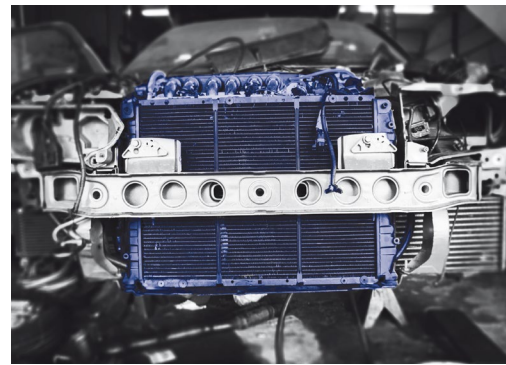
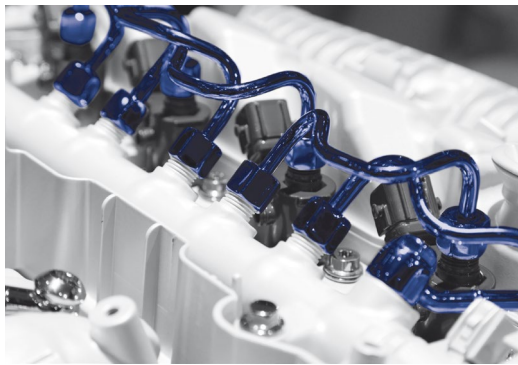


Dichtheitsprüfung in der Automobilindustrie



Ein Leitfaden

Vorwort

Qualitätssicherung ist im gesamten Automotive-Bereich ein Thema mit wachsender Bedeutung. Die Ansprüche steigen. Schon von ihren Zulieferern erwarten Hersteller eine sinnvolle Dichtheitsprüfung aller Komponenten, die dicht sein müssen. Ob Ölwanne, Bremskraftverstärker oder Einspritzventil: Für jede dieser Fahrzeugkomponenten definieren Hersteller Leckraten, die in der Serienfertigung nicht überschritten werden dürfen. Vom Kältemittel in der Klimaanlage über das Getriebeöl in der Wandlerautomatik bis hin zum Helium-Argon-Gemisch im Kaltgasgenerator eines Airbags – nichts davon darf durch Leckstellen austreten. Aber auch eine verschärfte Gesetzgebung kann zu neuen, strengeren Dichtheitsanforderungen führen. Man denke nur an die strengen kalifornischen bzw. US-Vorschriften zur Emission von Kohlenwasserstoffen und ihre Auswirkungen für die Dichtheitsanforderungen an Kraftstofftanks und -leitungen.

Dabei sind industrielle Dichtheitsprüfung und Lecksuche keine einfachen Themen. Schon die Wahl des geeigneten Prüfverfahrens will wohlüberlegt sein. Welche Prüfmethode für eine bestimmte Applikation ideal ist, hängt von zahlreichen Faktoren ab. Dabei spielt die Empfindlichkeit eine Rolle, also die Grenzleckrate des eingesetzten Verfahrens, aber auch die Taktzeiten, die bei einer integralen Serienprüfung in der Linie mit dem Verfahren erzielbar sind. Die Fehleranfälligkeit und Zuverlässigkeit des Prüfprozesses sind ebenso zu bedenken wie die Investitions- und Betriebskosten, die ein bestimmtes Prüfverfahren verursacht.

Mit unserem E-Book möchten wir Ihnen einen ersten Leitfaden zum Thema an die Hand geben. Allerdings werden Sie den vielen möglichen Fallstricken bei Auswahl, Installation und Betrieb des für Ihren Anwendungszweck optimalen Verfahrens und der idealen Prüfstation oder -anlage letztlich nur entgehen, wenn Sie sich eingehend beraten lassen. Darum unsere Empfehlung: **Sprechen Sie uns einfach an.**

Teil 1 erklärt Grundlagen der Dichtheitsprüfung

- Seite 7

Unser E-Book will Ihnen dabei helfen, sich einen ersten Überblick über das weite Feld der Dichtheitsprüfung und Lecksuche in der Automobilindustrie zu verschaffen. Wir haben unser E-Book darum in zwei große Teile gegliedert. Im ersten geht es um die allgemeineren Grundlagen der Dichtheitsprüfung. Wir beschreiben die existierenden Methoden, vom Wasserbad über die Druckabfallprüfung bis zur Heliumprüfung in der Akkumulations- oder der Vakuumkammer. Wir diskutieren die Stärken und Schwächen der Verfahren und machen auf typische Probleme aufmerksam. Wir stellen Ihnen die gebräuchlichsten Prüfgase vor, von Helium über Wasserstoff und Formiergas bis hin zu Endmedien wie R1234yf oder CO₂. Wir führen Sie auch durch den Dschungel der diversen Einheiten für die Leckrate, von atm·cc/s und sccm bis hin zu mbar·l/s und g/a.

Teil 2 erläutert Einsatzszenarien in der Automobilindustrie

- Seite 25

Im zweiten Teil des E-Books beschäftigen wir uns mit der konkreten Anwendung von Dichtheitsprüf- und Lecksuchverfahren in der Automobilindustrie. Wir erklären, welche Komponenten des Fahrzeugs üblicherweise mit welchen Verfahren auf welche Leckraten geprüft werden – und wo schon bald mit einer Verschärfung der Dichtheitsanforderungen zu rechnen ist. Von Komponenten aus der Klimaanlage über den Antriebsstrang bis hin zu den unmittelbar sicherheitsrelevanten Teilen am Fahrzeug. Wir zeigen, in welchen Anwendungsfällen ältere Methoden wie Wasserbad oder Druckabfall und Differenzdruck oft überfordert sind – sie suggerieren dann eine mitunter trügerische Sicherheit. Last but not least: Am Ende des zweiten Teils stellen wir Ihnen die Top 10 der häufigsten Fehler vor. Vom verunreinigten Prüfteil über ignorierte Temperatur- und Druckveränderungen im Prüfprozess bis hin zu unidentifiziert bleibenden Kriech- und Groblecks.

Inhaltsverzeichnis

Teil 1 Grundlagen der Dichtheitsprüfung

1.1 Methoden ohne Prüfgas	8
1.1.1 Wasserbad	8
1.1.2 Schaumprüfung	10
1.1.3 Druckprüfungen mit Luft	11
1.1.3.1 Druckabfallprüfung	11
1.1.3.2 Differenzdruckprüfung	12
1.1.3.3 Druckanstiegsprüfung	14
1.2 Methoden mit Prüfgas	15
1.2.1 Das Prüfgas Helium	15
1.2.2 Das Prüfgas Wasserstoff (Formiergas)	15
1.2.3 Endmedien als Prüfgase	15
1.2.4 Inside-Out- und Outside-In-Methoden	16
1.2.5 Vakuummethode	17
1.2.6 Akkumulationsmethode	18
1.2.7 Akkumulationsmethode im Hochvakuum	19
1.2.8 Schnüffellecksuche	19
1.2.9 Evakuierung, Befüllung, Gasrückgewinnung	20
1.3 Leckraten und Arten von Lecks	21
1.3.1 Arten von Lecks	21
1.3.2 Maßeinheiten für die Leckrate	21
1.3.3 Größe der Lecks	22
1.3.4 Einflussfaktoren für die Leckrate	23

Teil 2

Dichtheitsprüfung in der Automobilindustrie

2.1 Wachsende Dichtheitsanforderungen	26
2.2 Komponenten, Methoden und typische Leckraten	29
2.2.1 Die Klimaanlage	29
2.2.2 Der Antriebsstrang	31
2.2.3 Treibstoffsysteme	32
2.2.4 Öl- und Wasserkreislauf	33
2.2.5 Sicherheitsfunktionen	34
2.2.6 Felgen, Stoßdämpfer und weitere Komponenten	35
2.3 Die Top 10 der häufigsten Fehler bei der Dichtheitsprüfung	36
2.3.1 Die falsche Methode für die zu prüfende Leckrate	37
2.3.2 Der Testzeitpunkt im Produktionsprozess ist falsch gewählt	37
2.3.3 Das Prüfteil ist bereits verunreinigt	38
2.3.4 Temperaturveränderungen bleiben unberücksichtigt	38
2.3.5 Der Prüfdruck schwankt	39
2.3.6 Kriechlecks und Groblecks werden unterschätzt	39
2.3.7 Die Prüfer wissen gar nicht, was sie eigentlich messen	40
2.3.8 Es findet keine Kalibrierung der Prüfanlage statt	41
2.3.9 Die Wartung der Prüfanlage wird vernachlässigt	41
2.3.10 Wir können das schon selbst	42

Teil 3 Anhang

3.1	Weiterführende Links	44
3.1.1	Videos	44
3.1.2	Applikationsbeschreibungen	45
3.2	Impressum	46
3.3	Abbildungsnachweis	46
3.4	Über INFICON	47
3.5	Referenzen	48
3.5.1	PKW-Hersteller	48
3.5.2	Hersteller schwerer Fahrzeuge	48
3.5.3	Automobilzulieferer	49
3.6	Kontakt zu INFICON	51

Teil 1

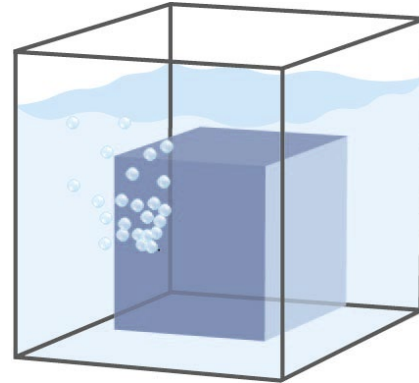
Grundlagen der Dichtheitsprüfung



1.1 Methoden ohne Prüfgas

1.1.1 Wasserbad

Nach wie vor recht verbreitet ist die vergleichsweise simple – und etwas archaische – Prüfung im Wasserbad. Die Wasserbadmethode wird dem englischen Namen „Bubble Test“ entsprechend auch als Blasenprüfung bezeichnet. Denn es geht dabei schlicht um Blasen, die aus einem Prüfteil austreten. Getreu dem Motto: Was mit meinem Fahrradreifen funktioniert, wird auch in unserer Fertigung klappen. Bei der Wasserbadmethode wird das Prüfteil zunächst mit Druckluft befüllt und dann in einen Wassertank untergetaucht. Nun beobachtet der Prüfer, ob Blasen aufsteigen. Im Idealfall kann er dabei auch sehen, von wo aus sie dies tun. Dann dient die Wasserbadprüfung nicht nur zu einer integralen Dichtheitsprüfung, sondern zur Lecksuche – die Prüfung erlaubt dann nicht nur eine Dicht/Undicht-Aussage, auch die Lage der Leckstelle



Schema der Wasserbadmethode.

wird identifiziert. Aus Kostengründen wird in der Regel mit Luft geprüft. Mit dem Blasentest lassen sich im praktischen Einsatz Leckraten von bis zu $5 \cdot 10^{-2}$ mbar·l/s identifizieren (also von fünf Hundertstel Millibar mal Liter pro Sekunde = 0,05 mbar·l/s). Bei dieser Leckrate gibt es einen noch vergleichsweise gut sichtbaren, wenn auch langsamen Blasenstrom. Damit bei noch kleineren Lecks auch nur eine einzige



Blasenprüfung im Wasserbad.

Blase austritt, muss das Prüfteil schon eine längere Zeit im Wasserbad verbleiben. Bei einer Leckrate von $1 \cdot 10^{-3}$ mbar·l/s (= 0,001 mbar·l/s) entsteht unter idealen Bedingungen eine Blase pro Sekunde, aber bei einer Leckrate von $1 \cdot 10^{-4}$ mbar·l/s dauert es schon 30 Sekunden, bis sich eine einzelne Blase bildet. Als theoretische Nachweisgrenze (also als die kleinste gerade noch nachweisbare Leckrate) für die Wasserbadmethode findet man in der Literatur üblicherweise Werte bis zu $1 \cdot 10^{-4}$ mbar·l/s. In der praktischen Anwendung verschlechtert sich diese Nachweisgrenze allerdings deutlich – in Abhängigkeit von der Geometrie des Prüfteils. Eine Luftblase, die in freiem Wasser ungehindert aufsteigen würde, kann sich von einem Prüfteil mit komplexer Form mitunter nur sehr schwer ablösen. Auch wenn Lecks durch Porosität verursacht werden – etwa bei Gussteilen –, wird sich gegebenenfalls gar keine Luftblase bilden. Die Abertausende winzige Lecks, die für die Porosität verantwortlich sind, ergeben dann zusammen zwar eine beträchtliche Leckrate, aber jedes Leck für sich ist so klein, dass aufgrund der Oberflächenspannung des Wassers gar nicht genügend Luft austreten kann, um eine Blase zu bilden.

Auf den ersten Blick ist solch ein Blasentest wirklich einfach und kostengünstig, aber bei genauerem Hinsehen offenbaren sich doch einige Stolpersteine. Eines der wichtigsten Probleme: Nach dem Wasserbad ist das Prüfteil schlicht nass und muss mitunter zeit- und kostenaufwendig getrocknet werden, etwa um Folgeschäden durch Korrosion zu vermeiden.

Die Methode scheidet für Prüfteile, die keine Feuchtigkeit vertragen, von vornherein aus.

