

Merkblatt Nr. EFB 3486

Dichtheitsprüfung von mechanischen Verbindungen

Arbeitsgruppe: Mechanisches Fügen

Untergruppe: AGMF-8 „Prüfung und Verbindungseigenschaften“

Stand: Januar 2024

Dieses Merkblatt wurde durch eine Gruppe von ehrenamtlich tätigen erfahrenen Experten und Expertinnen innerhalb einer Arbeitsgruppe der Europäischen Forschungsgesellschaft für Blechverarbeitung e.V. erarbeitet und wird als wichtige unverbindliche Erkenntnisquelle empfohlen. Die Anwender und Anwenderinnen haben jeweils zu prüfen, inwieweit der Inhalt auf ihre speziellen Fälle anwendbar ist und ob die vorliegende Fassung des Merkblatts Gültigkeit besitzt. Die Haftung der Erstellenden, der an der Ausarbeitung und Freigabe Mitwirkenden sowie der EFB ist ausgeschlossen.

© EFB Europäische Forschungsgesellschaft für Blechverarbeitung e. V.
Lothringer Str. 1 | 30559 Hannover
Fon +49 (511) 971 75-0 | Fax +49 (511) 971 75-19 | www.efb.de
Bezug über <https://shop.efb.de>

Nachdruck und Kopie, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung des Herausgebers

Inhalt

Schlagworte	2
1 Zweck des Merkblattes	3
2 Grundlagen	3
3 Begriffe und Definitionen.....	3
3.1 Dichtheit.....	3
3.2 Klassifizierung.....	3
4 Dichtheitsprüfverfahren.....	5
4.1 Methoden ohne Prüfgas	5
4.2 Methoden mit Prüfgas.....	7
5 Dichtheitsprüfungskonzepte	10
5.1 Elementar (Einpunktprobe).....	10
5.2 Hybrid (Mehrpunktprobe + Kleben)	10
5.3 Musterbauteil	10
6 Ergebnisdokumentation	11
7 Schrifttum	11
7.1 Regelwerke:	11
7.2 Richtlinien und Merkblätter	11
7.3 Literatur.....	12
8 Beteiligte Forschungseinrichtungen.....	12
9 Beteiligte Unternehmen	12

Schlagworte

- (1) In der Offenlegung werden die Absätze des Fließtextes nummeriert, damit die Anmerkungen anhand der Absatznummern leicht nachzuverfolgen sind.

1 Zweck des Merkblattes

- (2) Bei der Anforderung der Dichtheit an mechanische Fügeverfahren soll das Merkblatt dem Anwender einen Überblick über die Dichtheitsprüfverfahren sowie Dichtheitsprüfkonzepte an mechanischen Verbindungen geben.
- (3) With regard to the requirement for tightness in mechanical joining processes, the bulletin is intended to provide the user with an overview of the tightness test methods as well as tightness test concepts on mechanical joints.

2 Grundlagen

- (4) Leckagen können bei mechanischen Verbindungen in verschiedenen Ebenen auftreten. So können am Beispiel der in Bild 1 dargestellten Schraubverbindung an folgenden Stellen Leckagen auftreten:
- Im Bereich der Schraubenkopfauflage
 - In den Trennfugen der gepaarten Schraubmaterialien
 - Entlang des gepaarten Gewindes
- (5) Sollte bei der Dichtheitsprüfung eine Leckage festgestellt werden, so kann eine LocklAISierung durch gezieltes Abdichten einzelner Leckagekanäle erfolgen.

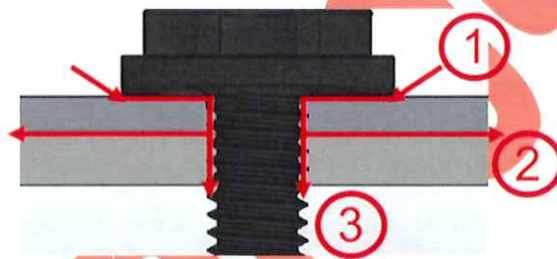


Bild 1: Prinzipdarstellung potentieller Leckagen am mechanischen Fügeelement

- (6) Bei der Dichtheitsprüfung mechanischer Verbindungen, die Leckagekanäle außerhalb des Untersuchungsbereichs aufweisen, sind entsprechende Bereiche vor der Dichtheitsprüfung abzudichten. Am Beispiel einer Einstanzmutter ist dabei das innenliegende Gewinde abzudichten.

3 Begriffe und Definitionen

3.1 Dichtheit

- (7) Absolute Dichtheit kann gemäß DIN EN 1779 nicht vorliegen. Jedes Objekt hat eine theoretische Leckagerate. Gemäß DIN EN ISO 20484 wird als Leckage eine beliebige Struktur in der Wand eines Objektes bezeichnet, durch die ein festes, flüssiges oder gasförmiges Fluid zwischen zwei Volumina aufgrund eines treibenden Druckgradienten strömen kann. Wichtig bei der Dichtheitsprüfung ist die Definition einer Nachweisgrenze, die unterschritten werden muss. Ist diese Anforderung erfüllt, so lässt sich dies als Funktionsdichtheit bezeichnen.

