











Autoren:
Prof. Dr.-Ing. Heinz K. Müller
Dr. Bernard S. Nau

Eine besondere Herausforderung an den Ingenieur ist eine sichere Abdichtung von Maschinen und Anlagen. Wenn es um den unerwünschten Austritt von Flüssigkeiten oder Gasen aus Maschinen, Aggregaten und Anlagen geht, wird die häufig unterschätzte Kunst des Abdichtens zum zentralen Thema.

www.fachwissen-dichtungstechnik.de befasst sich auf allen Ebenen mit dem Vermeiden oder mit der kontrollierten Eindämmung von Leckage. In 24 Fachkapiteln werden die physikalischen Grundlagen und die vielfältigen Techniken des Abdichtens in klarer Sprache und mit prägnanten Bildern beschrieben. **fachwissen-dichtungstechnik** liefert damit die notwendigen Informationen zu Gestaltung, Auswahl, Entwicklung und Betrieb von Dichtungen und Dichtsystemen.

Sponsoren: www.fachwissen-dichtungstechnik.de wird unterstützt von

 DICHTOMATIK Any seal. Any time.	DICHTOMATIK GmbH Albert-Schweitzer-Ring 1 • 22045 Hamburg Tel:+49(0)40-66989-0 • Fax:+49(0)40-66989-101 mail@dichtomatik.de • www.dichtomatik.de
 elringklinger Kunststofftechnik	ElringKlinger Kunststofftechnik GmbH Etzelstrasse 10 • 74321Bietigheim-Bissingen Tel:+49(0)7142-583-0 • Fax:+49(0)7142-583-200 info.ekt@elringklinger.com • www.elringklinger-kunststoff.de
 GFD	GFD – Gesellschaft für Dichtungstechnik mbH Hofwiesenstr. 7 • 74336 Brackenheim Tel:+49(0)7135-9511-0•Fax:+49(0)7135-9511-11 info@gfd-dichtungen.de • www.seals.de
 ISGATEC G M B H	ISGATEC GmbH Am Exerzierplatz1A • 68167Mannheim Tel:+49(0)621-7176888-0 • Fax:+49(0)621-7176888-8 info@isgatec.com • www.isgatec.com
 Parker Prädifa	Parker Hannifin GmbH ·Dichtungsgruppe Europa Arnold-Jäger-Str.1 • 74321Bietigheim-Bissingen Tel:+49(0)7142-351-0 • Fax:+49(0)7142-351-293 sci.seal.eu@parker.com • www.praedifa.de
 SEALWARE	SEALWARE International Dichtungstechnik GmbH Feldbergstr.2 • 65555Limburg Tel:+49(0)6431-9585-0 • Fax:+49(0)6431-9585-25 info@sealware.de • www.sealware.de
 VTH Verband Technischer Handel E.V.	VTH Verband Technischer Handel e.V. Prinz-Georg-Straße 106 • 40479Düsseldorf Tel:+49(0)211-445322 • Fax:+49(0)211-460919 vth-verband@t-online.de • www.vth-verband.de
 xpress seals Dichtungen mit Persönlichkeit	xpress seals GmbH Fangdieckstr.70-74 • 22547 Hamburg Tel:+49(0)40-879744510 • Fax:+49(0)40-879744569 info@xpress-seals.com • www.xpress-seals.com



11

Prof.Dr.-Ing. Heinz K. Müller · Dr. Bernard S. Nau

Stopfbuchs-Packungen

Packungsarten, Werkstoffe und Struktur der Packungsringe von Weichpackungen, Montage und Betriebsverhalten einer Packung, Kontaktpressungsverlauf, Packungen für Kreiselpumpen, Anziehen der Stopfbuchsbrielle, Verschiedene Betriebszustände von Weichpackungen: anliegende und schlaife Packung; Reibmoment und Reibungsverluste, Optimale Länge einer Packung, Leckraten, Packungen für Kolbenpumpen und für Armaturenschrauben. Literatur.

11.1 EINFÜHRUNG

In der Anfangszeit des Maschinenbaus dichtete man rotierende Wellen und axialbewegte Kolbenstangen ab, indem weiches Material in einen Ringraum des Maschinengehäuses (die Stopfbuchse) „gepackt“ beziehungsweise „gestopft“ und dann axial zusammengepreßt wurde, Bild 1. Beim axialen Zusammenpressen dehnt sich die Packung radial und legt sich dichtend an die Welle oder Stange und an die Bohrung der Stopfbuchse an. Anfangs bestanden die „Weichpackungen“ aus Weißmetallspänen oder verschiedenen organischen Fasern. Um innere Leckage zu vermeiden und die Reibung zu vermindern wurden diese mit den verschiedensten fettigen Substanzen imprägniert.

Bis heute werden unter anderem Zellulosefasern wie Ramie, Baumwolle und Hanf verwendet. Später kamen Asbestfasern hinzu. Eine andere Art von Packungswerkstoffen besteht aus gefalteten, gekräuselten oder gewellten, zu Ringen gepressten Metallfolien. Noch immer wird eine Vielfalt von Stopfbuchs-Packungen (Weichpackungen) in Form von *Knetpackungen*, *Geflechtpackungen* und *Gewebepackungen* angeboten und verwendet. Wegen ihrer außergewöhnlichen thermischen und chemischen Beständigkeit betrachtete man Asbestfasern lange Zeit als ideale Packungswerkstoffe. Nachdem sie aber als krebserregend erkannt wurden, mußten sie aufgegeben werden, aber keiner der später verwendeten alternativen Packungswerkstoffe konnte bislang unter allen Betriebsbedingungen als gleichwertig angesehen werden.

Unter verschiedenen Handelsnamen sind heute *Aramid*, *Glasfasern*, *Polytetrafluorethylen*, *Grafitfasern* und *expandierter Grafit* typische Werkstoffe für moderne Weichpackungen.

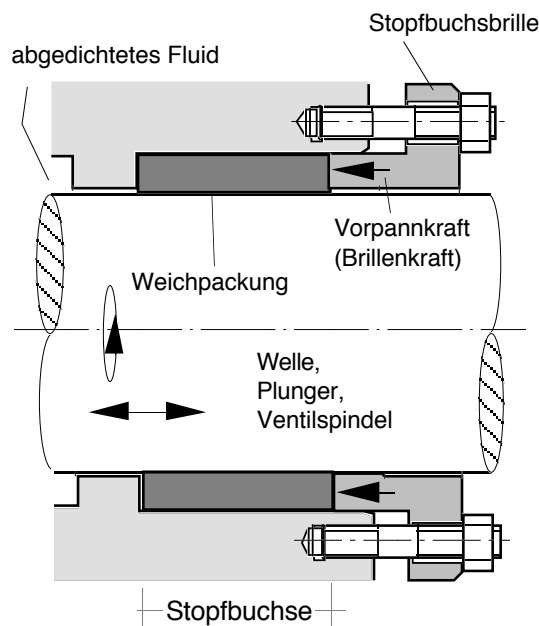


Bild 1
Grundelemente einer
Stopfbuchspackung
(Weichpackung)

In vielen Bereichen sind Packungen inzwischen durch automatisch wirkende Dichtungen ersetzt. In der Hauswassertechnik werden Ventile heute überwiegend mit O-Ringen abgedichtet. Kreiselpumpen sind mit Gleitringdichtungen ausgerüstet, deren Leckraten in der Regel weniger als 1% dessen betragen, was man aus Gründen des sicheren Betriebs einer Stopfbuchs-Packung zugestehen muß. In Anbetracht des großen Erfolgs der automatischen Dichtsysteme halten Ingenieure die Stopfbuchs-Packung für veraltet und überholt. Dennoch gibt es noch immer Anwendungsfelder für moderne Packungen, insbesondere bei hoher Temperatur, aggressiven Fluiden und bei kleiner Gleitgeschwindigkeit, also Bedingungen, die in der Verfahrenstechnik bei vielen Ventilen gegeben sind. Stopfbuchs-Packungen haben auch bei Kolbenpumpen überlebt und darüber hinaus bei solchen Kreiselpumpen, bei denen eine robuste und billige Wellendichtung gefordert und dafür eine moderate Leckrate in Kauf genommen wird.

