

# Es funktioniert

FKM-Elastomere als Flüssigdichtungen für extreme Anforderungen

**BRANCHENÜBERGREIFEND FLÜSSIGDICH- TUNGEN/WERKSTOFFE – Wenn über Flüssigdichtungen gesprochen wird, liegt der Fokus werkstoffseitig selten auf FKM. Für die Abdichtung einer HT-PEM-Brennstoffzelle erwies sich dieser Werkstoff flüssig aufgetragen aber als Lösung – ein Projektbericht.**

Bei vielen technischen Konstruktionen spielen Dichtungen als Fügeelemente für die Funktionsfähigkeit eine entscheidende Rolle. Neben dem Toleranzausgleich von Komponenten verhindern sie unerwünschte Wechselwirkungen zwischen Bauteilinnenräumen und der Umgebung. Bei näherer Betrachtung erkennt man meist, dass die Anforderungen an eine optimale Dichtung allerdings sehr komplex sind. Schutz vor Feuchtigkeit und Schmutz, Verhinderung von Medienaustritt oder -eindringen sind nicht nur für die Funktion eines Bauteiles oder Gerätes unabdingbare Voraussetzung, sie sind auch sicherheits- und umweltrelevant. Und natürlich müssen die konstruktive Auslegung der Dichtung und das Material optimal auf die Einsatzbedingungen abgestimmt werden. Das trifft insbesondere für Flüssigdichtungen (FIGP) zu, die i.d.R. auf geometrisch komplexe Konstruktionen aufgebracht werden. Komplexer wird es auch dadurch, dass die Anforderungen an Dichtungen seit Jahren stetig zu nehmen. Neben erhöhter thermischer Belastung, insbesondere thermischer Wechsellast, stellen neue Betriebsmedien wie Kühlschmiermittel, Treibstoffe, Schmier- und Reinigungsmittel erhöhte Anforderungen an Material und praxisingerechte Konstruktion. So ist z.B. eine Dichtung, die über Jahre einem rein mineralölbasierten Dieseltreibstoff standgehalten hätte, nach kurzer Zeit im Kontakt mit Biodiesel aufgequollen. Ganz besonders sind wasserbasierende Kühlschmiermittel zum „sealing engineers nightmare“ geworden. Neue Einsatzgebiete im Bereich von Verfahrenstechnik und Energieerzeugung bringen weitere Herausforderungen.

## PTFE ersetzen, Silikon keine Option

Bei der Aufgabe, eine betriebs- und montage-sichere, langlebige und kostengünstige Elas-

tomerdichtung für HT-PEM-Brennstoffzellen (Hochtemperatur-Polymerelektrolytmembran) als Ersatz für eine PTFE-Einlage zu entwickeln, musste die Polyprocess GmbH verschiedene Fragestellungen in einem Gesamtkonzept lösen. Da war zuerst die Frage nach dem richtigen Werkstoff. Für den Temperaturbereich von 160 bis 180 °C werden üblicherweise Silikone eingesetzt, die eine hervorragende Standzeit erwarten lassen. Von Laugen und Säuren wird Silikon jedoch katalytisch angegriffen und ist im schlimmsten Fall nach kurzer Zeit klebrig oder völlig aufgelöst. Silikone scheiden also als Dauerlösung für die HT-PEM-Zelle aus, denn diese enthält Phosphorsäure als Protonenleiter. Neben dieser entscheidenden Rahmenbedingung umfasste die Anforderungsliste an die Dichtung etwa 20 Kriterien, wie z.B. einen geringeren Druckverformungsrest, eine geringere Gaspermeation sowie Auslaugungssicherheit.

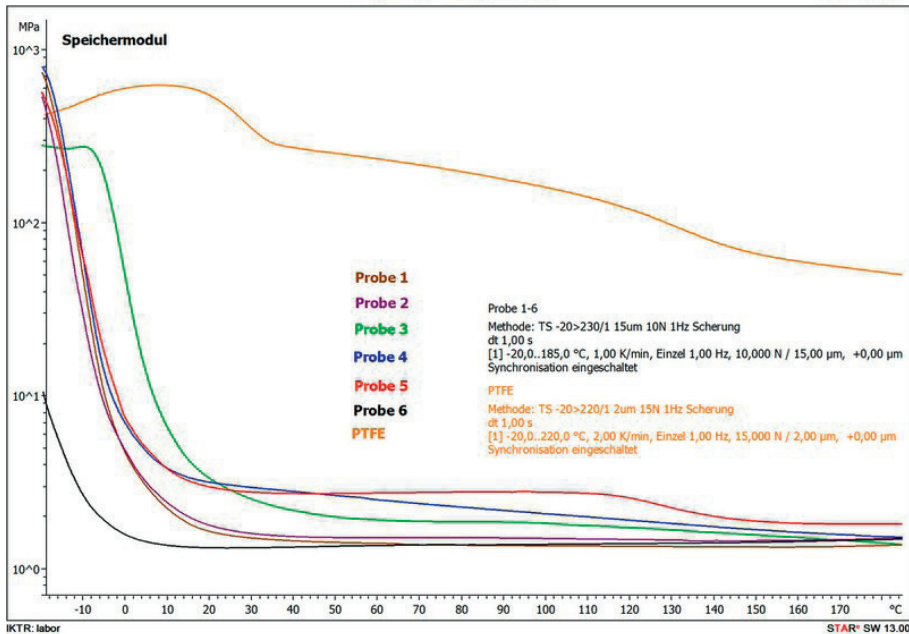
Letztendlich entschied man sich als Dichtungswerkstoff für ein Fluorelastomer (FKM). Dieses bietet neben einer hervorragenden Temperaturbeständigkeit zusätzlich eine gegenüber Silikon deutlich verbesserte Medienbeständigkeit. Der Einsatz dieser Werkstoffklasse wurde auch durch den Bedarf der Automobilindustrie erheblich ausgeweitet. Alle führenden Hersteller bieten eine große Auswahl an Basispolymeren und auch Compounds an, die zu Dichtungen, Schläuchen und weiteren technischen Artikeln verarbeitet werden.