3.2 Klassifizierung

- (8) Zur Bewertung der Dichtheit von Fügeverbindungen sind im ersten Schritt die Dichtheitsanforderungen zu definieren. Dies kann auf Basis der IP-Schutzklassen nach ISO 20653 und durch die Definition einer

Grenzleckagerate geschehen. Für den Einsatz in Batteriegehäusen wird häufig Wasser- bzw. Dampfdichtheit gefordert:

- IP-Schutzklasse: IP X7: Wasserdicht beim 30-minütigen Untertauchen unter einer 1 m Wassersäule.

Tabelle 1: Übersicht IP-Schutzklassen [ISO 20653]

IP-Schutzart	Testvorrichtung	Testvorschrift	Testdauer
IP X1: Tropfwasser	Tropfgerät	1 mm/min	10 min
IP X2: Tropfwasser unter 15°	Tropfgerät mit Schwenktisch	3 mm/min unter 15°	4 x 2,5 min 2,5 min je Stellung
IP X3: Sprühwasser	Schwenkrohr oder Spritzbrause	0,07 l/min je Düse	10 min
IP X4: Spritzwasser	Spritzwasserkammer	0,07 l/min je Düse	10 min
IP X5: Wasserstrahl	Wasserstrahldüse Düse Ø 6,3 mm (innen)	qv = 12,5 l/min p ≈ 0,3 bar; Abstand: ca. 3 m	t = 1 min/m² t ≥ 3 min
IP X6: Druckwasserstrahl	Druckwasserstrahldüse Düse Ø 12,5 mm (innen)	qv = 100 l/min p ≈ 1 bar; Abstand: ca. 3 m	t = 1 min/m² t ≥ 3 min
IP X7: Zeitweilige Flutung	Tauchbecken Tiefe 1 m	Wassersäule > 150 mm über dem Prüfling, Tauchtiefe wählbar	30 min
IP X8: Dauerflutung	Tauchbecken Tiefe > 1 m	qv = 14 - 16 l/min p = 80 - 100 bar T = +80°C +/- 5°C	t = ∞
IP X9K Prüfung mit Flachstrahldüse	Flachstrahldüse und Drehteller	qv = 14 - 16 l/min p = 80 - 100 bar T = +80°C +/- 5°C	30 s je Position (ISO 20653)

- Aufwändige Systemintegration und Automatisierung bei 100%-Prüfungen
- + Einfacher Prüfaufbau und Handhabung
- + Einfache Umsetzung
- + Geringer finanzieller Aufwand

- (9) Grenzleckagerate unter Berücksichtigung der DIN EN 1779 individuell für Anwendungsfall festzulegen: z.B. 0,06 ml/min bzw. 10⁻³ mbar*l/s: Unterschreiten der Grenzleckagerate. Eine integrale Grenzleckagerate für bspw. ein Realbauteil muss auf Basis der Bauteilgröße festgelegt/hochskaliert werden. Die Verfahren sind objektiv und können im Rahmen einer 100%-Kontrolle gut in den Serienprozess integriert werden.

Tabelle 2: Zusammenfassung der Dichtheitsanforderungen in Leckageraten [INF16]

Dichtheitsanforderung	Lochdurchmesser (Leck)	Leckrate: q _L		Prüfmedium
Wasserdicht	0,01 mm	< 10 ⁻² mbar*l/s	< 0,6 ml/min	Druckluft (Helium)
Dampfdicht		< 10 ⁻³ mbar*l/s	< 0,06 ml/min	Druckluft, Wasserstoff (Helium)
Bakteriendicht	1 µm	< 10 ⁻⁴ mbar*l/s	< 6*10 ⁻³ ml/min	Wasserstoff (Helium)
Benzin-/Öldicht		< 10 ⁻⁵ mbar*l/s	< 6*10 ⁻⁴ ml/min	Wasserstoff, Helium
Virendicht	0,1 µm – 0,01 µm	< 10 ⁻⁶ - 10 ⁻⁸ mbar*l/s	< 6*10 ⁻⁵ - 6*10 ⁻⁷ ml/min	Helium
Gasdicht		< 10 ⁻⁷ mbar*l/s	< 6*10 ⁻⁶ ml/min	Helium
Technisch dicht	1 nm	< 10 ⁻¹⁰ mbar*l/s	< 6*10 ⁻⁹ ml/min	Helium

- Prüfaufbauten und Prüfgeräte erfordern höhere finanzielle Aufwendungen
- + Objektives Testergebnis bei Automatisierbarkeit inkl. Dokumentation
- + Einfache Systemintegration und Automatisierung bei 100%-Prüfung