11.2 WERKSTOFFE UND STRUKTUR DER PACKUNGSRINGE

Die meisten heute eingesetzten Packungswerkstoffe sind Aramid, PTFE oder Grafit. Aramid- und PTFE-Packungen bestehen aus Fasern und werden aus maschinengeflochtenem Garn hergestellt (Geflecht-Packungen). Grafit wird hauptsächlich in Form von expandiertem Reingrafit verwendet, in Ringe gepreßt oder zu Bändern geformt. Seltener sind Garne aus amorphem oder grafitiertem Kohlenstoff. Um spezifische Anforderungen zu erfüllen, können die genannten Werkstoffe auf unterschiedliche Weise kombiniert werden, entweder innerhalb eines Packungsringes oder mit Ringen aus verschiedenen Werkstoffen in einer Packung.



Nachfolgend sind wichtige Eigenschaften dieser Packungswerkstoffe zusammengestellt. Detailliertere Informationen über spezielle Packungen geben die einzelnen Hersteller.

1) *ARAMID-Fasern*: die hellgelben Para-Aramidfasern sind chemisch beständig im Bereich pH3 bis pH11, die weißen Aramidfasern im Bereich pH3 bis pH13. Aramid ist extrem verschleißfest und wärmebeständig bis etwa 250°C. Zur Verminderung der Reibung werden die geflochtenen Packungsringe mit verschiedenen Schmiermitteln imprägniert; PTFE-Dispersionen sind hierbei besonders wirksam. Die Wellenschutzhülse, auf der die Packung gleitet, soll verschleißfest und auf HRC 40...60 gehärtet sein. Wegen ihrer schlechten Wärmeleitfähigkeit und ihres hohen Wärmeausdehnungskoeffizienten können schlecht montierte (zu stark vorgespannte) Aramid-Packungen schnell heißlaufen und eventuell schon beim Anlauf der Welle versagen.

2) *PTFE-Fasern* sind chemisch beständig von pH0 bis pH14 und wärmebeständig bis etwa 250°C. PTFE-Packungen für Kreiselpumpen können zur weiteren Verminderung der Reibung zusätzlich mit PTFE-Dispersionen imprägniert werden. Wegen ihrer schlechten Wärmeleitfähigkeit und ihres hohen Wärmeausdehnungskoeffizienten sollten Packungen aus PTFE-Fasern nur bei Umfangsgeschwindigkeiten unter 0,5 m/s verwendet werden.

Wärmeleitfähigkeit und Schmierung einer Packung lassen sich auf verschiedene Weise verbessern:

- a) das Geflecht mit PTFE-Grafit-Dispersion imprägnieren;
- b) die Fasern mit wärmeleitenden und schmierfähigen Medien beschichten (z.B. Fette);
- c) Fasern mit guter Wärmeleitfähigkeit und Schmierwirkung einflechten. (z.B. Grafit oder Metallfasern).

In Kategorie c) gibt es außerdem mit proprietären Verfahren hergestellte Spezialfasern, beispielsweise die *grafitgefüllte* PTFE-Faser GFO® (W.L.Gore & Assoc.). Deren Wärmeleitkoeffizient soll nach Angaben des Herstellers 80% höher sein als der von *grafitbeschichteten* PTFE-Fasern und um ein Vielfaches höher als der von Aramidfasern. Die Bedeutung der Wärmeleitfähigkeit und der Schmierwirkung wird später noch deutlicher, wenn die Probleme mit Stopfbuchs-Packungen in Kreiselpumpen eingehender erörtert werden.

Die Struktur des Geflechts spielt eine Schlüsselrolle für das Betriebsverhalten einer Weichpackung. Eine stabile Querschnittsform, gute interne Dichtheit und eine verhältnismäßig glatte Dichtfläche erreicht man mit der in Bild 2 gezeigten Vierfach-Diagonalflechtung (4-bahniges Diagonalflecht). Die meisten Flechtpackungen über 8 mm Querschnittsbreite sind so geflochten; die Herstellung kleinerer Querschnitte erfordert hingegen dreifach- bzw. zweifach Diagonalflechtungen, die jedoch eine grob zerklüftete Dichtfläche und eine schlechtere innere Dichtheit aufweisen. Konzentrische Flechthüllen haben zwar eine feine Oberflächenstruktur, sind aber verschleißempfindlich.

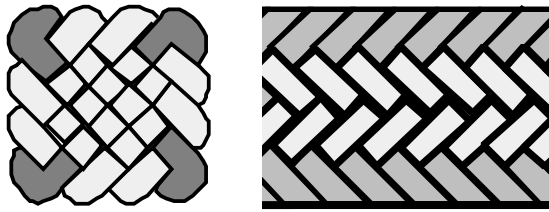


Bild 2
Packungsring in
vierfach diagonaler
Flechtung

3) *GRAFIT* wird in Stopfbuchs-Packungen als flexibler expandierter Reingrafit verwendet, der aus flockigem Grafit mit eingelagertem Bisulfat hergestellt wird. In einem thermischen Prozeß verdampft das Fremdmaterial, die Grafitsschichten expandieren und werden anschließend schnell abgekühlt. Dabei bildet sich ein Gemisch mit geringer Dichte, bestehend aus voluminösen wurmartigen Partikeln. Zum Schluß wird dieses Material verdichtet und zu elastisch nachgiebigen Folien mit einer Zugfestigkeit von mindestens 6...8 MPa gepreßt. Expandierter Reingrafit hat eine hohe Querschnittsdichte und somit eine geringe Gasdurchlässigkeit. Er ist chemisch von pH0 bis pH14 und thermisch bis 550°C beständig (bis 3000°C in nicht-oxidierender Umgebung) und ist bis 100 MPa druckbelastbar. Als Stopfbuchspackung, insbesondere für Ventile, wird expandierter Reingrafit in Form von gewickeltem Band, oder vorzugsweise von gepressten Packungsringen verwendet.

4) *METALL*-Packungen werden zusammen mit Schmierstoffen aus gekräuselten oder gewellten Blei- oder Aluminiumfolien formgepreßt. Sie sind bis 260°C (Blei) oder bis 540°C (Aluminium) zusammen mit einer gut ausgerichteten glatten Wellenhülse einsetzbar. Wegen der guten Wärmeleitfähigkeit der Metalle ist die zulässige Gleitgeschwindigkeit bei Metallpackungen höher als bei Flechtpackungen.

5) *NATURFASER*-Packungen werden nach ihren Grundmaterialien Ramie oder Baumwolle benannt. Sie sind wirtschaftlich und funktionieren mit einer Mineralfett-Imprägnierung zufriedenstellend. Sie werden hauptsächlich in Kreiselpumpen und Kolbenpumpen für wässrige Flüssigkeiten im Bereich pH4 bis pH11 eingesetzt. Die festere Ramiefaser wird in der Regel der Baumwollfaser vorgezogen.

