

Fachbeitrag Jahrbuch der
Dichtungstechnik 2004

Thema:

Der Einsatz von Flüssigdichtungen als
prozesssichere Alternative

Polyprocess GmbH
Martin Hirsch
Am Wald 11-15
D-97348 Rödelsee



Abb. 1: Frei programmierte und flüssig aufgetragene Elastomerdichtung

1. Einführung

- 1.1 Problemstellung
- 1.2 Erläuterung des Begriffsdschungels
in anwenderverständlichen Worten

2. Prozess und Produkte

- 2.1 Zielsetzung
- 2.2 Prozess- und Produktbeschreibung
- 2.3 Möglichkeiten und Grenzen des
Einsatzes von Flüssigdichtungen
- 2.4 Einordnung im Vergleich zu anderen
Verfahrensalternativen

3. Problemlösung

- 3.1 Dichtungsmaterialien
- 3.2 Bauteilgestaltung
- 3.3 Dosiertechnik als Dienstleistung

4. Beispiele

- 4.1 Polyurethandichtungen
- 4.2 Silikondichtungen
- 4.3 Silikon-Kompaktdichtungen
- 4.4 Silikon-Elastomerdichtungen mit
mikropolymeren Hohlkugeln

1. Einführung

1.1 Problemstellung

„Und wie lösen wir nun noch das Dichtproblem?“

Unter dieser etwas provokanten Formulierung lässt sich die noch immer häufig übliche Vorgehensweise in der deutschen Industrie zusammenfassen. Bauteile werden unter Berücksichtigung aller späterer Anforderungen konstruiert, und während das Werkzeug für die Serienfertigung gebaut wird, erhält der Einkauf die Beschaffungsaufgabe für eine möglichst geeignete Dichtung.

Inzwischen hat sich dieser Prozess in zunehmender Weise verändert. Wachsende Qualitätsanforderungen und der steigende Kostendruck erforderten eine Erhöhung der Prozesssicherheit bei gleichzeitiger Rationalisierung.

In den vergangenen 25 Jahren hat die flüssig aufgebrachte Dichtung einen beispiellosen Siegeszug durch die Welt der Dichtungstechnik erlebt. Dabei machten sich die Anwender die Fortschritte in der CNC-gesteuerten Dosiertechnik sowie der immer leistungsfähigeren Chemie zunutze, mit der Dichtungen unmittelbar auf dem Bauteil erzeugt werden. Allerdings ist der Anlageninvest erheblich.

Dennoch wird die flüssig aufgebrachte Dichtung niemals vollständig die bisherigen Lösungen ersetzen. Nahezu alle derzeitigen Lösungen haben ihre Berechtigung. Der Kunde kann vielmehr zwischen verschiedenen Alternativen entscheiden. Dazu ist erforderlich:

- Vor- und Nachteile müssen fair aufgezeigt werden
- Begriffe sollten in verständlichen Worten verwendet werden

Vor- und Nachteile der **konventionellen** Dichtung

- + Hoher Erfahrungswert
- + Meist preiswerte Lösung
- + Montage im Serienprozess meist einfach möglich

- Vergessen der Dichtung an sich
- Falsche Montage auf dem Bauteil
- Verrutschen und anschließende Beschädigung während der Montage
- Verlust auf dem Transportweg
- Dreidimensionale Dichtungen aufwändig/teuer
- Zunehmende Kosten durch Werkzeugbau bei Typenvielfalt
- Keine Flexibilität bei Derivaten
- Kosten durch Lagerhaltung und Verwaltung sowie spätere Vernichtung von Restbeständen nach Serienende

All diese Nachteile lassen sich grundsätzlich mit dem Auftrag von Flüssigdichtungen vermeiden.

Von großer Bedeutung ist dabei jedoch die möglichst **frühzeitige Einbeziehung** der Experten bereits **in der Entwicklungsphase**. Je besser die Konstruktion auf die Voraussetzungen für eine Flüssigdichtung ausgerichtet ist, desto prozesssicherer und kostengünstiger wird das Resultat ausfallen. Ein bereits fertig aufgebautes Werkzeug erlaubt unter Umständen überhaupt keine funktionsfähige bzw. wirtschaftliche Flüssigdichtung mehr.

Der Einsatz der Flüssigdichtung ist analog zu den bisherigen Anwendungen mannigfaltig: Kunststoffspritzgussteile und Aluminiumgussteile stellen die häufigsten Einsatzgebiete. Eine Dosierung ist aber auf den meisten festen Materialien möglich, so z.B. Glas, Keramik, Pappe etc.

