

HÄUFIGE MISSVERSTÄNDNISSE BEI DER VERWENDUNG VON STÖRSTRAHLUNGS-DICHTUNGEN

Verfaßt von: **David McElvein**
Chomerics Inc.
77 Dragon Court
Woburn, Massachusetts 01888

Vorgestellt auf: **dem Seminar für Anwendung und Gebrauch von
EMI-Dichtungen anläßlich des IEEE-(Institute of
Electrical and Electronical Engineers)
Symposiums über elektromagnetische Verträglichkeit vom 7. bis 9. Oktober 1980
in Baltimore, Maryland**

CHOMERICS 

Einleitung

Aufgrund ständig anwachsender natürlicher wie künstlicher Quellen elektromagnetischer Interferenz (EMI) sowie strengerer Bestimmungen für militärische und kommerzielle Elektronikausrüstung sehen sich die Konstrukteure zunehmend dem Problem gegenüber, einerseits durch die Geräte erzeugte elektromagnetische Ausstrahlung zu unterdrücken oder einzuschränken, und andererseits die störstrahlempfindlichen Bauteile und Baugruppen wirksam abzuschirmen. Diese Aufgabe ist bei extremen Umgebungsbedingungen und in Fällen, in denen die Ausrüstung unter Einfluß eines breiten elektromagnetischen Störspektrums fehlerfrei arbeiten soll, äußerst schwierig zu lösen. Natürlich wäre das ideale Gehäuse zu Abschirmung eines empfindlichen elektronischen Geräts gegen elektromagnetische Störstrahlung ein Behälter aus sehr gut leitenden Materialien und ohne jegliche Öffnungen, der das gesamte Gerät aufnimmt. Ein solcher abgeschlossener Behälter ist jedoch weder praktisch noch realisierbar.

Denn, um funktionieren zu können, benötigt ein Gerät eine Stromversorgung, besitzt normalerweise Bedienelemente und im allgemeinen auch Anzeigenelemente, um dem Benutzer die erforderlichen Informationen zu liefern, sowie eine Serviceöffnung. Kurzum, ein autarkes, völlig nach außen abgeschlossenes Gerät ohne Öffnungen gibt es nicht. Und wo notgedrungen eine Öffnung ist, da ist auch ein möglicher Weg für Störstrahlung in das Gehäuse hinein oder aus ihm hinaus. Der Konstrukteur muß also einen Weg finden, diese Öffnungen so abzudichten, daß die elektrische Kontinuität des Gehäuses erhalten bleibt.

Wie kann nun diese elektrische Kontinuität erhalten bleiben?

Es gibt nur wenige Möglichkeiten:

Unter den verschiedenen Methoden, Öffnungen gegen Störstrahlung abzudichten (einschließlich Metall/Metall-Kontakt, Löten und Schweißen), zeichnet sich die Verwendung leitender Elastomerdichtungen hinsichtlich Leistung, Kosten und Anpassungsfähigkeit an Kundenbedürfnisse besonders aus. Leitende Elastomerdichtungen werden hergestellt, indem man einen Silikon- oder Fluorsilikonbinder mit Silber- oder silberplattierten Partikeln versetzt. Neben der Abschirmung gegen Störstrahlung und EMP (Atomexplosionseffekt) dichten diese Elastomere jedoch auch gegen Umgebungseinflüsse ab. Um jedoch empfindliche elektronische Systeme wirksam gegen schädliche Umgebungseinflüsse schützen zu können, muß das Material sorgfältig ausgewählt und die Dichtung fachgerecht für die besonderen Anforderungen der jeweiligen Anwendung konstruiert werden. Spezielle elektronische und mechanische Anforderun-

gen, wie z. B. Schirmwirkung und Druckverformung, bestimmen Dichtungsform, Querschnitt und Material des Binders- und Füllstoffes. Leider gibt es jedoch manchmal Mißverständnisse in Bezug auf Leistung, Zuverlässigkeit und sachgemäße Verwendung leitender elastomerer Materialien. Werden diese Mißverständnisse nicht ausgeräumt, so kann dies zu der Wahl eines anderen Materials und einer Konstruktion führen, die zur Abschirmung gegen Störstrahlung weniger gut geeignet sind.

Dieser Artikel ist mit der Absicht verfaßt worden, etwaige Mißverständnisse auf diesem Gebiet richtigzustellen.

HÄUFIGES MIßVERSTÄNDNIS NR. 1

Eine leitende Dichtung wirkt als HF-Abschirmung

Häufig wird von der falschen Vorstellung ausgegangen, eine Dichtung, die zur Abschirmung gegen Störstrahlung eingesetzt wird, sei selbst eine „Abschirmung“. Es gibt jedoch einen feinen Unterschied zwischen Dichtung und Abschirmung: Eine Abschirmung oder Schirm ist eine Grenzschicht, die elektromagnetische Umgebungen gegeneinander isolieren soll, während eine Dichtung dazu da ist, die Kontinuität dieser Abschirmung zu erhalten.

Wie wirksam nun ein Gehäuse tatsächlich abschirmt, hängt von einer Vielzahl von Parametern ab, darunter Art und Stärke des Materials, seine jeweilige Leitfähigkeit und die Frequenz der einfallenden elektromagnetischen Strahlung.

Der Begriff der Abschirmung wird am besten verständlich, wenn man sich vorstellt, was passiert, wenn sich eine elektromagnetische Welle einer leitenden Oberfläche nähert. Die auf die Gehäusewand treffende Welle, zusammengesetzt aus Komponenten der elektrischen und magnetischen Felder, erzeugt auf der Oberfläche einen Stromfluß, der mit zunehmender Eindringtiefe abklingt. Der Abfall des Stroms hängt von der Leitfähigkeit und Permeabilität der Metallwand ab. Der Reststrom, der an der anderen Seite der Abschirmung auftritt, erzeugt dort ein Feld und verursacht damit elektromagnetische Undichtigkeiten im Gehäuse. Dies wird deutlich in Abb. 1, wobei i_x die Stromstärke in Abhängigkeit von der Eindringtiefe und E_{xt} und H_{yt} die durch die Leckstelle erzeugten Störfeldkomponenten darstellen.

Es gibt zwei Methoden, um diese HF-Undichtigkeiten zu reduzieren:

- Vergrößern der Wandstärke, oder
- Verwendung von Abschirmmaterial mit höherer Leitfähigkeit

In beiden Fällen wird der Reststrom, nachdem er die Abschirmung durchflossen hat, entsprechend besser gedämpft. Durch sorgfältige Konstruktion und Auswahl des Abschirmmaterials kann der Reststrom dann auf ein zulässiges Maß reduziert werden. Will man eine leitende Dichtung zur Ab-

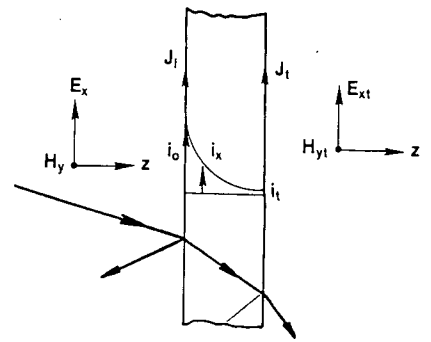


Abb. 1 Abklingende Stromstärke – hervorgerufen durch das Auftreffen einer elektromagnetischen Welle auf das Gehäuse

dichtung oder Öffnungen in der metallenen Abschirmung verwenden, gilt es zu beachten, daß das Material einer guten Abschirmung ähnliche Eigenschaften wie das einer guten Dichtung besitzt.

Es müssen jedoch auch andere Faktoren bei der Auswahl einer wirksamen Dichtung berücksichtigt werden. Das wichtigste Kriterium ist hierbei ein niederohmiger Übergangswiderstand an den Kontaktflächen von Abschirmung und Dichtung. Der Konstrukteur muß deshalb auf einen optimalen Übergang Abschirmung/Dichtung achten, denn die Kontinuität des Stromflusses durch den Übergang ist für eine wirksame Abdichtung unerlässlich.

Die Linien konstanten Stroms in einer wirksam abgedichteten Trennfuge sind in Abb. 2 dargestellt. Hieraus wird ersichtlich, daß die Linien konstanten Stroms aufgrund der unterschiedlichen Leitfähigkeit von Dichtungsmaterialien entlang der Kontaktfläche leicht abgelenkt werden. In diesem Beispiel wird davon ausgegangen, daß die Leitfähigkeit der Dichtung etwas geringer als die Abschirmung ist. Der Hauptgrund für die Schirmwirkung dieser Übergangsstelle ist, daß die Kontinuität des Stromflusses durch den Übergang Abschirmung/Dichtung erhalten bleibt.

