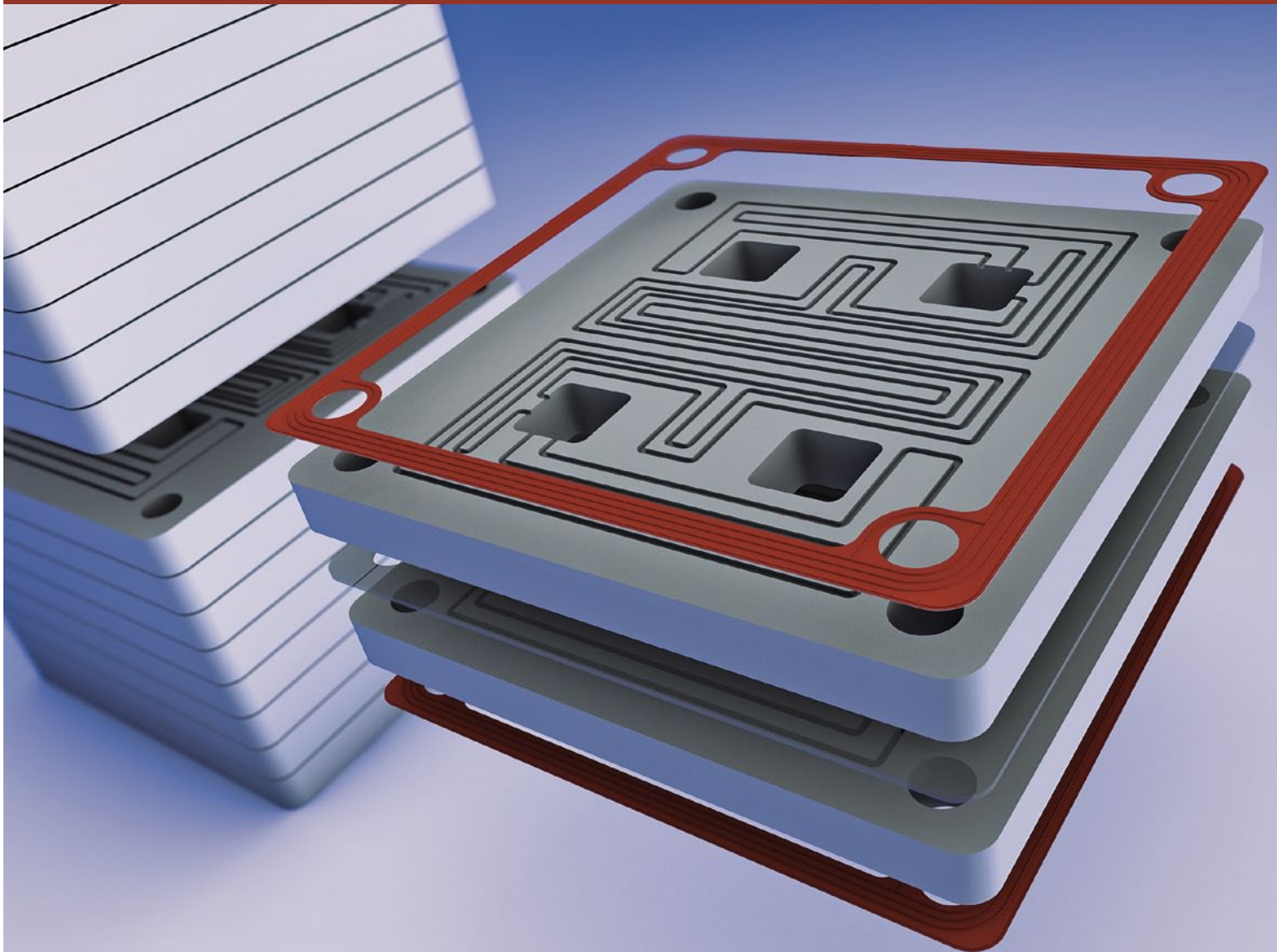


LEM-DICHTUNGSTECHNIK FÜR BRENNSTOFFZELLEN

Die Liquid-Elastomer-Molding-Technik (LEM) von Federal-Mogul dient zur Herstellung extrem flacher, leichter, dabei zugleich druckfester und medienbeständiger Dichtungen. Für die Abdichtung von Brennstoffzellen bieten LEM-Dichtungen signifikante, design-basierte Vorteile. Dazu zählen ein effizientes Abdichtverhalten, eine minimale Verpressungshöhe und die Möglichkeit, den Zellenstapel zu Reparaturzwecken zu öffnen.



