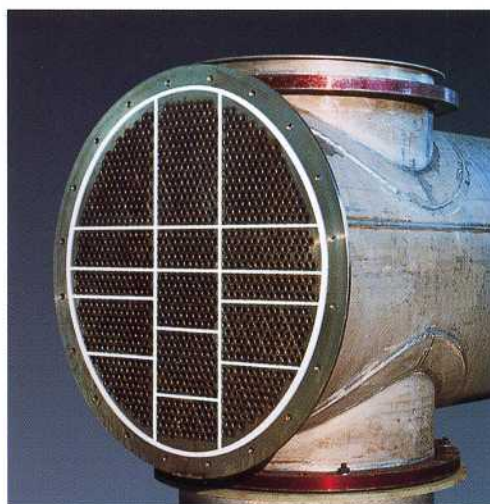
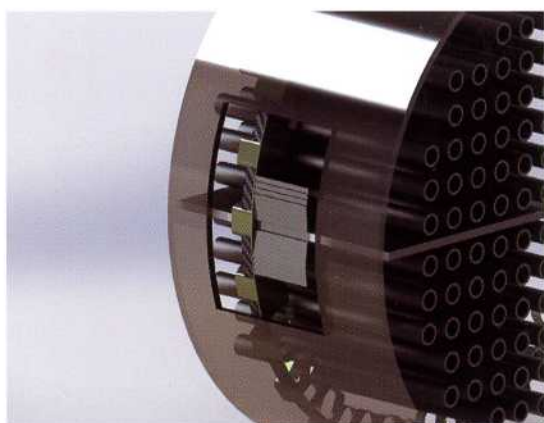


# Dichtungstechnik für Wärmeübertrager

Materialien - Ausführungen - Montage



**PP PUBLICO** Publications

## **Neue Elastomer-Technologien für die anspruchsvolle Plattenwärmetauscher-Anwendung**

*Autoren: Jon Cutler, Materials Development Manager/Jakub Marczyk, Global PHE Product Manager/Krzysztof Pawelek, Materials Development Engineer<sup>1)</sup>*

### **1. Einleitung**

Die Technologie der Plattenwärmetauscher (PWT) hat sich in den letzten Jahrzehnten kontinuierlich weiterentwickelt. Höchst effizient werden damit meist flüssige Medien entweder erhitzt oder gekühlt. Getrieben wird diese Entwicklung vielfach durch steigende Anforderungen an PWT durch ihre grundsätzlich zunehmende Attraktivität in immer anspruchsvolleren Anwendungen. Ein wichtiger Faktor ist zum Beispiel der steigende Bedarf nach Lösungen zur Energieeinsparung. Im Rahmen dieser Weiterentwicklung von PWT sind ebenfalls die technischen Anforderungen an die Dichtungen gestiegen, was wiederum die Weiterentwicklung der Elastomertechnologie vorantreibt. Die Autoren des Beitrages sind Mitarbeiter eines weltweit führenden Entwicklers und Herstellers von Dichtungslösungen auf Polymer-Basis und bietet eine breite Palette von Elastomeren, die speziell für PWT-Anwendungen entwickelt wurden. Umfassende Entwicklungsarbeit macht es möglich, kontinuierlich neue Lösungen für die wachsenden Ansprüchen des Marktes anzubieten.

In diesem Artikel werden diverse Elastomere in unterschiedlichen Anwendungen anhand von Felderfahrungen und Jahren der Materialentwicklung speziell für PWT bei Trelleborg Sealing Solutions betrachtet. Diese Werkstoffe wurden vielfach in enger Zusammenarbeit mit Herstellern von PWT entwickelt und sind heute erfolgreich in diesen Prozessen auf der ganzen Welt im Einsatz. Trelleborg Sealing Solutions spezialisiert sich auf das Entwickeln von Elastomeren und die Produktion von Dichtungen für PWT-Erstausrüster. Hervorragenden Temperaturbeständigkeit, gute mechanische Eigenschaften sowie chemische Beständigkeit der Dichtungen sind kritische Anforderungen für die Gewähr einer langen und zuverlässigen Betriebsdauer in immer anspruchsvoller werdenden Anwendungen.

### **2. Das Prinzip des Plattenwärmetauschers**

Der PWT ist ein Apparat, der Wärme von einem Medium auf das andere überträgt, ohne dass dabei die beiden Medien miteinander in Kontakt treten. Das Designprinzip eines PWT lässt zwei unterschiedlich temperierte Medien getrennt durch eine Profil-Metallplatte aneinander vorbeifließen. Die Temperaturen der beiden Medien werden über eine Metallplatte ausgetauscht. Um die beiden Medien voneinander getrennt zu halten, wird die Metallplatte mittels einer Elastomer-Profilabdichtung abgedichtet. Andere Methoden sind entweder das Zusammenlöten oder Vollverschweißen der Platten. Die Vorteile von gedichteten Wärmetauschern sind vielfach. Sie können für die Reini-

---

<sup>1)</sup> PHE Gaskets, Trelleborg Sealing Solutions, , [www.tss.trelleborg.com/www.trelleborg.com](http://www.tss.trelleborg.com/www.trelleborg.com)

gung geöffnet werden, sie sind wartungsfähig und ihre modulare Konstruktion erlaubt bei Bedarf das Hinzufügen oder Entfernen von Platten. Insgesamt ist das ein sehr flexibles und kostengünstiges Prinzip. Die Nachteile von gedichteten Wärmetauschern liegen in ihrem eingeschränkten Einsatzbereich, da Elastomere nur innerhalb eines begrenzten Temperatur-, Druck- sowie Medienbereiches funktionsfähig bleiben. Unter extremen Einsatzbedingungen bewähren sich entweder gelötete oder vollverschweißte Apparate.