4 Dichtheitsprüfverfahren

- (10) Die in diesem Kapitel erläuterten Prüfverfahren sind grundsätzlich auf Bauteileebene anwendbar, sofern das Bauteil ein abgeschlossenes Volumen (z.B. Batteriekasten) bildet. Offene Bauteile müssen so verschlossen oder verändert werden, dass sich ein Druck- oder Konzentrationsunterschied von einem zum anderen System einstellen kann.
- (11) Alternativ kann bei offenen Bauteilen, ebenso wie dies bei Dichtheitsprüfungen von einzelnen Fügepunkten den Regelfall darstellt, eine zusätzliche Vorrichtung, die ein Prüfvolumen erzeugt eingesetzt werden. In diesem Fall muss jedoch zwangsläufig vorab die Dichtigkeit der Vorrichtung bestimmt werden.
- (12) Dichtheitsprüfverfahren lassen sich in lokale und integrale Verfahren unterteilen. Bei der integralen Prüfung wird die Gesamtdichtheit des Bauteils untersucht. Die lokale Prüfung dient dem Auffinden der Leckstelle. Eine weitere Unterscheidung der Prüfverfahren bezieht sich auf den Einsatz eines Prüfgases. Deshalb werden im Folgenden Methoden mit und ohne Prüfgas erläutert.

4.1 Methoden ohne Prüfgas

- (13) Wasserbadprüfung: Bei dieser Prüfung wird das zu prüfende Teil mit Druckluft befüllt und anschließend komplett in eine Prüfflüssigkeit wie z.B. Wasser getaucht. Im Anschluss beobachtet der Prüfer, ob und wo Luftblasen aufsteigen. Dadurch dient das Verfahren zur integralen und lokalen Lecksuche, so dass Aussagen über Dichtheit/Undichtheit und die Lage der Leckstelle getroffen werden können.
- (14) Da bei Leckraten von $5 \cdot 10^{-2} \text{ mbar} \cdot \text{l/s}$ noch ein konstanter Blasenstrom entsteht, lassen sich in der praktischen Anwendung Undichtheiten bis zu dieser Rate nachweisen. Bei kleineren Lecks muss das Prüfteil länger unter Wasser gehalten werden, damit eine einzige Blase austritt. So tritt bei einer Leckrate von $10^{-4} \text{ mbar} \cdot \text{l/s}$ theoretisch alle 30 s eine Luftblase auf. [DIN EN 1779, INF16]
- (15) Dadurch, dass in der praktischen Anwendung Bauteile mit komplexer Geometrie auf Dichtheit untersucht werden, ist es möglich, dass einzelne Luftblasen sich schwer vom Bauteil ablösen und somit nicht aufsteigen. Bei der Prüfung poröser Materialien ist zu beachten, dass trotz sehr vieler kleiner Lecks aufgrund der Oberflächenspannung des Wassers keine Luftblasen austreten und so ein dichtes Bauteil suggeriert wird.
- (16) Aus diesem Grund verschlechtert sich die Nachweisgrenze im praktischen Einsatz. Zudem ist der menschliche Faktor bei der Durchführung der Wasserbadprüfung zu beachten. Ob Blasen erkannt werden hängt von der Sicht auf das Bauteil und der individuellen Prüfperson ab. Außerdem muss das Prüfobjekt verträglich gegenüber Feuchtigkeit sein. Die Vorteile dieses Verfahrens sind der geringe Prüfungsaufwand und die geringen Kosten.
- (17) Schaumprüfung: Dieses Prüfverfahren ähnelt der Wasserbadmethode sowohl in der Anwendung, als auch bei den Vor- und Nachteilen. So wird das zu prüfende Teil ebenfalls mit einem Überdruck beaufschlagt. Anschließend wird das Prüfteil an Stellen, an denen Lecks vermutet werden, mit einer schäumenden Flüssigkeit besprüht. Lecks werden bei diesem Verfahren durch Schaumbildung der Flüssigkeit angezeigt. Da Leckstellen lokalisiert werden können, dient das Verfahren zur lokalen Lecksuche. Die theoretische Nachweisgrenze liegt bei $10^{-4} \text{ mbar} \cdot \text{l/s}$, wobei in der Praxis $5 \cdot 10^{-2} \text{ mbar} \cdot \text{l/s}$ realistisch sind. [DIN EN 1779, INF16]

- (18) Der Vorteil ist, dass es ein kostengünstiges und einfaches Verfahren ist. Ein Nachteil ist die Abhängigkeit des Prüfergebnisses von der individuellen Prüfperson. Außerdem müssen die Prüfteile beständig gegenüber der Prüfflüssigkeit sein. Des Weiteren können Groblecks schwer nachgewiesen werden, da die Druckluft das Schaummittel an diesen Stellen wegbläst, bevor Blasen entstehen können.
- (19) Ein weiteres Problem sind Stellen, an denen die Prüfflüssigkeit nicht haftet und somit abtropft, so dass z.B. Lecks am Boden eines Bauteils nur schwer nachgewiesen werden können. [DIN EN 1779, INF16]
- (20) Bei den Druckprüfungen mit Luft gibt es drei unterschiedliche Verfahren, die Druckveränderungen in einem bestimmten Zeitintervall auf verschiedene Weisen messen. Zur Berechnung der Leckagerate wird das Innenvolumen des Prüfobjektes mit der Druckveränderung multipliziert und durch den Messzeitraum dividiert (s. Formel 1) [INF16].

