



**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

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



# 1

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

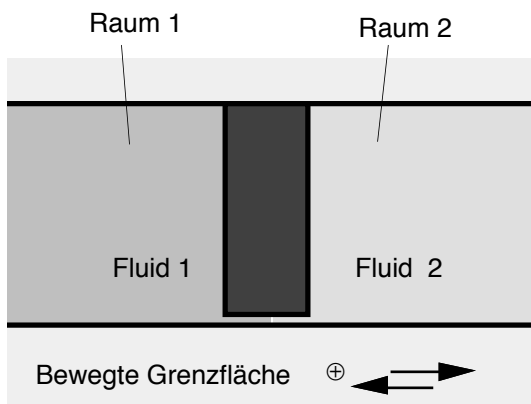
## Grundbegriffe der Dichtungstechnik

Die Gemeinsamkeiten der unterschiedlichen Abdichtprobleme. Verschiedene Erscheinungsformen der Leckage. Die Grundelemente der dynamischen Dichtsysteme. Geometrische und dynamische Dichtspalte. Einflüsse auf die Dichtfunktion. Haupt- und Nebendichtung. Prinzip der automatischen Dichtwirkung. Passive und aktive Abdichtung. Prinzip der Sperrkammerdichtung; Hermetische Abdichtung.

### 1.1 PROBLEMSTELLUNG

Bei der Abdichtung bewegter Maschinenteile ist grundsätzlich folgende Aufgabe zu lösen: *Zwischen zwei Räumen, die eine gemeinsame, bewegte Grenzfläche aufweisen, ist der Austausch von Fluid zu verhindern*, Bild 1. Eine 'dynamische' Dichtung ist charakterisiert durch eine beträchtliche Bewegung dieser Grenzfläche. Bei 'statischen' Dichtungen fehlt diese Bewegung. Beispiele dynamischer Dichtungen sind Gleitringdichtungen, Radial-Wellendichtungen, Labyrinth-Wellendichtungen und Kolbenringe. Zu den statischen Dichtungen gehören beispielsweise Flanschdichtungen, Metall-O-Ringe und Flüssigdichtungen (Sealants).

Die bewegte Grenzfläche bei dynamischen Abdichtungen ist meist eine zylindrische Oberfläche rotierender oder axialbewegter Maschinenteile, also eine Welle, ein Kolben oder eine Stange.



**Bild 1**  
**Schema des Abdichtproblems**



Bei rotierenden Teilen kann die relativ bewegte Wand auch eine Stirnfläche sein. Konstruktive Bedingungen oder Toleranzen erfordern zwischen den bewegten und den ruhenden Wänden einer Maschine in der Regel einen verhältnismäßig weiten Spalt, der als solcher die Abdichtfunktion nicht erfüllen kann. Der notwendige enge Dichtspalt muß deshalb mittels besonderer Dichtelemente hergestellt werden. Der Durchtritt von Fluid durch einen Spalt kann von den unterschiedlichsten physikalischen Vorgängen hervorgerufen werden, etwa von einer Druckdifferenz, von Konzentrations- oder Temperaturgradienten, vom Zusammenwirken von Adhäsion und Kohäsion, von Trägheitskräften, der Gravitationskraft oder von elektromagnetischen Feldkräften.

## 1.2 DURCHFLUSS UND LECKAGE

Auch der engste Spalt ermöglicht einem Fluid den Durchtritt in jeder Richtung. „Dichtheit“ (oder besser „Undichtheit“) ist deshalb immer eine Frage der Größenordnung. Die Begriffe *dicht* und *undicht* werden umgangssprachlich oft sehr verschwommen verwendet. In der Technik bedürfen sie jedoch einer präzisen Definition. Als *Leckage* wird in der Regel der Austritt eines abzudichtenden Fluids durch den Dichtspalt in den umgebenden Raum verstanden. Unter bestimmten Bedingungen kann aber durch den Dichtspalt auch ein äußeres Fluid in den abzudichtenden Raum einströmen oder von bewegten Maschinenteilen hinein gefördert werden und sich dort mit dem eigentlich abzudichtenden Fluid vermischen. Dies kann unter bestimmten Bedingungen zulässig oder unzulässig sein.

Folgende Erscheinungsformen der Leckage sind zu unterscheiden:

**Diffusions-Leckage:** Gas- und Dampfmoleküle sind weniger als ein Nanometer ( $10^{-9}\text{m}$ ) groß. Sie dringen selbst durch kleinste Spalte, auch durch Poren im Gehäuse oder im Dichtkörper. Diffusion entsteht infolge eines Konzentrationsgradienten, da die natürliche Molekularbewegung die Tendenz hat, Konzentrationsunterschiede auszugleichen. In einen evakuierten Glasbehälter dringt aus der umgebenden Atmosphäre mit der Zeit Helium ein! Extreme Anforderungen an die Gas- oder Dampfdichtheit eines Systems führen zu sehr aufwendigen Dichtsystemen. Wenn hingegen das abzudichtende Fluid, beispielsweise Druckluft oder Wasserdampf, die Umwelt nicht beeinträchtigt, kann eine verhältnismäßig große Leckage zugelassen und ein preisgünstiges Dichtsystem verwendet werden. Bei den meisten industriellen Anwendungen liegen die Anforderungen zwischen diesen Extremen.

**Konvektive Leckage:** Ein von rotierenden Bauteilen induzierter Luftstrom kann insbesondere bei berührungslosen Wellendichtungen feine Flüssigkeitströpfchen durch den Dichtspalt nach außen blasen. Auf gleiche Weise kann Staub oder Flüssigkeit aus der Umgebung in den abzudichtenden Raum eindringen. Dabei spielt die Formgebung der Bauteile, die den Dichtspalt umgeben, eine wichtige Rolle.



