

**LOCTITE®**

---

# LECKAGE- FREIE FLANSCHEN

LOCTITE-KONSTRUKTIONS-  
RICHTLINIEN

Henkel



1. Einleitung.....	4
2. Fachbegriffe.....	6
3. Allgemeine Konstruktionsüberlegungen .....	8
3.1 Allgemeine Richtlinien.....	8
3.2 Grundauführung von Gehäusen.....	10
3.3 Flanschfestigkeit.....	10
3.4 Schraubenpositionierung und Schraubenabstände .....	12
3.5 Schraubenfestigkeitsklasse und Schraubenlänge.....	15
3.6 Verifizierung der Flanschauführung.....	16
3.7 Oberflächenbeschaffenheit .....	18
4. Anwendungsbereiche von FIPG-Dichtungen und deren Vorteile im Vergleich zu Feststoffdichtungen .....	22
5. Empfehlungen zur Ausführung von anaeroben FIPG-Dichtungen.....	26
6. Empfehlungen zur Ausführung von RTV-Elastomer-Dichtungen .....	28
6.1 Grundaufführung von Flanschen .....	29
6.2 Alternative Ausführung .....	32
7. Auftragung des Produkts und Montage der Verbindung.....	38
7.1 Reinigung.....	38
7.2 Auftragung.....	39
7.3 Montage .....	42
8. Wartung und Instandsetzung.....	44
8.1 Zerlegung .....	44
8.2 Reinigung.....	46
8.3 Auftragung und Montage.....	47
9. Geltungsbereich und Beschränkungen .....	48
10. Abkürzungen.....	49
11. Bibliographie .....	50
Ausgabe.....	51
Autoren.....	51

# 1. EINFÜHRUNG

Leichtbau-Ausführungen und der kontinuierliche Anstieg der Kapazität führen zu hoch beanspruchten Komponenten und möglichen Verformungen an kritischen Stellen wie Verbindungen, Dichtungsflanschen, Schraubelementen und befestigten Gehäusebereichen. Auch die Notwendigkeit einer verbesserten Umweltbeständigkeit mit der Forderung nach leakagefreien Flanschverbindungen erhöht den Schwierigkeitsgrad für die Konstrukteure.

Um den Anforderungen an Leakagefreiheit zu genügen, muss die Verbindung gemäß spezieller Richtlinien für Dichtungen ausgeführt werden. Das Ziel dieser Richtlinien besteht in der Formulierung von allgemeinen Anforderungen an die Konstruktion von Dichtungen jeder Art sowie in der Erstellung von speziellen Richtlinien für Flüssigdichtungen wie flüssig aufgetragene Dichtungen (FIPG) mit anaerob aushärtenden und bei Raumtemperatur vernetzenden RTV-Elastomer-Dichtungsstoffen.

Die Konstruktionsrichtlinien basieren auf den Ergebnissen dynamischer Ermüdungsprüfungen, der Analyse bestehender abgedichteter Verbindungen, Erfahrung sowie den Ergebnissen analytischer und numerischer Kalkulationen von Henkel<sup>2</sup> bis <sup>28</sup> sowie unabhängiger Institute<sup>1</sup>. Die allgemeinen Konstruktionsanforderungen, die im Kapitel 3 aufgeführt sind, fassen das gesamte Wissen aus drei Projekten der Universität Stuttgart, gesponsert durch die Forschungsvereinigung Antriebstechnik, deren aktiver Partner die Firma Henkel ist, zusammen.

**LOCTITE®**



## 2. DEFINITIONEN

Eine Dichtung besteht aus einem Material, das zwischen zwei durch Verbindungselemente zusammengehaltenen Flanschen positioniert ist. Dichtungen verhindern den Austritt von Flüssigkeiten oder Gasen, indem sie den Spalt zwischen den Kontaktflächen der beiden Flansche verschließen. Die Abdichtung muss über einen längeren Zeitraum intakt und leckagefrei bleiben. Die Dichtung muss beständig gegenüber dem abzudichtenden Material sein und der Anwendungstemperatur, -druck und durch Vibrationen hervorgerufenen Mikrobewegungen sowie Wärmeausdehnung und -kontraktion standhalten.

Flanschdichtungen gliedern sich in statische und dynamische Dichtungen, je nachdem, ob sich die abgedichteten Teile relativ zueinander bewegen. Eine rotierende Welle in einem Gehäuse ist ein Beispiel für ein typisches dynamisches System. Obwohl Flansche als statische Systeme eingestuft werden unterliegen sie kleinsten Mikrobewegungen, die durch Vibrationen, Temperatur- und Druckschwankungen, Stöße, Schläge oder Kraftübertragung verursacht werden.

Eine Klassifikation von statischen Dichtungen oder Abdichtungen ist in Abbildung 1 dargestellt.



**ABB. 1:**

**VERSCHIEDENE DICHTUNGSARTEN**

**FIP (Formed-In-Place – flüssig aufgetragene Dichtung)**

Dichtungen werden durch das Auftragen eines flüssigen Elastomers oder eines anaeroben Dichtungsstoffes in Form einer Raupe oder im Siebdruckverfahren und das anschließende Zusammenfügen vor der Aushärtung hergestellt. Der Dichtungsstoff wird beim Zusammenfügen zwischen den Flanschen verteilt und in Oberflächenfehler hineingepresst, so dass ein vollständiger Kontakt zwischen beiden Flächen entsteht, der dann zu einer haltbaren Dichtung aushärtet.

**CIP (Cured-In-Place – frei aufgetragene Dichtung)**

Dichtungen werden durch das Auftragen eines Elastomers in Form einer Raupe auf einen Flansch hergestellt, welches aushärtet bevor die Flansche zusammengefügt werden. Die Dichtung wird dann durch den Gegenflansch zusammengepresst, um eine Abdichtung zu erzeugen.

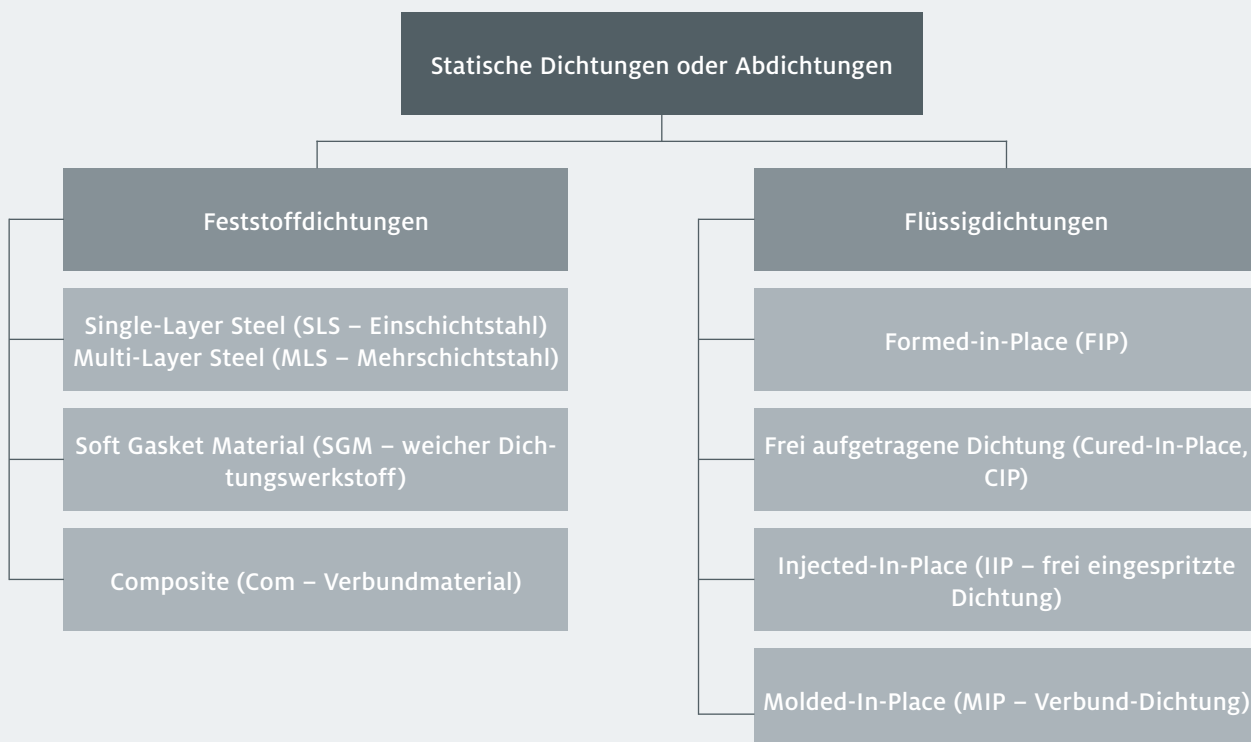
**IIP (Injected-In-Place – frei eingespritzte Dichtung)**

Dichtungen sind Flüssigdichtungen, die nach dem

Zusammenfügen der Verbindung in eine Nut zwischen den beiden Flanschoberflächen eingespritzt werden und dann aushärten.

**MIP (Molded-In-Place – Verbund-Dichtung)**

Dichtungen werden direkt auf einer der Kontaktflächen ausgeformt, üblicherweise in einer Nut.



## 3. ALLGEMEINE KONSTRUKTIONSÜBERLEGUNGEN

### 3.1. ALLGEMEINE RICHTLINIEN<sup>1</sup>

Bei der Projektierung von hochbelasteten abgedichteten Verbindungen müssen folgende Grundregeln beachtet werden:

#### **DRUCKVERTEILUNG AM FLANSCH**

**Am Flansch muss eine gleichmäßige Verteilung des Drucks innerhalb der zulässigen Grenzen gewährleistet werden, die sowohl die kritische minimale Beanspruchung der Dichtung als auch die entsprechende Druckfestigkeit des Flanschmaterials und der Dichtung berücksichtigt.**

#### **BEANSPRUCHUNG DER ABGEDICHTETEN VERBINDUNG WÄHREND DES BETRIEBS**

**Eine abgedichtete Verbindung muss so fest wie möglich sein, um Verformungen und Relativbewegungen standzuhalten.**

Neben der Einhaltung der oben aufgeführten Regeln müssen auch die nachstehenden Anforderungen an die Konstruktion von Verbindungen, die unabhängig vom Material der Dichtung gelten, erfüllt werden:

#### **FESTIGKEIT DER DICHTUNGSFLANSCH**

**Die Festigkeit eines Dichtungsflansches wird durch die Druckverteilung an der Dichtstelle angezeigt. Die Festigkeit eines Dichtungsflansches muss korrekt gewählt werden, so dass in allen Bereichen der Dichtung die kritische Dichtungsspannung erreicht werden kann.**

#### **SCHRAUBENVORSPANNUNG**

**Zur Minimierung des Verlustes der ursprünglichen Schraubenspannung durch Relaxation der Dichtung muss die erforderliche Übereinstimmung der Flansch- und der Schraubeneigenschaften (Vorspannungsreserven) gewährleistet werden.**



### **BERÜCKSICHTIGEN SIE EINE UNTERSCHIEDLICHE WÄRMEAUSSDEHNUNG.**

Auf Grund der unterschiedlichen Wärmeausdehnung von Aluminiumgehäusen mit Schraubenschrauben kann eine kühle Umgebung eine stärkere Schrumpfung des Aluminiumflansches und somit eine Entspannung des Flansches und der Dichtung herbeiführen. In diesem Fall wird der minimale Flanschdruck, der für eine leckagefreie Verbindung erforderlich ist, nicht erreicht. Hohe Temperaturen können eine gegensätzliche Wirkung haben und somit die Beanspruchung der Schrauben und der Dichtung erhöhen. In diesem Fall stellen die Streckgrenze der Schrauben und die Druckfestigkeit des Flansches und der Dichtung die limitierenden Faktoren dar. Falls möglich, sollten die Schrauben und das Gehäuse den gleichen Wärmeausdehnungskoeffizient haben.

### **SPANNUNG UND DEHNUNG EINER ABGEDICHTETEN VERBINDUNG DURCH ÄUSSERE KRÄFTE**

Wenn das gesamte Gehäuse als ein Konstruktionselement ausgeführt ist, sollte die abgedichtete Verbindung möglichst weit entfernt von der Stelle, wo die Kräfte auf das Gehäuse einwirken, positioniert werden.

### **VERTEILUNG DER DRUCKSPANNUNG IN DEN DICHTUNGSFLANSCHEN**

Zur optimalen Verteilung der Schraubenspannung entlang eines Flansches zum Mittelpunkt zwischen den Schrauben hin, muss sich die Druckfläche der Schraubenköpfe möglichst weit entfernt von der Dichtungsfläche befinden. Befindet sich die Dichtungsfläche in der Mitte der effektiven Schraubenlänge (siehe Abbildung 7), ist die Verteilung der Druckspannung im Gehäuse optimal. Damit eine gleichmäßige Verteilung der Druckspannung in der gesamten Breite des Flansches gewährleistet wird, dürfen die theoretischen geraden Verbindungslinien zwischen den Schrauben (siehe Abbildung 4 und Abbildung 5) von der Mittellinie der Dichtung nicht wesentlich abweichen.

### **ANPASSUNG DER FLANSCHBREITE AN DIE VERTEILUNG DER DRUCKSPANNUNG**

Die Stützfläche einer Verbindung sollte im Bereich der Schrauben vergrößert und im Mittelpunkt zwischen den Schrauben verkleinert werden, um eine gleichmäßigere Verteilung der Druckspannung in der abgedichteten Verbindung zu erwirken.