Formel 1: Berechnung der Leckagerate

$$Q_L = \frac{\Delta p \cdot V_i}{\Delta t} \left[\frac{\text{mbar} \cdot \text{l}}{\text{s}} \right] \quad Q_L \left[\frac{\text{ml}}{\text{min}} \right] = Q_L \left[\frac{\text{mbar} \cdot \text{l}}{\text{s}} \right] \cdot 60$$

Q_L : Leckagerate

V_i : Prüfvolumen des Prüfobjekts

Δp : Druckänderung während des Prüfzeitraums

Δt : Prüfdauer

- (21) Unter konstanten Normbedingungen mit konstantem Atmosphärendruck während der Messzeit kann vereinfacht in die in der Praxis häufig verwendete Einheit ml/min umgerechnet werden.
- (22) Im Folgendem wird auf die Druckabfallprüfung, die Druckanstiegsprüfung und die Differenzdruckprüfung eingegangen:
- (23) **Druckabfallprüfung:** Das zu prüfende Teil wird bei dieser Methode mit einem definierten Überdruck beaufschlagt und verschlossen. Als Prüfmedien eignen sich sowohl Luft als auch andere Gase. Nach dem Befüllen des Prüfobjektes muss sich das System für eine vom Werkstoff und Oberfläche abhängige Dauer stabilisieren, bevor die eigentliche Prüfung durchgeführt werden kann. Im Anschluss wird der Druck im Bauteil in einem festgelegten Zeitintervall gemessen. Theoretisch sind Leckraten von 10^{-4} mbar·l/s nachweisbar. In der praktischen Anwendung sind 10^{-3} mbar·l/s realistisch. [DIN EN 1779, INF16, Ley16]
- (24) Die Vorteile des Verfahrens sind eine einfache und kostengünstige Versuchsdurchführung. Ein Nachteil ist, dass die Ergebnisse dieser Prüfung extrem stark von der Temperatur abhängen, denn der Innendruck korreliert mit Schwankungen der Umgebungstemperatur. Sehr kleine Temperaturveränderungen von 0,1 °C können bspw. bei einem Prüfobjekt mit einem Volumen von 3 l und 2,5 bar Prüfdruck das Messergebnis um über 0,1 mbar·l/s verfälschen [INF16].
- (25) **Druckanstiegsprüfung:** Ähnlich wie bei der vorherigen Methode wird bei der Druckanstiegsprüfung die Druckveränderung in einem bestimmten Zeitintervall bestimmt. Allerdings wird bei dieser Prüfmethode ein Vakuum im Prüfteil erzeugt und der Druckanstieg wird eine bestimmte Zeit lang gemessen. Zur Berechnung der Leckrate wird das Innenvolumen des Prüfobjektes mit der Druckveränderung multipliziert und durch den Messzeitraum dividiert. Die theoretische Nachweisgrenze liegt bei 10^{-4} mbar·l/s, wobei in der Praxis 10^{-3} mbar·l/s erreichbar sind. [DIN EN 1779, INF16]
- (26) Verfahrensvorteile sind erneut die unkomplizierte und kostengünstige Versuchseinrichtung. Zudem werden Temperatureinflüsse aufgrund des Vakuums bei diesem Verfahren vermieden. Als Nachteil ist anzuführen, dass die Druckdifferenz der Prüfung auf 1 bar begrenzt ist.

- (27) Des Weiteren entspricht die Prüfsituation mit einem Vakuum im Inneren in den meisten Fällen nicht der Praxis, denn hier sind die Bauteile meist mit einem Überdruck beaufschlagt. So muss sichergestellt sein, dass das Prüfobjekt ein Unterdruck im Inneren standhält. Deshalb ist bei der Prüfung zu beachten, dass Lecks teilweise nur in eine Richtung auftreten [DIN EN 1779, INF16].
- (28) **Differenzdruckprüfung:** Bei der Differenzdruckprüfung wird der Druck im Inneren des Prüfteils mit dem Druck in einem Referenzvolumen verglichen. Zu Beginn werden das Prüfteil und das Referenzobjekt mit demselben Überdruck beaufschlagt. Anschließend misst ein Differenzdrucksensor in einem bestimmten Zeitintervall mögliche Druckunterschiede zwischen den beiden Objekten, die durch Lecks in dem Prüfteil entstehen. Da die Differenz von zwei Drücken sich mit einer höheren Auflösung messen lässt als ein Druckabfall, liegt die theoretische Nachweisgrenze bei 10^{-4} mbar·l/s. In der Praxis liegt die Grenze bei 10^{-3} mbar·l/s. [INF16]
- (29) Ein Vorteil des Verfahrens ist, dass Temperaturschwankungen keinen großen Einfluss auf das Messergebnis haben, wenn die Temperaturveränderung auf das Prüf- und das Referenzobjekt in gleichem Maße wirkt. Die Nachteile des Verfahrens sind zum einen die komplexere und damit kostenintensivere Versuchseinrichtung.
- (30) Zum anderen wirken die Temperatureffekte, welche durch den Befüllvorgang des Volumens hervorgerufen werden, nur auf das Prüfobjekt, nicht aber auf das Referenzobjekt, wenn dieses nicht auch bei jeder Prüfung neu befüllt wird. Wird das Referenzobjekt bei jeder Prüfung neu befüllt, so kommt es zur Ermüdung, so dass das Verhalten des Referenzobjekts nicht reproduzierbar ist. Im Idealfall wird das Referenzobjekt bei jeder Prüfung getauscht, damit es sich beruhigen kann. Dies erhöht jedoch den Versuchsaufwand und damit die Kosten [INF16].