Ein anderer begrenzender Aspekt ist der Prüfer selbst – der menschliche Faktor. Ob Blasen überhaupt erkannt werden, hängt immer auch vom individuellen Prüfer ab. Ein nicht zu unterschätzendes Problem ist zudem die freie Sicht auf Prüfteil und Blasen. Eine komplexe Geometrie des Prüfteils oder eine nicht einsehbare Lage der Leckstelle können dafür sorgen, dass der Prüfer die austretende Blase nicht sieht. Zudem gibt es einen unvermeidlichen Verschmutzungsprozess. Das Wasser im Prüftank wird spätestens nach vier bis acht Wochen trüb – mitunter sogar innerhalb eines Tages – und muss dann ausgetauscht werden. Dies verursacht meist weitere Kosten: Um die Blasenbildung zu fördern, werden dem Wasser nämlich oft Chemikalien beigegeben, die die Oberflächenspannung des Wassers reduzieren sollen. Der Tankinhalt muss dann jedesmal als Sondermüll entsorgt werden.

1.1.2 Schaumprüfung

Die Schaumprüfung, im Englischen „Soap Spray Test“ genannt, ist der Wasserbadmethode durchaus verwandt: in beiden Fällen geht es darum, dass der menschliche Prüfer eine Blasenbildung wahrnimmt. Bei der Schaumprüfung wird das Prüfteil ebenfalls mit Luft (oder einem anderen Gas) unter Druck befüllt. Nur taucht der Prüfer es dann nicht in ein Wasserbad, sondern er besprüht es mit einer schäumenden Flüssigkeit. Vornehmlich an den Stellen, an denen etwaige Lecks vermutet werden. Tritt dort dann Luft aus, bringt sie die Flüssigkeit zum Schäumen.

Vor- und Nachteile der Schaumprüfung sind praktisch dieselben wie bei der Prüfung im Wasserbad. Das Verfahren ist einfach und recht kostengünstig,



Blasenbildung an einer Leckstelle.



Schaumprüfung an einer Gewindeverbindung.

es steht und fällt aber mit der Tagesform und dem Geschick des Prüfers. Für Prüfteile, die nicht nass werden dürfen, lässt es sich nicht anwenden, und kleinere Lecks sind mit dieser Methode auch nicht nachweisbar. Die Nachweisgrenze der Schaumprüfung beträgt theoretisch rund $1 \cdot 10^{-3}$ mbar·l/s. In der Praxis ist die Nachweisgrenze jedoch schlechter als bei der Prüfung im Wasserbad.

Realistisch sind $5 \cdot 10^{-2}$ mbar·l/s. Ein besonderes Problem für die Schaumprüfung stellen Groblecks dar. Die Druckluft, die aus ihnen austritt, bläst das Schaummittel mitunter einfach weg, bevor es zu einer Blasenbildung kommen kann. Visuell sind die beiden Gründe für das Ausbleiben einer Schaumbildung für den Prüfer aber nur schwer zu unterscheiden: das Prüfteil ohne Leck verhält sich ebenso wie eines mit Grobleck. Ein weiteres Problem kann dadurch entstehen, dass das Lecksuchspray nicht ausreichend am Prüfteil haftet und wieder abtropft. Darum sind beispielsweise Lecks am Boden eines Prüfteils mit der Schaumprüfung nur schwer nachweisbar.

1.1.3 Druckprüfungen mit Luft

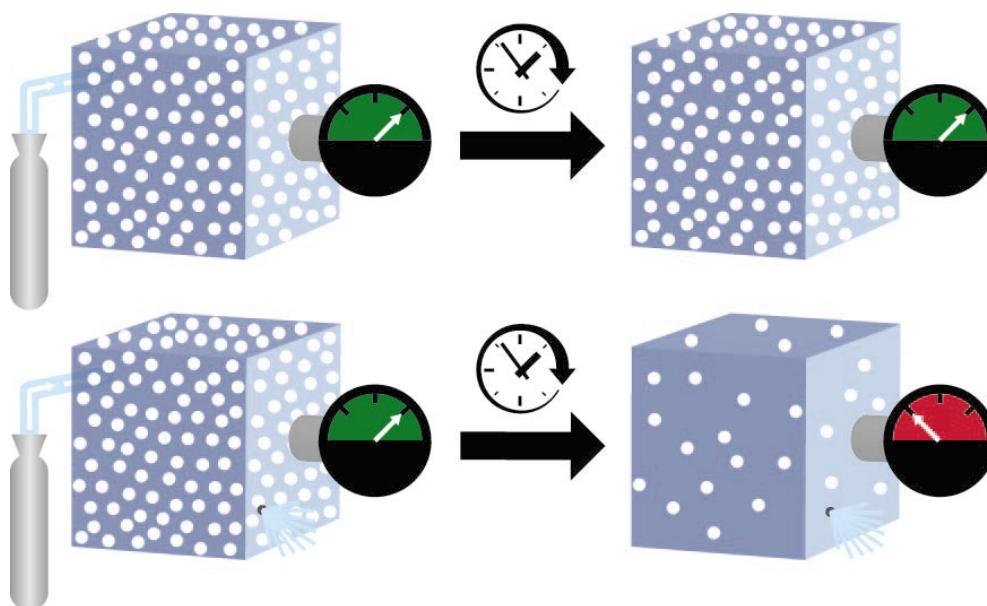
Es existieren drei Verfahren, die etwaige Lecks identifizieren, indem sie Druckveränderungen messen: die Druckabfallmethode, die Differenzdruckmethode und die Druckanstiegsmethode. Alle drei Verfahren dienen der integralen Dichtheitsprüfung, ihr Ziel ist eine Ja/Nein-Aussage zur Dichtheit. Von diesen drei Methoden ist im industriellen Bereich die Druckabfallprüfung wohl die verbreitetste.

1.1.3.1 Druckabfallprüfung

Bei der Druckabfallprüfung wird das Prüfteil bis zu einem definierten Überdruck mit Luft oder einem anderen Gas gefüllt. Bei der Druckabfallprüfung ist es in jedem Fall notwendig, nach der Befüllung des Prüfteils mit der Messung zu warten, bis sich

die Parameter stabilisiert haben und sich der Druck beruhigt hat. In der Regel dauert dies länger als die eigentliche Messung. Wie lange genau hängt von Material und Oberfläche des Prüflings ab. Schließlich wird der Druck im Prüfteil dann über ein definiertes Zeitintervall gemessen. Reduziert er sich im Laufe dieser Zeit, existiert ein Leck. Die Leckrate errechnet sich, indem man die gemessene Druckveränderung mit dem Innenvolumen des Prüfteils multipliziert und durch die Länge des Zeitintervalls teilt. Die theoretische Nachweisgrenze der Druckabfallprüfung ist letztlich nicht besser als die von Wasserbad- oder Schaumprüfung: $1 \cdot 10^{-3}$ mbar·l/s. Im praktischen Einsatz sind allerdings oft nur Werte von $1 \cdot 10^{-2}$ mbar·l/s erreichbar.

Der wichtigste Grund, warum die Empfindlichkeit der Druckabfallprüfung in der Praxis zehnfach schlechter ist, sind Temperaturschwankungen. Der gemessene Druck ist natürlich von der Temperatur abhängig.



Schema der Druckabfallprüfung, unten mit Leckstelle.

Eine Beispielrechnung:

Wird ein Prüfteil mit einem Volumen von 3 Litern bis zu einem Druck von 2,5 bar befüllt, erwärmt sich die komprimierte Luft, sagen wir auf 40 °C. Während des Prüfintervalls von 20 Sekunden wird die Luft aber wieder kälter. Ist die Luft am Ende der Messung nur um ein Grad kälter als zu Beginn der Messung, ist auch der Druck im Prüfteil entsprechend geringer, und die Leckrate erscheint um 1,2 mbar-l/s größer, als sie es wirklich war. Sie liegt damit tausendfach höher als die theoretische Nachweisgrenze von $1 \cdot 10^{-3}$ mbar-l/s.

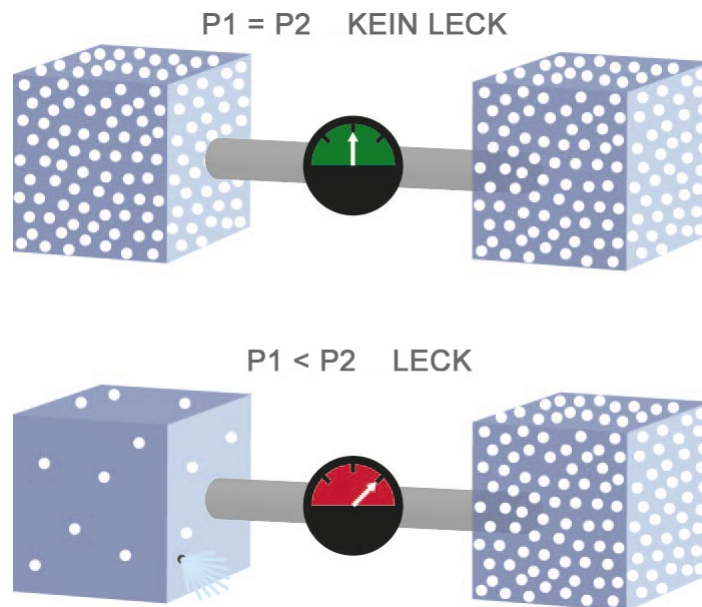
Auch kann ein sehr kleiner Temperaturanstieg schon dazu führen, dass ein Leck mit der Druckabfallprüfung gar nicht erkannt wird. Wenn in einem Prüfteil mit 3 l Volumen und 2,5 bar Luftdruck die Temperatur während des Messintervalls von 20 Sekunden nur um 0,1 °C ansteigt, erhöht dies den Innendruck auf 2,50085 bar. Entsprechend erscheint jede Leckrate um 0,13 mbar-l/s kleiner, als sie es tatsächlich ist. Die theoretische Nachweisgrenze von $1 \cdot 10^{-3}$ mbar-l/s (0,001 mbar-l/s) erreichen zu wollen, ist natürlich illusorisch, wenn, wie in unserem Beispiel, der Temperaturanstieg um 0,1 °C die Nachweisgrenze bereits um den Faktor 100 erhöht. Nach der Befüllung sind darum oft lange Beruhigungszeiten vorgesehen, damit Druck und Temperatur während der Prüfung stabiler sind. Temperaturschwankungen sind also der große Feind der Druckabfallprüfung. Verursacht werden können Temperatur- und Druckveränderungen durch Sonneneinstrahlung, Luftbewegungen,

Berührung und auch schon durch die Befüllung unter Druck. Gerade Prüfteile, die sich unter dem Prüfdruck verformen und ihr Volumen verändern – etwa solche aus Kunststoffen – lassen sich mit der Druckabfallmethode kaum verlässlich prüfen. Auch eine Berührung oder Verformung kann die Validität jeder Druckabfallprüfung sehr schnell untergraben.

1.1.3.2 Differenzdruckprüfung

Die Differenzdruckprüfung misst ebenfalls Druckunterschiede. Allerdings vergleicht sie den Druck im Prüfteil mit dem Druck in einem Referenzobjekt, dessen Dichtheit bekannt ist. Beide, Prüfteil und Referenzobjekt, werden gleichzeitig bis zum selben Überdruck befüllt. Etwaige Druckunterschiede werden dann mit einem Differenzdrucksensor für die Dauer eines definierten Zeitintervalls gemessen. Die Leckrate ergibt sich aus dem Produkt der Druckdifferenz mal Innenvolumen des Prüfteils geteilt durch das Zeitintervall der Messung. Die Differenz zweier Drücke lässt sich mit einer höheren Auflösung messen als der Druckabfall alleine. Die theoretische Nachweisgrenze der Differenzdruckmessung ist um den Faktor 10 besser als bei der Druckabfallprüfung und beträgt $1 \cdot 10^{-4}$ mbar-l/s.

Auch Temperaturschwankungen haben auf die Differenzdruckprüfung einen geringeren Einfluss – solange sie wirklich im selben Maß und gleichzeitig auf Prüfteil und Referenzobjekt einwirken.



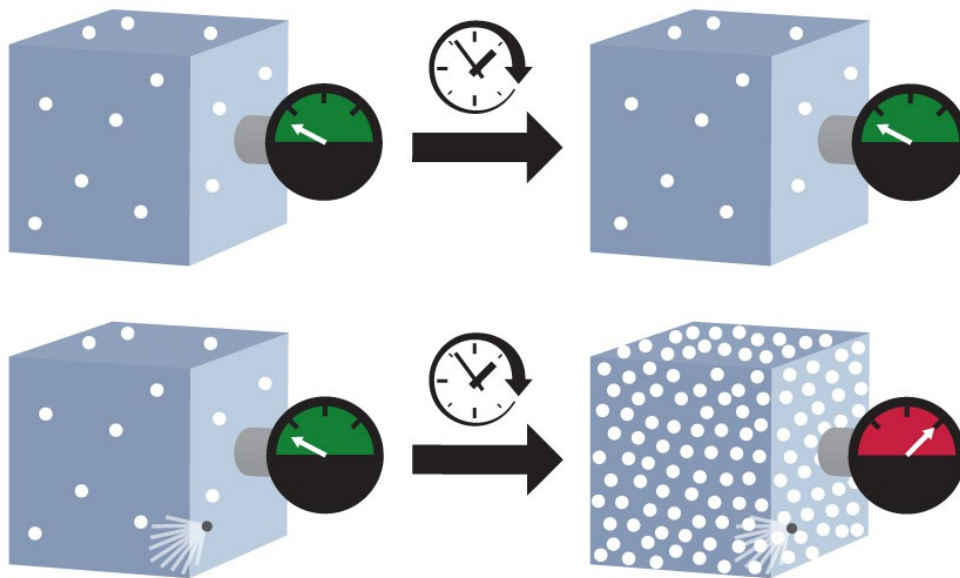
Schema der Differenzdruckprüfung, unten mit Leckstelle.