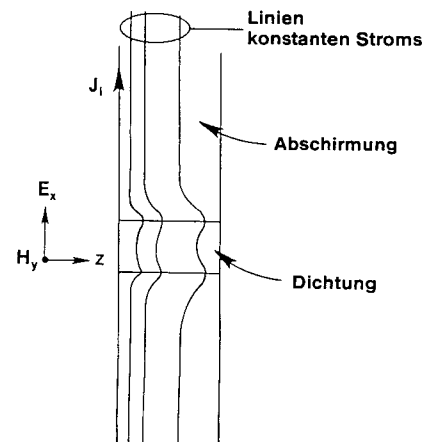


Abb. 2 Linien konstanten Stroms durch eine wirksam abgedichtete Trennfuge

Wo ein solcher Übergang nicht erreicht werden kann, verschlechtert sich die Schirmwirkung (wie Abb. 3 gezeigt).

Die Ablenkung der Linien konstanten Stroms reicht aus, um einen Strom auf der Innenseite zu verursachen, der wiederum ein unerwünschtes elektromagnetisches Störfeld erzeugt.

Bei der Analyse eines undichten Übergangs wie diesem, wird man - vorausgesetzt das Dichtmaterial selbst ist niederohmig - im Normalfall feststellen, daß das Problem hervorgerufen wird durch

- a) - ungeeignete Beschaffenheit der Flanschoberflächen (z.B. Oberflächenfilme, Oxidschichten)
- b) - ungenügende Paßgenauigkeit des Flansches oder
- c) - Dichtungsmaterialien, die sich Oberflächenunregelmäßigkeiten nicht anpassen oder sich durch die Oberflächenfilme des Flansches nicht „hindurchbeißen“.

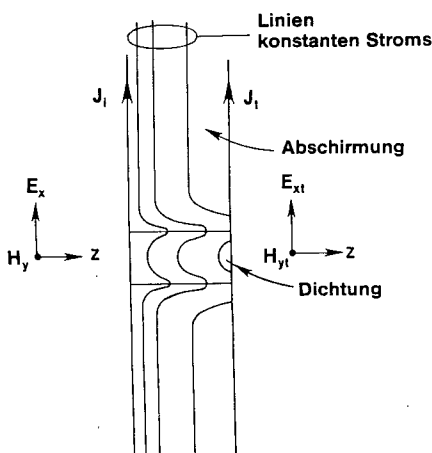


Abb. 3 Linien konstanten Stroms ungenügend abgedichtete Trennfuge

Ein zu hoher Übergangswiderstand ist die Hauptursache für zu große Ablenkung des Stroms, die dann zu EMI-Problemen führt. Denn der Strom fließt bei zu hohem Übergangswiderstand an den Grenzflächen des Übergangs entlang, statt durch ihn hindurch. Im Falle einer Lücke (nichtberührende Oberflächen) an den Grenzflächen von Dichtung und Abschirmung fließt der Strom ausschließlich an der Kante des Zwischenraumes entlang und auf die Innenseite der Abschirmung (siehe Abb. 4).

Eine solch offene Lücke kann Ursache ernsthafter HF-Lecks sein. Wenn eine Abmessung der Lücke ein Vielfaches von $\lambda/4$ (Viertelwellenlänge) der Signalfrequenz ausmacht, kann sich diese Lücke wie ein abgestimmter Schlitzzstrahler verhalten.

Zusammenfassung:
Die Eigenschaften einer guten Abschirmung und einer guten Dichtung sind im wesentlichen gleich. Die Hauptfunktion einer HF-Dichtung ist jedoch, die Kontinuität der Abschirmung zu erhalten.

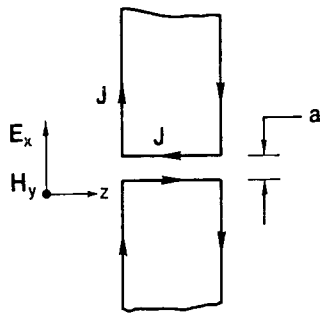


Abb. 4 Stromfluß an einer offenen Trennfuge

HÄUFIGES MISSVERSTÄNDNIS NR. 2

Durch die Messung irgendeiner elektrischen Größe einer Dichtung wie z. B. Oberflächenwiderstand, spezifischer Widerstand, Leitfähigkeit oder Kopplungswiderstand, kann die Wirksamkeit einer HF-Dichtung definitiv beurteilt werden.

Nimmt man nur eine einzige elektrische Eigenschaft als entscheidendes Kriterium bei der Auswahl eines Dichtungsmaterials für eine spezielle Anwendung, so kann dies zu einem irreführenden, nicht folgerichtigen und ungenauen Ergebnis führen. Wie wichtig die einzelnen elektrischen Eigenschaften einer Dichtung auch sein mögen, so müssen doch mehrere dieser Eigenschaften sowie bestimmte mechanische Parameter zusammen berücksichtigt werden, wenn eine Dichtung für eine spezielle Anwendung konzipiert wird. Bei der Aufklärung dieses Mißverständnisses wird im folgenden nur auf die elektrischen Kenngrößen eingegangen - die mechanischen Anforderungen an eine Dichtung werden später im Text besprochen. Bei Chomerics wird die Messung des spezifischen Widerstands im Rahmen der Qualitätskontrolle durchgeführt. Durch dieses Prüfverfahren kann festgestellt werden, ob ein Dichtungsmaterial bekannter Zusammensetzung und definierter Eigenschaften fachgerecht hergestellt worden ist. Als Aussage über die wahrscheinliche Schirmwirkung des Dichtungsmaterials wird zudem der Kopplungswiderstand gemessen.

Dieser Test ergibt jedoch nur einem Näherungswert, da die Messung des Kopplungswiderstandes auch auf materialunabhängigen Variablen beruht. Wie bereits erwähnt, kann der Test einer einzelnen elektrischen Eigenschaft zu keiner klaren und eindeutigen Beurteilung einer Dichtung führen. Abgesehen von den elektrischen Eigenschaften müssen weitere Gesichtspunkte zur Beurteilung der Funktion des gesamten Übergangs berücksichtigt werden. So müssen bei der Berechnung des Gesamtkontaktwiderstandes Faktoren wie z. B. die Oberflächenbehandlung des Flansches berücksichtigt werden, und ob etwaige Oberflächenfilme (Oxide, Lacke, Kleber etc.) vorhanden sind, denn all dies kann den Übergangswiderstand erhöhen.

Ebenfalls wichtig ist der gesamte spezifische Widerstand des Übergangs, d. h. inwieweit Dichtung und Flansch in der Lage sind, einen gleichmäßigen elektrischen Kontakt an der Verbindungsstelle zu bilden. Lücken, wie in

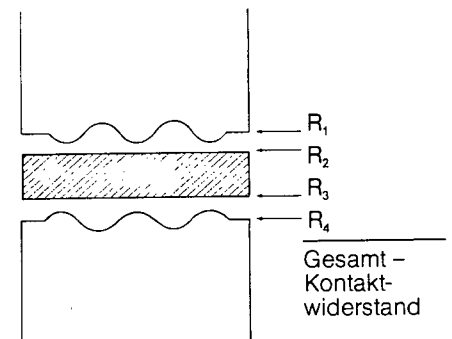


Abb. 5 Der Zustand der Oberflächen muß bei der Berechnung des Gesamt-Kontaktwiderstands berücksichtigt werden

Abb. 6 gezeigt, stören den Stromfluß durch die Verbindungsstelle. Sie zwingen den Strom, Stellen mit hohem Widerstand auszuweichen und wie in der Abb. dargestellt zu verlaufen, was Lecks im Gehäuse zur Folge haben kann. Es ist daher unbedingt erforderlich, solche Lücken zu vermeiden (und damit den spezifischen Widerstand des Übergangs auf ein Minimum zu reduzieren), indem man Flansche ausreichend versteift und richtig oberflächenbehandelt, und indem man das Dichtungsmaterial sowie dessen Querschnittsfläche so auswählt, daß sich die Dichtung Oberflächenunregelmäßigkeiten anpaßt und mit den Flanschen einen durchgehenden elektrischen Übergang bildet (siehe Abb. 7).