1.2 Erläuterung des Begriffsdschungels in anwenderverständlichen Worten

In der Dosiertechnik gibt es bis heute eine Vielzahl von Begriffen, die wahlweise verwendet werden. Ein Standard hat sich dabei leider noch nicht definieren lassen. Daher hier im Folgenden der Versuch einer Definition der wichtigsten Bezeichnungen ohne Anspruch auf Vollständigkeit.

Flüssigdichtungen= Dichtstoffe, die in noch nicht fester Form aufgebracht werden.

Der Dichtmassenauftrag erfolgt in dünn- bis dickflüssiger Konsistenz. Die Bauteile werden entweder im noch nicht ausreagierten Zustand gefügt (Klebedichtung) oder nach Vollzug des Reaktionsprozesses.

Schaumdichtungen: Dichtungen auf Schaumbasis enthalten feine Luftblasen, die ein Komprimieren der Dichtung erlauben. Die bestmöglichen Dichteigenschaften werden nur im komprimierten Zustand erreicht.

Kompaktdichtungen: Dichtungen auf Kompaktbasis weisen eine geschlossene Masse auf, die im allgemeinen nicht komprimiert werden kann. Ausnahmen bilden neuere Materialien, die mit mikropolymeren, gasgefüllten Hohlkugeln gefüllt sind. Hier ist eine begrenzte Komprimierung möglich, die jedoch in Zusammenhang mit der Erwärmung steht. Sie basieren in der Regel auf Silikonelastomeren, die etwa mit O-Ringen aus NBR oder Viton vergleichbar sind.

Füllstoffe = Bestandteile, die der bzw. den Materialkomponenten vom Hersteller beigemischt werden, um bestimmte Eigenschaften zu verbessern

In Situ = vor Ort, unmittelbar am Bauteil

Shorehärte = Härtegrad einer Dichtung, gemessen in „Shore A“ oder „Shore 00“

Thixotropie = Den Zustand des Fließverhaltens, bei dem bei konstanter Scherbeanspruchung die Viskosität eines flüssigen Stoffes im Laufe der Zeit abnimmt

Vernetzung, additions-~ = Aushärtung unter hoher Temperatur (meist 120- 150° C) ohne Abspaltung von weiteren Stoffen

Vernetzung, kondensations-~ = Aushärtung unter Raumtemperatur mit Abspaltung eines weiteren Stoffes

Viskosität= Vergleichsgröße für Zähigkeit oder innere Reibung einer Flüssigkeit

Hohe Viskosität = zähflüssige bis starre Masse,

Niedrige Viskosität = dünn- bis flüssige Masse

Messeinheit meist in „Pascalsekunden“ (Pa°s) oder
„Millipascalsekunden“ (mPa°s)

Beispiel: Wasser = 1 mPa°s

Die Viskosität eines Materials ist von den Chemieherstellern in Grenzen einstellbar. Sie verändert sich bei der Verarbeitung aber auch selbst, etwa aufgrund von Temperaturschwankungen.

Die gängigsten amerikanischen Bezeichnungen lauten:

CIPG- Cured in place gasket

= am Bauteil vernetzt, vulkanisiert, ausgehärtet („ausgebacken, getempert“)

DFG- Dispensed foam gasketing

= aufgetragene Schaumdichtung

FIPG- Formed in place gasket

= am Bauteil erzeugte Dichtung

FIPFG- Formed in place foam gasket

= am Bauteil erzeugte Schaumdichtung

MIPG- Moulded in place gasket

= vor Ort geformte Dichtung

2. Prozess und Produkte

2.1 Zielsetzung

Die vorrangige Zielsetzung beim Einsatz von Flüssigdichtungen besteht darin, das Bauteil prozesssicher abzudichten. Dies insbesondere dort, wo der Einsatz von konventionellen Dichtungen aufgrund der Geometrie kaum mehr möglich oder unmöglich ist.

Die zweite Zielsetzung ist die Einsparung von Kosten. Dabei geht es beispielsweise um aufwändige Montagekosten, Werkzeugkosten für eine Formteildichtung oder Reduzierung der Ausschusskosten.

Der reine Vergleich eines laufenden Meters Dichtschnur gegen die Menge eingesetzter Flüssigchemie ist nicht möglich. Dazu spielen zu viele unterschiedliche Kostenarten eine Rolle. Es gilt also die tatsächlichen Vollkosten einer Formteildichtung gegen die einer Flüssigdichtung abzuwägen, ohne Kosten wie Maschinenstundensatz, Lohn, Produktionsfläche, Nebenkosten etc. zu vernachlässigen.

