



**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>



# 10

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

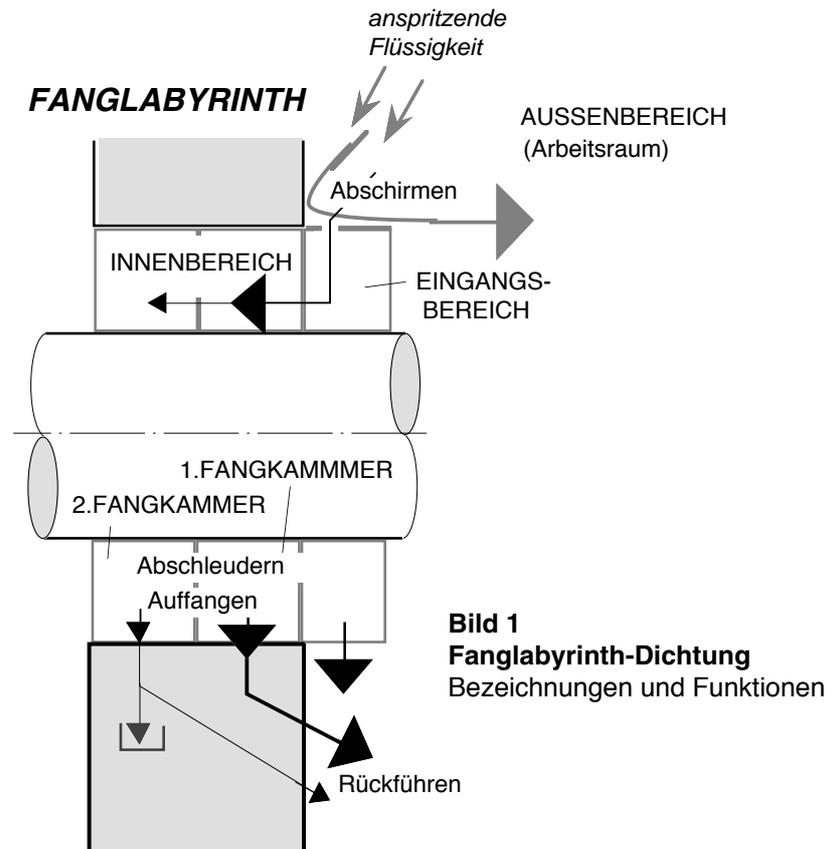
## Fanglabyrinth-Dichtungen

Grundlagen, Anwendungsbereiche, Anforderungen, Wirkungsweise: Eingangsbereich, verdeckter Spaltengang. Innenbereich: Gestaltung der Fangkammern, Rückführung der Flüssigkeit. Luftdurchzug. Konstruktion von Fanglabyrinth-Dichtungen, Refundo-Labyrinth von F.Wankel, Fanglabyrinth für Werkzeugmaschinen-Spindeln, bauraumsparende Fanglabyrinth, Sperrluftdichtungen. Literatur.

### 10.1 EINFÜHRUNG

Viele Wellendurchtrittsstellen sind nicht überflutet. Sie werden entweder mit Flüssigkeitsstrahlen bespritzt oder bisweilen schwallartig überspült. Bei kleiner Wellendrehzahl, beispielsweise in Waschanlagen, werden zur Wellenabdichtung meist berührende Elastomer-Lippendichtungen verwendet. Bei hoher Umfangsgeschwindigkeit, bei starker Verschmutzung der abzudichtenden Flüssigkeit oder bei zeitweiligem Trockenlauf versagen jedoch berührende Lippendichtungen durch Verschleiß oder Überhitzung, und Gleitringdichtungen sind oft zu teuer. Oft erwärmen sich infolge der Dichtungsreibung die angrenzenden Bauteile und die Funktion des abzudichtenden Aggregats wird gestört. Dies trifft besonders auf Präzisions-Werkzeugmaschinen zu, bei denen die Arbeitsgenauigkeit schon durch eine geringe Temperaturzunahme beeinträchtigt wird. Deshalb werden die Werkstücke und die Spindelaustrittsstellen mit wässrigen Kühlschmierstoffen intensiv bespritzt. Es darf jedoch kein Wasser in die Spindellager eindringen, da sonst hohe Folgeschäden entstehen.

Die schnell laufenden Spindeln moderner Werkzeugmaschinen müssen deshalb mit zuverlässigen, reibungsarmen und verschleißfreien Elementen abgedichtet werden. Hierfür eignen sich besonders Fanglabyrinth-Dichtungen. In der Regel sind sie integrierende Bestandteile des Spindelstocks, müssen also vom Konstrukteur der Werkzeugmaschine gestaltet werden. Fanglabyrinth sind jedoch auch in anderen Bereichen anwendbar, wo nicht überflutete Wellendurchtritte langfristig wartungsfrei abzudichten sind, beispielsweise bei Kreiselpumpenlagern oder in Windkraftanlagen.



## 10.2 ANFORDERUNGEN UND WIRKUNGSWEISE

Fanglabyrinth sind berührungslose Dichtungen. Sie bestehen aus einer Reihe hintereinandergeschalteter Spalte und Fangkammern. Die Spalte drosseln den Impuls der Flüssigkeit. In den Fangkammern wird die Flüssigkeit aufgefangen, gesammelt und abgeleitet. Fanglabyrinth müssen bei stillstehender und bei rotierender Welle tropffrei dicht sein. Ein wirkungsvolles Fanglabyrinth erfordert einen hinreichend großen Bauraum!

