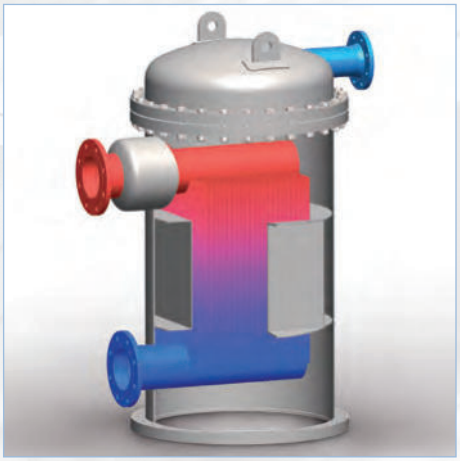
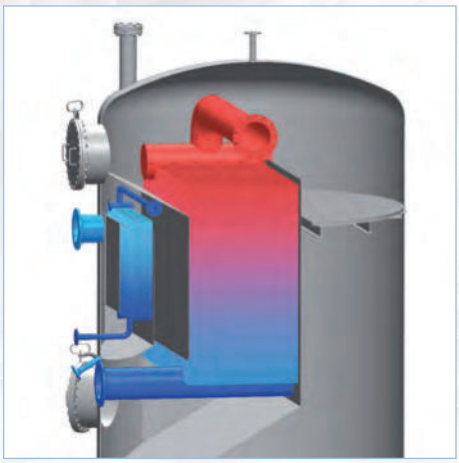
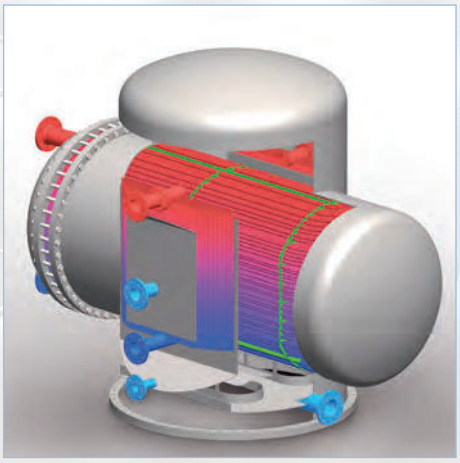






22 Jahre
WTP-System®

LOB
ENGINEERING & APPARATEBAU

Inhaltsverzeichnis

	22 Jahre WTP-System® – Einblicke und Ausblicke	4
1.	**Aufbau des WTP-Systems®**	6
2.	**Fallfilmverdampfer mit WTP-System®**	8
2.1	Fallfilmverdampfer in Plattenbauweise	8
2.2	Vergleich Fallfilmverdampfer	12
2.3	Fallfilmverdampfer in Rohrbündelbauweise	14
3.	**Kondensatoren mit WTP-System®**	16
3.1	WTP-Kopfkondensatoren	16
3.2	WTP-Kopfkondensatoren mit Nachkondensator	18
3.3	WTP-Kondensatoren mit gleichzeitiger Dampferzeugung	20
3.4	WTP-Kopfkondensatoren im Gegenstrom (Reflux)	22
3.5	WTP-Kondensatoren in separaten Behältern	24
3.6	WTP-Plattenkondensatoren – liegend	26
3.7	WTP-Kühlfallen	28
3.8	WTP-Hybridkondensatoren	30
3.9	WTP-Kondensatoren – übereinander	32
3.10	WTP-Kondensatoren mit hohem Flüssiganteil	33
4.	**Gas-Gas-Kreuzgegenstrom-Wärmetauscher mit WTP-System®**	34
5.	**Flüssig-Flüssig-Wärmetauscher mit WTP-System®**	36
6.	**Feststoffkühler mit WTP-System®**	38
7.	**Rührwerksbehälter mit WTP-System®**	40
7.1	Rührwerksbehälter mit WTP als Behälterbeheizung	40
7.2	Rührwerksbehälter mit gekühlten Stromstörern	42
7.3	Verbindungen von WTP-Räumen mit Ringleitung und Endlos-WTP	44
8.	**WTP-System® auf der Innenseite eines Behälters**	46
9.	**Behälter und Klemmplatten mit WTP-System®**	48
10.	**Technologie-Vergleiche**	50
10.1	Vergleich WTP-System® und Doppelmantel	50
10.2	Kondensator mit Umlaufverdampfer in der Platte	52
10.3	Vergleich WTP-Plattenkondensator und Rohrbündel	54
11.	**LOB Auslegungsprogramme**	56

22 Jahre WTP-System® – Einblicke und Ausblicke

Als innovativer Apparatebauer, der seit über 90 Jahren Behälter und Apparate für die chemische Industrie fertigt, haben wir uns vor 22 Jahren auf die Übertragung von Wärme mit dem **WTP-System® (Wärmetauscherplatten-System)** spezialisiert. Sowohl wir als auch unsere Kunden erkannten schnell die Vorteile des Systems. Es entstand ein Dialog, der viele neue Ideen und Anwendungsmöglichkeiten hervorbrachte. Zunächst fertigten wir WTP-Behälter, WTP-Klemmplatten, WTP-Rohrleitungen und WTP-Stromstörer.

Durch hunderte Versuche ermittelten wir zunächst die Druckfestigkeit und die Verformungsmöglichkeiten des WTP-Systems. Die nächste Aufgabe war es, die wärmetechnische Leistungsfähigkeit sowie die Druckverluste des WTP-Systems zu bestimmen, um dann mit diesen Daten die benötigten WTP-Flächen und Schweißraster für die Behälter zu ermitteln, damit das WTP-System auch energieeffizient betrieben werden konnte. Wir entwickelten aus diesem Wissen unser erstes Patent „WTP-Endlos“, das es ermöglicht, hohe Mengen an Medium bei minimalen Druckverlusten und hohen Wärmedurchgangszahlen durch das WTP-System zu leiten.

Mit den gewonnenen Daten hatten wir dann eine erste Basis geschaffen, auch WTP-Kopfkondensatoren auslegen, berechnen und fertigen zu können. Um diesen Bereich auszubauen, gründeten wir die Abteilung **LOB–Engineering**, die sich ausschließlich mit der Prozesstechnik beschäftigt und eigene Auslegungsprogramme entwickelt. Es folgten viele weitere Versuche, aus denen sich dann unter anderem der Kopfkondensator als Umlaufverdampfer zur Dampferzeugung und die Anwendung als Kühlfalle entwickelten. Konsequenterweise kamen dann Gas-Gas Kreuzgegenstrom-Wärmetauscher in rechteckiger Bauart hinzu, die bei hohem inneren und äußeren Überdruck arbeiten und die durch eine kompakte Bauweise und einen geringen Druckverlust überzeugen.

Parallel entwickelt sich auch das „WTP-System innen“, was bedeutet, dass der WTP-Mantel vom Außenmantel des Behälters auf den Innenmantel des Behälters verlegt wird. Dies hat insbesondere bei Druckbehältern mit hohen Drücken und entsprechend starken Wanddicken den Vorteil, dass die Wärme nicht mehr durch das dicke Mantelblech transportiert werden muss, sondern nur noch durch den vergleichsweise dünnen WTP-Mantel. Dies hat zur Folge, dass die Batchzeiten halbiert werden können.

Eine weitere Entwicklung ist der WTP-Fallfilmverdampfer, der gegenüber herkömmlichen Rohrbündelverdampfern viele Vorteile hat, wie z.B. geringeres Gewicht und Kosten; darüber hinaus sind diese Apparate gut zu reinigen. Auch haben wir die Werkstoffpalette ständig erweitert und können das WTP-System heute von Normalstahl bis hin zu Titan liefern.

Diese Broschüre beschreibt nur einen kleinen Auszug der vielfältigen Einsatzgebiete für das WTP-System und soll gleichzeitig Anregungen und Ideen für Ihre Anwendungen geben. Wir freuen uns auf Ihre Aufgabenstellungen. Uns macht Entwicklung Spaß.

Ihr LOB-Team

ENGINEERING & APPARATEBAU

LOB GmbH · Porzer Straße 1-5 · D-51107 Köln
Tel.: +49/221/82953-0 · Fax: +49/221/82953-40
E-Mail: info@lob-gmbh.de · www.lob-gmbh.de

März 2018

5.000 kg

1. Aufbau des WTP-Systems®

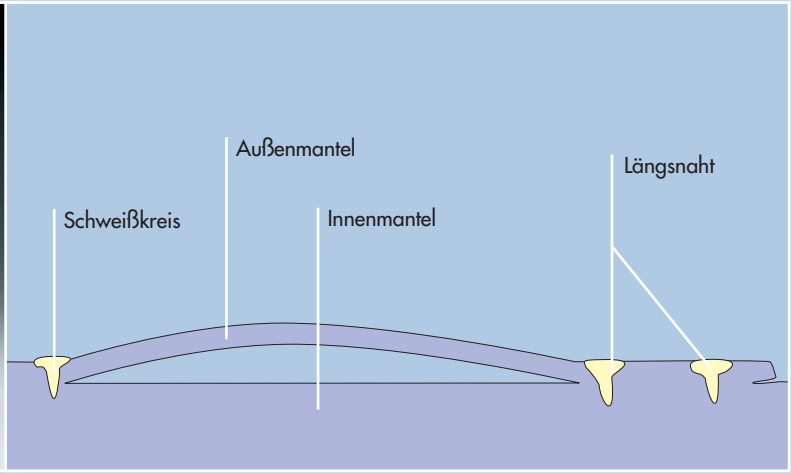
Technische Grundlagen

Das WTP-System® gibt es wahlweise als Behältermantel mit einseitig drucktragendem Unterblech und in Plattenbauweise mit beidseitig aufgeweiteten Blechen, wie beispielsweise bei Kondensatoren. Einsetzbar ist das WTP-System® mit einem Betriebsüberdruck von 50 bar und einer Temperatur von 500 Grad C und darüber hinaus. Die Wärmeübergänge in den Platten lassen sich durch entsprechende Aufweitung einstellen und liegen im technischen Einsatzbereich von 500 W/(m²K) bis 9.000 W/(m²K) und darüber. Hohe Wärmeübergangskoeffizienten α gehen aber einher mit höheren Druckverlusten und sind generell bei der Wärmeübertragung nicht von Vorteil.

Das Prinzip des WTP-Systems® beruht darauf, dass bei einem Druckbehälter vor der Verformung ein 1,5 mm bis 3 mm Blech auf den Behältermantel aufgebracht wird, das dann mittels kreisförmiger Laserschweißung mit dem drucktragenden Innenmantel verbunden wird. Der Außenmantel wird nach Fertigstellung durch Druck aufgeweitet, wodurch einseitige gleichmäßige Hohlräume entstehen. Durch diese Hohlräume können verschiedene Medien geleitet werden, wie beispielsweise Wärme- und Kälteträgermedien oder Gase. Zusätzliche Lasernähte können durch die Verbindung einzelner Schweißkreise eine zwangsweise Umlenkung des Wärmeträgermediums im Mantel erzeugen. Die Schweißnähte fungieren dabei als Zuganker, so dass bei dünnen Blechstärken hohe Drücke aufgenommen werden können.

Die Schweißkreise können hintereinander oder versetzt angeordnet werden. Der Schweißkreisdurchmesser und die Aufweitung können variiert werden. Daher sind die Gestaltungsmöglichkeiten beim WTP-System® wesentlich höher als bei Rohren oder Rohrbündeln und können so auf die Erfordernisse angepasst werden.

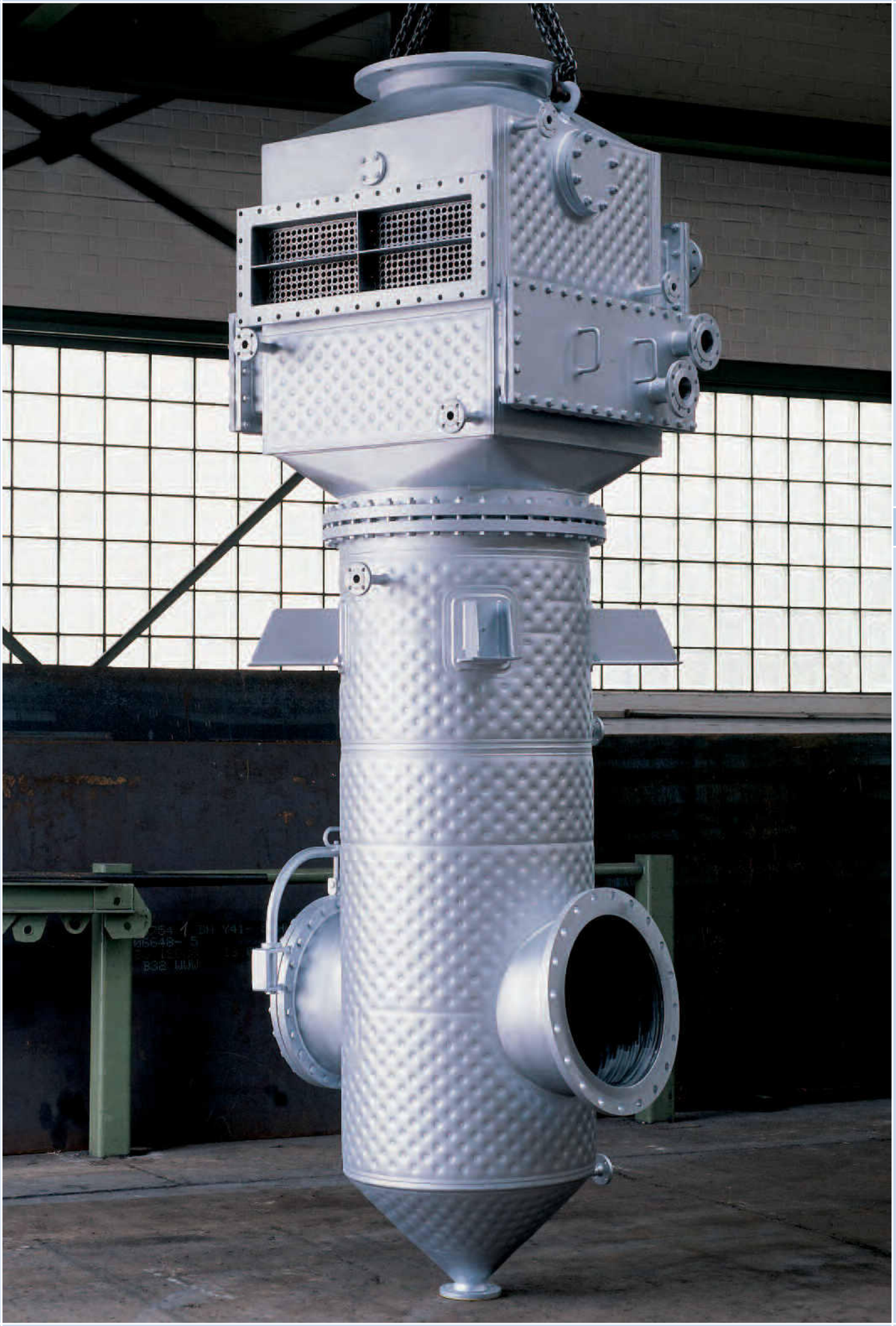
Schnitt durch das WTP-System am Rohr, Ø 114 mm



Schweißverbindung

Bei WTP-Platten werden zwei gleich starke 1,5 mm bis 2 mm dicke Bleche zunächst in gestrecktem Zustand aufeinandergepresst und mit Schweißkreisen verbunden. Nach dem Aufpressen mit Druck entsteht die charakteristische doppelt aufgeweitete Kissenform. Der Aufweitdruck liegt bei weitem höher als der spätere Betriebsdruck, wodurch eine Druckprobe schon bei der Fertigung vorweggenommen wird. Die so aufgeweiteten Bleche können zu Kondensatorpaketen verbunden und mit Sammler oder Verteilerrohren als Kühlwasserein- und auslass versehen werden.

Das WTP-System® kann von uns – falls erforderlich – entsprechend den Regelwerken, nach DIN EN 13445 (AD Regelwerk) oder nach ASME Code, sowohl aus austenitischen Stählen als auch aus Nickelbasiswerkstoffen hergestellt werden.



WTP-Gaskühler mit Kopfkondensator

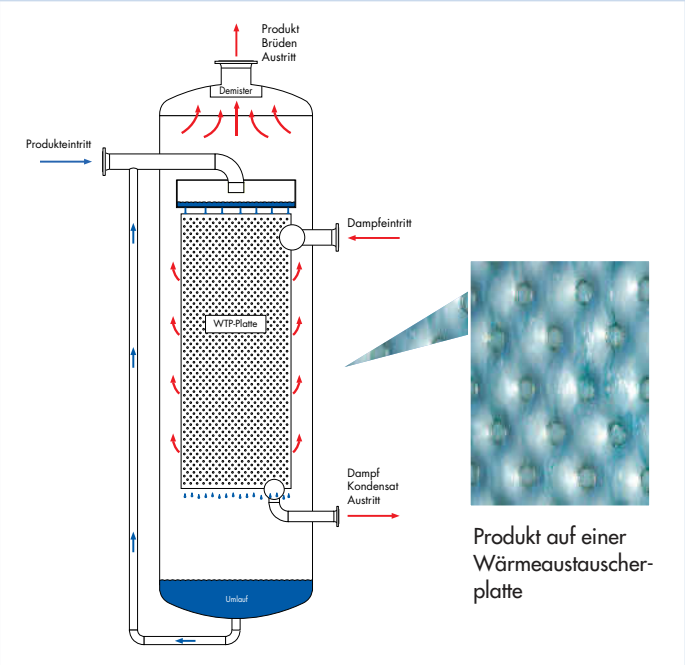
2.1 Fallfilmverdampfer in Plattenbauweise

Der eingesetzte Fallfilmverdampfer in WTP-Plattenbauweise ist Bestandteil einer Produktionsanlage, dient aber auch dazu, mit einer weiten Spannbreite an einstellbaren Betriebsdaten die einzelnen Bauteile des Fallfilmverdampfers in ihrer Leistungsfähigkeit zu testen.

Das eingesetzte Produkt neigt zu extremen Verkrustungen, die durch hohe Flüssigkeitsraten, die über der normalen Rate liegen, abgespült werden sollen. Der Flüssigkeitsverteiler wurde entsprechend der Schwankungsbreiten der Berieselungsdichten dimensioniert. Die Funktionstüchtigkeit eines Fallfilmverdampfers auf Plattenbasis hängt entscheidend von der Flüssigkeitsaufgabe am Einlauf auf das Plattenpaket ab. LOB besitzt eine Versuchsanlage, in der die Verteilersysteme für unterschiedliche Produkte dimensioniert und getestet werden können. Das Verteilersystem wurde für diesen Anwendungsfall in geschlossener Bauart so gestaltet, dass die Rohre unter Druck gespült werden können. Die Verdampfungstemperatur soll zu Testzwecken mit unterschiedlichen Sattdampfdrücken variiert werden können. Das führt zu spezifischen, stark schwankenden Heizflächenbelastungen mit Dampfmengen, die von den WTP-Platten in der Dimensionierung abgefangen werden müssen.

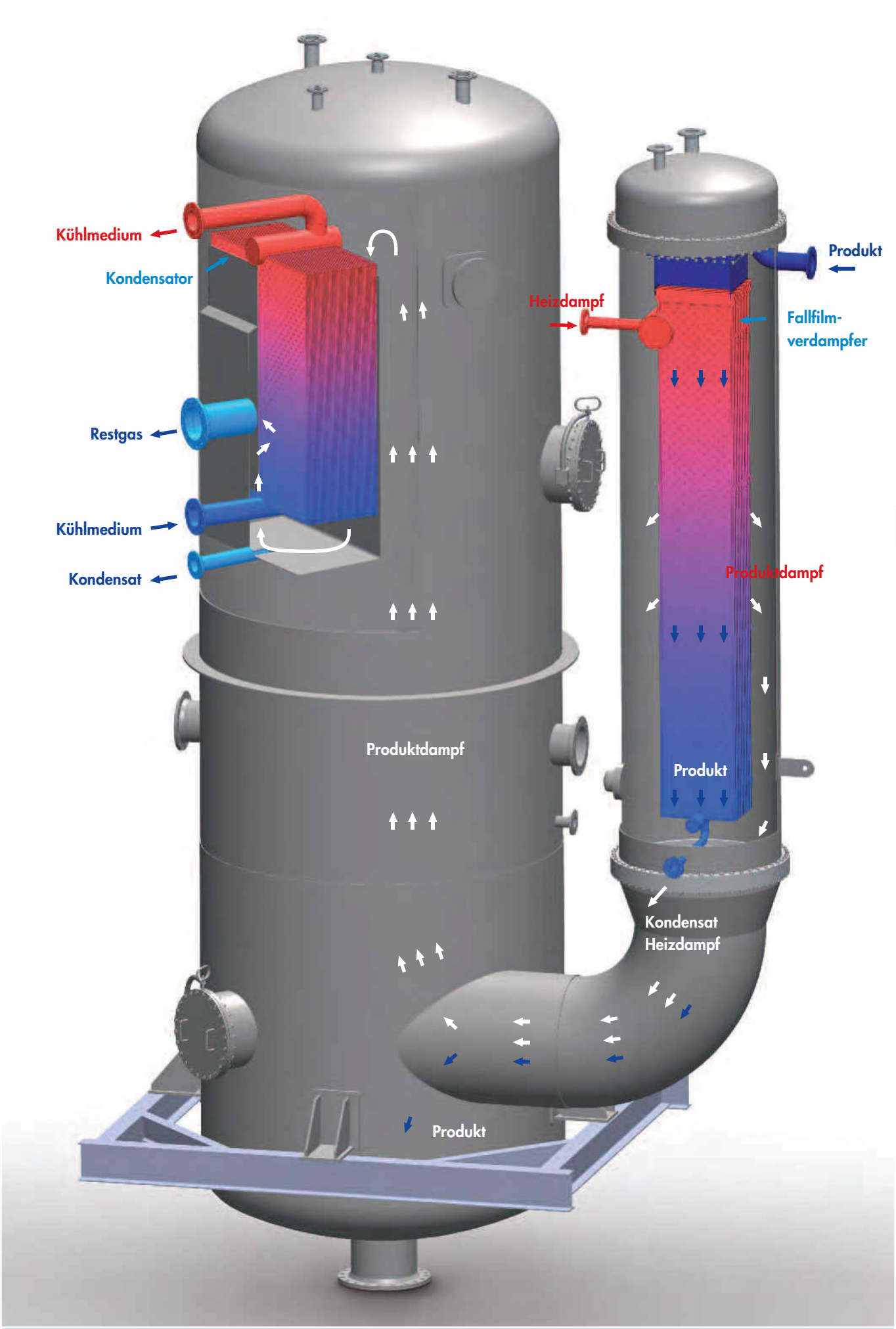
Anders als beim Rohrbündelverdampfer, bei dem das verdampfte Produkt zusammen mit der Flüssigkeit im Rohr nach unten geführt wird, kann bei einem Plattenverdampfer das dampfförmige Produkt direkt bei der Entstehung seitlich quer aus dem Plattenpaket austreten. Hierdurch entsteht wegen der kleinen Lauflänge entsprechend der halben Plattenbreite nur ein geringer Druckverlust.

