



Autoren: Prof. Dr.-Ing. Heinz K. Müller und 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.

Inhaltsverzeichnis der Fachkapitel

Allgemeine Grundlagen

1. Grundbegriffe der Dichtungstechnik
2. Polymerwerkstoffe
3. O-Ring: Theorie und Praxis
4. Fluidströmung im engen Dichtspalt

Abdichtung bewegter Maschinenteile

5. Hydraulikdichtungen
6. Pneumatikdichtungen
7. Abstreifer
8. Wellendichtringe ohne Überdruck
9. Wellendichtringe mit Überdruck
10. Fanglabyrinth-Dichtungen
11. Stopfbuchs-Packungen
12. Gleitringdichtungen: Grundlagen

13. Gleitringdichtungen: Gestaltung
14. Gleitringdichtungen: Werkstoffe
15. Kolbenringe für Motoren und Verdichter
16. Drosseldichtungen für Flüssigkeiten
17. Drosseldichtungen für Gase
18. Gewinde-Wellendichtungen
19. Zentrifugal-Wellendichtungen
20. Magnetflüssigkeits-Dichtungen
21. Membran- und Faltenbalgdichtungen

Abdichtung ruhender Maschinenteile

22. Flanschabdichtung: Grundlagen
23. Flanschdichtungen: Bauformen
24. Statische Dichtungen: Sonderbauformen

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

 ISGATEC [®] Dichten. Kleben. Polymer.	ISGATEC GmbH Am Exerzierplatz1A • 68167 Mannheim Tel:+49(0)621-7176888-0 • Fax:+49(0)621-7176888-8 info@isgatec.com • www.isgatec.com
 SEALWARE [®]	SEALWARE International Dichtungstechnik GmbH Feldbergstr.2 • 65555 Limburg Tel:+49(0)6431-9585-0 • Fax:+49(0)6431-9585-25 info@sealware.de • www.sealware.de
 VERBAND TECHNISCHER HANDEL Fachgruppe Dichtungstechnik	VTH Verband Technischer Handel e.V. Prinz-Georg-Straße 106 • 40479 Düsseldorf Tel:+49(0)211-445322 • Fax:+49(0)211-460919 info@vth-verband.de • www.vth-verband.de
 Xpress seals Dichtungen für Hydraulik	xpress seals GmbH Elbring 14 • 22880 Wedel Tel:+49(0)4103 92828-10 • Fax:+49(0)4103 92828-69 michael.mueller@xpress-seals.com • www.xpress-seals.com



18

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

Gewinde-Wellendichtungen

Arten hydrodynamisch aktiver Wellendichtungen, Gewinde als Rückförderstruktur, Grundfunktionen einer Gewinwellendichtung, Strömung und Druckdifferenz, Gewindeparameter, Strömungskomponenten, maximale abdichtbare Druckdifferenz, optimales Gewinde, Reibungsverluste, Grenze für Laminarströmung, Abdichtung von Gas mit Doppel-Gewinwellendichtung, Stillstandsichtungen, Literatur.

18.1 EINFÜHRUNG

Dieses Kapitel beschreibt eine spezielle Gruppe hydrodynamisch *aktiver* Wellendichtungen. Aktive Wellendichtungen mit hydrodynamischer Rückförderwirkung gibt es in verschiedenen Bereichen der Dichtungstechnik. In *Kapitel 8* ist beschrieben, wie die Dichtflächen von *Radial-Wellendichtringen* im Betrieb durch ein spezifisches Verschleißmuster von selbst rückförderfähig werden. Im selben Kapitel sind *PTFE-Manschettendichtungen* mit gewindeartigen Rückförderstrukturen in den Dichtlippen beschrieben. In *Kapitel 12* werden *Gleitringdichtungen* vorgestellt, die in den Stirnflächen spezielle Vertiefungen aufweisen und dadurch Flüssigkeit aus dem Dichtspalt zurück in den Hochdruckraum pumpen. Das Prinzip der hydrodynamischen Rückförderung zeigt sich am deutlichsten bei den Gewinwellendichtungen.