Ein immer bedeutenderer Faktor ist der Gewinn an Flexibilität. So können bei modernen Misch- und Dosieranlagen Programme in kürzester Zeit abgeändert werden, falls sich die Bauteilgeometrie noch ändert oder abweichende Bauteilformate für Derivate anfallen. Bei Formteildichtungen wäre hier ein Werkzeugneubau oder –umbau erforderlich.

Zur detaillierten Betrachtung werden im Kapitel 3 die Dichtungsmaterialien sowie die empfehlenswerte Bauteilgestaltung näher dargestellt.

2.2 Prozess- und Produktbeschreibung

- Flüssigdichtungen bestehen aus mindestens einer oder zwei reaktiven Komponenten
- Die Verarbeitung erfolgt in der sogenannten Niederdrucktechnik
- Die Aufbereitung und der Austrag erfolgen über eine Dosieranlage.
- Einkomponentige Materialien werden über ein Dosierventil direkt aus dem Materialbehälter gefördert
- Zwei- oder mehrkomponentige Materialien werden in einer Misch- und Dosieranlage verarbeitet.
- Die Vermischung erfolgt statisch (mechanisch im Kunststoffröhrchen) oder dynamisch (im Mischkopf bei bis zu etwa 6.000 Umdrehungen)
- Eine Misch- und Dosiersteuerung regelt die einzelnen Dosierprogramme. Sie ist bei 3- Achs-Systemen mit einer Achssteuerung verknüpft, welche die Verfahrswege steuert. Alternativ werden die Dosiersysteme an einen Industrieroboter angebaut, der die Dichtungskontur abfährt oder das Bauteil an einer feststehenden Austragsdüse entlangführt.



Abb.2: Misch- und Dosieranlage mit 3 Achsen und Schiebtischlösung

2.3 Möglichkeiten und Grenzen des Einsatzes von Flüssigdichtungen

- Einfache Programmierung und hohe Flexibilität bei Bauteilveränderungen
- Entfall von Werkzeugen
- Entfall der Montage
- Exakte Wiederholgenauigkeit durch CNC-Auftrag
- Spannungsfreie Lage der Dichtung auf dem Bauteil
- Gute Haftung auf dem Bauteil bei Transport- und Montage, jedoch abhängig vom eingesetzten Thermoplast (gegebenenfalls Haftvermittler erforderlich)
- In Grenzen auch dreidimensionaler Verlauf möglich
- Kosten- und Qualitätsvorteile
- Höchste Flexibilität
- Teil und Dichtung sind eine Einheit (reduzierte Lagerhaltung)

Sie sind nicht im Vorteil

- Bei sehr einfacher Dichtungsgeometrie (O-Ring ist oft preiswerter)
- Bei ungewöhnlichen Breite-Höhen-Verhältnissen
- Radialanwendungen sind nur bedingt möglich
- Speziell konturierte Dichtungsprofile sind nur bedingt möglich

2.4 Einordnung im Vergleich zu anderen Verfahrensalternativen

Vorgeformte Dichtungen:

- Rundschnurdichtungen (sehr preiswert, aber meist wenig maßhaltig aufgrund Längentoleranzen)
- Endlosware (sehr preiswert, aber meist wenig passgenau, kritische Kopplungsstelle)
- O-Ringe (sehr preiswert, aber meist nur für einfachere Konturen geeignet)
- Flachdichtungen
- Formteildichtungen

Im Werkzeug eingespritzte Dichtungen

- Anspritzen von Dichtungen im geschlossenen Werkzeug („2K-Spritzguss-Technologie“); für sehr hohe Stückzahlen

Flüssigdichtungen

- Siehe weitere Beschreibung

3. Problemlösung

3.1 Dichtungsmaterialien

Für nahezu alle Anwendungsfälle gibt es geeignete Dichtstoffe. Dichtungsmaterialien sind überwiegend **Polyurethane (PU oder PUR)** genannt) und **Silikone (Sil)**. Sie werden als **Schaum** oder als sogenannte **Kompaktmasse** verarbeitet. Ein Schaumsystem wird mit Luft oder Gas befüllt („beladen“) und weist unzählige kleine Blasen auf, die beim Verbau zusammengepresst werden. Während des Ausreagierens dehnt sich das Schaumvolumen aus, und die Masse steigt zu einer Raupe auf. Es bildet sich eine dünne, widerstandsfähige Haut („Integralhaut“), die die Schaummasse schützt. Schäume reagieren an der Luft binnen ca. 15-20 min., der Verbau sollte jedoch erst nach 24 Stunden erfolgen. Schäume sind NICHT Ölbeständig!