## 3. ALLGEMEINE KONSTRUKTIONSÜBERLEGUNGEN

### 3.2. GRUNDAUSFÜHRUNG VON GEHÄUSEN<sup>1</sup>

Bei der Ausarbeitung eines geeigneten Dichtungskonzepts für ein Gehäuse sollten folgende Grundregeln zur Ausführung von Gehäusen beachtet werden:

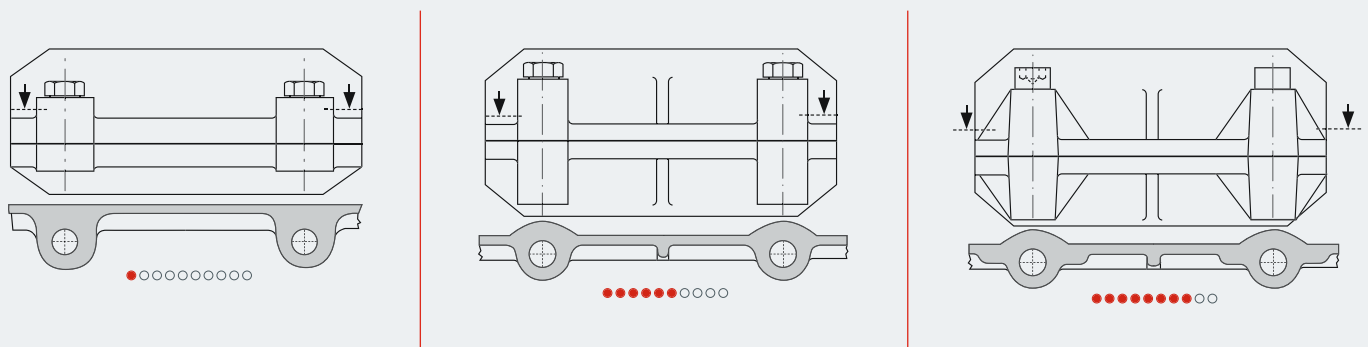
- Die Gehäuseöffnungen sollten klein und sphärisch sein
- Für die Dichtungsflansche sollten dieselben Werkstoffe verwendet werden
- Man sollte versuchen, eine gleichmäßige Temperaturverteilung zu erzielen

### 3.3. FLANSCHFESTIGKEIT<sup>1</sup>

Die Betriebssicherheit einer abgedichteten Verbindung kann durch Veränderung der Flanschfestigkeit wesentlich beeinflusst werden. Die Verteilung der Druckspannung im Dichtspalt und im Flansch zwischen dem Schraubenkopf und dem Dichtspalt zeigt die Festigkeit der Verbindung an. Abbildung 2 stellt drei mögliche Ausführungen von Flanschen sowie deren Einfluss auf die Festigkeit der Konstruktion dar.

#### ABB. 2

**Beurteilung der Flanschausführungen in Bezug auf die Verteilung der Druckspannung (qualitativ), Verstärkungselemente und Vorsprünge an den Schraubenstellen - beste Lösung unten eins.<sup>1</sup>**

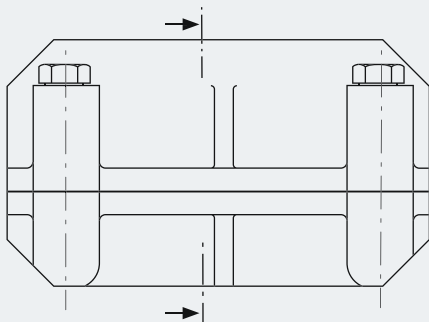


Je niedriger die Flanschfestigkeit, desto schwerer kann der erforderliche minimale Oberflächendruck in der Mitte zwischen zwei Schrauben gewährleistet werden. Abbildung 3 wurde anhand der Ergebnisse von externen Forschungen<sup>1</sup> erstellt und zeigt den Einfluss der Flanschfestigkeit auf die Verwendung von statischen Dichtungen an. Weiche Dichtungsmaterialien und nicht aushärtende Flüssigdichtungen können nur an Flanschen mit der erforderlichen Biegefestigkeit verwendet werden. Wenn der minimale Biegefestigkeitswert an den Flanschen erreicht wird, ist ein Wechsel zu einer anaeroben flüssig aufgetragenen Dichtung (FIPG) oder einer aufgeprägten Einschicht- (SLS) oder Mehrschichtdichtung (MLS) nötig. Das Anwendungsspektrum anaerober flüssig aufgetragener Dichtungen ist noch breiter und umfasst die gesamte Bandbreite von sehr festen bis mittelfesten Flanschen.

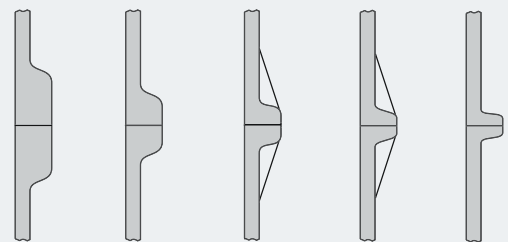
Die Ergebnisse interner Forschungen<sup>2,13</sup> haben ergeben, dass flüssig aufgetragene RTV-Elastomer-Dichtungen verwendet werden können, wenn der erforderliche minimale Oberflächendruck für anaerobe Dichtungen nicht erreicht wird oder im Fall von flexiblen Flanschen, wie Blechbauteilen. Auf Grund zusätzlicher wesentlicher Ausführungsmerkmale wie geplanter Spalte, Fasen oder Retentionsrillen muss die Dichtung noch flexibler gestaltet sein und Bewegungen in Biege- und Scherrichtung erlauben (siehe Abschnitt 6).

### ABB. 3:

#### Einfluss der Flanschfestigkeit auf die Verwendung von statischen Dichtungen am Beispiel von Gussteilen



#### Varianten A-A



Gewicht	●●●●○	●●●○○○	●●●○○○	●●○○○○	●○○○○○
Gewicht	○○○○○	●●○○○○	●●●○○○	●●●○○○	●●●●○
Bevorzugtes Anwendungsspektrum	Weicher Dichtungswerkstoff (vorgestanz)		Silikon-FIPG		
	Nicht aushärtende Flüssigdichtung (lösemittelbasiert)				
	Anaerobe FIPG			Aufgeprägte SLS oder MLS	

# 3. ALLGEMEINE KONSTRUKTIONSÜBERLEGUNGEN

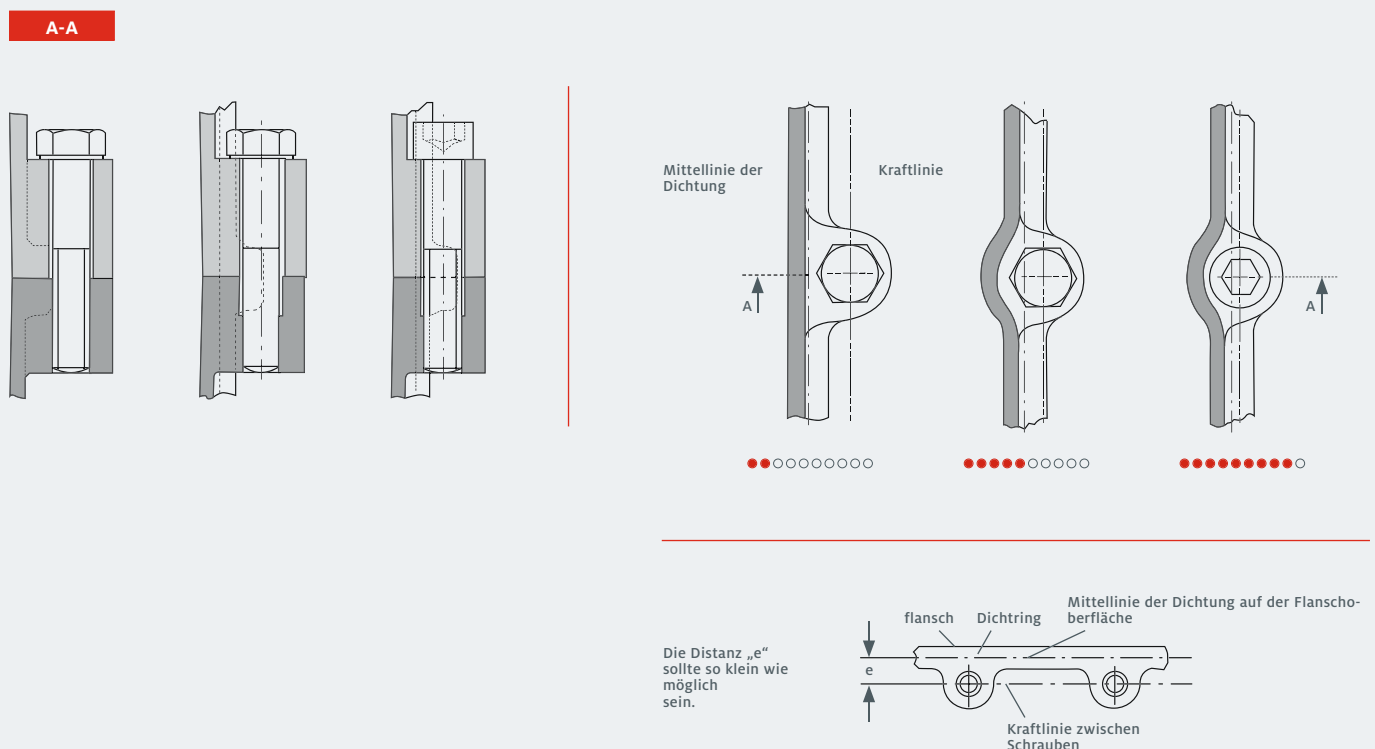
## 3.4. SCHRAUBENPOSITIONIERUNG UND SCHRAUBENABSTÄNDE<sup>1</sup>

Die sicherste Verbindung wird durch eine Kombination der maximalen praktikablen Anzahl von Schrauben, der gleichen Abständen zwischen den Schrauben und der optimalen Positionierung von Schrauben gewährleistet.

Die direkten Linien, die zwischen den Schrauben gezogen werden können, Schraubenkraftlinien genannt, müssen sich so nah wie möglich an der Mittellinie der Dichtung befinden, um eine gleichmäßige Verteilung des Flanschdrucks zu ermöglichen und eine potenzielle Trennung der Flansche durch Aufhebeln (siehe Abbildung 4) zu vermeiden.

ABB. 4

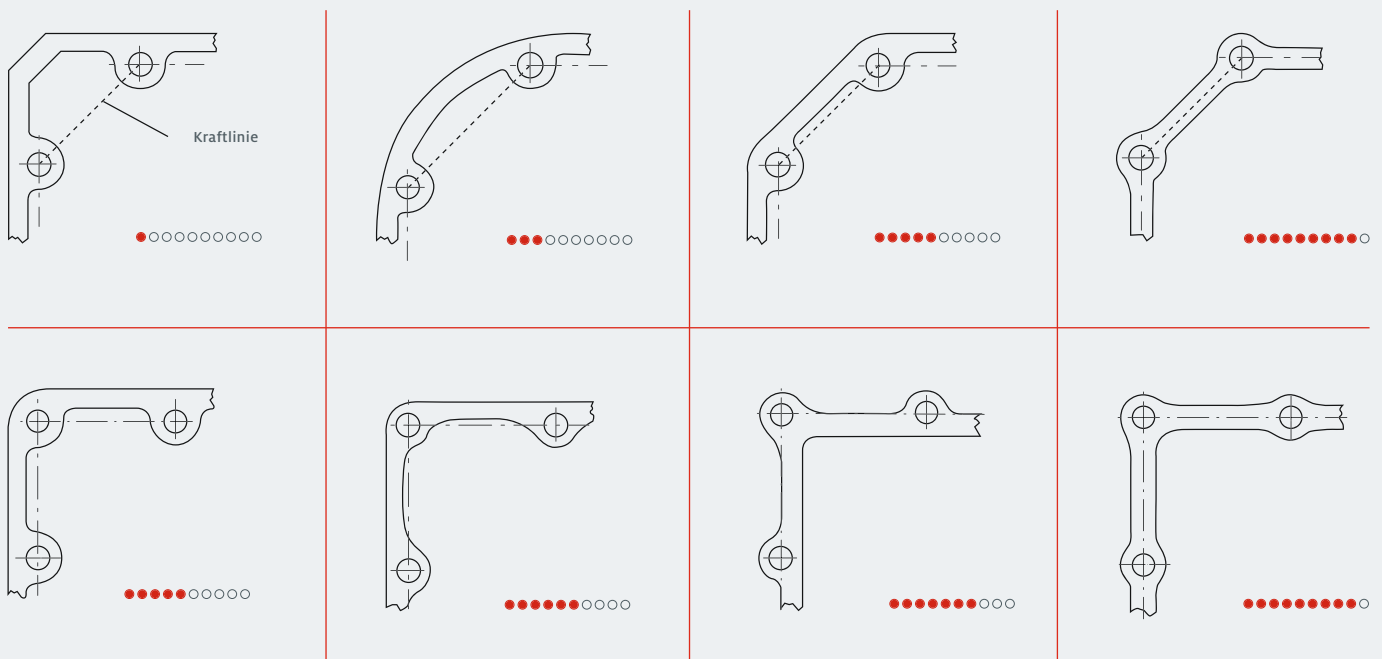
**Einfluss des Abstands zwischen den Schraubenkraftlinien und der Mittellinie der Dichtung in Bezug auf die Verteilung der Spannungskraft im Dichtspalt.<sup>1</sup>**



Außerdem ist die Position der Schrauben für die Ausführung der Flanschecken sehr wichtig. Abbildung 5 stellt verschiedene Ausführungen und deren Beurteilung dar.