18.2 GEWINDE ALS RÜCKFÖRDERSTRUKTUR

Eine glatte Welle, die sich in einer flüssigkeitsgefüllten Bohrung dreht, schleppt Flüssigkeit in Umfangsrichtung. Befinden sich in der Bohrungswand zusätzlich schräge Kanäle (Nuten), so wird die von der Welle mitgeschleppte Flüssigkeit an den Seitenwänden dieser Kanäle abgelenkt. Damit entsteht in den Kanälen eine axiale Strömungskomponente, mit anderen Worten:

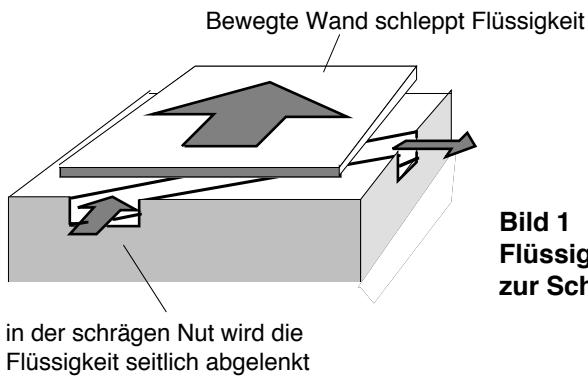


Bild 1
Flüssigkeitstransport durch eine schräg zur Schlepprichtung angeordnete Nut

die rotierende Welle fördert Flüssigkeit axial durch den Spalt. Bild 1 veranschaulicht diesen Flüssigkeitstransport anhand von zwei ebenen Platten, deren Zwischenraum mit Flüssigkeit gefüllt ist. In eine der Platten ist eine schräge Nut eingearbeitet. Wenn die glatte Platte sich nun in Richtung ihrer Seitenkante bewegt, schleppt sie Flüssigkeit durch die Nut.

Ein Gewinde bildet eine schräg zur Umfangsrichtung eines Zylinders verlaufende Nut. Prinzipiell ist es für den Flüssigkeitstransport belanglos, ob sich das Gewinde in der rotierenden Welle oder in der ruhenden Bohrung befindet. Das Strömungsbild hängt allerdings davon ab, ob die Strömung im Gewinde laminar oder turbulent ist. Die „Gewindewelle“ wird zur Dichtung, wenn der von der Wellenrotation im Gewinde erzeugte Rückförderstrom einem druckbedingten Leckstrom durch den Spalt entgegengesetzt ist. Dazu müssen Drehrichtung und Gewindesteigung richtig gewählt werden. Bild 2 zeigt schematisch eine Gewinde-Wellendichtung mit einem flüssigkeitsgefüllten Bereich LF, die einen so großen Rückförderstrom QR erzeugt, daß der Leckstrom QL vollständig kompensiert wird.

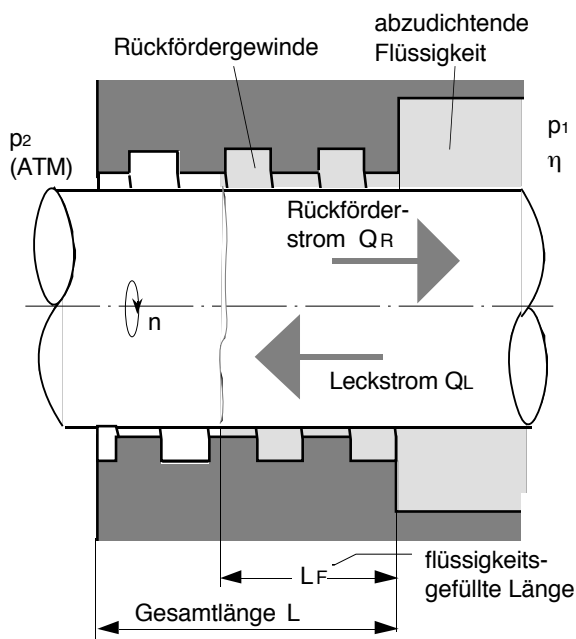


Bild 2
Prinzip der Gewinde-Wellendichtung



Bild 3 zeigt die Förderkennlinie dieser Gewinde-Wellendichtung. Der Rückförderstrom Q_R ist abhängig von der Gewindeform, von der Viskosität η und von der Drehzahl ω der Welle, nicht aber von der Druckdifferenz Δp . Bei laminarer Strömung nimmt der Leckstrom linear mit Δp zu. Zur Erzeugung der Rückförderwirkung steht maximal die gesamte Gewindelänge L zur Verfügung, und der Rückförderstrom ist proportional zu dieser Länge. Wenn unter bestimmten Bedingungen der Rückförderstrom kleiner ist als der Leckstrom, dann strömt die Differenz $Q_L - Q_R$ als Leckage aus. Diese ist jedoch kleiner als bei einem Dichtspalt ohne Rückfördergewinde. Falls bei gegebenen Betriebsbedingungen mit optimierter Gewindeform $Q_R \geq Q_L$ ist, so funktioniert diese berührungsfreie Dichtung ohne Leckage. Bei zunehmender Drehzahl wird das Gewinde teilweise leergespült, und von der ausnutzbaren Länge L des Gewindes ist nur die Teillänge L_F gefüllt. Dies gilt, wenn der Außenraum Gas enthält. Sind hingegen beide Räume mit derselben Flüssigkeit flüssigkeitsgefüllt, so entsteht bei $Q_R > Q_L$ negative Leckage, das heißt, das Gewinde fördert mehr Flüssigkeit in den Hochdruckraum als zugleich von dort infolge einer Druckdifferenz Δp zum Niederdruckraum hinströmt.