Die Temperatureffekte durch Befüllung betreffen jedoch nur das Prüfteil, es sei denn, man befüllt auch das Referenzobjekt jedesmal neu. Das Problem dabei: Nach vielen Befüllzyklen kann das Referenzteil ermüden und sich dann anders verhalten als das Prüfteil. Idealerweise tauscht man das Referenzteil darum für jede Prüfung, damit es sich wieder beruhigt. Besondere Probleme hat die Differenzdruckprüfung vor allem mit leicht verformbaren Prüfteilen (etwa aus Kunststoff) oder bei solchen mit großem Volumen. In der praktischen Anwendung sind mit der Differenzdruckprüfung Nachweisgrenzen von $1 \cdot 10^{-3}$ mbar·l/s realistisch.

1.1.3.3 Druckanstiegsprüfung

Die dritte Variante der Dichtheitsprüfungen mittels Druckveränderungsmessung ist die Druckanstiegsprüfung. Dabei wird im Prüfteil ein Vakuum hergestellt. Anschließend misst man, wie stark der Druck im Innern des Prüfteils in einem bestimmten Zeitintervall ansteigt. Die Leckrate errechnet sich, indem man das Innenvolumen des Prüfteils mit der Druckveränderung multipliziert und durch den Messzeitraum dividiert. Theoretisch ist das Verfahren aber auch um den Faktor 5 empfindlicher als die Druckabfallprüfung: $1 \cdot 10^{-4}$ mbar·l/s. In tatsächlichen Einsatzszenarien hat das Verfahren üblicherweise eine Nachweisgrenze von $1 \cdot 10^{-3}$ mbar·l/s.

Limitierende Faktoren für die Druckanstiegsprüfung – wie für alle Druckänderungsverfahren – sind unter anderem die Steifigkeit der Prüfteile und die Größe der Volumina. Hinzu kommt, dass die meisten Bauteile im finalen Einsatz mit Überdruck beaufschlagt sind. Die Prüfsituation mit einem Vakuum im Prüfteil entspricht dann nicht dem Einsatzfall. Manche Lecks treten aber nur in einer Richtung auf und können darum mit der Druckanstiegsprüfung nicht detektiert werden. Ein prinzipieller Vorteil der Druckanstiegsprüfung ist, dass sie Temperatureinflüsse vermeidet, indem sie im Prüfteil ein Vakuum erzeugt. Zugleich begrenzt sie aber auch die für die Prüfung verwendbare Druckdifferenz. Die beträgt maximal 1 bar – der Unterschied zwischen dem atmosphärischen Druck außerhalb des Prüfteils und dem Vakuum in seinem Innern.



Schema der Druckanstiegsprüfung.

1.2 Methoden mit Prüfgas

Die Methoden mit Prüfgasen gehören zu den empfindlichsten Dichtheitsprüfverfahren. Die verbreitetsten Prüfgase sind vor allem Helium und verdünnter Wasserstoff, der üblicherweise in Form eines Formiergas-Gemisches eingesetzt wird. Dichtheitsprüfung und Schnüffellecksuche mit Prüfgasen beruhen darauf, dass ein Druckunterschied zwischen dem Inneren und dem Äußeren eines Prüfteils erzeugt wird, sodass das Prüfgas durch ein etwaiges Leck strömen kann, um dann selektiv nachgewiesen zu werden.

1.2.1 Das Prüfgas Helium

Helium ist das verbreitetste aller Prüf- oder Spürgase. Das Edelgas kommt nur atomar vor und ist chemisch inert. Helium ist nicht toxisch und nicht brennbar. Auch seine geringe relative Molekülmasse von 4 prädestiniert es zum Prüfgaseinsatz. Ein wichtiger Vorteil ist zudem die geringe Untergrundkonzentration: Die natürliche Konzentration von Helium in Luft beträgt nur 5 ppm.

1.2.2 Das Prüfgas Wasserstoff (Formiergas)

Der wohl größte Vorteil von Wasserstoffgas für die Dichtheitsprüfung und Lecksuche ist die sehr geringe natürliche Untergrundkonzentration von Wasserstoff in Luft: 0,5 ppm. Ein Nachteil von reinem, molekularem Wasserstoffgas (H_2) ist natürlich seine Brennbarkeit. Solche Gefahren werden aber dadurch ausgeschlossen, dass nie reiner Wasserstoff als Prüfgas verwendet wird. Vielmehr setzt man zur Dichtheitsprüfung und Lecksuche das sogenannte Formiergas ein, eine Mischung aus 95 % Stickstoff (N_2) und 5 % Wasserstoff (H_2). Das kostengünstige Formiergas, das auch als Schutzgas beim Schweißen Verwendung findet, ist bei Wasserstoffkonzentrationen von 5 % oder weniger nicht brennbar.

1.2.3 Endmedien als Prüfgase

Mitunter werden auch gasförmige Endmedien, mit denen Prüfteile ihrem Einsatzzweck nach befüllt sind, bei der Lecksuche als Prüfgas genutzt. So fungiert dann etwa das Treib- und Kältemittel R134a (chemisch: 1,1,1,2-Tetrafluorethan) zugleich als Prüfgas. Auch Schwefelhexafluorid (SF_6), das als Isoliergas im Mittel- und Hochspannungsbereich dient und beispielsweise in gasisolierten Hochspannungsschaltern und Schaltanlagen zum Einsatz

kommt, lässt sich direkt nachweisen. SF_6 ist das am stärksten wirkende Treibhausgas, sein Einsatz als reines Prüfgas ist verboten. Ähnliches gilt auch für viele ältere Kältemittel. All den Verfahren, die solche End- oder Betriebsmedien als Prüfgase nutzen, ist gemeinsam, dass es dabei nicht um eine integrale Dichtheitsprüfung während der Produktion geht, sondern um eine spätere Lecksuche.

1.2.4 Inside-Out- und Outside-In-Methoden

Verfahren mit Prüfgasen lassen sich der Austritts- bzw. Eintrittsrichtung des Prüfgases nach in zwei große Klassen teilen. Zum einen gibt es die Verfahren, bei denen das Prüfgas in ein Prüfteil gefüllt wird, damit es aus etwaigen Lecks in die Umgebung austreten kann: die Inside-Out-Methode.

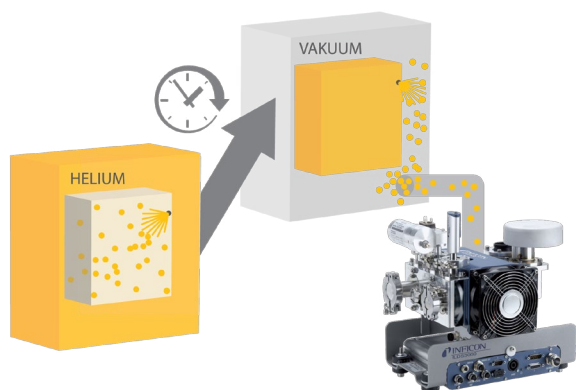
Inside-Out	Outside-In
Schnüffel-Lecksuche	Vakuum-Dichtheitsprüfung
Vakuum-Dichtheitsprüfung	Spraying
Akkumulations-Dichtheitsprüfung	
Bombing	Bombing

Da ist einerseits die Schnüffellecksuche, die der Lokalisierung von Lecks dient. Dazu wird eine Messsonde manuell über das mit dem Prüfgas befüllte Prüfteil geführt. Aber auch zwei sehr weit verbreitete Verfahren zur integralen Dichtheitsprüfung arbeiten nach dem Inside-Out-Prinzip: Bei der Prüfung in der Akkumulationskammer und bei der Prüfung in der Vakuumkammer misst man, wie viel Prüfgas aus einem Prüfteil in die jeweilige Prüfkammer austritt.

Die beiden Outside-In-Methoden basieren auf einem Vakuum-Prinzip. Bei der Vakuum-Lecksuche wird im Inneren des Prüfteils ein Vakuum erzeugt und von außen das Prüfgas aufgesprüht. Lage und Größe des Lecks ergeben sich dann daraus, wie viel Prüfgas im Innern des Prüfteils in einem bestimmten Zeitintervall nachgewiesen werden kann. Die andere Outside-In-Methode ist die Dichtheitsprüfung in einer Kammer. Das Prüfteil wird dazu in eine Kammer gelegt und im Innern des Prüfteils wird ein Vakuum erzeugt. Die Kammer befüllt man mit dem Prüfgas, das dann durch etwaige Lecks in das Vakuum im Prüfteil eindringt, wo es gemessen werden kann.

Der Ein- bzw. Austrittsrichtung des Prüfgases nach gibt es eine Methode, die die Eigenschaften der zuvor beschriebenen zwei Kategorien verbindet: das sogenannte Bombing. Bombing verwendet zuerst das Outside-In- und dann das Inside-Out-Prinzip. Das Prüfteil wird in eine erste Kammer gebracht, in der ein Prüfgas-Überdruck hergestellt wird, sodass das Prüfgas durch etwaige Lecks in das Innere des Prüfteils eintritt. Anschließend wird das Prüfteil in

einer Vakuumkammer platziert, damit das Prüfgas aus dem Inneren des Prüfteils durch das gleiche Leck wieder in die Vakuumkammer austreten kann, um dort gemessen zu werden. Sinnvoll ist diese Dichtheitsprüfmethode des Bombing bei hermetisch abgedichteten Prüfteilen ohne eigenen Innendruck, deren Inneres für eine Evakuierung oder Befüllung nicht zugänglich ist – etwa bei versiegelten Sensorgehäusen. Oft dient die Prüfung mittels Bombing dazu, ein etwaiges Eindringen von Luftfeuchtigkeit auszuschließen.

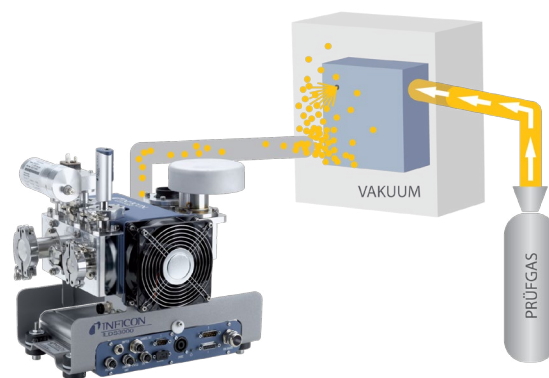


Schema der Dichtheitsprüfmethode des Bombing.

Eine Schwierigkeit der Methode kann darin bestehen, dass das Prüfteil normalerweise nicht zu 100 % mit Helium befüllt wird, was die Nachweisgrenze verschlechtert. Ein weiteres Problem stellen Groblecks dar. Wenn bei der Evakuierung der Vakuumkammer das im Prüfteil enthaltene Helium mit evakuiert wird, kann später auch kein austretendes Helium mehr gemessen werden – das Prüfteil erscheint dann fälschlich als dicht.

1.2.5 Vakuummethode

Die integrale Dichtheitsprüfung in der Vakuumkammer ist sehr oft eine Prüfung nach dem Inside-Out-Prinzip. Das Prüfteil wird zunächst in eine Kammer platziert, ob manuell von einem Prüfer oder vollautomatisch, etwa durch einen Roboterarm. Eine Pumpe erzeugt in der Prüfkammer ein Vakuum, und das Innere des Prüfteils wird über entsprechende Anschlüsse mit dem Prüfgas Helium befüllt. Auch wenn diese Methode wegen der Dichtheitsanforderungen und der kostspieligen Vakuumpumpe vergleichsweise aufwendig ist, hat sie doch einige wichtige Vorzüge. Der erste: die Helium-Prüfung in der Vakuumkammer ist die empfindlichste aller Prüfgasmethoden. Die Massenspektrometer, die zum Nachweis des Heliums eingesetzt werden, ermitteln unter optimalen Bedingungen Leckraten von bis hinunter zu $1 \cdot 10^{-12}$ mbar·l/s. Besonders gut eignet sich die Vakuummethode für Prüfungen in der Linie, also in oft automatisierten Produktionsabläufen, in denen jedes gefertigte Teil einer

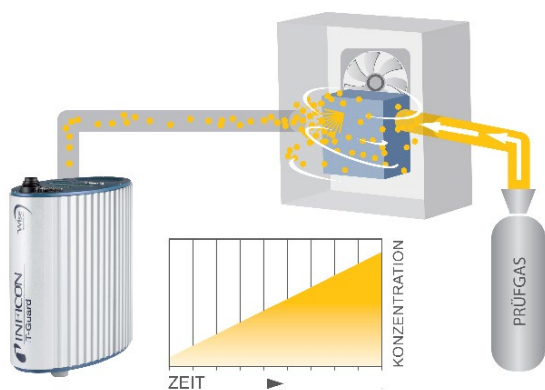


Schema der Vakuummethode – mit einem Vakuum in der Prüfkammer.

integralen Dichtheitsprüfung unterzogen werden muss. Kurze Prüfzyklen und schnelle Taktzeiten der Vakuummethode sind gerade in vollautomatisierten Prüfabläufen ein Vorteil. Zudem eröffnet die Empfindlichkeit der Vakuummethode oft den Spielraum, die Heliumkonzentration deutlich zu reduzieren, etwa auf nur 1 %, was auch die Prüfgaskosten entsprechend verringert.

