



Die Dichttheit von Brennstoffzellen prüfen

Checkliste zu Dichtheitsprüfungen bei der Fertigung alternativer Antriebe

AUS LITHIUM-IONEN-BATTERIEN darf weder Elektrolyt austreten noch darf Wasser in sie eindringen. Auch bei Wasserstoffbrennstoffzellen muss deren Sicherheit selbstverständlich sein. Diese sieben Tipps zeigen, wie sich die Qualität von Fahrzeugen mit alternativen Antrieben durch Dichtheitsprüfungen in der Fertigung sichern lässt.

Sandra Seitz

Auch im Zeitalter der alternativen, emissionsfreien Antriebe sind Endkunden wenig geneigt, brennende Fahrzeuge zu bestaunen – oder nach wenigen Jahren eine Traktionsbatterie wegen ihrer schwindenden Kapazität und Reichweite zu ersetzen. Aus Lithium-Ionen-Batterien darf darum weder Elektrolyt austreten noch darf Wasser in sie eindringen. Auch bei Wasserstoffbrennstoffzellen muss deren Sicherheit eine Selbstverständlichkeit sein. Die folgenden sieben Tipps zeigen, wie sich die Qualität von Fahrzeugen mit alternativen Antrieben durch konsequente Dichtheitsprüfungen in der industriellen Fertigung sichern lässt.

Tipp 1: Die Anforderungen an Wasserdichtheit nicht unterschätzen

Dass die Gehäuse stromführender Komponenten wasserdicht sein müssen, ist jedem Hersteller klar. Oft werden diese Gehäuse darum in der Produktion gemäß der Schutzklasse IP67 auf ihre Wasserdichtheit geprüft – sei es bei Lithium-Ionen-Akkus, Power Control Units, Elektronikmodulen oder Elektromotoren. Dabei kommen noch viel zu oft Prüfverfahren wie etwa die Druckabfallprüfung zum Einsatz. Der Nachteil des Verfahrens: Mit der Druckabfallprüfung lassen sich in der Praxis nur Leckraten von bis zu $1 \text{E-2 mbar} \cdot \text{l/s}$ zuverlässig ermitteln – denn ihre Messergebnisse sind äußerst anfällig für Temperatur-

schwankungen. Solch eine Grenzleckrate ist in vielen Fällen aber viel zu hoch gewählt. Dies hat auch damit zu tun, dass viele Hersteller noch unterschätzen, welche Anforderungen elektrische Komponenten an Wasserdichtheit wirklich stellen. Die IP67 spricht schließlich nur davon, dass ein Bauteil nach einem 30-minütigen Wasserbad in 1 m Tiefe seine Funktionstüchtigkeit bewahrt haben soll – Leckraten spezifiziert die IP67 nicht. Will man den Wassereintritt in ein Bauteil zuverlässig verhindern, kommen wegen der niedrigen Leckraten oft nur prüfgasbasierte Methoden infrage. Zudem hängt die konkrete Grenzleckrate auch vom Gehäusematerial ab. Kunststoffe sind etwas weniger kritisch, aber Gehäuse aus Aluminium verlangen für eine Prüfung ihrer Wasserdichtheit Leckraten von 1E-5 mbar-l/s. Der Grund ist, dass sich Wassertropfen von Aluminium leichter ablösen als etwa von ABS oder Stahl. Damit dringt Wasser durch ein Aluminiumleck auch viel leichter ins Gehäuse ein. Hier die Wasserdichtheit aus Gewohnheit weiter mit einer Druckabfallprüfung oder gar mit einem kruden Blasentest im Wasserbad sicherstellen zu wollen, wäre fatal.