Bild 1 veranschaulicht schematisch eine Fanglabyrinth-Dichtung. Vom *Außenraum* (Arbeitsraum) her spritzt betriebsbedingt Flüssigkeit auf den *Eingangsbereich* der Dichtung. Dieser muß so *abgeschirmt* werden, daß keine Flüssigkeitsstrahlen den Spalteingang direkt treffen können. Im Eingangsbereich wird die anspritzende Flüssigkeit passiv abgewiesen und aktiv abgeschleudert. Flüssigkeit, die diese Abschirmung überwindet, dringt, durch Spalte gedrosselt, in den *Innenbereich* vor, der aus einer oder mehreren *Fangkammern* besteht. In jeder Fangkammer wird am Rotor haftende Flüssigkeit *abgeschleudert*, im Gehäuse *aufgefangen* und über Kammerwände und Fangrinnen in Rücklaufkanäle geleitet. Von dort wird sie von der Schwerkraft entweder in den Außenraum oder in einen anderen Auffangraum *rückgeführt*.



Fanglabyrinth-Dichtungen sind in aller Regel keine käuflichen Bauteile. Vielmehr sind sie in das abzudichtende Aggregat zu integrieren, beispielsweise in den Spindelkopf einer Werkzeugmaschine. Anders als bei Gleitringdichtungen – bei denen der Anwender sich auf den Dichtungshersteller verläßt und nur die wichtigsten Anwendungsrichtlinien kennen muß – ist bei Fanglabyrinth-Dichtungen der Konstrukteur der Maschine auch der Konstrukteur der Dichtung, das heißt, er muß alle Details des Dichtsystems kennen und beherrschen. Die folgenden Ausführungen sind deshalb als Grundzüge der Konstruktion von Fanglabyrinth-Dichtungen zu verstehen. Ausführlichere Darstellungen findet man bei *Haas (1986)* und *Fritz et.al.(1991)*.

### 10.3 DER EINGANGSBEREICH

Der Spalteingang wird gegen ein direktes Auftreffen anspritzender Flüssigkeitsstrahlen abgeschirmt, Bild 2. Der den Spalteingang umgebende Bereich ist so gestaltet, daß die ankommende Flüssigkeit vom Spalteingang ferngehalten wird, das heißt, zum Spalteingang kann nur Flüssigkeit gelangen, die vorher reflektiert oder umgelenkt, also abgebremst wurde. Vom Außenbereich her gesehen ist der Spalteingang durch einen zum Gehäuse vorspringenden Rand des Rotors verdeckt. Eine Fangrinne mit Krempe hält die entlang der Gehäusestirnwand strömende Flüssigkeit vom Spalteingang fern. Der Rand des Rotors und die Krempe der Fangrinne sind am Spalteingang bündig. Dadurch wird verhindert, daß am Spalteingang vorbeiströmende Flüssigkeit in den Spalt gelenkt wird. Flüssigkeit, die in den Spalt eindringt, wird in engen Spalten durch die Wandreibung passiv abgebremst (gedrosselt). Die rotierende Wand eines Stirnflächenspalt pumpst durch Fliehkraft die Flüssigkeit aktiv zurück.

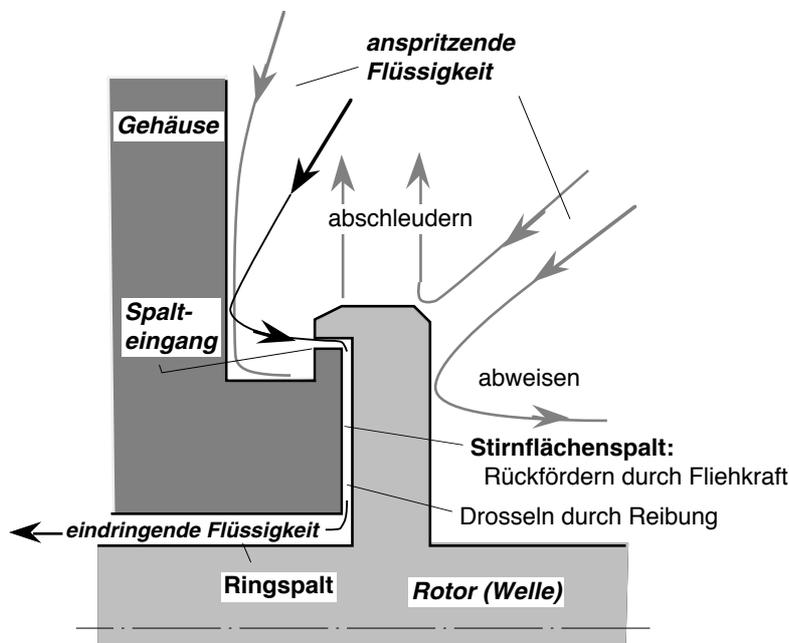
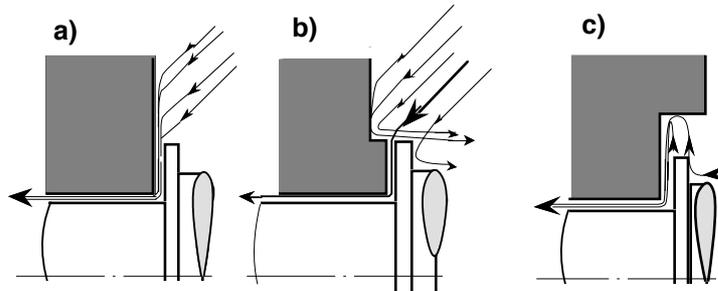