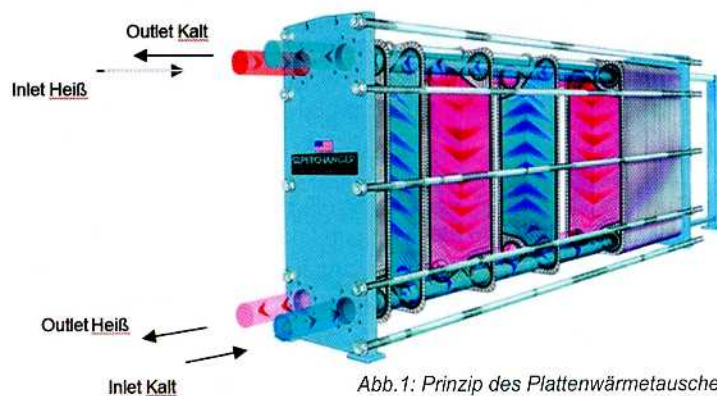


Abb.1: Prinzip des Plattenwärmetauschers

Wärmetauscherplatten bestehen generell aus rostfreiem Stahl, bei speziellen Anwendungen werden Titan oder andere korrosionsbeständige Legierungen verwendet. Die Plattendicke kann je nach Umständen nur 0.5 mm betragen, insbesondere bei teuren Metallen oder wenn Gewicht- oder Wärmetransfer optimiert werden sollen. Platten mit einer Stärke von über 1 mm werden vor allem bei sehr hohem Betriebsdruck von bis zu 50 Bar eingesetzt, um ein Verformen der Platten unter Belastung zu verhindern. Hochdruckanwendungen stellen eine besondere Herausforderung für gedichtete PWT dar und bedürfen sorgfältiger Abstimmung zwischen Platten- und Nutdesign sowie der Profildichtung selbst. Optimale Parameter sind eine tiefe Prägung der Nut mit einer darin sehr akkurat platzierten Dichtung, ein geringstmögliches Verformen der Platte unter Belastung sowie ein hohes Modul des Elastomers. Gedichtete PWT sind aus der Perspektive allgemeiner Dichtungstechnologie eher unkonventionell mit einem Nutfüllgrad von nahezu 100% konzipiert. Eine solch hohe Nutfüllung ist in vielen anderen Anwendungen so nicht denkbar. Bei PWT wird dadurch eine höchstmögliche Temperaturbeständigkeit sowie eine maximale Betriebsdauer des Apparates garantiert. Durch das flexible Plattensystem im PWT können sich die Platten im Bereich der Nut bei deren Verpressen und Schließen verformen bzw. ausdehnen. Dadurch wird die Abdichtung durch die flexible Elastomer-Dichtung gewährleistet.

Die Betriebstemperatur von gedichteten PWT wird durch die Fähigkeit des Elastomers, insbesondere in heißen wässrigen Medien, bestimmt. Allgemein finden Elastomere ihren Anwendungsbereich bei Temperaturen von  $-50$  bis  $+200^{\circ}\text{C}$ , in nicht wasserhaltigen Medien vielfach auch darüber. In fast allen PWT-Anwendungen werden Wasser oder Wasserdampf jedoch als erhitzendes oder kühlendes Medium verwendet. Insbesondere heißer Wasserdampf ist gegenüber den meisten Elastomeren sehr aggressiv. Bei Temperaturen  $>180^{\circ}\text{C}$  fängt Dampf an, in die Elastomermatrix einzudringen und Hydrolyse zu verursachen, was die mechanischen Eigenschaften des Elastomers nach und nach schwächt und letztendlich zerstört.

Das flexible Plattensystem, kombiniert mit dem hohen Nutzfüllgrad, verlangt der Elastomer-Dichtung ein Zusammenspiel von besonderen Eigenschaften, vor allem unter schwierigeren Anwendungsbedingungen, ab.

Diese Eigenschaften sind insbesondere:

- Härte und Modul müssen in einem guten Gleichgewicht stehen, um einerseits dem Betriebsdruck standzuhalten und gleichzeitig das Risiko der Plattenverformung gering zu halten. Allgemein hat sich eine Härte von 80 IRHD bewährt – sowohl im Labor als auch in Anwendungen.
- Gute Zug- wie Reiß- und Weiterreißfestigkeit sind in der Anwendung sehr wichtig, da die Dichtung bedingt durch das Konstruktionsprinzip der Platten nicht durchgehend gleichmäßig in der Nut liegt, d.h. der Anpressdruck von Bereich zu Bereich variiert stark. In den Übergängen zwischen den Extremen sowie an den Extrusionsspalten wie z.B. der Leckagespalte oder an den Durchtrittsöffnungen, wird die Dichtung punktuell mechanisch extrem belastet.
- Gute Beständigkeit der mechanischen Eigenschaften der Dichtung über die gesamte Betriebstemperatur des PWT. Da der Wärmeausdehnungskoeffizient jedes Elastomers entsprechend der Einsatztemperatur variiert, nehmen die Verpressungskräfte auf die Dichtung zu, je heißer der Apparat wird. Parallel dazu schwächen sich die mechanischen Eigenschaften des Elastomers, ebenfalls temperaturbedingt, ab. Um eine gute Funktionalität der Dichtung zu gewährleisten und z.B. ein Reißen bei hohen Temperaturen zu vermeiden, ist darauf zu achten, dass das Elastomer gute mechanische Eigenschaften bei Temperaturen weit über 100°C aufweist. Der Hersteller kann dies durch sorgfältige Auswahl von Polymer und Füllstoffen erreichen.
- Langzeitdichtverhalten. PWT-Dichtungen sind in ihrer Anwendung statische Dichtungen. Um die Lebensdauer von Dichtungen bei Einsatz in den Extremtemperaturbereichen zu maximieren, muss der Langzeit-Druckverformungsrest des Elastomers durch ein hohes Maß molekularer Verlinkung mit Hilfe spezieller hitzebeständiger Vernetzungssysteme auf einem Minimum gehalten werden. Dies steht in direktem Zusammenhang mit der Notwendigkeit, ausreichende mechanische Eigenschaften des Elastomers zu gewährleisten, um ein Reißen der Dichtung bei hohen Temperaturen zu vermeiden. Elastomerwerkstoffe müssen desweiteren mit Hilfe von Antioxidanten und anderen alterungsbeständigen Chemikalien gut geschützt sein.
- Als Elastomere werden in PWT-Dichtungen überwiegend NBR (Nitrile-Butadien-Kautschuk) und EPDM (Ethylene-Propylene-Diene-Kautschuk) eingesetzt. Diese Elastomere sind sehr kosteneffektiv und bieten gute Beständigkeit in einem breiten Medienspektrum. Sie können auf gute mechanische Eigenschaften und Langzeitdichtverhalten konzipiert werden, aber auch auf zusätzliche Eigenschaften für bestimmte Märkte oder Anwendungen, wie z.B. die Nahrungsmittelindustrie. In schwierigeren Einsatzbereichen kommen Elastomere wie HNBR (Hydrierter NBR), verschiedene Typen von FKM (Fluorkautschuk), TFE/P (Tetra-Fluoro-Ethylen-Propylen) und FFKM (Perfluorkautschuk; Marke Isolast®) zum Einsatz. Dabei