**Druckströmung:** Eine häufige Ursache für Leckage in der Praxis ist die von einer Druckdifferenz erzeugte Fluidströmung, hier kurz als Druckströmung bezeichnet. Bei flüssigkeitsabdichtenden Spaltdichtungen entsteht tropfende oder rinnende Leckage. Bei ungefährlichen Flüssigkeiten wird eine Dichtstelle oft als „technisch dicht“ bezeichnet, wenn keine Tropfleckage erscheint. Beispielsweise wird ein dünner, nicht abtropfender Öhring auf der Außenseite einer Wellendichtung nicht als Undichtheit angesehen, obwohl dabei eine geringfügige Verdunstungsleckage in die Umgebung austritt. Die Leckrate ist in der Regel um so größer, je höher die Druckdifferenz und je kleiner die Viskosität ist, es sei denn, der Druck selbst bewirke eine Veränderung des Dichtspalts. Durch Druckdifferenz entsteht auch Gas- oder Dampfleckage. Letztere kann auch durch Verdampfen einer abzudichtenden Flüssigkeit im Dichtspalt entstehen, infolge des Druckabfalls und/oder durch Reibungswärme. Infolge der starken Volumenzunahme bei der Verdampfung tritt ein Drosseleffekt auf, der die Leckrate reduziert.

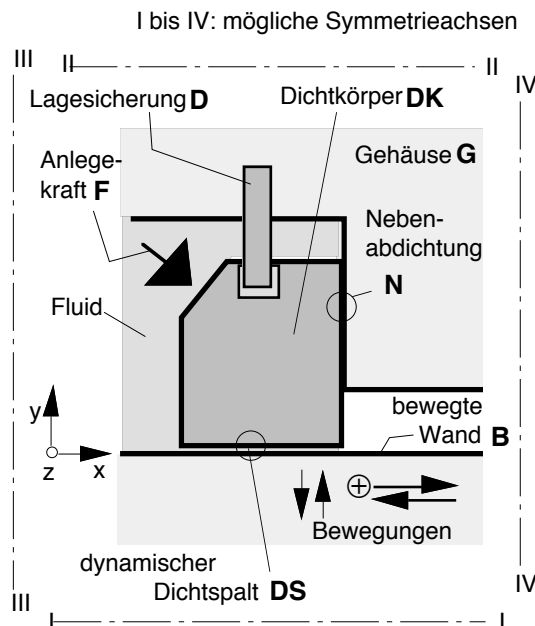
Bei der Abdichtung toxischer, brennbarer und umweltschädlicher Fluide müssen Gasleckagen mit komplexen und hochempfindlichen Meßgeräten festgestellt und überwacht werden. Neue Umweltschutzvorschriften spezifizieren beispielsweise für Flüssigkohlenwasserstoffe zulässige Konzentrationen (z.B. 100 ppm, 1000 ppm usw.) des abzudichtenden Fluids in der den Wellenaustritt umgebenden Atmosphäre. Sie werden mit mäßiger Zuverlässigkeit mittels Schnüffelsonden eingesaugt und in speziellen Meßgeräten ausgewertet. Eine aufwendigere aber genauere Methode ist, die Dichtstelle mit einem geschlossenen Mantel zu umgeben. Damit kann der gesamte Leckstrom der Dichtung gemessen werden.

### 1.3 DICHELEMENTE UND FUNKTIONEN

In Kapitel 1 ist die Funktion und Gestaltung von Dichtsystemen so allgemein dargestellt, daß die gemeinsamen Grundkonzepte vieler Dichtungen hervortreten. In späteren Kapiteln sind dann die einzelnen Dichtsysteme detailliert beschrieben.

In der Regel sind dynamische Dichtsysteme so gestaltet, daß eine bewegte Wand **B** eines Maschinenteils zusammen mit einem beweglichen Dichtkörper **DK** den dynamischen (primären) Dichtspalt **DS** bildet, Bild 2. Der Abstand zwischen den Dichtflächen wird Spalthöhe (oder Spaltweite) genannt. Eine Nebenabdichtung **N** verschließt den Undichtheitsweg zwischen Dichtkörper und dem Gehäuse **G**. In komplexeren Dichtsystemen wird die Nebenabdichtung mit einem weiteren Dichtkörper verwirklicht. Eine Anlegekraft **F** bewirkt die Einstellung und die Nachstellung des Dichtspalts und/oder der Nebenabdichtung. Eine Lagesicherung **D** verhindert, daß das relativ bewegte Maschinenteil den Dichtkörper mitschleppt.

Die möglichen Rotations-Symmetrieachsen I bis IV kennzeichnen die räumliche Anordnung des Dichtspalts und charakterisieren zugleich die Art der abzudichtenden Maschinenteile :



**Bild 2**  
**Grundelemente**  
**eines Dichtsystems**

<i>Achse</i>	<i>Dichtungsart</i>	<i>Form</i>
I :	Wellen-/Stangendichtung	zylindrisch
II :	Kolbendichtung	zylindrisch
III :	Stirnflächendichtung (Innendruck)	eben
IV :	Stirnflächendichtung (Außendruck)	eben

Meist ist die Spalthöhe klein im Verhältnis zum Durchmesser des abgedichteten Maschinenteils, und die Strömung im Dichtspalt kann deshalb zweidimensional behandelt werden. Entsprechend Bild 2 wird dafür ein rechtwinkliges Koordinatensystem eingeführt. Die relativen Gleitbewegungen der Spaltwände hängen ab von der Art der Dichtung, nämlich

<i>Bewegung in</i>	<i>Art der Dichtung</i>
x - Richtung	Stangendichtung/Kolbendichtung
z - Richtung	Wellendichtung

**Zusatzbewegungen:** Zeitweilige Relativbewegungen der Spaltwände in y-Richtung (Quetschbewegungen) können in der Praxis zu erheblichen Problemen führen. Wichtig ist, daß der Dichtkörper relativ zum Gehäuse leichtgängig verschiebbar ist, und daß dabei die Nebenabdichtung sicher funktioniert.