Bild 2 Eingangsbereich einer Fanglabyrinth-Dichtung



Bild 3 zeigt einige Fehler bei der Gestaltung des Eingangsbereichs. Wenn eine Spaltwand sich über den Spaltanfang hinaus in den Außenraum erstreckt, Bild 3(a), wird anspritzende Flüssigkeit unmittelbar in den Spalt gelenkt. Bild 3(b) zeigt eine verbesserte Form mit abgesetzter Gehäusewand und bündigem Spritzring. Jedoch kann hier Flüssigkeit noch direkt in den Spalt eingang spritzen. Ganz ungünstig ist eine den Spritzring umgebende Gehäusewand, die radial abgeschleuderte Flüssigkeit in den Spalt lenkt.



**Bild 3 Fehler bei der Gestaltung des Eingangsbereichs**

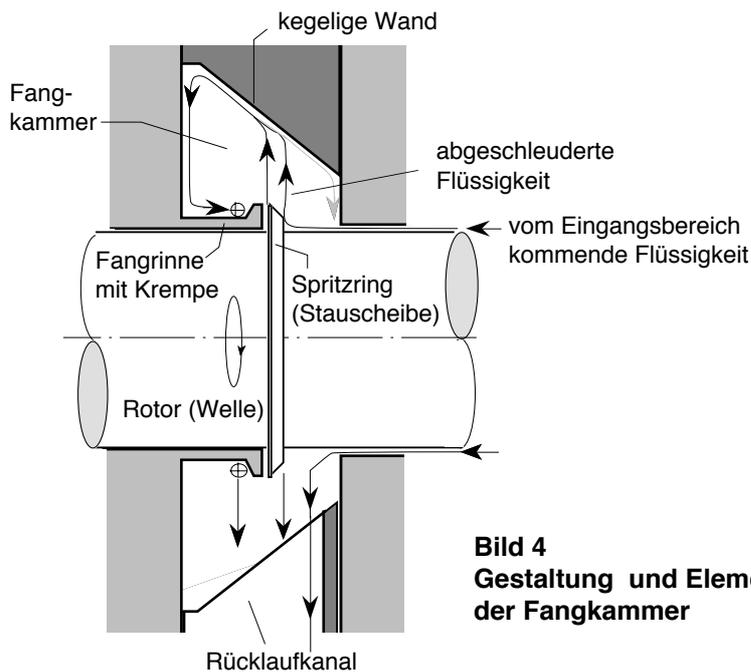
## 10.4 DER INNENBEREICH

### *Gestaltung der Fangkammern*

Flüssigkeit, die den Eingangsbereich überwunden hat, gelangt in eine Fangkammer. Die wesentlichen Gestaltungsmerkmale und Funktionen einer Fangkammer sind in Bild 4 schematisch dargestellt: Im mittleren Bereich der Fangkammer befindet sich auf dem Rotor ein radial ca. 2...3 mm hoher, schmaler Ring (Stauscheibe, Spritzring).

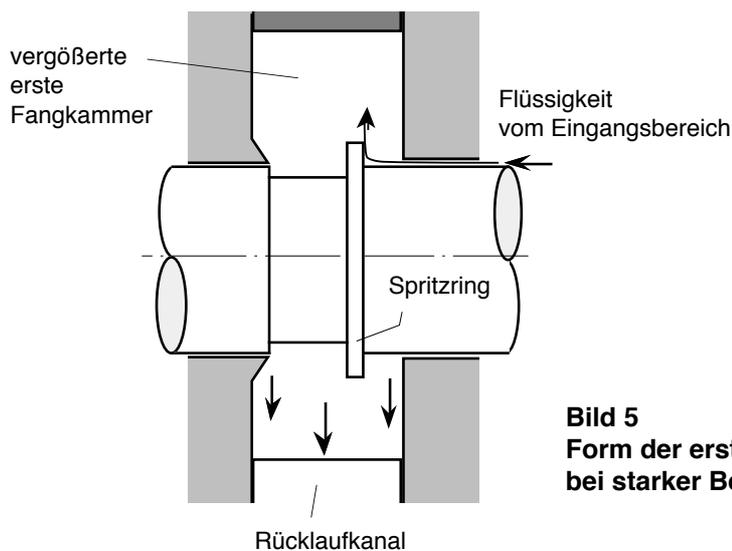
Bei stillstehender Welle tropft die Flüssigkeit von diesem Ring nach unten ab, bei rotierender Welle wird sie radial nach außen auf die Fangkammerwand geschleudert. Damit die Flüssigkeit beim Aufprall nicht zerstäubt oder teilweise auf den Rotor zurückprallt, ist die auffangende Fangkammerwand kegelig. Abströmseitig ist die Welle umgeben von einer zylindrischen Fangrinne, deren Rand zusammen mit der Stirnfläche des Spritzrings den Ausgangsspalt der Fangammer bildet. Der Kegelwinkel der Fangkammerwand muß genügend groß sein, so daß nach dem Stillstand der Welle keine Flüssigkeit von oben in den Ausgangsspalt tropft. Je ein kegeliges Rand des Spritzrings und der Fangrinne verhindern, daß anhaftende Flüssigkeit bei ruhender Welle in den Ausgangsspalt läuft.