4.2 Methoden mit Prüfgas

- (31) Die Basis dieser Prüfungen ist ein Druckunterschied zwischen dem Inneren und Äußeren des Prüfobjektes, wodurch das Prüfgas durch einen Leckagestrom und mit Hilfe von Detektoren nachgewiesen werden kann. [INF16]
- (32) Das Prüfgas muss dabei umweltverträglich sowie chemisch und physikalisch neutral sein. Außerdem sollte der Gehalt des Prüfgases in der Umgebungsluft möglichst gering sein, wodurch ein empfindlicher und selektiver Nachweis nicht nur im Vakuum, sondern auch in der Atmosphäre ermöglicht wird. [Wut06]
- (33) Die obengenannten Anforderungen werden von Helium in hohem Maße erfüllt. Der Volumengehalt in der Luft liegt auf der Erde gleichbleibend bei nur 5,24 ppm. Zudem ist Helium vollkommen ungiftig und chemisch und physikalisch neutral. Vereinzelt kommt auch Wasserstoff als Prüfgas zum Einsatz.
- (34) Aufgrund der Explosionsgefahr ab 5,7 % H₂ in N₂ wird Formiergas (95% N₂ und 5% H₂) anstelle von reinem Wasserstoff verwendet. Durch die niedrige Wasserstoffkonzentration im Formiergas wird die Nachweisgrenze allerdings eingeschränkt. Neben den erwähnten Prüfgasen ist es zudem möglich, Endmedien als Prüfgase zu verwenden. Ein Beispiel hierfür ist das Kältemittel R134a, welches in Klimaanlage zum Einsatz kommt. [INF16, Wut06]
- (35) Eine Einteilung der Verfahren mit Prüfgasen kann nach der Eintritts- bzw. Austrittsrichtung des Gases erfolgen. Einerseits kann das Prüfgas in ein Bauteil gefüllt werden und bei auftretenden Lecks in die Umgebung entweichen und hier nachgewiesen werden. Diese Verfahrensvarianten werden als Inside-Out-Methoden bezeichnet. Andererseits kann im Inneren des Bauteils ein Vakuum erzeugt werden.

- (36) Anschließend wird es von außen mit einem Prüfgas in Kontakt gebracht, während das in das Bauteil einströmende Prüfgas wird detektiert wird. Dies wird als Outside-In-Methode bezeichnet. Im Einzelnen werden die Schnüffellecksuche, sowie Akkumulations- oder Vakuumkammermethode im Folgenden beschrieben. [INF16]
- (37) **Schnüffellecksuche:** Mit dieser Methode kann die genaue Position des Lecks am Prüfteil lokalisiert werden, so dass es sich um eine lokale Dichtheitsprüfung handelt. Hierzu wird das Prüfobjekt mit dem Prüfgas unter Druck gesetzt und anschließend die Messsonde des Lecksuchgerätes manuell oder automatisiert über das Bauteil geführt und die Stelle identifiziert, an der das Gerät die höchste Leckrate ermittelt. Die Nachweisgrenze dieser Prüfung liegt bei 10^{-7} mbar*l/s [DIN EN 1779, INF16].
- (38) Vorteile dieses Verfahrens sind zum einen, dass auch Endmedien wie R134a oder CO₂ als Prüfgas verwendet werden können. Zudem können bereits montierte Bauteile auf Dichtheit überprüft werden. Nachteilig ist, dass es schwierig ist, eine exakte Leckrate zu bestimmen, da die Konzentration des Prüfgases von dem Abstand vom Schnüffler zum Bauteil abhängt und nicht immer der gesamte austretende Gasstrom vom Schnüffler erfasst wird. Zudem sind die Ergebnisse von dem Prüfer abhängig. [DIN EN 1779, INF16; Wut06]
- (39)
- (40) **Vakuumkammer:** Bei diesem integralen wird das Prüfobjekt zunächst in eine Vakuumkammer platziert. Anschließend wird mit einer Pumpe die Kammer evakuiert und das Prüfobjekt mit dem Prüfgas, meist Helium, befüllt. Etwaig austretendes Helium wird mit Hilfe von Massenspektrometern nachgewiesen. Leckraten bis hinunter zu 10^{-12} mbar*l/s sind mit diesem Verfahren nachweisbar. [INF16]
- (41) Neben der hohen Empfindlichkeit ist die Möglichkeit, dass die Prüfung vollautomatisiert in die Fertigungslinie integriert werden kann, vorteilhaft. Zudem sind die Prüfzyklen kurz, wodurch kurze Taktzeiten realisierbar sind. Nachteile sind sehr hohe Kosten für die Vakuumpumpe und hohe Dichtheitsanforderungen an die Vakuumkammer [INF16].
- (42)
- (43) **Akkumulationskammer:** Eine kostengünstige Alternative zur Vakuummethode ist die Akkumulationsmethode. Hierbei wird das Prüfteil in eine im Vergleich zur Vakuumkammer einfach aufgebaute Akkumulationskammer platziert. Anschließend wird das Bauteil mit dem Prüfgas (oft Helium) befüllt. Das aus gegebenenfalls vorhandenen Lecks austretende Gas wird mit Hilfe von Ventilatoren gleichmäßig in der Kammer verteilt. Die Prüfgaskonzentration wird akkumuliert und in einem definierten Zeitintervall über der Zeit aufgetragen. Leckraten bis zu $5 \cdot 10^{-6}$ mbar*l/s sind mit der Akkumulationsmethode nachweisbar [INF16].
- (44) Vorteile des Verfahrens sind die im Vergleich zur Vakuummethode geringeren Kosten. Außerdem sind die Dichtheitsanforderungen an die Kammer deutlich geringer. Neben der geringeren Empfindlichkeit ist die deutlich größere Prüfdauer dieser Prüfung nachteilig [INF16].
- (45) Im nachfolgenden Bild 2 werden die Nachweisbereiche der beschriebenen Prüfverfahren gegenübergestellt:

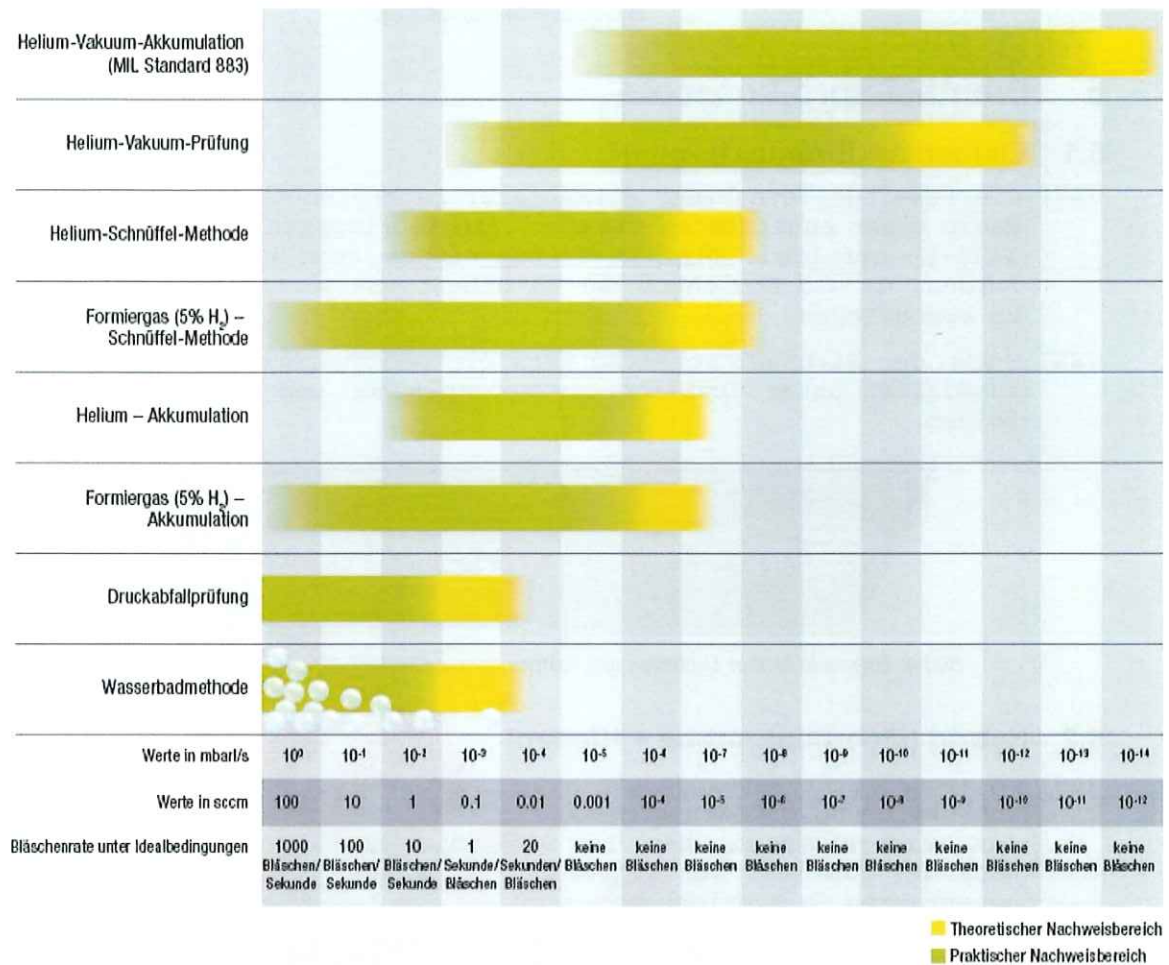


Bild 2: Nachweisbereiche verschiedener Dichtheitsprüfmethode [INF16]