muss in aggressiveren Medien vielfach bei hohen Temperaturen zuverlässig und auf Dauer abgedichtet werden. Darüber hinaus werden in speziellen Anwendungen, wie z.B. bei der Kühltechnik, auch Butyl- und Chloropren-Kautschuk eingesetzt.

In jüngster Vergangenheit ist die Elastomerentwicklung für PWT-Anwendungen stark geprägt durch immer höhere Betriebstemperaturen sowie zunehmend aggressiveren Medien, wie z.B. in der Anwendung für Gas-entschwefelungsanlagen. Hierfür sucht der Markt nach alternativen Lösungen. Darüber hinaus gibt es zunehmende Restriktionen und Bedarfe nach Elastomeren mit Instituts- und anderen Freigaben für spezielle Märkte und Anwendungen wie z.B. FDA, 3-A Sanitär, WRAS und andere Trinkwasserstandards oder BfR für die Nahrungsmittelindustrie sowie Schwefel- und Halogenbegrenzung für die Nuklearindustrie. Hier ist zunehmend herausragende technische Expertise in Elastomerkonzeption und -entwicklung wie auch bei der Dichtungsherstellung gefragt. Weitere Treiber für Materialentwicklung ist der Kostendruck vom Markt, bessere und gleichzeitig kostengünstigere Lösungen anzubieten oder Lücken in gewissen Anwendungsbereichen zu schließen, bei denen bisher das Preis-Leistungsverhältnis zwischen Standard- und Prämiematerial weit auseinander liegen, z.B. EPDM gegenüber FKM GB oder GF in heißem Dampf.

### **3. PWT-Elastomere in der Nahrungsmittelindustrie**

Vor nahezu 100 Jahren wurden gedichtete PWT zum ersten Mal für die industrielle Milchpasteurisierung entwickelt. In der Milchverarbeitung ist der gedichtete PWT bis heute eine feste Institution geblieben. Zwischenzeitlich hat der gedichtete PWT aber auch Einzug in vielen anderen lebensmittel- und getränkeverarbeitenden Prozessen, die nicht auf Milchbasis sind, gehalten.

Das Konzept des gedichteten PWT ist perfekt geeignet für die lebensmittelverarbeitenden Industrien. Durch die strikte Trennung des Wärmetauschmediums (allgemein Heißwasser oder Dampf) vom Lebensmittel im Apparat wird jegliches Risiko der Kontamination vermieden. Durch die hohe Effizienz können Prozesszeiten minimiert werden. Gedichtete Apparate werden allgemein für die Pasteurisierung, das Sterilisieren, Erhitzen und Kühlen von vielen Lebensmitteln wie zum Beispiel bei Milchprodukten, Bier, Sodas, Fruchtsäften oder pflanzlichen Ölen verwendet.

Gedichtete PWT erlauben das Öffnen der Apparate zwecks kompletter Reinigung oder Austausch der Dichtungen nach Bedarf. Ersteres aus Hygienegründen der vielleicht wichtigste Aspekt, um Bakterienbefall im Prozessfluss durch eventuelle Rückstände im Apparat zu vermeiden. In der Lebensmittel- und Getränkeindustrie allgemein übliche CiP (Clean-in-Place) oder SiP (Steam-in-Place) Reinigungsregimes, die sich für die Dichtungen je nach Konzentration und Temperatur sehr aggressiv verhalten können, sind ebenfalls mit moderner Elastomertechnologie lösbar.

Trelleborg Sealing Solutions bietet ein umfassendes Portfolio von Elastomeren für die lebensmittel- und getränkeverarbeitenden Industrien, die für ein breites Spektrum von Medien und Anwendungsbedingungen geeignet sind. Alle Werkstoffe erfüllen die Anforderungen nach FDA 177.2600 sowie weitere für diese Industrien üblichen Standards wie BfR, 3A-Sanitär, WRAS oder andere länderspezifische Trinkwasserverordnungen. Das Portfolio wurde in jüngster Zeit ergänzt durch

ein neues HNBR, Material 26-015, das sich insbesondere eignet für Anwendungen, in denen die Betriebstemperaturen die Fähigkeiten eines NBR übersteigen und ein Fluorkautschuk technisch überqualifiziert und den kommerziellen Rahmen des OEM-Produktes überschreitet:

Elastomer	Typen	Typische Anwendungen	Dauerbetriebs-temperatur
NBR	14-884, 14-905, 14-925, 14-490, 14-929	Milchprodukt	-20 bis 140°C
EPDM	09-557, 09-609	Fruchtsäfte, Zucker, wasserhaltige Lebensmittel	-50 bis 150°C
Fluorelastomer	04-277, 04-322	Hitzebeständige pflanzliche Fette und Öle, Selektive Fruchtkonzentrate	-20 bis 170°C
HNBR	26-015	Pflanzliche Fette und Öle, Milchprodukte (hohe Temperaturen)	-20 bis 160°C