AUTOREN



BHAWANI TRIPATHY, PHD

ist Direktor Materials and Advanced Technology bei der Federal-Mogul Sealing Systems in Ann Arbor (USA).



DIPL.-ING. ERIKA SZELE

ist Produktentwicklungsingenieurin bei der Federal-Mogul Sealing Systems GmbH in Burscheid.

POTENZIAL DER LEM-DICHTUNG

Neue Antriebe wie die Brennstoffzelle und traditionelle wie der Verbrennungsmotor stehen in mancher Hinsicht vor denselben Anforderungen: Beide sollen eine möglichst hohe Energiedichte aufweisen. Gefordert sind daher kompakte Aggregate mit niedrigem Gewicht und hohem Wirkungsgrad. Leichtbau spielt dabei eine große Rolle. Mit der Energiedichte steigt in der Regel jedoch die Belastung der einzelnen Komponenten durch Druck und Temperatur, was Leichtbau zu einer Herausforderung machen kann.

Seit rund zehn Jahren setzt Federal-Mogul daher LEM-Dichtungen beispielsweise zur Abdichtung von Ölfiltern und -kühlern, Ölwanne, Ventilhauben, Wasserpumpen und Unterdruckpumpen ein. Konstruktion und Betriebseigenschaften dieser Dichtungen haben sie zu einer wirtschaftlichen Problemlösung gemacht.

Mit einer Verpressungshöhe von nur zirka 0,3 mm und ihrem geringem Gewicht ermöglichen LEM-Dichtungen sehr niedrige Dichtspalte, wobei die Dichtstelle gleichzeitig eine hohe Steifigkeit aufweist. Dennoch erreichen LEM-Dichtungen schon bei niedrigen Spannkraften eine sichere Abdichtung mit hoher Medienbeständigkeit. Zur Abdichtung von Brennstoffzellen werden heute oftmals Lösungen auf Basis von Flüssigsystemen gewählt, wie zum Beispiel nassverbauten Dichtungsmaterialien (Formed-in-Place-Gaskets, FIPG). Ein gravierender Nachteil dieser FIPG ist, dass sich ein Zerlegen des Stapels (Stack) als fast unmöglich erweisen kann, da das Dichtungsmaterial in der Regel fest mit den abzudichtenden Komponenten verbunden ist. Im Gegensatz dazu sind LEM-Dichtungen einbaufertige Komponenten. Ein Stack mit LEM-Dichtungen lässt sich daher wieder öffnen, sollte dies aus Wartungs- oder Reparaturgrün-

den nötig sein – die LEM-Dichtung ist dabei leicht auszutauschen.

AUFBAU UND GESTALTUNGSOPTIONEN

Den Kern einer LEM-Dichtung bildet ein Trägermaterial mit einer Höhe von zirka 0,2 mm. Nach einer entsprechenden Oberflächenvorbehandlung wird in einem dem Siebdruck verwandten Verfahren beidseitig ein Raster aus flüssigem Silikon auf den Träger aufgebracht. In einer Pressform mit 3D-Geometrie wird dieses Netzwerk aus Silikondepots unter Druck und Hitze auf der Trägeroberfläche definiert verteilt. Dabei erfolgt die Vernetzung des Elastomers dank eines speziellen Vernetzungssystems innerhalb von wenigen Sekunden, was kurze Taktzeiten bedeutet. Ein abschließender Stanzvorgang der Dichtungskontur sorgt allseitig für saubere, maßgenaue Kanten. Bei der Pressformung des Silikons entstehen zwei sich funktional ergänzende Dichtelemente: Einerseits erzeugt der Prozess eine flächige Silikonbeschichtung mit 50 µm bis 100 µm Höhe, die später für die Mikroabdichtung sorgt. Andererseits werden in der Vulkanisierform um jeden Medienkanal ein bis drei Liniendichtelemente mit definiertem Querschnitt zur druckfesten Abdichtung erzeugt, ❶. Die Geometrie dieser Liniendichtelemente kann dreidimensional auf eine maximale Linienpressung hin zum Flansch abgestimmt werden. Je nach Anwendung kann die Höhe der Dichtelemente zwischen 0,05 mm und 0,4 mm betragen.