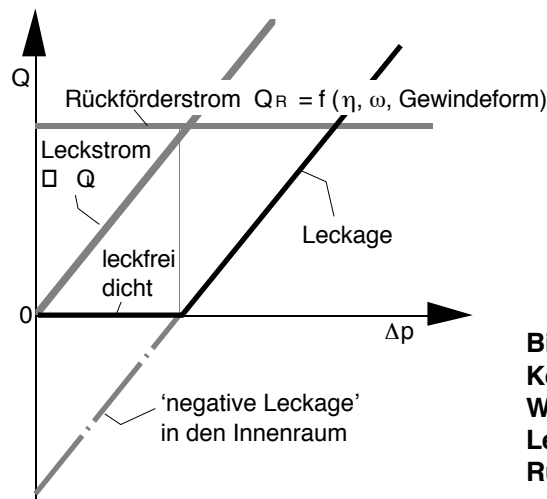


Bild 3
Kennlinie einer Gewinde-Wellendichtung
Leckstrom Q_L und Rückförderstrom Q_R

Prinzipiell können alle Fluide, Wasser, Öl, flüssige Metalle und im Prinzip auch Gase durch Schleppwirkung in Gewinden gefördert und somit im Prinzip auch abdichtet werden. Je höher die Viskosität und die Umfangsgeschwindigkeit desto größer ist der abdichtbare Druck.

18.3 STRÖMUNG UND ABDICHTBARE DRUCKDIFFERENZ

Die Abdichtfähigkeit einer Gewinde-Wellendichtung kann berechnet werden, indem man die von der Wellenrotation erzeugten Schleppstromkomponenten, und die von der abzudichtenden Druckdifferenz erzeugten Leckstromkomponenten bilanziert. Bild 4 zeigt links eine Draufsicht auf das in die Ebene abgewinkelte Gewindeprofil. Anstatt der Welle bewegt sich bei dieser Betrachtung die Gehäusewand. Die Umfangsgeschwindigkeit $w = \omega \cdot D/2$ wird aufgeteilt in die Komponenten $u = w \cdot \cos\alpha$ und $v = w \cdot \sin\alpha$. Die Förderwirkungen dieser Kompo-



nenten werden nacheinander betrachtet. Zuerst bewegt sich die Platte mit der Geschwindigkeit u in Längsrichtung der Gewindegänge zum Hochdruckraum hin und schleppt dabei Flüssigkeit mit. Zugleich strömt Flüssigkeit infolge Δp in entgegengesetzter Richtung im Spalt zwischen der Platte und dem Gewinde. Bild 5 veranschaulicht die Schlepp- und Druckstromkomponenten in u -Richtung, im Gewindegang Q_G und über dem Gewindedamm Q_D .

