



**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

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



# 13

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

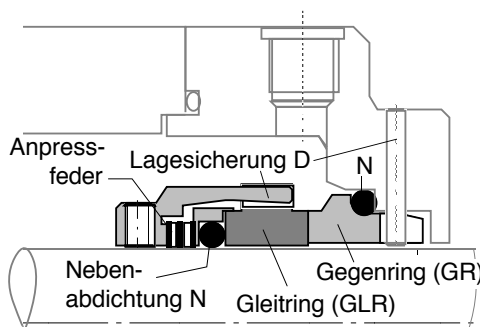
## Gleitringdichtungen: Gestaltung

Komponenten praxiserprobter Gleitringdichtungen, Forderungen für die praktische Anwendung, Standardkonstruktionen, konstruktive und anwendungstechnische Details: Schiefstellung, Verdrehsicherung, Nebendichtungen. Cartridge-Dichtungen, doppeltwirkende-, Standby-, gasgeschmierte Gleitringdichtungen, Sperrgasdichtsysteme, Anwendungsrichtlinien. Literatur.

### 13.1 EINFÜHRUNG

Die in diesem Kapitel gezeigten Gleitringdichtungs-Konstruktionen sind lediglich eine kleine Auswahl aus den sehr zahlreichen Bauformen in der Praxis. Die Besprechung der Gestaltungsbeispiele gibt vor allem Gelegenheit, auf typische Praxisprobleme und deren Lösung hinzuweisen. Jedoch sollten dem Leser stets auch die im vorigen Kapitel besprochenen Grundlagen gegenwärtig sein. Zunächst sei nochmals betont, daß der Erfolg beim praktischen Einsatz einer Gleitringdichtungen wesentlich davon abhängt, daß optimale Umgebungsbedingungen geschaffen werden, nämlich durch eine zweckmäßige Gestaltung der Dichtkammer und die Überwachung des Flüssigkeitszustands in der Dichtkammer. In dieser Hinsicht sei daran erinnert, was bereits über den Wärmeübergang, über Verdampfungsvorgänge in der Kammer und im Dichtspalt, sowie über die Beherrschung von mitgeführten und aus der Flüssigkeit ausgeschiedenen Feststoffen gesagt wurde. Es ist ein Fehler, eine Gleitringdichtung in eine zu kleine Dichtkammer einzubauen, die eigentlich für eine Weichpackung vorgesehen ist (vgl. *Kapitel 13, Bild 27*). Empfehlungen für günstige Formen und Abmessungen der Dichtkammern (Wellendichtungsräume) findet man in DIN ISO 5199 (in USA: API 682, API 610). Grundsätzlich sollte man bei der Auswahl oder bei der Konstruktion stets an die in *Kapitel 12* beschriebenen komplexen physikalischen Wirkungen und Wechselwirkungen denken, die das Betriebsverhalten einer Gleitringdichtung bestimmen.

Die in der Praxis vorkommenden Bauformen von Gleitringdichtungen und deren Einbausituationen sind äußerst vielfältig. Bild 1 zeigt den Aufbau einer typischen Gleitringdichtung und eine Tabelle mit Varianten der Hauptmerkmale. Unter Berücksichtigung einiger Abhängigkeiten zwischen den Merkmalen kommt man durch Kombination der Varianten ohne weiteres auf



| MERKMAL               | VARIANTEN                                  |
|-----------------------|--|
| GLR- Bewegung         | rotierend ; stationär                      |
| Flüssigkeitsdruck     | außen; innen; wechselnd                    |
| Flächenverhältnis $k$ | $\geq 1$ (unentlastet) ; $< 1$ (entlastet) |
| GLR- Anpressung       | Schraubenf., Wellf., Balg; Magnet          |
| GLR & GR Werkstoff    | Metall; Kohle; Keramik; Cermet             |
| GLR & GR Aufbau       | Einteilig ; Verbund                        |
| Nebenabdichtung       | O-Ring (Berührungs.-d.); Balg              |
| Reibmomentabstützg.   | formschlüssig, reibkraftschlüssig          |

**Bild 1**  
**Prinzipielle Varianten der Hauptmerkmale einer Gleitringdichtung**

einige Zehntausend unterschiedliche Bauformen. Mit dieser potentiellen Vielfalt kann jedoch weder der Dichtungs konstrukteur noch der Anwender viel anfangen. Für die Praxis zählen möglichst einfache, wirtschaftliche Lösungen, die die wichtigsten Anforderungen erfüllen. Bevor einzelne Konstruktionen vorgestellt und besprochen werden ist es notwendig diese Anforderungen zu präzisieren. Sie sind nachfolgend nach den Kategorien „unabdingbar“ und „wünschenswert“ zusammengestellt:

## 13.2 FORDERUNGEN FÜR DIE PRAKTISCHE ANWENDUNG

### *Unabdingbare Forderungen*

- \* Unter allen Umständen muß Flüssigkeit in den Dichtspalt gelangen.
- \* Die Flüssigkeitstemperatur am Spalteintritt muß genügend weit unterhalb der Siedetemperatur beim Dichtkammerdruck liegen.
- \* Der Gleitring muß jederzeit axial leichtgängig beweglich sein.
- \* Gleitring und Gegenring müssen zuverlässig verdrehgesichert sein
- \* Die Federkraft muß mindestens so groß sein, daß insbesondere im drucklosen Zustand der Gleitring dem axial zurückweichenden Gegenring nachgeführt wird.

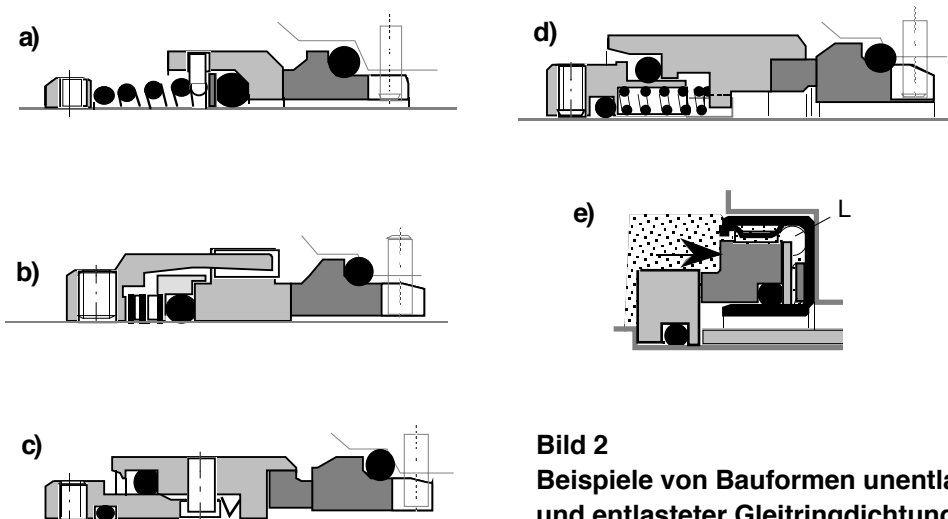


### *Wünschenswerte Bedingungen*

- \* Mindestens einer der spaltbildenden Dichtringe soll gut wärmeleitfähig sein.
- \* Der höhere Druck soll am Außenumfang wirken
- \* Eine der beiden Gleitdichtflächen soll feinverschleißfähig sein.
- \* Bei hoher Drehzahl soll der Gegenring rotieren und möglichst klein und glatt sein.
- \* Die radiale Breite der Gleitdichtflächen sollte nicht größer als 2...3 mm sein
- \* Die Gleitringdichtungen sollte mit  $k = 0,7...0,8$  entlastet sein.
- \* Zugspannungen und schlagartige Kantenpressungen in Kohle- und Keramikringen durch Innendruck, Fliehkraft und Reibmomentabstützung (Verdrehsicherung) sind zu vermeiden.