Wenn sehr viel Flüssigkeit mit hoher Geschwindigkeit auf die Dichtung spritzt, werden zwei – im Extremfall auch drei – Fangkammern vorgesehen. Falls bei stillstehender oder bei langsam drehender Welle die erste Fangkammer überflutet wird, tritt Flüssigkeit in die zweite Kammer über. Bei hoher Wellendrehzahl können auch wirbelnde Tröpfchen und Flüssigkeitsschaum in die folgende Kammer gelangen.



**Bild 4**  
**Gestaltung und Elemente**  
**der Fangkammer**

Ist bei starker Bespritzung damit zu rechnen, daß zeitweilig viel Flüssigkeit in die *erste* Fangkammer gelangt, ist diese so groß wie möglich auszuführen, Bild 5. Die Auffangfläche dieser ersten Fangkammer kann zylindrisch ausgeführt werden. Anstatt einer abströmseitigen Fangrinne genügt hier – bündig mit einem Wellenabsatz – ein kleiner kegelförmiger Gehäusevorsprung. Weitere Fangkammern sind jedoch unbedingt nach den in Bild 4 dargestellten Richtlinien zu gestalten.



**Bild 5**  
**Form der ersten Fangkammer**  
**bei starker Bespritzung**

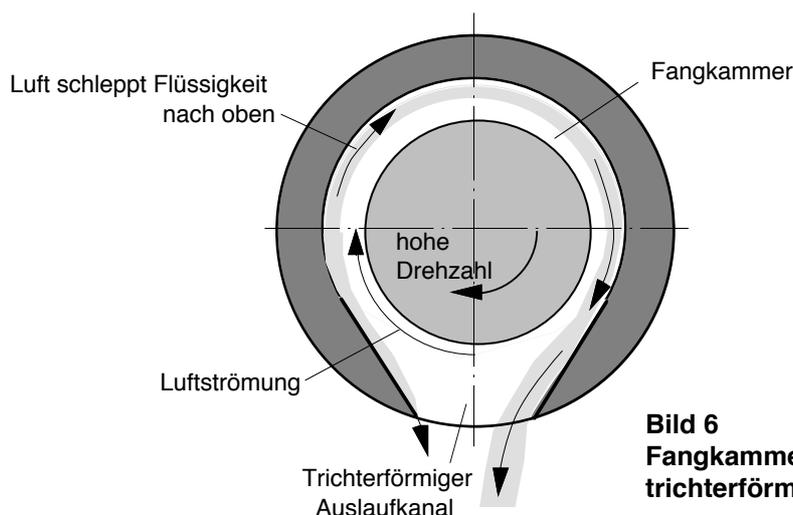


Für den Übergangsbereich von der ersten zur zweiten Fangkammer gelten dieselben Gestaltungsregeln wie für den Eingangsbereich. Zumindest ein Teil des Übergangspalts zwischen den Fangkammern sollte eine rückfördernde Stirnfläche aufweisen. In der Regel gelangt allenfalls unter ungünstigen Bedingungen Flüssigkeit in die zweite Fangkammer.

Vor allem bei hoher Wellendrehzahl können dünne Flüssigkeitsfilme von Luftströmungen – wie Wassertropfen an der Windschutzscheibe – verblasen werden. Eine Fangrinne über dem Ausgangsspalt der letzten Fangkammer ist deshalb unbedingt erforderlich. Die Krempe dieser Fangrinne verhindert den Austritt von Flüssigkeit aus der letzten Fangkammer und bildet damit eine wichtige Leckagebarriere. In der letzten Fangkammer sollte der Ausgangsspalt zwischen der Fangrinnenkrempe und dem rotierenden Spritzring (Bild 4) nicht kleiner als 1 mm sein. Damit vermeidet man die Bildung von „Flüssigkeitsbrücken“, die sich adhäsiv über den Spalt spannen und nach dem Stillsetzen des Rotors als Leckage nach innen gelangen können.

### ***Rückführung der Flüssigkeit aus den Fangkammern***

In den Fangkammern fließt aufgefangene Flüssigkeit durch die Schwerkraft nach unten, sie wird aber auch durch induzierte Luftströmungen beeinflusst, Bild 6. Bei hoher Wellendrehzahl kann die Wirkung der Luftströmung örtlich überwiegen, das heißt, die Flüssigkeit wird auf einer Seite nach oben getrieben und gelangt erst auf der anderen Seite nach unten. Der tiefste Bereich jeder Fangkammer wird über einen Rücklaufkanal großen Querschnitts mit dem Außenraum verbunden. Bohrungen von der Größe der Kammerbreite sind zu oft klein, besser sind breite Auslaufschlitze. Der Übergang vom ringförmigen Teil der Fangkammer zum Auslaufschlitz sollte trichterförmig angeschrägt sein.