11.3 MONTAGE UND BETRIEBSVERHALTEN EINER PACKUNG

Bild 3 zeigt eine Stopfbuchspackung in montiertem Zustand. Sie besteht aus vier vorgepreßten Packungsringen und einem harten Stützring (Anti-Extrusionsring) an jedem Ende. Geflecht- oder Gewebepackungen werden als Packungsschnüre auf der Rolle geliefert, vom Monteur radial, oder vorzugsweise unter 45°, auf Länge geschnitten und mit 120° versetzten Schnittstellen in den Packungsraum eingelegt. Geflochtene Packungsringe sind im Anlieferungszustand rau und porös. Zur Elimination innerer Hohlräume und Glättung der Dichtflächen wer-

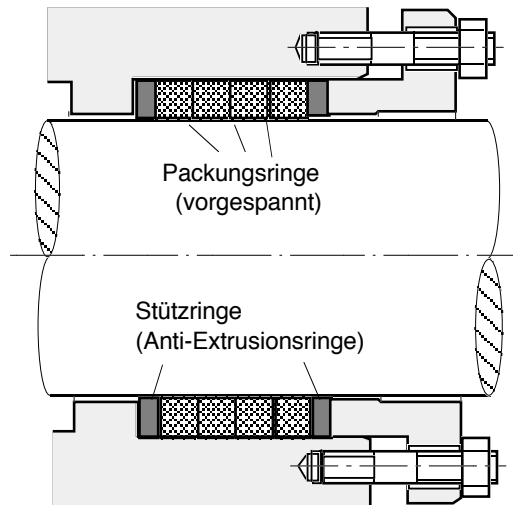


Bild 3
Stopfbuchspackung
(Weichpackung) mit
Packungsringen und
Stützringen

den die Ringe einzeln nacheinander axial verdichtet. Dies geschieht mittels der Stopfbuchsbrenn- und bei den inneren Ringen mit Hilfe einer Metallhülse. Packungsringe aus expandiertem Grafit werden zwar als geschlossene Ringe formgepreßt geliefert, aber vorzugsweise ebenfalls im Packungsraum verdichtet.

Für die radiale Breite b der Packung gibt es nach DIN 3780 Empfehlungen, die jedoch nicht mehr zeitgemäß sind. Die Packungshersteller bieten noch immer eine Vielzahl von Packungsbreiten an. Wegen der wirtschaftlichen Lagerhaltung sollte man sich aber, für Wellen- bzw. Stangendurchmesser im Bereich 20...100 mm, bei Neukonstruktionen auf die Ringbreiten 8mm und 10mm (evtl. 12 mm) beschränken. Wichtig ist eine stabile Wellenlagerung mit geringem Rundlauffehler. Die Packung ist kein Wellenlager! Ein radialer Wellenschlag ist der Dichtigkeit einer Stopfbuchspackung besonders abträglich, er führt durch radiale Verformung der Dichtfläche zur Vergrößerung des Dichtspalts und dadurch zu starker Leckage.

Bei der Verwendung einer Stopfbuchspackung muß man deren ungewöhnliches Spannungs-Dehnungsverhalten in Betracht ziehen. Nach einer Belastung kriecht die Packung stark und verursacht dadurch eine ungewöhnlich große Spannungsrelaxation. Dies hängt mit den Hohlräumen, der inneren Reibung sowie mit der Reibung an der Stopfbuchsenwand und an der Welle zusammen. Es kann Stunden oder Tage dauern bis die inneren Spannungen in der Packung einen gleichbleibenden Wert erreichen. Dies bedeutet für die Praxis, daß man nach dem Anlauf der Welle, oder nach jedem Nachspannen der Packung, geraume Zeit warten muß, bevor man weitere Einstellungen vornimmt. Einen befriedigenden Betriebszustand erreicht man durch ein stufenweises Spannen (Anziehen) der Packung, wobei man der Packung nach jedem Schritt eine angemessene Zeit für das Setzen zubilligt, bis schließlich die anfänglich größere Leckage das angestrebte Niveau erreicht hat. Gewöhnlich steigt die Leckrate wieder nach einer Störung, beispielsweise nach einem Abstellen und Wiederanfahren oder nach einer



Druck- oder Temperaturänderung.

Nach einer derartigen Störung sollte man die Packung erst dann nachziehen, wenn die Leckrate einen konstanten Wert erreicht hat. Die Intensität des Kriechens einer Packung hängt von ihrer Bauart ab. Vorgepreßte Packungsringe aus expandiertem Reingrafit sind in dieser Beziehung günstig, da sie nur wenig kriechen.

Anpressung der Packung

Um die rauheitsbedingten Spalte und die inneren Leckagewege zu verschließen, wird die Stopfbuchsbrille – in der Regel durch Schrauben – mit der Axialkraft F_b auf die Packung gepreßt, Bild 4. Sie erzeugt am äußersten Packungsring die „Brillenpressung“ $p_b = F_b / A$, wobei $A = \pi(D^2 - d^2)/4$ die Ringfläche des Stopfbuchsraums ist. Bei einem inkompressiblen Dichtkörper, der von Anfang an genau in den Stopfbuchsraum paßt, wäre die radiale Dichtspannung p überall gleich groß wie die Brillenpressung p_b . Ein realer Packungsring hat jedoch innere Hohlräume und ist äußerlich rau. Beim Anziehen wird deshalb die Packung zunächst axial verdichtet und nur ein Teil der lokalen axialen Druckspannung p_a wird in die lokale radiale Dichtspannung p umgesetzt, also $p = K \cdot p_a$, mit dem Dichtspannungsfaktor $K < 1$. Der Wert von K hängt von der Art der Packung und der Schmierung und in geringem Maß auch von p_a ab. Werden die Brillenschrauben angezogen, so wird die ganze Packung axial komprimiert und alle Ringe werden mehr oder weniger axial verschoben. Dabei entstehen an der Welle und an der Stopfbuchswand Reibungskräfte, die der Zusammenpressung der Packung entgegenwirken.

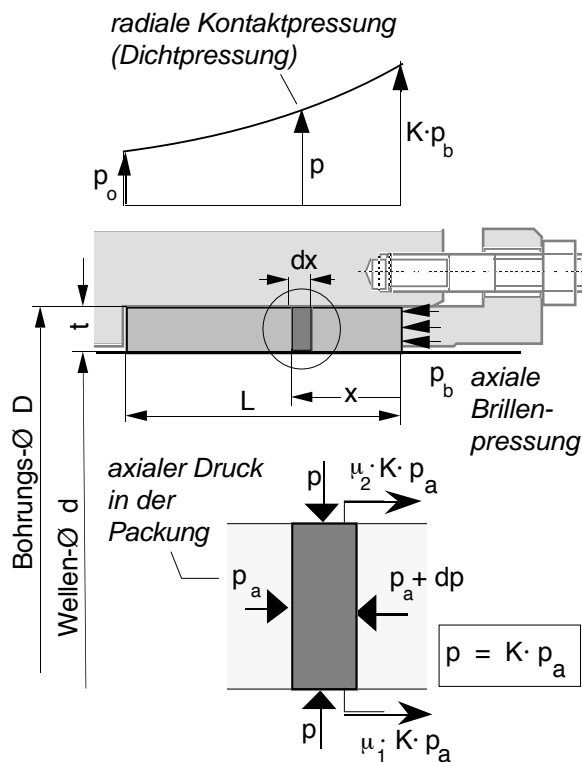


Bild 4
Kontaktspannungs-
verlauf nach dem
Anziehen der Brillen-
schrauben



Ausgehend von der Stopfbuchsbrille nimmt p_a – und somit auch p – innerhalb der Packung ab. Dieser Verlauf wird nun berechnet unter der Annahme, daß die Welle sich nicht bewegt und K , unabhängig von p_a , einen konstanten Wert hat. Beim Anziehen der Stopfbuchsbrille verschiebt sich ein Element der Packung mit der Breite dx in axialer Richtung. Innen und außen wirken die Reibungskräfte $\mu_1 p$ und $\mu_2 p$ der Bewegung entgegen. Dadurch vermindert sich die Axialspannung um dp . (μ_1 bzw. μ_2 sind die Reibungszahlen an den Berührflächen Packung/Welle bzw. Packung/Stopfbuchswand). Die Gleichgewichtsbedingung für das Packungselement mit der axialen Breite dx und der radialen Dicke lautet:

$$dp \cdot t = K \cdot p_a (\mu_1 + \mu_2) dx \quad (1)$$

Durch Integration ergibt sich mit $p_a = p_b$ für $x=0$ der Verlauf der radialen Dichtpressung $p_d(x)$ entlang der Packung, :

$$p = K \cdot p_b \cdot e^{- (\mu_1 + \mu_2) K x / t} \quad (2)$$

Die radiale Dichtpressung ist somit an der Brille am größten und nimmt zum Stopfbuchsgrund hin exponentiell ab. Bei rotierender Welle verschwindet die axiale Komponente der Reibung zwischen Packung und Welle, ($\mu_1=0$). Mit $\mu=\mu_2$ ergibt sich:

$$p = K \cdot p_b \cdot e^{-\mu K x / t} \quad (3)$$

Beispiel: Flechtpackung aus PTFE-Fasern; $K \approx 0,4$ experimentell ermittelt; Annahme $\mu = 0,15$; aus Gleichung 11.3 folgt für eine 6-Ring-Packung ($x/t = 6$), daß die radiale Dichtpressung p am Stopfbuchsgrund ($x=L$) noch 70% der radialen Pressung p an der Brille beträgt, und nur 28% vom Wert der axialen Pressung p_b an der Brille.

Der Dichtpressungsfaktor K wurde im Labor für verschiedene Packungsarten ermittelt, die Packungshersteller geben jedoch in der Regel keine Werte für K an. Die Höhe und der Verlauf der Pressung ändern sich im Betrieb ständig, wenn die Packung Schmiermittel ausschwitzt, relaxiert, oder nachgezogen wird, und wenn Flüssigkeit in den Spalt eindringt. Bis auf die qualitative Erkenntnis, daß die Pressung längs der Packung stark abfällt haben deshalb die oben ermittelten Gleichungen für den praktischen Betrieb einer Packung wenig Bedeutung. Packungen werden nicht berechnet, sondern aufgrund von praxisorientierten Überlegungen dimensioniert und angezogen. Dies wird nun für spezielle Anwendungsbereiche erläutert.

11.4 PACKUNGEN FÜR KREISELPUMPEN

Als Wellenabdichtung für Kreiselpumpen hat die Weichpackung eine Reihe von Vorteilen. Die Kosten für die Dichtringe und für die zusätzlich notwendigen Bauteile sind verhältnismäßig niedrig. Die Dichtung ist robust und verlangt keine außergewöhnlichen Fachkenntnisse.



Eine verschlissene Packung kann ohne Demontage der Pumpe schnell ausgetauscht werden. Die Zuverlässigkeit einer Packung hängt jedoch davon ab, ob bei der Konstruktion und im praktischen Betrieb bestimmte Bedingungen und Regeln eingehalten werden, die später noch erörtert werden. Verglichen mit einer Einzelgleitringdichtung, deren typische Leckrate unter 1 ml/h liegt, muß einer Packung eine Leckrate in der Größenordnung 100 ml/h zugestanden werden. Demgegenüber ist aber zu bedenken, daß beim plötzlichen Ausfall einer Gleitringdichtung exzessive Leckage auftritt, während sich der Ausfall einer *richtig eingestellten und gewarteten* Packung allmählich ankündigt.

Richtiges Anziehen der Stopfbuchsbrille

Im Gegensatz zur Einfachheit von Aufbau und Montage einer Weichpackung steht ihr ziemlich komplizierter Dichtmechanismus, besonders als Kreiselpumpendichtung. Das Hauptproblem ist hier die Wärmeableitung von den gleitenden Dichtflächen. Eine zu stark vorgespannte Packung kann plötzlich heißlaufen, verbunden mit Freßverschleiß und Riefen auf der Wellenoberfläche und demgemäß hohen Reparaturkosten. Um dies, insbesondere bei schnell laufenden Pumpen, zu vermeiden muß die Packung mittels einer verhältnismäßig hohen Leckrate gekühlt werden. Beispielsweise erfordert der Betrieb einer Heißwasserpumpe bei 10 m/s Umfangsgeschwindigkeit der Welle eine Leckrate von mindestens 1 Liter pro Stunde. Unter weniger schwierigen Bedingungen ist die Packung wenigstens auf tropfende Leckage einzustellen, was bei einer Wasserpumpe normalerweise problemlos ist. Beim Start der Pumpe dehnt sich die Packung bei zunehmender Temperatur aus. Wurde die Brille zu stark angezogen, unterbindet die Ausdehnung den Leckagestrom, die überhitzte Packung läuft trocken und wird binnen weniger Minuten zerstört. Für Niederdruck-Kreiselpumpen ($< 25 \square$ bar) empfehlen die Hersteller bisweilen, mit dem Drehmomentenschlüssel die Brillenpressung auf $p_b = (1.1 \dots 2.0) \cdot p_f$ einzustellen ($p_f =$ Druck der abzudichtenden Flüssigkeit). Beträgt die Anzahl der Brillenschrauben z , so ist die erforderliche Schraubenkraft der Einzelschraube $F_s = p_b \pi(D^2 - d^2)/(4 \cdot z)$. In der Praxis geht es jedoch viel einfacher. Zunächst zieht man die Schrauben nur ganz lose an, beobachtet die Leckage und zieht dann die Schrauben gefühlvoll weiter an, wobei die Leckrate nie kleiner werden darf als einige Zehn Tropfen pro Minute.

Verschiedene Betriebszustände von Weichpackungen

Um das Verhalten einer Weichpackung richtig zu verstehen, muß man die Wechselwirkungen zwischen dem Flüssigkeitsdruck und der Packung näher betrachten. Bislang hatten wir die Auswirkungen der lokal veränderlichen Kontaktpressung einer zerklüfteten Packungsoberfläche (beispielsweise bei einem Geflecht) nicht beachtet. Die Kontaktpressung ist an den Berührstellen höher als die oben diskutierte mittlere Pressung $p = K \cdot p_a$, dazwischen kann sie auf Null abfallen. Wir haben es also zwischen Packung und Welle mit einem labyrinthartigen Spalt zu tun. Wenn nun in diesem Spalt der lokale Flüssigkeitsdruck kleiner ist als die mittlere



Kontaktpressung p hebt der Druck die Packung nicht insgesamt an, aber vermindert die effektive Kontaktpressung. Abhängig von p und der Steifigkeit der Packung nimmt die Spalthöhe lokal zu, und zugleich nimmt in der Flüssigkeit der lokale Druckgradient ab. Insgesamt entsteht durch diesen Mechanismus ein nicht-linearer Druckabfall, der am inneren Ende der Packung flach ist und auf die Brille zu steiler wird, Bild 5. Dieses Verhalten kann zu zwei unterschiedlichen Betriebszuständen einer Packung führen.