## 1.4 DER PRIMÄRE DICHTSPALT

Der primäre Dichtspalt hat bei verschiedenen Dichtsystemen sehr unterschiedliche Gestalt und Größe. Praktisch erstreckt sich der Bereich der Spalthöhen von etwa  $0,1\mu\text{m}$  bis zu  $1\text{mm}$ . Die absolute Spalthöhe ist jedoch nicht notwendigerweise ein Kriterium für die zu erwartende Leckage. Abhängig vom speziellen Dichtsystem kann ein kleiner Spalt undicht, ein großer jedoch technisch dicht sein. Um dies deutlich zu machen ist es zweckmäßig, zwei Kategorien von Dichtungen getrennt zu betrachten, einerseits Dichtungen mit geometrisch fixierter Spalthöhe („starrer Dichtspalt“), zum anderen Dichtungen, bei denen sich erst durch dynamische Effekte ein Spalt bildet („dynamischer Dichtspalt“).

**Fixierter Dichtspalt:** Der Dichtspalt ist fixiert, wenn starre, fixierte Wände den Leckagekanal der Dichtung begrenzen. Die Form eines solchen Spaltes ist festgelegt durch die Form und die relative Lage der spaltbildenden Dichtteile, beispielsweise durch die Durchmesserdifférenz und die Exzentrizität zylindrischer Dichtteile. Zu dieser Gruppe gehören *Drosselspalt-* bzw. *Drossellabyrinth-Dichtungen* sowie *Fanglabyrinth*. Solche Dichtungen funktionieren ohne oder mit äußerst geringem Verschleiß betriebssicher über lange Zeit. Ihre Leckrate ist jedoch vergleichsweise hoch. Schwimmend gelagerte Drosselbuchsen erlauben bei der Abdichtung von Flüssigkeiten in der Praxis kleinste Spalthöhen von ca.  $10\mu\text{m}$ . Bei großem Druck kann der Durchfluß wesentlich verringert werden, wenn durch Einschnürung der Drosselbuchse die Spalthöhe mit zunehmendem Druck abnimmt. Bei Labyrinthdichtungen und Fanglabyrinth sind die Spalthöhen in der Regel größer als  $0,3\text{mm}$ .

**Der dynamische Dichtspalt:** *Berührungsdichtungen* verschließen den Leckageweg vollständig, zumindest solange sich die Dichtflächen nicht bewegen. Sobald sie jedoch zu gleiten beginnen, führen verschiedene physikalische Vorgänge zu einer Trennung der Dichtflächen; es bildet sich ein sehr enger dynamischer Dichtspalt, typisch im Bereich von  $0,1$  bis  $1\mu\text{m}$ . Dies entspricht etwa der Größenordnung der Rauheit und Welligkeit der Dichtflächen. Die in Richtung der Leckströmung gemessene Spaltlänge ist viel größer als die Spalthöhe. Sie beträgt beispielsweise  $0,2\text{mm}$  bei Radial-Wellendichtungen und  $2\text{mm}$  bei Gleitringdichtungen. Die Längsausdehnung des Dichtspalts ist somit  $1000$  bis  $2000$ mal größer als die Spalthöhe. Denkt man sich den Dichtspalt vergrößert auf die Länge eines Fußballfelds, so wäre die Spalthöhe nicht größer als  $5$  bis  $10\text{cm}$ , was auch hier etwa dem Maß der Unebenheit entspricht.

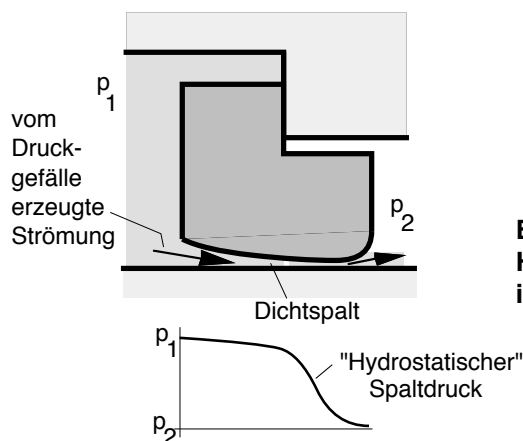
Bei diesen mikroskopischen Größenverhältnissen erhebt sich die Frage, ob hier noch die üblichen Strömungsgesetze gelten. Jedoch sind z.B. Wasser- oder Ölmoleküle nur etwa  $1\text{Nanometer}$  ( $0,001\mu\text{m}$ ) groß und damit sehr klein im Verhältnis zu den dynamischen Spalthöhen. In einem  $0,5\mu\text{m}$  hohen Dichtspalt haben noch  $500$  Ölmoleküle übereinander Platz. Deshalb kann auch in derartig engen Dichtspalten mit den Gesetzen Kontinuums-Fluidmechanik gerechnet werden. Die Strömung ist unter diesen Bedingungen praktisch immer laminar. Bei der Bespre-



chung der einzelnen Dichtungsarten wird später davon Gebrauch gemacht. Nur wenn beim Gleiten die Spaltwände sich zu berühren beginnen, gelangt man in das Gebiet der Grenzreibung, wobei auch chemische Reaktionen ins Spiel kommen.