**Bild 6**  
**Fangkammer mit**  
**trichterförmigem Auslauf**

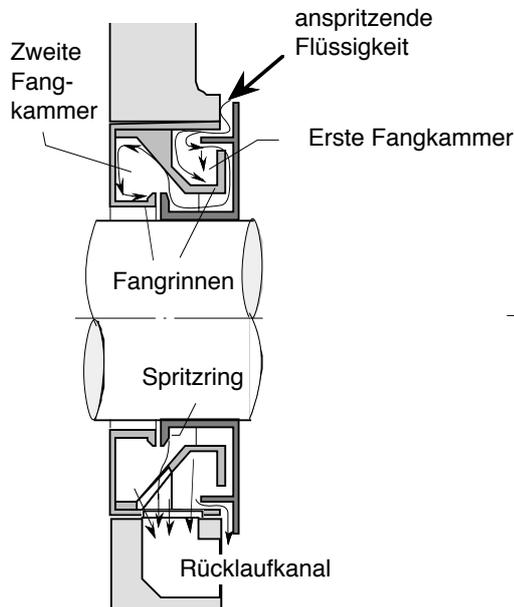


## 10.5 KONSTRUKTION VON FANGLABYRINTH-DICHTUNGEN

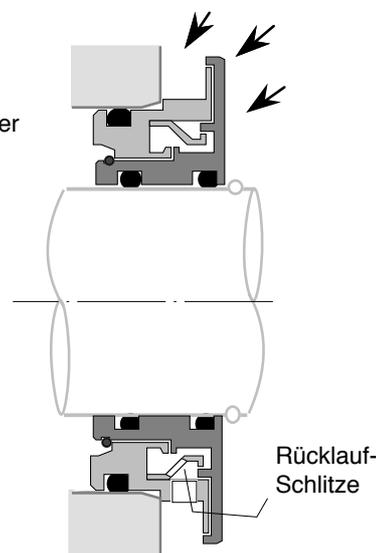
### “Refundo-Labyrinth” von Felix Wankel

Das Fachwissen über die zweckmäßige Gestaltung von Fanglabyrinth-Dichtungen ist nicht neu. Bereits um das Jahr 1950 entwickelte der Motorenerfinder Felix Wankel sogenannte “Refundo-Fangrinnen-Labyrinthringe”. Er analysierte theoretisch und im Experiment die Bewegung der Flüssigkeit in den Fangkammern bei rotierender und bei stillstehender Welle. Bild 7 zeigt eine der von Wankel entworfenen Gestaltungsvarianten. Mit Ausnahme des verdeckten Spalteingangs enthält diese Dichtung bereits alle wesentlichen Merkmale eines modernen Fanglabrynth. Bis in die achtziger Jahre lassen hingegen die meisten in der Fachliteratur beschriebenen und in der Praxis angewendeten Schutzlabrynth erkennen, daß Wankels Gestaltungsrichtlinien den Konstrukteuren unbekannt waren oder nicht von ihnen genutzt wurden.

Bild 8 zeigt eine steckbare Lagerdichtung auf der Basis von Wankels Konstruktion, ergänzt durch einen verdeckten Spalteingang und eine äußere Fangrinne. Die Baueinheit wird durch die Haftreibung von O-Ringen im Gehäuse und auf der Welle gehalten und das Rotorteil zusätzlich axial gesichert. Anwendungsgebiete sind unter anderem Kreiselpumpenlager, Getriebe und Werkzeugmaschinen.