Tipp 2: Sich die Dichtheitsanforderungen in der E-Mobilität vergegenwärtigen

In etlichen Bauteilen traditioneller Verbrennungsantriebe herrschen hohe Drücke – was zu entsprechenden Dichtheitsanforderungen an diese Komponenten führt. So gibt es beispielsweise in modernen Diesel-Common-Rail-Systemen Drücke von bis zu 3.000 bar. Um auch kleinste Lecks zu vermeiden, werden Einspritzsysteme darum gegen Leckraten bis hinab zu 1E-6 mbar-l/s geprüft. Dennoch darf man auch die Vielzahl der Prüfaufgaben bei alternativen Antrieben nicht unterschätzen. Dies beginnt bei Vortests an den Gehäusen der einzelnen Lithium-Ionen-Batteriezellen, geht über Prüfungen an fertig befüllten Zellen und Vortests an den Gehäusen von Batteriepacks bis hin zu End-of-Line-Prüfungen der kompletten, bestückten Batteriegehäuse. Die Kühlkreisläufe von Traktionsbatterien und Elektromotoren sind ebenso auf ihre Dichtheit zu testen wie die vielfältigen Komponenten von Wasserstoffbrennstoffzellen. Anders als manch einer vielleicht glaubt: Die Dichtheitsprüfungen werden mit den neuen Antrieben nicht weniger.

Tipp 3: Wasserkühlung ist nicht gleich Wasserkühlung

Für den klassischen Verbrennungsmotor ist ein Leck in seiner Wasserkühlung nicht sonderlich kritisch. Bei alternativen Antrieben ist das anders. Wenn hier einige Tropfen des Wasser-Glykol-Gemischs

aus dem Kühlkreislauf eines Batteriepacks austreten, herrscht gleich Kurzschlussgefahr. Angesichts der entzündlichen Lithium-Ionen-Zellen bedeutet dies zugleich: Brandgefahr. Wasser-Glykol-Tropfen im Elektromotor müssen natürlich ebenso vermieden werden wie ein Austritt des Kühlmediums aus den Hochtemperatur-Kühlkreisläufen in den Bipolarplatten von Wasserstoffbrennstoffzellen. Bipolarplatten, gleichsam das Herzstück einer Brennstoffzelle, werden zu Dutzenden und sogar Hunderten geschichtet und bilden dann den sogenannten Brennstoffzellen-Stack, der ins Fahrzeug verbaut wird. Die Dichtheit der Kühlkreisläufe ist essenziell, ansonsten drohen durch die Überhitzung ein Effizienzverlust und eine Beschädigung des Fuel Cell Stacks.

Tipp 4: Beim autonomen Fahren Zero-Defect-Prinzip statt Six-Sigma

Die Sensoren sind die Sinnesorgane autonom fahrender Fahrzeuge. Hier gibt es nicht nur generelle Anforderungen an eine Wasserdichtheit – bei Sensoren für Advanced Driver Automation Systems (ADAS) ist sogar Gasdichtheit unverzichtbar, damit keinerlei Luftfeuchtigkeit eindringen kann, ob es dabei um Radar- (Radio detection and ranging) oder Lidar-Sensoren (Light detection and ranging) geht. Ein Six-Sigma-Ansatz toleriert 3,4 Fehler unter einer Million Fällen. Im ADAS-Kontext wäre dies unvorstellbar. Hier verfolgen Hersteller stattdessen eine Null-Fehler-Strategie, mit einer tausendfach höheren Zuverlässigkeit. Radar- und Lidar-Sensoren werden darum heute mit der Helium-Vakuumprüfung gegen Leckraten im Bereich von 1E-6 bis 1E-7 mbar-l/s getestet. Für die Glasdurchführungen der Kabel in die Sensorengehäuse empfiehlt sich ebenfalls die Vakuummethode.

Tipp 5: Gegossene Batteriewannen mit den bewährten Methoden prüfen

Bei Verbrennungsmotoren prüft man die Dichtheit gegossener Getriebegehäuse meist noch vor dem Zusammenbau des Getriebes. Denn wenn das Gehäuse später in der Serienprüfung durchfällt und ausgeschleust werden muss, ist der Aufwand ungleich höher, und die bisherige Arbeitszeit für den Zusammenbau ist verloren. Das selbe gilt für gegossene Batteriewannen: Darum ist es wichtig, auch sie vorzuprüfen. Getriebegehäuse haben häufig eine Glockenform und sehr große Dichtflächen. Um die Dichtheit dieser Gussgehäuse zu testen, haben sich prüfgasbasierte Verfahren bewährt, sei es »»