## Klassische FKM-Verarbeitungstechniken scheiden aus

Extrusionstechniken, Injection- and Compressionmoulding sind die in der Gummitechnologie gebräuchlichen Verarbeitungsmethoden. Für die anstehende Aufgabe, Elastomerdichtungen mit einer Breite von einigen Millimetern bei einer Höhe von 20 bis 250 µm bereitzustellen scheiden diese Techniken allerdings aus. Also mussten das Fließverhalten und die Materialaufbringung der Aufgabe angepasst werden. Dazu entwickelte man Re-

zepturen aus verschiedenen Polymeren und Lösemitteln, die sich sowohl mit herkömmlichen Dispenserverfahren als auch mit berührungslosen Jet-Ventilen aufbringen lassen. Die Lösungen enthalten etwa 20 bis 60% Polymercompound, bestehend aus Basispolymer, Vernetzer, Katalysator, Füllstoffen und ggf. Pigmenten. Sie sind frei fließend, können aber auch thixotrop eingestellt werden. Die Verarbeitung ist i.d.R. problemlos, eine Anpassung des Feststoffgehaltes und der damit verbundenen Viskosität an die gewünschte Dichtungshöhe ist aber sinnvoll. Der Volumenschwund durch Trocknung ist zu berücksichtigen. Dichtungen mit Höhen von 1 bis 2 mm lassen sich recht gut durch Mehrfachauftragung nass-in-nass realisieren.

Die Vorteile der Flüssigaufbringung liegen in der nahezu unbegrenzt offenen Topfzeit des Compounds im Lösemittel. Ein Durchregieren findet bei Raumtemperatur nicht statt. Anders ist dies bei Spritzguss- und Extrusionsverfahren – hier reagiert die Mischung bereits im Extruder. Die zähflüssige Masse muss in kurzer Zeit in der Form sein. Bei Verfahrensunterbrechungen ist der Extruder mit neutralem Material zu spülen. Die Verarbeitung als Flüssigdichtung weit unter der Reaktionstemperatur der Mischung bietet nicht nur bei Kleinserien und Bemusterungen Vorteile. Bei größeren Serien sind die Variantenwechsel deutlich erleichtert. Die Materialeffizienz – bezogen auf den Polymerwerkstoff – liegt bei 100%. Es lassen sich auch sehr filigrane Geometrien und Punktgeometrien realisieren. Einen Nachteil hat das Verfahren aber. Die Trocknung der Dichtungsmasse vor dem Vernetzen erfordert Zeit. Sie liegt – je nach Lösemittel und Konzentration – zwischen 1h und – bei dickeren Schichten – etwa 24h. Im Serienbetrieb lässt sich das durch eine Verweilzeitstrecke leicht umsetzen. Die Vernetzung erfordert Temperaturen von 140 °C bis 170 °C bei einer Verweildauer von 10 bis 30 min. Hier ist eine weitere Einschränkung der Anwendung gegeben. Das Substrat muss diesen Temperaturen standhalten.



### »1 Materialcharakterisierung – Temperaturabhängigkeit des Speichermoduls

#### Den Arbeitsschutz nicht vergessen

Hier ist die Belastung durch die Lösemitteldämpfe immer wieder ein Thema, sie ist aber bei diesem Verfahren gut beherrschbar. Anders als beim Siebdruck wird nur der lokale Bedarf aufgetragen. Ein Beispiel: Eine Platte, 220 x 90 mm (etwa DIN C6) erhält eine umlaufende Dichtung, 3 mm breit und 0,2 mm hoch. Dafür werden etwa 0,75 g Elastomer benötigt. Eine 50%ige Lösung enthält dabei ebenfalls 0,75 g Lösemittel, z.B. Aceton. Bei 1.000 Platten pro Stunde ergibt es eine Belastung von 0,75 kg/h, die sich leicht durch Absaugung beherrschen lässt. Auch die Vorschriften der TA Luft sind zu beachten. Unzulässige Emissionen sind durch Filterung der Abluft zu vermeiden. Ex-Schutz-Bestimmungen können leicht umgesetzt werden.