**Bild 7**  
"REFUNDO -Fangrinnenlabyrinth"  
nach Felix Wankel (1950)

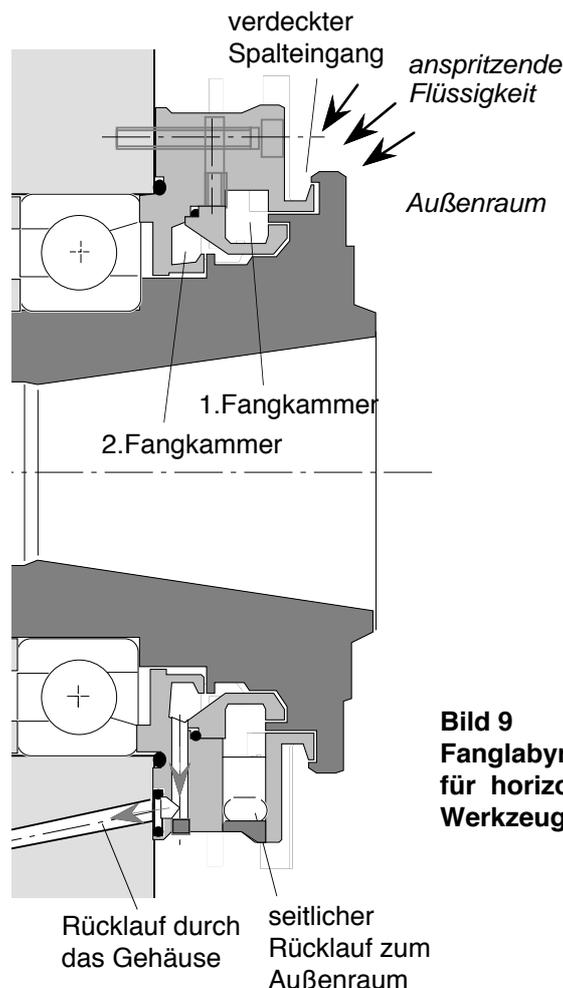


**Bild 8**  
Fanglabyrinth als steckbare  
Lagerdichtung



### Fanglabyrinth für Werkzeugmaschinen-Spindel

Bild 9 zeigt eine moderne Fanglabyrinth-Dichtung für Werkzeugmaschinen-spindeln, bei denen das Werkstück intensiv mit Kühlschmierstoff bespritzt wird. Dabei treffen Flüssigkeitsstrahlen vom Außenraum her mit zum Teil sehr hoher Geschwindigkeit auf den Eingangsbereich. Die Dichtung ist nach den oben erläuterten Konstruktionsregeln gestaltet. An den Eingangsbereich mit verdecktem Eingangsspalt schließen sich zwei Fangkammern an. Die geräumige erste Fangkammer hat unten einen seitlich austretenden Rücklaufschlitz. Damit wird vermieden, daß von vorn kommende Flüssigkeitsstrahlen durch den Ablauf in die erste Fangkammer eindringen. Wenn bei extrem starker Bespritzung die erste Fangkammer zeitweilig überflutet wird, dringt Flüssigkeit in die zweite Fangkammer vor. An der Ringkante des Rotors tropft oder spritzt die Flüssigkeit auf die kegelige Wand des Stators und gelangt von dort direkt oder über eine Fangrinne zur Ablaufbohrung. Diese geht über in einen durch das Gehäuse geführten Rücklaufkanal. Somit kann keine Flüssigkeit vom Außenraum direkt in die zweite Fangkammer gelangen. Weitere detaillierte und bewertete Gestaltungsvorschläge findet man bei *Fritz, et.al. (1991)*.



**Bild 9**  
**Fanglabyrinth-Dichtung**  
**für horizontale**  
**Werkzeugmaschinen-Spindel**



### Luftdurchzug

Da der Rotor Luft mitschleppt herrscht in den Dichtkammern eine turbulente Luftströmung und oft entsteht dabei ein Luftzug durch die Dichtung. Eine Abstufung des Rotors bewirkt einen Luftdurchzug zum größeren Durchmesser hin. Die durchziehende Luft kann Flüssigkeitsnebel oder Staubpartikel transportieren und dadurch - je nach Zugrichtung - zu einer Umweltbelastung durch austretenden Ölnebel oder zu Funktionsstörungen durch eintretenden Staub führen. Wird der Luftdurchzug hauptsächlich von den rotierenden Teilen der Dichtung erzeugt, so steht seine Richtung aufgrund der Gestalt der Dichtung fest. Beeinflussen jedoch angrenzende Rotorteile – beispielsweise Kupplungen, Zahnräder, Spannfutter usw. – den Luftstrom zusätzlich, so muß eventuell die Richtung des Luftdurchzugs experimentell ermittelt werden. Ein geringer Luftdurchzug läßt sich bei berührungsfreien Dichtungen meist nicht vermeiden. Oft kann er toleriert werden und manchmal ist er sogar erwünscht, beispielsweise wenn er Kondenswasser trocknet. Eventuell kann ein Luftdurchzug durch geeignete Gestaltung des Rotors nahezu unterbunden werden.

### Fanglabyrinth mit zusätzlicher Berührungsdichtung

Wenn das Eindringen von Dampf oder fein vernebelter Flüssigkeit vor allem bei Wellenstillstand oder kleiner Drehzahl ein Problem ist, besteht die Möglichkeit, ein Fanglabyrinth mit einer berührenden Dichtung zu kombinieren die bei höherer Drehzahl abhebt. Bild 10 zeigt zwei derartige Anordnungen, die insbesondere für kleine Bauräume geeignet sind, beispielsweise in Mehrspindel-Bohrköpfen oder Bearbeitungswerkzeugen von NC-Maschinen. Dem