Dies ist von Vorteil, wenn der gesamte Prozess bei niedrigen Drücken abläuft und sehr geringe Druckverluste gefordert werden. Der gesamte Strom aus verdampftem Produkt und Flüssigkeit kann dann nach unten abziehen oder der Dampfanteil verlässt den Verdampfer direkt nach oben, während die Flüssigkeit nach unten gelangt und so in den nachgeschalteten Prozess geführt wird.



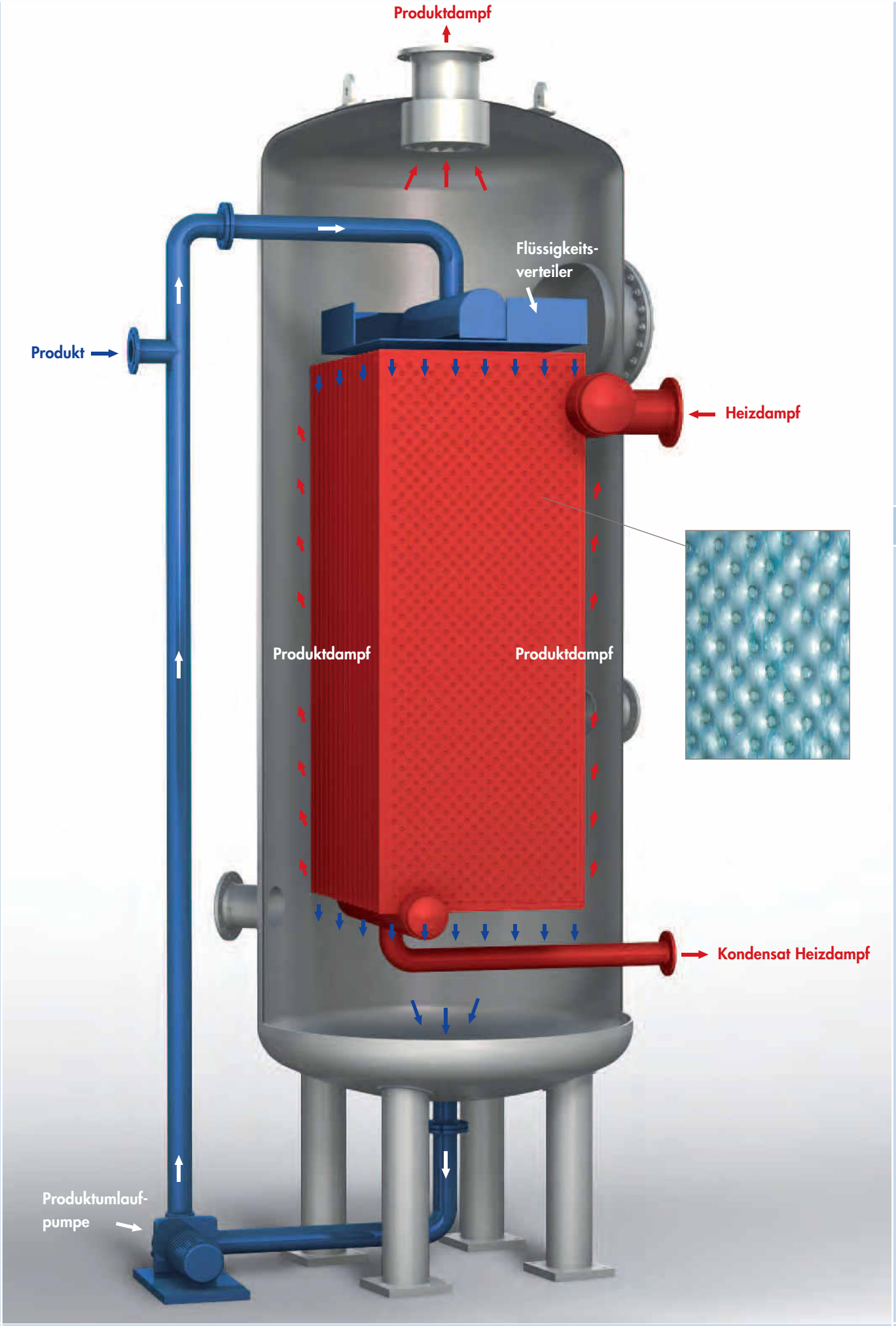
Funktionsprinzip Fallfilmverdampfer

Der Kompensator im Mantel entfällt bei einem Fallfilmverdampfer in Plattenbauweise. Eventuell ist ein kleiner Kompensator in der Dampfzuleitung erforderlich. Eine Austauschbarkeit des Plattenpaketes kann gegenüber einem Rohrbündel konstruktiv vorgesehen werden. Kurze Beschaffungszeiten sowie geringere Kräfteeinwirkung auf die Kolonne runden insgesamt den Vorteil eines Plattenverdampfers ab. In der Regel liegen die spezifischen Leistungsdichten beim Plattenfallfilmverdampfer zwischen 5 und 7 kW/m² und es können Berieselungsdichten von 2 m³/(hm) und darüber hinaus gefahren werden. Ein weiterer Vorteil ist, dass der Plattenfallfilmer ziehbar gestaltet werden kann, wodurch ein Reinigen der Platte möglich ist. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, durch Gestaltung der Flüssigkeitsverteiler auch hochviskose Produkte auf die Platte aufzugeben.



Fallfilmverdampfer mit Kolonne und Kopfkondensator

WTP-Plattenpaket eines Fallfilmverdampfers, Länge 4.200 mm



Funktionsprinzip Fallfilmverdampfer

2.2 Vergleich Fallfilmverdampfer

Vergleich Fallfilmverdampfer: Rohrbündel und WTP-Platte

In einer von uns durchgeführten vergleichenden Studie hat sich gezeigt, dass ein Fallfilmverdampfer in Plattenbauweise einen Kosten- und Gewichtsvorteil gegenüber einem Rohrbündel-Fallfilmverdampfer aufweist. Der Vorteil kann bis zu 40 % Kostenersparnis und 70 % Gewichtsreduzierung betragen.

Fallfilmverdampfer mit Rohrbündeln

Fallfilmverdampfer herkömmlicher Bauart bestehen aus einem vertikalen Rohrbündel mit einer Rohrlänge von 4 bis 10 m. Das Heizmedium, in der Regel Wasserdampf, wird bei hohen Temperaturen und Drücken um die Rohre geführt, während das Produkt in den Rohren unter geringem Druck nach unten läuft. Die Rohre sind oben und unten in Rohrplatten eingeschweißt, die die Druckdifferenz zwischen Heizmedium und Produkt festigkeitsmäßig abfangen müssen. Am Kopf des Wärmetauschers wird die Flüssigkeit über ein Verteilersystem in die einzelnen Rohre eingeleitet. Ein Teil der Flüssigkeit verdampft an der inneren Rohrwand und verlässt den Fallfilmverdampfer in einem Dampf-Flüssigkeitsgemisch nach unten am Ende der Rohre.

Fallfilmverdampfer mit Wärmetauscherplatten (WTP-Platten)

Bei einem Fallfilmverdampfer mit Wärmetauscherplatten wird das Rohrbündel durch ein Plattenpaket als Heizelement ersetzt. Das Heizmedium wird dabei in den Platten geführt, während ein Teil des Produktes zwischen den Platten auf dem Weg nach unten verdampft und mit der Flüssigphase nach unten abläuft. Im Gegensatz zum Rohrbündel, bei dem der Brüden mit Flüssigkeit zwangsgeführt in den Rohren nach unten geleitet wird, kann bei Fallfilmverdampfern mit WTP-Platten der Produktstrom so geführt werden, dass der entstehende Dampf über die Höhe direkt beim Verdampfen seitwärts das Heizpaket verlässt und nach oben über einen Gasaustritt mit Demister den Fallfilmverdampfer verlässt. Ein geringer Druckverlust kann somit erreicht werden.

Fallfilmverdampfer ø 1.260 mm x 3.000 mm

Vergleich Verdampfer mit Wärmetauscherplatten und mit Rohrbündel

Durch die spezielle Bauform der Fallfilmverdampfer mit Platten als Heizelemente und der Prozessführung ergeben sich erhebliche Gewichts- und Kostenersparnisse, die folgendermaßen zu begründen sind:

Beim Rohrbündel wird der Heizdampf im Mantel geführt, bei WTP dagegen in den Platten. Das Produkt läuft beim Plattenfallfilmverdampfer statt in den Rohren im Außenraum zwischen den Platten und dem Mantel. Da das Produkt bei niedrigeren Drücken vorliegt, kann der Mantel eines Plattenverdampfers mit geringerer Wandstärke ausgelegt werden.

Beim Rohrbündelverdampfer wird der Druckunterschied zwischen dem Mantelraum und den Rohren durch starke Rohrplatten und Mantelwandstärken abgefangen. Rohrplatten werden beim Fallfilmverdampfer auf Plattenbasis nicht benötigt, da der hochgespannte Heizdampf in den Platten geführt wird. Im Vergleich zu den Wandstärken von 4 mm bei den Rohren zum Abfangen der auftretenden Kräfte zwischen den Rohrböden, reichen die verwendeten Blechstärken der Platten mit 1,5 mm bis 2 mm aus, um den Innendruck aufzunehmen.

Grund hierfür sind die durch das Raster der Schweißkreise bedingten geringeren Beullängen.

Display eines Fallfilmverdampfers
– das Video dazu finden Sie bei YouTube:
www.youtube.com/watch?v=w_oFXt7WKtQ

Kondensator ø 800 mm x 4000 mm, Fertigung nach ASME-Code

2.3 Fallfilmverdampfer in Rohrbündelbauweise

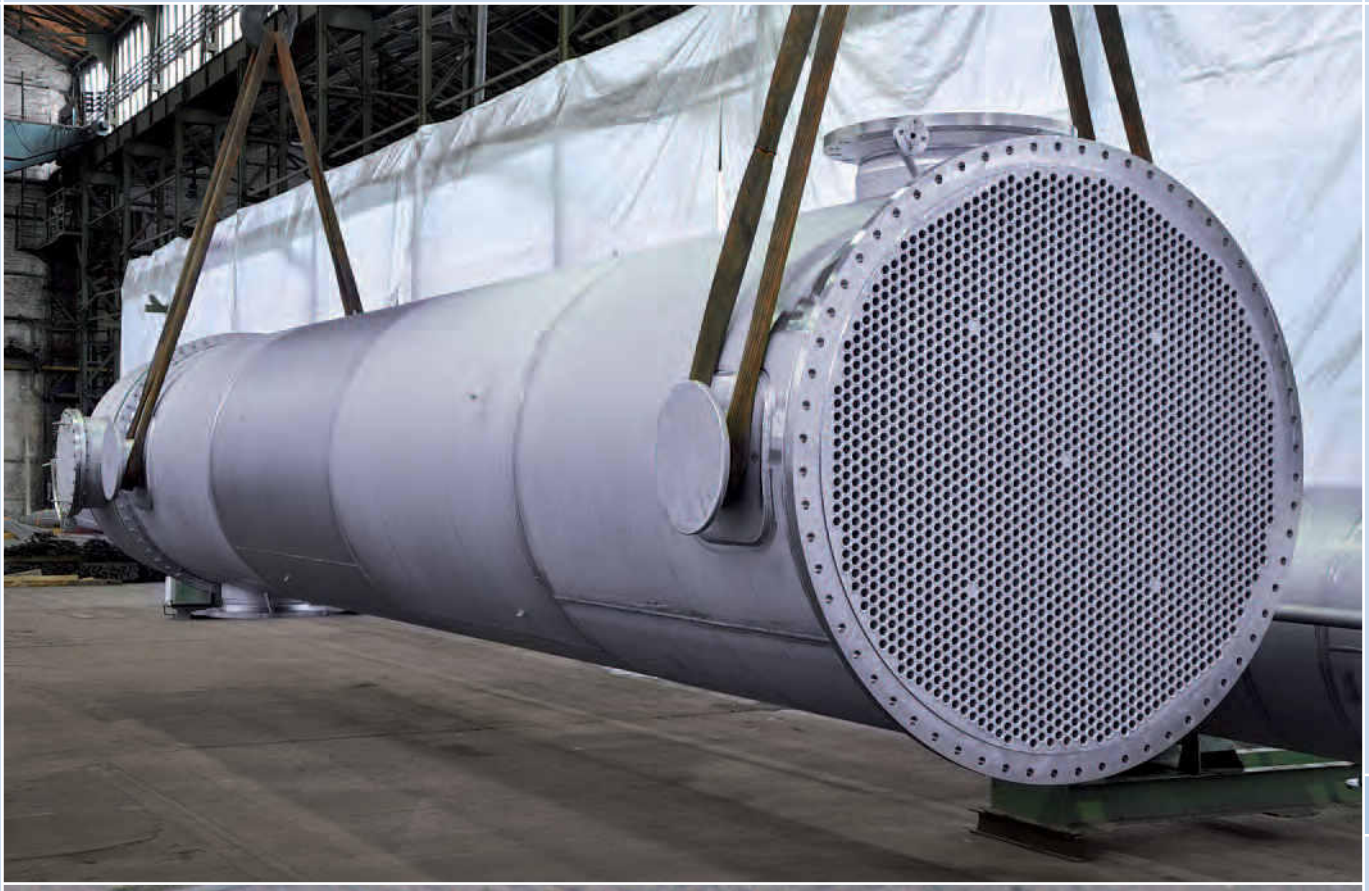
LOB hat einen Fallfilmer in Rohrbündelbauweise mit ca. 2.000 Rohren mit einem Durchmesser von 1.550 mm und 8.000 mm Länge gefertigt. Das Gewicht des Fallfilmers lag bei ca. 35 t bei einer gesamten Länge von ca. 16 m. Die Wärmeleistung lag bei 3,3 MW bei einer Fläche von 1.300 m², entsprechend 2,5 KW/m² Übertragerleistung.

Entscheidend für das Funktionieren eines Fallfilmverdampfers ist eine gleichmäßige Verteilung der Flüssigkeit auf die Verdampferrohre. LOB hat den Verteilerboden in einer 3-Loch Version ausgelegt und in einem Modell im Faktor 1:5 – bezogen auf die Menge – getestet.

LOB legt die Verteilersysteme aus und hat zahlreiche Flüssigkeitsverteiler für Fallfilmverdampfer in Rohrbündelbauweise gebaut. Der Verteiler besteht aus übereinander liegenden Verteilerböden. Der obere Verteiler hat ein Überlaufwehr, welches die Fließgeschwindigkeit verlangsamen soll.

Fallfilmverdampfer in Rohrbündelbauweise mit Flüssigkeitsverteiler

Auslieferung eines Fallfilmverdampfers ø 1550 mm x 17000 mm



Fallfilmverdampfer und Verteilerboden

3.1 WTP-Kopfkondensatoren

Verfahrenstechnik

Bei der Kondensation von Flüssigkeiten wird am unteren Ende einer oft meterhohen Kolonne zunächst ein Dampfgemisch erzeugt, das dann in der Kolonnensäule gegen die Flüssigkeit aufsteigt, sich anreichert und in einem Kondensator wieder verflüssigt wird. Der Kondensator befindet sich unmittelbar am oberen Ende der Kolonne, und wird daher Kopfkondensator genannt.

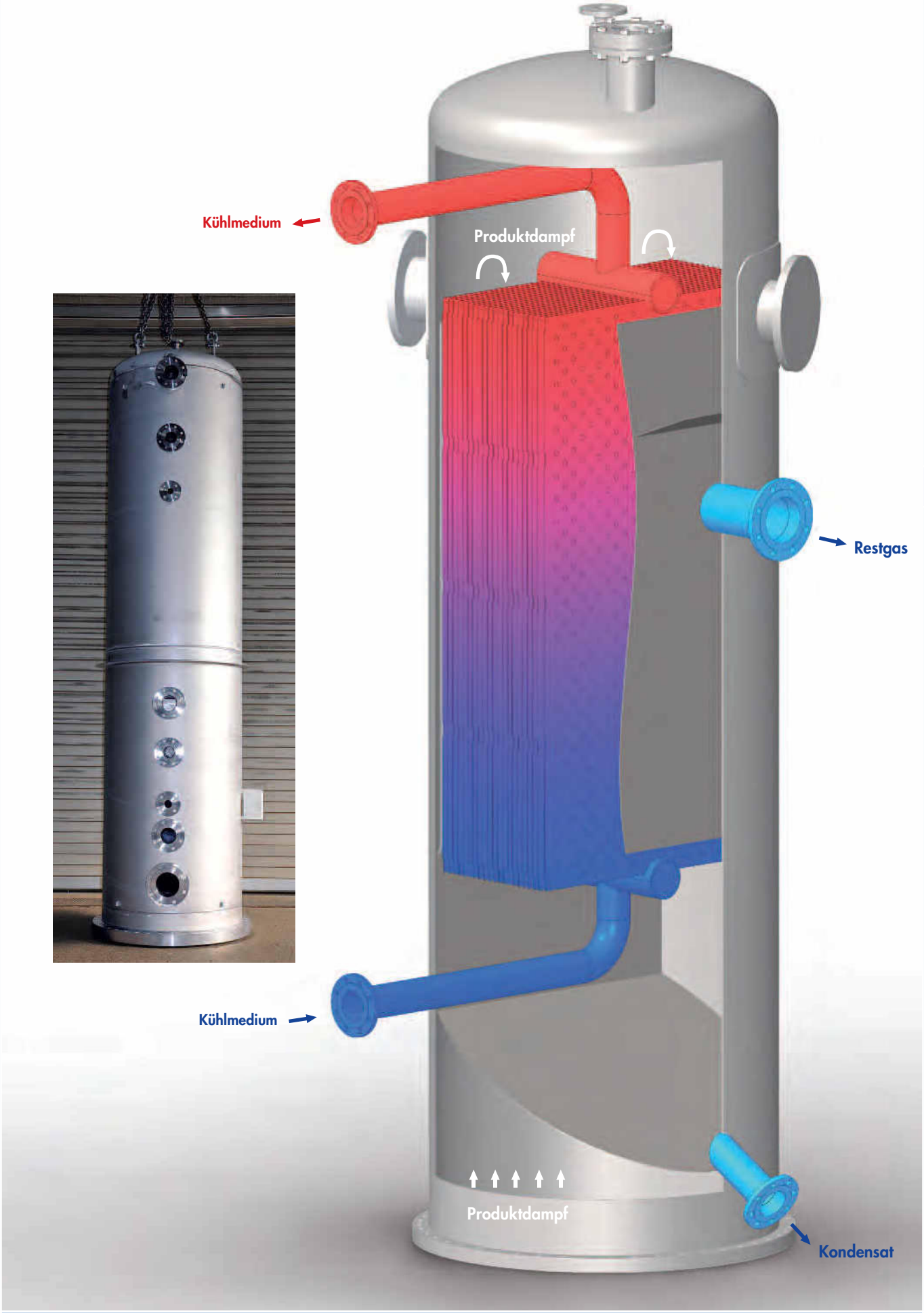
Da die Kondensation in der Regel bei niedrigen Drücken abläuft, das Kühlwasser aber unter hohem Druck steht, sind zum Abfangen der Druckdifferenz bei Rohrbündelkondensatoren dicke, kostenintensive Rohrböden mit hohem Gewicht erforderlich. Gegenüber Kopfkondensatoren in Rohrbündelbauweise haben Platten einen geringeren Flächenbedarf von 25 bis 35 % und eine Gewichtsersparnis von bis zu 50 %. Das Gewicht belastet die Kolonnenstatik, so dass sich verstärkt leistungsstarke Plattenkondensatoren als Kopfkondensatoren durchsetzen.

Das Produkt wird bei Plattenkondensatoren in der Regel zwischen den Platten und das Kühlmedium in den Platten geführt. Für die Auslegung des Behältermantels ist der in der Regel niedrige Druck auf der Produktseite maßgeblich. Die WTP-Platten bestehen aus 1,5 bis 2 mm Blechen, die mit Schweißkreisen verbunden sind. Nach Aufweitung mit Druck – weit über dem Betriebsdruck – kann das Kühlwasser bei höheren Drücken eigensicher in den Platten geführt werden.

Die Betriebsdrücke variieren von 5 bar bis 5 mbar im Temperaturbereich von 300 Grad C bis -25 Grad C. Bei niedrigen Betriebsdrücken liegen die zulässigen Druckverluste unter 1 mbar. Dies wird dadurch erreicht, dass die WTP-Platten entsprechenden Abstand haben. Ein großer Plattenabstand geht allerdings zu Lasten der Kondensation. Es wird dann eine größere Austauschfläche erforderlich. Der Wärmeübergangswert auf der Sekundärseite kann über die Aufweitung und die Wahl des Rasters eingestellt werden. Auch auf der Kühlwasserseite werden hohe Wärmeübergangswerte mit hohen Druckverlusten erkauft.

Wärmeübergangswerte von 500 bis 8.000 W/(m²K) und darüber sind auf der Kühlwasserseite leicht zu erreichen. Liegen die Wärmeübergangskoeffizienten α auf der Produktseite weit darunter, wirken sich höhere Wärmeübergangskoeffizienten α auf der Kühlwasserseite nur unwesentlich auf den Wärmedurchgangswert k und damit auf die gesamte Austauschfläche aus.