### 13.3 BEISPIELE EINFACHER GLEITRINGDICHTUNGEN

Bild 2 zeigt eine Reihe von handelsüblichen unentlasteten und entlasteten Gleitringdichtungen. Bild 2(a) zeigt eine einfache unentlastete Gleitringdichtung für Pumpenwellen. Am Gleitring wird das Reibmoment mittels des nach außen gebogenen Endes der kegeligen Schraubfeder abgestützt. Die Reibung zwischen Wellenoberfläche und der anliegenden letzten Federwindung zieht das Federende selbsthemmend auf der Wellenoberfläche fest. Damit dies funktioniert, müssen Wellendrehrichtung und Windungssinn der Feder übereinstimmen. Diese einfache Anordnung ist deshalb nur für eine Drehrichtung der Welle geeignet.



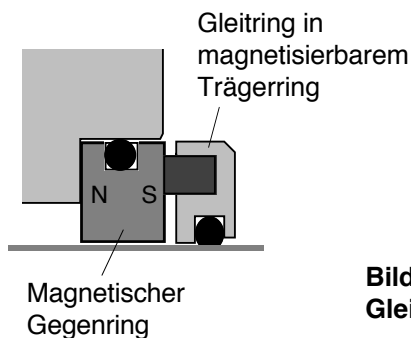
**Bild 2**  
**Beispiele von Bauformen unentlasteter und entlasteter Gleitringdichtungen**



Bild 2(b) zeigt eine weitere unentlastete Dichtung mit axialen Mitnehmerzungen, die das Reibmoment am Keramikring abstützen, der mit einer Doppel-Wellfeder angepreßt ist. Die Bilder 2(c, d) zeigen entlastete Gleitringdichtungen. Die zur Entlastung notwendige Stufe ist jeweils durch eine Wellenhülse verwirklicht, auf der die O-Ring-Nebendichtung axial rutschen kann. Beide Dichtungen unterscheiden sich in der Art der Anpreßfedern und der Reibmomentübertragung am axialbeweglichen Gleitring.

Bild 2(e) zeigt eine bauraumsparende Dichtung in einem Blechgehäuse mit Wellfeder und Reibmomentabstützung an Einprägungen des Blechmantels. Der rotierende Gegenring liegt an einem Wellenabsatz an. Vorausgesetzt die Gleitfläche steht senkrecht zur Wellenachse, gibt es keine Taumelbewegung der Gleitdichtflächen und somit keine axiale Oszillation der Nebenabdichtung, selbst wenn die Welle im Betrieb durchgebogen umläuft. Der Gleitring stellt sich in diesem Fall schräg zum Gehäuse ein. Bei der Dichtung nach Bild 2(e) kann jedoch unerwartet ein Problem auftreten: In dem abgeschirmten Raum auf der Rückseite des Gleitrings können sich Luftblasen (L) ansammeln. Steigt nun der Druck im abzudichtenden Raum schnell an, so wird die vordere Stirnfläche des Dichtrings sofort in spaltöffnender Richtung belastet, der spaltschließende Druck auf der Rückseite baut sich jedoch verzögert auf, weil zuerst Flüssigkeit durch enge Spalte hinter den Gleitring strömen und die Blasen komprimieren muß. Während des kurzzeitigen Ungleichgewichts kann sich der Spalt der Gleitringdichtung öffnen, wobei vorübergehend eine exzessive Leckage entsteht. Ist also mit schnellen Druckwechseln zu rechnen, muß die Gleitringdichtung so ausgewählt bzw. angeordnet werden, daß ausreichend große Überströmquerschnitte in den Raum hinter dem Gleitring vorhanden sind.

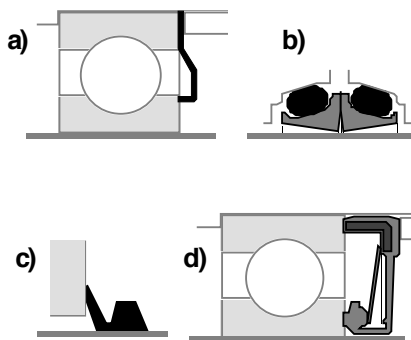
Bild 3 zeigt eine extrem kurz bauende Gleitringdichtung, die mit Magnetkraft anstatt mit Federn angepreßt wird. Ihr Platzbedarf ist nicht größer als der für einen Radial-Wellendichtring. Diese Dichtung eignet sich zur Trennung von Räumen ohne wesentliche Druckdifferenz, etwa zur Ölabdichtung von schnell laufenden Getriebewellen. Der Gegenring besteht aus hartem magnetischem Werkstoff und ist in einem nicht magnetisierbaren Gehäuse gelagert. Die Welle darf sich an der Dichtstelle jedoch höchstens ein paar hundertstel Millimeter axial bewegen, so daß der O-Ring dabei nicht zu gleiten braucht. Größere Bewegungen führen wegen der Haftreibung des O-Rings zu Leckage. Die Dichtung kann auch versagen, wenn beim Anlauf die Dichtflächen verklebt sind und der O-Ring deshalb zur gleitenden Dichtung wird.



**Bild 3**  
**Gleitring mit magnetischer Anpressung**



Bild 4 zeigt drei exotische Bauformen, die wegen des Dichtkontakts an einer Stirnfläche im Prinzip als Gleitringdichtungen bezeichnet werden können. Sie unterscheiden sich jedoch stark von den üblichen Gleitringdichtungen. Die federnde Abdeckscheibe in Bild 4(a) eignet sich zur Abdichtung fettgeschmierter Lager. Ein umgebördelter Rand gleitet auf der Stirnfläche eines Wälzlagerings. Die Dichtung nach Bild 4(b) wird als Laufwerksdichtung bezeichnet und besteht aus zwei Hartgußringen, die von schräg vorgespannten O-Ringen angepreßt werden. Verschiedene Varianten dieser Dichtung werden hauptsächlich zur Schmutzabdichtung an Fahrwerken von Raupenfahrzeugen und landwirtschaftlichen Geräten eingesetzt. Zu erwähnen sind noch gleitende Elastomer-Axialdichtungen, nämlich der in Bild 4(c) gezeigte V-Ring sowie der Axial-Wellendichtring, Bild 4(d). Diese Elemente werden als Schutzdichtungen in *Kapitel 8* ausführlicher behandelt.