## ABB. 5

**Einfluss der Position der Kraftlinien bezüglich der Mittellinie der Dichtung auf die Verteilung der Spannungskraft.<sup>1</sup>**



### 3. ALLGEMEINE KONSTRUKTIONSÜBERLEGUNGEN

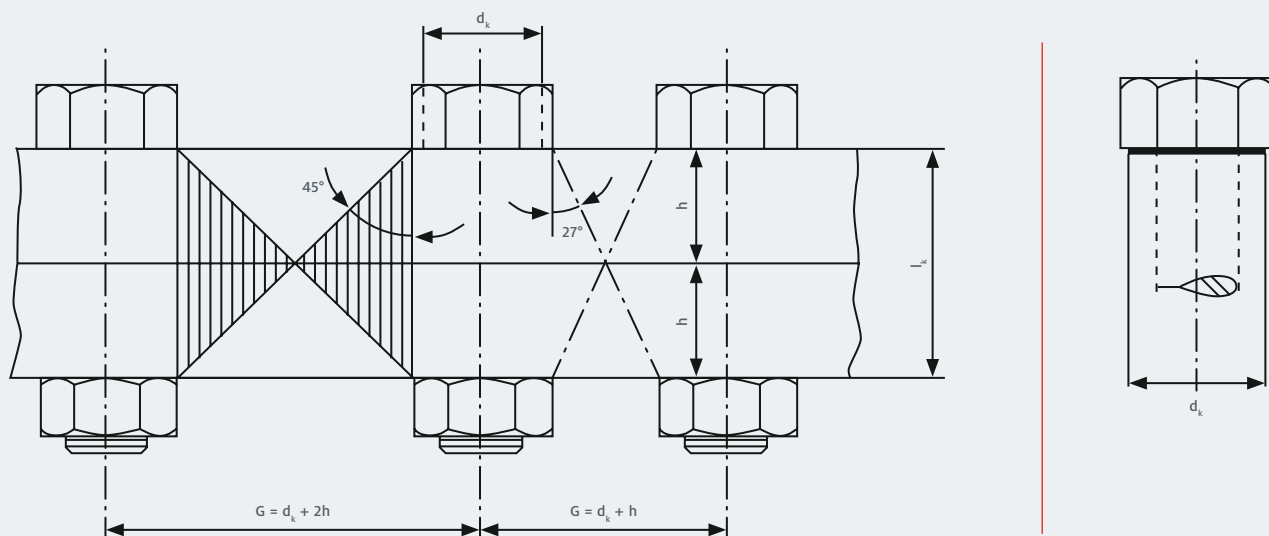
Die Schraubenabstände können theoretisch unter Verwendung des idealisierten Modells, das von Rötischer vorgeschlagen wurde, berechnet werden. Das Rötischer-Modell besagt, dass die Druckspannung in einem Flansch zwischen dem Schraubenkopf und dem Dichtspalt in Form eines Konus mit einer Halbwinkelöffnung von 45°, wie in Abbildung 6 dargestellt, verteilt wird. Bei optimalen Schraubenabständen berühren oder vorzugsweise überlappen sich die Druckkonusse mit einer Halbwinkelöffnung von 27°, wie in der Abbildung dargestellt. Das Rötischer-Modell empfiehlt überlappende Druckkonusse für Schraubenverbindungen ohne Dichtungen. Im Rahmen von Forschungsprojekten<sup>1</sup> wurde festgestellt, dass bei abgedichteten Verbindungen die sich berührenden Druckkonusse mit einer Halbwinkelöffnung von 45° oder größer zur Berechnung der Schraubenabstände verwendet werden sollten. Für hoch beanspruchte abgedichtete Verbindungen werden Schraubenabstände zwischen mindestens 27° und maximal 45° empfohlen.

ABB. 6

Druckkonusse nach Rötischer.

$$d_k + h \leq G \leq d_k + 2h$$

( $d_k$  = Durchmesser der Druckfläche des Schraubenkopfes)



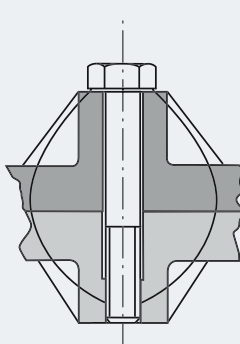
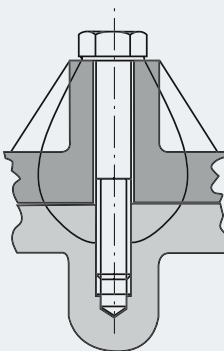
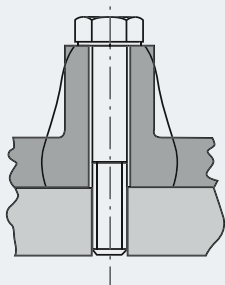
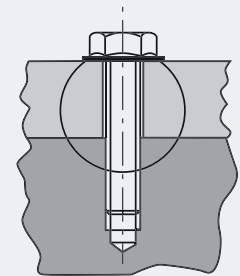
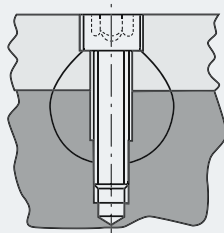
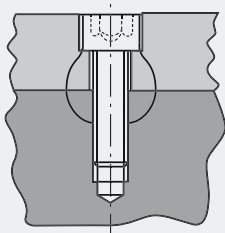
Die Gleichung zeigt, dass sowohl die Flanschfestigkeit als auch die effektive Schraubenlänge wichtige Parameter zur Bestimmung der Schraubenabstände sind. Abbildung 7 stellt die Verteilung der Druckspannung in einer Verbindung mit Variationen dieser Parameter dar.

## 3.5. SCHRAUBENFESTIGKEITSKLASSE UND SCHRAUBENLÄNGE

- Wählen Sie eine Schraube aus, bei der die erforderliche ursprüngliche Schraubenkraft 80% der Prüfkraft beträgt.
- Wählen Sie eine Schraube mit einer ursprünglichen Schraubenkraft, die um den Faktor 3 bis 3,5 höher als die normale Zugbeanspruchung ist (Innendruck, Temperatureinwirkung und äußere Kräfte).
- Faustregel: Ist die Länge einer Schraube fünfmal größer als deren Durchmesser, kann sie sich ausreichend strecken, um als eine Feder zwischen zwei Flanschen zu dienen und die Vibrationen zu dämpfen.
- Die optimale Einschraubtiefe für Stahl beträgt das 1,2-fache des Schraubendurchmessers; für Gusseisen beträgt sie das 1,5-fache; für Aluminium das 1,6-fache, zuzüglich der Toleranz für den Gewindeauslauf; für dynamische Beanspruchung zuzüglich 20%.

ABB. 7

**Einfluss der Flanschausführung auf die Verteilung der Druckspannung in den Flanschen.<sup>1</sup>**



## 3. ALLGEMEINE KONSTRUKTIONSÜBERLEGUNGEN

### 3.6. VERIFIZIERUNG DER FLANSCHAUSFÜHRUNG

Eine der Grundanforderungen an die Projektierung von hoch beanspruchten abgedichteten Verbindungen ist die Sicherstellung einer gleichmäßigen Verteilung des Flanschdrucks innerhalb der zulässigen Grenzwerte der Dichtung. Bereits am Anfang der Projektierung muss man wissen, ob der erforderliche Flanschdruck im Dichtspalt gewährleistet wird.

Die Verteilung des Flanschdrucks kann sehr frühzeitig anhand der Finite-Elemente-Analyse (FEA) bzw. später anhand von Prototypen mit einer druckempfindlichen Folie, hergestellt durch die Fuji Photo Film Company, beurteilt werden. Bei einer komplett neuen Ausführung werden die beiden Methoden verwendet, weil die FEA eine kostengünstige Optimierung des Projektierungsprozesses ermöglicht und die druckempfindliche Folie zur Bestätigung der numerischen Berechnungen benötigt wird.





Zur Beurteilung der Spannungsverteilung wird die Folie in die Form des Gegenflansches vorgeschritten und mit Öffnungen für die Schrauben versehen. Die Folie wird dann zwischen zwei Flanschen platziert und die Schrauben werden mit dem vorgeschriebenen Drehmoment angezogen. Der erzeugte Druck bringt die Mikrokapseln in der Folie zum Platzen, wobei ein darin befindlicher Farbstoff freigesetzt wird. Die Mikrokapseln sind so ausgelegt, dass sie unter verschiedenem Druck platzen; die Farbdichte hängt somit von der ausgeübten Kraft ab. Tiefes Rot zeigt an, dass der Druck hoch war, während schwächere Farbtöne darauf hinweisen, dass der ausgeübte Druck niedrig war. Mit Hilfe eines handelsüblichen Densitometers von Fuji wird die Farbdichte direkt in den Druckwert umgerechnet.

Ein Nachteil dieser Methode besteht darin, dass nur die maximal ausgeübte Kraft erfasst wird, wobei die Relaxation der Dichtung unter den Betriebsbedingungen wie Temperatur, Druck oder dynamische Beanspruchungen nicht gemessen werden kann. Diese Wirkungen müssen im Rahmen einer FEA beurteilt werden. Die Folie weist auf die Schwachpunkte in abgedichteten Verbindungen, wie Bereiche mit niedrigem oder fehlendem Flanschdruck, hin, so dass die FEA zur Optimierung dieser Punkte konkretisiert werden kann. Die Folie zeigt außerdem die Bearbeitungsspuren und Probleme mit den Toleranzen an den Gegenflanschen, insbesondere die Unebenheit oder Überlappung der Flansche, an.

Neben der FEA kann in der Prototypenphase eine Echtzeitmessung des Flanschdrucks mit Hilfe der hauchdünnen Foliensensoren des Druckprofilmesssystems von Tekscan durchgeführt werden. Beim Tekscan-System wird ein hochauflösender, matrix-basierter Tastsensor zwischen zwei Flanschen positioniert. Die mit dem Sensor mitgelieferte Software erfasst und visualisiert die dynamischen Daten wo der Druckzyklus oder die Datenaufzeichnung von Bedeutung sein könnten.

## 3. ALLGEMEINE KONSTRUKTIONSÜBERLEGUNGEN

### 3.7. OBERFLÄCHENBESCHAFFENHEIT

Die Oberflächenbeschaffenheit oder Oberflächentextur sind zwei Begriffe die zur Beschreibung der allgemeinen Qualität eines Werkstücks verwendet werden. Zur Oberflächenbeschaffenheit gehören Rauheit, Welligkeit, Schichtung und Oberflächenmängel. Die Sitz- und Auflageflächen benötigen für eine richtige Funktionsweise in der Regel eine sorgfältige dimensionale und qualitative Kontrolle.

Die Oberflächenbeschaffenheit ist für herkömmliche Dichtungen äußerst wichtig, weil die ursprüngliche Druckbeanspruchung, die zum Einpressen der Dichtung in die Flanschoberfläche erforderlich ist, beim Vorhandensein von Oberflächenmängeln zunimmt.

Bei FIP-Dichtungen hat die Oberflächenrauheit keinen Einfluss auf die ursprüngliche Druckbeanspruchung, denn das Produkt wird im flüssigen Zustand während des Montageprozesses aufgetragen. Jedoch beeinflusst sie die Bildung der Schichtdicke des Dichtungsstoffes.

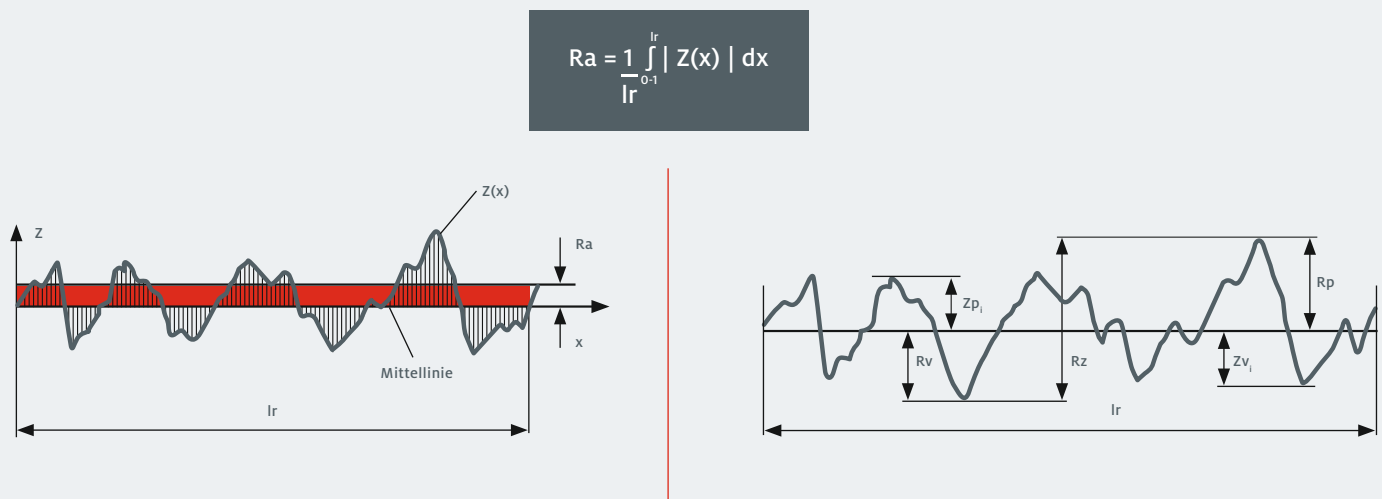


- Bei höheren Oberflächenrauheitswerten  $R_a \geq 3,0 \mu\text{m}$  (über zehn Punkte gemittelte Rautiefe  $R_z \geq 17 \mu\text{m}$ ) wird Metall-zu-Metall-Kontakt unabhängig von der Druckspannung erreicht.
- Bei geringeren Oberflächenrauheitswerten  $R_a \leq 0,3 \mu\text{m}$  (über zehn Punkte gemittelte Rautiefe  $R_z \leq 3 \mu\text{m}$ ) tendieren FIP-Dichtungen dazu, eine Klebeschicht zu erzeugen, die sich bei steigendem Flanschdruck verringert. Metall-zu-Metall-Kontakt wird nur in den schraubennahen Bereichen erzielt. (Der tatsächliche Metall-zu-Metall-Kontakt zwischen äußerst sorgfältig verarbeiteten Kontaktelementen erreicht maximal 25-35%.)
- Eine glattere Oberflächenbeschaffenheit unterstützt die Reinigung und Entfernung von Oberflächenverschmutzungen vor dem Auftragen des Dichtungsstoffes.
- Die Widerstandsfähigkeit gegenüber Blowouts sinkt mit einem erhöhten Auftreten von Spalten. Daher ist die Oberflächenbeschaffenheit wichtig für die Blowout-Druckprüfungen während der Montage, solange sich der FIP-Dichtungsstoff noch im nicht ausgehärteten Zustand befindet.