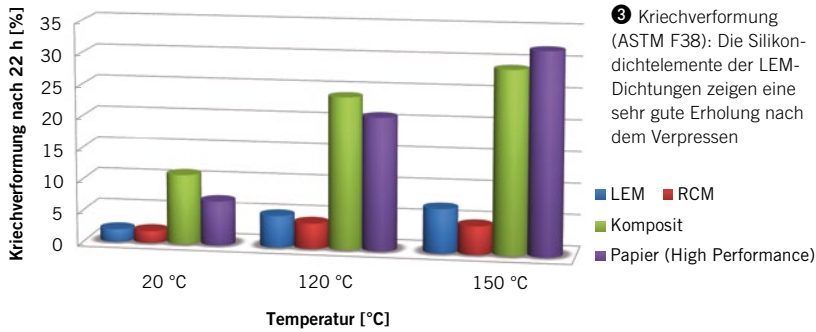
Bei dem patentierten Verfahren bestehen weitere geometrische Freiheiten für die Auslegung der Dichtelemente. So kann das Silikon je nach Anforderung auch partiell auf den Träger aufgetragen werden. Die dreidimensionalen Dichtelemente können eine variierende Höhe über die Länge zwischen zwei Schraubbereichen erhalten. Mit dieser Topographie ist auch bei einer Aufbiegung des Flanschs zwischen den Ansatzpunkten der Schraubenkräfte eine gleichmäßige Linienpressung des Dichtelements erreichbar. Zusätzlich lassen sich Silikonverdickungen an den Kanten der Dichtung erzeugen, um T-Stöße und Hochdruckbereiche abdichten zu können. Ein weiterer Freiheitsgrad besteht beim Trägermaterial selbst. Hier lässt sich prinzipiell ein breites Materialspektrum einsetzen.

❶ Dichtungsausschnitt mit flächiger 50 µm Silikonbeschichtung, drei Liniendichtelementen sowie einem Kantendichtelement





② Beispiel einer komplexen LEM-Dichtung zur Trennung mehrere Medien voneinander sowie zu deren Abdichtung gegenüber der Umgebung



WERKSTOFFEIGENSCHAFTEN UND BETRIEBSVERHALTEN

Mit dem patentierten Herstellungsverfahren lassen sich komplexe Geometrien des Trägers zur Abdichtung mehrere Medien voneinander sowie gegenüber der Umgebung erzeugen, ②. Auch bei solchen Geometrien mit zahlreichen Medienkanälen sorgt der Träger für eine vergleichsweise hohe Steifigkeit des Dichtverbunds. Dies hat nicht nur im Betrieb Vorteile, denn obwohl LEM-Dichtungen vergleichsweise leichte Komponenten sind, bewirkt der Träger eine hohe dimensionale Stabilität und erleichtert so die Montage sowie insgesamt die Handhabung. Ebenfalls dank der Steifigkeit des Trägers in Kombination mit der Mikrogeometrie der Dichteelemente ist es möglich, Dichtungen für Flanschbreiten von nur 4 mm zu realisieren.

Bei maschinell bearbeiteten Flanschoberflächen liegt die Rauheitsanforderung der Dichtung bei einem R_z von $\leq 25 \mu m$, unter Idealbedingungen bei bis zu $30 \mu m$. Gussoberflächen dürfen standardmäßig einen R_z von bis zu $30 \mu m$ aufweisen. Damit unterscheiden sich LEM-Dichtungen nicht im Hinblick auf die Anforderungen an die Bauteiloberfläche anderer Dichtungen, beziehungsweise unterschreiten diese eher noch.

Aufgrund der sehr flachen Dichtungsgeometrie ist die effektive Kontaktfläche des Dichtungswerkstoffes Silikon zu den umgebenen abzudichtenden Medien äußerst gering. LEM-Dichtungen sind daher im automobilen Einsatz für die Medien Öl, Kühlmittel, Luft und Wasser validiert und bewährt.

Im Hinblick auf den potenziellen Einsatz als Dichtungstechnologie für Brennstoffzellen ist der kleine Dichtpalt günstig für eine verringerte Permeation gasförmiger Medien. Letzteres ist für den Brennstoffzelleneinsatz vorteilhaft, weil die Zelle selbst vor dem Eintrag von Verunreinigungen geschützt werden muss, während eine unzulässig hohe Ausgasung von Wasserstoff schon aus Sicherheitsgründen inakzeptabel ist. Für beide Anforderungen bringt die LEM-Technik optimale Eigenschaften mit.