**Bild 4**  
**Exotische 'Gleitringdichtungen'**  
(Schutzdichtungen, s.Kap.8)

## 13.4 KONSTRUKTIVE DETAILS – PROBLEME UND LÖSUNGEN

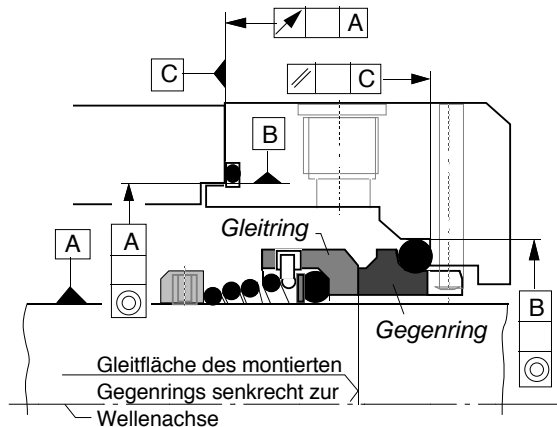
### *Schiefstellung des Gegenrings*

Unabhängig davon, ob der Gleitring oder der Gegenring rotiert, wird die Dichtfunktion dynamisch gestört, wenn die Gleitfläche des *Gegenrings* nicht genau senkrecht zur Wellenachse steht. Eine schiefe Gleitfläche des Gegenrings prägt dem axialbeweglichen Gleitring eine Tummelbewegung auf und die Nebendichtstelle oszilliert axial mit der Drehfrequenz der Welle. Bei geringer Schiefstellung entsteht lediglich eine oszillierende Scherbewegung innerhalb des O-Rings, ohne daß die Berührfläche rutscht. Bei größerer Schiefstellung gleitet hingegen der Elastomerkontakt bei jeder Umdrehung hin und her. Dadurch kann der O-Ring zerrieben werden und die Gegenfläche durch Reibkorrosion verschleifen, bis schließlich Leckage entsteht. Eine weitere Folge der axialen Zwangsschwingung ist ein Druckabfall im Dichtspalt in der Bewegungsphase, in der der Gleitring momentan vom Gegenring weg gezogen wird. Dabei wird im Spalt lokal die Siedetemperatur verringert. Dies vergrößert die Gefahr, daß Flüssigkeit im Spalt verdampft und dadurch ein instabiler Zustand entsteht.

Bei der am häufigsten verwendeten Anordnung mit einem stationären Gegenring im Gehäusedeckel gibt es mehrere Ursachen für eine Schiefstellung. Der Deckel selbst kann schief



montiert sein, die stirnseitige Anlage des O-Rings kann schief in den Deckel eingearbeitet sein, die stirnseitige Anlagefläche des O-Rings am Gegenring kann schief zur Gleitfläche liegen, und schließlich ist auch noch ein am Umfang ungleichmäßig dicker O-Ring in Betracht zu ziehen. Es ist deshalb erforderlich, durch genaue Fertigung und Montage die Stirnfläche des Gegenrings möglichst genau senkrecht zur Wellenachse auszurichten. Bild 5 weist auf einige Form- und Lagetoleranzen hin, die zu diesem Zweck einzuhalten sind.



**Bild 5**  
**Form- und Lagetoleranzen**  
**zur Vermeidung eines**  
**schiefstehenden Gegenrings**

### ***Probleme der Verdrehsicherung***

Die Verdrehsicherung hat die Aufgabe, das Reibmoment des Gleitrings zu übertragen ohne dessen axiale Beweglichkeit zu behindern. Auch am Gegenring muß das Reibmoment abgestützt werden. Ist der Gegenring in einem O-Ring gelagert, wird manchmal auf eine form-schlüssige Verdrehsicherung verzichtet, in der Hoffnung, daß die Haftreibung des O-Rings das Reibmoment überträgt. Dies kann in manchen Fällen funktionieren. Größte Vorsicht ist jedoch geboten, wenn damit zu rechnen ist, daß klebrige Produkte in den Dichtspalt gelangen oder die Gleitdichtflächen durch Kontaktkorrosion aneinander haften. Beim Wiederanfahren wird dann der Gegenring mitgerissen, der O-Ring wird plötzlich zur Rotationsdichtung und geht nach kurzer Zeit in Rauch auf. Radiale Stifte, Bild 2(a,c), sind preisgünstige, häufig angewendete Verdrehsicherungen. An der Fassung des axialbeweglichen Gleitrings können sie jedoch erhebliche Probleme verursachen, wenn sie in Keramikringe oder in Schlitze von dünnen Chromstahlringen eingreifen. Letztere werden von den Stiften mit der Zeit eingekerbt. Der Stift hängt später in der Einkerbung, behindert die axiale Nachstellbewegung des Gleitrings, und bei einer thermischen Axialbewegung der Welle entsteht Leckage. Querstifte sollten als Verdrehsicherungen vor allem dann nicht verwendet werden, wenn wegen klebriger Produkte oder bei zu erwartender Kontaktkorrosion der Gleitdichtflächen hohe Losbrechmomente zu erwarten sind. Auch auf die Drehmomentabstützung an dünnwandigen Sicken sollte man in diesem Fall verzichten, da diese eingedrückt oder abgeschert werden können. Keramikringe können brechen, wenn radial eingreifende Stifte beim Anfahren schlagartig hohe Spannungen erzeugen. Günstiger sind axial eingreifende elastische Zungen, Bild 2b.



### Nebendichtungen

**Gleitende Nebendichtungen (O-Ringe):** Die Nebendichtung muß eine leichtgängige axiale Beweglichkeit des Gleitrings zulassen. Diese Forderung wird von den praxisüblichen Nebendichtungen mehr oder weniger gut erfüllt. Aus wirtschaftlichen Gründen werden vorwiegend O-Ringe oder andere Berührungsdichtungen als Nebendichtung verwendet. Elastomerdichtungen haften jedoch nach längerer Ruhezeit stark an ihrer Gegengleitfläche. Die Haftreibungszahl von O-Ringen kann mit der Zeit auf 0,5...0,8 ansteigen. Wenn bei einer Pumpendichtung die Welle sich nach dem Abstellen axial verschiebt (z.B. infolge thermischer Dehnung), steht allein die Federkraft zum Nachführen des Gleitrings zur Verfügung. Die übliche Federpressung der Gleitringdichtung kann in diesem Fall zu klein sein, um den O-Ring loszubrechen. Dann bleibt der O-Ring hängen („hang-up“), der Dichtspalt klafft, und es entsteht exzessive Leckage. Die axiale Beweglichkeit des Gleitrings wird auch behindert, wenn sich vor der Nebendichtung eine Produktschicht aufbaut oder die angrenzende Fläche durch Korrosion rau wird. Falls mit solchen Bedingungen zu rechnen ist, sollte der Gleitring so angeordnet werden, daß die Feder den O-Ring von der rauhen Schicht weg bewegt. Gelangt die Schicht aber schließlich unter den O-Ring, muß mit Leckage gerechnet werden.