1.2.6 Akkumulationsmethode

Auch das Prüfgasverfahren in der Akkumulationskammer gehört in die Kategorie der Inside-Out-Prüfverfahren, ist aber deutlich kostengünstiger als eine Prüfung in der Vakuumkammer. Das Prüfteil wird dabei in eine eher einfache Akkumulationskammer gebracht, die deutlich weniger strenge Dichtheitsanforderungen erfüllen muss als eine Vakuumkammer. Geruchsdichtheit reicht für eine Akkumulationskammer schon aus.



Schema der Akkumulationsmethode – ohne Vakuum in einer einfachen Akkumulationskammer.

Das Innere des Prüfteils wird mit einem Prüfgas befüllt – oft mit Helium. Das Prüfgas tritt dann aus etwaigen Leckstellen im Prüfteil aus. Damit sich das austretende Prüfgas gleichmäßig in der Akkumulationskammer verteilt, setzt man üblicherweise Ventilatoren ein. Abhängig davon, wie viel Prüfgas aus dem Leck austritt und sich in einem definierten Zeitintervall im gegebenen Volumen der Prüfkammer ansammelt – also dort „akkumuliert“ –, errechnet sich die Leckrate.

Eine solche Dichtheitsprüfung mit Helium in einer kostengünstigen Akkumulationskammer durchzuführen, statt dafür eine aufwendige Vakuumkammer installieren, betreiben und warten zu müssen, wurde erst populär, als INFICON seinen patentierten Wise Technology Sensor auf den Markt brachte. Der günstige Wise Technology Sensor misst ausschließlich die Helium-Konzentration, braucht dazu kein Vakuum und kann in der Akkumulationskammer im Idealfall so Leckraten von bis zu $5 \cdot 10^{-6}$ mbar-l/s ermitteln.

Dichtheitsprüfungen mit Massenspektrometern erfordern dagegen normalerweise ein Vakuum. Während in der Vakuumkammer die eigentliche Prüfung in zwei bis drei Sekunden erledigt ist, dauert eine Prüfung in der Akkumulationskammer gut fünfmal länger. Allerdings muss man in die Taktzeiten der Vakuumprüfung auch noch den Aufwand für die Evakuierung einrechnen, der bei der Akkumulationsmethode entfällt. Gegenüber der schnelleren Vakuumprüfung punktet die Akkumulationsmethode indes durch zwei- bis vierfach niedrigere Kosten.

1.2.7 Akkumulationsmethode im Hochvakuum

Verbindet man die Prinzipien der Akkumulation und der Vakuumkammer, lassen sich besonders kleine Leckraten messen. Die derzeit kleinste Grenzleckrate weist ein Vakuum-Dichtheitsprüfgerät von INFICON auf: Der Cumulative Helium Leak Detector (CHLD) Pernicka 700H arbeitet nach dem Prinzip der Akkumulation im Ultrahochvakuum. Mit seinem präzisen Massenspektrometer stellt er so kleinste Leckraten von bis zu $4 \cdot 10^{-14}$ mbar·l/s fest.



Schema der Schnüffellecksuche – mit einer manuellen Schnüffelspitze.

1.2.8 Schnüffellecksuche

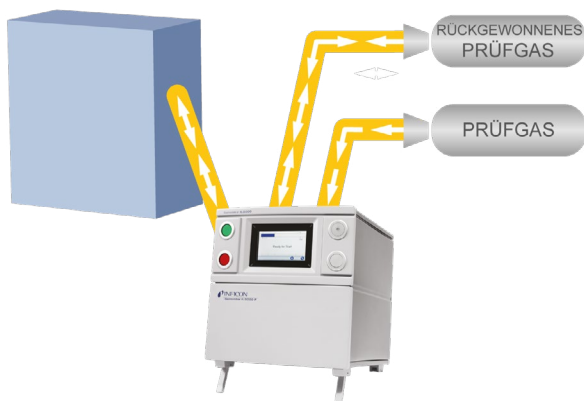
Die sogenannte Schnüffellecksuche mit Prüfgasen dient meist dazu, die exakte Lage eines Lecks zu lokalisieren. Oft schließt sich die Schnüffellecksuche darum an eine negativ verlaufene integrale Dichtheitsprüfung an. Sind Komponenten bereits vorgeprüft und montiert, kann die Schnüffellecksuche allerdings auch dazu dienen, in der Endmontage die Dichtheit der Verbindungsstellen zu prüfen. Auch die Schnüffellecksuche gehört zur Kategorie der Inside-Out-Verfahren: Das Prüfteil wird mit dem Prüfgas unter Druck befüllt, sodass das Gas aus der Leckstelle austritt. Die Schnüffelspitze des Lecksuchgeräts wird dann entweder manuell oder automatisiert über die Oberfläche des Prüfteils geführt – bis die Stelle identifiziert ist, an der das Lecksuchgerät die höchste Leckrate ermittelt.

Weil das Lecksuchgerät durch seine Schnüffelspitze und die Schnüffelleitung ein Gemisch aus Luft und dem austretenden Prüfgas ansaugt, ist eine möglichst niedrige Untergrundkonzentration des Gases wünschenswert. Als Prüfgase für die Schnüffellecksuche können Helium oder Formiergas dienen, aber ebenso die gasförmigen Betriebsmedien eines Prüfteils wie etwa R134a, CO₂ oder SF₆. Bei einem Helium-Schnüffel-Lecksuchgerät wie dem Protec P3000 liegt die kleinste nachweisbare Leckrate im Bereich von $1 \cdot 10^{-7}$ mbar·l/s.

1.2.9 Evakuierung, Befüllung, Gasrückgewinnung

Bei Prüfgasverfahren zur integralen Dichtheitsprüfung ist es meist sinnvoll, zusammen mit dem eigentlichen Sensor für das Prüfgas auch ein Gerät einzusetzen, das die Befüllung automatisiert. Eine automatische Befüllstation gestattet es, die Prüfteile immer schnell und vollständig mit Prüfgas zu

die Nachweisgrenze der Dichtheitsprüfanlage hoch genug, kann es zudem eine sinnvolle, kostensparende Maßnahme sein, entweder den Prüfgasfülldruck zu reduzieren oder das Prüfgas zu verdünnen. In beiden Fällen verschlechtert sich dadurch allerdings die theoretisch mögliche Nachweisgrenze der Anlage.



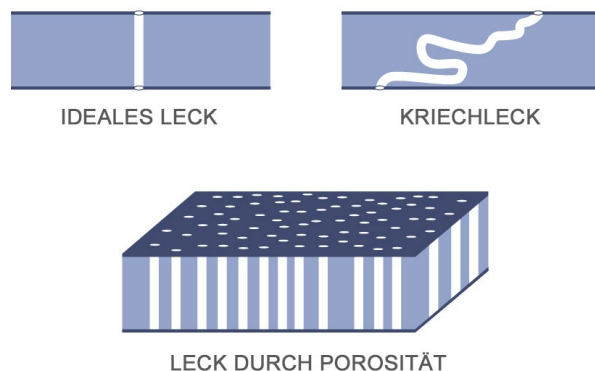
Die Lecksuch-Füllstation Sensistor ILS 500 F von Inficon.

beaufschlagt. Und zwar mit dem korrekten Druck – Schwankungen des Fülldrucks würden die Leckrate verfälschen. Die Evakuierung im Anschluss an die Dichtheitsprüfung verhindert, dass Prüfgas im Arbeitsbereich freigesetzt wird, sich sammelt und so schließlich die Messergebnisse verfälscht. Gasrückgewinnungsanlagen erlauben es zudem, rund 90 % des eingesetzten Prüfgesetzes zurückzugewinnen und für weitere Prüfungen zu verwenden. Ist

1.3 Leckraten und Arten von Lecks

1.3.1 Arten von Lecks

Ein Leck ist eine Struktur in der Wand eines Objekts, durch die Gase oder Flüssigkeiten austreten können. Dabei kann es sich um ein simples Loch, einen permeablen, porösen Bereich oder auch um ein oft schwer zu identifizierendes Kriechleck handeln. Besonders Kriechlecks, im Englischen „Stringer Leaks“ genannt, bedeuten eine Herausforderung für die Dichtheitsprüfung. Bei einem Kriechleck treten die Gase und Flüssigkeiten nicht unmittelbar aus, sie bewegen sich erst durch ein System aus engen Kanälen oder Kapillaren, bevor sie das Innere eines Prüfteils verlassen. Möglich ist auch, dass sich erst größere Sackvolumina in der Prüfteilwand füllen müssen, bevor das Gas austritt. Dies macht den Nachweis solcher Lecks innerhalb kurzer Zeiträume natürlich recht schwierig. Auch Permeation zeigt ein ähnliches, zeitverzögertes Verhalten.



Drei verschiedene Leckarten in schematischer Darstellung.

1.3.2 Maßeinheiten für die Leckrate

Eine Leckrate ist eine dynamische Größe, die einen Volumenstrom beschreibt. Die Leckrate gibt an, wie viel Gas oder Flüssigkeit bei einer gegebenen Druckdifferenz in einem definierten Zeitintervall eine Leckstelle passiert. Ein Beispiel: Wenn in genau einer Sekunde 1 cm³ eines Gases mit 1 bar Überdruck durch ein Leck austritt, ist die Leckrate 1 Millibar mal Liter durch Sekunde: 1 mbar·l/s. Man könnte auch sagen, das Gas hat nach dem Austritt ein Volumen von 1 cm³ bei 1 bar Druck. Eine weitere alternative Herleitung der Einheit: Wenn sich in einem Behälter mit dem Volumen 1 Liter der Druck im Innern um 1 Millibar pro Sekunde verändert, beträgt die Leckrate 1 mbar·l/s. Für die Angabe von Leckraten in der Einheit mbar·l/s wird in der Regel eine exponentielle, wissenschaftliche Notation verwendet: statt 0,005 mbar·l/s schreibt man also 5·10⁻³ mbar·l/s.

In Europa hat sich die Einheit mbar·l/s für die Leckrate weit verbreitet, aber natürlich lassen sich Volumina und Drücke auch in alternativen Einheiten angeben, woraus eine andere Maßeinheit für die Leckrate resultiert. International anerkannt sind die SI-Einheiten, hieraus ergibt sich für die Leckrate die Einheit Pa·m³/s. In den USA wird oft in atm·cc/s gemessen, während gerade bei der Druckabfallprüfung der „Standard cubic centimeter per minute“ (scm) als Einheit für die Leckrate gebräuchlich ist. Im Folgenden eine Liste für die Umrechnung der Einheiten:

1 atm·cc/s	≈ 1 mbar·l/s
1 Pa·m ³ /s	= 10 mbar·l/s (SI-Einheit)
1 sccm	≈ 1/60 mbar·l/s

Bei Kältemitteln wie R134a ist es üblich, die Leckrate nicht als in einem bestimmten Zeitraum entweichendes Volumen anzugeben, sondern als entweichende Masse – und das über ein ganzes Jahr. Darum hat sich für Kältemittel die Einheit g/a eingebürgert: Gramm pro anno – oder in den USA oz/yr (ounces/year).

Die entweichende Masse hängt aber immer vom Molekulargewicht des Gases ab. Im Falle von R134a ergibt sich also:

$$1 \text{ g/a} = 7,6 \cdot 10^{-6} \text{ mbar·l/s} \quad (\text{nur bei R134a})$$

1.3.3 Größe der Lecks

Es ist sinnvoll, sich einmal zu vergegenwärtigen, welche Beziehung zwischen einer Helium-Leckrate und der Größe eines Lecks besteht. Anders gesagt: Welchen Durchmesser muss ein kreisförmiges Loch eigentlich haben, um eine bestimmte Leckrate zu verursachen? Vorausgesetzt der Durchmesser des Lochs ist deutlich größer als seine Wandstärke, so führt ein Loch von 0,1 mm Durchmesser bei einer Druckdifferenz von 1 bar zu einer Leckrate von 1 mbar·l/s.

Durchmesser des Lochs	Größenordnung der Helium-Leckrate
$10^{-2} \text{ m} = 1 \text{ cm}$	10^{+4} mbar·l/s
1 mm	10^{+2} mbar·l/s
0,1 mm	10^0 mbar·l/s
0,01 mm	10^{-2} mbar·l/s
$10^{-6} \text{ m} = 1 \text{ }\mu\text{m}$ (Bakterium)	10^{-4} mbar·l/s
0,1 μm	10^{-6} mbar·l/s
0,01 μm (Virus)	10^{-8} mbar·l/s
1 nm = 0,001 μm	$10^{-10} \text{ mbar·l/s}$
$10^{-10} \text{ m} = 0,1 \text{ nm} = 1 \text{ \AA}$	$\sim 10^{-12} \text{ mbar·l/s}$

Die meisten Bakterien haben Durchmesser zwischen 0,6 bis 1 μm . 1 \AA ist ungefähr der Durchmesser eines einzelnen großen Atoms. Selbst bei sehr kleinen Leckraten in der Größenordnung von 10^{-8} mbar·l/s hat man es also noch mit Löchern zu tun, die immer noch von vielen Tausend Helium-Atomen gleichzeitig durchströmt werden können. Welche genaue Leckrate in einem speziellen Fall noch tolerierbar ist und bei welcher ein Prüfteil seine Dichtheitsprüfung nicht mehr besteht, ist immer von den konkreten Qualitätsanforderungen im Produktionsprozess abhängig. Entsprechend sollte in die Auswahl des Prüfverfahrens immer die Überlegung einfließen, gegen welche maximal zulässige Leckrate geprüft werden muss.