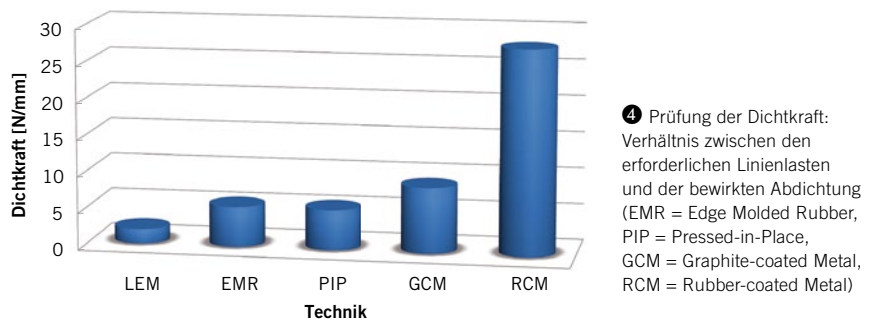
LEM-Dichtungen decken einen Temperaturbereich von -40 °C bis zu 180 °C ab und sind für einen Mediendruck von bis zu 30 bar geeignet. Im Vergleich zu vielen anderen Dichtungswerkstoffen, ist es eine Besonderheit von Silikon, dass seine Dichteigenschaften und Flexibilität auch bei tiefen Temperaturen in höherem Umfang erhalten bleiben. Auch das spricht für den Einsatz bei anspruchsvollen mobilen Anwendungen.

Tests haben außerdem gezeigt, dass die LEM-Dichteelemente eine ausgesprochen gute dynamische Erholung bei wechselndem Druck und nach Einwirkung hoher Temperaturen zeigen, ③. Die gute Kriechbeständigkeit sorgt dafür, dass die Dichteigenschaften über einen langen Zeitraum gewährleistet sind. Im Hinblick auf das teilweise hohe Betriebstemperaturniveau von Brennstoffzellen sind die verbleibenden Rückstellvermögen der Dichtung nach der Temperaturexposition durchaus als wichtiger Faktor anzusehen.

Ebenfalls vorteilhaft ist das Verhältnis zwischen dem erforderlichen Anzugsmoment und der Dichtwirkung. Hier erreichen LEM-Dichtungen im Vergleich zu anderen Dichttechniken Bestwerte, da die Abdichtung schon bei geringen Schraubenerkäften und damit potenziell geringen Verzügen sowie niedriger Materialbelastung der Flasche erreicht wird, ④.

EIGNUNG DER LEM-TECHNIK FÜR BRENNSTOFFZELLEN

Wegen ihrer vergleichsweise hohen Leistungsdichte hat die Niedertemperaturbrennstoffzelle mit Protonenaustauschmembran (NT-PEM) (auch als Polymerelektrolytmembran-Brennstoffzelle bezeichnet, Polymer Electrolyte Fuel Cell, PEFC) besonderes Potenzial für die Entwicklung von automobilen Lösungen. Die einzelnen, nur rund 2 mm dicken, Zellen verfügen über einen recht komplexen symmetrischen



Das Buch trägt das derzeit aktuelle Wissen zur Wasserstoffverwendung im Auto zusammen

MERKMAL	FIPG	LEM
DICHTSPALTHÖHE	+++	+++
STEIFIGKEIT DICHTVERBUND	++	++
MEDIENVERTRÄGLICHKEIT	+++	+++
GEWICHT	+	+
TOPOGRAPHIE	---	+++
PROZESSSICHERHEIT	+/-	+++
ZYKLUSZEIT	+	++
MONTAGE-EIGNUNG	+/-	+++
ZUGANG/WARTUNG	---	+++

5 Vergleich der technischen Eignung von FIPG und LEM für die Abdichtung von Brennstoffzellen

Aufbau aus zwei Bipolarplatten als Elektroden, zwei Gasdiffusorsystemen sowie der mittigen Polymermembran als festem Elektrolyt zum Ionenaustausch.

Das Gesamtsystem der Zelle reagiert empfindlich auf Katalysatorgifte wie CO und Schwefelverbindungen. Gleichzeitig entsteht bei der Oxidation des Brennstoffs Wasser. Neben der Zufuhr von sauberem Brennstoff und sauberer Luft, ist daher eine sichere Abdichtung der einzelnen Zelle gegenüber der Umwelt und gegenüber den benachbarten Zellen entscheidend für die Lebensdauer. Da eine einzelne Zelle nur bis zu rund 1 V Spannung liefert, werden beispielsweise bis zu 200 Zellen in einem Stack in Reihe geschaltet. Die hohe Zahl der Dichtspalte macht deutlich, wie wichtig eine geeignete Dichtungstechnologie ist.