**Faltenbalg als Nebendichtung:** Man kann das reibungsbedingte „Hängen“ der Nebendichtung durch die Verwendung von Faltenbälgen aus Elastomer, Metall oder PTFE vermeiden. Bild 6 zeigt eine Reihe von Gleitringdichtungen mit Balg.

a) Elastomer- und PTFE-Balgdichtungen sind Standardlösungen bei Großserien-Gleitringdichtungen im Niederdruckbereich, insbesondere in Fahrzeug-Kühlwasserpumpen. Die Bilder 6 (a,b) zeigen Elastomerbälge, die mittels Schraubenfedern angepreßt sind. Auf der Welle spannt und dichtet der Balg durch Übermaß und den Fluiddruck, eventuell zusätzlich durch ein Federband. Die daraus resultierende Haftreibung ist größer als der druckbedingte Axialschub auf das Haftteil. Bild 6(c) zeigt eine Dichtung mit PTFE-Faltenbalg, vor allem für

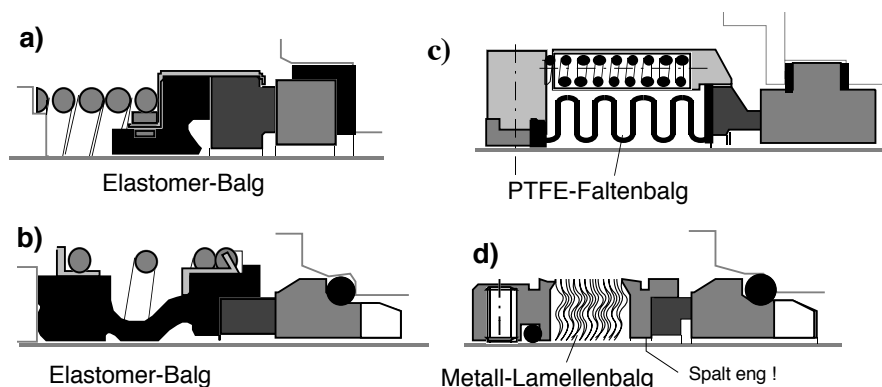


Bild 6 Gleitringdichtungen mit Balg als Nebendichtung





aggressive Flüssigkeiten. Der Balg wird hergestellt durch wechselseitiges Einstecken von Ringnuten in einen massiven PTFE-Zylinder. Wegen der geringen Festigkeit des PTFE wird das Reibmoment unter Umgehung des Balgs separat abgestützt.

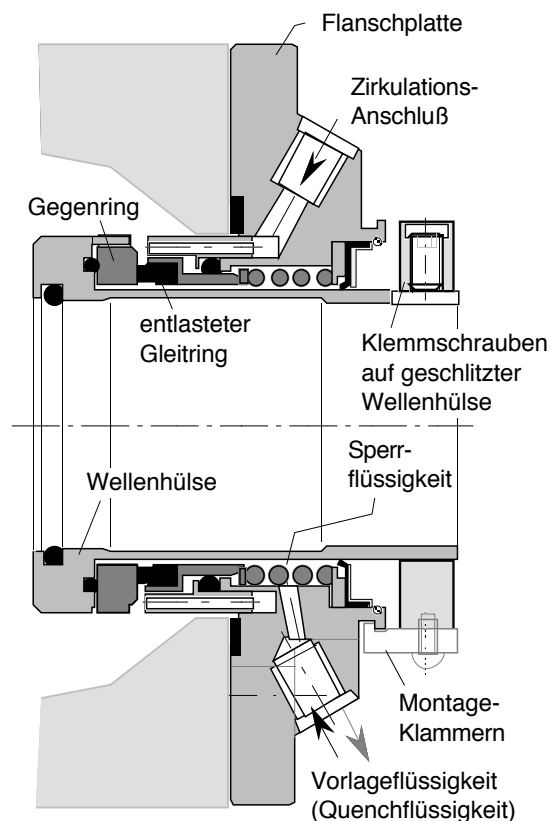
b) *Metallfaltenbälge* vereinigen die Funktionen der Anpreßfeder und der axialbeweglichen Nebenabdichtung. Im Gegensatz zu einem Elastomerbalg wird ein Metallfaltenbalg weder spröd noch brüchig, wenn er längere Zeit einer hohen Temperatur ausgesetzt ist. Weil die axiale Beweglichkeit des Gleitrings nicht behindert wird, ist die Abdichtung von dickflüssigklebrigen oder sich auf der Welle ablagernden Produkten eine Domäne der Metallfaltenbalg-Gleitringdichtungen. Eine Behinderung ist dennoch möglich, wenn sich Feststoffe zwischen den Balglamellen festsetzen. Bild 6(d) zeigt eine Metallfaltenbalg-Gleitringdichtung, deren Balg aus sehr dünnwandigen Lamellen einer hochfesten Nickellegierung besteht, die innen und außen mittels Plasma-, Elektronen- oder Laserstrahl verschweißt sind. Wegen der hohen Anforderung an die Dauerfestigkeit und Zuverlässigkeit der extrem dünnen Schweißnähte ist das Verfahren aufwendig, und die Lamellenbälge sind deshalb verhältnismäßig teuer.

Den Metallfaltenbälgen fehlt die Reibungsdämpfung berührender Nebendichtungen, weshalb oft zusätzliche Schwingungsdämpfer angebracht werden, die ein Abheben der Dichtflächen bei äußerer Schwingungserregung verhindern sollen. An sporadisch trocken laufenden Heißwasserdichtungen wurde Undichtheit infolge selbsterregter Taumelbewegungen des Gleitrings beobachtet. Dies kann vermieden werden, indem man durch einen engen Spalt zwischen Welle und Gleitringträger ein seitliches Ausweichen begrenzt, s. Bild 6(d). Bei schnell laufenden Gleitringdichtungen ist es vorteilhaft, den Balg mit dem Gleitring stationär im Gehäuse anzuordnen.

Die Endstücke von Metall-Faltenbalgdichtungen müssen statisch abgedichtet werden. Standard-Elastomere sind hierfür nicht brauchbar, wenn die Betriebstemperatur höher als etwa 180°C ist. Bis 250°C und für extrem aggressive Flüssigkeiten stehen O-Ringe aus Perfluor-Elastomer (FFKM) zur Verfügung, deren hoher Preis aber durch die Standardisierbarkeit und die einfache Installation gerechtfertigt sein kann. Alternativ werden die Trägerringe mit dem Gehäuse verschweißt oder mit hitzebeständigen Flachdichtungen aus Reingrafit abgedichtet. Mit statischen Nebendichtungen aus formgepreßtem, expandiertem Reingrafit sind Metallfaltenbalg-Gleitringdichtungen bis zu 400°C einsetzbar.