Die Flammpunktgrenze > 40 °C für die Zubereitung, wie sie für den Siebdruck laut Merkblatt des VdL (Verband der deutschen Lack- und Druckfarbenindustrie e.V.) als Richtlinie gilt, findet beim Flüssigdosieren keine Anwendung.

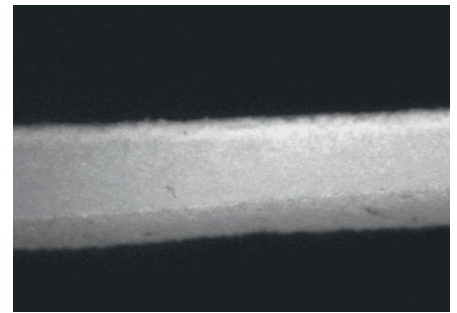
#### Vorgehensweise und Ergebnisse

Zunächst wurde eine Reihe von Polymeren verschiedener Hersteller getestet. Sie unterschieden sich im Molgewicht und im chemischen Aufbau der Polymere. Mit zunehmendem Fluorgehalt verbesserte sich die Medienresistenz, die elastischen Eigenschaften verschlechterten sich dabei. Das wirkte sich auf das Verhalten bei tiefen Temperaturen aus. In »1 sieht man die Unterschiede im Übergang vom weichelastischen (Entropieelastizität) zum hartelastischen (Enthalpieelastizität) Verhalten. Für die gegebene Aufgabenstellung eignen sich besonders peroxidisch vernetzte Systeme.

Auslagerungstests von Musterraupen auf VA-Stählen 1.4301 und 1.4571 in konzentrierter Phosphorsäure bei 160 °C unter Luftzutritt zeigten nach sechs Monaten eine unveränderte Kontur der Dichtung, keine Quellung oder Klebrigkeit und keine Versprödung. Der V2A-Stahl war unter diesen Bedingungen nach wenigen Wochen aufgelöst. Überraschend ist die hervorragende Haftung auf diversen Substraten; erwartungsgemäß ist die Haftung auf VA-Stahl sehr gut. Ebenfalls sehr gute Werte wurden für Kupfer, Aluminium, Glas, Keramik, GF-verstärktes Epoxid sowie auf einigen Graphitplatten und sogar auf PVD-Diamantschichten gefunden. Diese Ergebnisse gelten auch für die geschäumten Varianten der FKM-Dichtungen. »2 zeigt eine Schaumraupe Graphit/FKM/ Glas. Die geschlossene Zellstruktur verbunden mit der inhärenten Diffusionsdichte des Grundmaterials, sorgt für geringste Permeationsverluste. »2 belegt zudem eine weitere mögliche Anwendung von flüssig aufgetragenen Fluorelastomeren. Da die „grüne“, nicht vulkanisierte Dichtung thermisch aktiviert werden muss, bleibt sie sehr lange reaktionsfähig. Führt man die Vernetzung des Materials zwischen zwei Substraten unter mechanischem Kontakt durch, erhält man eine dauerhafte elastische Verklebung.

#### Fazit

Das Projekt hat gezeigt, dass es möglich ist, Fluorelastomere als Dichtungswerkstoff aus der Lösung mittels Dispenserverfahren aufzubringen. Die hergestellten Dichtungen weisen ein hervorragendes Eigenschaftsprofil auf. Dichtungstechnologie ist Querschnittstechnologie. Neben dem Einsatz in Brennstoffzellen sind Anwendungen in der chemischen Technologie sowie in der Elektroindustrie und auch im Maschinenbau denkbar.



### »2 FKM-Raupe

Die Arbeit wurde vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie in dem Vorhaben „Robuste Bipolarplatte für HT-PEFC (RoBiPo)“, Förderkennzeichen O3ET2030 C, gefördert.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

#### Fakten für Konstrukteure

- FKM als Flüssigdichtung eröffnet neue konstruktive Freiheitsgrade und ist eine Option, wenn PTFE und Silikon an ihre Grenzen kommen

#### Fakten für Einkäufer

- Hohe Standzeiten der FKM-Dichtungen bei extremen Anforderungen sorgen für hohe Produktqualität und -zufriedenheit beim Kunden.

#### Fakten für Qualitätsmanager

- Beim Flüssigauftrag von FKM lassen sich Probleme mit Lösemitteldämpfen gut beherrschen. Für die Einhaltung der TA Luft sorgt die entsprechende Filterung

#### Weitere Informationen

Polyprocess Kustharzverarbeitung GmbH  
www.polyprocess.de

Autoren: Frank Schuhmann, Prokurist und Hermann Block, Geschäftsführer