Kolonne mit WTP-Kopfkondensator



WTP-Kopfkondensator

3.2 WTP-Kopfkondensatoren mit Nachkondensator

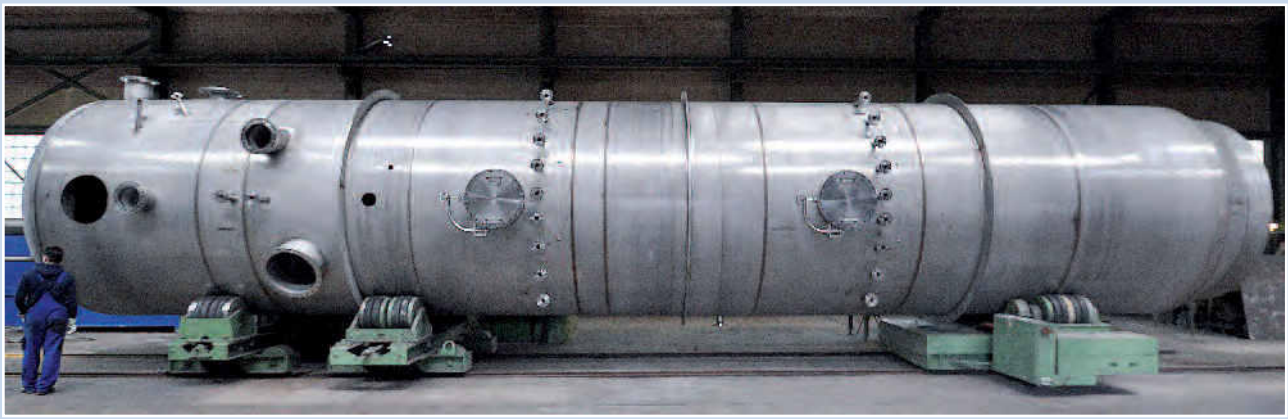
Kopfkondensatoren mit Haupt- und Nachkondensator

Der verfahrenstechnische Gesamtprozess gibt vor, welcher Anteil des Produktdampfes in Kondensat umgewandelt werden soll. Mit Hilfe der Kondensationskurve kann die zugehörige Kondensationstemperatur ermittelt werden. Wird eine vollständige Umwandlung des Produktgases in Kondensat gewünscht, wird geprüft, ob ein Haupt- und Nachkondensator vorgesehen werden muss. Der Temperaturschnitt wird an der Kondensationskurve so gelegt, dass am Hauptkondensator der überwiegende Anteil des Kondensates anfällt. Der verbleibende geringere Restgasanteil wird dann am kleineren Nachkondensator bei tieferen Temperaturen kondensiert. Vielfach hat der Nachkondensator nur eine Reservefunktion.

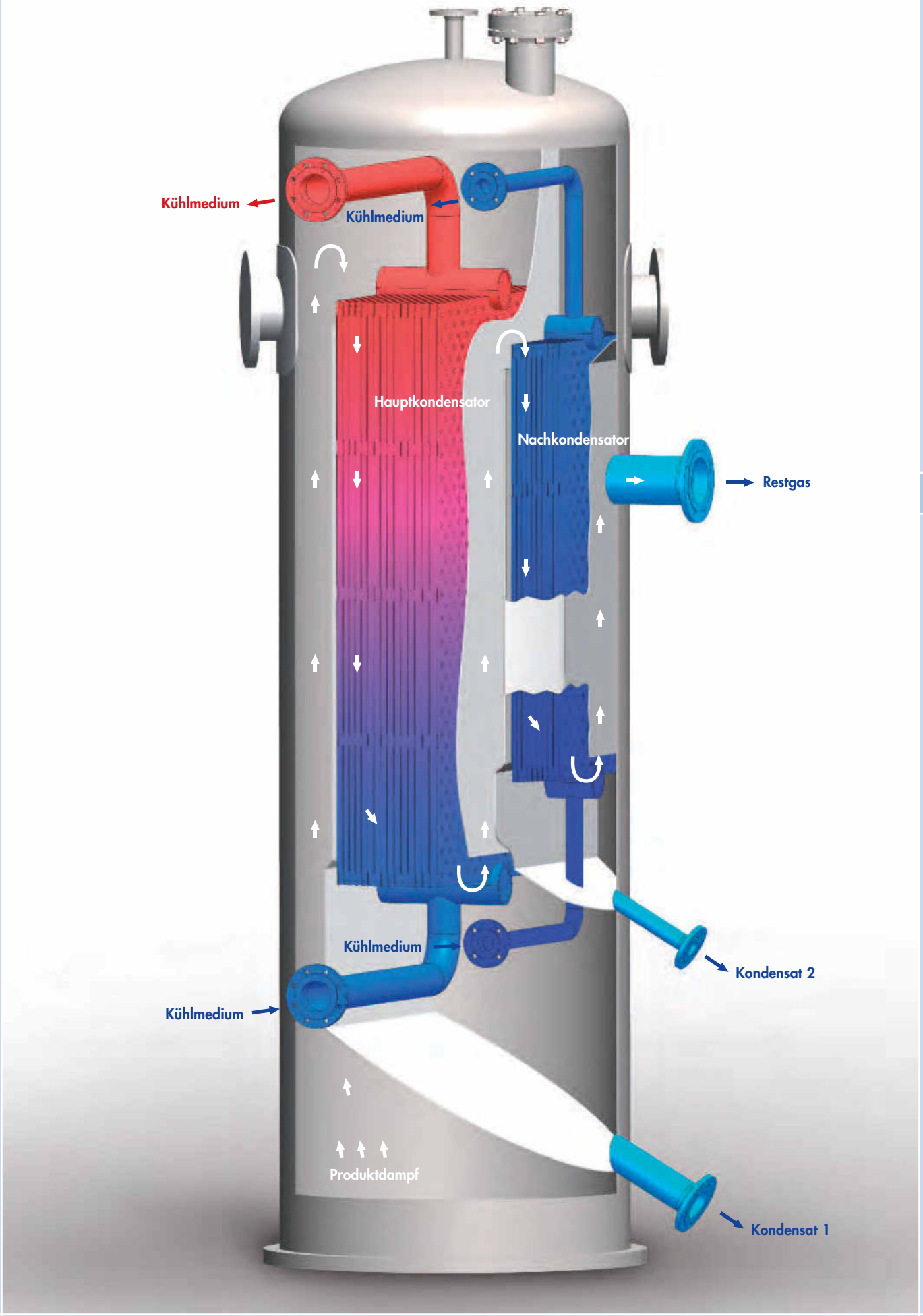
Kondensation im Gleichstrom hat den Vorteil eines geringen Druckverlustes, da der Produktstrom im Gleichstrom direkt aus der Kolonne zunächst nach oben und dann parallel zum entstehenden Kondensat der Schwerkraft folgend nach unten läuft. Nachteilig ist, dass konstruktiv Umlenkbleche für den Gasstrom vorzusehen sind, die das Produktgas aus dem Hauptkondensator in den Nachkondensator leiten. Wird der Nachkondensator im Gegenstrom gefahren, vereinfacht sich die Strömungsführung.

Am großen Hauptkondensator wird mit hohen Kühlwassermengen bei moderaten Temperaturen, entsprechend den am Standort vorhandenen Kühltürmen, gearbeitet – beispielsweise bei 25 bis 45 Grad C. Im Nachkondensator wird Sole oder Kühlmittel oft mit Temperaturen bei 3 bis 5 Grad C oder sogar bei Minusgraden eingesetzt. Die Bereitstellung des Kühlmittels bei niedrigen Temperaturen ist aufwendig. Allerdings sind die benötigten Mengen für den Nachkondensator deutlich geringer als im Hauptkondensator.

WTP-Kopfkondensator mit Nachkondensator



Kolonne mit Kopfkondensator, 28 Tonnen



WTP-Kopfkondensator mit Nachkondensator

3.3 WTP-Kondensatoren mit gleichzeitiger Dampferzeugung

Kopfkondensatoren mit gleichzeitiger Dampferzeugung

Bei der Kondensation wird die zuvor eingebrachte Verdampfungswärme wieder freigesetzt. Durch Umwandlung der freiwerdenden Wärme in Dampf verbessert sich die Energiebilanz des Gesamtprozesses. Liegt die Kondensationskurve im Temperaturniveau oberhalb von ca. 135 Grad C, kann die Kondensationswärme zur Sattdampferzeugung im Bereich ab 3 bar genutzt werden.

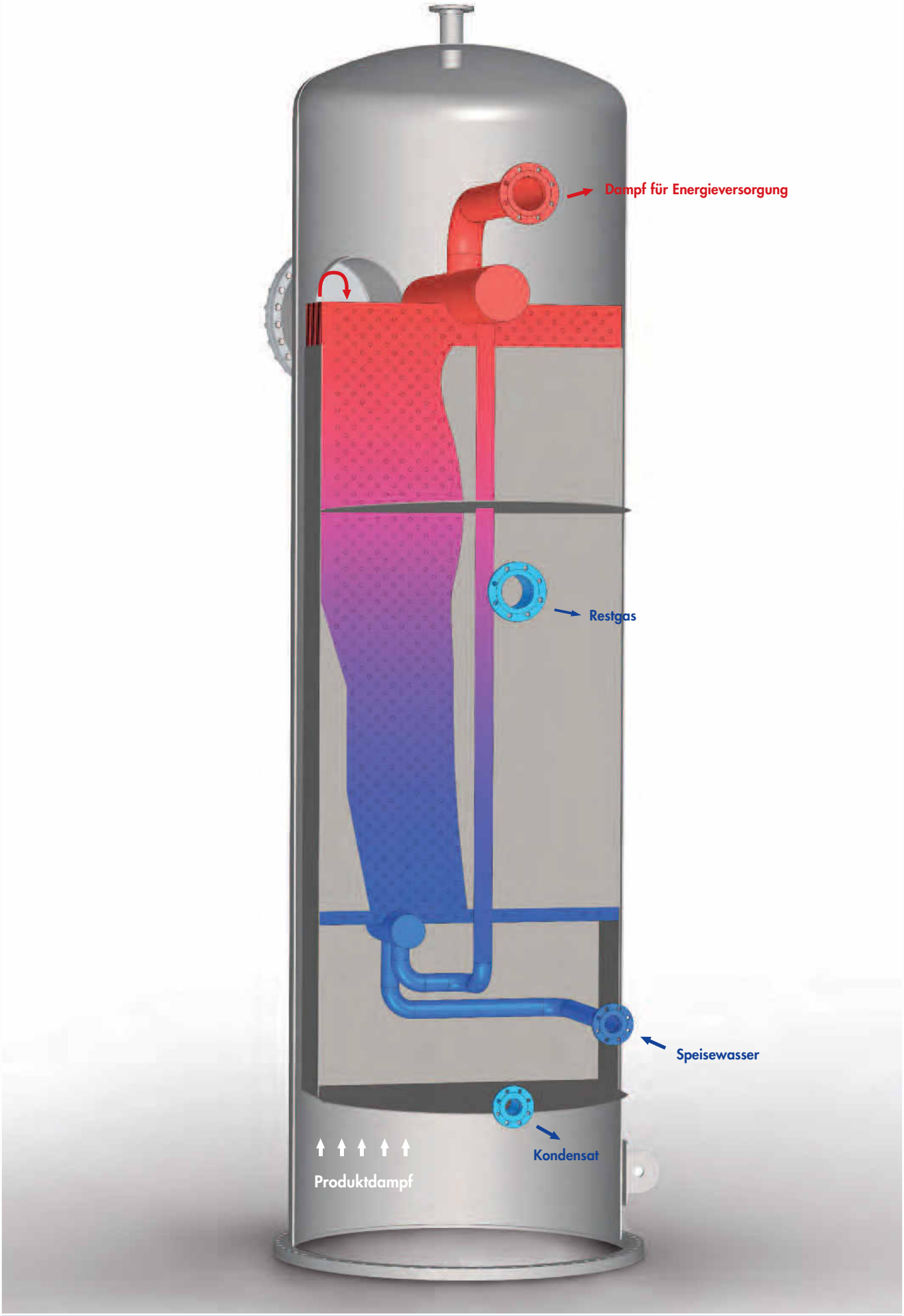
Als Verdampfer bieten sich Naturumlaufverdampfer an, die im Betrieb stabil und energetisch günstig laufen. Der Umlauf erfolgt eigenständig auf Grund der Dichtedifferenz zwischen dem Wasser bzw. dem Dampf-Wasser-Gemisch. Es muss lediglich das Ergänzungsspeisewasser auf den entsprechenden Druck gebracht werden. Beim Zwangsumlaufverdampfer muss dagegen hochwertige elektrische Pumpenenergie für die gesamte Umlaufmenge eingesetzt werden. Die Energieeinsparung bei der Wärmerückgewinnung verringert sich dadurch.

Für diese Art der Wärmerückgewinnung bieten sich Plattenkondensatoren an, bei denen der Dampf in den Platten erzeugt wird und das Produkt zwischen den Platten kondensiert. Versuche bei LOB haben gezeigt, dass Blasenbildung bei der Dampferzeugung in den Platten nicht zu Schwingungen führt.

Gegenüber einem Rohrbündel besitzt die Plattenbauweise den Vorteil, dass die benötigte Kondensationsfläche auf Grund des besseren Wärmeübergangs bis zu 25 % geringer dimensioniert werden kann. Der Dampf kann bei einem Sattdampfdruck von 37 bar und bei entsprechender Wahl des Rasters und der Aufweitung in den 1,5 mm starken eigensicheren Platten geführt werden.

LOB hat zahlreiche Kondensatoren mit integrierter Dampferzeugung erfolgreich auf den individuellen Anwendungsfall ausgelegt und gebaut. Es wurden beispielsweise Kondensatoren mit einer Leistung von ca. 2 MW und einer Wärmerückgewinnung von über 95 % erstellt. Diese Bauart hat sich bei unterschiedlichen Betrieben bewährt.

Kolonne, Ø 1.600/2.500 mm, Länge 19.650 mm, 17.000 kg, Werkstoff 1.4571



Kopfkondensator mit Dampferzeugung

3.4 WTP-Kondensatoren im Gegenstrom (Reflux)

Kondensatoren im Gegenstrom

Bei Kopfkondensatoren, die im Gegenstrom gefahren werden, steigt der zu kondensierende Prozessdampf aus der Kolonne oder dem Verdampfer von unten zwischen die Platten des Kondensators. Dort erfolgt die Kondensation, wobei das Kondensat im Gegenstrom zum aufsteigenden Prozessdampf der Schwerkraft folgend nach unten regnet.

Dabei darf die Geschwindigkeit des Gasstromes nicht so hoch sein, dass ein Fluten eintritt und der Ablauf des Kondensates nach unten verhindert wird. Dies wird in der verfahrenstechnischen Auslegung dadurch berücksichtigt, dass der Plattenabstand entsprechend der zulässigen Gasgeschwindigkeit gewählt wird. Die Platten dürfen nicht so nahe angeordnet werden, wie bei Kondensatoren, die im Gleichstrom arbeiten.

Der Vorteil eines Reflux-Kopfkondensators besteht in der sehr einfachen Konstruktion, da keine Umlenkbleche für das Produktgas erforderlich sind. Der Manteldurchmesser kann platzsparend nahezu vollständig mit Platteneinbauten versehen werden.

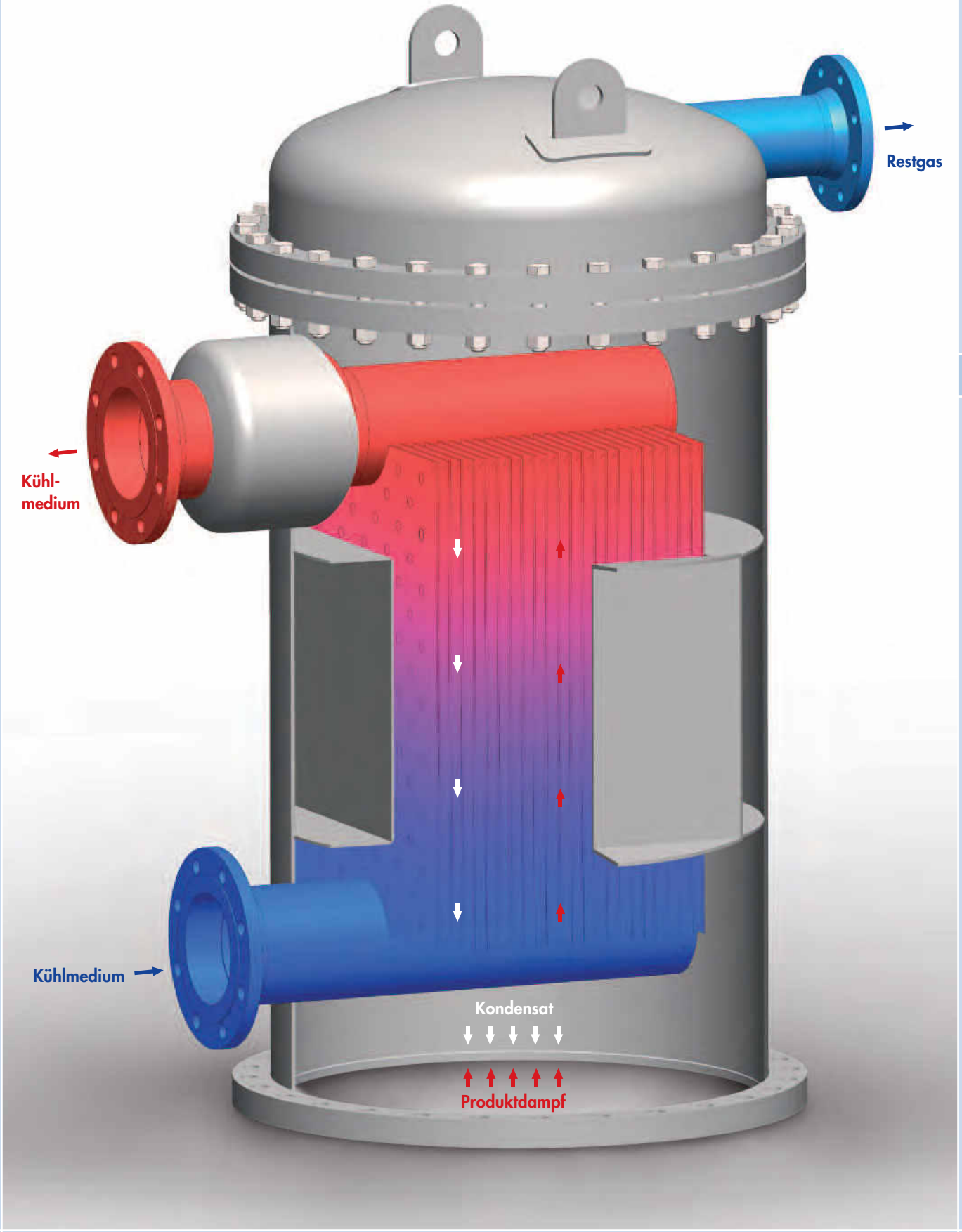
Für einen Reflux-Kondensator eignen sich insbesondere Reinstoffe mit wenig Inertgasen, wie beispielsweise Wasserdampf. Inertgase lassen sich nicht kondensieren, verlassen die Kondensationszone am oberen Ende des Kondensators und belasten die Kondensation. Reinstoffe kondensieren dagegen bei Erreichung der Kondensationstemperatur schlagartig, so dass die Lauflänge und damit die Plattenlänge eines Reflux-Kondensators kurz gehalten werden kann.

Bei einem Reflux-Kondensator werden die Platten ständig durch ablaufendes Kondensat gespült. Dies wirkt sich dann vorteilhaft aus, wenn das Produktgas korrosiv ist, die Flüssigphase jedoch auf dem Metall wenig Korrosion verursacht. Dieser Effekt kann bei der Kondensation im Abwasserbereich auftreten.

Reflux-Plattenpaket

Zusammenbau Reflux-Plattenpaket und Gehäuse

Kondensator im Reflux-Betrieb



Kondensator im Reflux-Betrieb

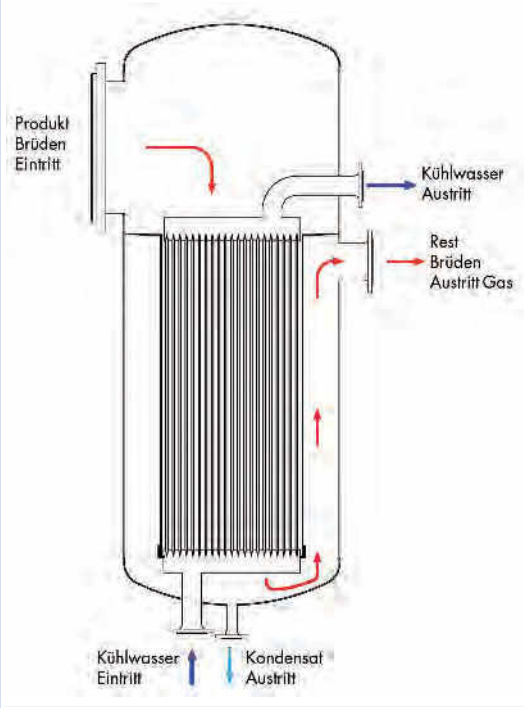
3.5 WTP-Kondensatoren in separaten Behältern

Druckverluste bei Kondensatoren in separaten Behältern

Der Druckverlust eines Kondensators hängt davon ab, welche Strömungsform, Gleich- oder Gegenstrom, laminar oder turbulent an jeder Stelle des Produktgasweges vorliegt. Die Einbauten wie Krümmer, Umlenkbleche sowie eingebaute Stutzen sind genauso zu berücksichtigen wie erweiterte oder sich verengende Strömungskanäle. Bei Kopfkondensatoren muss der gesamte Gasweg vom Austritt aus der Kolonne, zwischen den Platten, bis zum Kondensatablass und Restgasaustritt betrachtet werden.