Tabelle 1: Trelleborg Sealing Solutions Elastomerportfolio für Lebensmittel

Die folgende Grafik ist eine Übersicht aller Elastomere, die Trelleborg Sealing Solutions anbietet, entsprechend ihrer Temperaturfähigkeit mit der jeweiligen FDA-Klassifizierung:

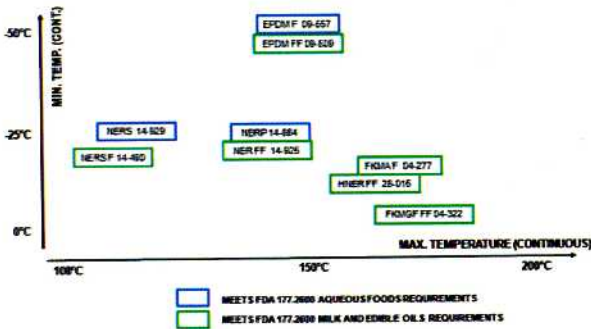


Abb.2: Werkstoffe für Lebensmittel

In der lebensmittel- und getränkeverarbeitenden Industrie herrschen teilweise aggressive chemische und thermische Bedingungen. Um geeignete Elastomere zu empfehlen, ist es vielfach hilfreich oder notwendig, unterstützende Labortest-Programme durchzuführen. Im Folgenden ist ein Beispiel eines Tests, der auf Verdacht einer chargenübergreifenden Geschmacksverschleppung in einer Fruchtsaftanlage das Quellverhalten von Zitronenöl zwischen fünf Probanden über 168 Stunden (1 Woche) bei 40°C nach ISO 1817 vergleicht.

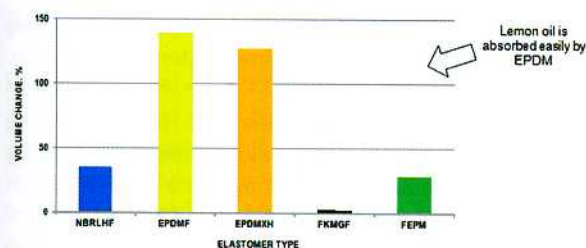


Abb.3: Volumenänderung in Zitronenölkonzentrat, 1 Woche bei 40°C

Das Zitronenölkonzentrat verursacht in allen getesteten Elastomeren außer bei FKM GF erhebliche Quellung; bei den beiden EPDM-Probanden am extremsten, da EPDM grundsätzlich mit Ölen und Fetten nicht kompatibel ist. Im Zuge der starken Volumenänderung lagern sich die ätherischen Öle, der Geschmacksträger der Zitrone, in die molekulare Struktur des EPDM ein und geben diese unter Umständen bei Wechsel des Mediums wieder ab. Während NBR und EPDM vielfach die bevorzugten und auch bestens geeigneten Elastomere sind, macht diese Studie deutlich, dass die Wahl des Elastomers sorgfältig und unter Berücksichtigung aller Faktoren gemacht werden sollte. In diesem Fall bestätigt der Test, dass FKM GF die ‚sicherste Wahl‘ ist, um das Risiko einer potentiellen Geschmacksverschleppung zu vermeiden.

#### 4. Von Dampf bis zu Kühlmitteln

Viele PWT dienen dazu, überschüssige Wärme zu sammeln oder Kälte abzugeben. In fast allen Anwendungen wird als Medium auf einer oder beiden Seiten Wasser oder Dampf genutzt. Heißer Dampf stellt für Elastomere eine besondere Herausforderung dar, da die meisten konventionellen Werkstoffe darin quellen und/oder mechanisch herunter gebrochen werden. Industriedampf löst in Elastomeren den Prozess der Hydrolyse aus, welchem die Materialentwickler und Dichtungshersteller nur mit speziellen Rezepturen und Fertigungsprozessen entgegenwirken können.

Trelleborg Sealing Solutions ist seit vielen Jahren führend in der Dichtungstechnologie in Anwendungen mit Dampf und unterstützt diese fortlaufend mit weiterführenden Entwicklungen. Das aktuelle Portfolio von Elastomeren, die in Anwendungen mit Dampf eingesetzt werden können, umfasst die folgenden Werkstoffe:

Material	Typ	Typische Anwendung	Dauerbetriebstemperatur
NBR	14-884	Heiße Öle und Fette	-20 bis 145°C
EPDM	09-538 & 09-618	Dampf und heißes Wasser	-50 bis 180°C
Fluorelastomer	04-301	Heißdampf	-20 bis 200°C
HNBR	26-006	Heiße Öle und Ölfeld	-20 bis 175°C

Tabelle 2: Werkstoffe für Dampfanwendungen

Alle Temperaturangaben sind im Dauerbetrieb unter Annahme einer Lebensdauer der Dichtung von mindestens einem Jahr. Höhere Temperaturen sind bei kürzeren Einsatzintervallen möglich.

Die Anforderungen an die Dichtung bei Tieftemperaturen kann ebenfalls eine Herausforderung für den Materialentwickler sein. Die Schwierigkeiten bei tiefen Temperaturen sind ganz anderer Art. Das Schwächen des Materials durch entweder Chemie oder Thermik ist so gut wie zu vernachlässigen, dagegen wird die abnehmende Flexibilität des Elastomers und die damit verbundene geschwächte Dichtungseigenschaft zum Problem. Eine zusätzliche Herausforderung an die Dichtung ist vielfach die Kombination von Kühlmittel und einer steigenden Anzahl von Kompressoren-Schmiermitteln.