Kompaktmaterialien haben keinerlei Luftpfeinschlüsse. Sie verändern ihr Volumen in der Reaktionsphase nicht mehr. Additionsvernetzende Kompaktmassen auf Silikonbasis müssen bei hoher Temperatur (ca. 150°C) mindestens 15 min. pro cm Schichtdicke im Ofen vulkanisiert („getempert“) werden. Sie sind bei geforderter Ölbeständigkeit unerlässlich. Gleiches gilt für kondensationsvernetzende Systeme, die jedoch eine lange Reaktionszeit erfordern. Ist zusätzlich Kraftstoffbeständigkeit gefordert, sind aufgrund des Quellverhaltens nur noch wenige Materialien einsetzbar; hier empfiehlt sich der Einsatz von noch höherwertigen Fluorsilikon.

Die Dichtungshärte und das Fließverhalten sind bei beiden Materialgruppen in Grenzen einstellbar.

Spezielle PUR/Sil-Materialien enthalten mikropolymerer, gasgefüllte Hohlkugeln. Sie werden eingesetzt, wenn trotz hoher Temperaturanforderungen leichte Komprimierung unerlässlich ist.

Der Einsatz von Flüssigdichtungen als prozesssichere Alternative

		PU - Schaum	Silikon - Schaum	Silikon - Elastomer (Kompaktmaterial)	Silikon - Elastomer (gaskugelgefüllt)
Temp in ° C	Dauerbelastung	-40 bis +90*	-50 bis +180	-50 bis +180	-60 bis + 90 **
	in der Spitze	-40 bis +110	-60 bis +300	-60 bis +300	-60 bis +200

Beständigkeit	mechanisch	niedrig - gut	niedrig - gut	sehr gut	gut
	chemisch	niedrig bis gut*	sehr gut	sehr gut	gut
	UV	niedrig bis gut*	sehr gut	sehr gut	sehr gut
	Öl	sehr niedrig	sehr niedrig	sehr gut	sehr niedrig
	Kraftstoff	sehr niedrig	sehr niedrig	niedrig bis sehr gut*	sehr niedrig

Härte in Shore 00 bzw. A (ca.)		20 (00) – 65 (A)	10 (A) – 35 (A)	20 (A) – 70 (A)	20 (A) – 50 (A)
-----------------------------------	--	------------------	-----------------	-----------------	-----------------

Druckbestän- digkeit		bedingt	gut	sehr gut	bedingt
-------------------------	--	---------	-----	----------	---------

Preis in € ca.		5 – 10 € / kg	20 – 30 € / kg	20 - 40 € / kg	30 - 50 € / kg
----------------	--	---------------	----------------	----------------	----------------

**bei gleichzeitiger
Druckbelastung

* je nach Type

3.2 Bauteilgestaltung

3.2.1 Plane Flächen

Plane Flächen (z.B. Schaltschranktür) erhalten eine standfeste Schaumdichtung, die beim Verbau komprimiert wird

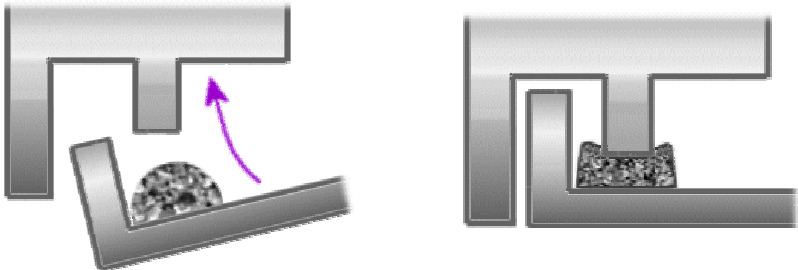


Abb.4a: Schaumraupe bei planer Fläche vor und nach dem Verbau

3.2.2 L-förmige Wange (= Schulter, Stufe)

D_u = Dichtung unkomprimiert
 K = Komprimierung
 D_k = Dichtung komprimiert

Komprimierung:
PU-Schaum: 10 – 80%
Silikon-Schaum: 5 – 70%
Sil-Kompakt: 0%
Sil-Gaskugel: 5 – 30%