Die mathematisch-physikalischen Grundlagen zur Berechnung der Spaltströmung und des Druckverlaufs in Dichtspalten werden im Kapitel 4 behandelt. Nachfolgend werden jedoch noch zwei Grundbegriffe erläutert, die für die physikalischen Vorgänge im Dichtspalt wesentlich sind:

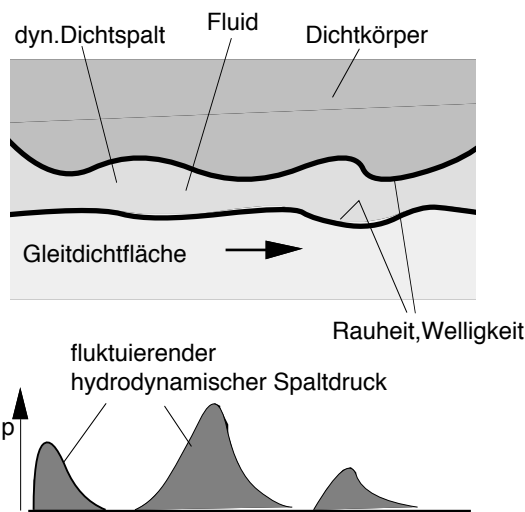
**Hydrostatische Spaltbildung:** Ein unter Überdruck  $p_1$  stehendes Fluid dringt, wie bei einem hydrostatischen Lager, in den Dichtspalt ein. Auf seinem Strömungsweg durch den Spalt fällt der Druck auf den Außendruck  $p_2$  ab, Bild 3. Die Form des „hydrostatischen“ Druckprofils hängt in erster Linie vom Verlauf der Spalthöhe in Strömungsrichtung ab. Bild 3 veranschaulicht dies für einen beliebigen Spaltverlauf. Der Druckverlauf kann sehr verschieden sein, je nachdem ob der Spalt parallel, konvergent oder divergent ist. Infolge der spaltöffnenden Kraftwirkung des hydrostatischen Spaltdrucks wird die Anpressung der Gleitdichtflächen vermindert.



**Bild 3**  
Hydrostatischer Druckabfall  
im Dichtspalt

**Hydrodynamische Spaltbildung:** Das viskose Fluid wird - wie bei einem Gleitlager- von der bewegten Dichtfläche mitgeschleppt. An örtlichen Spaltverengungen entsteht ein hydrodynamischer Spaltdruck, Bild 4. Bei Gleitringdichtungen und Elastomer-Wellendichtungen kann auf diese Weise ein hydrodynamisch tragender Fluidfilm entstehen, d.h. im Betrieb schwimmen die Dichtflächen auf einem dünnen Fluidfilm. Bei weichen elastischen Dichtkörpern (z.B. Elastomer) spielt die Deformation der Dichtkörperwand unter der Wirkung des hydrostatischen und hydrodynamischen Drucks eine besondere Rolle: Die Deformation verändert den Druckverlauf wodurch sich wiederum die Deformation ändert... usw. bis ein Gleichgewicht erreicht ist. Diese elasto-hydrodynamische Spaltbildung wird im *Kapitel 5* ausführlicher behandelt.

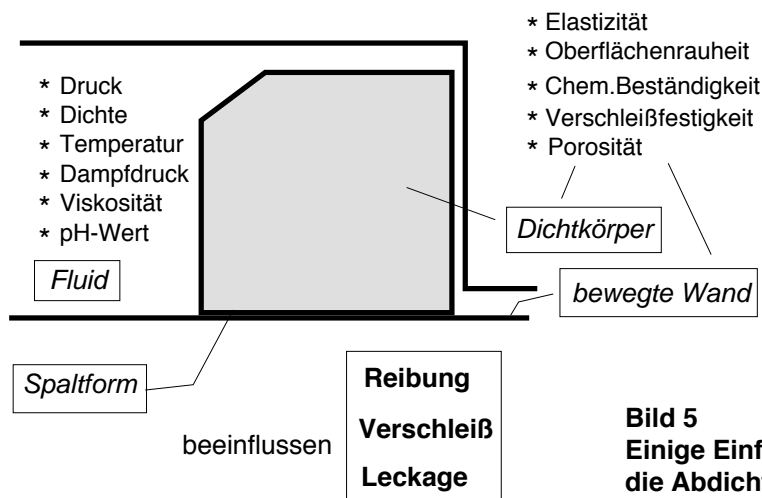




**Bild 4**  
**Hydrodynamischer Spaltdruck**  
**infolge Gleitbewegung**  
**unebener Spaltwände**

**Spaltbildung durch Trägheit und Viskoelastizität :** Trotz einer scheinbar ausreichenden - den Dichtspalt schließenden - Anlegekraft kann der Dichtkörper unter bestimmten Bedingungen einer schnellen spaltöffnenden Querbewegung (in y-Richtung, s. Bild 2) nur verzögert folgen. Globale oder lokale Querbewegungen entstehen durch Maschinenschwingungen, Rundlauffehler rotierender Wellen, Durchmesserunterschiede axialbewegter Stangen oder durch die Rauheit und Welligkeit der Dichtflächen. Der Dichtspalt kann sich verändern infolge der Massenträgheit des Dichtkörpers oder der Visko-Elastizität des Dichtungswerkstoffes. Wenn der Spalt dadurch zeitweilig größer wird, saugt er Flüssigkeit an, und quetscht diese bei wieder abnehmender Spalthöhe in verschiedene Richtungen weiter. Durch dieses „Atmen“ oder „Pumpen“ des Dichtspalts kann Fluid durch den Spalt transportiert werden, unter bestimmten Umständen auch gegen den Innendruck des abzudichtenden Fluids.

**Einflüsse auf die Dichtfunktion :** Bild 5 faßt eine Reihe von Einflußfaktoren zusammen und weist auf deren mögliche Auswirkungen hin. Wesentlich sind die chemischen und die physikalischen Eigenschaften des abzudichtenden Fluids, des Dichtkörpers sowie die Art der Be-



**Bild 5**  
**Einige Einflüsse auf**  
**die Abdichtfunktion**

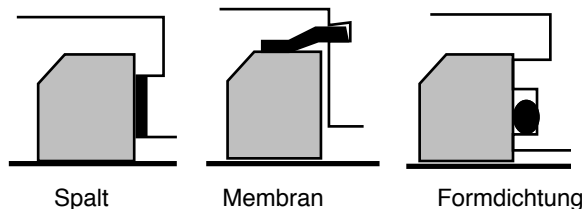




wegung der Gleitdichtflächen. Die quantitativen Aspekte der Spaltbildung, der Reibung, des Verschleißes und der Leckage werden mit Bezug auf praktisch verwendete Dichtungen in den einzelnen Kapiteln aufgezeigt.