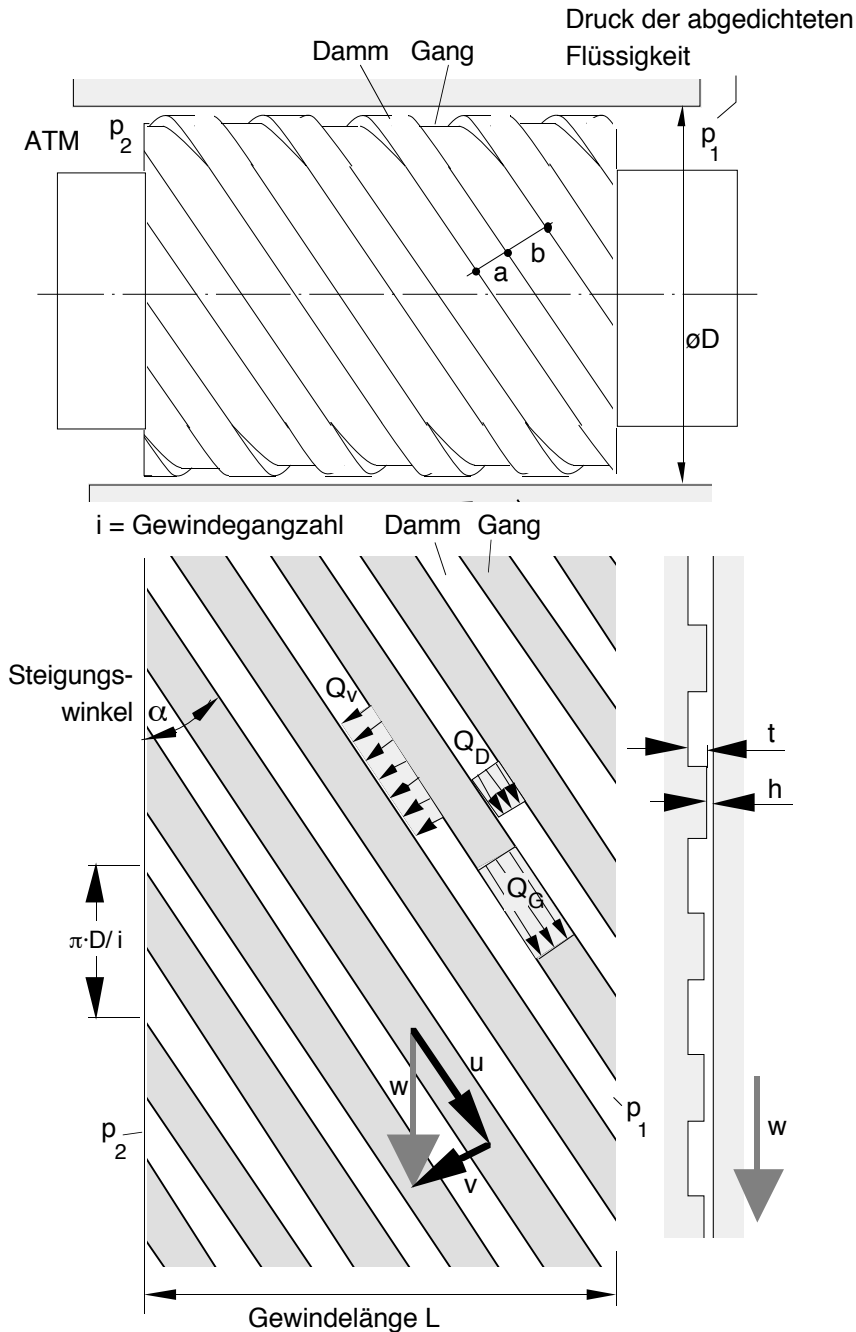


Bild 4 Gewindeparameter und Strömungskomponenten



Obwohl der dichtungstechnisch nützliche Flüssigkeitstransport im Gewindegang erzeugt wird, darf die Gewindetiefe nicht zu groß sein, weil sonst die Druckdifferenz Δp mehr Flüssigkeit nach außen preßt als die Schleppströmung zurückfördern kann. Als zweites werden die Strömungskomponenten betrachtet, wenn sich die Platte mit der Geschwindigkeit v quer zu den Gewindegängen bewegt. Dabei wird Flüssigkeit in dichtungstechnisch schädlicher Richtung über die Gewindedämme von einem Gang in den benachbarten Gang geschleppt. Dieser Volumenstrom wird mit Q_v bezeichnet. Die Volumenströme können näherungsweise mit der in Kapitel 4 angegebenen Gl.(15c) berechnet werden. Beispielsweise ergibt sich für den dichtungstechnisch wichtigsten Teilstrom Q_G

$$Q_G = b' \cdot \left[\frac{u \cdot (h+t)}{2} - \frac{(h+t)^3}{12 \cdot \eta} \cdot \frac{\Delta p}{L_F} \cdot \sin \alpha \right] \quad (1)$$

Weil die Flüssigkeit nicht nur im Nutgrund sondern auch an den Seitenwänden des Gewindegangs haftet, ist die wirksame Breite b' des Gewindegangs kleiner als seine geometrische Breite b , Bild 5.