(46) Zur Bewertung und Validierung der Dichtheit von mechanischen Verbindungen bietet sich die Kombination beider Prüfverfahren an. Der vorgeschlagene Dichtheitsprüfablauf ist in Bild 3 dargestellt.

1. Integrale Dichtheitsprüfung mit Luft
 - a) $q_{\text{integral}} > q_{\text{limit, integral}}$: Lecklokalisierung undichter Prüfkörper mit Lecksuchspray
 - b) $q_{\text{integral}} < q_{\text{limit, integral}}$: Integral Funktionsdichte Prüfkörper
2. Lokale Dichtheitsprüfung mit der Heliumschnüffellecksuche
 - a) $q_{\text{lokal}} > q_{\text{limit, lokal}}$: Dokumentation lokaler Überschreitungen der Grenzleckagerate
 - b) $q_{\text{lokal}} < q_{\text{limit, lokal}}$: Validierung integral und lokal funktionsdichter Verbindung

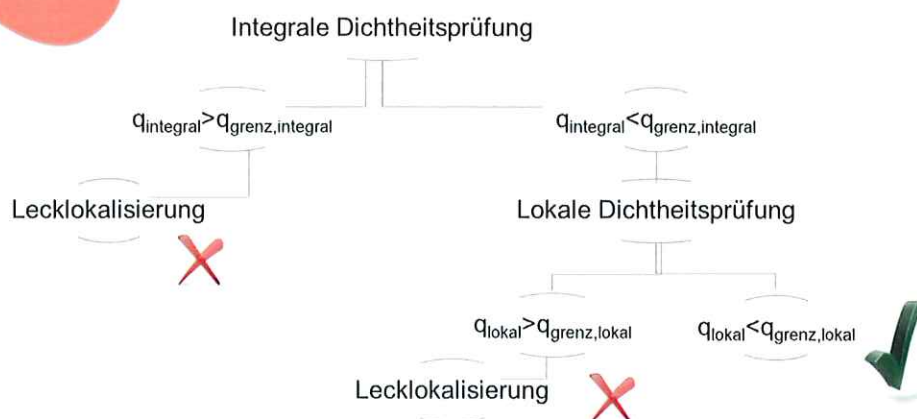


Bild 3: Dichtheitsprüfablauf

5 Dichtheitsprüfkonzeppte

5.1 Elementar (Einpunktprobe)

- (47) Die Bewertung einzelner elementarer mechanischer Verbindungen kann auf Basis einer angepassten einschnittig überlappten Scherzugprobe [DVS/EFB 3480-1] erfolgen. Die Überlappungslänge kann dabei auf 45 mm erhöht werden, um ein Abdichten der Dichtheitsprüfvorrichtung auf den Blechen zu ermöglichen.
- (48) Neben der Dichtheitsprüfung kann die Leckagerate mit diesem Prüfkörper zusätzlich unter überlagerter mechanischer und medialer Belastung erfolgen.

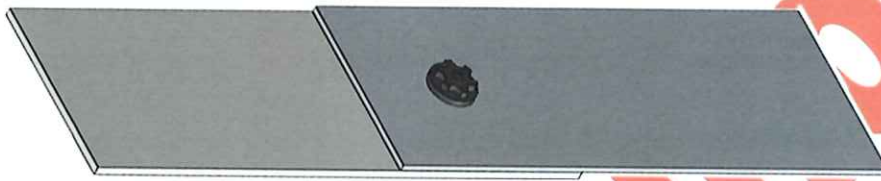


Bild 4: Exemplarischer Dichtheitsprüfkörper für elementare mechanische Verbindungen

5.2 Hybrid (Mehrpunktprobe + Kleben)

- (49) Da mechanische Verbindungen mit erhöhten Dichtheitsanforderungen häufig in Verbindung mit der Klebtechnik realisiert werden, ist die Bewertung der Leckagerate mit dem Hybridfügedichtheitsprüfkörper sinnvoll. Hier kann der Einfluss der gegenseitigen Beeinflussung der elementaren Fügeverfahren im Hybridfügeprozess auf die Leckagerate untersucht werden.