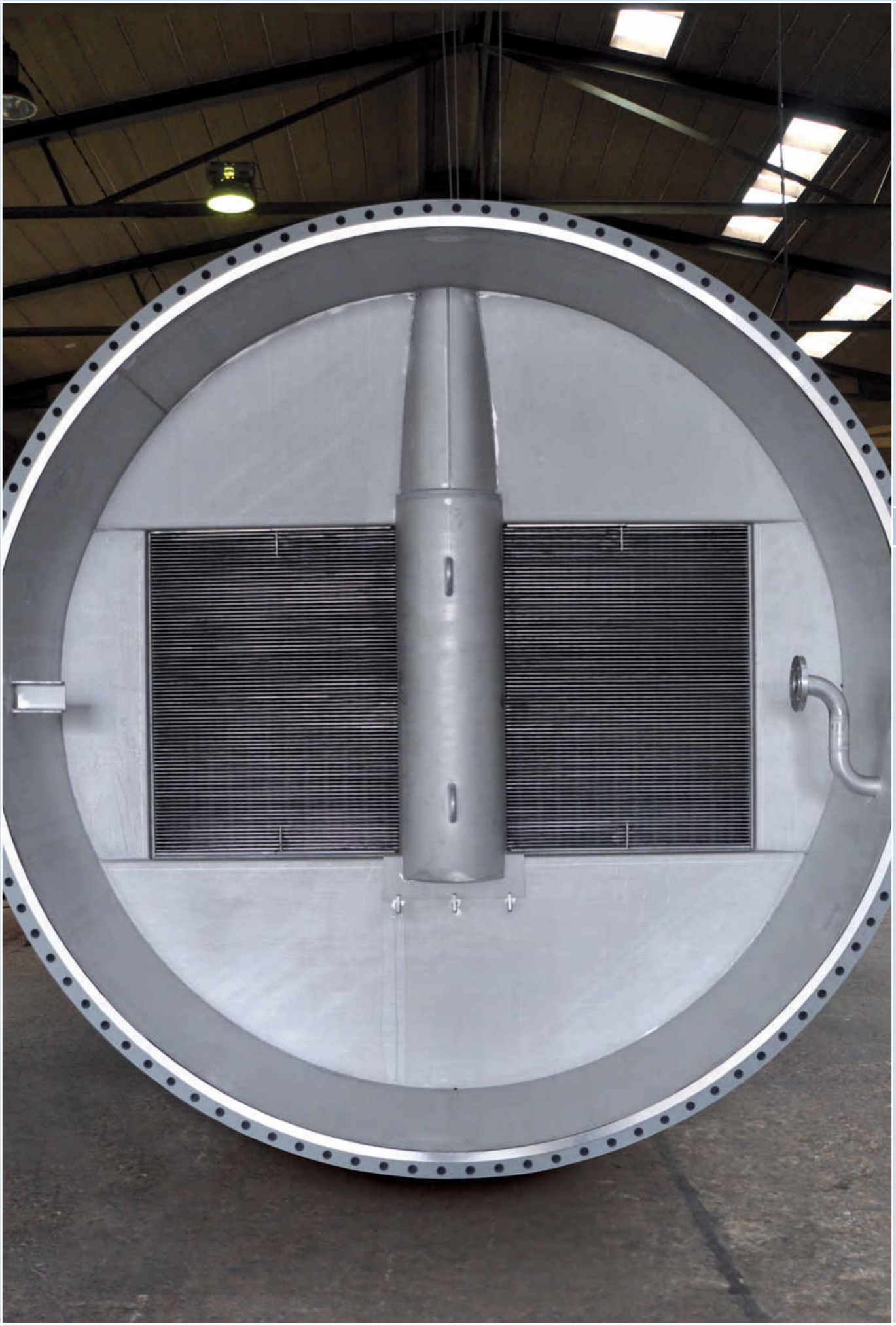
Grundsätzlich hat ein Plattenkondensator einen geringeren Druckverlust als ein Rohrbündel, da das Gas bei einem Rohrbündel senkrecht auf die Rohrböden trifft, beim Einlauf in die Rohre einschnürt und dann im Rohr eine Ausdehnung erfährt.

Beim Einbau des Kondensators in einen eigenen Behälter kann der Druckverlust gegenüber dem Kopfkondensator, bei dem der Gasstrom am Plattenpaket vorbei geführt werden muss, erheblich reduziert werden. Der Behälter kann platzsparend im Inneren voll genutzt werden. Bei dieser Bauart wird der Produktgasstrom über einen groß dimensionierten Eingangsflansch mit nur einer oder ohne Umlenkung in das Plattenpaket eingeleitet. Diese Konstruktion wird eingesetzt, wenn nur wenig Druckverlust zur Verfügung steht, keine Kolonne vorhanden ist oder wenn die Höhe oder der Durchmesser der Kolonne begrenzt ist. In diesem Fall wird der Behälter separat im Gerüst neben der Kolonne angesiedelt.



Schema WTP-Kondensator mit separatem Behälter

Kondensatorpaket im Detail



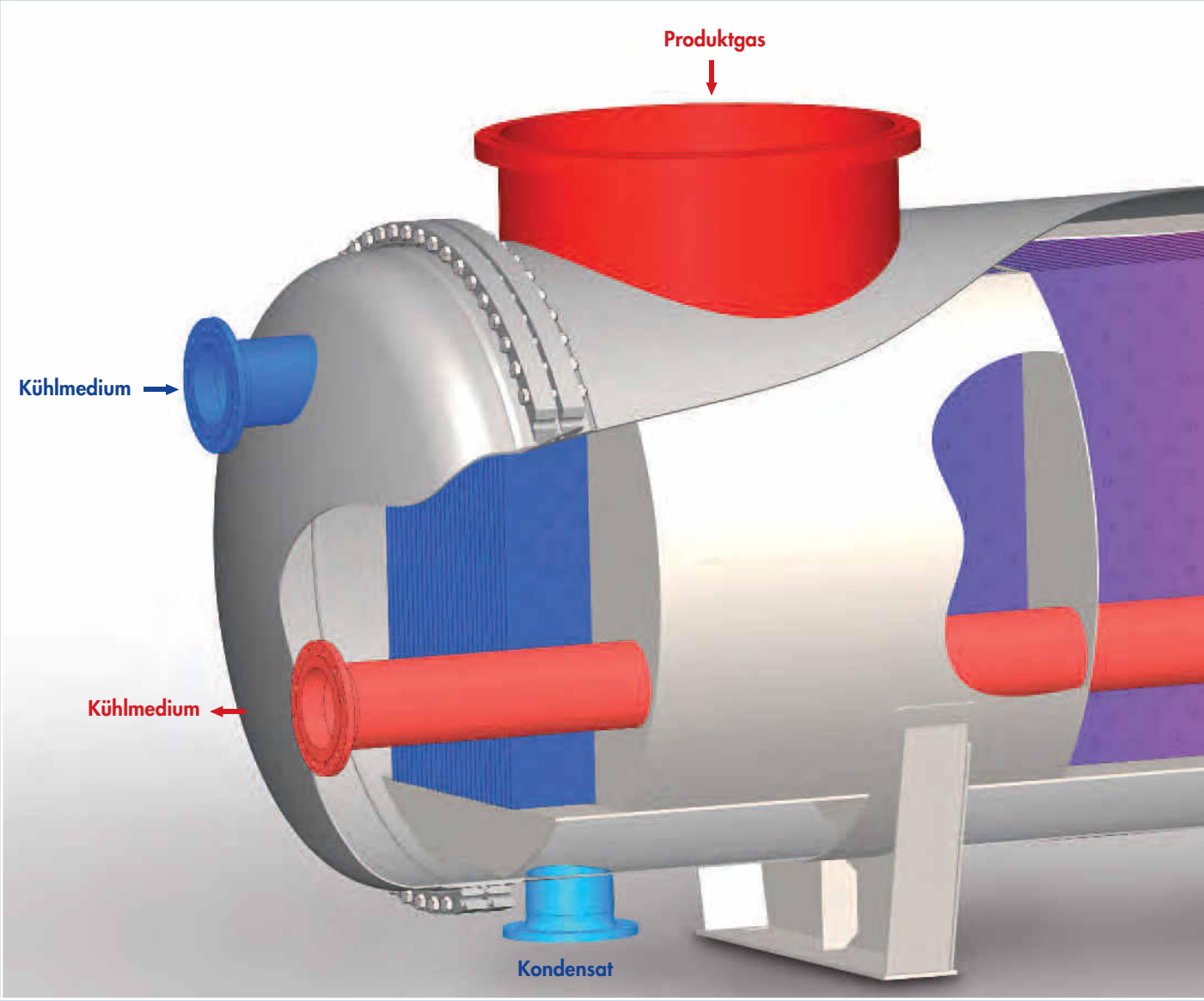
WTP-Kondensator in einem separaten Gehäuse

3.6 WTP-Plattenkondensatoren – liegend

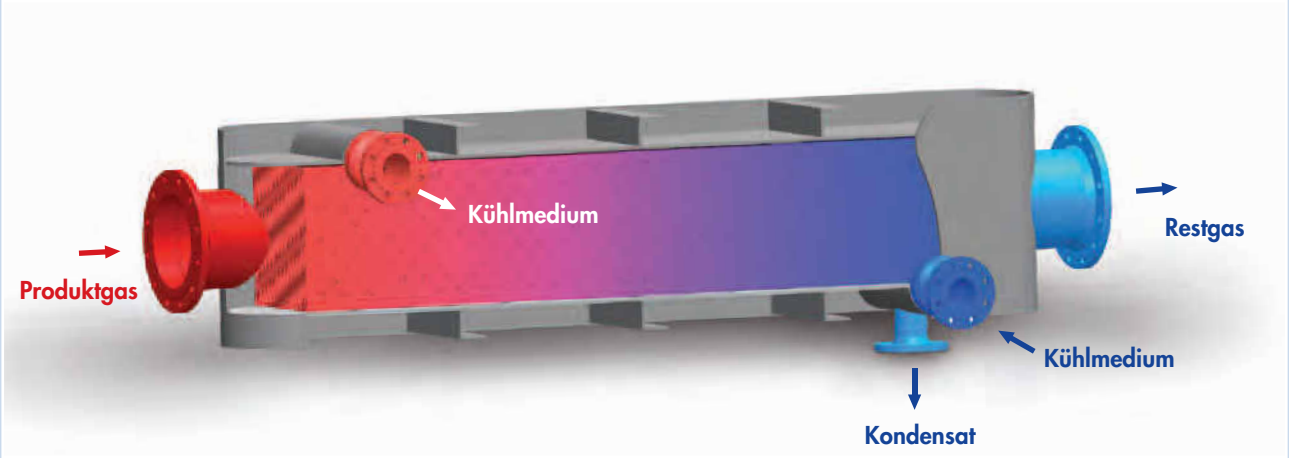
Kapazitätserweiterung einer bestehenden Anlage

Diese Sonderkonstruktion soll – bei gegebener räumlicher Geometrie – einen bestehenden Rohrbündelkondensator bei gleichem Platzbedarf ersetzen, die Flächenkapazität vergrößern und die Überträgerleistung verdoppeln. Das Plattenpaket kann ziehbar und damit abreinigbar ausgeführt werden. Die Rohrleitungsführung braucht nicht wesentlich verändert zu werden.

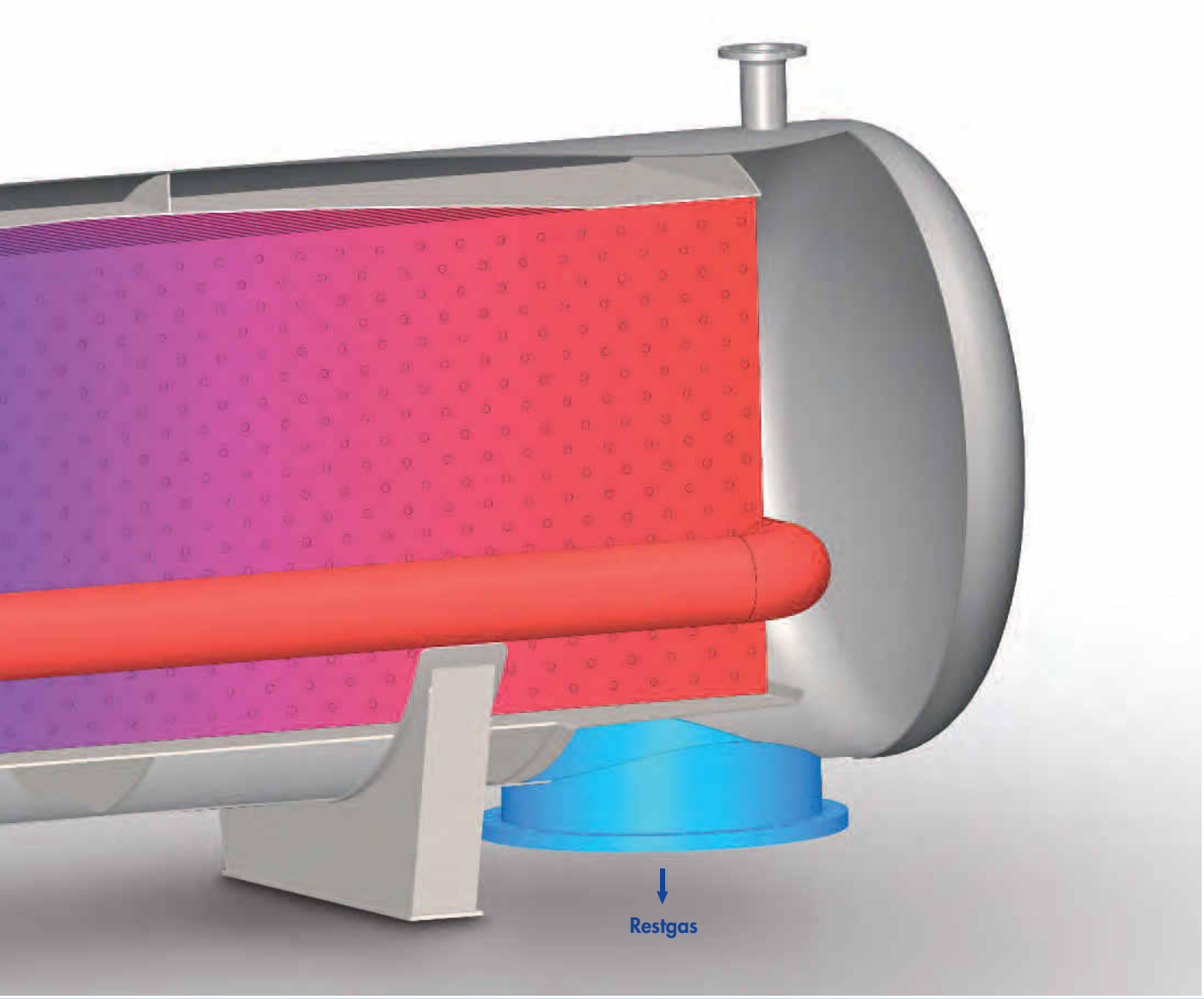
Das Produktgas tritt in den oberen Flansch ein und wird zwischen die Platten geleitet. Das Restgas verlässt den Kondensator am unteren Flansch. Das Kondensat fließt bei Eintritt an dem Plattenpaket nach unten und sammelt sich mit Gefälle am Kondensatausgang. Die Platten sind mit den Zu- und Ableitungsrohren am Boden angebracht und können gezogen werden.



Liegender WTP-Plattenkondensator



WTP-Plattenkondensator, liegend



3.7 WTP-Kühlfallen

Kühlfallen mit WTP-System®

Kühlfallen werden zum Auskondensieren von Feuchtigkeit oder Lösungsmitteln aus Gasströmen eingesetzt. Der Einsatz dient dazu, nachgeschaltete Vakuumpumpen vor Flüssigkeitsschlägen zu schützen. Befinden sich wertvolle kondensierbare Bestandteile in geringen Konzentrationen im Gasstrom, z.B. Lösungsmittel, können diese rückgewonnen, verflüssigt und wieder eingesetzt werden. Kühlfallen werden auch eingesetzt, um Abgase von umweltschädlichen Schadstoffen zur Emissionsminderung zu befreien.

In der Regel werden bei Kühlfallen im technischen Maßstab Rohre mit oder ohne Rippen, in Edelstahl oder besser leitendem Material, wie Kupfer, eingesetzt. Die Kombination unterschiedlicher Werkstoffe erfordert aber besondere konstruktive Maßnahmen im Bereich von Rohrdurchführungen mittels Stopfbuchspackungen und anderen Verbindungselementen, die zu Problemen führen können. Bei der Kühlfalle mit WTP-Thermoblechen erfolgt die Strömung längs der Platten und damit effektiver als bei eingebauten Rippenrohren.

Bei einem Anwendungsfall sollen organische Bestandteile mit ca. 800 ppm aus Stickstoff vor einem Vakuumgebläse auskondensiert werden. Der Druck wird im Verlauf des Betriebs bei gleichem Volumenstrom stufenweise von 1 bar auf 10 mbar gesenkt. Um ein Auskondensieren der organischen Bestandteile zu gewährleisten, muss die Temperatur des Gasstromes unter -30 Grad C gesenkt werden.

Die Konstruktion sieht vor, dass das beladene Rohgas rechts oben in den Eingangsstutzen eintritt, dann zwischen das Plattenpaket nach unten geleitet und am unteren Ende der Platten um 180 Grad umgelenkt wird. Das Plattenpaket besteht aus WTP-Thermoblechen. Der gekühlte Gasstrom strömt in der Kühlfalle vertikal wieder nach oben, verlässt den Behälter aus dem Gasaustrittsstutzen auf der oberen linken Seite und gelangt von dort in das Vakuumgebläse. Der bei niedrigen Temperaturen kondensierte organische Bestandteil läuft an den Platten nach unten, sammelt sich dort und wird dann am unteren Stutzen ausgeschleust. Die Platten werden im Inneren mit kommerziellem Kühlmittel auf ca. -55 Grad C gehalten. Das Gas kühlt sich während des Vorgangs von ca. 60 Grad C im Verlauf der schrittweisen Evakuierung auf -50 bis -55 Grad C herunter.

Der Edelstahlwerkstoff 1.4571 ist bis zu -200 Grad C (nach AD-Regelwerk W 10) problemlos einsetzbar, auch andere Werkstoffe wie z.B. Hastelloy sind möglich.

Die Kühlfalle ist am Mantel ebenfalls mit dem LOB WTP-System ausgestattet. Der mit WTP versehene Mantel auf der Außenseite der Kühlfalle, welcher an den Kühlmittelkreislauf angeschlossen ist, wird ebenfalls während des Betriebs gekühlt. Dieser WTP-Mantel kann aber im Bedarfsfall auch temperiert werden, falls ein Auftauen der Kühlfalle notwendig wird.

Die Stutzen für das Kältemittel führen durch den oberen Klöpperboden und sind mit diesem fest verbunden. Der Apparateflansch befindet sich unterhalb des Auflagers des Behälters. Mit dieser Konstruktion kann der Mantel nach unten ausgebaut werden, ohne die Kühlmittelzuleitungen entfernen zu müssen. Das Plattenpaket verbleibt im Gerüst und kann dort gegebenenfalls gereinigt werden. Somit entfällt auch eine Durchführung der Kühlleitungen durch Stopfbuchspackungen und andere Verbindungselemente.

LOB legt die Kühlfallen entsprechend den Kundenwünschen verfahrenstechnisch aus und entwickelt eine passende Lösung.

WTP-Kühlfallen

3.8 WTP-Hybridkondensatoren

WTP-Kondensatoren in Kombination mit einem Rohrbündel

LOB hat einen querangeströmten U-Rohr-Kopfkondensator in Reflux-Fahrweise konstruktiv so umgestaltet, dass ca. 85 % der Kondensationswärme ausgekoppelt werden können, welche dann zur Aufheizung eines Produktstromes genutzt werden kann. In einem Nachkondensator können die verbleibenden Restgase, gemäß der Kondensationskurve, vollständig auskondensiert werden oder als Zusatzfläche genutzt werden.

Darüber hinaus kann aus Sicherheitsgründen bei Ausfall des Produktstromes die gesamte anfallende Kondensationswärme über den Nachkondensator ausgekoppelt werden. Die Neukonstruktion verändert die äußere Kontur des Mantels nicht wesentlich. Der gesamte Kondensator ist demontierbar und zur Abreinigung geeignet.

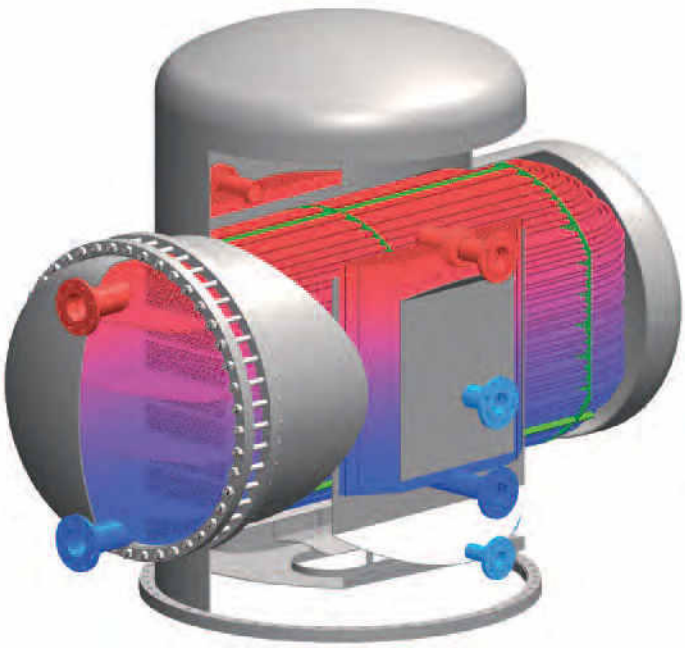
Diese Konstruktion wird dann eingesetzt, wenn ein kompletter Umbau in eine Plattenbauweise nicht in Frage kommt, da das aufzuheizende Produkt zu „fouling" neigt und deswegen nicht wie reiner Wasserdampf in den WTP-Platten geführt werden kann. Das Innere der aufgeweiteten Plattenspalte lässt sich in einem solchen Fall nicht abreinigen. Von daher muss die Rohrbündelbauweise bestehen bleiben, bei der das Produkt am äußeren querangeströmten Rohrbündel kondensiert und die Vorheizung des Produktes in den U-Rohren erfolgt. U-Rohre lassen sich reinigen oder bei einer totalen Verstopfung am Rohrboden durch Stopfen stilllegen.