### 13.5 CARTRIDGE-GLEITRINGDICHTUNGEN

Einbaufertig vormontierte Baueinheiten von Gleitringdichtungen sind vom Hersteller sach- und fachgerecht zusammengebaut und geprüft. Vor Ort werden sie ohne besondere Montagekenntnisse einfach auf die Welle gesteckt, und nach dem Anziehen einiger Schrauben sind sie fertig montiert. Ebenso einfach ist der Austausch dieser sogenannten *Cartridge-Gleitringdichtungen*. Bild 7 zeigt eine vielseitig verwendbare Cartridgedichtung mit Wellenhülse, Flanschplatte, Feder, Gleitring und Gegenring sowie allen Nebendichtungen. Alle empfindli-



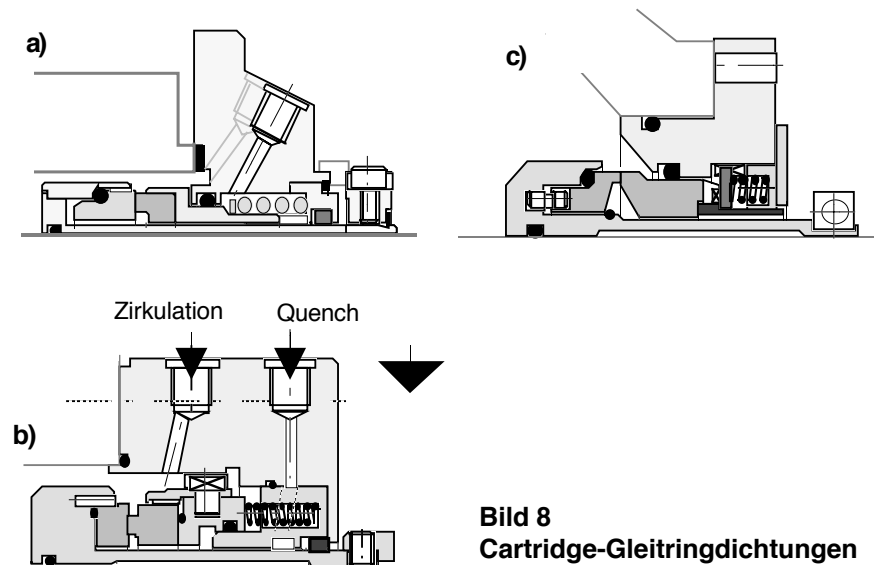
**Bild 7**  
**Universell einsetzbare**  
**Cartridge-Gleitringdichtung**

chen Teile sind von ausgebildetem Personal vormontiert. Damit sind Montagefehler und Beschädigungen ausgeschlossen, die beim Zusammenbau konventioneller Gleitringdichtungen häufig vorkommen.

Die höheren Investitionskosten für diese Baueinheiten werden durch eine bedeutende Verminderung der Kosten und Folgekosten von Dichtungsausfällen aufgewogen. Standardisierte Cartridge-Gleitringdichtungen mit korrosionsbeständigen Metallteilen, chemisch beständigen Nebendichtungen und der Gleitwerkstoffkombination Siliciumkarbid/Kohlegraphit ermöglichen eine universelle Anwendung und vermindern den Aufwand für die Lagerhaltung.

Cartridgedichtungen werden mit Zirkulations- und Quench-Anschlüssen versehen. In Bild 7 wird die Prozeßflüssigkeit über mehrere Kanäle direkt auf den Gegenring geleitet (s. auch *Kapitel 12, Bild 33*). Zweck der Quenchflüssigkeit (Vorlageflüssigkeit) ist das Ausspülen primärer Leckage sowie das Schmieren, Kühlen oder Heizen der inneren Gleitringdichtung. In Bild 7 zirkuliert eine Vorlageflüssigkeit durch die Zwischenkammer; sie wird am Wellenaustritt mit einer PTFE- oder Elastomer-Lippendichtung abgedichtet.

Bild 8 zeigt drei weitere Bauarten von Cartridge-Gleitringdichtungen. Bild 8(a) zeigt eine in herkömmliche Stopfbuchsräume passende Baueinheit mit innerer Zirkulation der Prozeßflüssigkeit und Spülung (Quench) des Raums hinter dem Gleitring. Die Anpassung an den engen Stopfbuchsraum hat eine Reihe von Nachteilen. In diesem Zusammenhang sei auf *Kapitel 12, S.33/34* verwiesen. Die Dichtung nach Bild 8(b) ist für höheren Druck geeignet und weist



**Bild 8**  
**Cartridge-Gleitringdichtungen**

Merkmale auf, die bereits bei Bild 7 besprochen sind. Bild 8(c) zeigt eine Cartridge-Dichtung für hochabrasive Kalkmilch in Pumpen von Rauchgasentschwefelungsanlagen. Wegen der starken Verschleißwirkung bestehen Gleitring und Gegenring aus Siliciumkarbid, und alle flüssigkeitsberührten Teile sind glatt. Zehntel Mikrometer große Partikel der Kalkmilch gelangen in den Dichtspalt, das Wasser verdampft im Spalt und die austretende „Leckage“ besteht aus ultrafeinem Kalkpulver. Um zu vermeiden, daß diese pulverisierte Leckage den Federraum verstopft, ist an den Gleitring eine Schutzhülse aus Kunststoff angesetzt.

### 13.6 ANWENDUNGSRICHTLINIEN FÜR GLEITRINGDICHTUNGEN

Ausgehend von Empfehlungen verschiedener Fachverbände in Europa und den USA und ergänzend zu den Hinweisen auf Ausfallursachen in *Kapitel 12, S. 47-49* sind nachfolgend wichtige Anwendungsrichtlinien für primäre (produktabdichtende) Gleitringdichtungen zusammengestellt. Mit dem Ziel, eine Lebensdauer von mindestens 3 Jahren zu erreichen sollten bei der Anwendung von Gleitringdichtungen in Kreiselpumpen folgende Hauptregeln beachtet werden:

#### *Pumpengehäuse:*

- Für die Gleitringdichtung keine Einbauräume, die für Weichpackungsstopfbuchsen bemessen sind.
- Schiefelage der Flanschplatte zur Wellenachse an der Dichtungsanlage nicht größer als 0.12 mm.
- Spalt zwischen Wellenhülse und Welle ca. 0.05 mm, toleriert mit G7/h6.
- Stirnfläche des Pumpengehäuses rechtwinklig zur Wellenachse, mit einer zulässigen Winkelabweichung von weniger als 1:2000.
- Austauschbare Durchgangsbuchse zwischen innerem Gehäuseende und Welle vorsehen.