Eine Auswahl von Kühlmitteln und kompatiblen Elastomeren sind:

Material	Typ	Typische Anwendung	Dauerbetriebstemperatur
NBR	14-848	Kaltes Ammonium	-45 bis 100°C
EPDM	09-557	Polare Kältemittel	-50 bis 150°C
IIR Butyl	03-132	Geringe Gaspermeation	-52 bis 150°C
CR	02-585	Kaltes Ammonium, Geringe Permeation	-35 bis 110°C

Tabelle 3: Werkstoffe im Tieftemperaturbereich

Die folgenden beiden Übersichten zeigen die gängigen Elastomere sowohl in Ammonium als auch in anderen üblichen Kältemitteln, entsprechend ihrer Temperaturfähigkeiten. Eine Herausforderung bei Kühlanlagen ist es vielfach, ein geeignetes Elastomer zu wählen, das gute Beständigkeit sowohl gegen das Kühlmittel als auch gegen das Kompressorenöl hat. Wie bei allen Anwendungen müssen natürlich die individuellen Anwendungsbedingungen bei der Auswahl der Dichtungsmaterialien berücksichtigt werden.

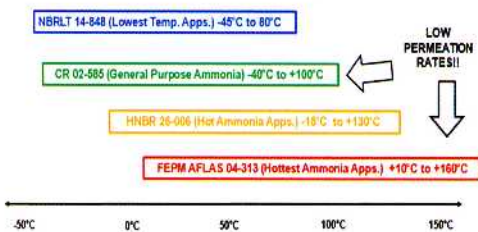


Abb.4: Werkstoffe für Ammonium

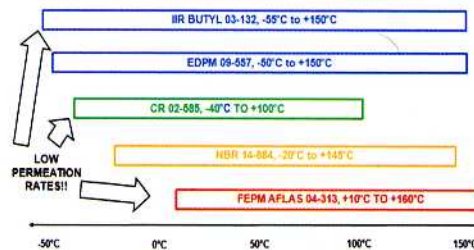


Abb.5: Werkstoffe für Kältemittel



### **5. Elastomere in der Energiegewinnung**

Das herausragende Hochtemperaturverhalten der PWT-Dichtungen bewährt sich insbesondere in Anwendungen wie z.B. Fernwärmanlagen, in denen eine längere Lebensdauer der Dichtungen die Wartungsintervalle positiv beeinflusst und dadurch die Betriebskosten und die Kosten pro Wärmeinheit senken können. Ebenfalls interessant ist dieser Aspekt in der öl- und gasverarbeitenden Industrie und bei Anwendungen wie z.B. das Erhitzen von Rohöl durch heißen Dampf oder das Kühlen von heißen Kohlewasserstoffverbindungen. Hier werden die Dichtungen extrem in Anspruch genommen.

Ein weiterer Einsatzbereich für PWT sind Kernkraftanlagen. Viele bestehende Anlagen weltweit befinden sich aufgrund der Tatsache, dass sie entweder veraltet sind oder Bedarf nach mehr Energie besteht, in diversen Stadien der Lizenzerneuerung zwecks Modernisierung. Im Zuge dieser Aktivitäten werden teilweise Rohrbündel-Wärmetauscher durch gedichtete PWT ersetzt.

Gedichtete PWT allgemein bieten eine Anzahl von Vorteilen gegenüber Rohrbündel-Wärmetauschern, die im Rahmen der Instandhaltung und Erneuerung aktiver wie auch abgeschalteter Kernkraftanlagen ebenfalls einen hohen Stellenwert haben:

- Kompakte Konstruktion – PWT sind ein sehr effizientes Mittel des Wärmetransfers aufgrund der großen effektiven Oberfläche, über die der Austausch stattfindet. D.h. Wärmeübertragung mit PWT ist sehr platzsparend und lässt sich auf einem Viertel bis zu einem Zehntel der Fläche als für andere Wärmetauschertechnologien notwendig, realisieren. Dies hat eine hohe Attraktivität in bestehenden Anlagen, wo alte Wärmetauscher nicht problemlos mit gleichen Apparaten ausgetauscht werden können, weil entweder der Platz nicht zugänglich ist oder es an Fläche insgesamt mangelt. Aufgrund ihrer modularen Konstruktion kann die Endmontage von PWT teilweise auch vor Ort vorgenommen werden.
- Leistungssteigerung – aufgrund der guten Wärmeeffizienz bietet sich der PWT als einfaches Mittel an, die Leistung ohne aufwendige Modifizierung bestehender Anlagen zu steigern.
- Bereits installierte PWT erlauben durch das Hinzufügen von zusätzlichen Platten nach Bedarf eine weitere Steigerung der Leistung.
- Hoher Wärmetransferfaktor – PWT haben allgemein einen 3-5 Mal höheren Wärmetransferkoeffizienten und einen viel geringeren thermischen Widerstand als andere Technologien. Dadurch lassen sich 90-95% der verbrauchten Energie in vielen Prozessen wiedergewinnen oder regenerieren, was ein enormes Einsparpotential für Ressourcen darstellt.

In diesen Anwendungen haben sich sehr reine Elastomerwerkstoffe, insbesondere mit einem geringen Anteil von Schwefel und Halogen (<200 ppm) bewährt. Aus Materialentwicklungssicht ist dieses Niveau von Reinheit nur sehr schwer zu erreichen, da viele Rohmaterialien und Grundbestandteile wie z.B. Ruß von Natur aus und prozessbedingt Spuren von Schwefel, Halogen und anderem enthalten. Es wurde ein spezielles EPDM-Material (Typ 09-626) entwickelt. Es entspricht der Anforderung von <200 ppm Schwefel- und Halogen-Spurenelementen. Desweiteren besitzt es hervorragende physikalische Eigenschaften unter hohen Temperaturbedingungen bis zu 150°C in Hochdruckanwendungen in einem breiten Spektrum von chemischen Medien wie auch in Wasser und Dampf mit einer hervorragenden Lebensdauer in Anwendungen.