1. *Anliegende Packung*, Bild 5a: Wenn die Stopfbuchsbrille so stark angezogen wird, daß die *Brillenpressung* p_b höher wird als der abgedichtete *Flüssigkeitsdruck* p_f , $\{p_b = (1,1-2,0) \cdot p_f\}$, dann liegt die rauhe Packung auf ihrer ganzen Länge an der Welle an und der Flüssigkeitsdruck fällt in dem labyrinthartigen Spalt nahezu linear ab. Erfahrungsgemäß ist die Leckrate dann annähernd umgekehrt proportional zur Brillenspannung p_b . Der Zustand [*an der Welle anliegende Packung*] kann durch Anziehen der Stopfbuchsbrille nur dann erreicht werden, wenn der Druck p_f der abgedichteten Flüssigkeit nicht höher als etwa 15...25 bar ist. In diesem Bereich arbeiten jedoch die meisten Kreiselpumpen.

2. *Schlaffe Packung*, Bild 5b: Bei noch höherem Flüssigkeitsdruck kann man die Stopfbuchsbrille nicht mehr so stark anziehen, daß die Brillenpressung deutlich höher ist als der Flüssigkeitsdruck, weil dies zu unbeherrschbar hoher Reibung führen würde. Der Flüssigkeitsdruck p_f ist nun größer als die Pressung p zwischen Packung und Welle; die Packung verhält sich sozusagen *schlaff* gegenüber der Flüssigkeit im Spalt. Somit drängt der Flüssigkeitsdruck die Packung radial nach außen und vergrößert den Spalt, bis auf eine schmale Zone am letzten Packungsring direkt vor der Brille, wo der Flüssigkeitsdruck auf den Umgebungsdruck ab-

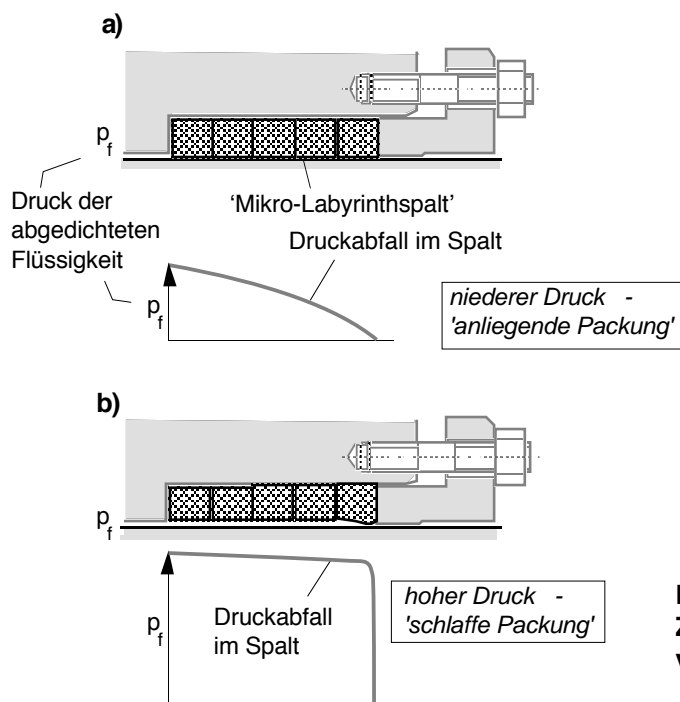


Bild 5
Zwei Betriebszustände
von Weichpackungen



fällt. Dort kann die Flüssigkeit die Packung nicht mehr von der Welle wegdrängen, das heißt, direkt vor der Brille verengt sich der Dichtspalt und drosselt den Flüssigkeitsdruck. Die Packung wirkt also in diesem Zustand wie eine automatische, druckaktivierte Drosselspaltichtung (sh. Kapitel 16), und die Leckraten sind vergleichsweise hoch. Im Zustand der schlaffen Packung ist die Reibung nahezu unabhängig von der Anzahl der Packungsringe, sie nimmt aber mit steigendem Flüssigkeitsdruck zu.

Reibmoment und Reibungsverluste

Im Fall der *anliegenden* Packung kann die Reibung näherungsweise berechnet werden, falls die Gleitreibungszahl μ_g und der Dichtpressungsfaktor K bekannt oder praxisnah abschätzbar sind. Die Gleitreibungszahl μ_g an der geschmierten Kontaktfläche zwischen Packung und *rotierender* Welle ist beträchtlich kleiner als die in Gl. 3 für die Montage der Packung verwendete Reibungszahl μ . Bei einer Packung mit sorgfältig eingestellter Leckrate (elastohydrodynamische Schmierung) ist schätzungsweise $\mu_g = 0,05$. Aus Bild 4 geht hervor, daß ein Element mit der axialen Dicke dx im Abstand x von der Brille ein Reibmoment von der Größe $dM_r = 0,5 \pi d^2 \mu_r p dx$ erzeugt. Setzt man in diese Beziehung den Wert von p aus Gl. 3 ein und integriert über die gesamte Länge der Packung, so ergibt sich als gesamtes Reibmoment:

$$M_r = \frac{\pi}{2} d^2 t p_b \frac{\mu_r}{\mu} (1 - e^{-\mu K L/t}) = \frac{\pi}{2} d^2 \mu_r K p_b L \cdot \left\{ 1 - \frac{\mu K L}{2t} + \dots \right\} \quad (4)$$

Das zweite Klammerglied der Reihenentwicklung berücksichtigt den Pressungsabfall entlang der Packung. In Übereinstimmung mit experimentellen Ergebnissen ist das Reibmoment proportional zur Brillenpressung p_b . Da die Packungsringe normalerweise quadratischen Querschnitt haben ist der Wert von L/t identisch mit der *Anzahl* der eingesetzten Packungsringe. Für eine praxisnahe Abschätzung kann man Gl.4 auch folgendermaßen darstellen:

$$M_r = \varphi d^2 p_f L \quad (5)$$

mit p_f = abzudichtender Flüssigkeitsdruck, L = Gesamtlänge der Packung. In der Konstanten φ sind die Einflüsse von μ_g , μ , K and p_b/p_f zusammengefaßt. Die Reibungsleistung ist $Pr = M_r \cdot \omega = M_r \cdot \pi \cdot n/30$, mit n = Wellendrehzahl in min^{-1} .

Beispiel: Mit den oben angegebenen Werten von μ_g , μ , K ergibt sich für eine geflochtene 3-Ring-PTFE-Packung deren Brille auf $p_b = (1,1 \dots 2,0) \cdot p_f$ vorgespannt ist ein Faktor $\varphi = 0,03 \dots 0,06$. Bei Verwendung von 8mm breiten quadratischen Packungsringen ($L = 24 \text{ mm}$) auf einer Welle mit 50 mm Durchmesser ergibt sich beim Flüssigkeitsdruck $p_f = 1 \text{ MPa}$ eine rechnerisch ein Reibmoment $M_r = 1,8 \dots 3,6 \text{ Nm}$. Die Reibleistung liegt bei $n = 1500$ ungefähr im Bereich 280 ... 570 W.

Eine Packung mit 6 Ringen könnte unter diesen Bedingungen schon mehr als 1 kW Wärme fluß erzeugen, ein deutlich gefährlicher Betriebszustand. Die hier verwendeten Parameter streuen selbst für scheinbar gleiche Dichtringe, zuverlässige Werte sind selten bekannt. Gl. 4 ist des-



halb weniger für eine genaue Berechnung brauchbar als vielmehr zur Beurteilung des relativen Einflusses der wesentlichen Parameter, beispielsweise der Anzahl der Packungsringe.