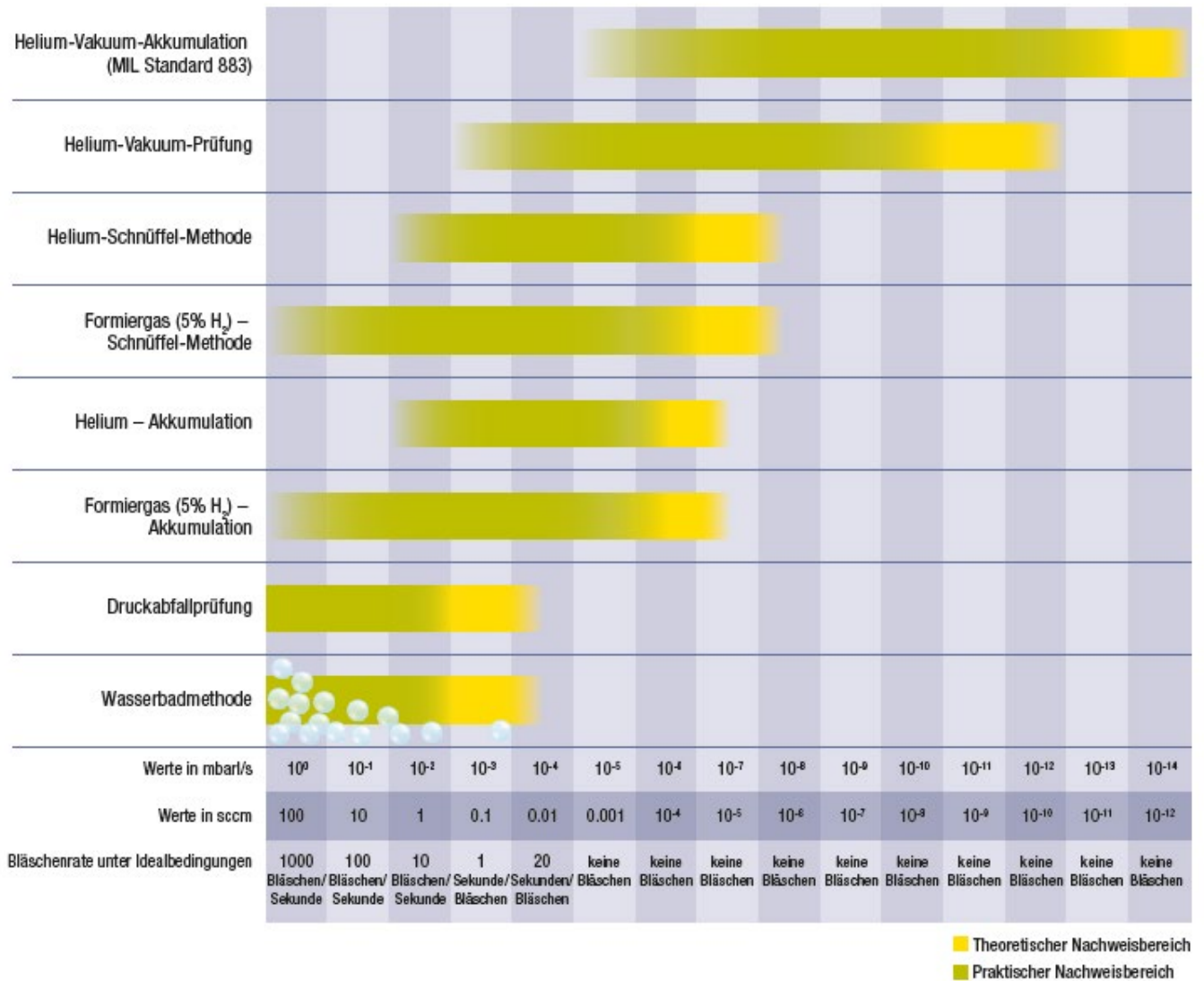
LECKRATEN

Anforderung	Leckrate [mbar·l/s]	Leckrate [sccm]
Wasserdicht	$< 10^{-2}$	$< 0,6$
Öldicht	$< 10^{-3}$	$< 0,06$
Dampfdicht	$< 10^{-3}$	$< 0,06$
Bakteriendicht	$< 10^{-4}$	$< 0,006$
Benzindicht	$< 10^{-5}$	$< 0,0006$
Gasdicht	$< 10^{-6}$	$< 6 \cdot 10^{-5}$
Virendicht	$< 10^{-7}$	$< 6 \cdot 10^{-6}$
Technisch lekdicht	$< 10^{-10}$	$< 6 \cdot 10^{-9}$

Arbeitet man mit Prüfgasen, ist die ermittelbare Leckrate zudem von der genauen Orientierung des Lecks abhängig. Die austretende Prüfgaswolke verteilt sich gegebenenfalls nicht gleichmäßig und zeigt wegen eines Luftzugs nicht in jeder Richtung dieselbe Prüfgaskonzentration. Nicht zuletzt für die erfolgreiche Lecksuche mit Prüfgasen wie Helium und Wasserstoff, also für die Lokalisation von Lecks mit einem manuell geführten Prüfkopf, ist es wichtig, diesen Effekt der Orientierungsabhängigkeit zu beachten. Moderne Geräte für die Helium-Schnüffellecksuche wie etwa der Protec P3000XL von INFICON saugen Gas darum mit einem hohen Gasfluss von bis zu 3.000 sccm an.

1.3.4 Einflussfaktoren für die Leckrate

Wie im Kontext der Druckprüfungen mit Luft bereits beschrieben, haben Temperatur- und Druckveränderungen einen deutlichen Einfluss auf die Leckrate. Manche Prüfteile, etwa solche aus Kunststoffen, verformen sich bei Druck- und Temperaturänderungen recht leicht. Auch die Geometrie eines Lecks kann sich unter solchen Bedingungen verändern – mit entsprechenden Auswirkungen auf die Leckrate, die während der Prüfung ermittelbar ist. Auch die exakte Differenz zwischen dem Druck im Prüfteil und außerhalb beeinflusst natürlich die Leckrate: je größer die Druckdifferenz, desto größer die Leckrate.



Nachweisbereiche der verschiedenen Dichtheitsprüfmethode.

Teil 2

Dichtheitsprüfung in der Automobilindustrie



2.1 Wachsende Dichtheitsanforderungen

Wenn es in der Automobilindustrie unter Herstellern und Zulieferern in Sachen Dichtheitsprüfungen einen großen Trend gibt, dann wohl diesen: Die Anforderungen steigen. Qualitätssicherung spielt eine immer größere Rolle, und die Autobauer erwarten von ihren Zulieferern entsprechende Qualitätskontrollen. Sind solche Dichtheitsprüfungen aber fehlerhaft, kann es am Ende zu kostspieligen – und rufschädigenden – Rückrufaktionen kommen. Das drastischste Beispiel dafür waren in jüngerer Zeit wohl die millionenfachen Rückrufaktionen wegen potenziell defekter Airbags. Es bestand das Risiko eines Feuchtigkeitseintritts – mit gravierenden Konsequenzen im Falle einer Airbag-Auslösung. Solche pyrotechnischen

Gasgeneratoren für Airbags werden heute oft gegen eine maximale Leckrate im Bereich von 10^{-6} mbar·l/s geprüft. Dichtheitsanforderungen dieser Größenordnung lassen sich nur durch die Verwendung von Prüfgasverfahren erfüllen. Aber auch die Dichtheitsanforderungen für Einspritzpumpen und Treibstoffsysteme steigen. Ein wichtiger Grund dafür ist, dass aus Gründen der Kraftstoffersparnis Einspritzanlagen moderner Motoren mit viel höheren Drücken arbeiten: In modernen Diesel-Common-Rail-Systemen gibt es Drücke von bis zu 3.000 bar. Damit trotz dieses hohen Innendrucks die Leckraten klein bleiben, müssen auch die Prüfungen strenger werden.



Auch im Bereich der Klimaanlage, die in Autos eingesetzt werden, ist die Branche in Bewegung. Fluorierte Treibhausgase wie R134a stehen kurz vor ihrem endgültigen Aus. Die EU-Richtlinie 2006/40/EG verbietet ihren Einsatz: Von Januar 2017 an darf kein neu produzierter PKW mehr R134a als Kältemittel in seiner Klimaanlage verwenden. Alternative Lösungen aber, die beispielsweise das unbedenkliche, aus der Atmosphäre entnommene CO_2 als Kältemittel einsetzen, tun dies unter einem zehnfach höheren Druck – und bringen entsprechend höhere Anforderungen an die Dichtheit der Komponenten und des gesamten Systems mit sich. Andere neue Kältemittel wie R1234yf sind schon bei niedrigen Temperaturen brennbar und verursachen darum ein höheres Sicherheitsrisiko im Falle eines

Lecks. Auch wenn die Dichtheitsanforderungen in der Automobilindustrie allenthalben steigen, ihre Verschärfung ist nie Selbstzweck. Autobauer wie Zulieferer sollten stets die Kosten-Nutzen-Relation im Blick behalten, wenn es daran geht, das sinnvollste, qualitätssicherndste und kostengünstigste Verfahren für einen spezifischen Einsatzzweck zu finden und zu implementieren. Dabei hängt die Auswahl nie allein davon ab, gegen welche Grenzeckrate eine Komponente geprüft werden muss. Bei der Wahl der optimalen Methode spielen immer auch Faktoren wie Automatisierbarkeit, Geschwindigkeit und Zuverlässigkeit der Prüfung eine Rolle. Eine Wasserbadprüfung mag einfach sein, aber sieht der menschliche Prüfer wirklich immer die Lecks, die er sehen soll?



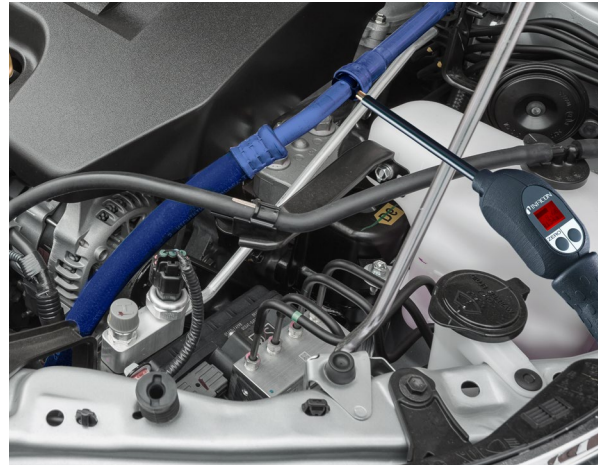
Das andere Extrem: Die Nachweisgrenze (Empfindlichkeit) und die Geschwindigkeit einer automatisierten Helium-Prüfung in der Vakuumkammer sind unübertroffen, aber ist der beträchtliche Aufwand wirklich immer gerechtfertigt? Oft lässt sich mit einer Dichtheitsprüfung in der simplen Akkumulationskammer mit speziellem Heliumsensors das viel bessere Gleichgewicht zwischen Qualitätssicherung und Kosten erzielen.

Gar nicht so selten steht der Wahl der optimalen Dichtheitsprüfmethode auch schlicht das menschliche Beharrungsvermögen im Weg. Wir können eben nur schwer aus unserer Haut: Am liebsten verlassen wir uns nach wie vor auf unsere eigenen Sinne. Auch das ist ein Grund, warum Wasserbad und Lecksuchspray in vielen Einsatzszenarien noch verwendet werden, in denen sie besser schon durch ein Prüfgasverfahren ersetzt worden wären: Der Prüfer will sinnliche Evidenz, er will das Leck sehen. Das aus einem Leck austretende Helium wird bei Prüfgasverfahren eben nur gemessen. Dies geschieht natürlich genauer, schneller, zuverlässiger und reproduzierbarer als bei jeder visuellen Kontrolle – es ist aber weniger erlebbar als die aufsteigende Luftblase. Auch dies führt mitunter dazu, dass Prüfer an alten Methoden festhalten, von denen sie eigentlich wissen sollten, wie ungenau und irreführend sie für den konkreten Einsatzzweck sind. Mitunter werden da sogar noch Komponenten der Klimaanlage im Wasserbad versenkt, selbst wenn die Grenzleckrate dieser Methode von 10^{-3} mbar·l/s für solch eine Applikation viel zu hoch ist.