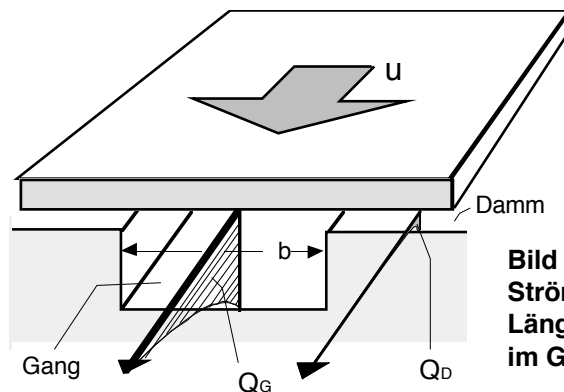


Bild 5
Strömungskomponenten in
Längsrichtung des Gewindes
im Gang und über dem Damm

Die Leckage der Gewinde-Wellendichtung wird zu Null, wenn die Summe der von u und v in axialer Richtung bewirkten Teilströme gleich Null ist. Dies führt auf die Bedingung für leckfreie Abdichtung:

$$Q_G + Q_D + Q_v \cdot \cos 2\alpha = 0. \quad (2)$$

Wegen der komplexen Strömung am Rand der Gewindenuten, sowie am Übergang zwischen Flüssigkeit und Luft auf der Außenseite, ist eine exakte Berechnung der Gewindegewindendichtung nur mittels aufwendiger numerischer Berechnungsverfahren möglich. Der Konstrukteur kann jedoch das Abdichtvermögen mittels einer einfachen Beziehung abschätzen. Die leckagefrei abdichtbare Druckdifferenz ist abhängig von der Viskosität η , von der Winkelgeschwindigkeit ω , vom Gewindedurchmesser D , von der Gewindelänge L , von der Spalthöhe h über dem Damm, sowie von einer Konstanten C_{lam} , die eine Funktion der Form und der Abmessungen des Gewindes ist.



Die ohne Leckage abdichtbare maximale Druckdifferenz Δp_{\max} beträgt:

$$\Delta p_{\max} = \frac{C_{\text{lam}} \cdot \eta \omega L D}{4 h^2} \quad (3)$$

Die Gleichung gilt, wenn die Strömung im Gewindespalt laminar ist, das heißt, wenn für die Reynoldszahl Re folgende Bedingung erfüllt ist (ρ : Dichte der Flüssigkeit):

$$Re = \frac{\omega D h \rho}{2 \eta} < 300 \quad (4)$$

Dies sollte bei kleiner Viskosität und/oder sehr hoher Drehzahl kontrolliert werden. Die Konstante C_{lam} hängt ab von den Abmessungen des Gewindes. Praxisnahe Näherungswerte werden weiter unten in Verbindung mit optimalen Gewindeparametern angegeben.

18.4 OPTIMALES GEWINDE

Theoretisch und experimentell wurde nachgewiesen, daß bei laminarer Strömung von allen möglichen Gewindeformen das Flachgewinde mit rechteckförmigem Gangquerschnitt das beste Abdichtvermögen hat. Für praktische Belange ist C_{lam} mit hinreichender Genauigkeit bestimmt. Zur günstigen Auslegung einer Gewinde-Wellendichtung mögen folgende Hinweise dienen: Die Spalthöhe h ist immer so klein wie möglich auszuführen. Unter Berücksichtigung von Wärmedehnungen können Spalthöhen $h = 20 \dots 50 \mu\text{m}$ realisiert werden. Um Berührung zu vermeiden, kann das Außenteil schwimmend angeordnet sein, so daß es sich durch hydrodynamische Kräfte selbsttätig zur Welle zentrieren kann. Das Flachgewinde ist mehrgängig (Gangzahl i) auszuführen, so daß $i \cdot L/D > 3$ ist. Der Gewindesteigungswinkel ist im Bereich $\alpha = 10^\circ \dots 15^\circ \dots 20^\circ$ auszuführen. Die Gewindetiefe t muß etwa zwei bis dreimal so groß wie die Spalthöhe h sein, also $t/h = 2 \dots 2,5 \dots 3$. Im Hinblick auf die anzustrebende sehr kleine Spalthöhe h bedeutet das, daß ein optimales Gewinde in der Regel weniger als 0,1 mm tief ist. Die Gänge und die Dämme des Gewindes sollen gleich breit sein ($a=b$). Wird eine Gewinde-Wellendichtung nach diesen Empfehlungen dimensioniert, so kann mit $C_{\text{lam}} = 0,9 \dots 1$ gerechnet werden.

Die aufgrund der Flüssigkeitsreibung im Dichtspalt erzeugte Wärme muß eventuell durch zusätzliche Kühlung aus dem Dichtspalt abgeführt werden. Andernfalls nimmt die Viskosität drastisch ab, oder die Flüssigkeit kann sogar Verdampfen. Bei einem Gewinde mit $t/h = 2,5$ und $\alpha = 15^\circ$ kann die Reibleistung P bei ganz mit Flüssigkeit gefülltem Spalt mit folgender Beziehung abgeschätzt werden:

$$P \approx 0.55 \frac{\eta \omega^2 D^3 L}{h} \quad (5)$$



Die Reibleistung im optimalen Gewindespalt ist etwa 30% kleiner als in einem glatten Spalt der Höhe h . Falls erforderlich, kann die Reibungswärme über einen Kühlmantel oder durch einen extern gekühlten Bypass-Strom abgeführt werden.