Die Oberflächeneigenschaften werden in erster Linie mit Hilfe von elektrischen Tastschnittgeräten gemäß DIN EN ISO 4287:1998 (ANSI B46.1-1971) bestimmt. Die zwei gebräuchlichsten Messungen der Oberflächenbeschaffenheit sind  $R_a$  und  $R_z$ , siehe Abbildung 8.

## ABB. 8

**$R_a$  und  $R_z$  gemäß DIN EN ISO 4287: 1998 (ANSI B46.1-1971).**



### 3. ALLGEMEINE KONSTRUKTIONSÜBERLEGUNGEN

Ra ist der Mittelwert der absoluten Werte für die Profilabweichungen innerhalb eines einzelnen Messabschnitts  $l_r$ .  
Rz ist die maximale Rautiefe innerhalb eines einzelnen Messabschnitts  $l_r$ .

Die früher verwendete über zehn Punkte gemittelte Rautiefe verwendet Rz, also den Mittelwert der absoluten Werte der Rautiefen von den fünf größten Höhen und fünf größten Tiefen auf fünf einzelnen Messabschnitten innerhalb der Gesamt-messstrecke ( $Rz \geq$  Zehn-Punkte-Rautiefe Rz).

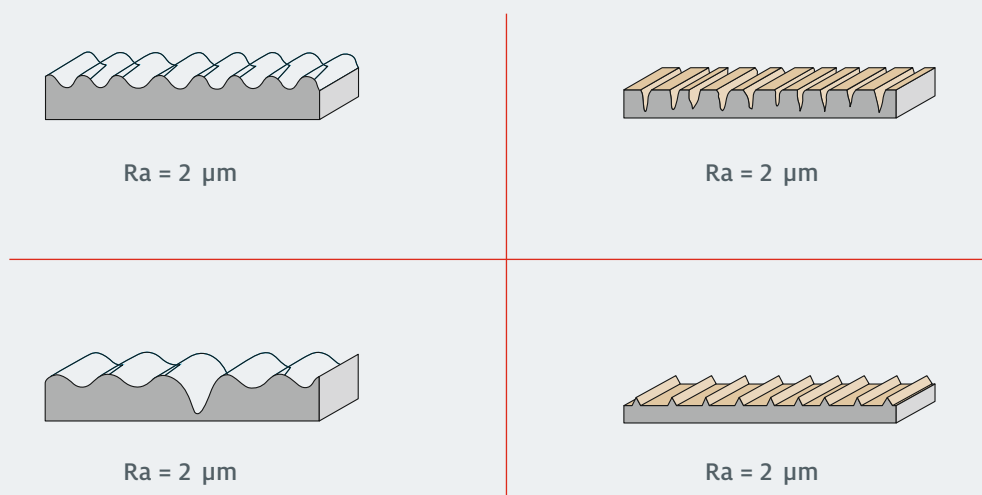
Der Ra-Wert allein reicht zur Bestimmung der Rauheit nicht aus, weil verschiedene Oberflächentexturen den gleichen Ra-Wert haben können, siehe Abbildung 9. Zur Bestimmung der Rauheit einer Oberfläche müssen mindestens Ra und Rz gemessen werden; genauere Ergebnisse werden durch die Messung von Ra, Rz, Rmax und Wt erhalten.

Die maximale Rautiefe Rmax ist die größte Rautiefe, die bei einer Messung auf dem gesamten Messabschnitt  $l_n (= 5 \times l_r)$  ermittelt wurde.

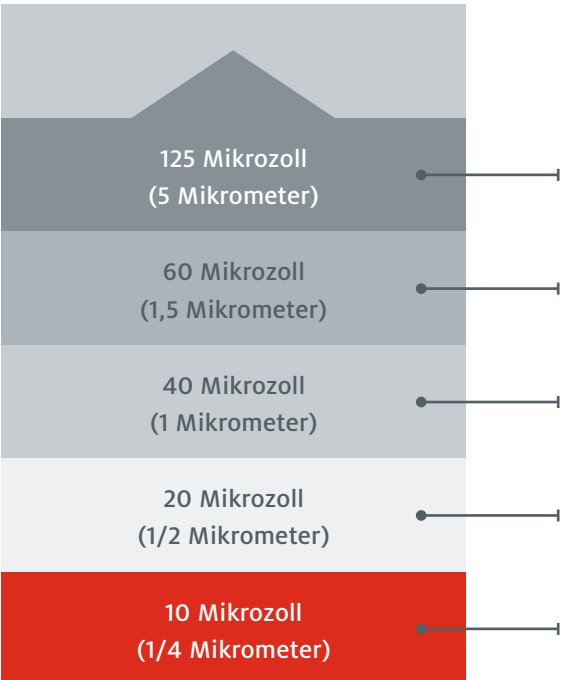
Wt ist die maximale Profilhöhe der gefilterten Welligkeitsprofile auf dem gesamten Messabschnitt  $l_n$ .

**ABB. 9**

**Verschiedene Profile mit gleichen Ra-Werten.**



## ALLGEMEINE RICHTLINIEN FÜR DIE OBERFLÄCHENRAUHEIT VON FLANSCHEN



125 Mikrozoll (5 Mikrometer)	Erhebliche Konstruktionsverbesserung für flüssige Flanschdichtungsstoffe. Nach oben hin existiert praktisch keine Grenze, da die Rauheit den Oberflächenbereich und die Klebekraft verbessert.
60 Mikrozoll (1,5 Mikrometer)	Übliche Flanschverarbeitung
40 Mikrozoll (1 Mikrometer)	Ausreichende Oberflächenrauheit
20 Mikrozoll (1/2 Mikrometer)	Muss gründlich geprüft werden
10 Mikrozoll (1/4 Mikrometer)	Zu glatt

## 4. ANWENDUNGSBEREICHE VON FIPG-DICHTUNGEN UND DEREN VORTEILE IM VERGLEICH ZU FESTSTOFFDICHTUNGEN

Auf Grund der Haftung der ausgehärteten FIPG-Dichtung an sämtlichen Teilen der Verbindung benötigt die FIP-Technologie im Gegensatz zu herkömmlichen Dichtungen keine extreme Druckbeanspruchung, um eine Abdichtung zu erzielen. Die Hauptvorteile von FIP-Dichtungen im Vergleich zu Feststoffdichtungen sind:

- **Keine Relaxation der Dichtung** – FIP-Dichtungen ermöglichen in den meisten Anwendungen Metall-zu-Metall-Kontakt. Dies stellt eine korrekte Schraubenspannung über die gesamte Lebensdauer der Baugruppe sicher und macht ein Nachziehen überflüssig.
- **Keine Spalterzeugung durch Shimming** – Durch den Metall-zu-Metall-Kontakt erübrigt sich die Dichtungsdicke, so dass Toleranzen präziser beibehalten werden können.
- **Entspannte Oberflächenbeschaffenheit** – FIP-Dichtstoffe ermöglichen die Relaxation der Oberflächenbeschaffenheit und Ebenheitstoleranzen. Kratzer und zerklüftete Oberflächen können ohne Nachbesserung der beschädigten Oberfläche abgedichtet werden.
- **Chemische Kompatibilität** – FIP-Dichtstoffe weisen eine gute bis ausgezeichnete Lösemittelbeständigkeit auf.
- **Niedrigere Bestands-/Lagerungskosten** – FIP-Dichtungen können bei verschiedenen Flanschausführungen eingesetzt werden, wobei bei der Verwendung von festen Dichtungen verschiedene Ausführungen von Dichtungen für verschiedene Flanschausführungen benötigt werden.
- **Automatisches Auftragen** – FIP-Dichtungen können durch automatische robotisierte Dosier- oder Sieb- oder Schablonendruckanlagen aufgetragen werden.
- **Leichtere Handhabung von vertikalen Komponenten** – FIP-Dichtungen können sowohl auf horizontale als auch auf vertikale Flanschoberflächen aufgetragen werden. Im Gegensatz zu festen Dichtungen brauchen sie keine zusätzlichen Klebstoffe, um ihre Position an vertikalen Flanschoberflächen zu behalten.
- **Geringere Kohlenwasserstoffemissionen** – Der reduzierte Dichtspalt verringert die Kohlenwasserstoffemissionen im Vergleich zu Feststoffdichtungen.

Zum Erreichen der notwendigen Abdichtungsleistung bei einer breiten Palette an Flanschen werden zwei Arten von FIP-Dichtstoffen üblicherweise benutzt:

- Anaerobe Dichtungen
- Bei Raumtemperatur vernetzende RTV-Elastomer-Dichtungsstoffe

## ANAEROBE DICHTUNGEN

Anaerobe Dichtungsstoffe härten unter Luftabschluss und auf aktiven Metalloberflächen aus. Diese Produkte sind am besten geeignet zur Abdichtung fester Flansche, die Folgendes erzielen sollen:

eine optimale Steifigkeit zwischen zwei Kontaktflächen

- die Minimierung von Bewegung zwischen zwei Teilen
- die Übertragung von Kräften von einem Teil zum anderen

Typische Beispiele für feste Flansche findet man in Fahrzeugen einschließlich Getriebegehäusen, Grundplatte und Kurbelgehäuse, Wasserpumpe und Motorblock, sowie Ventildeckel und Zylinderkopf.

Anaerobe FIP-Dichtstoffe werden für steife Schraubenverbindungen genutzt, da diese:

- Metall-zu-Metall-Kontakt ermöglichen
- eine korrekte Schraubenspannung sicherstellen
- die finalen Abmessungstoleranzen präzise beibehalten
- für Strukturfestigkeit sorgen und Mikrobewegungen reduzieren
- leicht zu zerlegen sind durch das Anwenden einer Spaltlast an der Verbindung
- bei ausreichender Schraubenspannung eine hohe Druckfestigkeit bieten
- im flüssigen Zustand verbleiben; im Vergleich zu anderen FIP-Dichtungsstoffen härten anaerobe Dichtungsstoffe nur zwischen den Flanschoberflächen aus. Überschüssiges Material kann von Außenflächen abgewischt oder von Innenflächen abgespült werden (flüssige Dichtstoffe sind in zahlreichen Flüssigkeiten löslich, z. B. Öl).
- eine großzügige Haftfähigkeitsdauer am Produkt nach Luftkontakt bieten, so dass verschiedenste Anwendungsmethoden in Frage kommen und die mit der Nutzung flüchtiger und/oder feuchtigkeitshärtender Dichtstoffe assoziierten Probleme verringert werden.

## 4. ANWENDUNGSBEREICHE VON FIPG-DICHTUNGEN UND DEREN VORTEILE IM VERGLEICH ZU FESTSTOFFDICHTUNGEN

### BEI RAUMTEMPERATUR VERNETZENDE RTV-ELASTOMERE

RTV-Elastomere härten zu einem gummiartigen Feststoff aus, indem sie mit der Umgebungsfeuchtigkeit reagieren. Diese Produkte eignen sich am besten zur Abdichtung von flexiblen Flanschen, z.B. Getriebedeckel, Steuerkettenabdeckungen, Pressblechteile, dünnwandige Metallgussstücke sowie Ölwannen. Im Gegensatz zu festen Flanschen unterstützen sie normalerweise nicht die Funktion des Elements, daher können Mikrobewegungen zwischen den Flanschen toleriert werden und eine optimale Verteilung der Schraubenspannung ist nicht notwendig.

Flexible Flansche werden üblicherweise für Folgendes genutzt:

- Abdeckung einer Öffnung in einem Gehäuse
- Abdichtung einer Flüssigkeit in einem Element oder deren Schutz vor Verschmutzung von außen
- Abdeckung sich bewegender Teile zur Erhöhung der Sicherheit
- Verkapselung von Elementen zwecks Geräuschminderung

Neben flexiblen Flanschen existieren weitere Arten von Flanschausführungen bei denen flexible Dichtungen erforderlich sind, beispielsweise:

- Teile bei denen die geforderte Verteilung der Druckspannung für anaerobe Dichtungsstoffe nicht erreicht werden kann
- Baugruppen mit unterschiedlichen Flanschmaterialien und großen Unterschieden in deren Wärmeausdehnungskoeffizienten, was zum Verbiegen der Flansche führen kann
- Flansche bei denen mehr als zwei Teile miteinander zu T-Stücken verbunden wurden



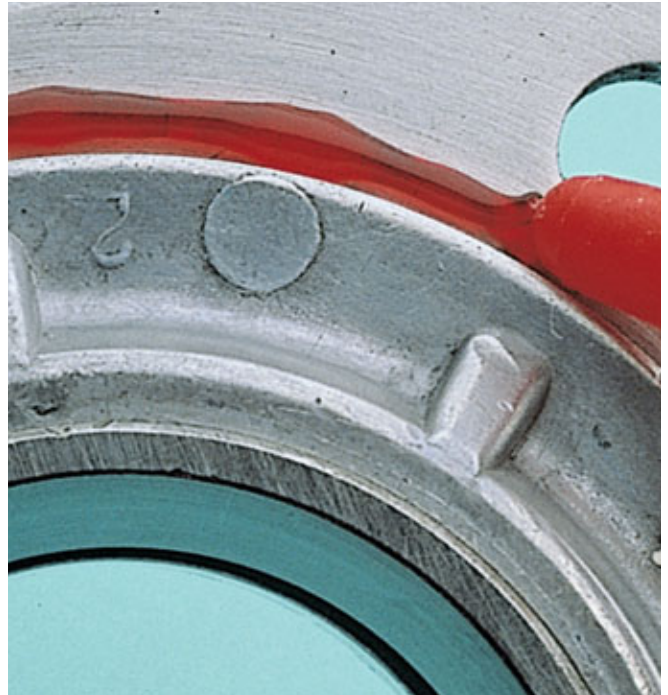
RTV-Elastomere können sowohl für flexible als auch für starre Verbindungen eingesetzt werden und bieten eine Reihe von Vorteilen, u. a.:

- Füllung von tiefen Spalten
- Abdichtung von Verbindungen mit Mikrobewegungen
- Sicherstellung von Metall-zu-Metall-Kontakt
- Erreichen der korrekten Schraubenspannung ohne Setzen
- Abdichtung von T-Stücken
- Herstellung von Abdichtungen auf nicht-maschinell bearbeiteten Flanschen
- Möglichkeit des robotisierten Auftragens auch bei AN-Dichtungen
- Herstellung von Abdichtungen zwischen Metall- und Kunststoffkomponenten oder sogar zwischen Kunststoff- und Kunststoffmaterialien

## 5. EMPFEHLUNGEN ZUR AUSFÜHRUNG VON ANAEROBEN FIPG-DICHTUNGEN

Zum Erreichen der optimalen Abdichtungsleistung von festen Schraubenverbindungen sollten die allgemeinen Konstruktionsüberlegungen in Abschnitt 3 beachtet werden. Darüber hinaus sind diverse Konstruktionsmerkmale speziell für anaerobe FIPG-Dichtungsstoffe zu berücksichtigen, einschließlich:

- Maschinenbearbeitete Flansche mit Oberflächeneigenschaften:
  - Ra 0,8 bis 3,2  $\mu\text{m}$
  - Rz 3 bis 21  $\mu\text{m}$  (über 10 Punkte gemittelte Rautiefe)
  - Rmax 4 bis 30  $\mu\text{m}$
  - Ebenheit 0,1 mm bei 400 mm
- Eine überlappende Flanscbreite von mindestens 5 mm (zur Sicherstellung des zuverlässigen Aushärtens).
- Eine überlappende Flanscbreite um die Schrauben herum von mindestens 3 mm (zur Sicherstellung des zuverlässigen Aushärtens).
- Anfassen der Dübel und Schraubenlöcher zum Verhindern von Metallerhebungen und Spalterzeugung durch Shimming
- Die maximale Spaltgröße bei Oberflächenfehlern und Bearbeitungsspuren muss sich innerhalb des maximalen Aushärtungsvolumenbereichs befinden (0,1 bis 0,25 mm, abhängig vom Dichtungsstoff).
- Üblicher minimaler Kontaktdruck der Flansche für PKW-Anwendungen von 2,5 MPa
- Nutzung von Zentrierbolzen für die Montage großer Teile, um ein Verschmieren des Dichtstoffes zu verhindern und die präzise Positionierung der zwei Kontaktflächen sicherzustellen
- Durchführung von sofortigen Dichtungsprüfungen spätestens 20 Minuten nach der Montage mit einem Prüfdruck von  $\leq 0,03 \text{ MPa}/0,3 \text{ bar}/4,3 \text{ psi}$  über die kleinstmögliche Dauer



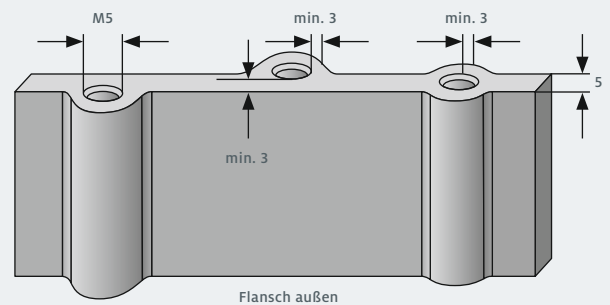
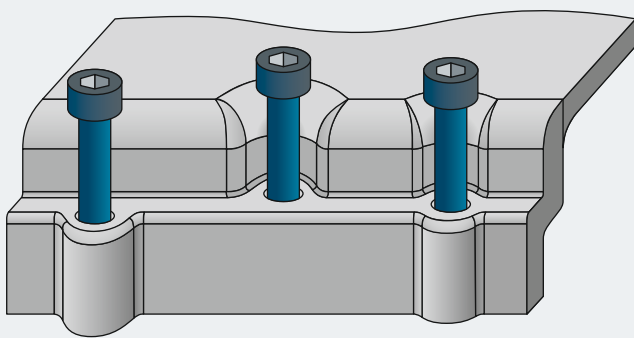
Zusätzlich zur korrekten Flanschausführung ist eine zuverlässige Abdichtung mit FIP-Dichtungen abhängig von der Haftung an der Flanschoberfläche. Die Haftung wird sehr stark von der Aushärtungsleistung beeinflusst. Das anaerobe Aushärten beginnt mit Ausschluss von Luftsauerstoff. Es werden freie Radikale gebildet und diese starten unter dem Einfluss von Metallionen (Kupfer, Eisen) den Polymerisationsprozess.

Zuverlässiges Aushärten und maximale Haftung werden wie folgt erzielt:

- Reinigung der Flanschoberflächen
- Nutzung von Aktivatoren oder Hitze für weniger aktive Untergründe (Edelstahl, hochlegierter Stahl, Aluminium mit niedrigem Kupfergehalt, Eloxal- oder Chromatschichten)

## ABB. 10

### Flanschausführung für anaerobe FIP-Dichtstoffe



## 6. EMPFEHLUNGEN ZUR AUSFÜHRUNG VON RTV-ELASTOMER-DICHTUNGEN

RTV-Elastomere sind in der Lage, Verbindungen mit ungünstigen Flanschausführungen sowie kritische Bereiche wie T-Stücke abzudichten, wo der Einsatz von anaeroben Dichtungsstoffen oder festen Dichtungen problematisch ist. Dennoch sind die allgemeinen Konstruktionsüberlegungen in Abschnitt 3 zu beachten, um eine zuverlässige, haltbare Abdichtung zu erhalten.

### WARUM ANFASEN?

Funktionsprüfungen und die Erfahrung zeigen, dass eine innenliegende Fase oft die beste Konstruktion ist, um eine Verbindung mit RTV-Elastomeren abzudichten. Die Hauptvorteile der Nutzung von Fasen sind u. a.:

- **Definiertes Fließen des Produkts**  
Kein Ablösen von Produktbestandteilen auf Grund von Auspressen (Squeeze-Out)
- **Definierter, gefüllter Spalt**  
Lange Haltbarkeit wegen der Materialschicht (in der Fase)
- **Schnelle Aushärtung**  
Produkt ist bei Auslieferung zum Endkunden vollständig ausgehärtet
- **Einfache Herstellung**  
Kostenreduktion durch Gussoberfläche
- **Reduzierter Verbrauch des Produkts**  
Kostensenkung
- **Ölaustausch**
- **Hilfslinie für manuelles Auftragen**  
Schnelles manuelles Auftragen



## 6.1. GRUNDAUSFÜHRUNG VON FLANSCHEN

Möglichkeit der Abdichtung von Flanschen mit den verschiedensten Oberflächeneigenschaften wie Pressblech und Gussoberflächen

Die folgenden Empfehlungen sind wichtig für die Ausführung einer durch RTV-Elastomere abgedichteten Verbindung:

- Empfohlene Oberflächeneigenschaften:
  - Ra 0,5 bis 8  $\mu\text{m}$
  - Rz 5 bis 90  $\mu\text{m}$  (über 10 Punkte gemittelte Rautiefe)
  - $R_{\text{max}} < 100 \mu\text{m}$
- Die Ebenheit beider Teile muss so definiert sein, dass Spalte von mehr als 0,3 mm zwischen den Flanschoberflächen vermieden werden.
- Maximaler Spalt von 0,3 mm, um nach 20 Minuten eine sofortige Dichtungsprüfung mit 0,05 MPa/0,5 bar/7,2 psi oder einen frühen Motorstart (mit Bezug auf die Fließeigenschaften) zu ermöglichen.
- Eine überlappende Flanschbreite von mindestens 5 mm, zuzüglich Fase (für die Möglichkeit einer sofortigen Abdichtung).
- Eine überlappende Flanschbreite von mindestens 3 mm um die Schrauben herum, zuzüglich Fase (zum Auftragen des Produkts).
- Innere Gussfasenbreite mindestens 2 mm mit 30°-Winkel oder alternativem, ausgestanztem Innenradius von 4,5 mm (für langanhaltende Abdichtungsfähigkeit)
- Fase oder Radius auf nur einem Flansch muss vollständig in sämtlichen Bereichen mit dem Gegenstück bedeckt sein (siehe Abbildung 11).
- Nutzung von Zentrierbolzen für die Montage großer Teile, um ein Verschmieren des Dichtstoffes zu verhindern und die präzise Positionierung der zwei Kontaktflächen sicherzustellen
- Beim Füllen des Fasenbereichs:
  - Der minimale definierte Fasenbereich muss vollständig ausgefüllt sein.
  - Den mindestens überlappenden Flansch komplett ausfüllen, siehe Abbildung 11.

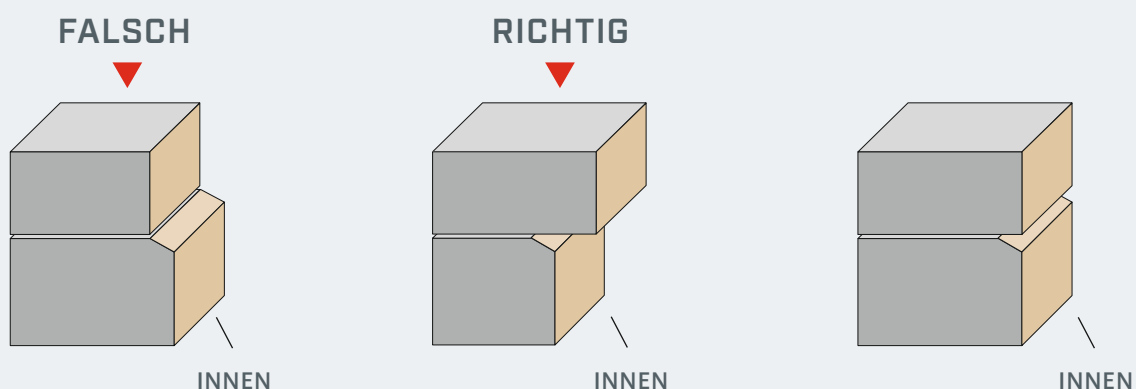
## 6. EMPFEHLUNGEN ZUR AUSFÜHRUNG VON RTV-ELASTOMER-DICHTUNGEN

Wird der erforderliche minimale Oberflächendruck für anaerobe Dichtungen nicht erreicht, muss die Dichtung flexibler sein. In diesen Fällen sind RTV-Elastomer-Dichtungen auf Grund ihrer Flexibilität und integrierten Ausführungsmerkmale (z. B. Fasen) in der Lage, Bewegungen in Biege- und Scherrichtung zu tolerieren.

Selbstverständlich erfordern der fehlende Oberflächendruck und die Bewegungen auch einen RTV-Elastomer-Dichtungsstoff mit ausgezeichneter Haftung am Untergrund.

ABB. 11

### Flanschausrichtung

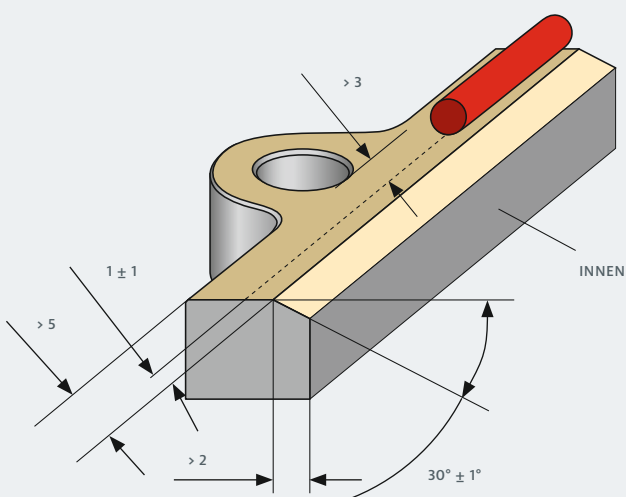


Eine gute Haftung und eine zuverlässige Abdichtung können nur wie folgt erreicht werden:

- Gründliche Reinigung der Flanschoberflächen
- Auswahl des passenden Produkts
- Montage der Bauteile innerhalb der Hautbildungszeit gemäß dem technischen Datenblatt
- Verwendung der genauen Produktmenge – Länge der Dichtungsraupe üblicherweise  $2,5 \pm 0,5$  mm (PKW-Anwendungen)
- Genaue Platzierung der Dichtungsraupe – stets auf dem geraden Flanscbereich, mit 1 mm Abstand vom Beginn der Fase, siehe Abbildung 12
- Auftragen des Produkts auf beiden Seiten der Verbindung, wenn möglich. Ein Auftragen auf der angefasten Seite ist nicht nötig.