## 6. PWT-Elastomere in der Öl- und Gasindustrie

Gedichtete PWT sind weit verbreitet in der öl- und gasverarbeitenden Industrie. Typische Anwendungen sind das Kühlen von Erdöl, das Dehydrieren oder das Entschwefeln von Gas. In diesen Anwendungen sind die Dichtungen einem breiten Spektrum an kohlenwasserstoff-basierenden und anderen Flüssigkeiten ausgesetzt. Die Betriebsbedingungen insgesamt stellen oft ein sehr schwieriges Umfeld für Elastomerdichtungen dar.



Als Dichtungswerkstoffe werden vielfach NBR, EPDM wie auch HNBR, TFE/P, und FKM als entweder bisphenolisch vernetztes Co-Polymer oder als peroxidisch vernetztes Ter-Polymer verwendet. Die typischen Anwendungen lassen sich in drei Bereiche aufteilen, die die Herausforderungen an den Materialentwickler gut beschreiben:

- Erhitzen und Kühlen von Erdöl zwecks Weiterverarbeitung
- Dehydrierung von Gas
- Entschwefelung von Gas

### 6.1 Erhitzen und Kühlen von Erdöl zwecks Weiterverarbeitung

Gedichtete PWT sind ein effektives Mittel von Wärmerückgewinnung und Wärmemanagement mit dem Ergebnis, dass dadurch industriellen und chemischen Prozessen weniger externe Wärme zugeführt werden muss. Die naturgegebenen Unterschiede bei Erdöl stellen für den Entwickler von PWT-Elastomeren dabei eine besondere Herausforderung dar. Während es gilt, ein Elastomer mit optimaler Beständigkeit gegenüber Erdöl zu entwickeln, sind die gängigsten Erhitzungs- und Kühlmedien Wasser und Dampf. Das heißt, das Elastomer muss nicht nur beständig gegen Erdöl mit seinen vielen verschiedenen Zusammensetzungen und Verunreinigungen sein, sondern es muss auch in Heißwasser und Dampf beständig sein.

Eine Anwendung, in der gedichtete PWT vielfach verwendet werden, ist das Trennen von Verunreinigungen aus dem Erdöl, bevor es weiter verarbeitet wird.

Im Folgenden wird ein typischer Prozessablauf beschrieben:

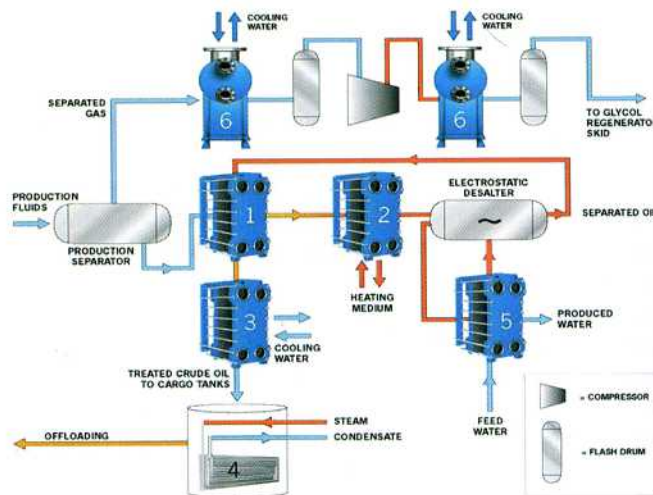


Abb. 6: Prozessschema Erhitzen und Kühlen von Rohöl zwecks Trennung und Entsalzung

Die Auswahl der Dichtungswerkstoffe in dieser Kette von Anwendungen hängt von dem Verständnis der kompletten Anwendungsbedingungen im Prozess ab, wie die Zusammensetzung der Flüssigkeiten, der Betriebstemperatur und des Betriebsdruckes.

Da wie schon erläutert der Extrusionsspalt für die Dichtung in PWT relativ groß ist und diese oft für Reinigungszwecke geöffnet werden, treten sehr häufig Probleme auf, wenn das Elastomer im Einsatz mit Erdöl zu nur geringer Quellung führt. Nach Öffnen eines PWT gestaltet sich das Schließen des Apparates vielfach als schwierig, da die Dichtungen in der Nut länger geworden sind und nicht mehr in diese passen. Ein Austausch der Dichtungen ist in diesem Fall ratsam bzw. notwendig.

Ein Material, das sich im Feld immer mehr bewährt, ist HNBR sowie ein speziell entwickelter Typ HNBR 26-006. Ein herausragendes Zusammenspiel der physikalischen Eigenschaften durch eine extrem gute chemische Vernetzung des Materials selbst und der hohen Qualität der Dichtungen führt dazu, dass der Wärmetauscher auch unter extremen Temperaturen in seiner Betriebsdauer optimiert werden kann. Das Kühlen von hocharomatischem Rohöl auf Bohrseln ist ein Beispiel, wo der schnelle Zugriff auf einen Tauschapparat im Fall eines frühzeitigen Ausfalls meist nicht gegeben ist und die Kosten eines Produktionsausfalls sehr hoch sind. HNBR 26-006 bewährt sich durch sein hervorragendes Langzeitverhalten, seine gute Beständigkeit in Rohöl und Dampf sowie seinen robusten mechanischen Eigenschaften. Ein Bereich, der für HNBR gegenüber FKM-Dichtungen ein Problem darstellt, ist in Erdöl mit Anteilen von aromatischen Kohlenwasserstoffverbindungen, da dieses Medium bei ersterem starke Quellung hervorrufen kann. Zwar führt das selten dazu, dass die Dichtung während des Betriebes aus der Nut rutscht, jedoch kann es passieren, dass die Dichtung aufgrund der Verformung oder Verlängerung nach Öffnen des Apparats nicht mehr in die Nut passt und deshalb ersetzt werden muss.