## 1.5 DIE NEBENABDICHTUNG (SEKUNDÄRDICHTUNG)

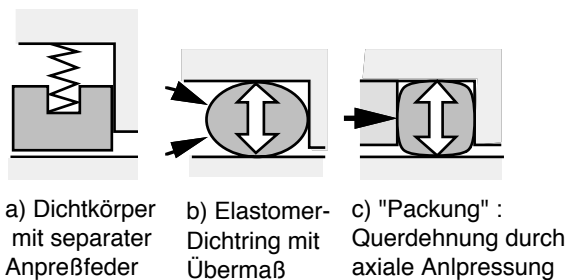
Bei vielen Dichtsystemen gibt es neben dem primären Dichtspalt einen oder mehrere potentielle Nebenwege für Leckage. Deshalb werden zur Nebenabdichtung zusätzliche Elemente – beispielsweise O-Ringe, Faltenbälge oder Membranen – verwendet, Bild 6. Sie verhindern Umgehungsleckage, ermöglichen aber die selbsttätige Nachstellung des Dichtkörpers bei zyklischen oder vorübergehenden Änderungen des primären Dichtspalts. Die gleitenden Kontaktflächen der Nebendichtung werden auch als Rutschdichtflächen bezeichnet.



**Bild 6**  
Varianten der  
Nebenabdichtung

## 1.6 DIE ANLEGEKRAFT

**Die Voranpressung:** Der Dichtkörper muß einer zurückweichenden Gegengleitfläche nachfolgen können. Die Bewegung wird behindert vom Reibungswiderstand der Nebenabdichtung und von der Trägheit des Dichtkörpers. Dies erfordert nachstellende Kräfte, die – je nach Dichtungsart – sowohl den primären Dichtspalt stabilisieren als auch den Dichtkörper an die Nebenabdichtung anlegen. In Bild 2 sind diese Kräfte allgemein als „Anlegekraft F“ bezeichnet. Auch wenn der Druck des abgedichteten Fluids die Anpressung des Dichtkörpers unterstützt, müssen bereits im überdrucklosen Zustand Anlegekräfte (Voranpressung) wirken. Sie sichern die Funktion des dynamischen Dichtspalts und der Nebenabdichtung unabhängig von der Größe des abzudichtenden Drucks. Bild 7 zeigt prinzipielle Varianten der Voranpress-



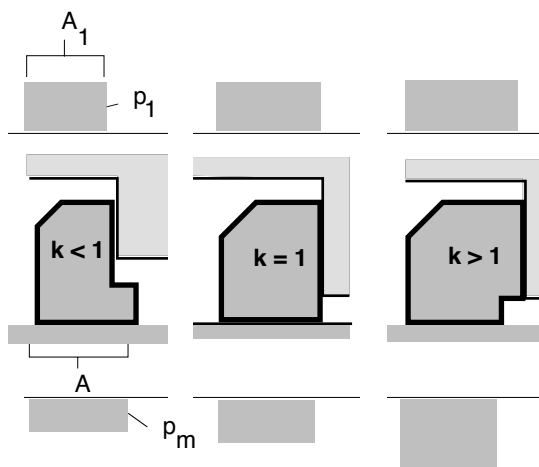
**Bild 7**  
Varianten der Voranpressung  
des Dichtkörpers



sung. Gleitringdichtungen werden beispielsweise mit besonderen Anpreßfedern oder federnden Faltenbälgen versehen (a), während Elastomerdichtungen durch Eigenvorspannung des Dichtrings angepreßt werden (b). Packungsringe werden axial vorgespannt und legen sich infolge Querdehnung dichtend an (c).

### **Anpressung durch den Druck — Automatische Dichtwirkung:**

Bei Berührungsdichtungen muß die mittlere Dichtflächenpressung größer sein als der abzudichtende Druck. Um mit einer kleinen Voranpressung auszukommen, wird oft der Fluiddruck zusätzlich zur Anpressung des Dichtkörpers ausgenutzt. Dieses Prinzip der automatischen Dichtflächenanpressung ist besonders bei hoher Druckdifferenz vorteilhaft. Bild 8 zeigt, wie die vom Fluiddruck erzeugte Dichtflächenanpressung konstruktiv dosiert werden kann. Die druckbedingte Anpreßkraft ist um so geringer, je kleiner die vom abzudichtenden Druck  $p_1$  belastete Wirkfläche  $A_1$  im Verhältnis zur Dichtspaltfläche  $A$  ist. Das Verhältnis  $k = A_1/A$  wird als *Flächenverhältnis* einer „automatischen“ Berührungsdichtung bezeichnet. Man sieht, daß die Dichtflächenanpressung durch die Position der Nebenabdichtung relativ zum primären Dichtspalt beeinflusst werden kann.



**Bild 8**  
Dosierung der mittleren Dichtflächenpressung  $p_m$  durch Veränderung des Flächenverhältnisses  $k = A_1 / A$

## **1.7 LAGESICHERUNG (DREHMOMENTABSTÜTZUNG)**

Das von einer rotierenden Welle im primären Dichtspalt erzeugte Reibmoment muß am Dichtkörper (parallel zur Nebenabdichtung) formschlüssig oder reibkraftschlüssig abgestützt werden. Dabei darf jedoch die zur Spalteinstellung erforderliche Beweglichkeit des Dichtkörpers nicht behindert werden.