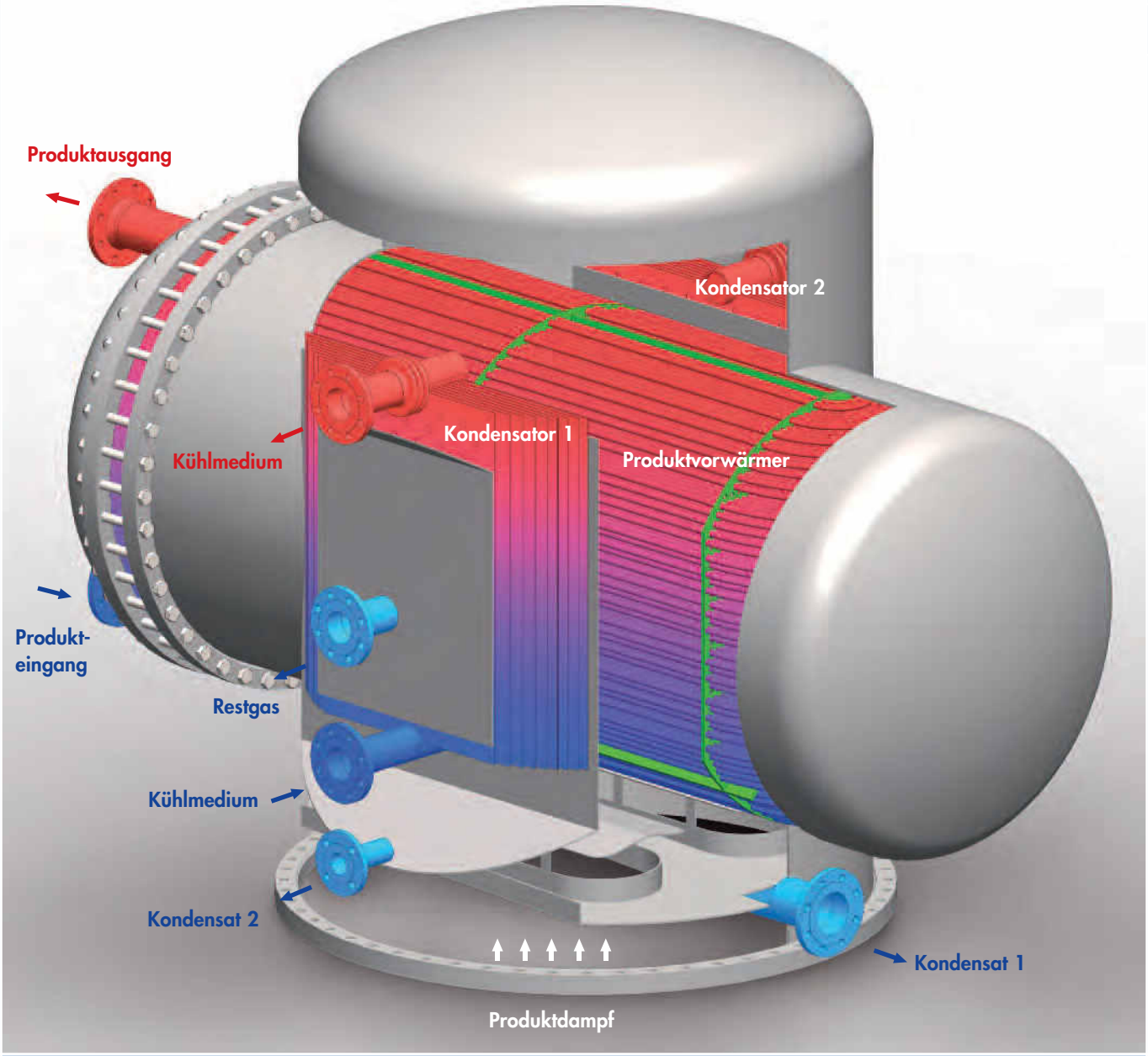
Für die Konstruktion wird deshalb eine Kombination aus querangeströmtem U-Rohrbündel und einem WTP-Plattenkondensator gewählt. Das Rohrbündel wird als Refluxkondensator eingesetzt und dient zur Vorwärmung des Produktstromes. Die WTP-Platten werden als Nachkondensator im Gleichstrom bei kalter Temperatur gefahren. Dies hat den Vorteil, dass die WTP-Platten bei hoher Kondensationsleistung eine geringe Fläche in Anspruch nehmen.

Zum Einbau der WTP-Platten werden an den Rändern links und rechts des Rohrbündels so viele Rohrreihen entfernt, wie es für den Einbau von WTP-Plattenpaketen mit Kompensatoren in der Kühlwasserzuleitung notwendig ist.

Das U-Rohrbündel kann durch Demontage des Klöpperbodens gezogen werden. Nach Ausbau der Rohre liegen die links und rechts angeordneten WTP-Plattenkondensatoren ebenfalls frei, so dass diese gereinigt werden können. Die WTP-Platten sind so dimensioniert, dass bei Produktausfall die gesamte Kondensationswärme abgeführt werden kann.

Der Plattenkondensator kann mit nur geringen Modifikationen in den Mantel eingefügt werden. Die Konstruktion gestaltet sich einfach und gewährleistet einen sicheren Betrieb in der Trennung zwischen Produkt- und Kühlwasserkreislauf. Beide Kondensatoren sind reinigbar. Damit sind alle Anforderungen an den Umbau des Kondensators zur Wärmerückgewinnung erfüllt.





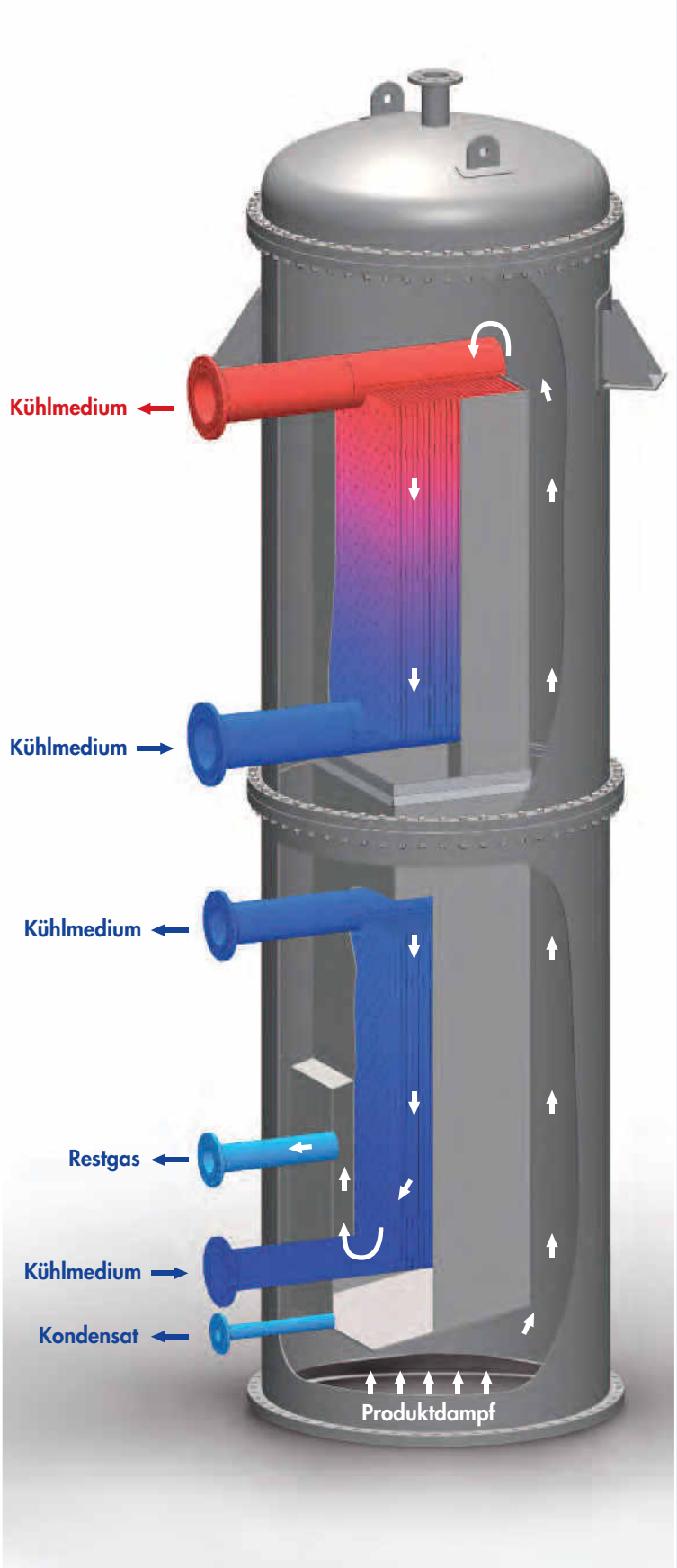
WTP-Hybridkondensator als Produktvorwärmer mit Gebrauchsmusterschutz

3.9 WTP-Kondensatoren – übereinander

Übereinander liegende Anordnung von Haupt- und Nachkondensator

Wird die Forderung nach einem extrem geringen Druckverlust gestellt, so ist es sinnvoll, Haupt- und Nachkondensator übereinander anzuordnen. Der Vorteil besteht darin, dass das Gas aus dem Hauptkondensator nicht umgelenkt werden muss, um in den Nachkondensator zu gelangen. Ebenso wird das Produktgas über die gesamte Flüssigkeitssäule, bestehend aus der Länge des Haupt- plus Nachkondensators, der Schwerkraft folgend nach unten beschleunigt. Hierdurch wird der Druckverlust im Hauptstrom minimiert. Wird der Temperaturschnitt gemäß der Kondensationskurve auf Haupt- und Nachkondensator entsprechend aufgeteilt, kann der Hauptkondensator bei ausreichendem Temperaturniveau zur Dampferzeugung genutzt werden.

Der Nachteil besteht aber darin, dass das entstandene Kondensat im oben liegenden Hauptkondensator flüssig mit dem eventuell verbleibenden Restgas in den unten liegenden Nachkondensator gelangt. Die Flüssigphase kann den Kondensationsvorgang im Nachkondensator erheblich blockieren. Im Nachkondensator findet dann eine Unterkühlung des Kondensats bis zur tieferen Kühltemperatur der Nachkühlstrecke statt. Eine Unterkühlung des Kondensats wird oft energetisch nicht gewünscht, wenn eine wärmere Nachbehandlungsstufe hinter den Kondensator geschaltet ist und dort die Flüssigphase wieder aufgeheizt werden muss.



WTP-Kondensator – übereinander

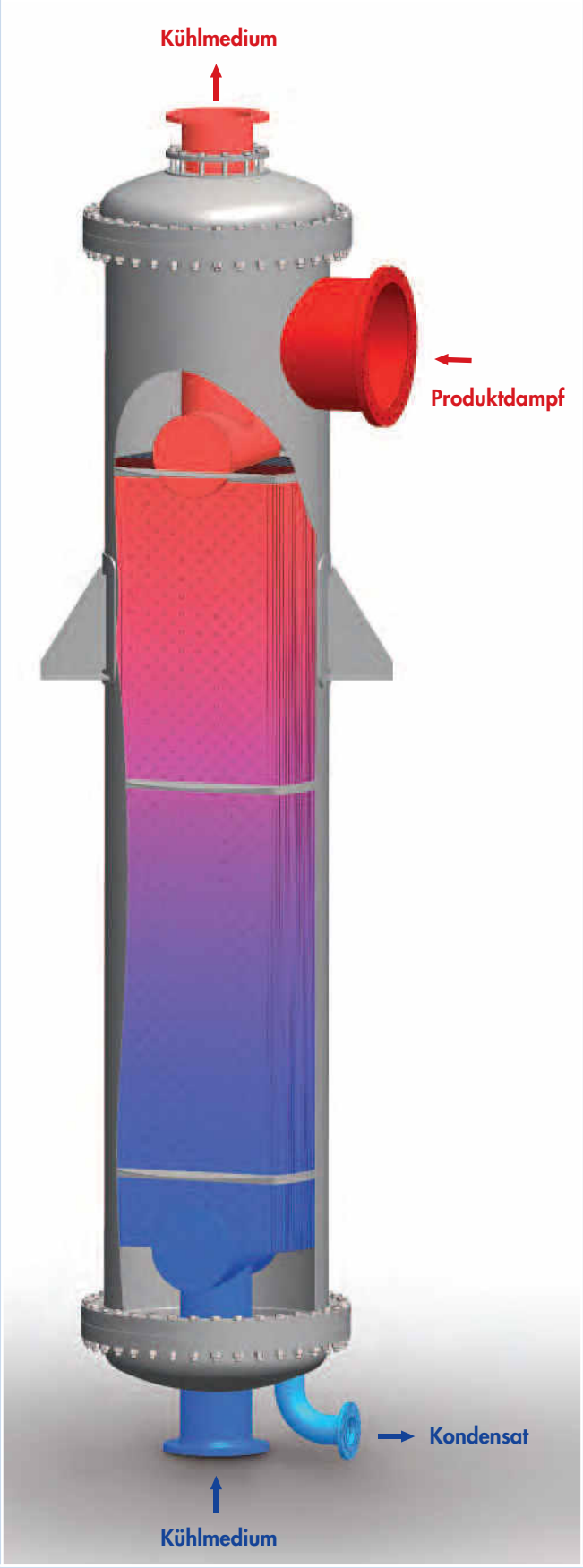
3.10 WTP-Kondensatoren mit hohem Flüssiganteil

Kondensation eines Zweiphasengemisches

LOB hat sich darauf spezialisiert, Sonderkonstruktionen für WTP-Systeme zu entwickeln. In diesem Fall war die Aufgabe einen Kondensator zu konstruieren, der ein Produktgas mit einem hohen Anteil von Kondensat vollständig kondensieren sollte. Ferner sollten die Platten etwa jährlich ausbaubar und reinigbar sein. Es war ein geringer Platz in einem Rohr mit Durchmesser 900 mm vorgegeben. Im Eingang bei ca. 90 Grad C betrug der Anteil Kondensat zu Gas etwa 50% zu 50%. Das Produktgas sollte bis ca. 38 Grad C gekühlt und damit vollständig kondensiert werden.

Durch den hohen Flüssigkeitsanteil wurde in der verfahrenstechnischen Berechnung die Kondensation stark eingeschränkt. Folge war eine Kondensationsfläche von 350 m² mit einer erforderlichen langen Kondensatorlauflänge von über 6 m bei einer schmalen Plattenbreite von 750 mm mit ausbaubarem Plattenpaket. Rechnerisch konnte ein geringer Druckverlust von unter 1 mbar durch eine vertikale Bauweise unter Einbeziehung der Gravitation erreicht werden.

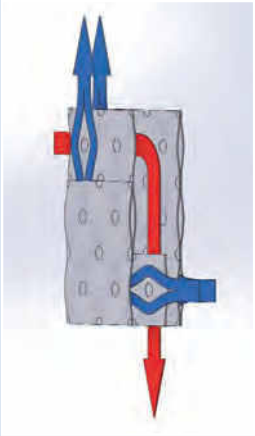
Hieraus hat sich die in der Zeichnung dargestellte Konstruktion ergeben.



WTP-Kondensator mit hohem Flüssiganteil

4. Gas-Gas-Kreuzgegenstrom-Wärmetauscher

Bei vielen chemischen Prozessen entsteht Abwärme, die mit einem WTP-System® basierten „Gas-Gas-Kreuzgegenstrom-Wärmetauscher“ wirtschaftlich wiederverwendet werden kann. Der von LOB entwickelte Rekuperator nutzt diese Abwärme auch bei hohen inneren und äußeren Betriebsüberdrücken und dies bei niedrigem Druckverlust und geringem Gesamtgewicht. Verfahrenstechnische Prozesse verlaufen oft unter hohem Druck und hoher Temperatur. Zur Vermeidung von zusätzlicher Energie, die durch den Einsatz von Kompressoren entsteht, ist es erforderlich, dass Wärmeaustauscher auf beiden Seiten einen möglichst geringen Druckverlust verursachen. Bei begrenztem Platz sollten das Gewicht und der umbaute Raum des Wärmeaustauschers dabei möglichst gering sein.



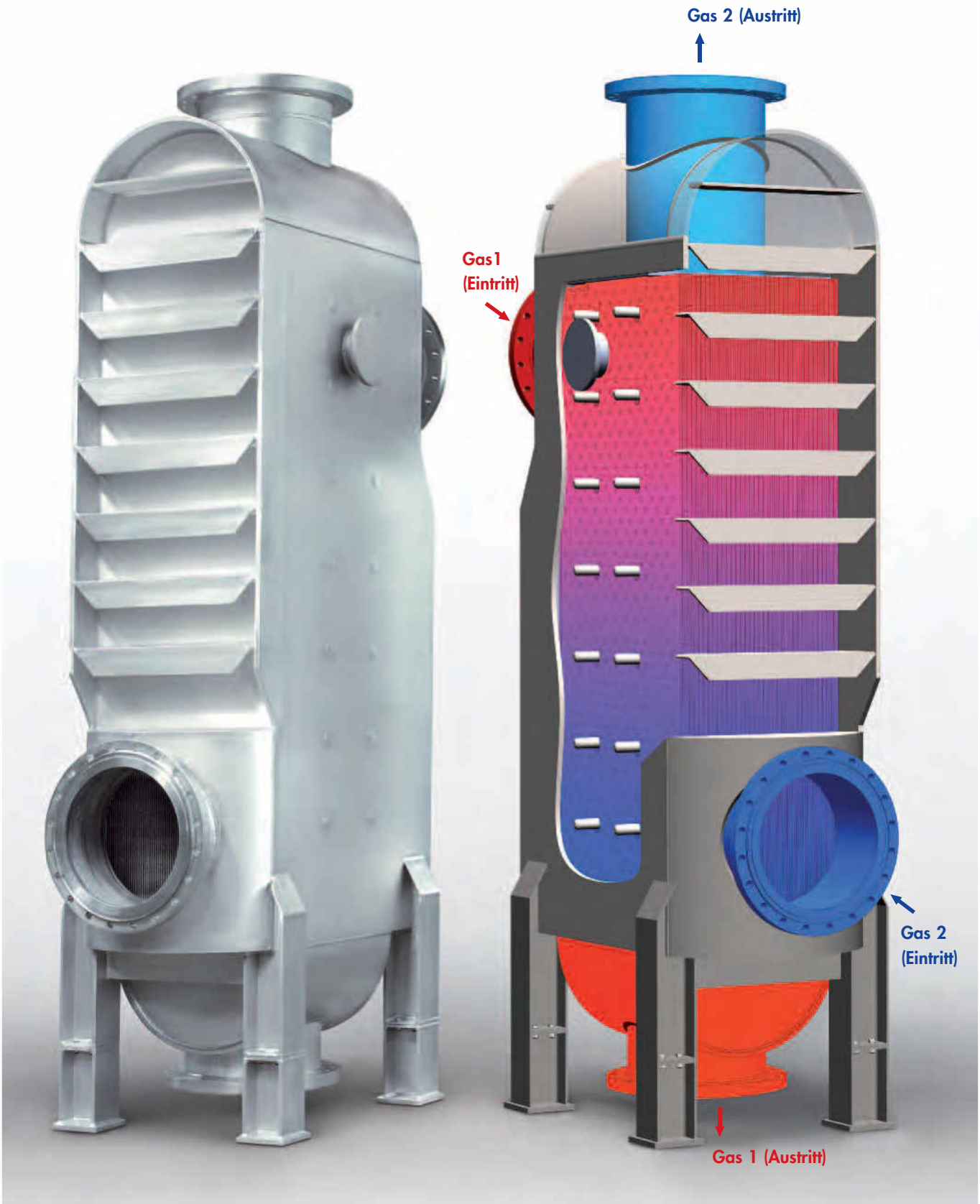
Der von LOB neu entwickelte Gas-Gas-Wärmetauscher mit WTP-System® erfüllt diese Anforderungen. Zunächst wird durch die engen Spalten zwischen den Platten und die geringen Kissenhöhen der lasergeschweißten Wärmetauscherplatten eine sehr kompakte Bauweise erreicht. Dies führt zu einem sehr geringen Gewicht und zu kompakten Baumaßen. Darüber hinaus ist es uns gelungen, durch konstruktive Maßnahmen den Betriebsüberdruck des Kreuzkühlergehäuses und im WTP-Plattenpaket auf Drücke von > 10 bar auszulegen – und dies bei überschaubaren Wandstärken. Die Innenseiten der WTP-Platten sind so gestaltet, dass der Druck je nach gewähltem Schweißkreisraster aufgefangen werden kann. Der Druck um die WTP-Platten und auf die Gehäusewand wird dabei durch Verbindungsankerstangen aufgefangen, die durch die Platten geführt werden und mit den Außenwänden verschweißt sind.

Da die Temperatur beim Anfahren und bei der Wiederinbetriebnahme nach einem Stillstand durch Zuführung der Rauchgase relativ sprungartig steigt, hat LOB den Gas-Gas-Kreuzgegenstrom-Wärmetauscher so konstruiert, dass die dabei entstehenden Dehnungen kompensiert werden können. So werden Wärmespannungen zwischen dem anfänglich noch kalten Gehäuse und dem schnell erhitzten Plattenpaket vermieden. Durch eine besondere Art des Gaseintritts in die WTP-Platten ist der entstehende Druckverlust deutlich geringer als bei einem vergleichbaren Rohrbündelwärmetauscher.

Das kältere Rauchgas wird bei dem rekuperativen Gas-Gas-Wärmetauscher wegen des temperaturbedingt geringeren Gasvolumens in die WTP-Platten geführt, während das heißere Abgas zwischen den Platten geführt wird. Die Aufweitung der Platten bzw. der Plattenabstand kann so gewählt werden, dass die Gasgeschwindigkeiten auf der kalten bzw. warmen Seite aufeinander abgestimmt werden.

Nominiert für den Achema Innovation Award

Das Konzept des Gas-Gas-Wärmetauschers wurde 2015 während der Achema mit dem Achema Innovation Award nominiert. Gleichzeitig war unser Messestand Bestandteil der offiziellen Achema-Innovationstour während der Messe.



Gas-Gas-Wärmetauscher / Kreuzgegenstrom-Rekuperator

5. Flüssig-Flüssig-Wärmetauscher

WTP-Platten eignen sich besonders zur Wärmeübertragung von Prozesswasser an stehenden oder fließenden Gewässern. Dabei wird konditioniertes Prozesswasser zum Kühlen oder Heizen in den Platten geführt. Das Abwasser- oder Flusswasser befindet sich auf der Außenseite des Plattenpaketes. Hierdurch wird eine Verschmutzung in den WTP-Platten verhindert. „Fouling" auf der glatten Außenseite der WTP-Platten wird weitgehend durch die Strömung des fließenden Gewässers vermieden oder kann durch die offene Zugänglichkeit der Plattenaußenseite mittels Dampfstrahler gut abgereinigt werden.