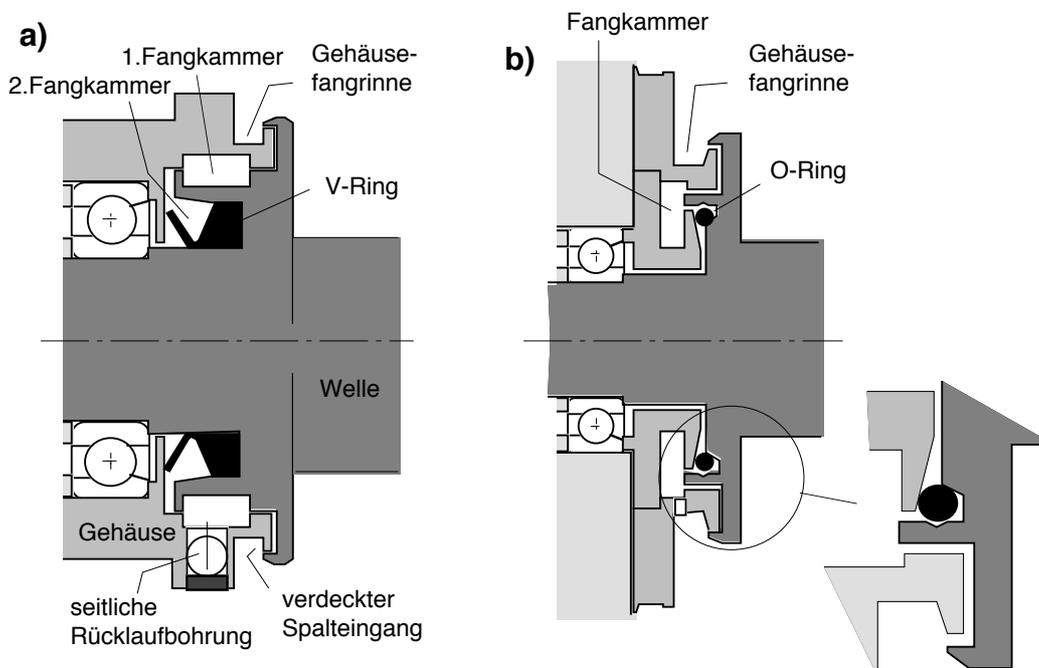


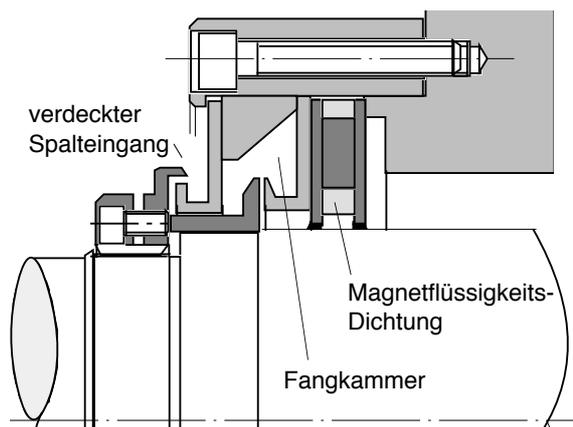
Bild 10 Kompakte Fanglabyrinth-Dichtungen mit zusätzlicher Berührungsdichtung



obligatorischen, verdeckten Spalteingang mit Gehäusefangrinne folgen eine oder zwei Fangkammern. Bei der Ausführung nach Bild 10(a) bildet ein berührender Elastomer-V-Ring die Fangrinne der zweiten Kammer, deren Ablaufbohrungen seitlich in den Außenraum münden. Bei hoher Drehzahl bewirkt die Fliehkraft eine Verminderung der Lippenanpressung des V-Rings. Die Lippe kann schließlich völlig abheben (*Stanger et al., 1995*). Allerdings ist die „Abhebedrehzahl“ von vielen Parametern (Gestalt, Vorspannung, Aufdehnung, Härte, Quellung der Lippe) abhängig und variiert deshalb in der Praxis. Bild 10(b) zeigt ein Einkammersystem mit einem radial leicht vorgespannten Elastomer-O-Ring, der bei Wellenstillstand und bei langsam laufender Welle an je einer Kegelfläche des Stators und des Rotors anliegt. Der Konuswinkel am Rotor ist deutlich flacher als am Stator, Dadurch läuft der O-Ring mit der Welle um und gleitet am Stator. Sobald die Fliehkraft die radiale Vorspannung des O-Rings übersteigt, hebt dieser von der Welle ab und liegt nach Aufweitung um einigen Zehntel Millimeter in der Rille des überkragenden rotierenden Fangstegs an. Problematisch bei dieser Lösung ist die Erwärmung sowie der Abrieb des trockenlaufenden O-Rings, falls das Aggregat längere Zeit unterhalb der Abhebedrehzahl läuft. Auch ist die Abhebedrehzahl nicht einfach und nicht exakt zu bestimmen, da sie von der radialen Vorspannung, vom Durchmesser und von der Dichte des Elastomers abhängt.

### **Fanglabyrinth mit zusätzlicher Magnetflüssigkeitsdichtung**

Eine elegante aber wesentlich aufwendigere Methode, das Eindringen von Gas, Flüssigkeitsnebel oder Staub zu verhindern, ist die Kombination eines Fanglabyrinths mit einer Magnetflüssigkeitsdichtung, Bild 11. Magnetflüssigkeitsdichtungen sind im *Kapitel 20* beschrieben. Ein einzelner Magnetflüssigkeitsring widersteht einer Luftdruckdifferenz von mindestens 0,2 bar.



**Bild 11**  
**Wellendichtung mit**  
**Fanglabyrinth und**  
**Magnetflüssigkeitsdichtung**

## 10.6 SPERRLUFTDICHTUNGEN

Wenn der verfügbare Bauraum für eine Fanglabyrinth-Dichtung zu klein ist, oder wenn sich die Orientierung der Welle im Raum dauernd verändert, kann alternativ auch eine Sperrluftdichtung ein gesetzt werden. Die in den Bildern 12(a) und 12(b) gezeigten Anordnungen bestehen im Wesentlichen aus einem (in Bild 2 dargestellten) verdeckten Spalteingang, wobei nun zusätzlich Luft in den Stirnflächenspalt oder in den Ringspalt eingespeist wird. Der Luftstrom verzweigt sich nach innen und außen, und die Höhe des maximalen Sperrdrucks hängt ab vom eingespeisten Luftstrom und vom Strömungswiderstand der Spalte. Die nach außen strömende Luft verhindert das Eindringen von Flüssigkeit. Die Flüssigkeit gelangt nicht bis zur Stelle des Lufteintritts in den Spalt, wenn der Sperrluftdruck dort größer ist als der Staudruck der Flüssigkeit am Spaltanfang. Die Praxis hat gezeigt, daß bei einem verdeckten Spalteingang ein Luftüberdruck von weniger als 0,3 bar ausreicht. Da der Luftverbrauch mit der dritten Potenz der Spalthöhe wächst, erreicht man eine wirkungsvolle und wirtschaftliche Sperrluftdichtung, wenn die Spalthöhe kleiner als 0,1 mm ist. Prinzipiell funktioniert eine Sperrluftdichtung nur solange die Luft strömt; beim Ausfall der Sperrluft kann die Flüssigkeit bis zu den Lagern vordringen. Bei der in Bild 13(c) gezeigten Anordnung wird dies mittels einer zusätzlichen Berührungsdichtung verhindert. Die Luft tritt durch einen Kranz sehr kleiner Düsenbohrungen unter der Dichtlippe eines V-Rings ein. Wenn die Luft abgestellt ist, sind die Düsenöffnungen von der Dichtlippe verschlossen. Sobald die Luft bläst, hebt die weiche Lippe ab und die abströmende Luft erzeugt den erforderlichen Sperrdruck. Nun kann die Sperrluft bei Wellenstillstand oder auch schon bei kleiner Wellendrehzahl abgestellt werden. Eine wirtschaftliche Methode zur Herstellung des Düsenkranzes ist, einen am Außendurchmesser gerändelten Metallring in die Gehäusebohrung einzupressen und danach die Stirnfläche glatt zu bearbeiten. Im Versuchsbetrieb mit einer 30mm-Welle hob die Lippe des V-Rings bei einem Sperrluftdruck von ca. 0,4 bar über Umgebungsdruck ab, bei einem Sperrluftstrom von 5 Liter pro Minute. Bei einer Wellendrehzahl von  $9.000 \text{ min}^{-1}$  wurde die Lippe durch die Fliehkraft so entlastet, daß beim genannten Sperrluftstrom der Abhebedruck auf 0,07 bar sank.