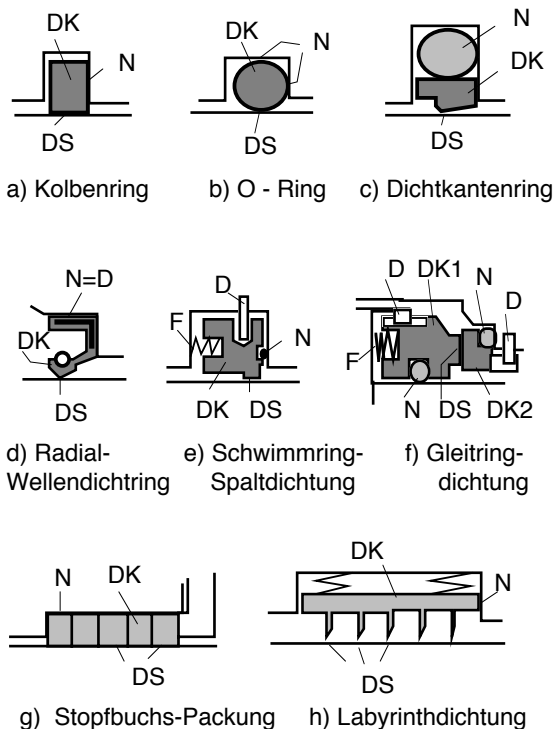
## 1.8 GRUNDELEMENTE IN DER ANWENDUNG

Die oben beschriebenen Grundfunktionen sind in der dichtungstechnischen Praxis auf sehr unterschiedliche Weise verwirklicht. Bild 9 veranschaulicht die Grundelemente anhand einiger Dichtsysteme, die in speziellen Kapiteln ausführlich behandelt sind. Alle Systeme enthalten die Elemente Dichtkörper **DK**, Dichtspalt **DS**, Nebenabdichtung **N**, Anlegekraft **F**, bei Wellendichtungen auch die Drehmomentabstützung **D**.

Die einfache Gestalt des **Kolbenrings** - Bild 9(a)- kommt der prinzipiellen Dichtungsanordnung nach Bild 2 am nächsten. Der radial geschlitzte Dichtkörper **DK** erzeugt als (im ungespannten Zustand) unrunde Biegefeder die Voranpressung **F**. Der Druck des abzudichtenden Gases dringt in die Gehäusenut ein und belastet die Wirkfläche  $A_1$  des Kolbenrings so, daß der dynamische Dichtspalt **DS** zugehalten wird. Als Nebendichtung **N** wirken die Berührflächen zwischen Kolbenring und druckabgewandter Nutseitenwand; ( $\rightarrow$  *Kapitel 15*).

Der **Elastomer-O-Ring** - Bild 9(b) - wird mit Übermaß in die Gehäusenut eingebaut. Dadurch entsteht die Voranpressung **F**. Die Anlageflächen des O-Rings an den Nutwänden bilden die Nebenabdichtung **N**. Beim Gleiten entsteht unter bestimmten Bedingungen ein dynamischer Dichtspalt **DS**; ( $\rightarrow$  *Kapitel 3*)

Der **Dichtkantenring** - Bild 9(c) - besteht aus hartem Polymerwerkstoff (PTFE, Polyurethan) sitzt mit Übermaß auf der Stange. In Verbindung mit einem Spannring aus Elastomer entsteht eine Voranpressung **F**. Der Spannring ist zugleich die Nebenabdichtung **N**. Beim Gleiten des Dichtkörpers kann ein dynamischer Dichtspalt **DS** entstehen; ( $\rightarrow$  *Kapitel 5*)



**Bild 9**  
**Die Grundelemente in verschiedenen Dichtsystemen**



Beim **Radial-Wellendichtring**, - Bild 9(d) - wird eine Dichtkante des Dichtkörpers DK elastisch aufgeweitet. Unterstützt von einer Schraubenzugfeder wird die radiale Anlegekraft F erzeugt. Bei rotierender Welle entsteht ein dynamischer Dichtspalt DS. Der Preßsitz des Außenmantels wirkt als Nebenabdichtung N und zugleich als Reibmomentabstützung D; (→ Kapitel 8)

Die **Schwimmring-Drosseldichtung** - Bild 9(e) - bildet einen engen Dichtspalt DS, der vom Unterschied der Durchmesser des starren Dichtkörpers DK und der Welle bestimmt ist. Ein Stift bewirkt die Lagesicherung D des Dichtrings DK relativ zum Gehäuse. Federn pressen den Dichtring an die Gehäusestirnwand an und bewirken die Anlegekraft F der als O-Ring ausgeführten Nebenabdichtung N; (→ Kapitel 16)

Die **Gleitringdichtung** - Bild 9(f) - ist hinsichtlich der Teilfunktionen wesentlich differenzierter. Ein mit der Welle (Reibmomentabstützung D) rotierender, mit Federkraft F angepreßter Dichtkörper DK1 (Gleitring), bildet mit einem zweiten, ebenfalls verdrehgesicherten, gehäusefesten Dichtkörper DK2 (Gegenring) den dynamischen Dichtspalt DS. O-Ringe bewirken jeweils die Nebenabdichtung N. Der dynamische Dichtspalt wird hier von zwei Dichtkörpern gebildet; (→ Kapitel 12, 13, 14).

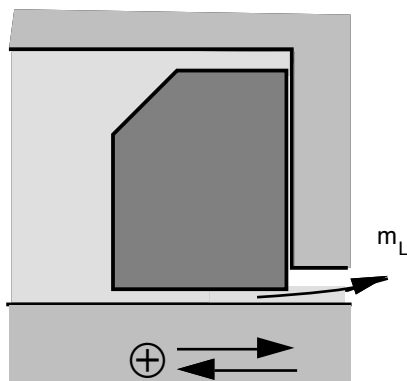
Die **Stopfbuchs-Packung** - Bild 9(g) - besteht aus mehreren axial vorgespannten, elasto-plastischen Dichtkörpern DK (Packungsringe), die sich infolge Querdehnung an das Gehäuse und an die Welle anlegen. Dadurch wird eine Nebenabdichtfunktion N aktiviert und bei bewegter Welle/Stange der dynamische Dichtspalt DS stabilisiert; (→ Kapitel 11).