Dadurch bleibt der Stromfluß durch den Übergang verhältnismäßig gleichförmig - eine Grundvoraussetzung für bestmögliche Schirmdämpfung bei einer derartigen Dichtung. Lücken durch Flanschunebenheiten können als elektromagnetische Lecks wirken, aber eine leitende Dichtung, die verformbar ist und sich den Oberflächen anpaßt, schaltet diese „elektronischen Lecks“ und Unregelmäßigkeiten in der Abschirmung aus.

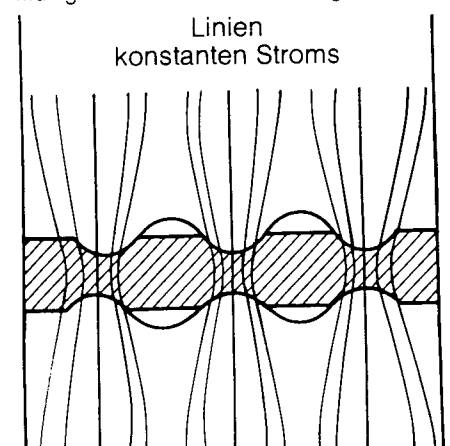


Abb. 6 Stromfluß durch einen unvollständig angepaßten Übergang

Deshalb ist – besonders bei hohen Frequenzen – der spezifische Oberflächenwiderstand (Feld-Wellenwiderstand) des Übergangs oder die Fähigkeit der Dichtung, als Abschirmung zu wirken, von entscheidender Bedeutung.

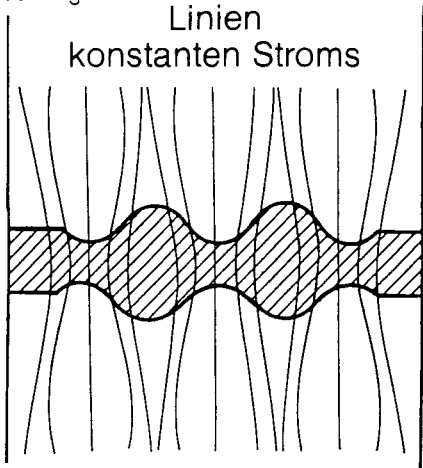


Abb. 7 Stromfluß durch einen gut angepaßten Übergang

An dieser Stelle soll etwas zur Leitfähigkeit gesagt werden. Allgemein glaubt man, daß je leitfähiger die Dichtung, desto höher die Schirmwirkung ist. Diese These konnte jedoch bislang durch keinerlei schlüssige Daten belegt werden. Charles Kuist, Vizepräsident für Forschung und Entwicklung von Chomerics, hat sogar Daten entwickelt und veröffentlicht, die diese Hypothese zu widerlegen scheinen*. Er ist der Ansicht, daß, wenn einmal eine bestimmte Schwelle der Leitfähigkeit erreicht ist, unterhalb dieser Schwelle eine Veränderung der Schirmwirkung bei Erhöhung der Leitfähigkeit vernachlässigbar ist. In Abb. 8 wird deutlich, daß sich bei einem Dichtungswiderstand durch den Übergang von weniger als 0,1 Milliohm die Abschirmwirkung mit zunehmender Leitfähigkeit kaum verändert.

Doch zurück zum diskutierten Mißverständnis: es kann nicht genug betont werden, daß eine ganze Reihe elektrischer Parameter berücksichtigt werden muß. Die Bedeutung, die dem einzelnen Parameter zukommt, kann natürlich von der Frequenz der auf das Gehäuse auftreffenden elektromagnetischen Welle abhängen. Der allgemeine Zusammenhang zwischen der Frequenz und den elektrischen Parametern, die die Schirmwirkung entscheidend beeinflussen, ist in Abb. 9 dargestellt.

* „Schirmwirkung leitender Dichtungen unter Vibration“, IEEE EMC Symposium, 1976. Kopien auf Anfrage bei Chomerics erhältlich.

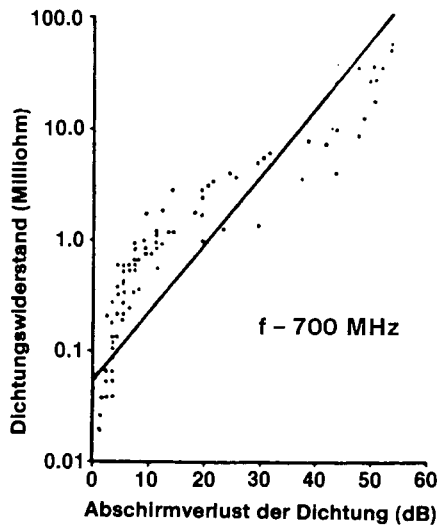


Abb. 8 Abschirmverlust einer Dichtung in Abhängigkeit von Dichtungswiderstand

Die Bewertung von Dichtungseigenschaften ist auf keinen Fall genau und vollständig, wenn nicht auch diese Größen, sowie die mechanischen Gegebenheiten (Größe und Form der Dichtung, Gehäuse, Druckverformung . . . etc.), die die Konstruktion maßgeblich beeinflussen, berücksichtigt werden.

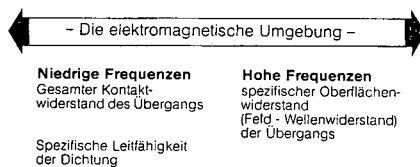


Abb. 9 Die für die maximale Schirmwirkung wesentlichen elektrischen Größen

HÄUFIGES MIßVERSTÄNDNIS NR. 3
Metallgefüllte Elastomere haben eine zu große Härte und erfordern eine hohe Druckkraft, die Kalfluß der Dichtung zur Folge haben kann.

HÄUFIGES MIßVERSTÄNDNIS NR. 4
Silbergefüllte Elastomere besitzen einen geringen Kontaktwiderstand und erfordern steife Flansche, die mit hoher Druckkraft angepreßt werden müssen.
 Da diese beiden Mißverständnisse miteinander verwandt sind, können sie hier gemeinsam behandelt werden.

Die Härte einer elastomeren Dichtung wird im allgemeinen mit einem Härtemesser bestimmt. Bei diesem Standardtest wird der Widerstand der Gummioberfläche gegen das Eindringen einer Prüfspitze gemessen. Je geringer der Eindringwiderstand, desto „weicher“ ist das Material.

Die Härte einer elastomeren Dichtung hängt vom Silikon- (oder Fluorsilikon) binder ab, sowie dem Anteil des Silbers oder der silberplattierten Partikel im Binder. Je dichter der Füllstoff, desto härter das Material. Normal-

weise liegen die Härtegrade für leitende Elastomere von Chomerics zwischen 45 und 85 Shore A, im Vergleich zu Silikongummi ohne Füllstoff von 30 bis 90 Shore A. Der Vergleich dieser Werte zeigt, daß die Auswahl eines leitenden Elastomere mit einem Härtegrad ähnlich dem von Gummi ohne Füllstoff offenbar kein Problem ist. Schlechte Leitfähigkeit an Übergangsstellen ist im Grunde auf die mechanischen Faktoren zurückzuführen, die für die Entstehung von Lücken an den Übergangsstellen zwischen Dichtung und Abschirmung verantwortlich sind. Die Auswirkungen solcher Lücken wurden bereits in Abb. 6 gezeigt. Diese Lücken können durch zu große Schraubenabstände oder schlecht angezogene Schrauben verursacht werden, oder durch Oberflächenfilme, die ein Anflanschen unter übermäßig hohen Drücken erforderlich machen (wodurch sich der Flansch verziehen, oder sich die Dichtung verschieben kann), oder dadurch, daß sich das Dichtungsmaterial der Oberfläche nicht anpaßt und die Oberflächenunregelmäßigkeiten des Flansches nicht ausfüllt.

Bei der Auswahl eines Dichtungsmaterials und der Konstruktion einer Dichtung für einen bestimmten Anwendungsbereich ist die Härte des Materials selbst im Grunde nur einer von mehreren, voneinander abhängigen Faktoren. Zwar haben z. B. die mechanischen Eigenschaften, die sich aus dem Verbund von Metallfüller und Elastomer ergeben, großen Einfluß auf die Verformbarkeit der Dichtung unter Druckbelastung. Die Verformung hängt jedoch weitaus mehr vom Profil der Dichtung ab.