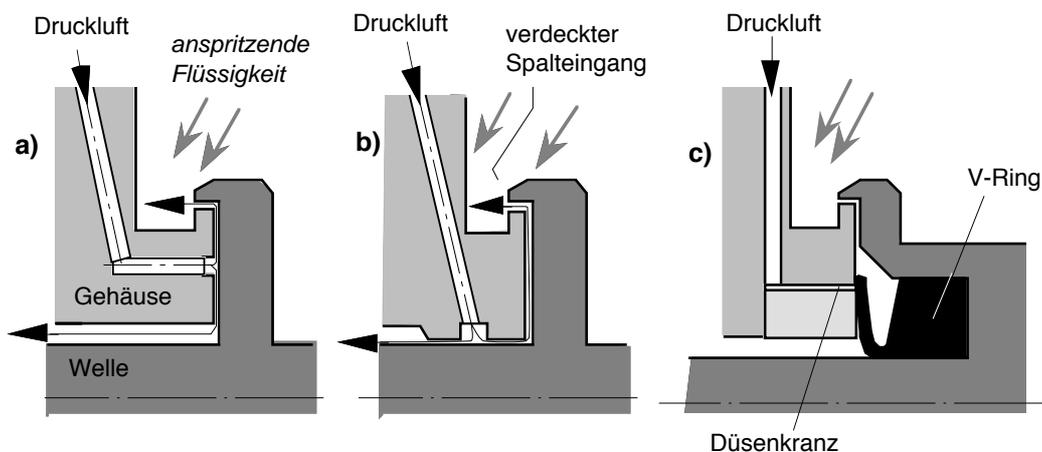


Bild 12 Verdeckter Spalteingang und Sperrluft-Einspeisung



Beachtet man die in diesem Kapitel vermittelten und zitierten Konstruktionsrichtlinien, so ist es nach dem Stand der Technik möglich, auch stark bespritzte oder zeitweilig schwallartig überspülte Wellendurchtrittsstellen bei beliebiger Lage der Wellenachse leckagefrei abzudichten.

## 10.8 LITERATURHINWEISE

*Trutnovsky, K.:* Berührungsfreie nichtschleifende Schutzdichtungen. VDI -Verlag, Düsseldorf, 1977.

*Haas, W., Müller, H.K.:* Berührungsfreie Abdichtung flüssigkeitsbespritzter Wellendurchtritte. Konstruktion 36 (1984), H. 9

*Haas, W.:* Berührungsfreie Wellendichtungen für flüssigkeitsbespritzte Dichtstellen. Diss. Universität Stuttgart 1986

*Haas, W., Müller, H.K.:* Berührungsfreie Wellendichtungen für flüssigkeitsbespritzte Dichtstellen. Konstruktion 39 (1987), H. 3

*Fritz, E., Haas, W., Müller, H.K.:* Abdichtung von Werkzeugmaschinenspindeln. Konstruktion 41 (1989), H.7

*Fritz, E.:* Abdichtung von Werkzeugmaschinenspindeln, Diss. 1991, Universität Stuttgart.

*Fritz, E., Haas, W., Müller, H.K.:* Berührungsfreie Spindelabdichtung im Werkzeugmaschinenbau, Konstruktionskatalog. Inst. für Maschinenelemente, Univ. Stuttgart, Bericht Nr. 39, 1992

*Haas, W.:* Abdichten von Spindel-Lager Systemen, in Konstruktion von Spindel-Lager Systemen für die Hochgeschwindigkeits-Materialbearbeitung. Expert-Verlag, Band 283

*Stanger, N.:* Berührungsfrei abdichten bei kleinem Bauraum, Diss., Universität Stuttgart, 1995.

*Stanger, N., Haas, W., Müller, H.K.:* Abdichtung kleiner Spindeln in Werkzeugmaschinen bei kleinem Dichtungsbaureaum und extremen Betriebsbedingungen, VDW-Forschungsberichte, A 8118/VDW 24 03, August 1995.

*Haas, W.:* Berührungsfreies Abdichten im Maschinenbau unter besonderer Berücksichtigung der Fanglabyrinth, Habilitationsschrift 1997, Universität Stuttgart.

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

*Stiegler, B., Haas, W.:* Berührungsfreie Wellendichtsysteme im Maschinenbau unter Berücksichtigung von Luftströmen, in :VDI Bericht 1579, Düsseldorf 2000, S. 161-175.

*Haas, W.:* Berührungsfreie Dichtsysteme für WEA-Getriebe, Erneuerbare Energien, 8 (2001), S.14–20.



### **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.