Bei **Labyrinth-Spaldichtungen** - Bild 9(h) - ist oft der Dichtkörper federnd angelegt. Die Labyrinthkämme bilden mit der Wellenoberfläche den dynamischen Dichtspalt DS. Bewegliche Labyrinthträger bilden die Nebenabdichtung N ; (→ Kapitel 17).

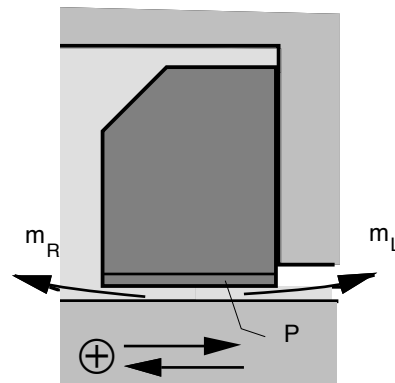
## 1.9 WIRKUNGSWEISE VON DICHTUNGEN

Wirtschaftliche Gründe erfordern oft ein technisch einfaches, kostengünstiges Dichtsystem, das, je nach Einsatzgebiet eine definierte Undichtheit aufweisen darf. Bei höheren Anforderungen kann oft mit einem einzigen dynamischen Dichtspalt keine befriedigende Dichtheit erreicht werden, wohl aber mit entsprechend komplexen und teuren Dichtsystemen. Prinzipiell sind folgende Wirkungsweisen von Dichtsystemen zu unterscheiden:

**Passive Abdichtung:** Bild 10 zeigt schematisch eine Strömungsdrossel, die infolge einer Druckdifferenz und/oder einer Gleitbewegung einen Leckstrom  $m_L$  aufweist. Flüssigkeit kann wegen des Druckabfalls und der Reibungswärme im Spalt verdampfen.



**Bild 10**  
**Passive Abdichtung:**  
**Strömungsdrossel**  
**mit Leckstrom  $m_L$**

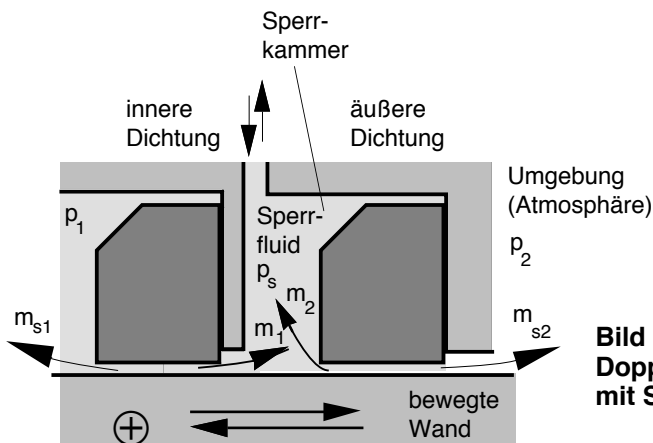


**Bild 11**  
**Aktive Abdichtung:**  
**Rückförderstrom  $m_R$**   
P deutet eine pumpfähige  
Oberflächenstruktur an

**Aktive Abdichtung:** Hier wird die Gleitbewegung der Dichtflächen dazu ausgenutzt, eine Rückförderung in den abzudichtenden Raum zu erzeugen, Bild 11. Der dynamische Dichtspalt wirkt als hydrodynamische Rückförderpumpe, die in der Lage ist, einen Rückförderstrom  $m_R$  in den abzudichtenden Raum zu erzeugen. Bei hin- und herbewegten Kolben und Stangen fördert auch eine glatte Dichtfläche beim Rückhub Fluid in den abzudichtenden Raum. Bei Wellendichtungen werden makroskopische oder mikroskopische Strukturen zur Rückförderung verwendet. Zur hydrodynamischen Rückförderung wird die Zentrifugalbeschleunigung oder die viskose Schleppströmung ausgenutzt. Förderwirksame Oberflächenstrukturen können fertigungstechnisch erzeugt werden. Sie können aber auch von selbst durch Verschleiß oder durch Verformung entstehen. Im günstigsten Fall kann leakagefreie Abdichtung erreicht werden. Ein stabiles Gleichgewicht  $m_L = m_R$  ist jedoch nur bei der Abdichtung einer Flüssigkeit gegenüber einem außenseitigen Gas erreichbar, weil im Falle einer außenseitigen Flüssigkeit diese (eventuell auch gegen einen hohen Innendruck) in den abzudichtenden Raum gepumpt werden kann. (→ Kapitel 8, 13, 18, 19)

**Mehrfache Abdichtung (Sperrkammerdichtung/Pufferdichtung):** Bild 12 zeigt das Prinzip eines Dichtsystems mit zwei hintereinander angeordneten Dichtungen, die eine sogenannte Sperrkammer bilden. Derartige Doppeldichtungen werden eingesetzt, wenn die unvermeidliche Leckage einer einzelnen Dichtung unter keinen Umständen in die Umgebung gelangen darf. In der Regel sind die beiden Dichtungen von unterschiedlicher Art. Bei einer Wellendichtung kann zum Beispiel die innere Dichtung eine Gleitringdichtung sein während zur Atmosphäre hin eine Spaltdichtung, eine Labyrinthdichtung, eine Lippendichtung oder wiederum eine Gleitringdichtung eingebaut ist. (→ Kapitel 12, 13)

Es gibt verschiedene Möglichkeiten um mit Sperrkammerdichtungen das unter dem Druck  $p_1$  stehende Fluid abzudichten:



**Bild 12**  
**Doppeldichtung**  
**mit Sperrkammer und Sperrfluid**

1. Flüssigkeitsgefüllte Sperrkammer unter dem Druck  $p_s$
2. Evakuierte Sperrkammer, aus der ständig der primäre Leckstrom  $m_1$  sowie der von außen eintretende Luftstrom  $m_2$  abgesaugt wird.
3. Trockenlaufende Außendichtung fängt die gas- oder dampfförmige Leckage der inneren Dichtung auf und übernimmt beim Ausfall der inneren Dichtung deren Funktion. Die Sperrkammer enthält Luft oder ein inertes Gas, annähernd bei Atmosphärendruck  $p_2$ .