*Betriebsempfehlungen:*

- Dichtkammer kühlen (nicht Dichtkammerdruck erhöhen) wenn die Temperatur in der Dichtkammer die Siedetemperatur bei Atmosphärendruck übersteigt.
- Kühlen mittels Umwälzung der Dichtkammerflüssigkeit durch einen externen Kühler, unter Verwendung eines Pumprings.
- Zyklonabscheider im Zirkulationskreislauf vorsehen wenn die Flüssigkeit suspendierte Feststoffpartikel enthält.
- Wenn die Verwendung einer Sperrflüssigkeit erforderlich ist, synthetisches Öl (mindestens 20 Liter) verwenden, Verträglichkeit vorausgesetzt.
- Dampf-Quench am Ende der Dichtung vorsehen falls die Gefahr besteht, daß die Leckage sich verfestigt.

*Wirtschaftliche Erwägungen:*

- In den Standards empfohlene Dichtsysteme und Zusatzeinrichtungen verwenden ( DIN-ISO 5199, VDMA 24297, API 682, API 610)
- Entlastete Gleitringdichtungen und hochwertige Gleitwerkstoffe verwenden (SiC/ hochwertiger Kohlegraphit oder WC).
- Die Kosten für erprobte hochwertige Dichtungen sind auf längere Sicht geringer als die Wartungs- und Ausfallkosten beim Einsatz „billiger“ Alternativen.

## 13.7 MEHRFACH-GLEITRINGDICHTUNGEN

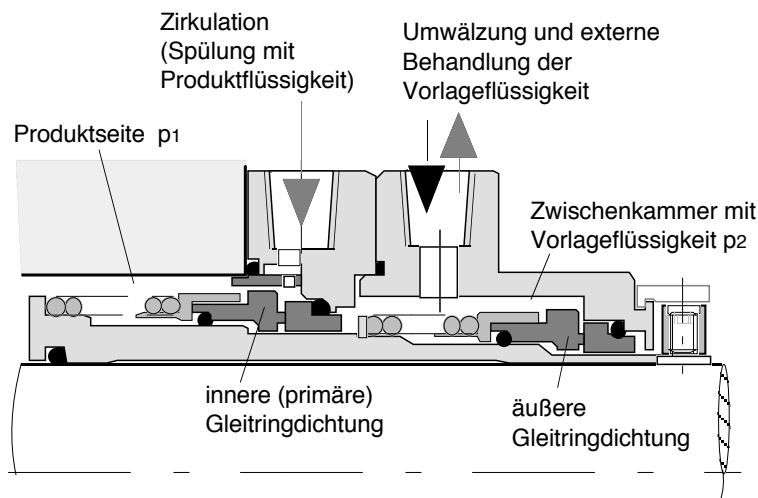
Bei Stoffen mit hohem Gefährdungspotential werden Mehrfach-Dichtsysteme verwendet, deren allgemeines Prinzip bereits in *Kapitel 1* beschrieben ist. Die „Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA Luft)“ des Bundesimmissionsschutzgesetzes definiert gefährliche Stoffe im Einzelnen. Darunter sind Stoffe die explosive und brennbare Gemische bilden, sowie chemisch aggressive, umwelt- und gesundheitsschädigende, krebserzeugende und geruchsintensive Stoffe.

*Mehrfach-Gleitringdichtungen* verhindern bei Pumpen unzulässige Emissionen an der Wellenaustrittsstelle. In der Regel werden *Doppelgleitringdichtungen* verwendet. Bei speziellen Kühlmittelpumpen von Kernkraftwerken wird der Betriebsdruck von ca. 15 MPa mit drei hintereinander angeordneten Gleitringdichtungen (Tripeldichtung) und Bypass-Druckregelung abgebaut. Bei einer Doppelgleitringdichtung wird Leckage von Prozeßflüssigkeit durch den Spalt der inneren Dichtung entweder verhindert, oder die Leckage wird im Zwischenraum aufgefangen und in einem Kreislauf sicher abgeführt. In der Zwischenkammer befindet sich ein Hilfsfluid, eine Flüssigkeit oder ein Gas.



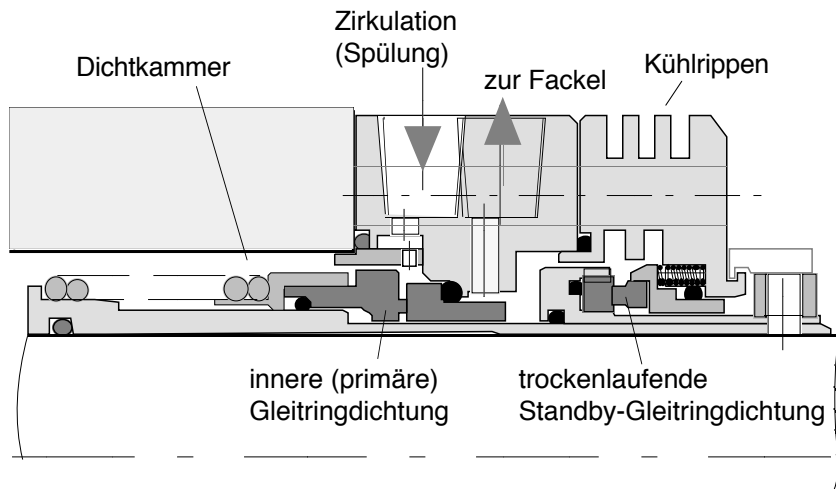
Im Folgenden werden zunächst Doppelgleitringdichtungen mit *Flüssigkeit in der Zwischenkammer* besprochen. Die Flüssigkeit wird *Vorlageflüssigkeit* (buffer-fluid) genannt, wenn ihr Druck *kleiner* ist als der Prozeßdruck (= Druck des Produkts vor der inneren Gleitringdichtung). Sie wird *Sperrflüssigkeit* (barrier-fluid) genannt, wenn ihr Druck *größer* ist als der Prozeßdruck. Die Gleitringdichtungen können gleichgerichtet orientiert sein (*Tandem-Anordnung*) oder entgegengesetzt, nämlich *Rücken-an-Rücken* (back-to-back) oder *Fläche-zu-Fläche* (face-to-face). Diese Anordnungen sind in den folgenden Bildern verdeutlicht.

Bild 9 zeigt eine im Tandem angeordnete Cartridge-Doppelgleitringdichtung mit einer Vorlageflüssigkeit in der Zwischenkammer, die gegebenenfalls die Leckage der Primärdichtung ausspült sowie die Gleitringdichtungen kühlt oder heizt und schmiert. Der Aufwand für die Umwälzung und weitere Behandlung der Vorlageflüssigkeit ist beträchtlich und die dazu notwendigen Einrichtungen bilden ein zusätzliches Zuverlässigkeitsrisiko. Die Anwender sind deshalb an Doppel-Gleitringdichtungen ohne Hilfsflüssigkeit interessiert. Eine Möglichkeit ist eine trockenlaufende Standby-Gleitringdichtung am Ende der Zwischenkammer. Eine zweite, elegantere Lösung ist, ein inertes Sperrgas in die Zwischenkammer einzuleiten und nach außen mit einer gasgeschmierten Gleitringdichtung abzudichten. Die erstgenannte Möglichkeit wird nachfolgend vorgestellt, Sperrgasdichtungen werden später behandelt.