Abb. 10 zeigt dies ganz deutlich: Flache Dichtungen weisen die geringste, stranggepreßte Hohlprofile die höchste Verformbarkeit bei gleichem Material auf.

(Bei stranggepreßten Hohlprofilen ist die Verformbarkeit nicht nur vom jeweiligen Profil, sondern auch von der Wandstärke der Dichtung abhängig). Damit steht dem Ingenieur eine Vielzahl von konstruktiven Möglichkeiten zur Verfügung.

Abgesehen vom Querschnitt bestimmt auch die Mikrostruktur des Materials entscheidend „Weichheit“ oder „Härte“ der Dichtung. Wie Abb. 11 zeigt, gibt es zwei Grundformen: Homogene und netzartige Strukturen.

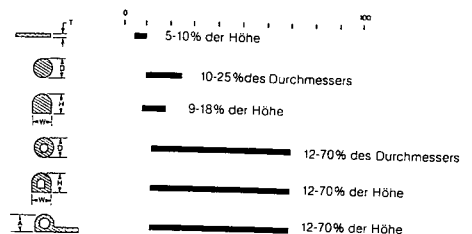


Abb. 10 Verformbarkeit verschiedener Dichtungsprofile

Homogenes Material wird durch kompaktes Füllen eines Silikon- oder Fluorsilikonbinders mit Silber oder silberplattierten Partikeln (etwa weintraubenförmig) hergestellt. Im Gegensatz hierzu ähnelt die netzartige Struktur einer Wand aus Stein und Mörtel, wobei die „Steine“ relativ große Teile nichtleitenden Silikons, der „Mörtel“ eine Mischung aus Silber und Silikon ist. Die netzartige ist im allgemeinen die „weichere“ der beiden Grundstrukturen*.

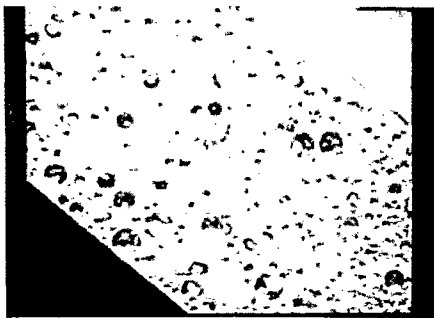
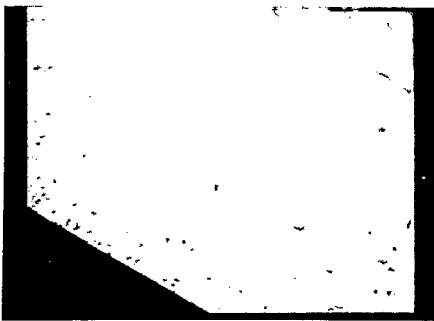


Abb. 11 Vergleich homogener (oben) und netzartiger (unten) Strukturen

Das weite Spektrum an Materialien und Formen, die dem Ingenieur bei der Konstruktion einer Dichtung für eine spezielle Anwendung zur Verfügung stehen, ist auch anhand der Verformungskurven in den Abb. 12 und 13 ersichtlich. Abb. 12 vergleicht die verschiedenen Profile eines netzartigen Materials (CHO-SIL 1405). Man kann zum Beispiel entnehmen,

* Eine chemische Alternative zu netzartigen Strukturen zum „Weichmachen“ elastomerer Dichtungsmaterialien ist die Verwendung zusätzlicher Weichmacher. Diese chemische „Korrektur“ einer Materialschwäche ist jedoch problematisch. Die Weichmacher können unter bestimmten Wärme- und Druckbedingungen sogar aus dem Binder auslaufen. Ein solches Verfahren wird von Chomerics weder empfohlen noch angewandt.

daß bei einem vom Konstrukteur gewählten Druck von 5 Pfund/Zoll (0,9 kg/cm) der Flanschlänge beim „O“-Profil eine Verformung von 23%, beim „D“-Profil von 16% und beim hohlen „O“-Profil 39% erreicht wird. Abb. 13 vergleicht verschiedene Profile eines Materials mit homogener Struktur (CHO-SEAL 1250). Bei demselben Druck von 5 Pfund/Zoll der Flanschlänge ergibt sich eine Verformbarkeit von 16% für das „O“-Profil, 9% für das „D“-Profil und 33% für das hohle „O“-Profil. Der Ingenieur hat deshalb mehr Spielraum bei der Konstruktion, wenn er statt mit der Härte der Dichtung eher mit dem Profil arbeitet. Nach dieser Betrachtung über die Flexibilität der mechanischen Konstruktion unter den Gesichtspunkten „Weichheit“ und Verformbarkeit, soll im folgenden auf die Schirmwirkung als Funktion des ausgeübten Drucks eingegangen werden. Abb. 14 zeigt die Schirmwirkung einer CHO-SEAL 1250 „D“-Dichtung im Fernfeld bei unterschiedlichen Anpreßdruck im Frequenzbereich von 1-40 GHz. Es wird deutlich, daß bei einem Anpreßdruck von nur 2 Pfund/Zoll (0,36 kg/cm) bereits eine Abschirmung von 70 dB und darüber erreicht wird. Dieser Wert er-

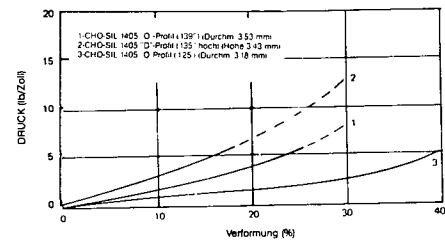


Abb. 12 Druck-Verformungseigenschaften für CHO-SIL 1405

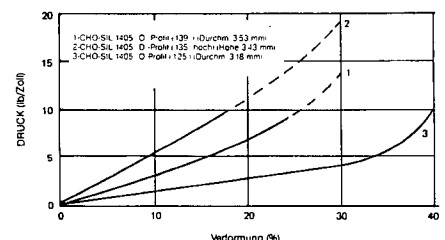


Abb. 13 Druck-Verformungseigenschaften für CHO-SEAL 1250

höht sich auf über 105 dB bei einem Anpreßdruck von 12 Pfund/Zoll (2,1 kg/cm) und mehr. Weitere Einzelheiten hierzu sowie die entsprechenden Daten für elektrische und magnetische Felder finden Sie ausführlich beschrieben im „EMI/RFI GASKET DESIGN MANUAL“ von Chomerics*.

* Kopien erhalten Sie auf Anfrage von Chomerics.

In dieser Broschüre wurden nur einige wenige Dichtungsformen erörtert – wir möchten aber darauf hinweisen, daß elastomere Dichtungsmaterialien von Chomerics in den unterschiedlichsten Formen und Profilen als Formteile oder Strangpreßprodukte erhältlich sind. Und sollten die Standardausführungen für bestimmte Anwendungen nicht geeignet sein, kann Chomerics für Sie Dichtungen mit speziellen Profilen, zugeschnitten auf Ihr Abschirmungs- oder Konstruktionsproblem, entwickeln.

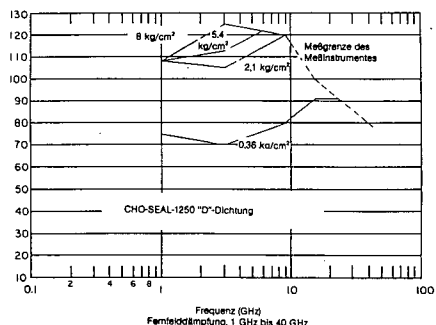


Abb. 14 Schirmwirkung einer CHO-SEAL 1250 „D“-Profil-Dichtung in Abhängigkeit vom Anpreßdruck

Kommen wir auf die unter „Mißverständnis Nr.3“ angesprochene Frage des Kaltflusses zurück: In diesem Zusammenhang muß notwendigerweise zunächst das Phänomen der „Entspannung“ untersucht werden. Wenn eine vernetzte Elastomerdichtung mit konstantem Druck belastet wird, erfährt sie eine Materialentspannung (siehe Abb. 15).