2.2 Komponenten, Methoden und typische Leckraten

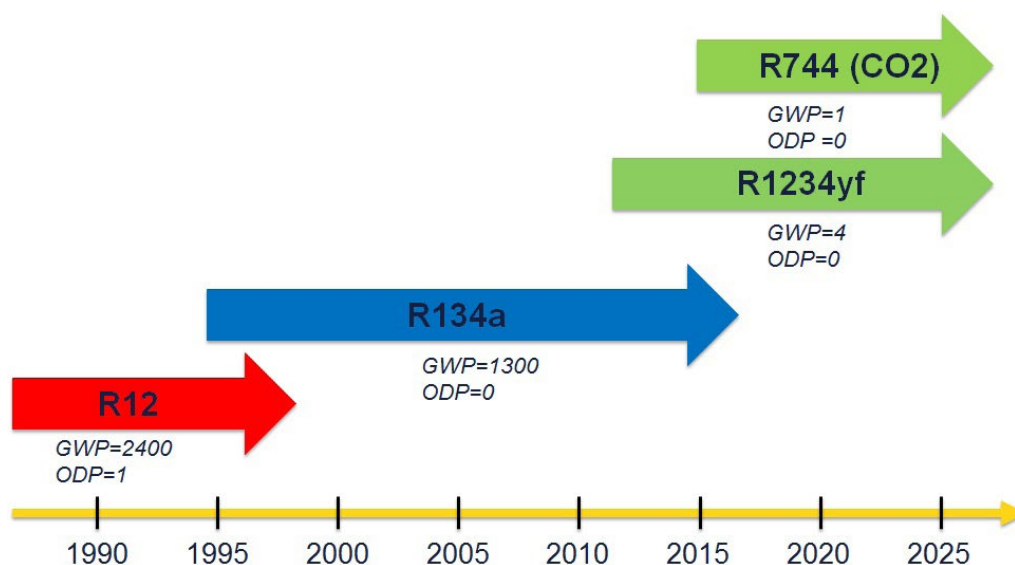
2.2.1 Die Klimaanlage

Das altbekannte Kältemittel R134a wird als hoch klimaschädliches fluoriertes Treibhausgas von neuen, alternativen Kältemedien abgelöst. Dazu zählt R1234yf (chemisch: 2,3,3,3-Tetrafluorpropen), das allerdings als hochentzündlich klassifiziert ist und zudem unter Hitzeeinwirkung zu hochätzender Flusssäure reagieren kann. Zudem ist R1234yf kostspieliger als R134a. Hersteller kalkulieren deswegen gerne mit einer geringeren Reserve an Kältemittel für ihre Anlage, was wiederum die Dichtheitsanforderungen erhöht. Favorisiert wird R1234yf derzeit von Autobauern in Asien und den USA. Eine unter deutschen Autoherstellern populäre Alternative ist Kohlendioxid (CO₂). CO₂ stellt allerdings ganz andere technische Anforderungen an eine Klimaanlage, weil es mit einem deutlich höheren Betriebsdruck von bis zu 120 bar eingesetzt wird. So oder so:



Handmesskopf bei der Schnüffellecksuche.

Die Dichtheitsanforderungen an Klimaanlagen und ihre Komponenten steigen. Die alte Faustformel von den 5 g R134a, die pro Jahr und Verbindungsstelle höchstens austreten dürfen, ist durch die neuen Kältemedien in Zukunft wohl überholt.



Lebenszyklen der Kältemittel, mit GWP-Wert (Treibhauspotenzial) und ODP-Wert (Ozonabbau).

Ein Kältemittelverlust von 5 g/a entspricht einer Heliumleckrate von $4 \cdot 10^{-5}$ mbar·l/s. Derzeit werden die meisten Komponenten der Klimaanlage darum noch gegen Leckraten in einer Größenordnung von 10^{-4} bis 10^{-5} mbar·l/s geprüft. Für Klimaanlageenschläuche etwa benutzt man dazu eine Helium-Prüfung in der Vakuumkammer, weil sich so kurze Taktzeiten erzielen lassen. Komponenten, die in Akkumulations- oder Vakuumkammern geprüft werden, sind beispielsweise Verdampfer, Kondensatoren oder Füllventile. Um eine Grobdichtheitsprüfung an Klimaanlagen durchzuführen, sind aber auch Druckanstiegs- und Druckabfallmessungen noch weit verbreitet. Damit lassen sich natürlich nur größere Leckraten im Bereich 10^{-2} bis 10^{-3} mbar·l/s feststellen.

Automobilhersteller erwarten zwar, dass der Zulieferer bereits eine Qualitätssicherung übernimmt und auf Dichtheit prüft, dennoch ist nach dem Einbau der Klimaanlage noch eine Dichtheitsprüfung an den vielleicht drei bis sechs Verbindungsstellen der Klimaanlage notwendig, die der Autobauer selbst montiert hat. Autoherstellern ist darum an einer möglichst geringen Zahl solcher Verbindungsstellen gelegen. Zumal gerade bei teureren Fahrzeugen mit aufwändigerer Verschalung zum Innenraum hin diese Stellen nur schwer zugänglich sind.

Die Dichtheitsprüfung der Verbindungsstellen findet dann meist in der Endmontage mit einem Schnüffellecksuchgerät statt. Früher wurden als Prüfgase Formiergas oder Helium verwendet, heute weisen Schnüffellecksuchgeräte die jeweiligen Kältemittel

aber oft direkt nach und messen Spuren von ausgetretenem R134a, R1234yf oder CO_2 . Fahrzeuge, die eine Vorprüfung mittels Druckanstieg nicht bestehen, werden erst gar nicht mit dem Kältemedium befüllt.

2.2.2 Der Antriebsstrang

Bei vielen Antriebsstrangkomponenten sind noch integrale Dichtheitsprüfverfahren wie Druckabfall oder Differenzdruck die Regel. Typische Leckraten, gegen die zum Beispiel die Ölkreisläufe von Motorblöcken oder Zylinderköpfen geprüft werden, liegen in einer Größenordnung von ungefähr 10^{-1} bis 10^{-2} mbar·l/s (~ 12 bis 1 sccm). Bei den Wasserkreisläufen von Motorblöcken und Zylinderköpfen begnügt man sich dagegen oft mit ungefähr 10^{-1} mbar·l/s (~ 10 sccm). Wasserdichtheit wäre zwar erst durch Grenzleckraten von ungefähr 10^{-3} mbar·l/s (~ 0,05 sccm) garantiert, nur kann gegen solche Leckraten mit dem oft noch eingesetzten Druckabfallverfahren nicht geprüft werden.



Leckortung an einem Motor.

Bei Drehmomentwandlern lag der Standard für die zulässige Leckrate bisher meist bei 10^{-2} mbar·l/s. Aber angesichts der inzwischen aufkommenden,

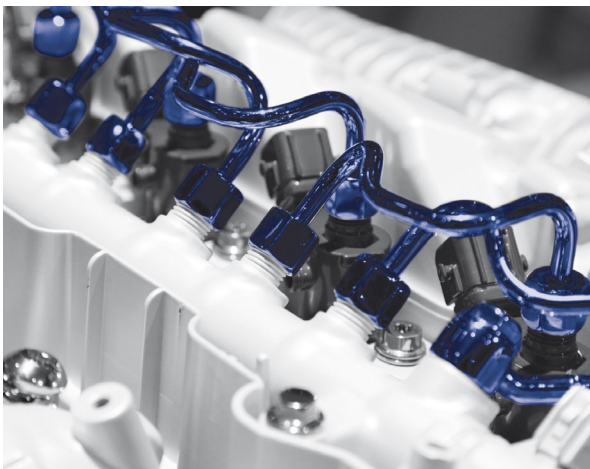
technisch anspruchsvollen 9- und 10-Gang-Automatikgetriebe darf man davon ausgehen, dass in Zukunft gegen Leckraten von 10^{-3} oder sogar 10^{-4} mbar·l/s geprüft werden muss. Dies bedeutet auch, dass die Prüfung einer modernen Wandlerautomatik am besten mit Prüfgas in der Akkumulations- oder Vakuumkammer erfolgt. Auch für Ladeluftkühler, bei denen die typischen Leckraten von 10^{-3} mbar·l/s betragen, bietet sich eine integrale Dichtheitsprüfung mit Helium an.

Wenn ein Prüfteil bei der Dichtheitsprüfung durchgefallen ist, wird es heute oft noch ins Wasserbad getaucht, um die Leckstelle zu lokalisieren. Bei Gussgehäusen mag dies noch eine sinnvolle und vergleichsweise schnelle Methode sein. Eine moderne Wandlerautomatik im Wert von mehreren Tausend Euro im Wasserbad zu versenken, um sie anschließend wieder aufwendig trocknen und säubern zu müssen, ist aber vielleicht doch nicht der beste Ansatz, um ein Leck zu lokalisieren. Ganz abgesehen davon, dass man dabei zur Lecksuche ein Verfahren einsetzt, dessen Nachweisgrenze von 10^{-2} mbar·l/s um den Faktor hundert oder tausend schlechter ist als die Leckrate, gegen die man zuvor die Dichtheit geprüft hat. Mit einem Schnüffellecksuchgerät und Prüfgasen wie Helium oder Formiergas ist man in solch einer Situation weit besser gerüstet. Zumal ein Wasserbad immer die Gefahr von Rost und von Schäden an elektrischen Teilen birgt.

In vielen Fällen wird das Prüfbecken natürlich schon deshalb benutzt, weil es einfach aus historischen Gründen noch vorhanden ist. Allgemein gilt aber die Faustregel: je größer das Prüfteil, desto häufiger tritt die Schaumprüfung an die Stelle des Wasserbads. Bei Motorblöcken etwa werden undichte Stellen gerne mit Lecksuchspray lokalisiert. Dem anschließenden Trocknungs- und Reinigungsaufwand entgeht man aber auch damit nicht. Sauberer, effizienter und genauer ist die Schnüffellecksuche mit einem Prüfgas.

2.2.3 Treibstoffsysteme

Für etliche Komponenten des Treibstoffsystems bietet sich eine integrale Dichtheitsprüfung mit Helium in der Akkumulationskammer an. Die Leckraten, gegen die moderne Einspritzventile heute geprüft werden müssen, liegen im Bereich von 10^{-4} bis 10^{-5} mbar-l/s. Benzinpumpen werden heute auf Leckraten in der



Common-Rail-Einspritzanlage.

Größenordnung von 10^{-4} mbar-l/s geprüft. Common-Rail-Einspritzeinrichtungen haben wegen der besonders hohen Drücke, mit denen sie betrieben werden, oft noch höhere Dichtheitsanforderungen – die Größenordnungen liegen hier zwischen 10^{-4} bis 10^{-6} mbar-l/s.

Weniger anspruchsvoll sind Dieselfilter, die oft gegen eine Leckrate von ungefähr 10^{-2} mbar-l/s getestet werden. Generell gelten für Treibstoffsysteme, Kraftstofftanks und Kraftstoffleitungen immer höhere Dichtheitsanforderungen. Ein Treiber dafür sind strenge US-amerikanische und besonders kalifornische Vorschriften zur Vermeidung von Kohlenwasser-



Kraftstofftank eines LKW.

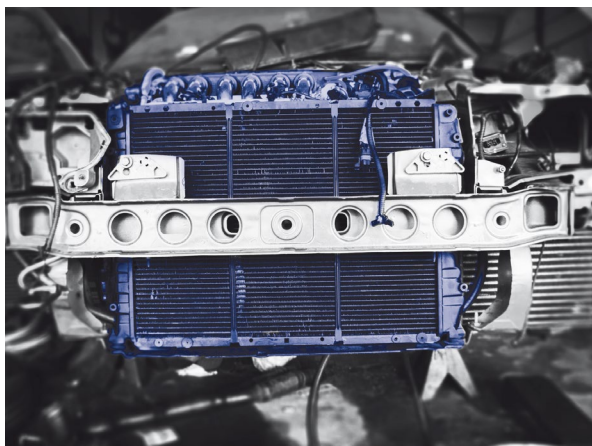
stoffemissionen. Dies macht auch die Verwendung prinzipiell permeabler Kunststoffe problematisch. Kraftstofftanks und Kraftstoffleitungen werden darum heute von vielen Herstellern gegen Leckraten

von 10^{-4} bis 10^{-6} mbar-l/s getestet. Dies schließt die Verwendung von Methoden wie Wasserbad oder Druckabfall und Differenzdruck aus – solch eine Grenzleckrate ist bei der integralen Dichtheitsprüfung nur mit Prüfgasen erzielbar.

Für kleinere Teile wie Einspritzventile oder Motorradtanks bietet sich die Prüfung in der Akkumulationskammer an. Weil die Nachweisgrenze der Akkumulationsmethode aber vom freien Volumen der Prüfkammer abhängt, werden sehr große Teile mit der Vakuummethode geprüft.

2.2.4 Öl- und Wasserkreislauf

Die strengsten Dichtheitsanforderungen im Bereich der Öl- und Wasserkreisläufe des Fahrzeugs werden wohl an Ölkühler gestellt. Typische Leckraten sind hier 10^{-2} bis 10^{-4} mbar-l/s, wofür sich die kostengünstige Akkumulationskammer empfiehlt. Ähnlich hoch



Flüssigkeitskühler.

sind auch die Anforderungen an Kunststoff-Öltanks in Fahrzeugen – sie werden aus Geschwindigkeitsgründen aber meist in der Vakuumkammer geprüft, gegen Leckraten von 10^{-3} mbar-l/s. Was eine Prüfung etwa mit Druckabfall oder Differenzdruckverfahren hier problematisch macht, ist natürlich die Verformbarkeit des Kunststoffmaterials, die die Ergebnisse der Prüfung grob verfälschen kann. Andere Komponenten wie Ölwanne und Ölpumpen werden oft gegen Leckraten von 10^{-2} mbar-l/s getestet. Zum einen geht es bei der Dichtheitsprüfung natürlich darum, dass kein Öl austreten soll, aber dass kein Wasser in den Ölkreislauf eindringt, ist ebenso bedeutsam.

Bei Wasserpumpen und Wasserkühlern dürfen die Leckraten eine Größenordnung von 10^{-2} mbar-l/s oft nicht übersteigen. Bei Wasserkühlern wird gar nicht selten noch eine Dichtheitsprüfung im Wasserbad versucht. Aber gerade bei einem Kühler-Gussteil mit seiner feinen Rippenstruktur ist das Wasserbad problematisch. Denn es bilden sich vielleicht Blasen, aber weil sie sich nicht vom Prüfteil ablösen, kann der menschliche Prüfer sie dann doch nicht wahrnehmen. Hier sind Prüfgasverfahren deutlich zuverlässiger. Auch die Druckabfallmethode ist für Wasserkühler wenig geeignet. Ein Kühler ist seiner Bestimmung nach sehr anfällig für Temperaturänderungen – die würden eine Druckabfallmessung aber stark verfälschen.