**Bild 9**  
**Cartridge-Doppelgleitringdichtung**  $p_2 < p_1$

Bild 10 zeigt eine Cartridgedichtung mit einer primären Gleitringdichtung im Tandem mit einer *trockenlaufenden* entlasteten Gleitringdichtung. Um den Temperaturanstieg und den Verschleiß in Grenzen zu halten, muß die Federkraft so klein wie möglich sein, und die Gleitwerkstoffe dürfen bei Trockenlauf nur wenig verschleifen. Bei der Abdichtung flüchtiger Kohlenwasserstoffe wird die gasförmige Leckage der Primärdichtung über eine Fackelleitung abgeführt oder in einem Spezialfilter adsorbiert. Wenn die Primärdichtung ausfällt, übernimmt die Stand-by-Dichtung die Dichtfunktion und ein Warnsignal wird ausgelöst. Eine kritische



**Bild 10**  
**Cartridge-Dichtung mit trockenlaufender Standby-Gleitringdichtung**

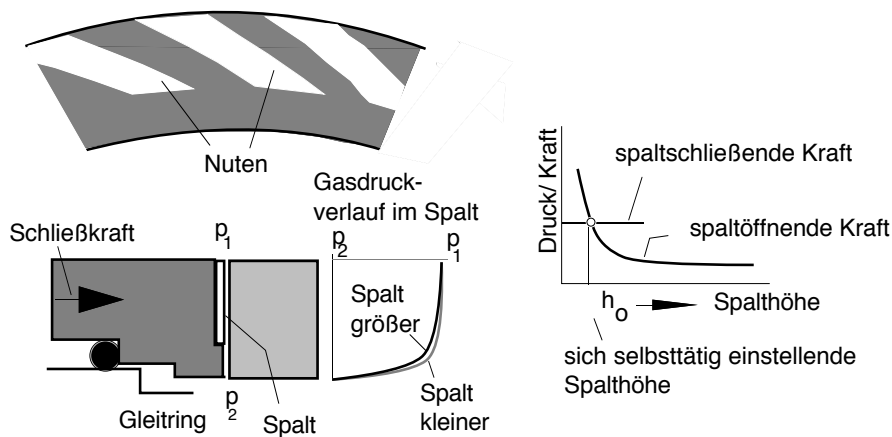
Größe ist der Temperaturanstieg im trockenlaufenden Kohlegleitring. In der Praxis wurden 25 K bei druckloser Stand-by-Dichtung und etwa 60 K bei einem Gas-Differenzdruck von 1,7 bar festgestellt. Im Versuchsbetrieb bei 1,7 bar und einer Gleitgeschwindigkeit von 20 m/s wurde eine Lebensdauer der trockenlaufenden Dichtung von ca. 1 000 Stunden erreicht.

Für die sichere Abdichtung von flüchtigen Kohlenwasserstoffen wird gefordert, daß beim Ausfall der primären Gleitringdichtung eine Standby-Dichtung unter einem Druck von 20 bar für mindestens 2 Stunden eine Leckrate von weniger als 10 ml/min aufweist. Zusätzlich darf im normalen Betrieb bei einem ständigen Druck von 2 bar (Druck der Fackelleitung) keine Gasleckage durch die Standby-Dichtung in die Atmosphäre gelangen.

### 13.8 GASGESCHMIERTE GLEITRINGDICHTUNGEN

Zur äußeren Abdichtung der Sperrkammer einer doppelwirkenden Gleitringdichtung stehen seit geraumer Zeit auch gasgeschmierte Gleitringdichtungen (Gasfilm-Gleitringdichtungen) zur Verfügung, bei denen die Gleitflächen durch einen dünnen Gasfilm stabil getrennt werden. Dies gelingt durch geeignete Kombination der *hydrostatischen* und *hydrodynamischen* Komponenten des Gasdrucks im Dichtspalt. Man spricht deshalb auch von einer *hybriden* Spaltdruckerzeugung. Die hydrostatische Komponente resultiert aus dem Druckabfall der radialen Spaltströmung, die hydrodynamische wird durch Aufstau der Schlepplströmung in den wenige Mikrometer tiefen Nuten der Spaltwände erzeugt.

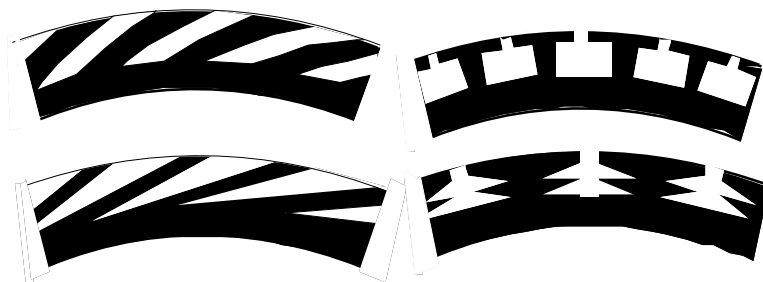
Bild 11 veranschaulicht die Wirkungsweise einer Gasfilm-Gleitringdichtung. Infolge der Druckdifferenz strömt das Gas radial durch den Spalt, in den Nuten langsamer als im engen Spalt. Deshalb fällt der hydrostatische Druck in den Nuten weniger steil als im Spalt.



**Bild 11**  
Prinzip und Funktion einer Gasfilm-Gleitringdichtung

Dieses Verhältnis wird um so ausgeprägter, je enger der Spalt ist. Bei rotierender Welle wird die tangentielle Schleppströmung in den schrägen Nuten radial umgelenkt und zum Ende der Nuten hin aufgestaut. Beide Anteile des Spaltdrucks – der hydrostatische und der hydrodynamische – nehmen zu, wenn der Spalt kleiner wird. Hingegen ist die Federkraft und, bei gleichbleibender Druckdifferenz  $p_1 - p_2$ , auch der druckbedingte Anteil der spaltschließenden Kraft konstant. Da der axial bewegliche Gleitring notwendigerweise eine Gleichgewichtslage einnehmen muß bei der die spaltöffnenden und die spaltschließenden Kräfte gleich sind, stellt sich – bei jeder Wellendrehzahl – eine ganz bestimmte Spalthöhe ein. Steigt die Wellendrehzahl, so muß der Spalt größer werden, weil andernfalls der Spaltdruck zunähme, was aber das Kräftegleichgewicht nicht zuläßt.