Beispiel 1: Gewinde-Wellendichtung für Ölpumpe; $D = 80 \text{ mm}$, $L = 40 \text{ mm}$; $n = 3000 \text{ min}^{-1}$; Öl mit $\eta = 0,01 \text{ Pas}$ bei max. 100°C ; Ausgeführt max $h = 30\mu\text{m}$; $t = 75\mu\text{m}$ ($t/h=2,5$); $\alpha = 15^\circ$; $i = 6$ Gewindegänge ($i\cdot L/D = 3$); Mit $C_{lam} \approx 1$ wird die leckfrei abdichtbare Druckdifferenz $\Delta p = 2,8 \text{ MPa}$ (28bar). Die Reibleistung beträgt $P_r \approx 370 \text{ W}$.

Beispiel 2: Gewinde-Wellendichtung für sehr hochviskose Flüssigkeit in extrem langsam laufenden Zahnradpumpen für die Förderung von "Viskose", einem Ausgangsprodukt zur Herstellung von Kunstfasern. Das Rückfördergewinde kann in die Oberfläche der "viskosegeschmierten" Radialgleitlager integriert werden. $D = 20\text{mm}$; $L = 25\text{mm}$; $n = 30 \text{ min}^{-1}$ ($\omega = 3,14 \text{ s}^{-1}$); $\eta = 100 \text{ Pas}$; Ausgeführt max $h = 20 \mu\text{m}$; $t=50\mu\text{m}$ ($t/h = 2,5$); $\alpha = 15^\circ$; $i = 3$ Gewindegänge ($i\cdot L/D = 3,75$); Mit $C_l \approx 1$ wird die leckfrei abdichtbare Druckdifferenz $\Delta p = 98 \text{ MPa}$. Viskosepumpen werden mit einem Förderdruck im Bereich von 50 MPa betrieben, können also mit einer Gewinde-Wellendichtung leakagefrei abgedichtet werden.

Wegen ihres verschleißfreien Betriebs und ihrer hohen Zuverlässigkeit wurden Gewindewellendichtungen unter anderem in schnell laufenden Aggregaten von Weltraumstationen zur Abdichtung von flüssigen Metallen verwendet. Bei den hohen Drehzahlen dieser Aggregate kann die Spaltströmung turbulent werden. Generell ist die leckfrei abdichtbare Druckdifferenz bei turbulenter Spaltströmung höher als die mit Gl. 3 berechnete. Für weitere Details wird auf die am Ende des Kapitels angeführte Literatur verwiesen.

Ein ernstes Problem bei schnell laufenden Gewinde-Wellendichtungen ist das Entgasen der Flüssigkeit hinter den Dammkanten am niederdruckseitigen Ende des Gewindes. Die dabei entstehenden Gasblasen können in den Dichtspalt hineingezogen werden. Die effektive Viskosität der schäumenden Gas-Flüssigkeitsmischung ist viel kleiner als die der ungestörten Flüssigkeit und die Dichtwirkung kann letztlich zusammenbrechen. In der Literatur sind unterschiedliche Gegenmaßnahmen beschrieben. Eine davon ist, das Gewinde am Ende auf ein höheres Druckniveau zu setzen, was jedoch zusätzlich eine berührende Hilfsdichtung erfordert.

18.5 ABDICHTUNG VON GAS

Gase können wegen ihrer geringen Viskosität im allgemeinen nicht unmittelbar mit Gewinde-Wellendichtungen abgedichtet werden. Eine Ausnahme bilden sehr schnell laufende Rotoren bei sehr kleinem abzudichtendem Gasdruck. Eine flüssigkeitsgefüllte Doppelgewinde-Wellendichtung mit zwei gegeneinander fördernden Gewinden kann jedoch prinzipiell auch einen hohen Gasdruck p_G abdichten, Bild 6. Die Gewinde werden mit einer geeigneten Flüssigkeit (Mineralöl, Wasser usw.) gefüllt. Bei rotierender Welle baut sich zwischen den Gewinden ein Sperrdruck p_s auf, der mit Gl. 3 zu berechnen ist. Bei zunehmendem Gasdruck p_G verschiebt