Allgemein wird für PWT-Dichtungen ein HNBR mit mittlerem ACN-Gehalt gewählt. Dies ermöglicht dem Materialentwickler dadurch ein gutes Gleichgewicht aus mechanischen Eigenschaften, Tieftemperaturverhalten und langfristiger Formhaltung durch guten Druckverformungsrest herzustellen. Ein potentielles Risiko der Quellung besteht jedoch bei Kontakt mit aromatischen Kohlenwasserstoffverbindungen. Trelleborg Sealing Solutions hat das Verhalten von HNBR und FKM in diversen Flüssigkeiten im Labor verglichen:

	100% Octane		90% Isooctane/ 10% Toluene		70% Isooctane/ 30% Toluene	
	Härte- änderung	Volumen- änderung	Härte- änderung	Volumen- änderung	Härte- änderung	Volumen- änderung
HNBR	-3 IRHD	+7.0%	-10 IRHD	+19.2%	-14 IRHD	+38.0%
FKM GF	-1 IRHD	+0.7%	-2 IRHD	+1.3%	-2 IRHD	+3.2%

Tabelle 4: Volumenänderung von HNBR und FKM GF (168 Std., 40°C, ISO 1817)

Die Anfälligkeit von HNBR zu den aromatischen Anteilen ist sehr ausgeprägt. Die Testtemperatur war relativ niedrig verglichen mit den Temperaturen, die vielfach in Erdölanswendungen einhergehen. Auch wenn heute HNBR häufig in PWT sehr erfolgreich eingesetzt wird, ist äußerste Sorgfalt bei der Spezifikation von HNBR als PWT-Material in der Erdölverarbeitung notwendig.

### 6.2 Dehydrierung von Gas

Das Trennen von Wasser aus Erdgas verhindert die Entstehung von Hydraten und Korrosion und maximiert dadurch die Leistungsfähigkeit der Pipeline. Wasser kann über TEG-Absorption herausgelöst werden. Gedichtete PWT können dabei verwendet werden, um das magere bzw. fette TEG unter optimaler Temperatur dem Dehydrierungsprozess zuzuführen.

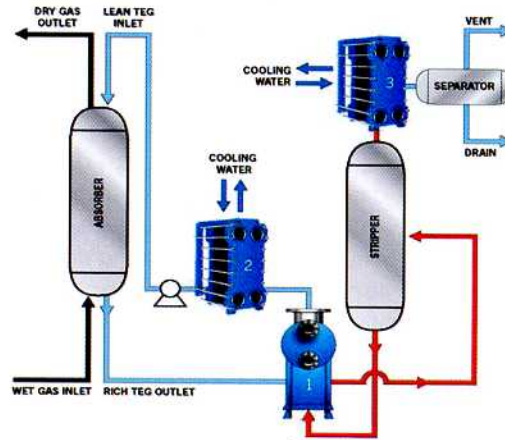


Abb. 7: Prozessschema Gasdehydrierung

Trelleborg Sealing Solutions hat die chemische Beständigkeit von FKM in TEG und anderen Polyol-Verbindungen bei Temperaturen bis zu 200°C mittels Labortest analysiert.

TEG Immersionszeit	Härte, IRHD	Zufestigkeit, MPa	Modul 50% Elongation, Mpa	Reißdehnung, %	Volumenänderung, %	Oberflächenänderung
0 Wochen	79 IRHD	13.4 Mpa	4.8 Mpa	220%	–	keine
2 Wochen	74 IRHD	8.4 Mpa	2.8 Mpa	323%	11.0%	keine
4 Wochen	73 IRHD	6.8 Mpa	2.7 Mpa	237%	10.9%	keine

Tabelle 5: Veränderung der Eigenschaften eines Hochleistungs-FKM in TEG bei 200°C

Mit sorgfältiger spezieller Entwicklung und Mischung von Material lassen sich, wie die Ergebnisse in der oberen Tabelle zeigen, Fluorelastomere technisch auf ein Niveau bringen, die sie in TEG und Dampf bis zu ca. 200°C tauglich machen.

### 6.3 Entschwefelung von Gas

Das Entfernen von sauren Bestandteilen wie z.B.  $H_2S$  und  $CO_2$  aus dem Gasstrom wird durch Absorption derselben in eine regenerierbare Lauge wie eine Alkanol-Amino-Lösung (z.B. MEA, DEA, MDEA) durchgeführt. Durch das Verwenden von PWT wird das Zuführen von externer Energie in den Prozess auf ein Minimum reduziert.

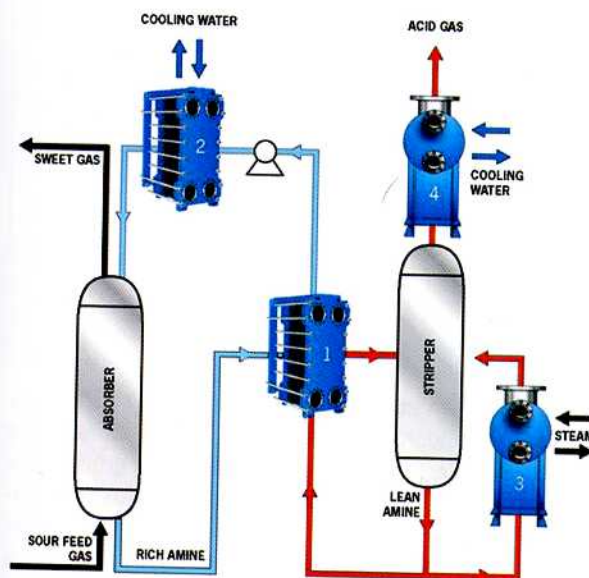


Abb.8: Prozessschema Gasentschwefelung

Grundsätzlich eignen sich vier Typen von Elastomeren für Amino-Tauscher oder andere Arten von gedichteten PWT, um magere und fette Amine zu prozessieren. Diese sind EPDM, HNBR, TFE/P und das spezielle FKM BR. Jedes davon hat seinen bestimmten Anwendungsbereich und auch seine Grenzen. Manchmal hinterlässt die Elastomerwahl auch ein gewisses Restrisiko aufgrund sehr schwieriger Betriebsbedingungen oder verbleibender Unsicherheit bzgl. der aktuellen Bedingungen im individuellen Prozess selbst.