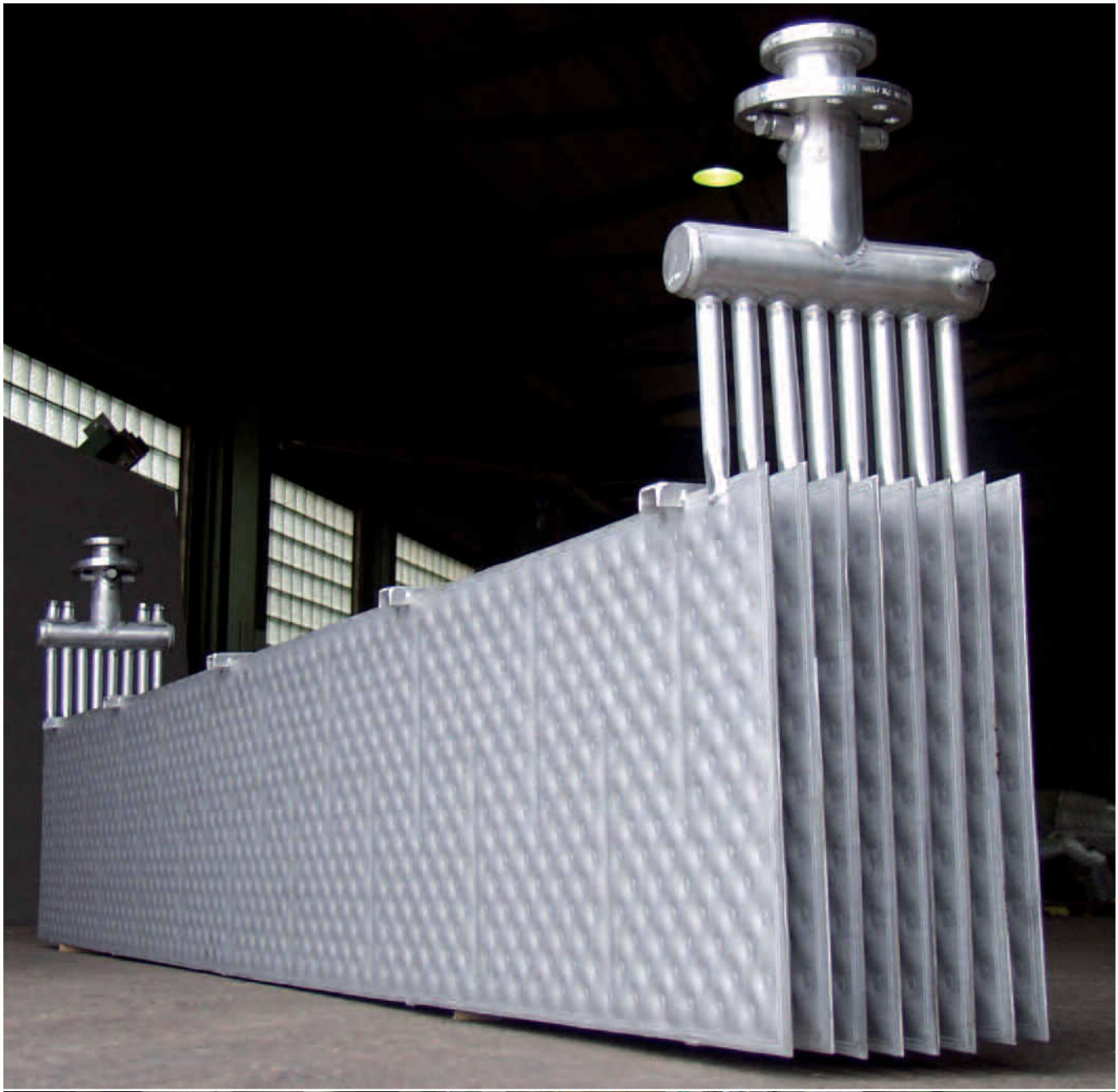
Das WTP-Plattenpaket kann direkt in einen Flusslauf, separaten Strömungskanal oder ein Abwasserbecken eingebracht werden. Im Vergleich zu Rohrbündeln sind längsangeströmte WTP-Platten bei gleichen Übertragungsleistungen kostengünstiger zu installieren und zu betreiben.

Der Druckverlust auf der Prozessseite kann über die Aufweitung der WTP-Platten und die Wahl des Rasters angepasst werden. LOB hat in umfangreichen Versuchsreihen die Druckverluste in den Platten in Abhängigkeit von den Eintrittskanälen, der Aufweitung der Waben / Kissen und der Prozesswassermenge gemessen und in Berechnungsmodellen niedergelegt. Die Geschwindigkeiten im anströmenden Wasser liegen in der Regel in einer Bandbreite von 0 m/s bei stehendem Gewässer bis 1,2 m/s bei fließender Strömung. Im letzteren Fall wird die freie Konvektion durch erzwungene Strömung überlagert. Durch die so erzeugte Mischkonvektion werden höhere Wärmeleistungen erreicht.

Im Anwendungsbeispiel betrug die rechnerische Wärmeleistung bei einer Strömungsfläche von ca. 35 m^2 und bei freier Konvektion an der Außenseite des Plattenpaketes ca. 700 kW. Die Wärmedurchgangswerte liegen bei dieser Betriebsweise bei etwa 600 bis 800 $W/(m^2K)$.

Je nach Anwendungsfall können die Leistungsdaten über die Anzahl der Platten und über die Lauflänge durch Hintereinanderschaltung erweitert werden. Die Einspeisung auf der Kühlwasserseite kann auch über einen Verteilerbalken erfolgen. Der Druckverlust in der Platte kann über die Aufweitung der WTP-Platten eingestellt werden.

Flüssig-Flüssig-Wärmetauscher



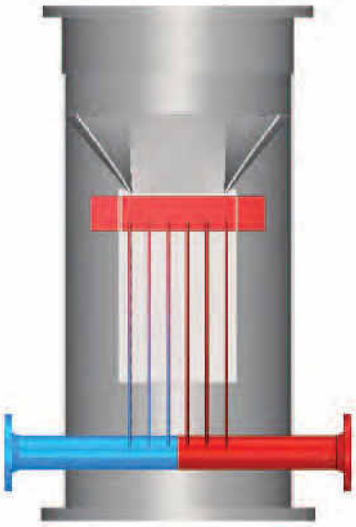
Flüssig-Flüssig Wärmetauscher

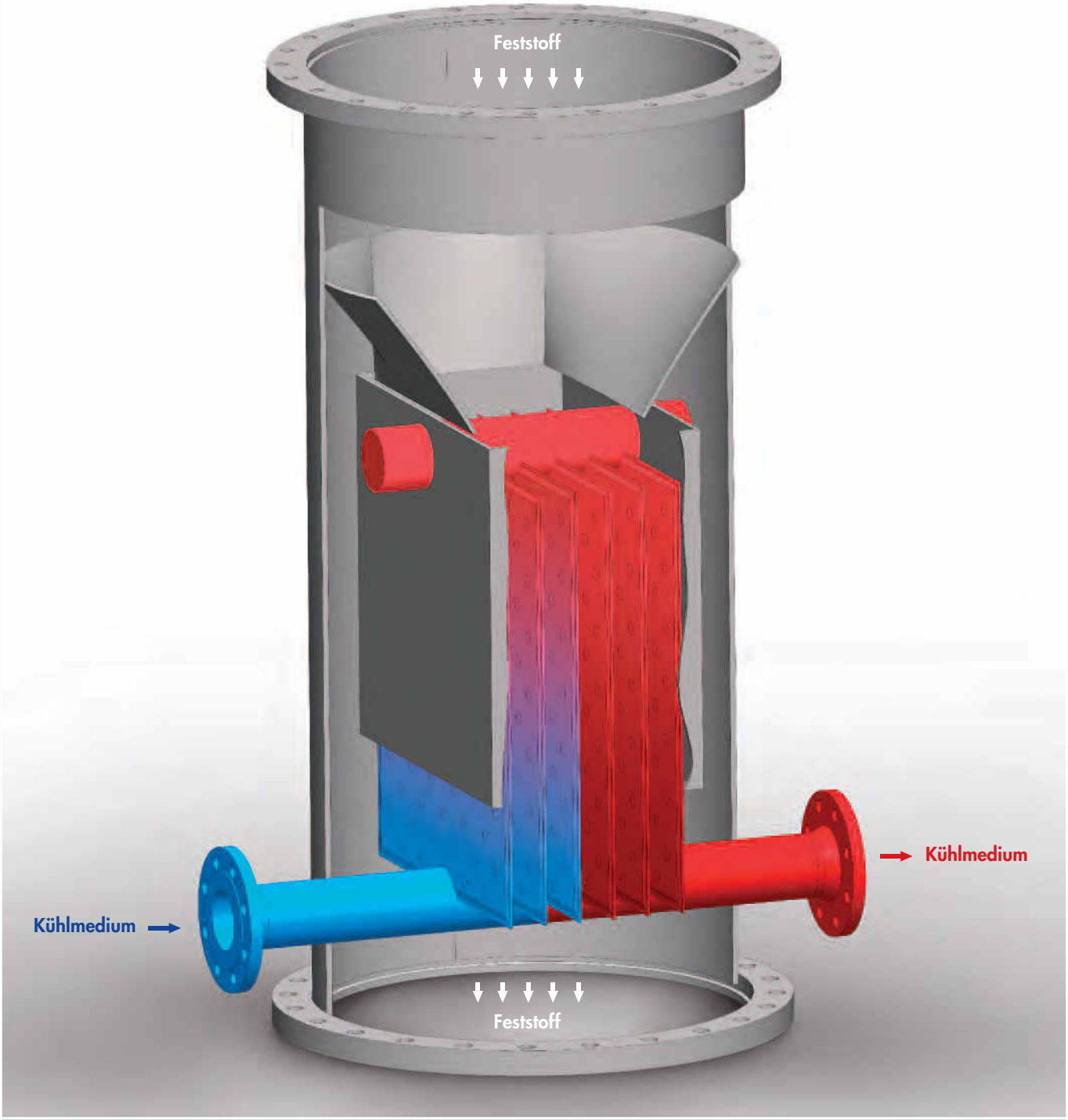
6. Feststoffkühler

Es bestand die Aufgabe Feststoff mit Temperaturen von 450 Grad C bei 6 bar Drücken herunterzukühlen. Der Feststoff wird von oben zwischen ein WTP-Plattenpaket geleitet, wandert nach unten und wird dann in einem angeflanschten Behälter aufgefangen. Das Kühlwasser wird in ein geteiltes Zuteilungsrohr eingespeißt, in der Hälfte des Plattenpaketes umgeleitet und verlässt den Behälter über die zweite Hälfte. Vorteil dieser Konstruktion ist eine sehr kompakte Bauweise und ein Einbau oberhalb eines Feststoff-Sammelbehälters.

Der Wärmeübergang auf der Feststoffseite ist abhängig von der Eigenschaft des Feststoffes und der Geometrie. Unterstellt man für den Feststoff eine Kugelform wird α Feststoff bestimmt durch die Dichte, Wärmeleitfähigkeit und Wärmekapazität. Auf der Feststoffseite kann man von einem α Feststoff von 9 W/(m²K) ausgehen. Für die Kühlwasserseite gilt, dass der Wärmeübergang α Kühlwasser nur so hoch sein sollte, dass dieser den k-Wert insgesamt signifikant erhöht.

Feststoffkühler




Feststoff
Kühlmedium
Kühlmedium
Feststoff

7.1 Rührwerksbehälter mit WTP als Behälterheizung

Das LOB WTP-System® ist eine Alternative zu herkömmlichen Systemen wie Halbrohrschlange oder Doppelmantel für den Einsatz von Rührwerksbehältern. Die Vorteile liegen sowohl im effektiven Wärmeübergang als auch bei den kostengünstigen Herstellungskosten.

Der Wärmedurchgang an Rührwerksbehältern und damit die energetische Effizienz wird vom Wärmeübergang im Inneren des Behälters und an der Außenwand sowie durch die Wandstärke des Behälters bestimmt. Der Wärmeübergang an der Innenwand eines Rührwerksbehälters ist im wesentlichen abhängig von Rührwerksform (z.B. Wendelrührer, Blattrührer), Drehzahl, Behälterdimensionierung und Rührwerksabmessungen sowie den Stoffdaten des Behälterinhaltes.

Die Wärmeübergänge α innen an der Behälterinnenwand liegen in der Regel in der gleichen Bandbreite wie die Wärmeübergänge im WTP-Mantel. Zur Bestimmung des Wärmeübergangs im Inneren wird auf die Rührwerkshersteller und Betreiber von Rührwerkskesseln verwiesen.

Hohe α Werte an der Außenwand gehen aber einher mit höheren Druckverlusten und sind nur dann von Vorteil, wenn durch die Erhöhung des Wärmeübergangs im Mantel der Wärmedurchgang von innen nach außen signifikant erhöht werden kann. Das ist dann der Fall, wenn die Wärmeübergänge im Behälter und im Mantel in der gleichen Größenordnung liegen.

Bei gutem Abgleich der Wärmebilanz ist der Druckverlust im Außenmantel entscheidend für eine energetisch effiziente Beheizung oder Kühlung eines Rührbehälters. Der Druckverlust im WTP ist abhängig von dem gewählten Schweißkreisraster und der Aufweitung. Wesentlich ist dabei die Gestaltung der Einlauf- und Auslaufstutzen in das WTP-Innere sowie die Verbindung von unterschiedlichen WTP-Räumen. Hinsichtlich der Gestaltung von Einlaufgeometrien sind bei LOB zahlreiche Bauformen getestet worden, die auch zu patentierten Lösungen wie Ringleitungen und Endlos-WTP geführt haben.

Bei herkömmlichen Behältern oder Rohrleitungen sind komplexe Geometrien, wie beispielsweise Auflagepratzen oder Auflageringe und Stutzen an Rührwerksbehältern, nur mit erheblichem konstruktiven Aufwand und hohen Kosten realisierbar. Mit dem LOB WTP-System® lassen sich hingegen auch komplizierte Behältergeometrien effizient temperieren.

LOP
APPARATE & BE

7.2 Rührwerksbehälter mit gekühlten Stromstörern

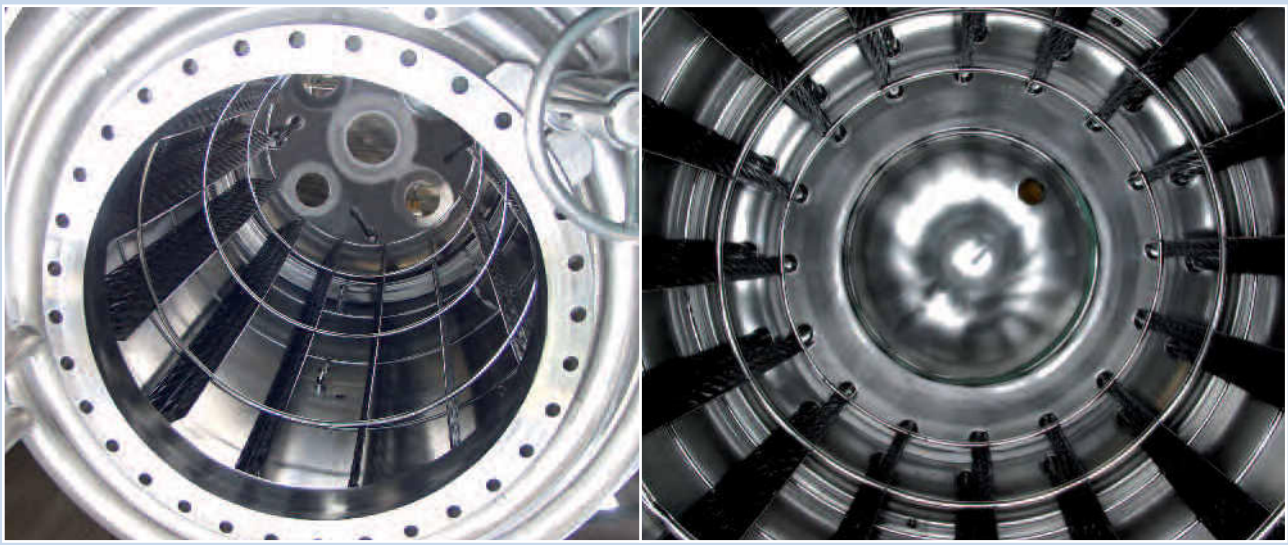
Beheizte und gekühlte Stromstörer

Um in Rührwerksbehältern eine homogene Durchmischung zu erreichen, werden in der Regel Stromstörer an der Behälterinnenwand eingebaut. Die herkömmliche Bauweise besteht aus dicken Platten, die das Drehmoment des Rührwerkes aufnehmen und über starke Halterungen in die Innenwand des Behälters einleiten. Soll in einen Rührbehälter zusätzlich Wärme eingekoppelt werden, werden nach konventioneller Bauweise Rohrschlangen eingebaut.

Die Konstruktion eines WTP-Stromstörers erfüllt gleichzeitig die Forderungen nach einer mechanischen Vermischung und einem zusätzlichen Wärmeeintrag in das Produkt. LOB hat in einen Rührwerksbehälter 16 WTP-Stromstörer mit einer Zusatzfläche von ca. 20 m² eingebracht, die über zwei Ringleitungen im Inneren mit Dampf beaufschlagt werden. Durch Schrägstellung der Stromstörer zur Drehbewegung des Rührwerks wird ein optimaler Wärmeübergang und eine gute Durchmischung des Produktes erreicht. Auf diese Weise kann zusätzlich Wärme in das Produkt eingekoppelt werden. Zur Vermeidung von Anbackungen wurden die Flächen dabei poliert. Das Drehmoment wird über Rundeisen abgefangen, die die einzelnen WTP-Stromstörer auf einem Teilkreis auf Distanz halten.

Ein weiterer Vorteil der WTP-Stromstörer gegenüber in den Behälter eingebrachten Rohrschlangen ist, dass mit WTP-Stromstörern bei geringer Menge des Wärmeträgermediums ein schneller Wechsel zwischen Heizen und Kühlen erfolgen kann. Bei Rohrschlangen, die z.B. mit Dampf beheizt werden und später mit Flüssigkeit gekühlt werden sollen, muss eine sehr große Menge an Kühlmedium eingesetzt bzw. ausgetauscht werden, um einen annähernd gleichen Wärmeübergang zu erreichen.

Als Strömungsbild in einem Rührwerksbehälter ist bekannt, dass sich Produktwalzen in horizontaler Richtung längs zu den Stromstörern ausbilden. Das bedeutet für den Wärmeübergang, dass die Fläche des WTP-Stromstörers längs parallel und auch teilweise senkrecht zur Platte angeströmt wird. Ein Rohrbündel bietet weniger Wärmeübertragungsfläche als eine Platte, da zwischen den Rohren Spalte liegen, die durch die horizontale Produktwalze nicht wirksam durchströmt werden.



WTP-Stromstörer

Gekühlte WTP-Stromstörer zum Einbau in Rührwerksbehältern

7.3 Verbindungen von WTP-Räumen mit Ringleitung und Endlos-WTP

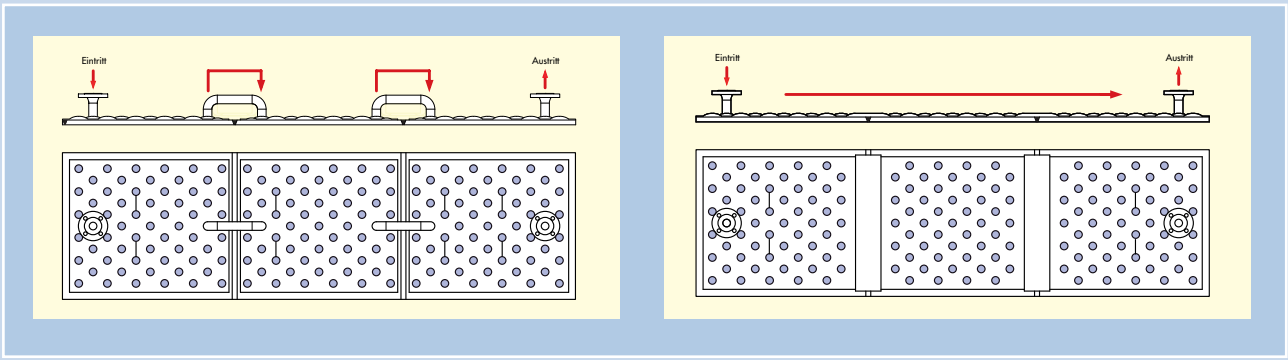
Ringkanal am Außenmantel

Soll bei einem Behälter mit WTP auf der Außenwand der Druckverlust im Kühlmediumbereich niedrig gehalten werden, wird ein Ringkanal am oberen und unteren Rand an dem Behälter angebracht. Die Einspeisung und Ausschleusung in und aus den Ringkanälen erfolgt über einen oder mehrere aufgesetzte Stutzen.

Ein Ringkanal wird auf der Austrittsseite mit dem WTP verbunden, so dass über die gesamte WTP-Innenfläche das Kühlmedium ein- und austreten kann. Durch die Vergrößerung der Eintritts- und Austrittsfläche wird der auftretende Druckverlust minimiert. Zwangsführungen, die durch Schweißnähte erzeugt werden, sorgen für eine gleichmäßige Verteilung und somit für einen homogenen Wärmeübergang im WTP-Blech.