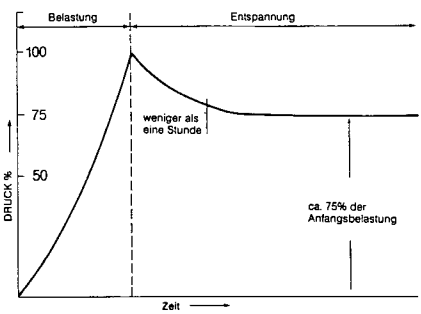


Abb. 15 Entspannung einer belasteten Dichtung

Nach einer gewissen Zeit reduziert sich der auf den Flansch ausgeübte Druck auf ca. 75% der Anfangsbelastung. Wichtig ist jedoch, daß sich die Belastung danach stabilisiert – ein Merkmal, das bei der Konstruktion als gegeben vorausgesetzt und leicht berücksichtigt werden kann. Während sich das Material entspannt und sich der Druck innerhalb der Dichtung reduziert, „fließt“ das Material nicht im geringsten. Die bleibende Druckverformung einer ausgehärteten elastomeren Dichtung mit Metallfüllpartikeln stellt im Grund kein besonderes Problem dar, vorausgesetzt die Druckbelastung liegt im inneren Bereich der für das jeweilige Dichtungsmaterial festgelegten Grenzwerte.

Im Normalfall beträgt dann der Höhenverlust der Dichtung weniger als 3-5%. Die Bedenken hinsichtlich einer bleibenden Druckverformung sind zweifellos zurückzuführen auf frühere Erfahrungen mit Drahtfüllern oder Produkten aus gewirktem Draht, die dazu neigen, ihr „Formgedächtnis“ zu verlieren, wenn sie einmal verformt sind.

Zusammenfassung:

Leitende Elastomere sind flexibel genug, um sich den verschiedenen konstruktiven Anforderungen – je nach Flanschform und Anpreßdruck – anzupassen, und sie behalten dabei ihre hervorragenden mechanischen und elektrischen Eigenschaften. An dieser Stelle soll vermerkt werden, daß für eine spezielle HF-Dichtung alle mechanischen und elektrischen Konstruktionsmerkmale sorgfältig aufeinander abgestimmt werden müssen, da sich die einzelnen Parameter gegenseitig beeinflussen. Bei der Konstruktion eines optimalen HF-dichten Übergangs muß jeder der folgenden Faktoren berücksichtigt werden:

Flansche:

- Werkstoffe
- Breite und Form
- Steifheit oder Verformungseigenschaften
- Toleranzen
- Oberflächenbearbeitung

Dichtungen:

- Material und Profil
- Anpassungsfähigkeit oder Verformungseigenschaften
- mechanische Anforderungen
- zulässige Verformung
- Umgebungseinflüsse
- spezielle Leitfähigkeit oder Schirmwirkung

Verschraubung:

- Werkstoffe
- erforderlicher Anpreßdruck (Anzugsmoment)
- Schraubengröße und -abstand

Zusätzlich verringern möglichst frühzeitige Störstrahlungs- bzw. Empfindlichkeitsmessungen mit dem Gehäuseprototypen die Notwendigkeit von Konstruktionsänderungen in nachfolgenden Konstruktionsphasen auf ein Minimum.

HÄUFIGES MISSVERSTÄNDNIS NR. 5

Alle silbergefüllten Elastomere sind gleich

Angesichts der Vielzahl von Füllstoffen aus Silber bzw. silberbeschichteten oder silberplattierten Partikeln für leitende Elastomere und angesichts der beträchtlichen Preisunterschiede gibt es einen Trend zu billigeren Füllern, mit denen „im großen und ganzen“ ähnliche Schirmwirkungen zu erzielen sind. Einen Ingenieur, der zum Beispiel absolut zuverlässige Präzisionsgeräte im militärischen

oder luftfahrttechnischen Bereich entwickelt, kann eine solche Einstellung in unangenehme Schwierigkeiten bringen, wenn dadurch irgendwann während des Nutzungszeitraums des Geräts ernsthafte Probleme auftreten. Abb. 16 zeigt, daß die Tauglichkeit einer Dichtung sehr stark von **sämtlichen** Umgebungseinflüssen, denen sie ausgesetzt ist, abhängt.

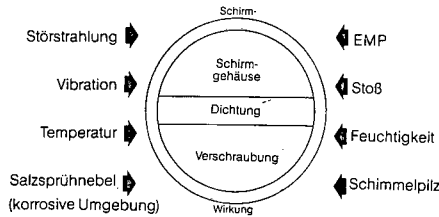


Abb. 16 Umgebungseinflüsse, die bei der Konstruktion berücksichtigt werden müssen

„Oberflächlich“ gesehen scheinen sich die verschiedenen silbergefüllten Elastomere kaum zu unterscheiden. So ist die Schirmwirkung der drei in Abb. 17 dargestellten häufigsten Füllermaterialien offenbar ähnlich hoch.

Diese Werte für die einzelnen Füller sind typisch bei Messungen nach MIL-STD 285. Ein Vergleich der physikalischen Eigenschaften dieser Materialien unterstreicht offenbar diese Ähnlichkeit noch (obwohl eine auf diesen Eigenschaften beruhende Materialauswahl irreführend sein kann). In typischen Produkteignungstests werden die in Abb. 16 aufgeführten Messungen bei Umgebungsbedingungen unabhängig voneinander durchgeführt. Dabei wird jedoch häufig übersehen, daß ein Umgebungseinfluß den anderen möglicherweise beeinflusst, was im Feld entweder Probleme verursachen oder Versagen, oft mit katastrophalen Folgen, nachsichziehen kann.

Füller	magnetisches Feld (10 kHz)	elektrisches Feld (1 MHz)	Fernfeld (10 GHz)
Reines Silber	68-70) 140	100-120
silberplattiertes Kupfer	70-80) 140	110-120
silberplattiertes Glas	70-78) 140	84-110

Abb. 17 Schirmwirkung (dB) von Dichtungen mit unterschiedlichen Silberfüllern

Zu den kritischsten Umgebungseinflüssen, unter denen sich eine Dichtung bewähren muß, zählt Vibration. Bei Vibration kann eine schadhafte Dichtung wie eine Funktionsstörung eines Mikroprozessors, eines Avioniksystems oder irgend eines anderen elektronischen Geräts erscheinen – wobei die Störung verschwindet, sobald die Vibration aufhört.

Die unterschiedliche Schirmwirkung von silberplattiertem Kupfer und silberbeschichtetem Glas bei Vibration ist von Charles Kuist ausführlich beschrieben worden.* Abb. 18 wurde aus Kuist's Bericht übernommen und zeigt deutlich den beträchtlichen

elektromagnetischen Schirmverlust, der bei Verwendung von Füller aus versilbertem Glas auftritt. Hierbei fällt besonders auf, daß selbst bei einer relativ niedrigen Beschleunigung von 2 g Unterschiede von bis zu 25 bis 30 dB Schirmverlust möglich sind.

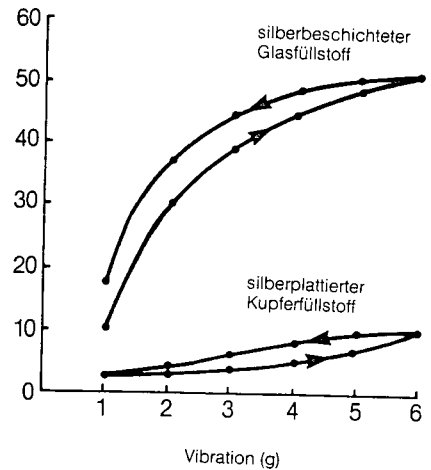


Abb. 18 Schirmwirkung von silberplattiertem Kupfer im Vergleich zu silberbeschichtetem Glas bei Vibration

Nimmt man die Mikrostruktur der Materialien genau „unter die Lupe“, werden die Gründe für dieses Phänomen offensichtlich. Silberplattierte Kupferpartikel haben eine ziemlich unregelmäßige Form, ermöglichen damit viele elektrische Kontaktstellen und eine feste Bindung im Silikon. Bei versilberten Glasparkeln handelt es sich jedoch um nichtleitende Glaskügelchen, über die Strom fließen muß. Die Kügelchen sind rund, wodurch die Anzahl von Kontaktpunkten und damit möglichen Strompfaden durch die Dichtung begrenzt wird.

Unter Vibration trennen sich die Glaskügelchen sehr leicht voneinander – die Strombahnen werden unterbrochen und der Widerstand des Dichtungsmaterials erhöht sich.