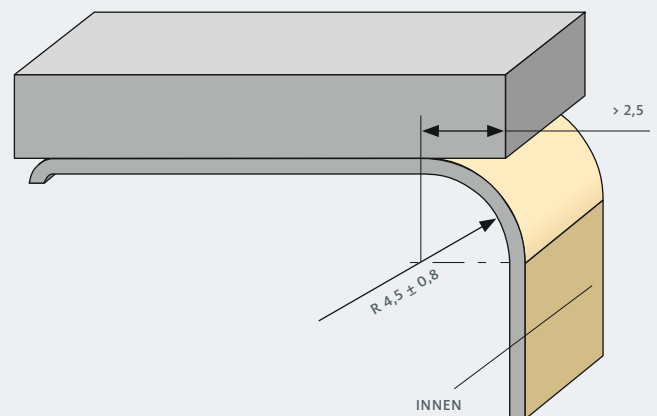
**ABB. 12**

**Fasenausführung**



**ABB. 13**

**Radiusausführung für ausgestanzte Teile**



# 6. EMPFEHLUNGEN ZUR AUSFÜHRUNG VON RTV-ELASTOMER-DICHTUNGEN

## 6.2. ALTERNATIVE AUSFÜHRUNG

### FASE-ABSATZ

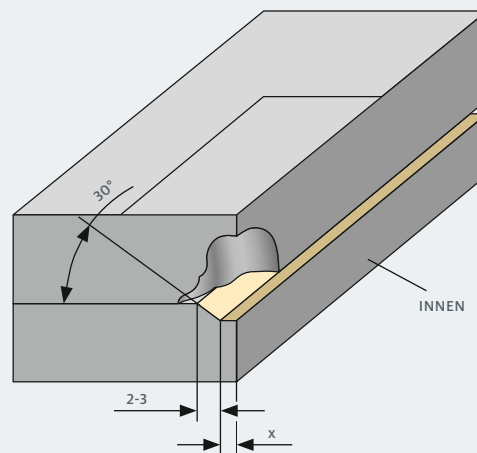
RTV-Elastomer-Dichtungsstoffe benötigen üblicherweise mehrere Stunden zum vollständigen Aushärten. Dort wo ein nicht ausgehärteter RTV-Elastomer-Dichtungsstoff mit fließenden Medien in Berührung kommen kann (z.B. Öldruckbohrungen bei einem frühen Motorstart) ist eine standardmäßige Fasenausführung nicht ausreichend. Der flüssige RTV-Elastomer-Dichtungsstoff könnte dabei fortgespült werden. Um einen direkten Kontakt mit dem fließenden Medium zu vermeiden, ist ein zusätzlicher Absatz zum Schutz des RTV-Elastomer-Dichtungsstoffes vorgesehen.

### ABB. 14

**Fase-Absatz-Ausführung / Einsatzgebiet: z. B. Hochdruckbohrlöcher.**

Für diese Ausführung muss nur der Fasenbereich vollständig mit dem RTV-Elastomer-Dichtungsstoff ausgefüllt sein.

Die Größe  $x$  muss in der Lage sein, den durch die Fase ausgepressten Dichtungsstoff vollständig aufzunehmen. Eine Worst-Case-Dimensionierung muss berücksichtigt werden. Die übliche Größe für  $x$  beträgt 2 mm.





## FASE-NUT

Auf einem echten Flansch kann eine einfache Fasenausführung oft in Bereichen nahe zusätzlicher Befestigungsschrauben und Stützlager nicht angewendet werden. Das einzig mögliche Ausführungsmerkmal ist eine Nut. Um eine schnelle Aushärtung, ein gutes Fließverhalten und freies Verteilen des Produkts zu erzielen, ist die beste Lösung eine 30° angefasete Nut auf einer Seite.

Die Nut sollte derart ausgeführt sein, dass sie selbst unter Worst-Case-Bedingungen (maximales Produktvolumen bei minimaler Nutgröße) nicht vollständig mit dem Dichtungsstoff gefüllt wird. Dies ist durch die Gestaltung einer breiteren Fase, einem breiteren, flachen Nutgrund oder der Nutzung beider Ausführungselemente zu ermöglichen.

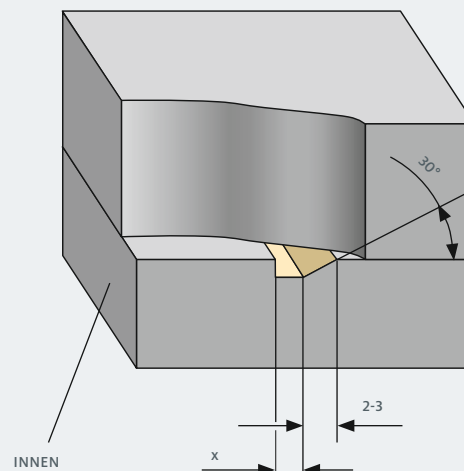
## ABB. 15

**Fase-Nut-Ausführung /  
Einsatzgebiet: z. B. Grundplatte.**

Hinweis:

Die Nutfase sollte auch unter Worst-Case-Toleranzbedingungen niemals vollständig mit dem RTV-Elastomer-Dichtungsstoff gefüllt sein.

Nur der Fasenbereich muss vollständig mit dem Dichtungsstoff ausgefüllt sein. Die übliche Größe für x beträgt 2 mm.



## 6. EMPFEHLUNGEN ZUR AUSFÜHRUNG VON RTV-ELASTOMER-DICHTUNGEN

### NUT

Die Nutausführung wird auf Grund der langen Aushärtungszeit des eingeschlossenen Produkts grundsätzlich nicht für RTV-Elastomer-Dichtungsstoffe empfohlen. Darüber hinaus kann überschüssiger Dichtungsstoff sowohl innerhalb (mediumseitig) als auch außerhalb des Flansches hervorquellen.

Der überschüssige Dichtungsstoff kann sich mediumseitig lösen und die abzudichtende Motorflüssigkeit verschmutzen. An der Außenkante kann der hervorquellende Überschuss optische Beeinträchtigungen hervorrufen. Selbst unter Worst-Case-Bedingungen muss die Nut komplett ausgefüllt sein.

Die übliche Nutform ist ein Halbkreis:

- Breite: 3,0 + 0,5 mm üblicherweise
- Tiefe: 1,5 + 0,5 mm üblicherweise
- Abstand Nut/Schraubenlöcher 2 bis 3 mm üblicherweise

### T-STÜCKE

Die am schwierigsten abzudichtenden Bereiche sind die, bei denen drei Dichtungsflächen aufeinandertreffen, ein sogenanntes T-Stück. Die üblicherweise an einem T-Stück vorzufindenden Verbindungen sind FIPG, Einschicht- (SLS) oder Mehrschichtdichtungen (MLS) oder Varianten von geformtem Gummi (Press-In-Place-Verbindungen, Kopfdichtungen (Backbone Carrier Gasket), Hohlvolumendichtungen, Edge-Molding-Dichtungen, usw.). Besondere Aufmerksamkeit gilt Verbindungen beim Abdichten mit festen FIPG-Dichtungen. Um eine zuverlässige Abdichtung zu erzielen ist der Fokus auf die korrekte Ausführung und die Toleranz dieser Verbindungen sowie auf den Montageprozess und das Auftragen des Produkts zu richten (siehe auch Abschnitt 7.2 Auftragung)

Als Faustregel sind Spalte von mehr als 0,3 mm unter schlechtesten Bedingungen zu vermeiden.

Es existieren verschiedene mögliche Szenarien:

- A) Beim Abdichten anaerober mit RTV-Elastomer-Dichtungsstoffen muss der Flansch mit dem anaeroben Dichtungsstoff stets zuerst montiert werden, um Probleme mit der Aushärtung und der Haftung zu vermeiden. Hervorquellender Überschuss auf der Oberfläche des T-Stücks muss entfernt werden bevor der RTV-Elastomer-Dichtungsstoff auf der zweiten Dichtungsoberfläche aufgetragen wird.
- B) Beim Abdichten von RTV-Elastomer- mit RTV-Elastomer-Dichtungsstoffen muss nach der Montage eine kontinuierliche Fase an der Innenseite gebildet werden (siehe Abbildung 16).

C) Beim Abdichten von RTV-Elastomer-Dichtungsstoffen mit Verbindungen aus geformtem Hartgummi, Kork oder Metall existieren zwei Möglichkeiten:

Handelt es sich bei der ersten montierten Verbindung um einen RTV-Elastomer-Dichtungsstoff und bei der zweiten montierten Verbindung um geformtes Gummi, ist der RTV-Elastomer-Dichtungsstoff in ausreichender Menge aufzutragen, so dass dieser am T-Stück hervorquillt. Hervorquellender Überschuss muss entweder entfernt werden, oder die Kontaktflächen sind innerhalb der empfohlenen offenen Zeit des RTV-Elastomer-Dichtungsstoffes zu montieren.

Für die zweite montierte Verbindung sollte die Dichtung aus geformtem Gummi am T-Stück flach abgepolstert sein. Eine geringe Menge des RTV-Elastomer-Dichtungsstoffes muss am T-Stück an der ersten Flanschposition an der Mittellinie des T-Stücks (Trennlinie) aufgetragen werden.

Handelt es sich bei der ersten montierten Verbindung um die Dichtung aus geformtem Gummi und bei der zweiten montierten Verbindung um den RTV-Elastomer-Dichtungsstoff, dann muss an der zweiten montierten Verbindung ausreichend RTV-Elastomer-Dichtungsstoff aufgetragen werden, so dass dieser am T-Stück hervorquillt. Die empfohlene Position für die Dichtung aus geformtem Gummi ist üblicherweise bündig mit der T-Stück-Oberfläche. Die Dichtung aus geformtem Gummi darf nicht mehr als 0,5 mm über dem Rand des Flansches hervorstehen und die Vertiefung der Dichtung darf nicht mehr als 0,5 mm betragen.

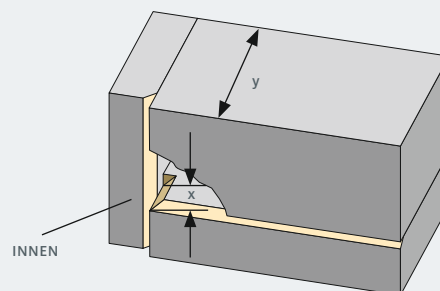
## ABB. 16

### Flanschgeometrie für RTV-Elastomer-Dichtungsstoff an einem T-Stück

Die Größe  $x$  muss stets kleiner sein als die Gesamtbreite des Flansches  $y$ .

Übliche Abmessungen:  
 $x = 3 \text{ mm}$  ( $y - x > 3 !$ )

Die empfohlene Flansch-Mindestbreite  $y$  beträgt 10 mm.



## 6. EMPFEHLUNGEN ZUR AUSFÜHRUNG VON RTV-ELASTOMER-DICHTUNGEN

D) Beim Abdichten von SLS oder MLS mit RTV-Elastomer-Dichtungsstoffen ist die erste montierte Verbindung die SLS oder MLS und die zweite montierte Verbindung der RTV-Elastomer-Dichtungsstoff. Vom RTV-Elastomer-Dichtungsstoff ist eine ausreichende Menge an der zweiten montierten Verbindung aufzutragen, so dass dieser am T-Stück hervorquillt. Die SLS- oder MLS-Dichtung muss mehr als 0,5 mm stark sein und bündig (kein Überstehen zulässig) an einer maximalen Vertiefung von 1 mm abschließen. Die Länge der Dichtungsraupe des RTV-Elastomer-Dichtungsstoffes für das T-Stück ist abhängig von der Flanschausführung der zweiten montierten Verbindung mit zusätzlichem RTV-Elastomer-Dichtungsstoff am T-Stück. Eine T-Stück-Ausführung bei der die erste montierte Verbindung ein RTV-Elastomer-Dichtungsstoff und die zweite montierte Verbindung eine SLS- oder MLS-Dichtung ist wird nicht empfohlen.

Beim Abdichten von SLS- oder MLS-Dichtungen sollte der RTV-Elastomer-Dichtungsstoff einen guten Kontakt zur Dichtungsfläche der festen Dichtung haben. Die Haftung an der SLS- oder MLS-Dichtung ist wesentlich. Die feste Dichtung muss selbst am Ende der Verbindung über einen ausreichenden Oberflächendruck verfügen, um Leckagen an der festen Dichtung und Bewegungen der festen Dichtung in Relation zu den Flanschoberflächen (unterschiedliche Wärmeausdehnung) zu vermeiden. Eine Methode, um solchen relativen Bewegungen entgegenzuwirken ist die Ausführung mit einer Halb-Fase ähnlich Abbildung 16 (ohne Innenfase). Siehe auch Abbildungen 17 und 18.

ABB. 17

**Empfohlene Flanschgeometrie für RTV-Elastomer-Dichtungsstoffe an einem T-Stück mit fester Dichtung (in blau)**

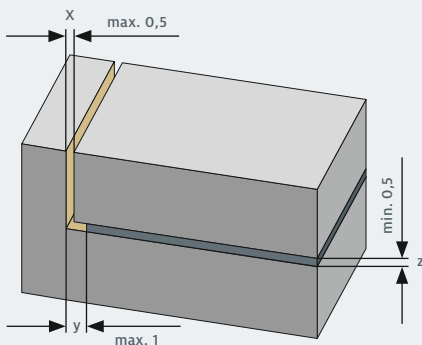
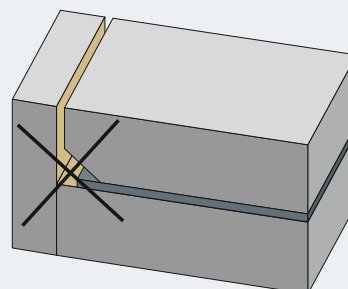


ABB. 18

**Eine zusätzliche Fase am T-Stück wird nicht empfohlen. Es besteht die Gefahr eines Druckverlustes an der festen Dichtung sowie einer schlechten sofortigen Dichtungsfähigkeit.**



E) Beim Abdichten von SLS- oder MLS-Dichtungen mit Dichtungen aus geformtem Gummi ist die erste montierte Verbindung die SLS- oder MLS-Dichtung und die zweite montierte Verbindung die Dichtung aus geformtem Gummi. Die SLS oder MLS muss mehr als 0,5 mm stark sein und bündig (kein Überstehen zulässig) an einer maximalen Vertiefung von 1 mm abschließen. Für die zweite montierte Verbindung sollte die Dichtung aus geformtem Gummi am T-Stück flach abgepolstert sein, damit die Abdichtung der Verbindung durch eine maximale Breite unterstützt werden kann. Eine geringe Menge des RTV-Elastomer-Dichtungsstoffes, üblicherweise mit einem Durchmesser von 8 mm am Untergrund, muss am T-Stück am ersten Flansch aufgetragen werden, der an der Mittellinie des T-Stücks positioniert ist. Auch hier empfiehlt sich keine T-Stück-Ausführung bei der die erste montierte Verbindung eine Dichtung aus geformtem Gummi und die zweite montierte Verbindung eine SLS- oder MLS-Dichtung ist.