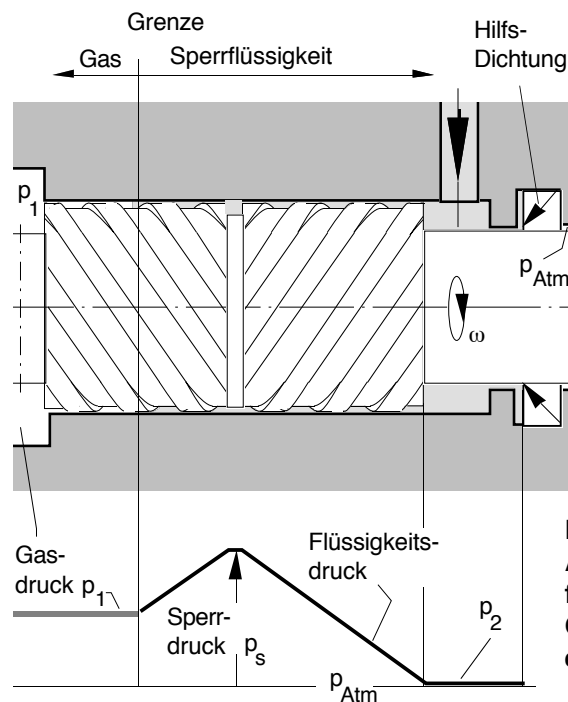


Bild 6
Abdichtung von Gas mit einer
flüssigkeitsgefüllten Doppel-
Gewindewellendichtung mit
entgegengesetzter Förderrichtung

sich im gaseitigen Gewinde die Grenzfläche zwischen Gas und Flüssigkeit zur Mitte hin. Die Dichtung wird so dimensioniert, daß der maximal auftretende Gasdruck mit Sicherheit kleiner ist als der Sperrdruck p_s . Eine Hilfsdichtung verhindert das Auslaufen der Flüssigkeit. Falls die Sperrflüssigkeit erst bei rotierender Welle zugeführt wird, kann als Hilfsdichtung wiederum ein kurzes Gewinde verwendet werden, das lediglich den Zuführdruck der Sperrflüssigkeit abzudichten hat.

18.6 STILLSTANDSDICHTUNGEN

Gewinde-Wellendichtungen können erst von einer bestimmten Drehzahl an leakagefrei abdichten. Wenn ein völlig berührungsloser Betrieb erwünscht ist („Null-Verschleiß“), muß am Ende des Gewindes eine berührende Hilfsdichtung vorgesehen werden, deren Dichtflächen sich trennen, wenn die Drehzahl den für die Gewindewellendichtung erforderlichen Wert erreicht hat. Die Hilfsdichtung kann durch Fliehkraft oder durch hydrodynamischen Druck abheben.

Bild 7 zeigt ein Beispiel mit einer Gleitringdichtung als Stillstandsichtung. Der Gleitring wird von Federn angepreßt und innen auf gestuften Durchmessern mit zwei O-Ringen abgedichtet. Der Ringraum A_1 ist stets vom Druck p der abgedichteten Prozessflüssigkeit beaufschlagt. Solange die Welle ruht, wirkt der Druck p auf die federbelastete Rückenfläche A_2 des rotierenden Gleitrings. Da $A_2 > A_1$ ist, liegt der rotierende Gleitring dichtend am Gegenring an. Wenn die Welle rotiert, tritt die Gewinde-Wellendichtung in Tätigkeit und pumpt den Raum



den Ringraum über dem Gleitring leer. Die Fläche A_2 ist nun nicht mehr druckbelastet und, sobald die Axialkraft ($p \cdot A_1$) größer wird als die Federkraft, hebt der Gleitring vom Gegenring ab. Dieses Beispiel weist auf den zusätzlichen Bauraumbedarf und die Zusatzkosten hin, die mit Hilfseinrichtungen für eine Gewinde-Wellendichtung verbunden sein können. Ein derartiges Dichtsystem ist gerechtfertigt, wenn im Dauerbetrieb unbedingt ein berührungsloser Betrieb gefordert wird.