Optimale Länge einer Packung

Gesicherte Erkenntnisse über das physikalische Verhalten von Weichpackungen führen beim Einsatz in Kreiselpumpen zu den folgenden Schlußfolgerungen hinsichtlich der Packungslänge (Anzahl der Packungsringe) :

1. Bei *niedерem* Flüssigkeitsdruck tragen alle Ringe zur Dichtwirkung bei. Die notwendige Leckrate wird durch Anziehen der Brille eingestellt. Die Leckage einer Drosseldichtung wird *hauptsächlich* von der radialen Spalthöhe, *nicht* von der Spaltlänge bestimmt. Es ist deshalb unnötig, eine lange Packung zu verwenden. Im Gegenteil: Die hohe Reibung einer langen Packung führt beim unabsichtlich starken Anziehen der Brille schnell zum Versagen der Packung.

2. Bei *hohem* Flüssigkeitsdruck ist eine lange Packung nutzlos, da es praktisch nicht möglich ist, durch Anziehen der Brille einen Zustand herbeizuführen, bei dem alle Packungsringe an der Dichtwirkung beteiligt sind. Dazu müßte man die Brille unzulässig stark anziehen. Bei vertretbarer Vorspannung trägt aber im Wesentlichen nur der letzte Packungsring vor der Stopfbuchsbrille zur Dichtwirkung bei.

Aufgrund konventioneller Empfehlungen halten manche Anwender noch immer an unnötig langen Packungen fest. Lange Packungen schaden nicht bei Anwendungen mit sehr niedriger Gleitgeschwindigkeit, beispielsweise bei Absperrorganen, bei höherer Gleitgeschwindigkeit sind sie aber fehl am Platz. In vielen industriellen Kreiselpumpen werden noch immer Weichpackungen mit vier oder noch mehr Packungsringen verwendet. Manchmal findet man für Kreiselpumpen die Empfehlung, die Packungslänge mindestens gleich dem Wellendurchmesser zu machen, also bei einer 50mm-Welle 5 Ringe mit je 10 mm Breite. Andere Konstruktionsanleitungen nehmen den abzudichtenden Flüssigkeitsdruck als Kriterium für die Anzahl der zu verwendenden Ringe, beispielsweise 5 Ringe bei 10 bar oder 7 Ringe bei 24 bar, usw. Diesen Empfehlungen widersprechen sowohl die Erkenntnisse über die Packungsfunktion als auch die schlechten Erfahrungen mit langen Packungen in der Praxis. Immer wieder zeigt sich, daß bei unkontrollierter Vorspannung die Flüssigkeit direkt vor der Brille im Spalt verdampft, wobei exzessiver Verschleiß auftritt und die Dichtung nach kurzer Zeit ausfällt.

Somit ist es naheliegend und im Hinblick auf die Zuverlässigkeit zweckmäßig, bei Kreiselpumpen die Anzahl der Packungsringe drastisch zu reduzieren. Geschieht dies schon bei der Konstruktion der Pumpe, so erreicht man Kosteneinsparungen nicht nur für die Packung selbst sondern auch hinsichtlich des Bauraums. Beim Austausch von Packungen in vorhandenen Pumpen können unnötige Packungsringe einfach durch eine Distanzhülse ersetzt werden. Langzeit-Versuchsergebnisse belegen, daß Wasserpumpen ohne weiteres bis mindestens $p = 6$

MPa zuverlässig mit einem einzigen 8...10 mm breiten Packungsring abgedichtet werden können. Zur Abdichtung des Stoßspalts sollte man höchstens noch einen weiteren Ring hinzufügen. Bild 6(a) zeigt eine Zwei-Ring-Packung, die mit Tellerfedern vorgespannt und damit wartungsfrei ist. Eine Federvorspannung der Brille ist gerade bei axial kurzen Packungen vorteilhaft, da hier die notwendige Nachstellbewegung beim Setzen und bei thermischer Dehnung der Packung klein ist. Bild 6(b) zeigt eine Packung mit zwei primär abdichtenden Packungsringen auf der Produktseite, einem „Laternenring“ und zwei weiteren Ringen als Sekundärdichtung, zur drucklosen Abdichtung der Leakage oder einer zusätzlichen Schmier- oder Kühlflüssigkeit im Zwischenraum.

Fazit: Mit selbsttätiger Nachstellung der Brillenpressung – in der Regel mit Federn – und wenn eine Leckrate von mindestens 20 .. 30 ml/h zulässig ist, können die Wellen industrieller Kreiselpumpen zuverlässig und kostensparend mit einer *Ein-Ring-* oder *Zwei-Ring-Packung* abgedichtet werden.

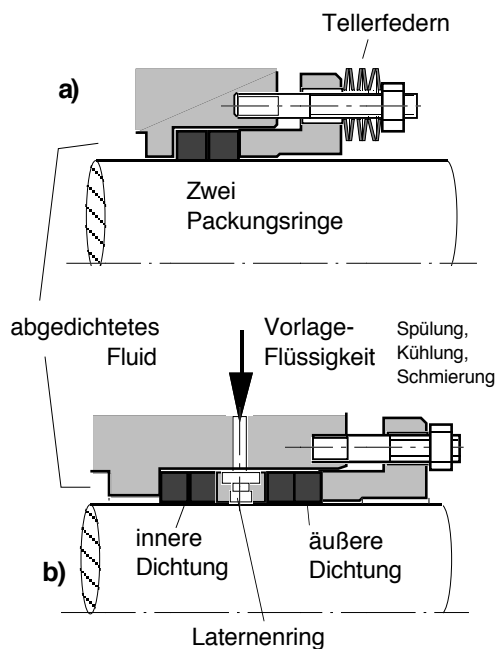


Bild 7
Zwei-Ring-Packungen
 a) federbelastet
 b) mit Laternenring

Leckraten

Die Leckrate einer Weichpackung ist nicht eine Sache der Berechnung sondern der sorgfältigen Einstellung an der Pumpe. Zum Beispiel empfiehlt ein bestimmter Packungshersteller, bei einer Wasserpumpe {24 bar; 40 mm; 1,7 m/s} bei einer herkömmlichen 5-Ring-Packung die Stopfbuchsbrille so anzuziehen, daß die ständige Leckrate mindestens 300 ml/h (2 Tropfen/Sekunde) beträgt. Langzeitversuche mit einer wasserabdichtenden *Ein-Ring-Packung* zeigten, daß die Leckrate hier ohne weiteres bis auf 15 ml/h (1 Tropfen pro 15 Sekunden) reduziert werden kann. Zum Vergleich: die Leckrate einer Gleitringdichtung liegt unter den genannten



Bedingungen deutlich unter 1 ml/h. Bild 7 veranschaulicht die angesprochenen Dichtungen mit ihren typischen Leckraten.

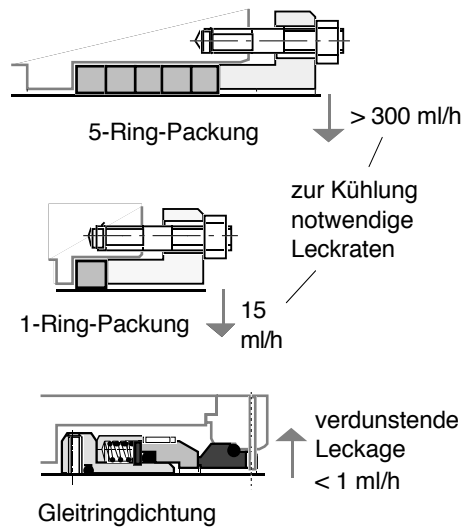


Bild 7
Typische Leckraten
verschiedener
Wellendichtungen

Um in der Praxis bei Stopfbuchspackungen niedere Leckraten zu erreichen, muß die Welle zur Stopfbuchsbohrung optimal konzentrisch und der Wellenschlag (Unrundlauf) so klein wie möglich sein. Wenn bei einer ungünstig konstruierten oder schlecht gefertigten Pumpe oder wegen fehlerhafter Lager diese Bedingungen nicht erfüllt sind, muß mit einem schnellen Ansteigen der Leckrate gerechnet werden, auf Werte, die weit über das zur Kühlung notwendige Maß hinaus gehen. In einer gut gebauten Pumpe können jedoch richtig dimensionierte und eingestellte Weichpackungen viele Monate lang zuverlässig abdichten. Infolge des Ausgleichs der Axialspannungen in der Packung nimmt die eingestellte Leckrate oft mit der Zeit noch ab.