Auf Grund von Bearbeitungs- und Positionierungstoleranzen kann die Spaltgröße  $x$  bis zu 0,5 mm und mehr betragen. Die Größe  $y$  kann 0,8 mm und höher sein. Die Dichtungsdicke  $z$  kann sogar 0,8 mm überschreiten.

In diesen Fällen ist ein umfassendes Verständnis des Montageprozesses und des Timings für Kalt- und Heißtests mit maximal auftretendem Druck und Dauer von Bedeutung. Des Weiteren ist am T-Stück mehr Dichtungsstoff aufzutragen (siehe auch Abschnitt 7.2, Abbildung 20).

Verifizierungsprüfungen unter Worst-Case-Bedingungen sind obligatorisch.

## 7. AUFTRAGUNG DES PRODUKTS UND MONTAGE DER VERBINDUNG

In der Massenproduktion müssen folgende Gesichtspunkte berücksichtigt werden:

### 7.1. REINIGUNG

Alle gefertigten Teile müssen nach der Bearbeitung gereinigt werden. Um eine einheitliche Qualität des Reinigungsprozesses zu gewährleisten sind die vom Reinigungsmittelzulieferer vorgesehenen Verfahren zu befolgen.

RTV-Elastomer-Dichtungsstoffe sind im Allgemeinen weniger empfindlich gegenüber Verschmutzung als anaerobe Dichtungsstoffe.

#### ANAEROBE PRODUKTE:

Bei anaeroben Dichtungen müssen beide Oberflächen vor dem Auftragen und der Montage sauber und trocken sein. Eine Verschmutzung des Flansches kann das Aushärten des Produkts oder die Haftung am Untergrund beeinträchtigen.

#### RTV-ELASTOMER-DICHTUNGSTOFFE:

Zur Gewährleistung einer zuverlässigen und langfristigen Abdichtung müssen die RTV-Elastomer-Dichtungsstoffe außerdem auf saubere und trockene Flansche aufgetragen werden. Feuchte oder fettige Oberflächen können die Haftung erheblich mindern und die aufgetragene Dichtungsraupe kann von der korrekten Position verrutschen, was zu einer Beeinträchtigung der Abdichtungsleistung führen würde.

#### ALLGEMEIN:

Es wird empfohlen, grundlegende Haftungsprüfungen mit der Produktions-Waschlösung durchzuführen. Bei den Prüfungsbedingungen sollte es sich um Worst-Case-Szenarien handeln.



## 7.2. DOSIERUNG

### ROBOTER-AUFTRAGUNG

Die höchste Flexibilität und Zuverlässigkeit bei der Auftragung von Dichtungsstoffen jeder Art wird durch den Einsatz von robotisierten Systemen oder eines XY-Tisches gewährleistet. Aus diesem Grund empfiehlt Henkel diese Technologie insbesondere für die Massenproduktion.

Henkel hat ein eigenes Auftragungssystem entwickelt bei dem anaerobe Dichtungsstoffe von hoher Viskosität und RTV-Elastomer-Dichtungsstoffe mit hoher Geschwindigkeit und ausgezeichneter Qualität aufgetragen werden können.

Zum Erreichen einer gleichbleibend hohen Qualität werden Qualitätssysteme wie Strömungswächter oder visuelle Kontrollsysteme empfohlen.

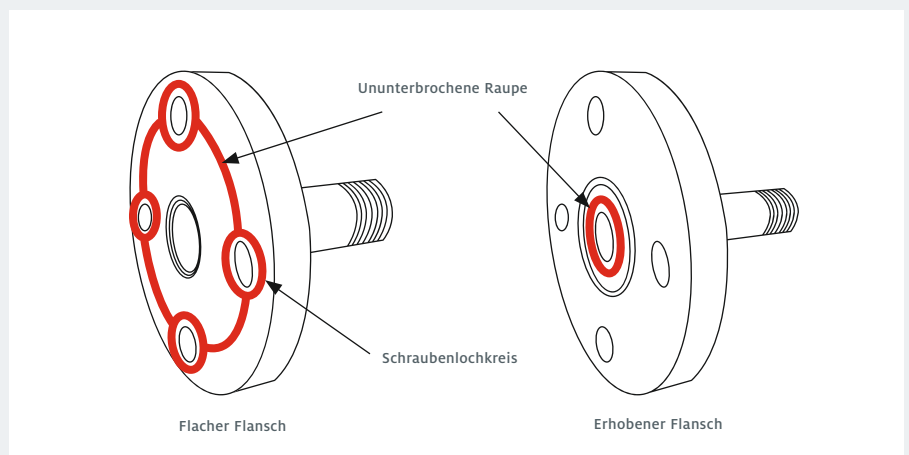
## 7. AUFTRAGUNG DES PRODUKTS UND MONTAGE DER VERBINDUNG

### BEISPIEL EINER ANAEROBEN DICHTUNG

- Durchmesser der Dichtungsraupe  $1,5 \pm 0,5$  mm
- Die Dichtungsraupe wird auf der Mittellinie der Kontaktfläche mit einer Präzision von  $\pm 1$  mm aufgetragen.
- Eine ununterbrochene Raupe des Produkts wird in oder um die Dübel- und Schraubenlöcher herum aufgetragen.
- Überprüfen Sie die einheitliche Dicke der Dichtungsraupe, Luftlöcher, Hohlräume und Unterbrechungen.
- Der Abstand zwischen der Düsenspitze und dem Flansch sollte in etwa so groß sein wie der Durchmesser der Dichtungsraupe ( $1,3 \pm 0,2$  mm).
- Die Dosiergeschwindigkeit sollte 80 bis 130 mm / Sekunde betragen.

ABB. 19

#### Anaerobe Dichtungsraupe auf Getriebeflansch





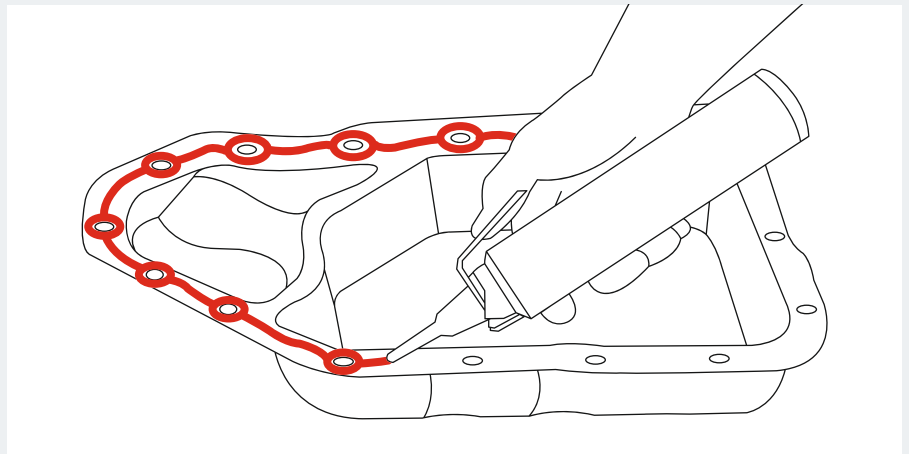
## BEISPIEL RTV-ELASTOMER-DICHTUNGSTOFF

- Durchmesser der Dichtungsraupe  $2,5 \pm 0,5$  mm
- Auf dem flachen Flanschbereich positioniert befindet sich die Mitte der Dichtungsraupe  $1 \pm 1$  mm von der Fase entfernt.
- Eine ununterbrochene Raupe des Produkts wird in oder um die Dübel- und Schraubenlöcher herum aufgetragen.
- Überprüfen Sie die einheitliche Dicke der Dichtungsraupe, Luftlöcher, Hohlräume und Unterbrechungen.
- Der Abstand zwischen der Düsenspitze und dem Flansch sollte in etwa so groß sein wie der Durchmesser der Dichtungsraupe ( $1,3 \pm 0,2$  mm) (siehe auch Abschnitt 6.1 / Abbildung 12).
- Dosiergeschwindigkeit 80 bis 130 mm / Sekunde

**Hinweis:** Bei T-Stücken wird möglicherweise eine größere Menge des RTV-Elastomer-Dichtungstoffes benötigt. Ein größerer Durchmesser der Dichtungsraupe oder ein spezieller Dosierpfad sind wirkungsvolle Methoden zur Füllung von Hohlräumen in diesem Bereich. Zur Berechnung der richtigen Produktmenge ist die Durchführung von Auftragsuntersuchungen nötig. Wird eine „geringe Menge“ zur Abdichtung eines T-Stücks benötigt, beträgt diese üblicherweise einen Durchmesser von 8 mm am Untergrund.

### ABB. 20

#### Mögliche RTV-Elastomer-Dichtungsraupe auf T-Stück



# 7. AUFTRAGUNG DES PRODUKTS UND MONTAGE DER VERBINDUNG

## SIEBDRUCK

Dieses Verfahren kann zum Auftragen von anaeroben Dichtungsstoffen zum Einsatz kommen. Siebdruck eignet sich insbesondere für Produktionen mittleren Umfangs und dort wo keine Flexibilität gefordert wird.

- Für das Siebdruckverfahren benötigt man eine flache Oberfläche (z. B. ohne Dübel).
- Die Siebe verschleifen und müssen daher von Zeit zu Zeit ausgetauscht werden.
- Das Siebdruckverfahren eignet sich nicht für das Auftragen von RTV-Elastomer-Dichtungsstoffen.

## 7.3. MONTAGE

Es ist von äußerster Wichtigkeit, das Verfahren an der Fertigungslinie auf der FIPG-Dichtungen verwendet werden zu verstehen. Die Montagebedingungen, Schritte und Zykluszeiten haben einen enormen Einfluss auf die Auswahl des Dichtungstoffes und später auf die Qualität des gesamten Prozesses.

Es ist wichtig, eine Verschmutzung der Flansche vor der Montage der Bauteile zu verhindern. Wenn Bauteile bewegt werden müssen, muss das aufgetragene Produkt an Ort und Stelle bleiben. Das Produkt sollte vor der Montage nicht berührt werden.

Qualitätskontrollsysteme können dabei helfen, den Auftrageprozess zu überwachen und eine falsche Positionierung oder Unterbrechung der Dichtungsraupe zu erkennen.

Sobald das aufgetragene Produkt mit beiden Flanschoberflächen verbunden ist sollte jede Form von Bewegung in Relation zur Verbindungsoberfläche vermieden werden.

#### **ANAEROBE PRODUKTE:**

Die grundlegenden chemischen Aushärtungseigenschaften von anaeroben Dichtungsstoffen ermöglichen eine unbeschränkte offene Zeit. Dennoch können schnell aushärtende Dichtungsstoffe auch schon vor der Montage beginnen vorzuhärten. Dieser sogenannte Shimming-Effekt beeinflusst die Abdichtungsleistung und führt zu einem Spalt zwischen den Verbindungsoberflächen.

Es wird dringend empfohlen, sämtliche Schrauben unmittelbar nach der Zusammenführung der Flanschoberflächen vollständig anzuziehen, um Spalterzeugung durch Shimming und somit spätere Leckagen zu verhindern. Unterbaugruppen erfordern möglicherweise zusätzliche Befestigungselemente.

#### **RTV-ELASTOMER-DICHTUNGSTOFFE:**

Sobald das Produkt aufgetragen wurde müssen die Flansche innerhalb der Hautbildungszeit des Produkts (ca. 5-15 Minuten bei den meisten Produkten, siehe technisches Datenblatt) montiert werden. Ein unmittelbares vollständiges Anziehen ist nicht erforderlich. Abhängig von der Größe und Steifigkeit der Flansche ist es zulässig, zunächst mehrere Schrauben einzubringen und innerhalb von 20-30 Minuten vollständig anzuziehen.

#### **WICHTIG:**

Produktionsstillstände oder -unterbrechungen müssen berücksichtigt werden. Mit einer sorgfältigen Planung der Fertigungslinie lässt sich die Notwendigkeit einer Nachbearbeitung von Bauteilen und Verschnitt vermeiden.

## 8. WARTUNG UND INSTANDSETZUNG

### 8.1. DEMONTAGE

Bei einer richtigen Ausführung, Herstellung und Bearbeitung einer Dichtung bleibt eine Verbindung über die gesamte Lebensdauer ordnungsgemäß abgedichtet. Eine Zerlegung ist daher nur bei mechanischen Reparaturen nötig.

#### **AUSFÜHRUNG DER ZERLEGUNG – ANAEROBE / RTV-ELASTOMER-DICHTUNGSSSTOFFE:**

Eine hocheffiziente und kostensparende Methode für die Zerlegung ist die Anwendung spezieller Ausführungsmerkmale während der Entwicklung des Elements.

Die folgenden Abbildungen zeigen zwei Möglichkeiten, um dies zu erreichen: Abhängig von der Bauteilgröße und -zugänglichkeit werden zwei oder mehr dieser Vorsprünge oder Vertiefungen auf jeder Verbindung benötigt.

#### ABB. 21

**Mögliche Ausführungsmerkmale für ein einfaches Zerlegen von Gussteilen. In manchen Fällen können Zugänglichkeits- und Raumanforderungen die Nutzung von Verstellspindeln erforderlich machen. Die für das Verschrauben der Bauteile genutzten Löcher können als Löcher für die Verstellspindeln genutzt werden.**



## DEMONTAGEWERKZEUG – RTV ELASTOMER-DICHTUNGSTOFFE

Ein weiteres gängiges Zerlegungsverfahren, insbesondere für ausgestanzte Bauteile, erfolgt mittels Spachtel und Hammer (siehe Abbildung 22). Dies gilt für Hersteller von Originalbauteilen sowie für den Werkstattservice. Die Spachtel müssen teilweise modifiziert werden, je nach Zugangs- und Handhabungsbedingungen. Um ein leichtes Einführen und Schneiden zu ermöglichen, sollten die Vorder- und Seitenkanten geschärft werden.