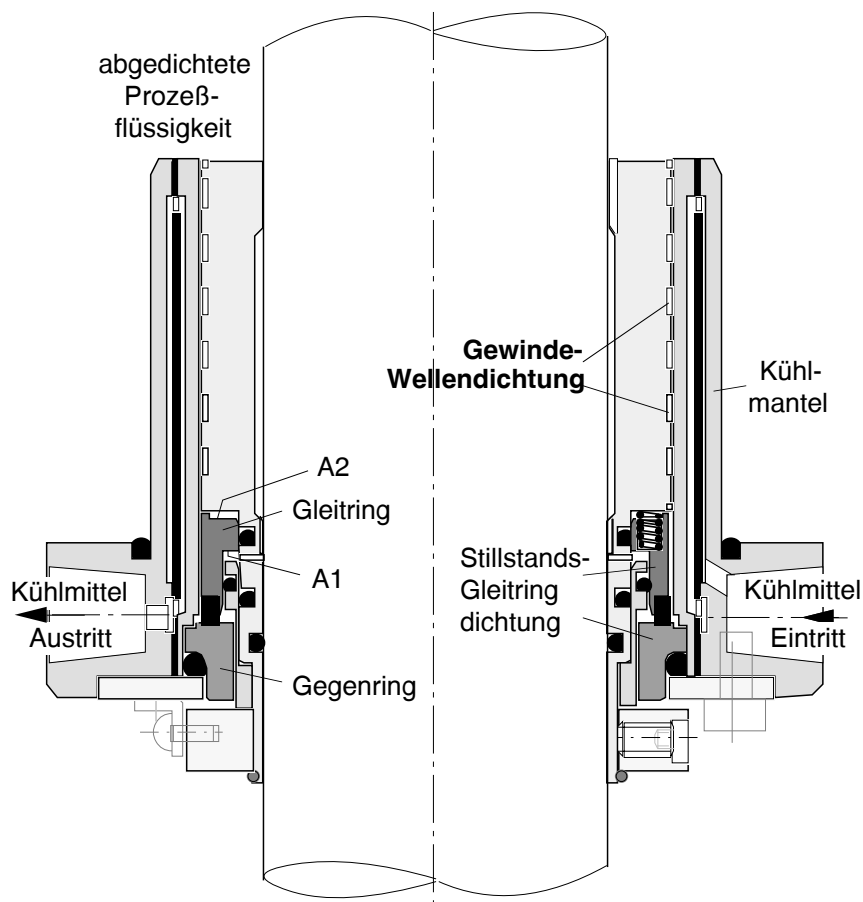


Bild 7 Gewinde-Wellendichtung mit selbsttätig abhebender Stillstands-Gleitringdichtung



18.7 LITERATUR

Boon, E.F., Tal, S.E.: Hydrodynamische Dichtungen für rotierende Wellen Chem.-Ing.-Technik 31 (1959)

Asanuma, T.: Studies on the sealing action of viscous fluids; 1st Intl. Conf. on Fluid Sealing, BHRA, Harlow, 1961.

McGowan, M.T.A.: The Development of a Rotary Seal for the Large CO₂ Circulators Used at the Trwvsfynydd Power Station, 2nd International Conference on Fluid Sealing, BHRA, Cranfield, 1964.

McGrew, J.M., McHugh, J.D.: Analysis and Test of the Screw Seal in Laminar and Turbulent Operation; Trans. ASME, Series. D., Jnl. of Basic Engg. 87, 1, 1965.

Fisher, C.F., Stair, W.K.: On Gas Ingestion and Fluid Inertia Effects in Viscoseals; 4th Intl. Conf. on Fluid Sealing, BHRA, Cranfield, 1967.

Pape, J.G., Vrakking, W.: Viscoseal pressure generation and friction. Trans. ASLE, 11, 310, 1968.

Vohr, J.H., Chow, C. Y.: Theoretical Analysis of Spiral Grooved Screw Seals for Turbulent Operation. Trans. ASME, Jnl. of Lubn., 91, No.4, 1969.

Passera, W.: Untersuchungen an konzentrischen Gewinde-Wellendichtungen im laminaren Bereich. Fortschritt-Berichte, VDI-Z., Reihe 7, Nr. 16, VDI-Verlag 1969

Heitel, K.: Berechnung und Konstruktion von Gewinde-Wellendichtungen im laminaren Bereich. Konstruktion 31 (1979), Nr. 12

Sawada, A., Performance of rarified-gas viscoseal with a net axial flow, 10th Int. Conf. on Fluid Sealing, BHRA, Innsbruck, 1983.

Krautzig, J.: Auslegung konzentrischer Gewindewellendichtungen bei laminarer Strömung und konstanter Viskosität. Verlag Inst.f.Grundl. d. Maschinenkonstruktion, ETH Zürich, 1985

Decker, O.: Dynamic seal technology: trends and development; part 2: floating and visco seals. Mechanical Engineering, 99, No.4, 1986.



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

Inhaber und Betreiber der Domain www.fachwissen-dichtungstechnik.de ist Evelyn Voigt-Müller, Samlandstr. 38, 81825 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.