



Qualitätssicherung bei FCEV-Komponenten

Dichtheitsprüfaufgaben an Brennstoffzellenfahrzeugen

Inficon, Spezialist für Dichtheitsprüfung und Lecksuche, hat die vielfältigen Prüfaufgaben an Brennstoffzellenfahrzeugen ausführlich untersucht. Eine Erkenntnis: Grenzwerte und Prüfmethode werden von den möglichen Versagensmodi der Bauteile bestimmt. Sechs FCEV-Komponenten brauchen dabei eine besonders zuverlässige Dichtheitsprüfung.

Sandra Seitz

Brennstoffzellenfahrzeuge (FCEVs) führen ihre Antriebsenergie in Form von Wasserstoff mit sich. In der Brennstoffzelle entsteht bei der kontrollierten Reaktion von Wasserstoff mit Luftsauerstoff Wasserdampf – und der Strom, mit dem die Elektromotoren des Fahrzeugs betrieben werden. Grundsätzlich ist Wasserstoff allerdings leicht entzündlich, und zwar in einem breiten Konzentrationsbereich von 4 bis 73 Prozent Wasserstoff in Luft. Schon deswegen spielt die Gasdichtheit der wasserstoffführenden Komponenten bei der Fertigung von FCEVs eine sehr große Rolle. Inficon, Spezialist für Dichtheitsprüfung und Lecksuche, hat die vielfältigen Prüfaufgaben an

Brennstoffzellenfahrzeugen untersucht. Eine Erkenntnis: Grenzwerte und Prüfmethode werden von den möglichen Versagensmodi der Bauteile bestimmt. Diese sechs FCEV-Komponenten brauchen eine besonders zuverlässige Dichtheitsprüfung.

1. Das Herzstück: die Bipolarplatte

Der Fuel Cell Stack ist gleichsam das Herz eines Brennstoffzellenfahrzeugs. Und das Herz des Fuel Cell Stacks sind seine Bipolarplatten. Die elektrisch leitenden Bipolarplatten verbinden die Anode der einen Zelle mit der Kathode der anderen. Zwischen den Endplatten des Stacks sind mehrere Bipolarplatten geschichtet, jeweils durch

Membran-Elektroden-Einheiten getrennt. Jede Bipolarplatte enthält zwei Hohlräume für die Prozessgase Wasserstoff und Luftsauerstoff und meist auch eine interne Kühlschleife. Natürlich soll aus den Bipolarplatten kein Wasserstoff nach außen austreten. Auch darf es keine unkontrollierten Wasserstoff-Sauerstoff-Reaktionen durch sogenannte Crossover-Lecks zwischen Anode und Kathode geben. Die Bipolarplatten sollten darum mit der empfindlichen Vakuummethode getestet werden: in einer Vakuumkammer mit Helium als Prüfgas. Die Grenzleckraten liegen dabei im Bereich 10^{-4} bis 10^{-5} mbar·l/s. Allerdings werden – immerhin geht es um Wasserstoff – durchaus auch hundertfach kleinere Grenzleckraten

von 10^{-7} mbar·l/s diskutiert.

2. Zuverlässige Kühlkreisläufe

Bipolarplatten verfügen über einen Hochtemperatur-Kühlkreislauf. Um Kurzschlüsse zu vermeiden, darf das Kühlmedium nur eine geringe Leitfähigkeit haben: In der Regel verwendet man deionisiertes Wasser mit einem Frostschutzzusatz. Die Flüssigkeitsdichtheit des Kühlkanals erfordert eine Prüfung gegen Leckraten im Bereich von 10^{-3} bis 10^{-4} mbar·l/s – denn das Wasser selbst verschließt Lecks dieser Größe. Hier empfiehlt sich der Einsatz der Vakuummethode. Denn sie verbindet hohe Zuverlässigkeit mit kurzen Taktzeiten.

3. Montierte Fuel Cell Stacks

Sind die Bipolarplatten zu kompletten Fuel Cell Stacks zusammengebaut, ist die Zeit für End-of-line-Tests. Hier dient ebenfalls Helium als Prüfgas, denn alle Prüfungen mit Wasserstoff bergen das Risiko, dass die Brennstoffzelle ungewollt Strom produziert. Hinzu kommt, dass Groblecks im Wasserstoffkreislauf schnell zu zündfähigen Wasserstoffkonzentrationen von mehr als 4 Prozent in Luft führen könnten. Welche Grenzleckrate für den komplettierten Fuel Cell Stack noch akzeptabel ist, hängt in hohem Maß auch von der konkreten Einbausituation im Fahrzeug ab. Bei welcher Leckrate eine zündfähige Wasserstoffkonzentration entstehen kann, hat letztlich ebenso mit dem Volumen zu tun, das den Fuel Cell Stack umgibt, wie mit dem Luftaustausch dort. In der Praxis prüft man assemblierte Brennstoffzellenstacks meist gegen Helium-Grenzleckraten im Bereich 10^{-3} bis 10^{-5} mbar·l/s.