HT-PEM-Brennstoffzellen (Hochtemperatur-Polyelektrolytmembran-Brennstoffzellen) mit einer Betriebstemperatur von 160 °C, die sich im Gegensatz zur NT-PEM durch einen um 30 % geringeren Anteil an notwendigen Systemkomponenten (zum Beispiel geringerer Kühlbedarf und fehlende Gasbefeuchtung) auszeichnen, haben eine etwas geringere Leistungsdichte. Technisch sind sie jedoch, ebenso wie die NT-PEM, ein mögliches Anwendungsgebiet der LEM-Dichtungstechnologie.

Für die LEM-Technik spricht, dass sie niedrige Dichtspalte mit einer sicheren Abdichtung schon bei geringen Anzugsmomenten ermöglicht. Die mögliche Topographie der Dichtelemente eignet sich ideal zur Kompensation langer Wege zwischen den Spannschrauben, die den Stack zusammen halten. Im Hinblick auf den Aufbau der Zellen und die dabei verwendeten Materialien können geringere Anzugsmomente möglicherweise ein Bei-

trag zu insgesamt geringeren Verzügen beziehungsweise mechanischen Belastungen der einzelnen Zellen sein. Hinzu kommt, dass sich der Stack bei Bedarf zerstörungsfrei demontieren lässt.

Die Höhe des resultierenden Dichtspalts begrenzt in der Praxis die Auswahl der zur Verwendung kommenden Dichtungsart für Brennstoffzellen, denn die zahlreichen Dichtspalte in einem Stack addieren sich zu einer beachtlichen Gesamtbauhöhe. Abhängig von der Vergleichstechnologie, kann eine LEM-Dichtung den einzelnen Dichtspalt um 50 % und mehr verringern. Bei Brennstoffzellen-Stacks wirkt sich das besonders merklich aus: Besteht ein solcher Stack beispielsweise aus hunderten in Reihe geschalteten Zellen, so ist der Raumgewinn durch niedrig bauende Dichtungen signifikant.

ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Für die Brennstoffzellentechnologie eröffnet die LEM-Technik neue Möglichkeiten, da sie minimale Dichtspalthöhen, eine sichere Abdichtung bei minimalen Spannkraften, Prozesssicherheit und den leichten Zugang zum Stack verbindet, 5.

Anfang 2010 waren bereits über 20 Millionen LEM-Dichtungen im automobilen Einsatz, so dass man hier von einer umfassend bewährten Technik sprechen kann. Typischerweise dient sie dazu, Dichtaufgaben zu lösen, an denen andere Dichtungstechnologien scheitern.



DOWNLOAD DES BEITRAGS
www.MTZonline.de



READ THE ENGLISH E-MAGAZINE
order your test issue now:
SpringerAutomotive@abo-service.info



Helmut Eichlseder | Manfred Klell
Wasserstoff in der Fahrzeugtechnik
Erzeugung, Speicherung, Anwendung

2., überarb. und erw. Aufl. 2010.
XVI, 320 S. mit 228 Abb. und 29 Tab. (ATZ/MTZ-Fachbuch) Geb.
EUR 26,95
ISBN 978-3-8348-1027-4

„Wasserstoff in der Fahrzeugtechnik“ bietet einen allgemeinen Überblick über die verschiedenen Aspekte von Eigenschaften, Erzeugung, Speicherung und Anwendung von Wasserstoff. Schwerpunkte liegen auf der Thermodynamik der Speicherung von Wasserstoff sowie auf der Anwendung in der Fahrzeugtechnik und in der Energietechnik. Mit Bezug zu Forschungsvorhaben an der TU Graz und dem HyCentA wird der aktuelle Stand der Technik fundiert dargestellt.

Fax +49(0)611.7878-420

Ja, ich bestelle

Exemplare
Wasserstoff in der Fahrzeugtechnik
ISBN 978-3-8348-1027-4
EUR 26,95

Firma 3211 10 005

Name, Vorname

Abteilung

Straße (bitte kein Postfach)

PLZ | Ort

Datum | Unterschrift

Geschäftsführer: Dr. Ralf Birkelbach (Vors.),
Armin Gross, Albrecht F. Schirmacher,
AG Wiesbaden HRB 9754

Sie möchten von uns keine Werbung erhalten? Widersprechen Sie hier:
widerspruch.springerfachmedien-wiesbaden@springer.com



TECHNIK BEWEGT.

VIEWEG+TEUBNER