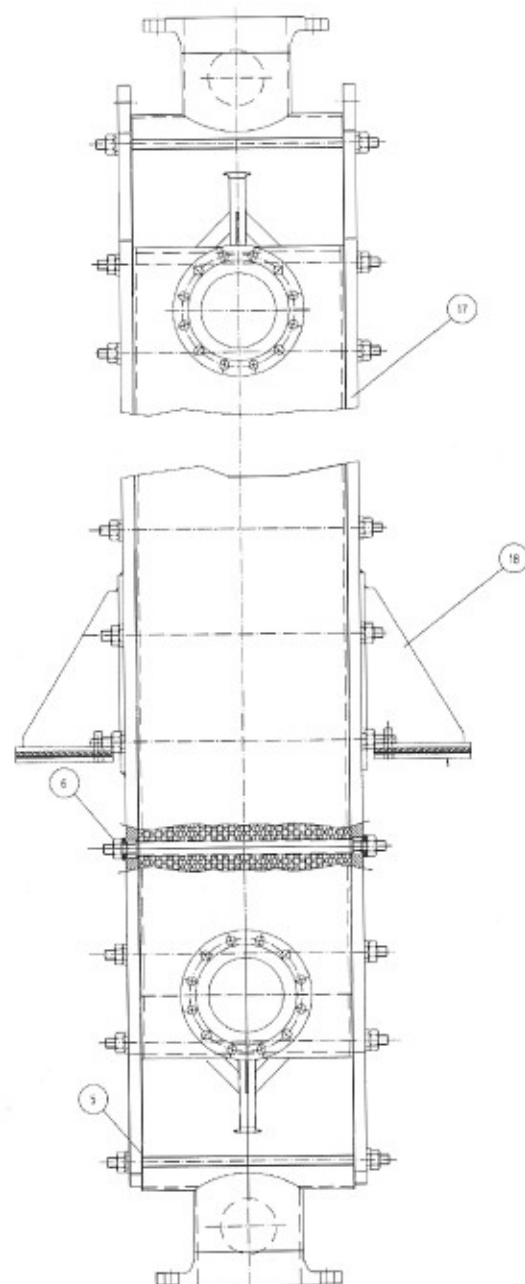


Bild 6: Vorderansicht Disposition