Weiterführendes E-Book

Unter dem Titel „**E-Mobilität: Dichtheitsprüfung für elektrische und Brennstoffzellen-Fahrzeuge**“ hat Inficon ein umfassendes E-Book erstellt. Es thematisiert 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). Das E-Book steht zum kostenlosen Download zur Verfügung: <https://www.inficon.com/de/maerkte/automobilindustrie/dichtheitspruefung-emobilitaet-elektroauto-brennstoffzelle>



Weniger
CO₂
Ein grüner
Fußabdruck für
Ihr Prüflabor –
CO₂ sparen durch
Modernisierung
Zwick / Roell
www.zwickroell.com/nachhaltigkeit

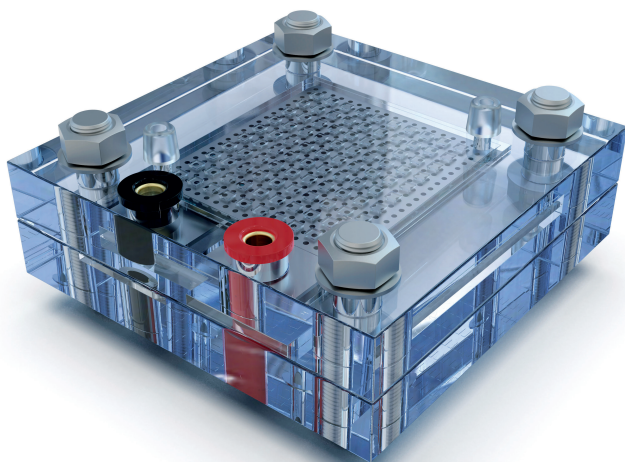


Bild 1. Die Kühlkreisläufe von Traktionsbatterien und Elektromotoren sind ebenso auf ihre Dichtheit zu testen wie die vielfältigen Komponenten von Wasserstoffbrennstoffzellen. © frog – adobe.stock.com

die kostengünstige Akkumulationsprüfung oder die besonders schnelle, aber etwas aufwendigere Vakuumprüfung. Diese etablierten Methoden sind ideal geeignet, um nun auch gegossene Batteriewannen mit ihren ebenfalls großen Dichtflächen zu prüfen. Auch wenn Elektrofahrzeuge ohne aufwendige Getriebe auskommen – die bewährten Prüfanlagen für Getriebe-Gussgehäuse bleiben problemlos verwendbar.

Tipp 6: Für Batteriezellen ist Luft-Eintritt noch kritischer als Elektrolyt-Austritt

Wenn aus einzelnen Lithium-Ionen-Batteriezellen Elektrolyt austritt, büßen sie an Kapazität ein. Letztlich reduziert sich so die Lebenserwartung der gesamten Traktionsbatterie. Noch gravierender ist es allerdings, wenn durch ein Leck Luft in eine Zelle eindringen kann. Denn mit der Luft gelangt auch Luftfeuchtigkeit ins Innere. Und dieses Wasser kann mit dem Elektrolyt in der Zelle zu ätzender

und giftiger Flusssäure reagieren. Aus diesem Grund geschieht ein Großteil der Zellfertigung auch unter Trockenraumatmosphäre, und es gibt in der Produktion aufwendige Trocknungsvorgänge. Luftfeuchtigkeit ist der Feind der Lithium-Ionen-Batterietechnologie. Entsprechend müssen Lithium-Ionen-Zellen unbedingt gasdicht sein. Darum werden sie mit der Helium-Vakuummethode oft auf Leckraten im Bereich von $1\text{E-6 mbar}\cdot\text{l/s}$ geprüft. Inficon hat zudem ein völlig neues Vakuumverfahren entwickelt, das erstmals Tests an fertig befüllten Zellen gestattet: Die Methode weist austretendes Elektrolyt-Lösungsmittel direkt nach. Auf diesem Weg lassen sich sogar die weichen Pouch-Zellen auf ihre Dichtheit prüfen – in einer sich flexibel anschmiegenden Folienkammer, die eine Verformung und Beschädigung der empfindlichen Pouch-Zellen im Vakuum verhindert.