Packungsabmessungen

Der Packungsanwender ist bei der Auswahl mit einer Vielzahl von Marken, Größen und Anwendungshinweisen konfrontiert. Für die praktische Anwendung sind vor allem folgende Kriterien wichtig:

- Chemische Verträglichkeit
- Temperaturbeständigkeit
- Minimale Packungslänge
- Minimaler Ersatzteilbedarf

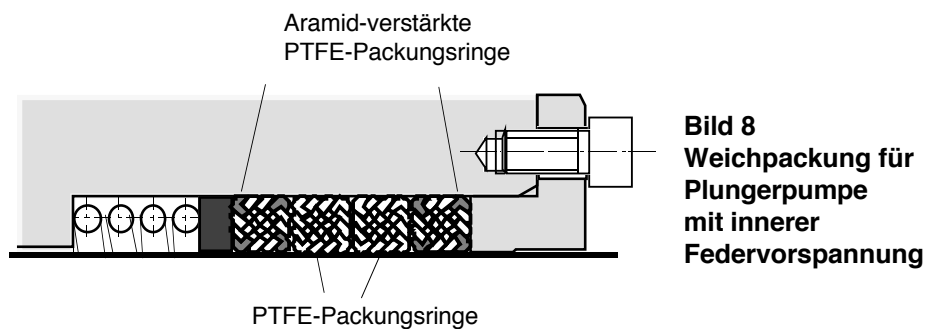
Nochmals sei wiederholt, daß bei der Konstruktion neuer Kreiselpumpen auf der Produktseite nicht mehr als *zwei* (allerhöchstens drei) *Packungsringe* vorzusehen sind, dieselbe Anzahl außerhalb eines eventuell notwendigen Laternenrings. Die Lagerhaltung kann minimiert werden, wenn man sich auf *zwei* (max.drei) *Ringquerschnitte* beschränkt: 8 mm, 10 mm, (12 mm).



Schließlich sollte man garantierte Toleranzen für die Querschnittsmaße verlangen. Bei zu dünnen Ringen erreicht man eventuell nicht die geforderte minimale Leckrate, während zu dicke Ringe unmittelbar heißlaufen können.

11.5 PACKUNGEN FÜR AXIALE GLEITBEWEGUNG

Bei Hochdruck-Kolbenpumpen ist in der Regel die Gleitgeschwindigkeit verhältnismäßig klein und die Packung ist gut gekühlt, weil die Stange bei jedem Hub die Reibungswärme aus dem Spalt transportiert, und sie entweder an die abzudichtende Flüssigkeit oder an einen externen Kühlmantel abgibt. Auch bei einer langen Packung ist hier die Gefahr der Überhitzung vergleichsweise gering. Dennoch entspricht bei manchen Pumpen die Anzahl der Packungsringe mehr der Tradition als den technischen Erfordernissen. Das Motto „*viel hilft viel*“ ist nicht hilfreich, wenn die mögliche Erhöhung der Produktivität durch Erhöhung der Gleitgeschwindigkeit an der Reibung der Packung scheitert. Bei Kolbenpumpen werden ebenfalls Packungen vorwiegend aus PTFE, Grafit und Aramid verwendet. Das Eindringen einer begrenzten Menge von inertem Packungsabrieb in die Prozeßflüssigkeit ist in vielen Fällen zulässig. Bild 8 zeigt eine von innen federvorgespannte Stopfbuchspackung für eine Plungerpumpe. Die Packungsringe bestehen beispielsweise aus grafit-imprägniertem PTFE. Die Stützringe an beiden Enden bestehen aus speziell geflochtenem, grafit-imprägniertem PTFE-Garn, mit Aramid-verstärkten Kanten. Diese Packung arbeitet im Betriebszustand der „schlaffen Packung“ (sh. Seite 8 dieses Kapitels), bei der die Reibung annähernd proportional zum Druck der abgedichteten Flüssigkeit ist.



11.6 PACKUNGEN FÜR ARMATURENSPINDELN

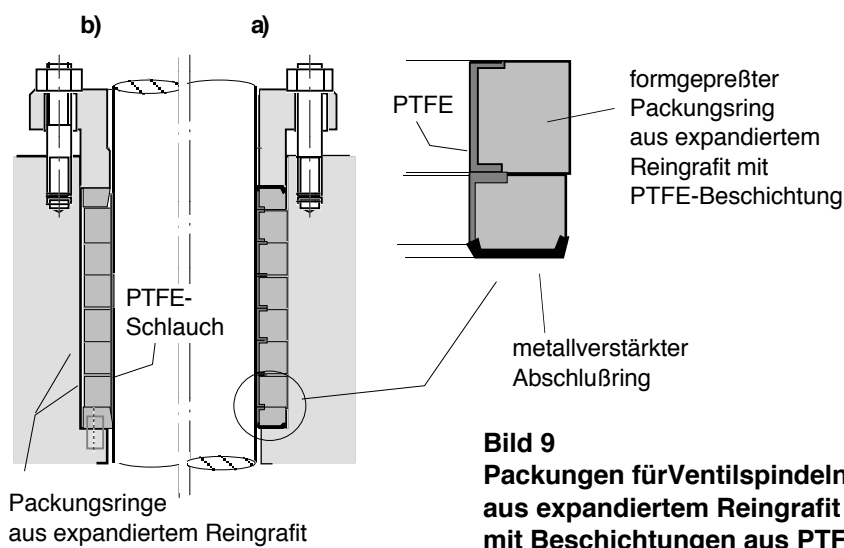
Die Spindeln der vielen Ventile in verfahrenstechnischen Anlagen werden zum Großteil mit Stopfbuchspackungen abgedichtet. Nur in sehr kritischen Anwendungen werden hermetisch dichtende Metallfaltenbälge verwendet. Unter den Hauptanforderungen hat der wartungsfreie Betrieb eine hohe Priorität, eine Ventilspindel darf nicht wegen unerwartet hoher Reibung blockieren, und bei hydraulisch oder pneumatisch bewegten Regelventilen müssen Ruckgleit-



bewegungen (Stick-Slip) ausgeschlossen werden. Eine weitere wichtige Forderung der Anwender von Ventilen ist die Vermeidung der Leckage von flüchtigen organischen Gasen. In petrochemischen Anlagen wurden Ventile als die hauptsächlichen Quellen von Emissionen ermittelt. Die Leckrate einer Ventilspindel-Packung nimmt exponentiell mit ihrer axialen Vorspannung ab. Günstig für die Beherrschung der Leckage sind präzise gefertigte Packungsringe mit jeweils gleicher radialer Breite und eine im Betrieb gleichbleibende Brillenspannung, die man beispielsweise mit Tellerfedern erreichen kann.