2.2.5 Sicherheitsfunktionen

Für alle unmittelbar sicherheitsrelevanten Komponenten des Fahrzeugs sind die Ansprüche an die Dichtheit naturgemäß recht hoch. Für Bremsschläuche, Bremsflüssigkeitsbehälter und Bremskraftverstärker bewegt sich die typische Leckrate in Größenordnungen von 10^{-3} bis 10^{-4} mbar-l/s, sodass sich eine Helium-Prüfung in der Akkumulationskammer empfiehlt.

Gasgeneratoren von Airbags haben in jüngerer Zeit durch umfassende Fahrzeugrückrufaktionen unruhlich von sich reden gemacht. Um auszuschließen, dass Feuchtigkeit in pyrotechnische Gasgeneratoren eindringt, wird heute meist gegen eine Leckrate von 10^{-6} mbar-l/s geprüft. Oft bedient man sich dazu der Methode des Bombing: Der Zünder wird dafür zunächst in einer Druckkammer einem Helium-Überdruck ausgesetzt, sodass das Prüfgas durch etwaige Lecks in das Prüfteilinnere eindringt. Anschließend kommt der Zünder in eine Vakuumkammer. Nach der Evakuierung der Vakuumkammer kann das Helium im Prüfteil in die Kammer austreten und dort von Massenspektrometern gemessen werden.

Sogar noch etwas höher sind die Dichtheitsanforderungen an Kaltgasgeneratoren für Airbags. In ihnen ist meist ein Helium-Argon-Gemisch gespeichert. Damit dieses Gasgemisch bei seiner Freisetzung den Airbag aufbläst, steht es unter hohem Druck. Dieser Druck muss wenigstens zehn Jahre lang



Airbag-Auslösetest.

erhalten bleiben – wobei manche Hersteller auch mit 15 oder 17 Jahren kalkulieren. Die Dichtheit von Kaltgasgeneratoren wird darum in der Vakuumkammer geprüft, oft gegen eine Leckrate von 10^{-7} mbar-l/s.

2.2.6 Felgen, Stoßdämpfer und weitere Komponenten

Auch bei Aluminiumfelgen spielt Dichtheit eine wichtige Rolle. Dies gilt für die teuren Leichtmetallräder, die aus zwei Teilen geschweißt sind, ebenso wie für die einfacheren gegossenen Leichtmetallfelgen. Bei gegossenen Felgen ist es wichtig, Porosität auszuschließen, damit schlauchlose Reifen nicht über poröse Stellen in der Felge Luft verlieren. Moderne Felgen werden darum oft in der Vakuumkammer gegen eine Leckrate von ungefähr 10^{-4} mbar·l/s getestet – dieselbe Methode und dieselbe typische Leckrate, die auch bei der integralen Dichtheitsprüfung von Stoßdämpfern verwendet wird. Für Servoölbehälter und für das Gehäuse der Servolenkung bietet sich die Helium-Prüfung in der Akkumulationskammer an. Die Leckraten bewegen sich hier üblicherweise in einer Größenordnung von 10^{-2} bis 10^{-4} mbar·l/s.

Auch für die integrale Dichtheitsprüfung von Batterien bietet sich prinzipiell die Akkumulationskammer an. Die Leckrate, die eine Autobatterie bei der Prüfung nicht überschreiten darf, liegt meist in der Region von 10^{-3} mbar·l/s. Derzeit werden Batterien allerdings noch oft mit der Druckabfallmethode geprüft, die prinzipbedingt mit der Verformbarkeit der Kunststoffgehäuse zu kämpfen hat.



TOP 10 der häufigsten Fehler bei der Dichttheitsprüfung



1 Falsche Methode
Die Wahl der Dichttheitsprüfmethode für einen Anwendungsfall wird nur anhand der Grenzleckrate getroffen, weitere wichtige Einflussfaktoren bleiben unberücksichtigt.

2 Falscher Testzeitpunkt
Oft ist es sinnvoll, einzelne Teilkomponenten schon vor dem Zusammenbau auf Lecks zu testen, ein defektes Teil später auszutauschen ist meist aufwendiger.



3 Verunreinigtes Prüfteil
Die Dichttheitsprüfung oder die Lecksuche sollten immer an gereinigten und trockenen Prüfteilen stattfinden, da sich kleine Leckstellen sonst zugesetzt haben könnten.

4 Unberücksichtigte Temperatureinflüsse
Schon kleine Temperaturschwankungen können die Größe des Lecks sowie die messbaren Leckraten verändern und somit zum Ausschluss bestimmter Prüfmethoden führen.



5 Schwankender Prüfdruck
Um Leckraten zuverlässig und reproduzierbar ermitteln zu können, ist es bei Prüfungsmethoden entscheidend, das Prüfteil immer mit demselben konstanten Druck zu befüllen.

6 Unterschätzte Kriech- und Groblecks
Wie lange braucht das Spürgas, um sich so zu verteilen, dass es auch aus Kriechlecks austritt? Oder entweicht etwa schon vor der Prüfung Helium aus dem Prüfteil?



7 Nicht-Wissen
Eine reproduzierbare Messmethode ist der bloßen Wahrnehmung eines Prüfers vorzuziehen. Nur muss man dabei immer wissen, was man eigentlich misst und mit welchem Prüfmedium.



8 Keine Kalibrierung der Prüfanlage
Funktionsweise und Genauigkeit der Anlage sollten regelmäßig mit einem stets gleich großen Referenz- bzw. Kalibrierleck überprüft werden.

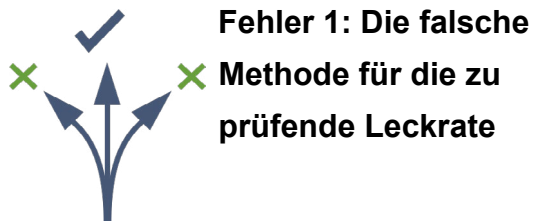
9 Vernachlässigte Wartung
Um Genauigkeits- und Kostenproblemen vorzubeugen, gilt es, alle Verbindungsstellen, Schläuche, Prüfteilhalterungen etc. regelmäßig zu kontrollieren.



10 Selber machen wollen
Die geeignete Prüfmethode zu wählen, die Anlage richtig zu konfigurieren und den Prüfprozess so zuverlässig zu gestalten wie irgend möglich, ist eine Aufgabe für Fachleute.



2.3 Die Top 10 der häufigsten Fehler bei der Dichtheitsprüfung



Oft ist dafür die Wasserbadmethode verantwortlich: Sieht der Prüfer keine Blasen, gibt es auch kein Leck. Der Prüfer vertraut dem, was er nicht sieht, und ist zufrieden. Zu Recht? Im Grunde ist es trivial: eine Grundbedingung dafür, ob sich eine Dichtheitsprüf- oder Lecksuchmethode für einen bestimmten Anwendungsfall eignet, ist natürlich ihre Grenzleckrate. Erstaunlich bleibt, wie oft in der Praxis dennoch gegen diese Bedingung verstoßen wird. Da werden Kunststoffteile mit der Druckabfallmethode geprüft, ohne deren Verformbarkeit und die Volumenänderung durch die Druckluft zu bedenken. Aber auch die Leckraten von integraler Dichtheitsprüfung und anschließender Lecksuche müssen zueinander passen. Mitunter wird für die integrale Dichtheitsprüfung zwar mit Helium in der Kammer geprüft, aber für eine anschließende Lokalisation des Lecks vertraut man auf das Wasserbad, anstatt sich der Schnüffellecksuche mit Prüfgas zu bedienen.



Man sollte sich gut überlegen, an welcher Stelle des Produktionsprozesses man eine Dichtheitsprüfung am besten durchführt. Oft ist es sinnvoll, einzelne Teilkomponenten schon vor dem Zusammenbau auf Lecks zu testen. So ist es beispielsweise eine sehr gute Idee, die Dichtheit eines Getriebegehäuses bereits zu prüfen, bevor das Getriebe zusammengebaut wird. Denn wenn das Gehäuse dann in der Serienprüfung durchfällt und ausgeschleust werden muss, ist der Aufwand ungleich höher – die Arbeitszeit für den Zusammenbau des Getriebes ist dann verloren.



Fehler 3: Das Prüfteil ist bereits verunreinigt

Generell und für alle Prüfmethode n gilt: Die Dichtheitsprüfung oder die Lecksuche sollten immer an jungfräulichen Prüfteilen stattfinden. Wenn eine Komponente schon in Betrieb gewesen ist oder bereits mit Öl oder Wasser befüllt war, ist die Gefahr groß, dass sich kleine Leckstellen zugesetzt haben. Druckluft oder Spürgase können dann unter Umständen gar nicht mehr aus dem Prüfteil entweichen (oder in es eindringen). Auch an Gussteilen finden sich nach ihrem Bearbeitungsprozess mitunter Schneidölrückstände. Vor einer Dichtheitsprüfung muss man diese Prüfteile also erst reinigen. Anschließend an die Reinigung muss man das Prüfteil dann zudem noch trocknen, schon um zu verhindern, dass die Reinigungsflüssigkeit etwaige Lecks kurzzeitig zusetzt.



Fehler 4: Temperatur- veränderungen bleiben unberücksichtigt

Nicht zuletzt für integrale Dichtheitsprüfungen nach dem Prinzip der Druckabfall- oder Differenzdruckmessung stellen Temperaturveränderungen ein gravierendes Problem dar. Schon kleine Temperaturveränderungen können die messbaren Leckraten um mehrere Größenordnungen verändern. Aber auch die Größe eines Lecks wird durch einen Temperaturanstieg und das Ausdehnungsverhalten des zu prüfenden Materials beeinflusst. Bei einem Abgaskühler etwa treten Lecks mitunter erst auf, wenn er seine typische Betriebstemperatur erreicht hat. Manche Hersteller nehmen darum sogar Typenprüfungen in Klimasimulationskammern vor.



Fehler 5: Der Prüfdruck schwankt

Um Leckraten zuverlässig und reproduzierbar ermitteln zu können, ist es auch bei Prüfgasmethoden entscheidend, das Prüfteil immer mit demselben konstanten Druck zu befüllen. Automatisierte Prüfgasfüllsysteme schaffen hier Abhilfe. Aber Vorsicht: Bei manchen Prüfteilen ist die korrekte Befüllung nur nach einer vorherigen Evakuierung möglich. Wärmetauscher etwa bestehen meist aus langen, schlangenartigen Rohrsystemen. Füllt man hier Prüfgas ein, erhöht man zwar den Druck im Prüfteil, aber nur durch eine vorherige Evakuierung ist gewährleistet, dass das Prüfgas etwaige Leckstellen auch immer erreicht. Zudem wird gerade bei der Heliumprüfung oft die Spürgaskonzentration reduziert, um Prüfkosten zu senken. Bei manchen Prüfungen arbeitet man sogar mit einem Helium-Anteil von nur 1 % – die angemessene Verteilung des Prüfgases ist dann noch wichtiger.



Fehler 6: Kriechlecks und Groblecks werden unterschätzt

Nicht zuletzt für Airbag-Hersteller haben sie sich als Problem erwiesen: sogenannte Kriechlecks, die aus kapillarartigen Gängen bestehen. Hier ist es für die erfolgreiche Prüfung wichtig zu bedenken, wie lange es dauert, bis das Spürgas Helium sich so verteilt hat, dass es auch aus solchen Kriechlecks austritt. Arbeitet man aber mit sehr kurzen Zeiten zwischen der Befüllung und der Prüfung, ist es schwierig oder gar unmöglich, Kriechlecks überhaupt zu identifizieren. Ein anderes Beispiel: Auch an Kabeldurchführungen gibt es gegebenenfalls Leckkanäle von mehreren Zentimetern Länge – bis das Prüfgas aus ihnen austritt, kann es einige Minuten dauern. So etwas wie das Gegenteil eines Kriechlecks ist ein Grobleck. Es kann passieren, dass durch das Grobleck schon vor dem eigentlichen Prüfintervall alles Helium aus dem Prüfteil entweicht. Gegebenenfalls hat man dann die Vakuumprüfkammer evakuiert und das mit Helium beaufschlagte Prüfteil gleich mit. Gelegentlich wird aus diesem Grund sogar eine einfache Druckabfallprüfung in die Prüfgasanlage integriert. Sie soll etwaige Groblecks noch vor dem Befüllen mit Helium identifizieren.



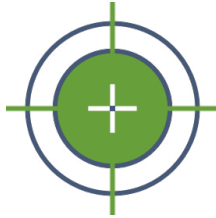
Fehler 7: Die Prüfer wissen gar nicht, was sie eigentlich messen

Es ist oft ein großer Schritt in die richtige Richtung, wenn man für eine integrale Dichtheitsprüfung eine reproduzierbare Messmethode einsetzt, statt sich weiter auf die bloße Wahrnehmung eines menschlichen Prüfers zu verlassen. Nur muss man dabei immer wissen, was man eigentlich misst und mit welchem Prüfmedium. Gelegentlich sind Leckraten für Luft spezifiziert, aber Helium hat eine etwas höhere dynamische Viskosität als Luft – für die exakte Leckrate braucht es also eine Umrechnung. Wenn bei der integralen Dichtheitsprüfung von Klimaanlage gegen Leckraten in g/a gemessen werden soll – also eine entweichende Masse pro Jahr –, muss man bedenken, dass das Helium-Messgerät, das bei der Prüfung verwendet wird, unter Umständen aber einen Volumenstrom von Helium in mbar·l/s angibt – wenngleich Geräte wie etwa der Protec P3000 von INFICON eine automatische Umrechnung vornehmen.