Da sich das silberbeschichtete Glasmaterial nach Aufhören der Vibration „erholt“, würde eine statische Messung das Problem nicht erkennen lassen. Bei Chomerics steht eine Vibrationsvorrichtung zur Verfügung, mit dem ausschließlich unterschiedliche Dichtungsmaterialien für kundenspezifische Anwendungen getestet werden. Auf diese Weise werden Zweifel und Bedenken, die im Verlauf der Entwicklung auftreten, vollständig

* HF-Abschirmung von leitenden Dichtungen unter Vibration“, IEEE EMC Symposium, 1976. Kopien auf Anfrage von Chomerics erhältlich.

ausgeräumt. In derartigen Tests konnten die Ingenieure von Chomerics auch feststellen, daß sich Füller als gerichtetem Draht (Polar-Material) leicht verbiegen und in den Binder zurückgestoßen werden, wodurch die Dichtung irreparabel beschädigt wird. Weitere Umgebungseinflüsse, die abgeschirmte Gehäuse gefährden, sind Impulse mit hohen Spitzenströmen, wie Blitzschlag oder elektromagnetische Impulse (EMP-Effekte). Abb. 19 verdeutlicht die Wirkung, die ein simulierter elektromagnetischer Impuls auf leitende Dichtungen mit unterschiedlichen Füllstoffen hat. Diese Messungen wurden von der Spire Corporation durchgeführt und zu einem Bericht zusammengefaßt.*

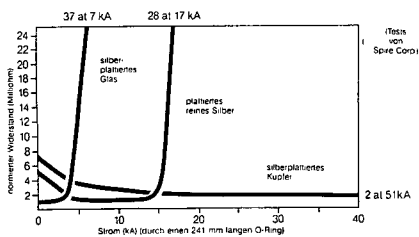


Abb. 19 Wirkung von EMP auf leitende elastomere Dichtungen

Neben der Blitzschlag-Festigkeit muß bei der Konstruktion einer Dichtung in besonderem Maße ihre Beständigkeit gegen EMP-Effekte berücksichtigt werden, denn auf dem Gebiet der militärischen Elektronik sowie anderer militärischer Anlagen wird immer häufiger EMP-Festigkeit gefordert. Abb. 19 zeigt, daß silberplattiertes Glas besonders empfindlich gegen EMP Effekte ist; reines Silber ist weniger empfindlich, und silberplattiertes Kupfer bleibt völlig unbeeinträchtigt.

Zusammenfassung:

Die Eigenschaften eines Elastomers mit Silberfüllstoff sowie anderer leitender Elastomere können je nach Art des Füllers, der Partikelform, des Füllfaktors und des verwendeten Elastomerbinders äußerst verschieden sein. Die Wahl eines speziellen Füllers sollte unter Berücksichtigung **sämtlicher** Leistungsanforderung erfolgen, dazu zählen **alle** Umgebungseinflüsse, unter denen eine Dichtung einwandfrei funktionieren soll. Von Chomerics wird die Verwendung von versilberten Glasmaterial im militärischen und/oder Luftfahrttechnischen Bereich oder für andere Anwendungen, in denen Hochleistungen und absolute Betriebssicherheit unbedingt erforderlich sind, weder spezifiziert noch empfohlen.

* Dieser Bericht von Spire Corporation ist in Kopie bei Chomerics erhältlich. Für Chomerics zusammengestellt von W. R. Neal, F. C. De Cicco, Spire Corporation, Bedford, MA.

HÄUFIGES MISSVERSTÄNDNIS NR. 6

Metallgefüllte Elastomere besitzen geringe Zug- und Abriebsfestigkeit
Zug- und Abriebsfestigkeit sind bei der Beurteilung, ob sich eine Dichtung zur Störstrahl-Abschirmung eignet, nicht unbedingt wichtige Parameter. Diese Aussage kann durch zwei Fakten belegt werden: 1) In den meisten Fällen werden Dichtungen in festen Verbindungen verwendet – hier spielt keiner der beiden Faktoren eine Rolle, und 2) Bei beweglichen Verbindungen kann durch entsprechende Konstruktion die Notwendigkeit von hoher Zug- und Abriebsfestigkeit für Dichtungen ausgeschlossen werden. Dies wird in Abb. 20 demonstriert: „Gute“

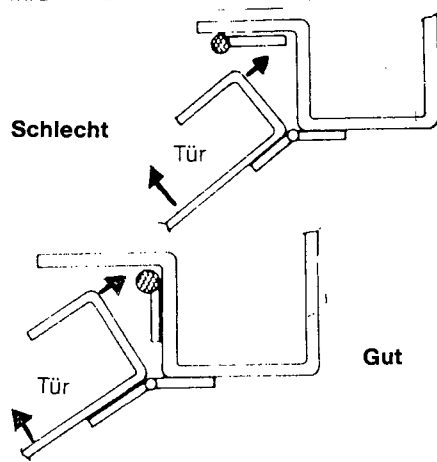


Abb. 20 Dichtungskonstruktionen in einer beweglichen Verbindung

Konstruktionstechniken, wie z. B. zweckmäßige Anbringung und Auswahl eines geeigneten Profils, und die Verwendung von Scharnieren mit Spielraum sorgen für eine dauerhafte und wirksame Abschirmung. Bei derartigen Anwendungen ist eine elastomere Dichtung aufgrund ihrer Elastizität entschieden besser. Im Vergleich hierzu sind Drahtgeflechtichtungen sehr viel weniger elastisch.

Alles in allem kann also die mechanische Abnutzung leitender Dichtungen durch eine wohlüberlegte und fachgerechte Konstruktion praktisch ausgeschlossen werden.

HÄUFIGES MISSVERSTÄNDNIS NR. 7

Leitende Elastomere gasen aus.
In Tabelle 1 sehen Sie einen Auszug aus einem Technischen Bericht der NASA-Goddard* über Ausgaseigenschaften, demzufolge Elastomere von Chomerics sehr wenig ausgasen. Im allgemeinen gasen alle Elastomere bis zu einem gewissen Grad aus. Die standardmäßig von Chomerics gelieferten Dichtungsmaterialien verlieren ca. 1% ihres Gewichtes, davon sind 0,5% flüchtige

* NASA Technical Note D-7362, W.A. Campbell, R. S. Marriot, J. J. Park, NASA Goddard, September 1973

Kondensate. Der Grund, warum diese Werte so niedrig liegen, ist, daß Silikonelastomere von Chomerics mittels eines Katalysators chemisch vernetzt werden.

Wie bereits vorher erwähnt, werden **keine Weichmacher** benutzt, d. h. im Elastomer verbleiben keine Rückstände. Natürlich kann dieser Ausgaswert für einige Anwendungen noch immer zu hoch sein. In

Tabelle 1

Material	Gesamtgewichtsverlust (%)	flüchtige Kondensate (%)
CHO-SEAL 1212	0.082	0.020
CHO-SEAL 1214	0.048	0.023
CHO-SEAL 1215	0.062	0.026
CHO-SEAL 1217	0.037	0.006
CHO-SEAL 1220	0.051	0.028
CHO-SEAL 1221	0.050	0.005
CHO-SEAL 1224	0.046	0.022
CHO-SEAL 1250	0.710	0.160
CHO-SIL 1401	0.058	0.026
CHO-SIL 1405	1.037	0.270

diesem Fall kann eine spezielle Nachbehandlung angewandt werden, durch die ausgasende Stoffe irreversibel entfernt werden. Chomerics hat Materialien hergestellt, die erfolgreich in Weltraumprogrammen wie Mercury, Gemini, Apollo, Mondlandefähre, Mariner u.a. eingesetzt worden sind. Nach heutigem Stand der Technik ist es ohne weiteres möglich, praktisch ausgasfreie leitende Elastomere herzustellen.

HÄUFIGES MISSVERSTÄNDNIS NR. 8

Silbergefüllte Elastomere verlieren mit der Zeit Ihre Schirmwirkung

Alterung ist ein allmählicher Oxidationsprozeß, der die Verschlechterung mechanischer und elektrischer Eigenschaften zur Folge hat. Ein silbergefülltes Elastomer kann – wenn überhaupt – auf zwei Arten altern:

- 1) durch Oxidieren des leitenden Metallfüllers, und
 - 2) durch Altern des elastomeren Binders selbst
- Der Füller kann nur oxidieren, wenn Luft durch die Dichtung dringt, was sehr unwahrscheinlich ist, da die Permeabilität von CHO-SEAL-Materialien 1,25 ccm/h beträgt (Helium-Dichtheitsprüfung mit einer Atmosphäre Druckdifferenz) – im Vergleich zu den besten Gummiarten mit 1 ccm/h. Hinzu kommt, daß während die meisten Metalloxide hart und nichtleitend - Silberoxide (falls Oxidation überhaupt auftritt) weich und elektrisch leitend sind.