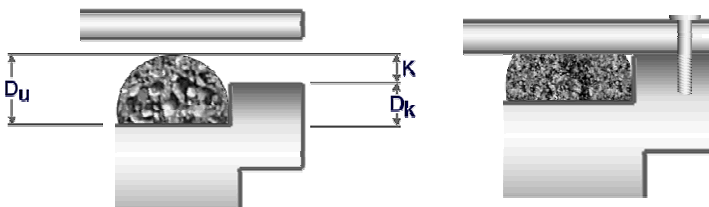


Abb.4b: Schaumraupe bei Wangenlösung vor und nach dem Verbau

3.2.3 Nutlösung

Bei einer Nutlösung (z.B. Gehäusedeckel) wird eine fließfähige Schaumdichtung eingesetzt, deren Überstand beim Verbau in die Nut komprimiert wird.

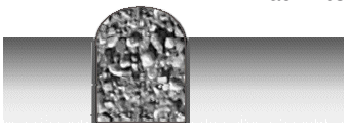
Schaumdichtung

Kompaktdichtung

Nach Auftrag



Nach Abschluss der Reaktion



Nach Verbau

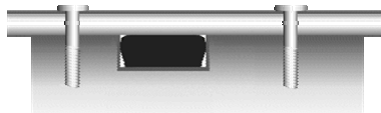
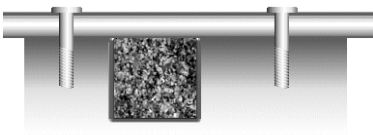


Abb.4c: Schaum/Elastomer bei Nutlösung vor und nach dem Verbau

3.3 Dosiertechnik als Dienstleistung

Wie in der Problemstellung beschrieben, werden bei der Herstellung von Flüssigdichtungen aufwändige Misch- und Dosieranlage eingesetzt. Bei mehrkomponentigen Materialien, die teils unter hoher Temperatur ausgetempert werden, kommen noch Kosten für die Heizzone und gegebenenfalls Kühlstrecker hinzu. Der Invest ist bei großen Stückzahlen jedoch in überschaubarer Zeit amortisationsfähig.

Zudem sollten unterschiedliche Materialarten wie Polyurethane und Silikone nicht auf einer gemeinsamen Dosieranlage verarbeitet werden. Selbst abweichende Silikonprodukte unterschiedlicher Hersteller können die Prozesssicherheit bereits erheblich einschränken.

Da jedoch viele Unternehmen nur kleinere Jahreslose fertigen und dabei noch unterschiedliche Materialien einsetzen, weichen sie in zunehmenden Maße auf die Dienstleistung bei Unternehmen wie Polyprocess aus. Dazu werden die Bauteile nach der Herstellung verpackt und diesem Spezialisten zugeführt, der binnen kurzer Zeit mit dem Serienprozess beginnen kann. Hier können neben Abmusterungen auch Nullserien, Anlauf- und Auslauflose sowie Einmalaufträge produziert werden, ohne dass der Kunde selbst investieren muss. Selbst Lifetime-Aufträge können auf dieser Basis abgewickelt werden. Die fertigen Bauteile gehen danach an den Endkunden weiter oder werden an den Hersteller zurücktransportiert.

Von der Empfehlung der geeigneten Dichtmaterialien über die erforderlichen Maßnahmen zur optimalen Haftung auf dem Bauteil erhält der Kunde so seine perfekte Lösung, die auf dem Zertifizierungslevel nach VDA 6.1 sowie DIN ISO 9001:2001 abgesichert wird.

4. Beispiele

4.1 Polyurethan-Schaumdichtungen



Abb. 5 Schaltungsaufnahme mit Polyurethan-Schaumdichtung



Abb. 6 Blechgehäuse mit Polyurethan-Schaumdichtung

4.2 Silikon-Schaumdichtungen



Abb. 7 Zahnriemenabdeckung mit Silikon-Schaumdichtung



Abb. 8 Deckel Transportbehälter mit Silikon-Schaumdichtung

4.3 Silikon-Kompaktdichtungen



Abb. 9 Bremsenbauteil mit Silikon-Kompaktdichtung



Abb. 10 Alu-Druckgussteil mit Silikon-Kompaktdichtung

4.4 Silikon-Elastomerdichtungen mit mikropolymeren Hohlkugeln



Abb. 11 ABS- Bauteil mit Silikon-Kompaktdichtung /Hohlkugeln



Abb. 12 Elektrobauteil mit Silikon-Kompaktdichtung /Hohlkugeln