Einen wesentlichen Fortschritt brachten die schon erwähnten Packungen aus expandiertem Reingrafit und aus neuen Packungswerkstoffen auf PTFE-Basis, insbesondere dem sogenannten *expandierten PTFE*, einer proprietären Modifikation von PTFE (Gore-Tex®). Letzteres hat die üblichen Vorteile von reinem PTFE, jedoch infolge einer elastisch-faserigen Struktur auch minimalen Kaltfluß. Es ist verfügbar in Form von Schnüren, die schraubenförmig in den Stopfbuchsraum eingelegt und dann vor Ort um etwa 50% verdichtet werden.

Bei Grafitpackungen nimmt die Reibung drastisch zu, wenn die Packung trocken läuft, insbesondere wenn Grafit auf die gleitende Metalloberfläche übertragen wird. Dadurch können Ventilspindeln in Regelventilen blockiert werden. Dies kann durch einen Überzug aus PTFE vermieden werden, Bild 9(a). PTFE hilft in Regelventilen Stick-Slip zu vermeiden, weil der Unterschied zwischen Haftreibung und Gleitreibung bei PTFE gering ist. An beiden Enden solcher Packungen werden extrusionssteife Stützringe eingesetzt. Sie bestehen aus hartem Grafit, Geflechtem aus Grafitgarn oder metallverstärkten Packungsringen. Zweckmäßig vorgespannte Packungen der in Bild 9(a) gezeigten Art sollen bis 60 MPa und 300°C einsetzbar sein. Bild 9(b) zeigt alternativ aufgebaute Packungsringe mit einem innen durchgehenden PTFE-Überzug mit konischen Metallringen zur Vermeidung von Extrusion. Packungen dieser Art vereinigen in sich die axiale Elastizität von expandiertem Reingrafit mit der Anti-Adhäsivität und Korrosionsbeständigkeit von PTFE. Wegen des geringen Volumenanteils an PTFE wirkt sich seine hohe Wärmeausdehnung nicht nachteilig aus.





11.6 LITERATUR

Denny, D.F., Turnbull, D.E.: Sealing characteristics of stuffing-box seals for rotating shafts, Proc.Inst.Mech.Engrs., Vol.174, 1960

Thomson, J.L.: A theory of sealing with particular reference to the packed stuffing-box, 1st. Int.Conf. on Fluid Sealing, BHRA, Ashford, U.K., 1961

Decker, A.L.: Application of Spring loaded Packings to Rotating Shafts, 2nd.Int.Conf. on Fluid Sealing, BHRA, Cranfield, U.K., 1964

Nau, B.S.: Modified Packed Gland Designs, 3rd.Int.Conf. on Fluid Sealing, BHRA, Cambridge,U.K., 1967

Trutnovsky, K.: Die Wirkungsweise von Weichpackungsstopfbuchsen, Z. Konstruktion 20 (1968), S. 220-224

Trutnovsky, K.: Berührungsdichtungen an ruhenden und bewegten Maschinenteilen, Berlin-Heidelberg· New York, 1975

Bohner, K., Blenke, H., Hinkel, R.: Lateral stress ratio, deformation and relaxation of stuffing-box soft packings, 7th.Int.Conf. on Fluid Sealing, BHRA, Nottingham, U.K., 1975

Pfeiffer, W., Bohner, K.: Friction and leakage of stuffing-box packings for reciprocating shafts, 7th.Int.Conf. on Fluid Sealing, BHRA, Nottingham, U.K., 1975

Bohner, K., Blenke, H., Raible, G.: Stopfbuchsendichtungen für Wellen berechnen und konstruieren, Z. Maschinenmarkt 87, Nov.1977, S.1719-1722

Kraus, R.: Optimierung von Stopfbuchsen für Armaturen, Sonderheft F.Burgmann GmbH, Wolfratshausen, 1982

Lancaster, J.M.: Graphite Seals: An Expanding Technology, 11th.Int.Conf. on Fluid Sealing, BHRG, Cannes, France., 1987

Anon., Compression Packings Handbook, Fluid Sealing Association, Philadelphia, 1990.

Latty, C.X.: A new mechanical packing concept brings secure stem sealings with rapid responses to modulating control valves, 13th. Int.Conf. on Fluid Sealing, BHRG, Brugge, Belgium., 1992.

Hayashi, K., Hirasata, K., Nagamoto, T.: Sealing performances of gland packings for valves in nuclear plant, 13th. Int.Conf. on Fluid Sealing, BHRG, Brugge, Belgium., 1992.

Anon, Guidelines for controlling fugitive emissions with valve stem sealing systems. STLE Special Publ. SP-33, Oct. 1992.

Leefe, S.E. and Davies, O. M.: Laboratory based test for valve stem leakage correlation between test and working fluids. 1st European Conf. on Controlling Fugitive Emissions from Valves, Pumps and Packings, European Sealing Assoc., 1996.

Müller, H.K., Nau, B.S.: Fluid Sealing Technology, Principles and Applications, M.Dekker Inc., New York, 1998, ISBN 0-8247-9969-0

Tietze, W., Riedl, A., (Hsg): Taschenbuch Dichtungstechnik, Essen 2001, ISBN 3-8027-2197-7



Hinweise auf Inhaber, Urheberrecht und Verwertung von *www.fachwissen-dichtungstechnik.de*

Inhaber und Betreiber der Domain www.fachwissen-dichtungstechnik.de ist Prof. Dr. Heinz Konrad Müller, Otl-Aicher-Str. 48, D-80807 München, Deutschland.

Der gesamte Inhalt der unter der Domain www.fachwissen-dichtungstechnik.de veröffentlichten Internetpublikation einschließlich der Fachkapitel, die als PDF herunterladbar sind, ist urheberrechtlich geschützt und darf insgesamt oder in Teilen ausschließlich für den persönlichen Gebrauch ohne Vergütung kopiert und verwendet werden. Zitate sind mit Angabe der Quelle ausführlich zu kennzeichnen. Jede anderweitige Verwendung oder Verwertung, Vervielfältigung, Übersetzung, Nachdruck, Vortrag, Entnahme von Abbildungen, Funksendung, Mikroverfilmung und Speicherung auf elektronischen Datenträgern ist vergütungspflichtig und bedarf der schriftlichen Genehmigung durch den Inhaber der Domain (s.o.).

Inhaber des Urheberrechts (Copyright ©) und verantwortlich für den Inhalt von www.fachwissen-dichtungstechnik.de sind die Autoren Dr. Heinz Konrad Müller und Dr. Bernard S. Nau.

Hinweise auf den Inhalt bezüglich Handelsnamen, Warenzeichen und den gewerblichen Rechtsschutz:

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenzeichen usw. in www.fachwissen-dichtungstechnik.de berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten sind und von jedermann benutzt werden dürfen.

Ein Teil der in www.fachwissen-dichtungstechnik.de beschriebenen oder im Bild wiedergegebenen Dichtelemente und Dichtsysteme sind, ohne dass darauf hingewiesen ist, durch Patentanmeldungen, Patente oder Gebrauchsmuster rechtlich geschützt. Insofern berechtigen die wiedergegebenen Beschreibungen und Bilder nicht zu der Annahme, dass die beschriebenen oder dargestellten Gegenstände im Sinne des gewerblichen Rechtsschutzes als frei zu betrachten sind und von jedermann hergestellt oder benutzt werden dürfen. Für die Richtigkeit der Wiedergabe der in www.fachwissen-dichtungstechnik.de direkt oder indirekt zitierten Vorschriften, Richtlinien und Normen sowie für die Anwendbarkeit der konstruktiven Regeln und Hinweise im Einzelfall übernehmen die Autoren und der Betreiber der Domain keine Gewähr.