Die Hauptvorteile dieses Verfahrens sind folgende:

- Schnelle Verfügbarkeit – Diese Werkzeuge sind in jedem Werkzeugkoffer vorhanden.
- Keine oder nur geringe Schäden an der Oberfläche
- Mechaniker sind mit dieser Technik vertraut, da sie ebenfalls für das Zerlegen von festen Dichtungen zur Anwendung kommt.
- Preisgünstig
- Sowohl für Ölwanne aus Aluminiumguss als auch aus gestanztem Stahl
- Kompatibilität mit den meisten handelsüblichen Motoren

## ABB. 22

### Beispiel eines Spachtels mit Kunststoffhammer



# 8. WARTUNG UND INSTANDSETZUNG

## 8.2. REINIGUNG

Bei FIP-Dichtungen ist ein geeignetes Säuberungsverfahren äußerst wichtig, um eine qualitativ hochwertige Abdichtung zu erzielen.

Nach Zerlegung der Teile müssen die beiden Flansche gereinigt und geprüft werden.

### ANAEROBE GEWINDEDICHTUNG

Um Spalterzeugung durch Shimming zu verhindern müssen Reste von alten Dichtungen komplett entfernt werden.

Jegliche Form von Schmutz oder Flüssigkeit muss von den Dichtungsflächen entfernt werden, um ein gutes Aushärten des Produkts und eine entsprechende Haftung am Untergrund zu gewährleisten.

Eine Verschmutzung der Flansche vor der Montage ist zu vermeiden. Aus diesem Grund müssen auch die Teile, die sich in der Nähe der Verbindung befinden, gereinigt werden.

### RTV-ELASTOMER-DICHTUNGSTOFFE

Die alte Dichtung muss entfernt werden. Je nach Anwendung können kleine Mengen an Resten toleriert werden, da der frisch aufgetragene RTV-Elastomer-Dichtungsstoff im Allgemeinen über eine gute Haftung am alten RTV-Elastomer-Dichtungsstoff verfügt. Bei Problemen mit Shimming muss der Flansch vollständig gesäubert sein, um jegliche Form von Spaltbildung oder falscher Positionierung zu vermeiden.

Schmutz oder Flüssigkeiten müssen von den Dichtungsflächen entfernt werden. Vor dem Auftragen des Produkts muss der Flansch vollständig getrocknet sein.

Eine Verschmutzung der Flansche vor der Montage ist zu vermeiden. Aus diesem Grund müssen auch die Teile, die sich in der Nähe der Verbindung befinden, gereinigt werden.

### REINIGER UND WERKZEUGE

- LOCTITE SF 7200 Bauteil-Reiniger – Dichtstoffentferner
- LOCTITE SF 790 Dichtstoffentferner
- Spachtel, Kunststoffschaber
- Scheuerschwamm

Reinigungsmittel auf Mineralölbasis oder mineralische Alkohole, die Reste hinterlassen und das Haften oder Aushärten des Produkts beeinträchtigen können, sollten nicht verwendet werden.

### **8.3. AUFTRAGUNG UND MONTAGE**

Für den Betrieb ist die einzige praktikable Anwendungsmethode für FIPG-Dichtungen das manuelle Auftragen einer Dichtungsraupe.

Es ist wichtig zu wissen, wo und in welcher Menge das Produkt aufgetragen werden muss. Diese Informationen befinden sich in der Gebrauchsanweisung.

Dichtungsstoff nur auf eine der Dichtungsflächen auftragen.

Die Position, Menge und Kontinuität der Dichtungsraupe sowie Reparaturmängel müssen unmittelbar nach der Auftragung geprüft werden.

#### **ANAEROBE PRODUKTE:**

Anaerobe Produkte sollten in einer geraden Linie mittig auf dem Flansch aufgetragen werden (wie Roboter-Anwendung in der Massenproduktion). Die Menge ist gemäß der Empfehlungen in Abschnitt 7.2 Auftragung zu wählen.

#### **RTV-ELASTOMER-DICHTUNGSTOFFE:**

Beim Auftragen von RTV-Elastomer-Dichtungsstoffen ist das genaue Platzieren der Dichtungsraupe im Allgemeinen einfacher, wenn das Produkt auf dem Bauteil mit der Fase aufgetragen wird. Die Position und Menge der Dichtungsraupe ist gemäß den Empfehlungen in Abschnitt 7.2 Auftragung zu wählen.

## 9. GELTUNGSBEREICH UND BESCHRÄNKUNGEN

Diese Richtlinie basiert auf mehr als 25 Jahre Anwendungserfahrung von Henkel, unterstützt durch die seit 1991 umfassend durchgeführten Prüfungen im GEC in München. Mit dem erarbeiteten Fachwissen kann Henkel den Kunden demonstrieren, wie eine zuverlässige Abdichtung erzielt werden kann.

Der Inhalt der vorliegenden Richtlinie kann als Hilfsmaterial bei der Produktentwicklung oder Besprechung von Misserfolgen auf diesem Gebiet dienen. Außerdem kann diese Richtlinie helfen, die bereits bestehenden Flansche zu optimieren.

**Diese Richtlinie kann detaillierte Besprechungen zwischen dem Kunden und dem lokalen Henkel-Experten im Bereich Dichtungen jedoch nicht ersetzen.** Erfahrungen haben gezeigt, dass jeder Flansch und jeder Anwendungsfall anders sind. Daher ist ein umfangreiches Wissen über Produkt, Ausführung und Prozess bei der Auswahl der besten Lösung in jedem Fall unumgänglich. Ausnahmen von den vorgegebenen Regeln können notwendig werden und sollten stets überprüft werden.





## 10. ABKÜRZUNGEN



**SLS:** Single-Layer Steel – Einschichtstahl: eine Dichtung, die aus einer Schicht Stahl hergestellt wird. In der Regel enthält eine solche Dichtung eine aufgeprägte Dichtungsraupe und kann zusätzlich beschichtet oder behandelt sein.

**MLS:** Multi-Layer Steel – Mehrschichtstahl: eine Dichtung, die aus zwei oder mehreren Schichten Stahl besteht. In der Regel enthalten eine oder mehrere Stahlschichten einer solchen Dichtung eine aufgeprägte Dichtungsraupe und können zusätzlich beschichtet oder behandelt werden.

**SGM:** Soft Gasket Material – weicher Dichtungswerkstoff (insbesondere Faserstoff, Beater-Addition, Papier, flexibler Graphit, ausgeschnittenes Gummi): ein ausgestanztes, weiches Material, das zusammengedrückt wird, um in eine Verbindung hineingepasst zu werden und sie abzudichten. Die Dichtung kann zusätzlich behandelt und durch aufgetragene Dichtungsraupen, Beschichtungen, Dichtungstüllen, aufgedrückte Raupen oder Imprägniermittel ergänzt werden.

**Com:** Verbundmaterial – eine Dichtung, bei der eine oder mehrere Schichten eines weichen Dichtungswerkstoffs mit einer oder mehreren Metallschichten kombiniert werden. Die Schichten können mechanisch oder chemisch verbunden sein.

**FIPG:** Formed-In-Place Gasket – flüssig aufgetragene Dichtung: die Erklärung des Begriffs ist im Kapitel 2 aufgeführt.

**CIPG:** Cured-In-Place Gasket – frei aufgetragene Dichtung: die Erklärung des Begriffs ist im Kapitel 2 aufgeführt.

**IIP:** Injected-In-Place Gasket – frei eingespritzte Dichtung: die Erklärung des Begriffs ist im Kapitel 2 aufgeführt.

**MIP:** Molded-In-Place Gasket – Verbund-Dichtung: die Erklärung des Begriffs ist im Kapitel 2 aufgeführt.

**RTV:** Vernetzung bei Raumtemperatur. Ein Aushärtungsmechanismus, z.B. für RTV-Elastomer-Dichtungsstoffe – siehe auch Abschnitt 4 RTV-Elastomer-Dichtungsstoffe.

**Cu:** Kupfer

**GEC:** Global Engineering Center

**T-Stück:** Eine Stelle, an der sich zwei Verbindungen treffen – siehe auch Abschnitt 6.2.

# 11. BIBLIOGRAPHIE

- <sup>1</sup> Klopfer, M., Jackle, M., Lechner, G., Universität Stuttgart, Institut für Maschinenelemente: Deckeldichtungen. Abschlussbericht 152/III, FVA-Forschungsheft-Nr. 463, Frankfurt: Forschungsvereinigung Antriebstechnik e. V., 1995
- <sup>2</sup> Kreuzer R.: MAE.0001 – Comparison of Anaerobic (518) and Silicone (5699) as Gasketing Materials. MRD 94-04 17. Juni 1994.
- <sup>3</sup> Prediger B., Kleiner F.: MAE.0021 – Blowout Behavior of Silicones. MRD 95-01 31. Januar 1995.
- <sup>4</sup> Ritter K-H., Schmatz T.: Design Instruction RTV Silicone – Sealant. September 1996.
- <sup>5</sup> Ritter, K-H., Clauss, R.: The New Challenge for Sealant Supplier – A Partnership with the Automotive Industry. SAE 960212, Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, PA, 1996.
- <sup>6</sup> Kreuzer R.: MNA.0436 – Jaguar Engine AJ30/31. MRD 96-01 9. April 1996.
- <sup>7</sup> Kreuzer R., McClelland B., Garnich F.: MAE.0420 – Design Guidelines for Gasketing Applications. MRD 96-03 17. Juli 1996.
- <sup>8</sup> Kleiner F.: MNA.0006 – Anaerobic Solution for a Bedplate Application. MRD 96-04 23. August 1996.
- <sup>9</sup> Kreuzer R.: MTP.0497 – Gasketing Fatigue Test with 5900. MRD 96-07 13. Dezember 1996.
- <sup>10</sup> Ritter, K-H.: Design Guidelines and Concepts for Zero-Gap Bedplate Sealing. SAE 1999-01-0593, Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, PA.
- <sup>11</sup> Kreuzer R.: MAE.0019 – Comparative Testing of Gasketing Materials. Reports MRD 97-03 16. Mai 1997, MRD 98-04 6. Mai 1998, MRD 99-04 18. Mai 1999.
- <sup>12</sup> Kleiner F.: MAE.0623 – Surface Roughness Investigation. MRD 99-09 31. Juli 1999.
- <sup>13 (PBT)</sup> Kreuzer R., Romanos G.: Zuverlässigkeit von Flächendichtungen auf Basis von Flüssigdichtmitteln unter dynamischer Beanspruchung. VDI Berichte Nr. 1579, 2000.
- <sup>14</sup> Kreuzer R.: MAE.0747 – Comparative Fatigue Testing. MRD 00-04 18. Mai 2000.

- <sup>15</sup> Kreuzer R.: MDP.1020 – Ford RTV Key Life Test. MRD 00-05 5. Juni 2000.
- <sup>16</sup> Kreuzer R.: MAE.0749 – FEA Model of a Sealed Joint. MRD 00-21 11. Dezember 2000.
- <sup>17</sup> Kreuzer R.: MAE.5017 – Comparative Fatigue Testing. MRD 01-01 16. Januar 2001.
- <sup>35</sup> Kreuzer R.: MAE.5041 – Fatigue Tests at Gasket Test Rig 2. MRD 01-06 21. August 2001.
- <sup>19</sup> Kreuzer R.: MDP.5045 – Ford-KLT 5970 Investigation. MRD 01-05 24. September 2001.
- <sup>20</sup> Schmatz T.: Guideline to Seal the T-Joint. September 2001.
- <sup>21</sup> Schmatz T.: MDP.0722 – T-Joint Investigation for Ford. MRD 01-07 18. Oktober 2001.
- <sup>22</sup> Kreuzer R.: MAE.5040 – Adhesive Layer Thickness. MRD 02-03 4. Februar 2002.
- <sup>23</sup> Kreuzer R.: MAE.0748 – Gearbox Fatigue Testing. MRD 02-05 1. Juli 2002.
- <sup>24</sup> Kreuzer R.: MAE.5067 – Component Fatigue Testing – Gearbox. MRD 03-02 20. Januar 2003.
- <sup>25</sup> Kirchberger P.: Ford Puma T-Joint. MRD 03-04 27. Februar 2003.
- <sup>26</sup> Schmatz T.: MDP.0905 – Next Generation RTV. MRD 03-06 21. März 2003.
- <sup>27</sup> Becher J.: MAE.5068 – Adhesive Joint Behavior. MRD 03-07 20. März 2003
- <sup>28</sup> LOCTITE Worldwide Design Handbook. 2. Ausgabe 1998

**AUSGABE:**

**Version:** 1,4

**Ort:** Rocky Hill, Connecticut, USA

**Datum:** Juni 2018

**AUTOREN:**

**Renate Kreuzer**

Henkel GEC, Engineering Scientist (Ingenieurwissenschaftlerin)

**Thomas Schmatz**

Henkel GEC, Manager Transportation Engineering (Leiter Verkehrstechnik)

# LOCTITE®

**Henkel AG & Co. KGaA**

Gutenbergstr. 3  
85748 Garching

Tel.: (+49) 89 9268-0  
Fax: (+49) 89 910 1978

[www.henkel-adhesives.de](http://www.henkel-adhesives.de)

**Henkel & Cie. AG**

Salinenstr. 61  
CH-4133 Pratteln

Tel.: (+41) 61 825 70 00  
Fax: (+41) 61 825 73 03

[www.henkel-adhesives.ch](http://www.henkel-adhesives.ch)

**Henkel Central Eastern Europe GmbH**

Erdbergstraße 29  
A-1030 Wien

Tel.: (+43) 1 711 04 0  
Fax: (+43) 1 711 04 4194

[www.henkel-adhesives.at](http://www.henkel-adhesives.at)

Die hierin erscheinenden Angaben dienen ausschließlich Informationszwecken. Für Unterstützung und Empfehlungen hinsichtlich der Produktspezifikationen wenden Sie sich bitte an Ihren Henkel-Ansprechpartner.

Except as otherwise noted, all marks used above in this printed material are trademarks and/or registered trademarks of Henkel and/or its affiliates in the US, Germany, and elsewhere. © Henkel AG & Co. KGaA, 2019