Tipp 7: Komplexe Tests an Bipolarplatten in derselben Prüfstation absolvieren

Ein Wasserstoffbrennstoffzellen-Antrieb verlangt zahlreiche Dichtheitsprüfungen. Neben Wasserstofftanks und -leitungen sind auch unterschiedlichste Komponenten der Brennstoffzelle auf ihre Dichtheit zu prüfen: die Bipolarplatten, die Medienverteilerplatte, Ventile, Pumpen, Kühlkreisläufe und die Wasserstoffrezirkulation. Diese Prüfungen sind schon deswegen unerlässlich, weil Wasserstoff bereits bei einer Konzentration von nur 4 Prozent in Luft zündfähig ist. Die Dichtheit der zahlreichen Bipolarplatten in einem Brennstoffzellen-Stack zu gewährleisten, ist eine besonders komplexe Aufgabe. Denn prinzipiell geht es dabei um gleich drei Prüfungen – für jede einzelne Bipolarplatte. Zu prüfen sind der Kühlkanal, der Wasserstoffkanal und der Luftkanal, und zwar auf ihre Dichtheit untereinander und nach außen. Es gibt heute bereits Anlagen, die all diese Helium-Vakuumprüfungen an einer Bipolarplatte hintereinander und in derselben Prüfstation ermöglichen. So lassen sich die Taktzeiten merklich verkürzen. Auch wenn jede einzelne Bipolarplatte bereits geprüft ist: Nach dem Zusammenbau zu einem Fuel Cell Stack sind auch noch End-of-Line-Dichtheitsprüfungen erforderlich. Auf den ersten Blick scheint es vielleicht naheliegend, Wasserstoff als Prüfgas für eine Brennstoffzelle zu verwenden. Dies verbietet sich allerdings schon deswegen, weil die Membran-Elektroden-Einheit einer Bipolarplatte speziell dazu konstruiert ist, für Wasserstoff durchlässig zu sein. Auch hier bleibt die Helium-Prüfung die Methode der Wahl.

Fazit: Dichtheitsprüfungen auch bei modernen Antrieben unverzichtbar

Schon bei der Fertigung der Komponenten moderner, alternativer Antriebe gibt es also zahlreiche Dichtheitsprüfaufgaben. Die Qualitätssicherung in der Produktion ist hochbedeutsam. Nicht vergessen sollte man aber auch, dass Wartungsvorgänge erneut Dichtheitsprüfungen nötig machen können. Sind beispielsweise in einem Batteriepack zwei oder drei einzelne Zellen defekt und müssen in der Werkstatt getauscht werden, ist es wichtig, anschließend zu testen, ob das Gehäuse des Packs auch tatsächlich wieder wasserdicht verschlossen wurde. Ob in der Produktion oder nach einer Reparatur: Auch die Komponenten alternativer Antriebe verlangen nach einer spezifischen Qualitätssicherung und Dichtheitsprüfung. ■

INFORMATION & SERVICE

AUTORIN

Sandra Seitz ist Market Manager Automotive Leak Detection Tools bei der Inficon GmbH in Köln.

UNTERNEHMEN

Inficon ist ein führender Anbieter von innovativer Messtechnik, von Sensortechnologien für kritische Prozesse und von Smart Manufacturing/Industry 4.0 Softwarelösungen zur Steigerung der Produktivität und Qualität von Werkzeugen, Prozessen und ganzen Fabriken. Diese Analyse-, Mess- und Steuerungsprodukte sind bei der Gaslecksuche in den Bereichen Kälte-/Klimatechnik und Automobilbau von entscheidender Bedeutung. Sie sind ebenso bedeutend für Gerätehersteller und für Endanwender bei der Fertigung von Halbleitern und Dünnschichtbelägen für Optikanwendungen etc. Weitere Anwendungsgebiete sind unter anderem Biowissenschaften, Forschung, Luft- und Raumfahrt, Verpackung und Wärmebehandlung.

KONTAKT

INFICON GmbH
T+49 221 56788 100
reach.germany@inficon.com
www.inficon.com