EPDM ist aufgrund seiner sehr guten Beständigkeit gegenüber Aminen und heißwasserhaltigen Gemischen, verbunden mit seinem sehr stabilen Langzeitdichtungsverhalten eine beliebte Wahl, vorausgesetzt es handelt sich um ein speziell für PWT entwickeltes Material. Mit entsprechender Sorgfalt und enger Festlegung der Parameter bei der Auswahl der Zutaten, beim Mischen des Werkstoffes selbst wie auch bei der Produktion lassen sich Dichtungen aus EPDM fertigen, die eine robuste Mischung aus hoher Zugfestigkeit sowie Modul und Reißfestigkeit, was die Dichtung in Bezug auf das Risiko der Extrusion durch Spalten in der Platte oder durch Reißen unter Vollbelastung sehr widerstandsfähig macht, aufweisen. EPDM ist preislich gegenüber den Alternativen HNBR, FKM BR oder TFE/P sehr vorteilhaft, jedoch gleichzeitig technisch nur begrenzt einsetzbar, da magere wie fette Amine häufig Kohlenwasserstoffanteile haben, die EPDM untauglich machen. Dies ist ein häufiger Grund für den frühzeitigen Ausfall von PWT im Feld.

Man hat in den eigenen Labors eine umfassende Studie betrieben, um die Toleranz von EPDM hinsichtlich unterschiedlicher Levels von Kohlenwasserstoffverbindungen in der Prozessflüssigkeit zu belegen.

Fluid	24 Std. bei 40°C		72 Std. bei 40°C		168 Std. bei 40°C	
	Volumen- änderung	Härte- änderung	Volumen- änderung	Härte- änderung	Volumen- änderung	Härte- änderung
Methanol+0.9%	-1 IRHD	+1.5%	-2 IRHD	+1.2%	-2 IRHD	
Methanol 99.9%, Hexan 0.1% v/v	+1.0%	-2 IRHD	+1.2%	-3 IRHD	+1.2%	-3 IRHD
Methanol 99.0%, Hexan 1.0% v/v	+1.1%	-3 IRHD	+1.7%	-4 IRHD	+1.6%	-4 IRHD
Methanol 90.0%, Hexan 10.0% v/v	+14.6%	-12 IRHD	+14.6%	-12 IRHD	+12.1%	-10 IRHD
Methanol 99.9%, Toluol 0.1% v/v	+0.9%	-2 IRHD	+1.5%	-2 IRHD	+1.2%	-2 IRHD
Methanol 99.0%, Toluol 1.0% v/v	+1.4%	-2 IRHD	+2.4%	-3 IRHD	+2.0%	-3 IRHD
Methanol 90.0%, Toluol 10.0% v/v	+6.8%	-6 IRHD	+7.7%	-8 IRHD	+7.4%	-8 IRHD

Tabelle 6: Härte- und Volumenänderung eines harten EPDM (Trelleborg Typ 09-560) in Methanol mit Spuren von Kohlenwasserstoffverbindungen bei 40°C (ISO 1817)

Die Studie zeigt, dass Kohlenwasserstoffverbindungen zu moderater Quellung bei EPDM unter vorteilhaften Bedingungen und fortlaufendem Eintauchen in die Lösung im Test führen. Um dies zu erreichen, ist unabdingbar, dass der EPDM-Werkstoff in seinen Substanzen größtenteils nicht durch Kohlenwasserstoffverbindungen angreifbar ist. Dies kann durch Verwendung entsprechender Füllstoffe erreicht werden. In Anwendungen, in denen Spuren von Kohlenwasserstoffverbindungen vorhanden sind oder im Extremfall die Gefahr besteht, dass der Prozessstrom durch Kohlenwasserstoffverbindungen angereichert werden kann, sollten je nach individuellen Betriebsbedingungen entweder HNBR, FKM BR oder TFE/P gewählt werden.

## 7. Zusammenfassung

Dieser Artikel stellt im Überblick die Elastomere wie auch einzelne Werkstoffe von Trelleborg Sealing Solutions vor, die in gedichteten Plattenwärmetauschern heute eingesetzt werden. Damit verbunden wird auch auf die speziellen Problematiken und Herausforderungen eingegangen, die sich bei PWT-Dichtungen allgemein und unter den speziellen Anforderungen diverser Branchen und Medien stellen, insbesondere die Lebensmittelverarbeitung, Wasser- und Dampf, Energiegewinnung, sowie die öl- und gasverarbeitenden Industrien.

Um das optimale Material für die einzelne Anwendung zu selektieren, muss der Elastomereentwickler ein gutes Verständnis über die Zusammensetzung der Prozessmedien wie auch der Parameter Betriebstemperatur und -druck haben. Das Feedback aus aktuellen Anwendungen im Feld, verbunden mit einem soliden Verständnis der grundsätzlichen Zusammenhänge von mechanischem und chemischem Schwächen von Dichtungen, geben dem Dichtungshersteller darüber hinaus die notwendige Basis für problematische und spezielle Anwendungen, neue und verbesserte Rezepturen zu entwickeln.

Wie auch bei vielen anderen Dichtungsanwendungen bedarf es im Fall von Dichtungen für PWT der Entwicklung von Elastomeren mit optimaler Temperatur- wie auch Medienbeständigkeit. Darüber hinaus und insbesondere aufgrund der allgemein üblichen Designkriterien für Plattenwärmetauscher muss ein PWT-Elastomer über herausragende mechanische Eigenschaften sowie über ein sehr breites Temperaturspektrum verfügen.

### **Danksagungen**

Tranter International AB für Bildmaterial