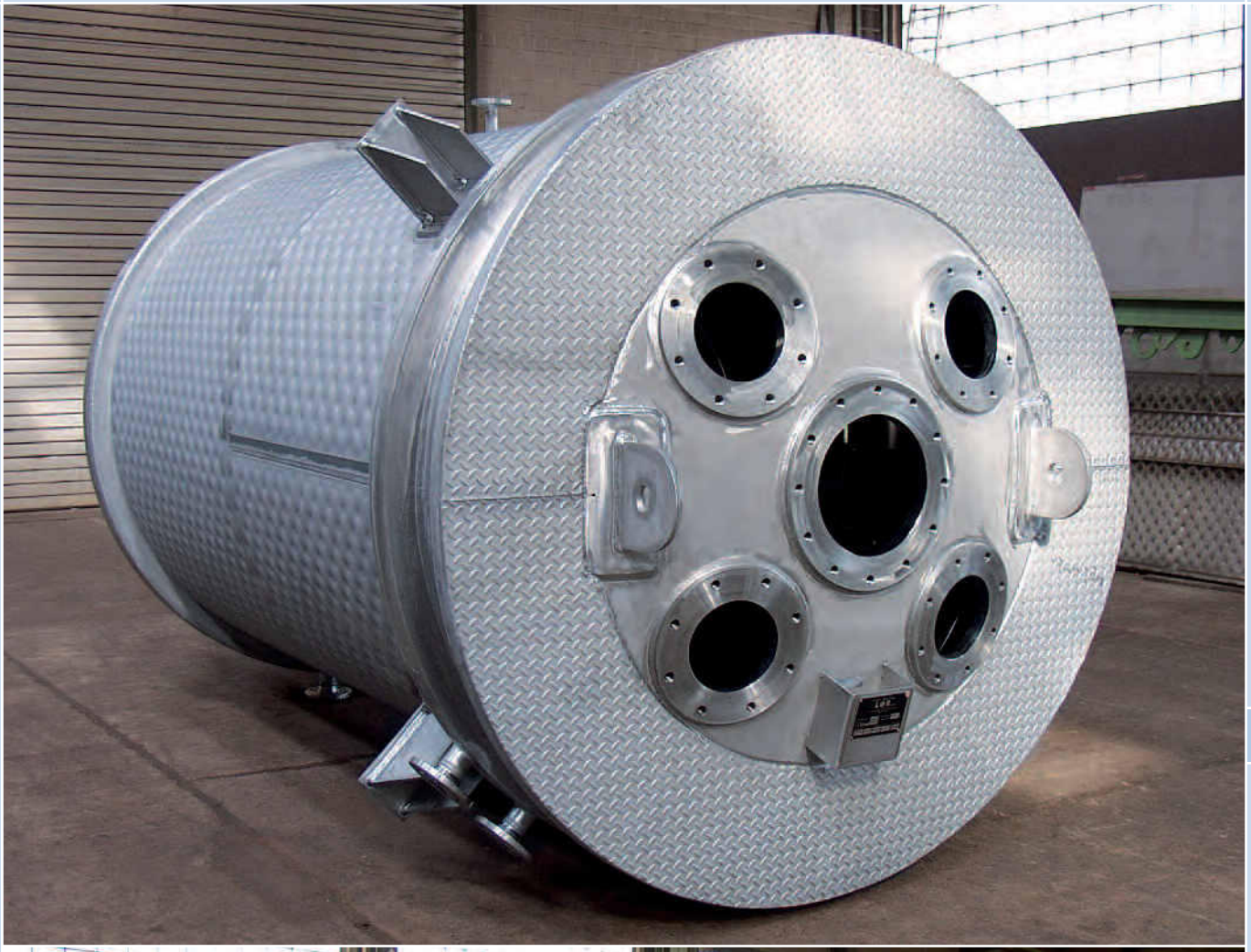
Verbindungselement Endlos-WTP (LOB Patent)

Die Kühlwasserführung kann auf zwei Arten erfolgen. Zum einen kann das Kühlmedium in Verbindungen mit Rohrbögen von einer Platte zur anderen geführt werden. Dies bedeutet bei jeder Umlenkung einen Druckverlust im Kühlmedium.



Schema WTP-Endloskonstruktion

Soll der Druckverlust niedrig gehalten werden, hat LOB nach ausführlichen Entwicklungsarbeiten, Strömungssimulationen und Versuchen eine „Endloskonstruktion“ gefertigt und patentiert. Bei dieser Variation tritt das Wärmeträgermedium über zentrale Führungen in den Außenmantel ein und aus. Durch diese beiden Verfahren können fast beliebige Mengen an Wärmeträgermedium bei geringem Druckverlust durch das WTP-System® geleitet werden. Darüber hinaus können so Konstruktionen beliebiger Länge mit jeweils nur einem Zu- und Ablauf versehen werden, was den Einsatzbereich des WTP-Systems noch einmal erweitert. Auch können so Behälter beliebiger Länge gefertigt werden.



Reaktoren für eine Mischeranlage mit WTP-Endloskonstruktion

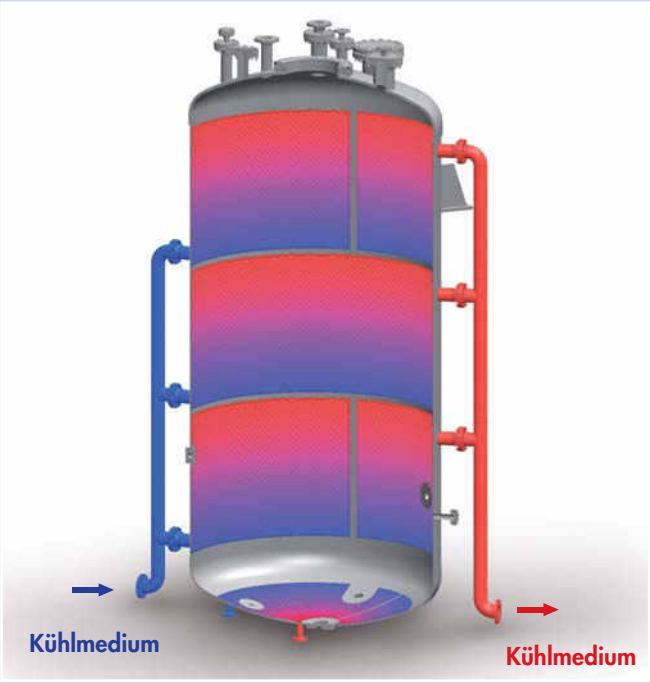
8. Bis zu 300 % schnellere Aufheizzeiten von Reaktoren durch WTP-Innen

Hohe Berechnungsüberdrücke führen bei Reaktoren zu hohen Wanddicken in der Behälterwandung. Ist für den Prozess bedingt durch exotherme Reaktionen oder sonstige Randbedingungen, eine schnelle Wärmezufuhr oder Wärmeabfuhr erforderlich, kann dies, wenn im Inneren des Behälters keine Temperierelemente eingebracht werden können, über einen Doppelmantel, eine Halbrohrschlange oder das WTP-System® erfolgen.

Im Vergleich zu einer Beheizung an der Außenseite eines Behälters, bei der die Wärme durch die dickwandige Behälterwand geleitet werden muss, kann der Widerstand, der durch die Wärmeleitfähigkeit des Materials und der Wanddicke der Behälterwandung vorgegeben ist, durch den Einsatz des WTP-Systems-innen deutlich reduziert werden. Die Wärme muss nur durch das dünne WTP-Oberblech von 1,5 – 3 mm Dicke geleitet werden. Diese verbesserte Wärmeleitung und die hohen Wärmeübergangskoeffizienten beim Durchströmen des WTP-Systems ermöglichen es gegenüber Stahlbehältern die 2-fache Wärmemenge, und gegenüber Edelstahlbehältern fast die 3-fache Wärmemenge in den Behälter einzubringen. Dies führt zu einer deutlichen Reduzierung der Batchzeiten. Bei der Gestaltung der WTP-Räume sind unbedingt die Wärmebilanz und die sich daraus ergebenden Mengenströme pro WTP-Raum zu beachten. Mit diesen Mengenströmen ist dann eine Druckverlustberechnung zu erstellen, um die zu- und abzuführenden Leitungen sowie die Stutzen so zu gestalten, dass der Druckverlust und die Geschwindigkeiten im System nicht zu hoch werden. Der WTP-Mantel kann zusätzlich noch einen Innenschliff erhalten und nachfolgend elektropoliert werden, so dass bei einem Produktwechsel eine rückstandsfreie Reinigung möglich ist.

Festigkeitsmäßig ist der WTP-Innenmantel extrem belastbar und im Falle von Schäden, die mechanisch verursacht wurden, ist eine partielle Reparatur des Innenmantels möglich. Bei der richtigen Auswahl des Schweißkreisrasters kann der Innendruck des Behälters problemlos mehr als 10 bar betragen. Lastwechselversuche am WTP-System haben gezeigt, dass dieses einer Beanspruchung von 500.000 Lastwechseln bei einer Druckdifferenz von 6 bar problemlos standhält.

Das WTP-System® lässt sich somit optimal für Batchreaktoren mit hohen Lastwechselzahlen und wechselnden Beanspruchungen einsetzen. Man sollte jedoch wie bei allen anderen Systemen darauf achten, dass der Temperaturwechsel zwischen Kühlen und Heizen nicht zu schnell stattfindet. Ein weiterer Vorteil des Systems ist, dass ein Behälter mit dem WTP-System® auf der Innenseite allein durch die geringere Masse (im Vergleich zu einem Behälter mit Doppelmantel weniger als 50%) weniger Energie benötigt, um die Behältermasse auf- bzw. abzukühlen, und eine viel bessere Regelcharakteristik aufweist, da die Temperatur immer direkt am Produkt ist.



Rührwerksbehälter mit WTP-System an der Innenwand

WTP-System an der Innenwand

9. Behälter und Klemmplatten

Die Lösung zur Effizienzsteigerung von vorhandenen Anlagen

WTP-Klemmplatten dienen zur Nachrüstung vorhandener Behälter und Lagertanks sowie als Begleitheizung von Armaturen und Rohrleitungen. Klemmplatten bestehen aus einem 3 bis 5 mm Unterblech und einem 1,5 mm Oberblech. Entsprechend der äußeren Kontur des bestehenden Behälters oder Lagertanks werden die WTP-Klemmplatten mit Ausschnitten für Stutzen und Pratzen versehen, so dass die einzelnen Segmente als Halbschalen außen mit Laschen an den bestehenden Apparat angebracht werden. WTP-Klemmplatten für kleine Apparate lassen sich für Ex-Zonen einsetzen, wenn heißes Wasser zur Verfügung steht.

Klemmplatten eignen sich besonders für Lagertanks, an deren Außenwand durch Konvektion Wärme abgeführt wird, die von der Anströmgeschwindigkeit der Außenluft und der Temperaturdifferenz zwischen Tankinhalt und Außentemperatur abhängt. Der Wärmeübergang liegt beispielsweise bei 3 bis 10 W/(m²K). Die Abstrahlungswärme kann durch Klemmplatten ausgeglichen werden. Innen kann bei ruhendem Behälterinhalt von ca. 100 W/(m²K) oder konstanter Wandtemperatur ausgegangen werden. Insgesamt können Wärmedurchgangswerte zwischen Behälterinhalt und WTP-Klemmplatten von 80 bis 180 W/(m²K) erreicht werden, was in vielen Fällen zum Warmhalten oder langsamen Aufheizen ausreichend ist.

WTP-Armaturheizung DN 80

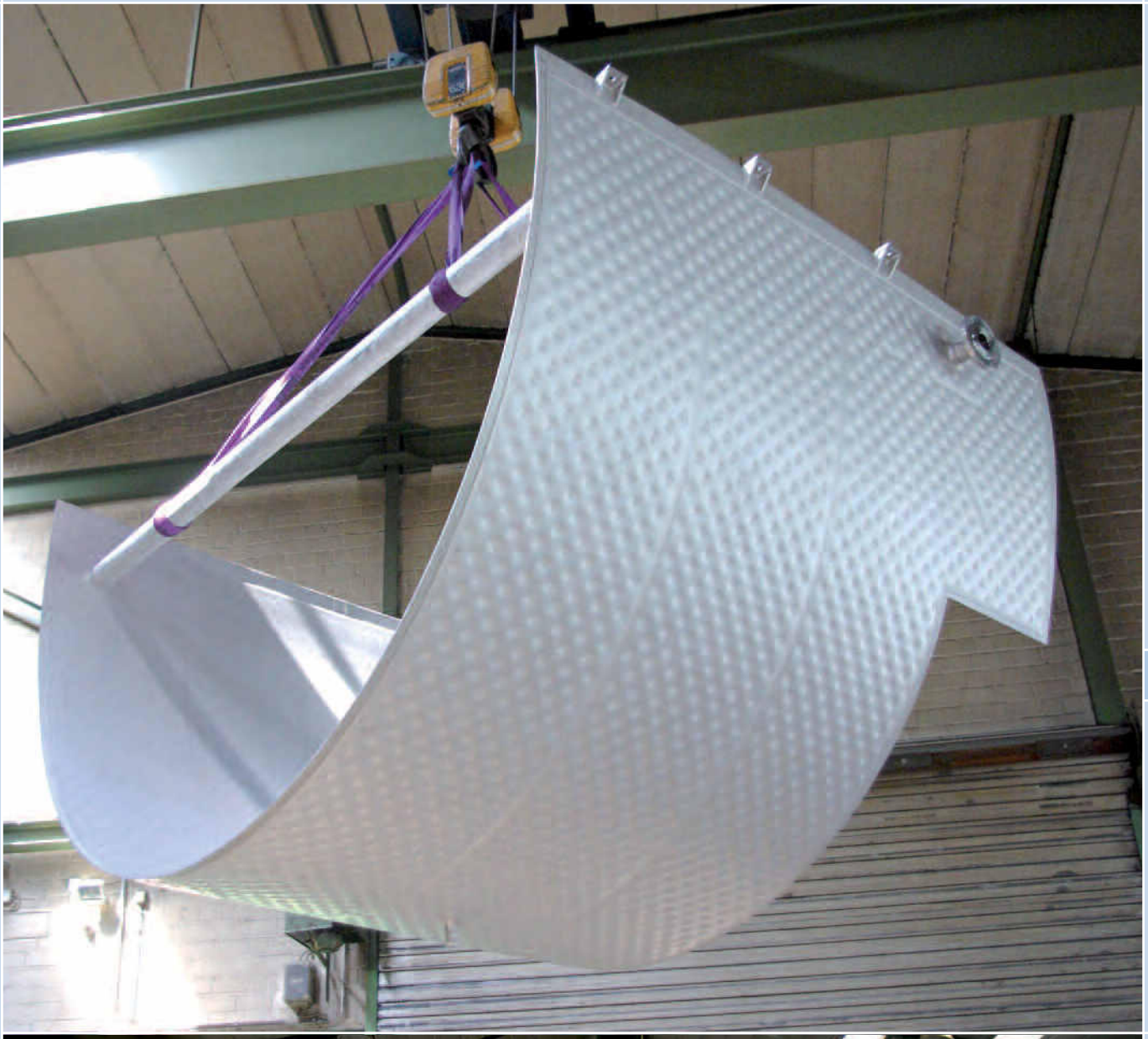
WTP-Klemmplatten

WTP-Klemmplatten

WTP-Konusbeheizung

WTP-Beheizung eines Bodens

Um bei Behältern zwischen den Klemmplatten und dem Apparat die schlecht wärmeleitende Luft zu verdrängen und einen besseren Wärmeübergang zu erzielen, wird in den Spalt Thermoleitzement eingebracht. Dieser Thermoleitzement hat eine Wärmeleitfähigkeit von ca. 100 W/(m²K). Eine Dampfbeheizung von Klemmplatten macht keinen Sinn, da sich der Wärmeleitzement bei zu hoher Temperatur zersetzt.



WTP-Klemmplatte
WTP-Rohrleitung, Ø 300 mm, zum Kühlen von Gasen von 1.500° C

10.1 Vergleich WTP-System® und Doppelmantel

Ein Technologievergleich, der auf umfangreichen Versuchen basiert

LOB hat vor 20 Jahren damit begonnen, erste Versuche zur Ermittlung von Druckverlusten und Wärmeübergängen an einem Testbehälter und an einer Platte durchzuführen. Das Ergebnis lässt sich einfach zusammenfassen:

Das WTP-System besitzt einen wesentlich besseren Wärmeübergang als der klassische Doppelmantel, bei weniger Kühlmittelumlauf mit entsprechend geringerem Energieverbrauch.

An einem Testbehälter mit einem Durchmesser von 1.900 mm und einer Höhe von 1.000 mm, bestehend aus einem Raster 95 mm x 85 mm und einer Aufweitung von 3,4 mm, wurden in Abhängigkeit von der Durchflussmenge Druckverluste gemessen. Aus den Ergebnissen sind allgemein gültige Modelle entwickelt worden, die es erlauben WTP-Platten bezüglich des Druckverlustes und des Wärmeübergangs zu berechnen.

Eine Analogie zur Strömungstechnik und Wärmeübertragung bei Rohren gestaltet sich jedoch schwierig, da das WTP-Blech mehr Freiheitsgrade als ein Rohr oder Rohrbündel hat. Beispielsweise können beim WTP das Raster oder die Aufweitung verändert werden, während beim Rohr nur der Durchmesser variabel ist. Es besteht auch die Möglichkeit, das WTP-Blech den individuellen Anforderungen anzupassen.

Testbehälter für Druckverlustmessungen und zur Wärmeübertragung

Zu Beginn der Versuche stand zunächst die Ermittlung des inneren Volumens eines WTP-Bleches. Dies war notwendig, um bei unterschiedlichen Aufweitungen und Rastern auf kalkulierbare Werte zu schließen. Serien von Druckverlustmessungen mit und ohne Umlenkungen haben dann zu allgemein gültigen Druckverlustbeiwerten geführt. Im Folgenden wurden an dem Testbehälter in Rührversuchen die Wärmeübergangskoeffizienten und die Aufheizzeiten ermittelt. Auf dieser Basis sind Strömungsvergleiche, Wärmeübergänge und Aufheizzeiten zwischen Rohren mit Doppelmantel, WTP-Behälterbeheizung und Halbrohrschlange bei Behältern verglichen worden.

Aufbau der WTP-Platte für die Druckverlustmessung

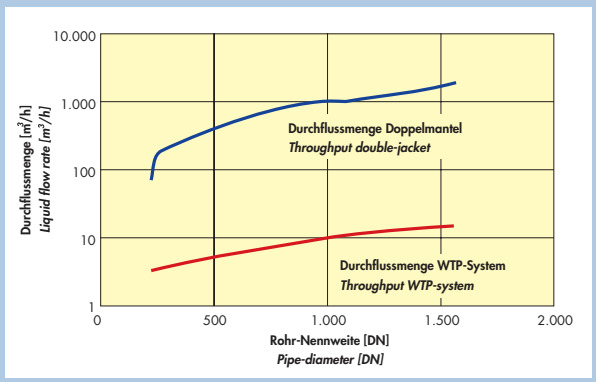
Ergebnis einer Versuchsreihe

Bei einem Versuch verglichen wir z. B. die benötigten Mengenströme beim Doppelmantel und beim WTP-System, um identische Wärmeübergangszahlen zu erreichen. Dabei wurde bei unterschiedlichen Nennweiten eine konstante Geschwindigkeit im Doppelmantel von 1,2 m/s zu Grunde gelegt.

Das Ergebnis: Zur Erreichung gleicher Wärmeübergangszahlen wie im Doppelmantel reduzierte sich die Strömungsgeschwindigkeit im WTP-System von 0,84 m/s bei DN 250 auf 0,52 m/s bei DN 1500. Darüber hinaus wurde auch der benötigte Energiebedarf der Pumpen bei einer Druckhöhe von 2,5 bar und 8.000 Betriebsstunden verglichen. Dabei ergaben sich folgende Werte:

- Doppelmantel (DN 250) 431.600 kWh
- Doppelmantel (DN 1500) 13.873.000 kWh

- WTP-System (DN 250) 27.800 kWh
- WTP-System (DN 1500) 98.650 kWh

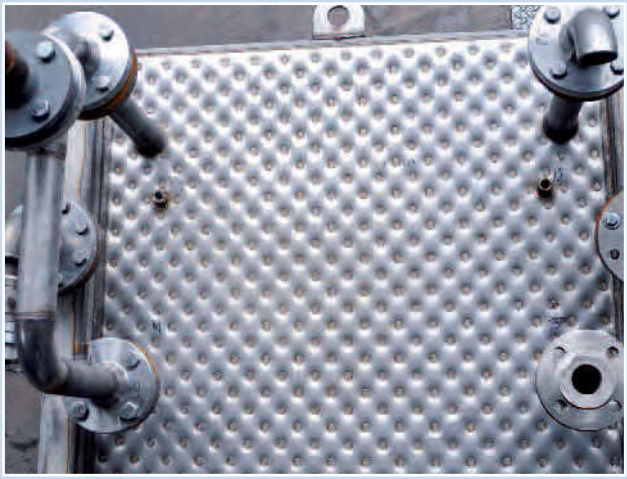


Vergleich Mengenströme Doppelmantel versus WTP-System

Es ergab sich, dass das WTP-System bei gleicher Strömungsgeschwindigkeit eine um mehr als 30 % höhere Wärmeübergangszahl erreicht. So kann der Anwender bei gleicher Strömungsgeschwindigkeit die Menge an Heiz- oder Kühlmedium um 91 % reduzieren. Will man die gleiche Wärmeübergangszahl erreichen, so kann man mit 93,5 % weniger Heiz- oder Kühlmedium arbeiten. Man benötigt noch 6,5 % der ursprünglichen Medienmenge. Da die Fördermenge direkt proportional zur Pumpenleistung ist, führt diese Mengenreduzierung auch zu einer deutlichen Energieeinsparung.

Aktuell wurden bei LOB Messungen an einer WTP-Platte mit einem Verteiler- bzw. Sammlerbalken mit zwei Eintrags- bzw. Austragsstutzen durchgeführt. Bei einem vorgegebenen Raster wurden die Drücke an Eingang und Ausgang in Abhängigkeit von der Wassermenge und der Aufweitung von 2 mm bis 4 mm in Abständen von 0,5 mm gemessen.

Mit den verbesserten Methoden ist es möglich, Druckverluste von WTP-Platten und Behältern mit unterschiedlichen Rastern, Lauflängen sowie Einlauf- und Auslaufstutzen zu berechnen. Die Messungen sind in Zusammenarbeit mit der Fachhochschule Köln entstanden.



Testplatte zur Druckverlustmessung mit unterschiedlichen Einlauf- und Auslaufstutzen

LOB bietet auch die Möglichkeit, an gefertigten Behältern und Platten den Druckverlust in den WTP-Platten vor Auslieferung zu messen, so dass später im Betrieb der tatsächliche Druckverlust bekannt ist. Möglicherweise kann der Druckverlust durch Aufweitung noch angepasst werden. Allerdings muss dies in Abstimmung mit dem gewünschten Wärmeübergang vollzogen werden.

WTP-Verdampfer, Ø 1.000 mm, Dampf 18 bar

10.2 Kondensator mit Umlaufverdampfer in der Platte

Ergebnisse einer umfangreichen Testreihe

Bei der Kondensation wird die zuvor eingebrachte Verdampfungswärme wieder freigesetzt. Der Energiehaushalt eines Gesamtprozesses wird verbessert, wenn die Kondensationswärme auf hohem Heizdampfniveau in anderen Prozessstufen genutzt werden kann, statt auf niedrigem Temperaturniveau über das Kühlwasser abgeführt zu werden. Liegt die Kondensationstemperatur bei den eingesetzten Stoffen oberhalb der Siedetemperatur von Wasser, bietet sich eine Dampferzeugung an.

Die Wärmerückgewinnung wird besonders günstig durch den Einsatz eines Naturumlaufverdampfers, da der Verdampfer in den WTP-Kopfkondensator integriert ist, keine zusätzlichen Pumpen hat und im gleichen Gehäuse wie der Kopfkondensator angebracht ist. Beim Umlaufverdampfer erfolgt der Wasserumlauf ohne Umwälzpumpe durch natürliche Konvektion aufgrund von Dampfblasenbildung.