Die exakten Umrechnungsfaktoren dieser Einheiten ergeben sich aus den unterschiedlichen Molekulargewichten der Kältemittel. Wird aus Kostengründen mit verdünnten Helium-Gemischen gearbeitet, verändern sich wiederum die Helium-Konzentrationen, die gemessen werden können. Zudem gelten Dichtheitsanforderungen immer für einen bestimmten

Betriebsdruck. Der Druck, mit dem geprüft wird, wird aber oft davon abweichen. Er kann höher oder auch niedriger als der spätere Betriebsdruck des Prüfteils sein – was ebenfalls eine Umrechnung der Leckrate erforderlich macht.

Auch wäre es ein schwerer Irrtum, wenn man eine Konzentration eines Gases, die manche Messgeräte auch in Parts per million (ppm) angeben, bereits mit einer Leckrate gleichsetzen wollte. Die Konzentration ist eine Momentaufnahme, sie gibt lediglich an, wie viele Teilchen sich in einem bestimmten Augenblick in einem gegebenen Raum befinden. Die Leckrate gibt dagegen an, wie groß der Volumenstrom durch ein Leck ist.



Fehler 8: Es findet keine Kalibrierung der Prüfanlage statt

Mitunter können Fehler im Prüfaufbau schon dadurch identifiziert werden, dass man die Funktionsweise und Genauigkeit seiner Anlage regelmäßig mit einem Referenzleck überprüft, das durch seine definierte Größe immer dieselbe Leckrate verursacht. Wird diese Leckrate in der Prüfung nicht ermittelt, steht fest: Die Anlage hat ein Problem. Man ist gut beraten, sich für ein Prüfleck in Gestalt einer Glaskapillare zu entscheiden. Für weniger anspruchsvolle Prüflecks wird Metall zu einer Engstelle gequetscht. Deren exakte Größe kann allerdings temperatur- und druckabhängig stark variieren – Glaskapillaren sind darum besser geeignet. Eine regelmäßige Überprüfung der Anlage mit einem Kalibrierleck verhindert mitunter auch andere, sehr grundlegende Probleme: es soll schon vorgekommen sein, dass Prüfer eine Sauerstoff- statt einer Heliumflasche an ihre Anlage angeschlossen haben.



Fehler 9: Die Wartung der Prüfanlage wird vernachlässigt

Wenn an einer Prüfstation über Tage oder Wochen keine Leckraten gemessen werden, die größer sind als die, mit denen das Prüfteil den Test noch besteht, ist das entweder ein Zeichen für die immense Qualität der Produktion – oder ein Indikator für eine unzureichend funktionierende Prüfanlage. Mitunter sind es schon undichte Prüfgaszuleitungen, die verhindern, dass in der Prüfkammer korrekt gemessen wird. Alle Verbindungsstellen, Schläuche, Prüfteilhalterungen etc. sollten darum regelmäßig kontrolliert werden. Manchmal finden sich an Prüfgasanlagen auch unfachmännisch ausgeführte, notdürftige Reparaturen. Wenn man eine Verbindungsstelle mit Teflonband umwickelt, in der Hoffnung, die Verbindung sei anschließend dicht, hat man sich getäuscht. Durch das poröse Teflonband wird jedenfalls Heliumgas entweichen – ein Genauigkeits- und ein Kostenproblem.



Fehler 10: Wir können das schon selbst

Vielleicht, aber überlegen Sie sich das gut. Wenn man in Sachen industrieller Dichtheitsprüfung und Lecksuche einen Rat geben kann, dann den: Wenden Sie sich an Fachleute, lassen Sie sich beraten. Die geeignete Prüfmethode für eine bestimmte Applikation zu wählen, die Anlage richtig zu konfigurieren und den Prüfprozess so narrensicher und zuverlässig zu gestalten wie irgend möglich – das ist keine triviale Aufgabe. Holen Sie sich darum professionelle Unterstützung. Wenn Sie wirklich die Qualität in Ihrer Produktion sichern und kostspielige Rückrufaktionen vermeiden wollen, ist es nicht damit getan, dass Sie Ihr Gewissen beruhigen, indem Sie „ja schon irgendetwas prüfen“. Ein negativer Test ist eben noch nicht die Garantie dafür, dass ein Prüfteil die gesetzten Anforderungen tatsächlich erfüllt – diese Garantie haben Sie nur, wenn Ihre Prüfmethode und -prozesse wirklich zuverlässig funktionieren. Wenn Sie das Richtige prüfen und auf die richtige Weise. An jedem Tag und in jeder Schicht.

Teil 3

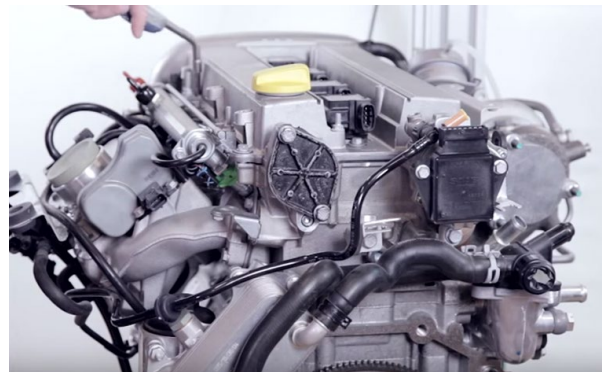
Anhang

3.1 Weiterführende Links

3.1.1 Videos



Roboterassistierte Dichtheitsprüfung an GDI-Motoren.



Lecklokalisierung an Motoren in der Nacharbeit.



Dichtheitsprüfung an Verdampfern für Autoklimaanlage mit T-Guard.



Dichtheitsprüfung an Klimaanlage schläuchen.

3.1.2 Applikationsbeschreibungen

- a) Dichtheitsprüfung an Getrieben
- b) Dichtheitsprüfung an Kunststoffbehältern
- c) Dichtheitsprüfung an Einspritzventilen
- d) Dichtheitsprüfung an Wärmetauschern
- e) Dichtheitsprüfung an Airbag-Gasgeneratoren
- f) Dichtheitsprüfung an Kraftstoff- / DEF-Tanks
- g) Dichtheitsprüfung an Fuel rails
- h) Dichtheitsprüfung an Felgen

3.2 Impressum

Herausgeber: INFICON GmbH, Köln (www.inficon.com)

Redaktion und Layout: Möller Horcher Public Relations GmbH, Offenbach und Freiberg
(www.moeller-horcher.de)

© INFICON 2015

3.3 Abbildungsnachweis

Titelbild:	Shutterstock © Philip Lange
Titelbild:	Shutterstock © masuti
Titelbild:	Shutterstock © Vladimiroquai
S. 7:	Shutterstock © junron
S. 8:	Inficon
S. 10:	Inficon
S. 20:	Inficon
S. 25:	Shutterstock © Philip Lange
S. 26:	Inficon
S. 27:	Shutterstock © Snw
S. 29:	Shutterstock © Thailand Travel and Stock
S. 31:	Inficon
S. 32:	Fotsearch © csp_Reeed
S. 32:	Shutterstock © Philip Lange
S. 33:	Shutterstock © masuti
S. 34:	Shutterstock © hxdbzxy
S. 35:	Shutterstock © Vladimiroquai
S. 47:	Inficon
S. 52:	Inficon

3.4 Über INFICON

Die INFICON GmbH in Köln (www.inficon.com) ist einer der weltweit führenden Entwickler, Produzenten und Anbieter von Instrumenten und Geräten für die Dichtheitsprüfung. Die Lecksuchgeräte werden bei anspruchsvollen Industrieprozessen in der Produktion und Qualitätskontrolle eingesetzt und decken eine große Bandbreite von Anwendungen ab. Hauptkunden von INFICON sind Hersteller und Serviceunternehmen von Klima- und Kühlgeräten, die Automobil- und Automobilzulieferindustrie, die Halbleiterindustrie sowie Hersteller von Dichtheitsprüfanlagen. Nahezu alle Automobilhersteller und ihre Zulieferer zählen zum Kundenkreis. Mit Technologie von INFICON werden beispielsweise Airbags, Klimaanlage und deren Komponenten, Kraftstofftanks, Einspritzanlagen und alle Arten von Flüssigkeitsbehältern getestet (www.inficonautomotive.com).



Die INFICON GmbH in der Bonner Straße 498 in Köln.

INFICON blickt inzwischen auf mehr als fünf Jahrzehnte Erfahrung in der Lecksuchtechnik zurück. Über Produktionsstätten in Köln (Deutschland), Balzers (Liechtenstein), Linköping (Schweden), Syracuse (USA) und Shanghai (China) sowie über Vertriebsbüros in allen wichtigsten Industrieländern und ein erweitertes Netz von Vertriebspartnern wickelt INFICON den weltweiten Vertrieb ab. Im Geschäftsjahr 2013 erreichte die INFICON AG mit ihren ca. 950 Mitarbeitern einen weltweiten Umsatz von 293 Mio. US\$. Die Namensaktien von INFICON (IFCN) werden an der SIX Swiss Exchange gehandelt.

3.5 Referenzen

3.5.1 PKW-Hersteller:

Adam Opel AG
Alfa Romeo
Audi
Bentley Motor Cars
BMW
Brilliance Jinbei
Bugatti
BYD
Changan Automobile
Chrysler
Daewoo Tata
Daimler
Dongfeng Motor
Ferrari
Fiat Chrysler
Ford
Foton Motor
Geely
General Motors
Great Wall Motor
Honda
Hyundai
Isuzu
Jaguar
Kawasaki
Kia
Land Rover
Maserati
Mazda

Mercedes-Benz
Mitsubishi Motors
Nissan
OAO ZMA (Sollers ZMA)
Peugeot Citroën Automobiles
Porsche AG
Qoros Motors
Renault
Rolls-Royce Motor Cars
Rover
Saab
Seat
Skoda Auto
Toyota Motor
Volkswagen
Volvo
Wuling Motors

3.5.2 Hersteller schwerer Fahrzeuge:

Bobcat
Caterpillar
Claas
Evobus
IVECO
John Deere
Liebherr Baumaschinen
MACK Trucks
MAN
Motor Coach Industries
Scania
Sinotruk

3.5.3 Automobilzulieferer:

ABC Group Fuel Systems, Inc.

Aeroquip

Alcoa Wheels

Allgaier Automotive

Allison Transmission

ARC Automotive (Atlantic Research Corporation)

Autoclima

Autoliv

Behr

Benteler Automobiltechnik

Bergstrom Climate Systems

Bertrandt

Borbet

Borg Warner

Brunel Car Synergies

Calsonic Kansei

Central Motor Wheel of America

Chaoli Hi-Tech

Cinetic Automation

Clean Energy

Coclisa

Cognis

Continental Automotive

ContiTech

Cummins Inc.

Dare Wheel Manufacturing

Dayco

Delphi Automotive

Denso

Deutsche ACCUotive

Deutz AG

Dicastal Weel

Dominion Technology

Dürr Somac

Durr Systems

Eaton

Eberspächer

EDAG

ElringKlinger

Federal Mogul

Flextronics Automotive

FTS

Frankling Precision Industry

Freudenberg

Fuel Cell Energy

FuelCon

Fuel-Tec

Getrag

GLS Automotive

Grammer

Griffin Thermal Products

Halla Climate Control

Halla Visteon

Hayes Lemmerz Alukola

Hella KG

Hengst

Hirschvogel

Honeywell

H S Automotive

Hutchinson (SNC)

INERGY Automotive Systems

Ingersoll Rand

IPETRONIK

ixetic

Johnson Controls
Kautex
Kayser Automotive System
KB Autotech
Keihin
KEPICO
Key Safety Systems
Köhler Automobiltechnik
Kostal
KTM Kühler
Landi Renzo
Leonardo
Lovato Gas
LuK Fahrzeug-Hydraulik
Magna
Magnetti Marelli
Mahle
Mammoth Air Conditioning
Mangels
Mann + Hummel
Manuli Auto
Martinrea Industries
MCS Cylinder Systems
Mecachrome
Michigan Automotive Compressor
Microflex Automotive
Mobile Climate Control
Modine
Motion Industrie
MTU
Navistar
NHK
Nichirin
NOK
NuCellSys
Parker Hannifin
Perkins Motors
Philips Automobile Lightning
Robert Bosch
Sanden Behr Automotive
Sanden Manufacturing
Sanhua Automobile
Schrader
Senstar Automotive
SMA Metalltechnik
Takata
TI Automotive
Tokyo Industries
Tokyo Radiator
Topvalue Global
Topy America, Inc.
TRW Vehicle Safety Systems
Valeo
Valeo Fawer Compressor
VDO Siemens
Vibracoustic
Visteon
Zexel Valeo Compressor

3.6 Kontakt zu INFICON

Online-Kontaktformular

INFICON GmbH

Vertrieb

Bonner Str. 498

50968 Köln

Deutschland

Tel: +49(0)221-56788-100

E-Mail: reachgermany@inficon.com

Internet: www.inficonautomotive.de