4. Wasserstoffrezirkulation

Wasserstoff und der Luftsauerstoff werden den Membran-Elektroden-Einheiten der Bipolarplatten überstöchiometrisch zugeführt. Anders gesagt: Bei der Reaktion bleiben immer Reste der beiden Gase übrig. Hier kommt die Wasserstoffrezirkulation der Brennstoffzelle ins Spiel. Die Prozessgasreste durchlaufen zunächst einen Wasserabscheider, dann wird der Wasserstoffanteil rezirkuliert, um erneut zur Verfügung zu stehen. Neben den Dichtheitsprüfungen an der Wasserstoffrezirkulation sind auch an der Medienverteilerplatte einer Brennstoffzelle noch Tests erforderlich. Sie leitet Wasserstoff, Luft und Kühlmittel. Zudem sind diverse Ventile und Pumpen zu prüfen. Bei all diesen wasserstoffführenden Komponenten empfehlen sich Tests gegen Leckraten in der Größenordnung von 10^{-4} bis 10^{-6} mbar·l/s.

5. Wasserstofftankkörper

In FCEVs werden meist sogenannte Typ-IV-Tanks aus Verbundwerkstoffen verbaut. Solche Tanks für Pkw sollen Betriebsdrücken von bis zu 700 bar widerstehen. Sehr große Wasserstofftanks für Busse müssen bei Betriebsdrücken von bis zu 350 bar dicht bleiben. Internationale Normen definieren die maximal zulässigen Permeationsraten. Nach der ISO 15869 B.16 ergibt sich so bei einem Pkw-Wasserstofftank mit 30 l Kapazität und 700 bar Druck eine Helium-Grenzleckrate von $2,3 \cdot 10^{-2}$ mbar·l/s. In der Praxis werden Wasserstofftanks aber oft nicht bloß den Normen entsprechend geprüft, sondern gegen noch kleinere Leckraten im Bereich 10^{-3} mbar·l/s – denn jede Leckrate über der Per-

meation des Materials ist der Beleg für ein reales Leck. Bei der Vorprüfung der Tankkörper wendet man neben der Vakuummethode auch die Akkumulationsmethode mit Formiergas an – ein handelsübliches und unbrennbares Gemisch aus 5 Prozent Wasserstoff und 95 Prozent Stickstoff. Dabei misst man, wie viel Wasserstoff-Prüfgas in einem definierten Zeitraum austritt und in einer einfachen Prüfkammer akkumuliert.

6. Prüfung kompletter Tanks

Auch nach dem Zusammenbau des Tankkörpers mit allen Armaturen – Befüll- und Auslassventile sowie Drucksensoren – ist noch ein Test nötig: die sogenannte Schnüffellecksuche. Der fertige Tank wird dazu entweder mit Helium oder Formiergas befüllt und dann abgedichtet. Nun kann eine Schnüffelspitze an der Oberfläche des Tanks entlangfahren – vor allem an den Verbindungsstellen zu den Armaturen als den neuralgischen Punkten. Bei der Schnüffellecksuche führt ein Roboterarm die Schnüffelspitze. Dies vermeidet die Fehlerquellen menschlicher Prüfer und sorgt für maximalen Durchsatz. Die Grenzleckraten bei den Dichtheitsprüfungen an fertigen Wasserstofftanks liegen im Bereich $5 \cdot 10^{-2}$ mbar·l/s. ■

INFORMATION & SERVICE

AUTORIN

Sandra Seitz ist Market Manager Automotive Leak Detection Tools bei Inficon.

E-BOOK

Ein umfassendes E-Book von Inficon behandelt die vielfältigen Prüfaufgaben bei der industriellen Fertigung von Komponenten für Battery Electric Vehicles (BEV), Plug-in Hybrid Electric Vehicles (PHEV) und Fuel Cell Electric Vehicles (FCEV). Es steht hier zum kostenlosen Download zur Verfügung:

<https://www.inficon.com/de/maerkte/automobilindustrie/dichtheitspruefung-automobilaet-elektroauto-brennstoffzelle>

KONTAKT

INFICON Holding AG
T +41 81 300 4980
Holding@inficon.com
www.inficon.com

Schritte der Dichtheitsprüfung	1	2	3	4	5
Zu verhindernder Fehler	Wasserstoff-Leckage nach außen	Cross-over-Leckage • Wasserstoff-Luft-Kanal • Luft-Wasserstoff-Kanal	Wasserstoff-Leckage in den Kühlkanal	Luft-Leckage in den Kühlkanal	Kühlmittel-Leckage nach außen
Typische Leckraten	• „so niedrig wie möglich“, genaue Spezifikation hängt von Belüftung 10^{-3} ... 10^{-4} mbar·l/s ab • 10^{-3} ... 10^{-5} mbar·l/s • einige Publikationen fragen nach 10^{-7} mbar·l/s				

Bild 1: Prüfzenarien der Brennstoffzelle. Quelle: Inficon © Hanser