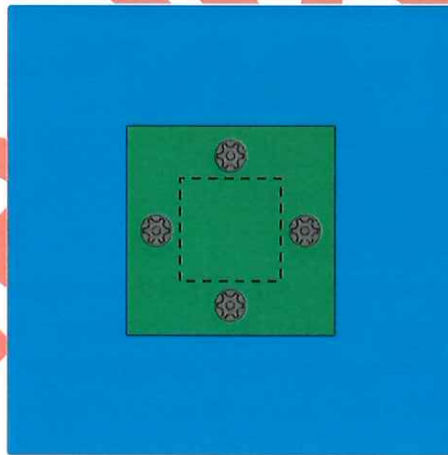


Bild 5: Exemplarischer Hybridfügedichtheitsprüfkörper

5.3 Musterbauteil

- (50) Zur Validierung der Ergebnisse der Dichtheitsprüfung an den Laborprüfkörpern ist eine praxisrelevante Musterbauteilgeometrie entwickelt worden, die die Randbedingungen gängiger Batteriegehäusekonzepte abbildet. Auch an dieser Geometrie kann die Leckagerate mit entsprechenden Prüfvorrichtungen unter korrosiver und mechanischer Belastung ermittelt werden.

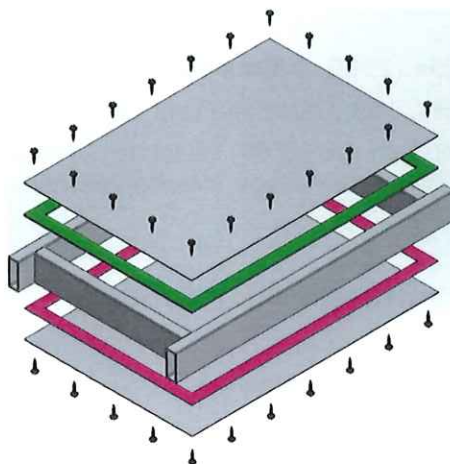


Bild 6: Exemplarische Musterbauteilprobe

6 Ergebnisdokumentation

Zur vollständigen Dokumentation der Ergebnisse sind sowohl die Fügeprozessrandbedingungen als auch die Parameter der Dichtheitsprüfung anzugeben.

Fügeprozess:

- Materialdickenkombination
- Fügeverfahren, Fügeelement
- Fügeverfahrensspezifische Prozessparameter

Dichtheitsprüfung:

- Dichtheitsprüfverfahren
- Prüfmedium
- Prüfbedingungen (z.B. Temperatur, Prüfgaskonzentration, Prüfdruck, etc.)
- Prüfergebnis
- Optional: Probengewicht vor und nach Dichtheitsprüfung

7 Schrifttum

7.1 Regelwerke:

- | | |
|--------------------|---|
| [DIN EN 1779] | Zerstörungsfreie Prüfung - Dichtheitsprüfung – Kriterien zur Auswahl von Prüfmethoden und Verfahren (1999) |
| [DIN EN ISO 20484] | Zerstörungsfreie Prüfung - Dichtheitsprüfung - Begriffe |
| [ISO 20653] | Straßenfahrzeuge - Schutzarten (IP-Code) - Schutz gegen fremde Objekte, Wasser und Kontakt - Elektrische Ausrüstungen |

7.2 Richtlinien und Merkblätter

- [EFB/DVS 3480-1] Prüfung von Verbindungseigenschaften, *Hannover*, EFB-Verlag; Juni 2021

7.3 Literatur

- [INF16] INFICON GmbH, (2016), Dichtheitsprüfung in der Automobilindustrie, Ein Leitfaden
[Ley16] Leybold GmbH (2016), Grundlagen der Lecksuch-Technik
[Wut06] Wutz, Max, Jousten, Karl (2006) Handbuch Vakuumtechnik: Theorie und Praxis, 9., überarbeitete und erweiterte Auflage, Vieweg Wiesbaden

8 Beteiligte Forschungseinrichtungen

Universität Paderborn

Laboratorium für Werkstoff- und Fügetechnik

Pohlweg 47-49

33098 Paderborn

Hochschule Stralsund

Professur Qualitätsmanagement, Fertigungstechnik, Fügetechnik

Zur Schwedenschanze 15

18435 Stralsund

Fraunhofer-Institut für Großstrukturen in der Produktionstechnik

Albert-Einstein-Straße 30

18059 Rostock

Technische Universität Dresden

Institut für Fertigungstechnik

Professur für Fügetechnik und Montage

George-Bähr-Straße 3c

01069 Dresden

Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik

Nöthnitzer Straße 44

01187 Dresden

9 Beteiligte Unternehmen

Arnold Umformtechnik GmbH & Co. KG, Dörzbach

Böllhoff Verbindungstechnik GmbH, Bielefeld

EJOT SE & Co. KG, Bad Berleburg

GESIPA Blindniettechnik GmbH, Moerfelden-Waldorf

Howmet Fastening Systems Ltd., Telford, UK

Profil Verbindungstechnik GmbH & Co. KG, Friedrichsdorf

RIBE Verbindungstechnik GmbH & Co. KG, Schwabach

Titgemeyer GmbH & Co. KG, Osnabrück

TOX Pressotechnik GmbH & Co. KG, Weingarten

Tucker GmbH Stanley Engineered Fastening, Gießen