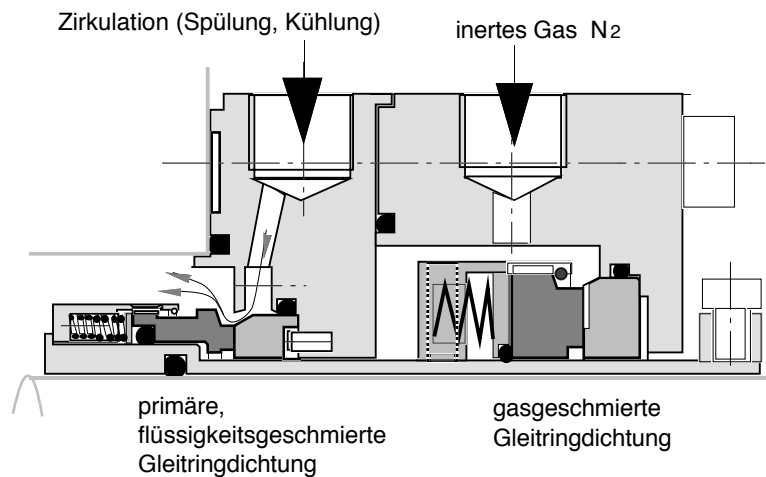
Bild 12 zeigt verschiedene in der Praxis übliche Formen der hydrodynamisch wirksamen Nuten von Gasfilm-Gleitringdichtungen. Die beiden Strukturen auf der linken Seite sind nur in einer Drehrichtung wirksam, die anderen wirken in beiden Drehrichtungen, erzeugen dafür aber einen geringeren hydrodynamischen Druck.



**Bild 12** Verschiedene Nutformen von Gasfilm-Gleitringdichtungen

Die folgenden Bilder zeigen industrielle Ausführungsformen von Sperrgasdichtungen mit Gasfilm-Gleitringdichtungen.

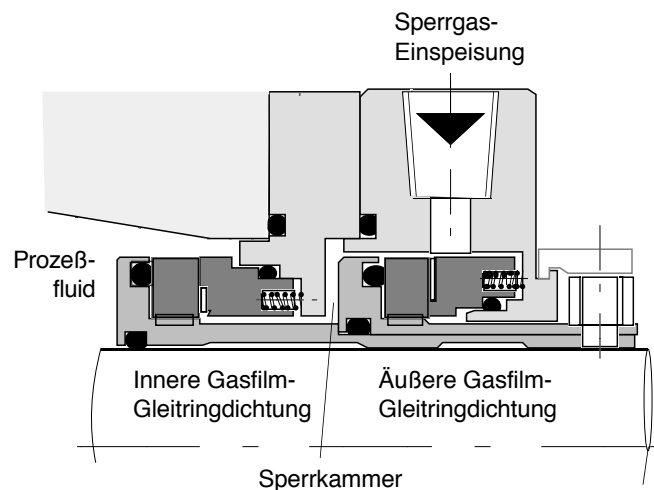




**Bild 13 Cartridgegedichtung mit produktgeschmierter primärer Gleitringdichtung und äußerer Gasfilm-Gleitringdichtung**

Bild 13 zeigt eine Cartridgegedichtung für Flüssigkohlenwasserstoffe. Der SiC-Gleitring der primären Gleitringdichtung ist mit Schmier- und Rückförderstrukturen ausgestattet (s. *Kap.12, S.45*). Nach außen dichtet eine gasgeschmierte Gleitringdichtung ab, die bei 1...1,5 bar Überdruck mit Stickstoff gespeist wird.

Bild 14 zeigt eine Cartridge-Sperrgasdichtung mit zwei Gasfilm-Gleitringdichtungen. Der Sperrgasdruck wirkt von innen auf die prozeßseitige Gleitringdichtung. Dies verhindert ein fließkraftbedingtes Eindringen von Prozeßfluid in den Spalt der inneren Gasfilm-Gleitringdichtung.



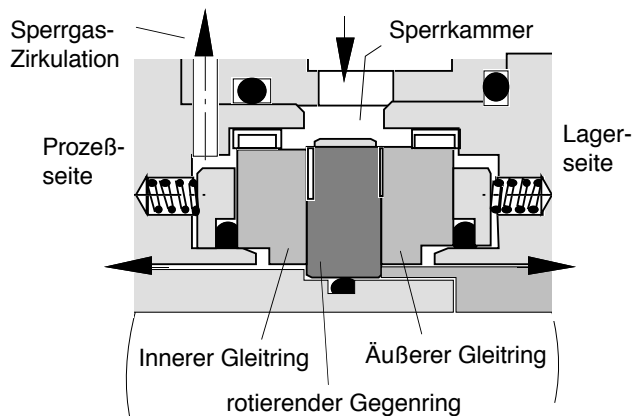
**Bild 14 Sperrgasdichtung mit zwei Gasfilm-Gleitringdichtungen**

Das ständige Einströmen von (einigen Litern pro Stunde) Sperrgas (z.B. Stickstoff) in den Prozeß muß zulässig sein. Wesentlich mehr Sperrgas (einige Liter pro Minute) entweicht durch die äußere Gasfilm-Gleitringdichtung in die Atmosphäre. Die in Bild 14 gezeigte Dichtung



bleibt auch beim Ausfall der Sperrgasversorgung kurzzeitig funktionsfähig, da infolge der speziell geformten O-Ring-Nut die innere Gleitringdichtung auch vom Prozeßdruck allein zugehalten wird (s. Kapitel 12, S.18 „Umkehrdruck“).

Bild 15 zeigt schließlich eine kompakte Sperrgas-Gleitringdichtung, bei der zwei gleiche, *face-to-face* angeordnete Gleitringe vom Sperrgasdruck an den rotierenden Gegenring angepreßt werden. Der Sperrgasdruck ist höher als der Prozeßdruck und wirkt von außen auf die Gleitringe. Zur Kühlung zirkuliert ständig ein Sperrgasstrom durch die Sperrkammer. In beide Stirnflächen des rotierenden Gegenrings sind hydrostatisch-hydrodynamisch wirksame Nuten gemäß Bild 12 eingearbeitet.



**Bild 15**  
**Sperrgasdichtung mit**  
**zwei gasgeschmierten**  
**Gleitringdichtungen**

## 13.9 LITERATUR

*Diese Literaturliste ergänzt die Liste "12.12. LITERATUR " von Kapitel 12,S.50...51.*

*Schöppllein, W., Zeus, D.: Hochbelastete Gleitringdichtungen – öl- und gasgeschmiert, für Turboverdichter. VDI-Bericht Nr. 706, 1988.*

*Glienecke, J., Launert, A., Schlums, H.: Gasgeschmierte Axialgleitringdichtungen für hohe p·v-Werte, Konstruktion 46 (1994).*

*Nosowicz, J. et al.: Gasgeschmierte Gleitringdichtungen, Feodor Burgmann (Hsg.), Wolfratshausen, 1997, ISBN 3-929 682-15-X*

*anon.: LaserFace Technology, John Crane UK (Hsg), Manchester, 2001.*



### **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.