Je nach Anwendungsfall kann der Sperrdruck  $p_s$  in Bezug auf den Innendruck  $p_1$  bzw. den Außendruck  $p_2$  unterschiedlich eingestellt werden, nämlich:

- a)  $p_s > p_1$
- b)  $p_1 > p_s > p_2$
- c)  $p_s = p_2$
- d)  $p_s < p_2$

Der Sperrdruck  $p_s$  und/oder die Wirkungsweise der inneren Dichtung können so gewählt werden, daß entweder ein Sperrfluidstrom  $m_{s1}$  in den abzudichtenden Raum eintritt, oder daß ein Leckstrom  $m_1$  in die Sperrkammer eintritt und von dort in der Regel mit dem zirkulierenden Sperrfluid (zur Nachbehandlung oder Abscheidung) abgeleitet wird. Eine sekundäre Leckage  $m_{s2}$  des Sperrfluids in die Umgebung kann entweder zulässig sein, oder sie muß durch zusätzliche Maßnahmen verhindert werden. Die US Norm API 682 "Shaft Sealing Systems for Centrifugal and Rotary Pumps" gibt für die Verfahrenstechnik detaillierte Empfehlungen zur Gestaltung zweistufiger Sperrkammersysteme mit Gleitringdichtungen.

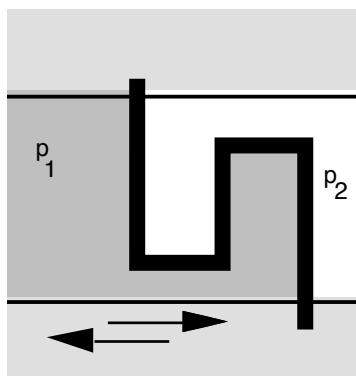
Obwohl es in der Regel die Hauptaufgabe einer Sperrkammerdichtung ist, den Austritt des abzudichtenden Fluids in die Atmosphäre zu verhindern, kann das Sperrfluid weitere Aufgaben erfüllen, nämlich:



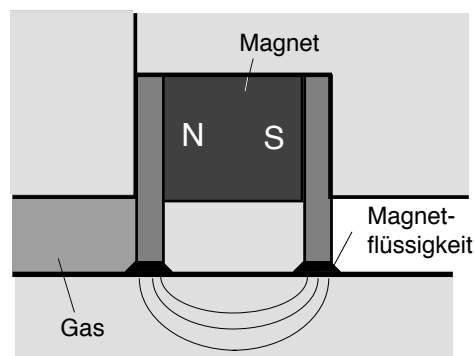
- \* Kühlung des Dichtsystems (b;c),
- \* Schmierung der Dichtflächen (a),
- \* Aufteilung eines hohen Druckgefälles  $p_1 - p_2$  auf mehrere Dichtstufen (b),
- \* Verhindern von Kristallisationsprodukten bei verdampfender Leckage (c),
- \* Versorgen der inneren Dichtung mit reiner Flüssigkeit, wenn die abzudichtende Flüssigkeit abrasive Partikel enthält.

**Hermetische Abdichtung:** Bei einem hermetischen Dichtsystem ist der Gehäusespalt durch eine Membran verschlossen, Bild 13. Es erfüllt somit nicht mehr das am Anfang dieses Kapitels genannte Charakteristikum: die beiden gegeneinander abgedichtete Räume haben bei einer hermetischen Dichtung keine gemeinsame Grenzfläche. Praktisch werden dünnwandige Membranen aus Elastomeren oder Metall verwendet. Das Dichtprinzip entspricht, bis auf die Beweglichkeit, einer statischen Dichtung. Leckage kann nur durch Diffusion entstehen. Mehrfach gewellte Membrane (Faltenbälge) oder Rollmembrane lassen eine begrenzte axiale Bewegung der abzudichtenden Maschinenteile zu. Die hermetische Abdichtung von Wellendurchführungen mittels Feststoffmembranen erfordert besondere Maßnahmen, beispielsweise ein Taumelscheibengetriebe oder eine magnetische Kupplung. (→ Kapitel 21)

**Flüssige Membran:** In neuerer Zeit wurden magnetisierbare Flüssigkeiten entwickelt mit denen man eine flüssige Membran als Dichtelement erzeugen kann. Die Magnetflüssigkeit besteht aus feinen, in einer speziellen Flüssigkeit suspendierten, magnetisierbaren Partikeln. Mittels eines starken, von Permanentmagneten erzeugten Magnetfelds, wird ein dünner Magnetflüssigkeitsring im Spalt zwischen einem Stator und einem Rotor festgehalten, Bild 14. Der Magnetflüssigkeitsring bildet eine Barriere, die einem geringen Gasdruck leakagefrei widersteht und somit abdichtet. Magnetflüssigkeitsdichtungen verhindern beispielsweise in Festplattenlaufwerken von Computern den Eintritt von Staubpartikeln und werden auch als rotierende Vakuumdichtungen verwendet. (→ Kapitel 20)



**Bild 13**  
Hermetische Abdichtung  
durch elastische Membran



**Bild 14**  
Hermetische Abdichtung  
mittels Magnetflüssigkeit





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

Inhaber und Betreiber der Domain [www.fachwissen-dichtungstechnik.de](http://www.fachwissen-dichtungstechnik.de) ist Evelyn Voigt-Müller, Samlandstr. 38, 81825 München, Deutschland.

Der gesamte Inhalt der unter der Domain [www.fachwissen-dichtungstechnik.de](http://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](http://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](http://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](http://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](http://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.