Eingetragene Kondensationswärme überhitzt das Wasser auf der Innenseite des Verdampfers, bei Plattenverdampfern in den Platten, und führt dort zur Bildung von Siedeblasen. Diese Blasen steigen nach oben und erzeugen in dem Gemisch aus Wasser und Dampf einen Auftrieb, was entscheidend für den Naturumlauf ist. Im Dampfsammler am oberen Plattenende wird der Dampf von dem noch flüssigen Wasser getrennt, das dann über eine Rückführleitung am unteren Ende in den Verdampfer zurückgeführt wird.

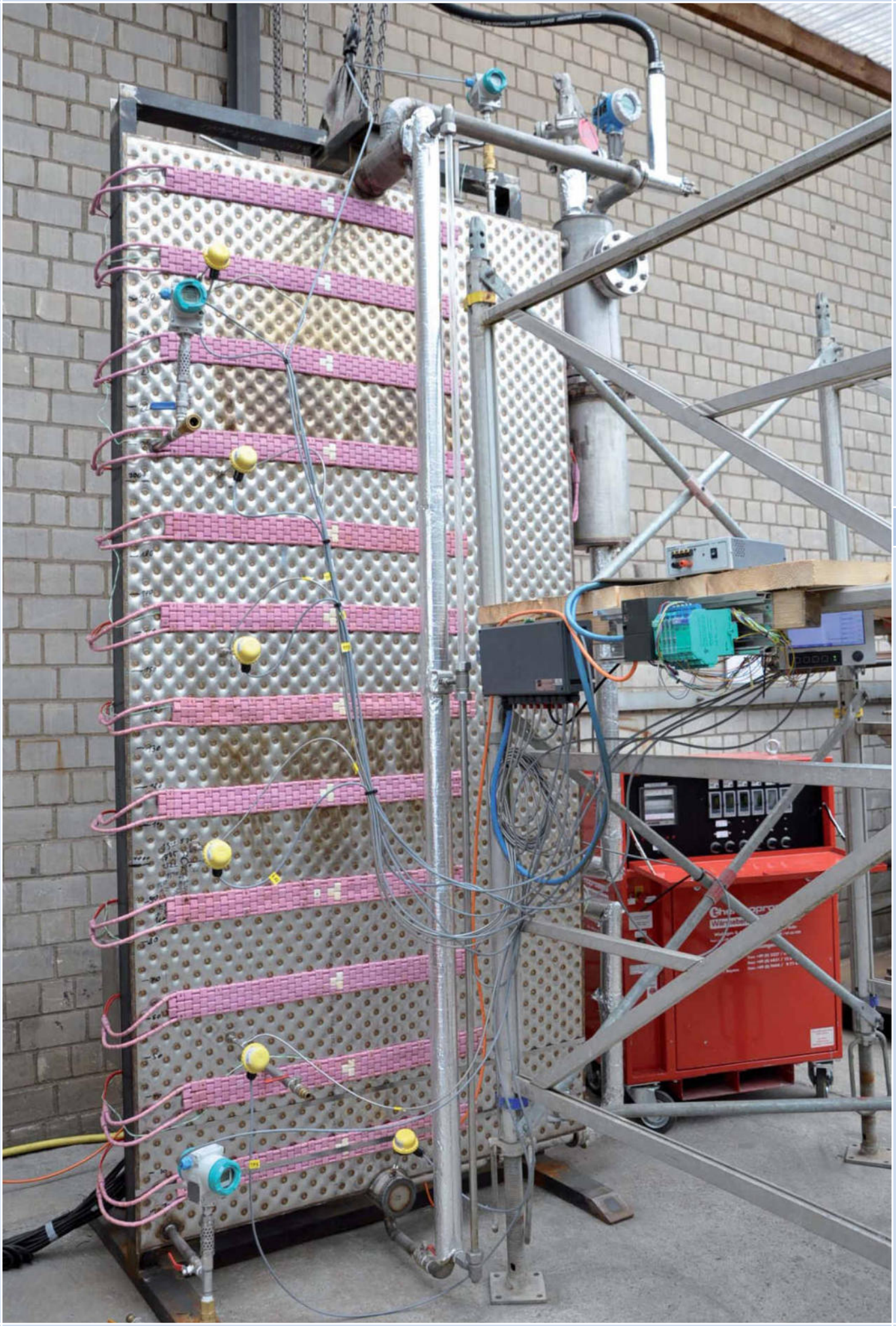
Die Testanlage

Die Forderung nach einem Dichteunterschied auf der Dampferzeugungsseite geht einher mit der Voraussetzung einer Mindesttemperaturdifferenz zwischen der Kondensationstemperatur und der zu erzeugenden Sattdampftemperatur. Um die Betriebsweise und Auslegungsdaten eines Plattenkondensators mit Naturumlauf hinsichtlich Umlaufrate sowie zu erzeugender Dampfmenge in Abhängigkeit von Betriebsdruck und Temperatur zu untersuchen, wurde bei LOB in Zusammenarbeit mit der Fachhochschule Köln eine Testanlage mit WTP-Platten als Naturumlaufverdampfer aufgebaut. Ziel war es auch eventuell auftretende Schwingungen bei der Dampferzeugung in den Platten aufzuzeigen.

Hierzu wurde eine WTP-Platte mit den Abmessungen 1,5 m x 3,0 m außen mit Heizpatronen versehen, um den Eintrag der Kondensationswärme zu simulieren. Diese Plattengröße erlaubt es, Betriebszustände so zu fahren, wie sie sich in der chemischen Industrie in Großanlagen einstellen. Der Rücklauf aus dem Naturumlauf wird über ein Verteilerrohr von unten in die Platte eingespeist. Das erzeugte Dampf-Wassergemisch wird am oberen Ende der Platte über einen Dampfsammler in einen Abscheider geleitet. Der erzeugte Dampf geht über Dach ins Freie und das abgeschiedene Wasser wird wieder von unten als Rücklauf in die Platte geführt. Liegt die Kondensationstemperatur etwa 7 bis 10 Grad C oberhalb der beabsichtigten Dampferzeugungstemperatur ist der Kondensationsprozess zur Restwärmenutzung mit Umlaufverdampfer geeignet.

Die Untersuchungen bestätigen, dass der Naturumlaufverdampfer bei minimaler Temperaturdifferenz stabil gefahren werden kann. Es treten keine Schwingungen in den Platten durch die Blasenbildung auf. Die Umlaufrate liegt im gewünschten Rahmen. Die Testanlage liefert wertvolle konstruktive und betriebliche Hinweise, die bei der Planung zu beachten sind und im Betrieb beim Kunden nicht gewonnen werden können.

Die Versuchsergebnisse haben Eingang in die von LOB entwickelten Konstruktionen und Auslegeprogramme gefunden. Auf dieser Basis wurden diverse Kondensatoren mit integrierten Dampferzeugern im Hauptkondensator ausgeliefert. Die Kondensationsflächen lagen bei 80 bis 300 m². Alle Kondensatoren haben den betrieblichen Leistungstest bestanden.



Versuchsaufbau der Testanlage in Zusammenarbeit mit der TH Köln

10.3 Vergleich WTP-Plattenkondensator mit Rohrbündel

Eine umfangreiche Testreihe im Rahmen des InnovA² Forschungsprojektes

Strömungsverlauf und Wärmeübergang bei der Kondensation an Rohren oder Rohrbündeln sind bekannt. Die einschlägigen kommerziellen Rechenprogramme entsprechen dem Stand der Technik. Rohrbündelkondensatoren benötigen kostenintensive schwere Rohrböden zwischen Kühlwasser und Produkt, während bei WTP-Kondensatoren das Kühlmedium unter hohem Druck eigensicher in den Platten geführt werden kann.

Im Rahmen des InnovA² Forschungsprojektes haben LOB und die Bayer-Technologie-Services die Effizienz eines Plattenkondensators mit einem Rohrbündel verglichen. Im Technikum in Leverkusen wurden dabei ein aus sechs Platten bestehender WTP-Plattenkondensator und ein vergleichbares Rohrbündel mit 10 m² in eine bestehende Kolonne mit 0,6 m Durchmesser und einer Höhe von ca. 2 m so eingebaut, dass die unterschiedlichen Kondensatoren wechselseitig betrieben werden konnten.

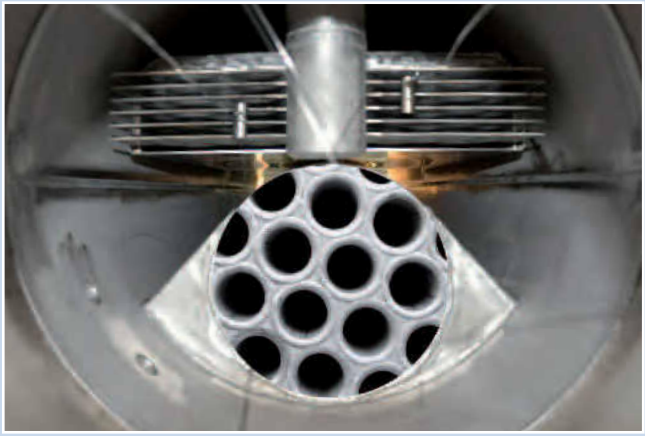
Durch den wechselseitigen Betrieb bestand die Möglichkeit, die gemessenen Leistungsdaten vom Platten- und Rohrbündelkondensator auf direktem Weg zu messen und zu vergleichen. Ein weiteres Ziel der Untersuchung war die Abschätzung, wie gut die Messwerte durch die LOB Rechenprogramme für WTP-Platten abgebildet werden können.

Versuchsdurchführung

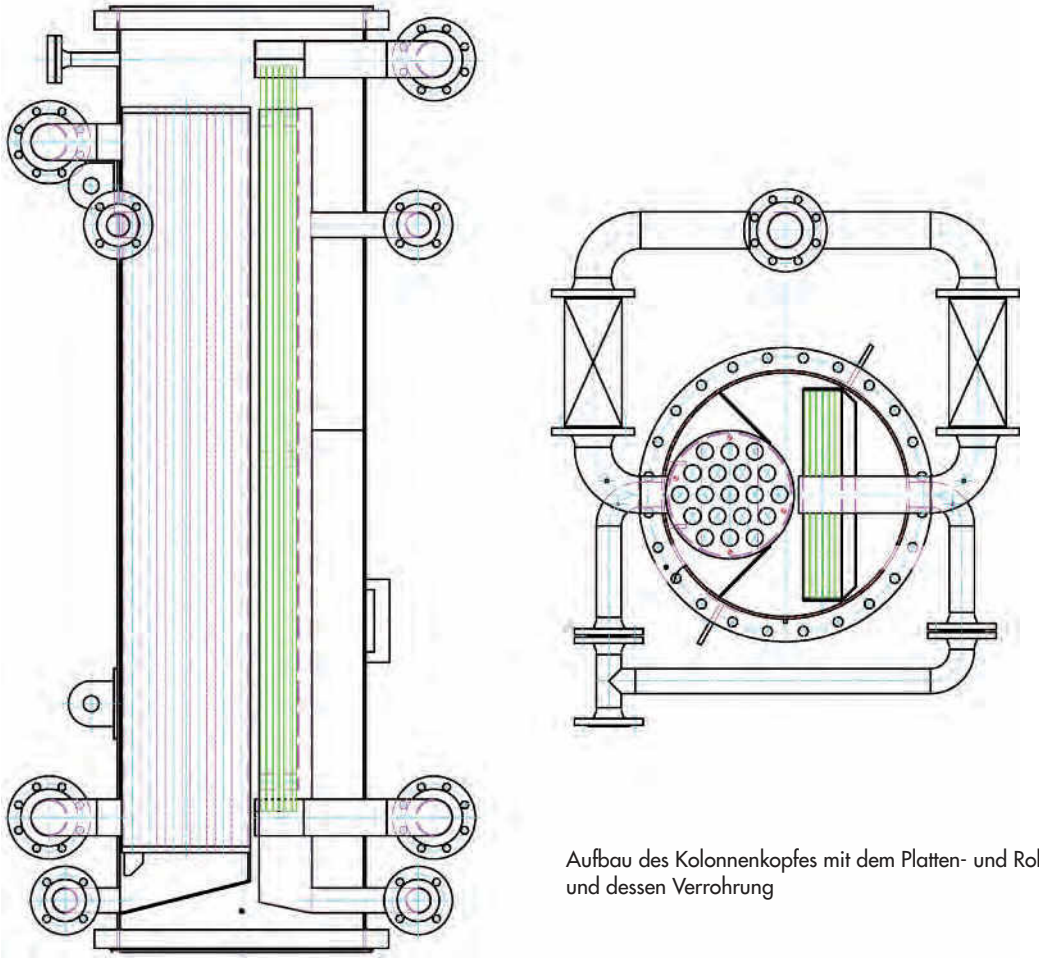
Die Kondensation des Produktstromes erfolgte zwischen den Platten, bei dem Rohrbündel in den Rohren. In beiden Fällen wurden Brüden und Kondensat im Gleichstrom von oben nach unten geführt. Die Messungen wurden mit technischem Chlorbenzol bei 800 mbar und 200 mbar als Reinstoff sowie mit einer Zumischung von Stickstoff als Inertgas bis zu 8,9 kg/h durchgeführt. Die Anlage wurde mit einer Übertragerleistung bis zu 320 kW betrieben. Dieser Wert ist geeignet, um ein Scale Up für eine großtechnische Anlage durchzuführen. In dem Produktraum beider Kondensatoren konnte mittels neuer Lichtleitertechnologie der Temperaturverlauf über die Kondensationslänge der Platte und der Rohre gemessen werden.

Als Ergebnis lässt sich festhalten, dass der WTP-Plattenkondensator gegenüber dem Rohrbündelkondensator bei den untersuchten Bedingungen einen Vorteil von 25 bis 35 % aufweist. Die Gewichtseinsparung kann bei einer kompakten Plattenbauweise bis zu 50 % betragen. Das bei LOB entwickelte Rechenmodell bildet die Kondensationsversuche im Vergleich Plattenbauweise zu Rohrbündel sicher ab und kann auf andere Anwendungen übertragen werden.

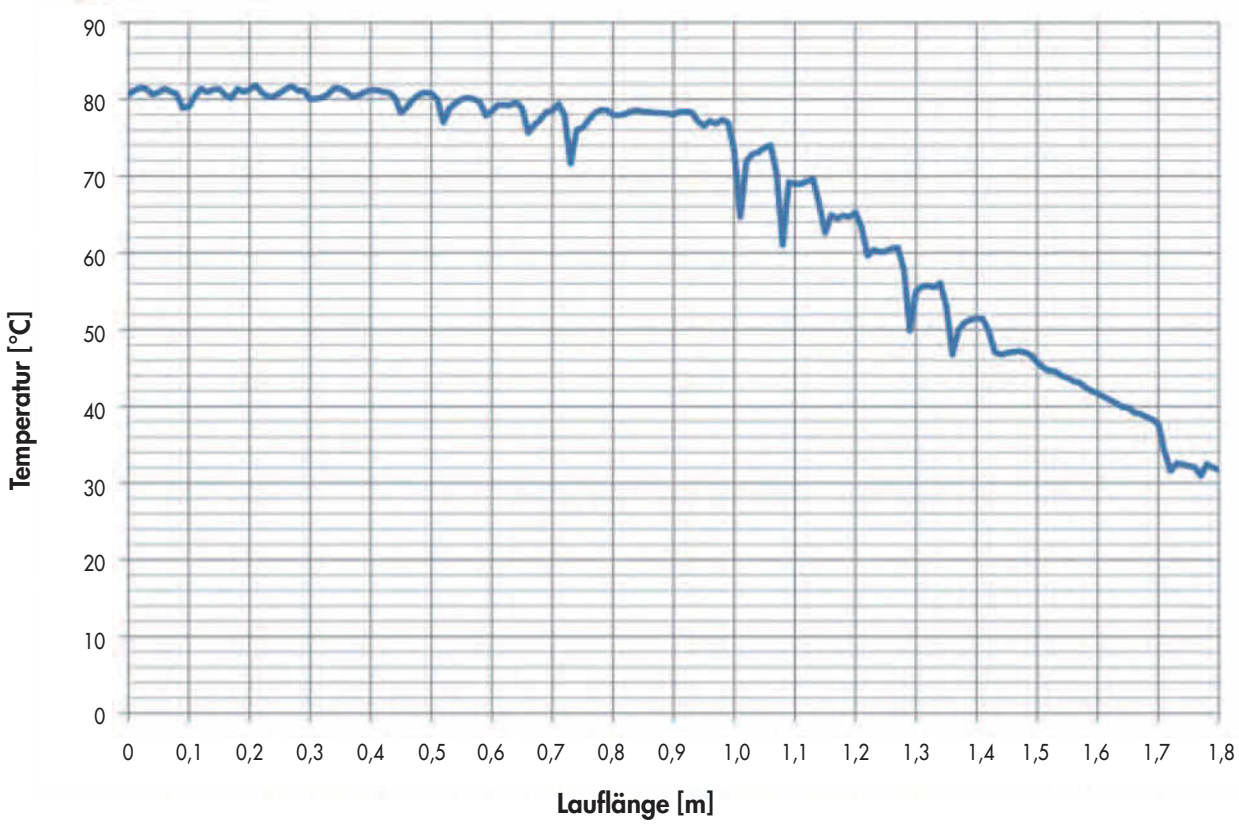
Kolonnenkopf mit eingebautem Platten- und Rohrbündelkondensator



Aufsicht der Kondensatoren Platte und Rohrbündel



Aufbau des Kolonnenkopfes mit dem Platten- und Rohrbündelkondensator und dessen Verrohrung



Typischer Temperaturverlauf von Chlorbenzol gemessen über die Lauflänge in einem Plattenspalt bei 200 mbar(a) Reinstoff

11. LOB Auslegungsprogramme

Verfahrenstechnische Rechenprogramme für WTP-Platten

Für die Auslegung von WTP-Platten wurden bei LOB folgende verfahrenstechnische Rechenprogramme entwickelt und im praktischen Betrieb bestätigt. Die verfahrentechnische Auslegung steht für die nachfolgenden Anwendungen zur Verfügung.

1. **Kondensatoren**
   - Mit der Festlegung von Plattengeometrie, Wärmeübergang, Druckverlust zwischen den Platten, im Kühlwasserbereich, Einbau in Kolonne, Auslegung von Refluxkondensatoren mit Flooding Grenze
2. **Naturumlaufverdampfer in Kondensatorplatten**
   - Auslegung von Kondensatoren mit Naturumlauf-Dampferzeugung in den WTP-Platten
3. **Fallfilmverdampfer**
   - Festlegung der Plattengeometrie mit Berieselungsdichte und Verdampferleistung sowie Flüssigkeitsverteiler
4. **Wärmetauscher**
   - Auslegung von Gas-Gas-, Flüssig-Flüssig- und Flüssig-Gas-Wärmetauschern in WTP-Plattenbauweise mit Wärmeleistung und Druckverlustberechnung
5. **Abwasserkühler**
   - Auslegung von Abwasserkühlern mit freier Konvektion und Strömung an WTP-Platten
6. **Kühlfalle**
   - Berechnung und Auslegung von Kühlfallen mit WTP-Platten
7. **Druckverlustberechnung**
   - Berechnung von Druckverlusten im WTP-System mit unterschiedlichen Aufweitungen und verschiedenen Einlaufstutzen
8. **Vergleich zwischen Halbrohr und WTP-Platte an Behältern**
   - Vergleichsrechnungen der Wärmeübergänge und Druckverluste zwischen Halbrohr und WTP-Platten an Behältern
9. **Wärmeübergang Rührwerksbehälter**
   - Berechnung von Wärmeübergängen und Druckverlust an Rührwerksbehältern
10. **Hochdruckbehälter mit WTP-innen**
    - Auslegung von Hochdruckbehältern mit Wärmeübergang mit WTP-System-innen
11. **Feststoffkühler Wärmeübergang**
    - Berechnung der Wärmeübergänge und Auslegung von Feststoffkühlern
12. **Dampfdruckberechnung in Lagerbehältern**
    - Druckauslegung von Lagerbehältern mit unterschiedlichen Flüssigkeiten
13. **Wärmerückgewinnung an Fackeln (Strahlung, Konvektion)**
    - Wärmerückgewinnung bei Fackeln mit Strahlung und Konvektion
14. **Abstrahlungsverluste an Lagerbehältern**
    - Abstrahlungsverluste bei Lagerbehältern im Winter- und Sommerbetrieb, Ausgleich durch Klemmplatten
15. **Rohrbündelwärmetauscher**
    - Auslegung von konventionellen Rohrbündelwärmetauschern
16. **Zusätzliche Service-Leistungen**
    - Messungen von Druckverlust auf der Kühlwasserseite an gebauten Apparaten mit der Möglichkeit einer Anpassung durch Aufweitung der WTP-Platten (Kondensatoren, Rührwerksbehälter, Getriebegehäuse, Platten)

ENGINEERING & APPARATEBAU

WTP-Rohrleitung

Zulassungen

- Zulassung nach HP0
- Fertigung nach AD 2000
- Fertigung nach DIN EN 13445
- Schweißzulassung nach DIN EN ISO 3834-2
- DIN EN 1090 EXC2
- Zulassung ASME U
- Zulassung nach TRBF 181
- Fachbetrieb nach WHG
- Prüfzeichen für Doppelböden
- QM-System nach DIN EN ISO 9001
- Druckgeräterichtlinie 2014/68/EU: Modul A2
- National Board Zulassung

DIN EN ISO 9001:2000	TÜV CERT **HP0**	**EN 1090**	**ASME U-Stamp**

Werkstoff-Übersicht

LOB verarbeitet alle gängigen Stähle nach DIN EN 10025/10028 sowie nicht rostende und ferritfreie austenitische Stähle. Ein weiterer Schwerpunkt ist die Verarbeitung von Nickelbasiswerkstoffen oder Titan.

Eine komplette Übersicht der Werkstoffe finden Sie im Internet unter **www.lob-gmbh.de**, praktisch sortiert nach Werkstoff-Nummer, DIN Bezeichnung oder AISI- bzw. ASTM- und UNS-Typ.

ENGINEERING & APPARATEBAU

LOB GmbH

Porzer Straße 1-5 · D-51107 Köln

Tel.: +49/221/82953-0 · Fax: +49/221/82953-40

E-Mail: info@lob-gmbh.de · www.lob-gmbh.de