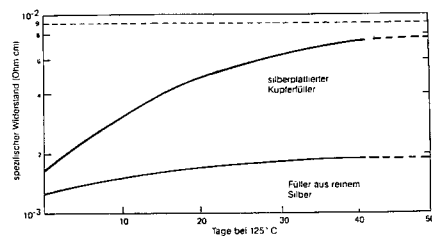


Abb. 21 Beschleunigter Alterungstest von Chomerics Elastomerdichtungen

Was nun den Binder betrifft, so ist das für Chomerics-Dichtungen verwandte Silikon oder Fluorsilikon sehr beständig gegen jede Verschlechterung durch Alterung. Chomerics Elastomere sind so stabil, daß sie von den für Elastomere festgesetzten Alterungsvorschriften gemäß MIL Handbook 695 ausgenommen sind.

Der Alterungsverlauf von Dichtungsmaterialien bei erhöhter Temperatur ist in Abb. 21 angegeben. Dabei wird deutlich, daß im Test der spezifische Widerstand der Chomerics-Elastomere sowohl mit reinem Silberfüller als auch mit silberplattierten Kupferpartikeln bei einer Dauertemperatur von + 125° C unter dem Grenzwert der Leitfähigkeit bleibt.

(Diese Materialien wurden unter ungünstigen Bedingungen einer Sauerstoffatmosphäre in nicht-angeflanschten Zustand ausgesetzt. Im angeflanschten Zustand wäre der spezifische Widerstand beträchtlich niedriger).

Es ist zu beachten, das vergleichbare Tests mit anderen Füllern ohne Silberplattierung oder -beschichtung innerhalb der ersten 3-10 Tage eine starke Erhöhung des spezifischen Widerstandes zeigen (viele davon mit exponentieller Zunahme).

Chomerics-Ingenieure haben im Laufe der letzten 19 Jahre praktisch jeden infragekommenden Füller untersucht und herausgefunden, daß sich auf Dauer nur reines Silber oder silberplattierte Partikel als beständig genug erwiesen haben, um in militärischen wie raumfahrttechnischen Programmen, in denen höchste Zuverlässigkeit verlangt wird, erfolgreich zu bestehen.

Zusammenfassung:

Erfahrungen im Marinebereich, zu Land, in der Luft und im Weltraum haben gezeigt, daß Dichtungen aus Silikon oder Fluorsilikon mit Silber- oder silberplattiertem Füller langfristig ein hohes Maß an Beständigkeit und Schirmwirkung aufweisen.

HÄUFIGES MISSVERSTÄNDNIS NR. 9 Elastomere HF-Dichtungen halten weder Reinigungsflüssigkeiten, Hydrauliköl noch anderen aggressiven Chemikalien stand.

Häufig besteht beim Einsatz einer HF-Dichtung die Forderung, daß das Material wetterfest oder hermetisch dicht sein muß, um aggressive Chemikalien oder Flüssigkeiten abweisen zu können. In diesem Fall kommt nur ein Elastomer in Frage, es sei denn, das Gehäuse ist geschweißt – sicherlich eine nicht gerade attraktive Alternative.

Chemische Beständigkeit ist bei bestimmten Anwendungen eine wichtige Forderung. Wie die Aufstellung in Tabelle 2 zeigt, sind sowohl Silikon als auch Fluorsilikon relativ gut beständig gegen Flüssigkeiten, die Elastomer-Dichtungen angreifen können. In militärischen Anwendungen, wo hohe Betriebssicherheit gefordert ist, kommen daher nur diese Materialien in Frage.

Zusammenfassung:

Leitende Elastomere mit Silikon oder Fluorsilikon als Binder besitzen eine relativ gute allgemeine chemische Beständigkeit.

HÄUFIGES MISSVERSTÄNDNIS NR. 10 Silbergefüllte Elastomere verursachen galvanische Korrosion

Bei jedem Dichtungssystem mit verschiedenen Materialien ist Korrosion ein „heikler Punkt“ – ganz gleich ob die Dichtung mit Silberfüller oder aus Drahtgewebe hergestellt ist.

Nun mag Korrosion zwar ein „heikler Punkt“ sein, muß aber kein Problem darstellen.

Zu galvanischer Korrosion kommt es, wenn zwei ungleiche Metalle elektrisch in Kontakt kommen, und ein Elektrolyt vorhanden ist.

Schließt man nur eine dieser Voraussetzungen aus, tritt keine galvanische Korrosion auf. Es sei darauf hingewiesen, daß einige Richtlinien zum Korrosionsschutz nicht unterscheiden zwischen dem galvanischen Poten-

tial von reinem Silber und dem silbergefüllter Elastomere. Diese Unterscheidung ist jedoch wesentlich. Z.B. ist der spezifische Widerstand von reinem Silber $10^{-6} \Omega \text{ cm}$, während die Werte für Elastomere mit Silberfüller zwischen 10^{-3} und $10^{-2} \Omega \text{ cm}$ liegen. Der Stromfluß durch silbergefüllte Elastomere ist daher mindestens 1000 mal geringer als durch reines Silber.

Da galvanische Korrosion proportional ist zu der Gesamtstromstärke, die durch den Übergang fließt, begünstigen silbergefüllte Elastomere galvanische Korrosion weitaus weniger, und sie sind kompatibel mit Materialien, die sich mit Silber normalerweise nicht vertragen.

Ein silbergefülltes Elastomer garantiert eine hochleitende Verbindung, wobei sich die Füllpartikel durch Oberflächenfilme „durchbeißen“ können. Korrosion tritt nicht auf, da Silikongummi auf molekularer Basis auf den meisten Oberflächen haftet, so daß die leitenden Flanschflächen gegen äußere Umge-

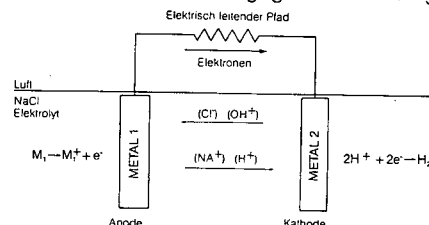


Abb. 22 Typisches galvanisches Element

bungseinflüsse geschützt sind.

Wir drucken hier die Tabelle 3 aus dem „CHOMERICS EMI/RFI Gasket Design Manual“ (Chomerics Handbuch zur Konstruktion von HF-Dichtungen) ab.

Die Daten stammen aus „Corrosion Control in EMI-Design“ (Korrosionsschutz bei der Konstruktion von HF-Dichtungen), veröffentlicht von Earl Groshart (Boeing) und vorgestellt auf dem IEEE EMC Symposium 1977. Das Handbuch wurde unter Mitwirkung von Mitgliedern der Society of Automotive En-

Tabelle 2

	Chemische Beständigkeit ausgewählter Elastomere							
	verdünnte Säuren	konzentrierte Säuren	Alkalien	aliphatische Lösungsmittel	aromatische Lösungsmittel	chlorierte Lösungsmittel	Alkohole	Ester/Ketone Äther
Duroplaste	gut	befriedigend	gut	schlecht	schlecht	schlecht	gut	schlecht
Nitrilgummi weich	gut	befriedigend	gut	schlecht	schlecht	schlecht	gut	schlecht
Syrol-Burden	gut	befriedigend	gut	schlecht	schlecht	schlecht	gut	schlecht
Neopren	hervorragend	gut	gut	gut	befriedigend	befriedigend	gut	schlecht
Nitril	gut	gut	gut	hervorragend	gut	befriedigend	gut	schlecht
Äthylensproylen	hervorragend	gut	gut	schlecht	befriedigend	schlecht	gut	schlecht
Burfl	hervorragend	hervorragend	hervorragend	schlecht	schlecht	schlecht	gut	schlecht
Chlorsulfon-Polyäthylen	hervorragend	hervorragend	hervorragend	befriedigend	schlecht	schlecht	gut	schlecht
Polyacryl	befriedigend	befriedigend	befriedigend	gut	befriedigend	befriedigend	befriedigend	schlecht
Silicone	gut	gut	gut	hervorragend	hervorragend	hervorragend	gut	gut
Urethan	befriedigend	schlecht	befr./schlecht	hervorragend	hervorragend	gut	befr./gu	schlecht
Fluorelastomer	gut	schlecht	befr./schlecht	hervorragend	hervorragend	hervorragend	gut	schlecht
Fluor-Silikon	hervorragend	sehr gut	gut	hervorragend	hervorragend	hervorragend	hervorragend	schlecht
Polyamide	gut	gut	gut	hervorragend	hervorragend	hervorragend	gut	gut
Epoxyharz	gut	befriedigend	gut/sehr gut	hervorragend	hervorragend	schlecht	schlecht-gut	schlecht
Thermoplaste								
Coopolyester	gut	schlecht	gut	hervorragend	hervorragend	schlecht	gut	gut
Syrol-Burden	gut	schlecht	gut	hervorragend	schlecht	befr./gut	schlecht	schlecht
Coopolyester								
Urethan	befriedigend	schlecht	schlecht	sehr gut	gut	befr./gut	gut	schlecht
Polyolefin	hervorragend	hervorragend	hervorragend	befriedigend	schlecht	sehr gut	schlecht	gut

Tabelle 3

Gruppe	Werkstoff-Gruppierungen*
1	Gold - Platin - Gold/Platinlegierungen - Rhodium - Graphit - Palladium - Silber - Silberlegierungen - Titan - SILBERGEFÜLLTE ELASTOMERE - SILBERGEFÜLLTE LACKE
2	Rhodium - Graphit - Palladium - Silber - Silberlegierungen - Titan - Nickel - Monel - Kobalt - und Nickellegierungen - Kupfer/Nickel-Legierungen - AISI 300 S Stahl - A 286 Stahl - SILBERGEFÜLLTE ELASTOMERE - SILBERGEFÜLLTE LACKE
3	Titan - Nickel - Monel - Kobalt - Nickel - und Kobaltlegierungen - Nickel/Kupfer-Legierungen - Kupfer - Bronze - Messing - Kupferlegierungen - Silberlot - handelsüblicher Gelbguß und Bronze - Bleimesing und -brunze - Marine- Sondermessing - Stähle AISI 300, 451, 440, AM 355 und PH-gehärtet - Chromstähle - Wolfram - Molybdän - SILBERGEFÜLLTE ELASTOMERE
4	Bleimesing und -brunze (Marine - Sondermessing) - Stähle AISI 431, 440, 410, 416, 420, AM 355, PH-gehärtet - Chromstähle - Wolfram - Molybdän - Zinn-Indium-Zinnlot - Blei - Bleilot - Aluminium 2000 und 7000 - legierter und unlegierter Stahl SILBERGEFÜLLTE ELASTOMERE UND ELASTOMERE MIT SILBERPLATTIERTEM KUPFERFÜLLER
5	Chromstahl - Wolfram - Molybdän - Stähle AISI 410, 416, 420, legiert und unlegiert - Zinn - Indium - Zinnlot - Blei - Bleilot - Aluminium - alle Aluminiumlegierungen - Cadmium - Zink - verzinkter Stahl - Beryllium - Zinkguss
6	Magnesium - Zinn

* Alle Gruppen überschneiden sich, so daß Materialien angrenzender Gruppen ohne weiteres zusammen verwendet werden können.

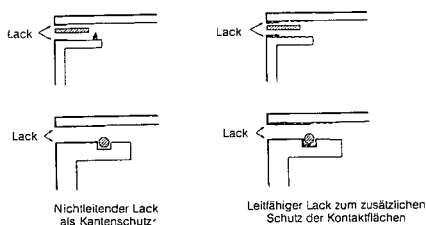


Abb. 23 Oberflächenlackierung eines Gehäuses zum Schutz gegen Korrosion.

gineers (SAE) (AE-4 Committee) erstellt. Wie bereits erwähnt, sind silbergefüllte Elastomere kompatibel mit einer Vielzahl verschiedener metallischer Werkstoffe und wurden damit bereits erfolgreich eingesetzt. Abb. 22 veranschaulicht ein typisches galvanisches Element. Wie man sehen kann, wandern die Elektronen – wenn ein Elektrolyt vorhanden ist – vom weniger edlen (Anode) zum edleren (Kathode) Metall. Bei einem abgedichteten Übergang würde sich nun das silbergefüllte Elastomer wie die Kathode, ein Aluminiumflansch beispielsweise wie die Anode verhalten. Um dies zu vermeiden, bieten sich zwei theoretische Möglichkeiten an:

- 1) die feuchte Umgebung auszuschließen, oder
- 2) für Flansche und Dichtung dasselbe Metall zu verwenden.

In den meisten Fällen sind beides weder realistische noch praktische Lösungen. Eine praktikable Lösung besteht hingegen darin, die leitenden Pfade zwischen den der Feuchtigkeit ausgesetzten Metallen zu unterbrechen, so daß keine galvanische Zelle mehr besteht. Abb. 23 zeigt einige gebräuchliche Lackiertechniken, die dazu dienen, Umgebungseinflüssen ausgesetzte, unterschiedliche Metalle voneinander zu „isolieren“.

Wenn es sich bei dem Metall um Aluminium handelt, wird normalerweise zuerst eine Chromatierung nach MIL-STD 5541, Class III, vorgenommen, die einen niederohmigen Flanschübergang ermöglicht und Oxidation unterbindet.

Nach der Chromatierung werden organische Lacke wie Epoxid-Grundierung oder -Farbe – wie in der Abbildung dargestellt – aufgebracht.

Wird ein Panel in einer maritimen Umgebung häufiger geöffnet, kann als zusätzlicher Schutz ein leitender Überzug (z. B. Silber-Epoxidfarbe) auf die Flanschoberfläche aufgetragen werden. In beiden Fällen sieht die aggressive Umgebung nur eine leitende Dichtung in Verbindung mit einem nicht-leitendem Lack.

Diese „Abkapsel“-Technik wird nicht nur bei silbergefüllten Elastomeren, sondern auch bei anderen ungleichartigen leitenden Dichtungen angewandt. Abb. 24 und 25 zeigen typische Prüfmuster von Aluminiumflanschen und Dichtungen mit silberplattierten Aluminiumfüller (CHO-SEAL 1285) oder mit silberplattiertem Kupferfüller (CHO-SEAL 1215), die gemäß ASTM-B 117 einem 100-stündigen Salzsprühnebeltest unterzogen wurden. Bei Abb. 25 sind geringe, bei Abb. 24 praktisch keine Anzeichen galvanischer Korrosion zu erkennen.

Zusammenfassung:

Galvanische Korrosion kann ein Problem sein bei jeder Verbindung mit ungleichartigen Metallen. Durch fachgerechte Dichtungs konstruktion und Oberflächentechnik ist dieses Problem jedoch zu lösen.

Schlußwort

Natürlich lassen sich einige HF-Abschirmprobleme nicht so einfach lösen, besonders bei extremen Umgebungsbedingungen, oder wo einzigartige Produktformen erforderlich sind. Häufig reichen Standardmaterialien und -dichtungen nicht aus.

Neue Materialien und Produktformen müssen entwickelt werden. Manchmal ist es allein schon schwierig, exakt zu definieren, was gebraucht wird.

Chomerics unterhält ein sehr gut eingerichtetes Applikationslabor, in dem Spezialisten leitende Dichtungen testen sowie Prototypen entwickeln und konstruieren.

Auf Wunsch stehen die Applikationsingenieure von Chomerics jedem Unternehmen mit HF-Abschirmproblemen beratend zur Seite.

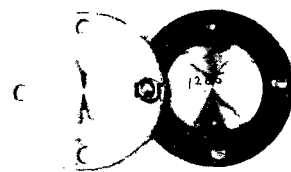


Abb. 24 CHO-SEAL 1285 nach 100 Stunden Salzsprühnebeltest

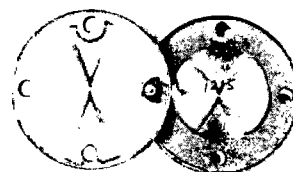


Abb. 25 CHO-SEAL 1215 nach 100 Stunden Salzsprühnebeltest

Für weitere Informationen wenden Sie sich bitte an:

CHOMERICS GMBH
Postfach 320208
Moltkestraße 32
Telefon 02 11/48 8001-02
4000 Düsseldorf 30