

Produktionsbegleitende Dichtheitsprüfung von Leuchten und Scheinwerfern

Joachim LAPSIEN¹

¹ CETA Testsysteme GmbH, Hilden

Kontakt E-Mail: joachim.lapsien@cetatest.com

Kurzfassung

Aufgrund der vielfältigen Einsatzbereiche von Leuchten und Scheinwerfern werden an diese Systeme besondere Anforderungen gestellt.

So sollen sie auch unter rauen Umgebungsbedingungen zuverlässig funktionieren. Um dieses sicherzustellen, müssen sie auch auf Dichtheit gegen Verschmutzung und Feuchtigkeit geprüft werden.

Diese Anforderungen werden in der Definition der IP-Schutzarten beschrieben. Das Eindringen von Flüssigkeiten kann zu schweren Störungen an elektronischen Komponenten führen - bis hin zum Totalausfall.

Die IP-Schutzartenprüfung ist eine Typprüfung eines Baumusters unter Laborbedingungen. Diese lässt sich nicht in den Produktionsprozess integrieren. Soll aber sichergestellt werden, dass alle Produkte geprüft werden, so muss eine Stückprüfung in Form einer fertigungsbegleitenden Dichtheitsprüfung integriert werden. Dadurch wird sichergestellt, dass nur dichte Produkte ausgeliefert werden. Hierbei wird sehr häufig Druckluft eingesetzt. Die Dichtheitsprüfung mit Druckluft ist ein objektives Prüfverfahren, das sich gut automatisieren lässt.

Die Grundlagen und wichtige Aspekte bei der Prozessintegration der Dichtheitsprüfung von direkt befüllbaren und gekapselten Produkten werden anhand von Beispielen praxisnah behandelt.



**7. Fachseminar Dichtheitsprüfung und Lecksuche
20./21. September 2016, Dortmund**

**Produktionsbegleitende
Dichtheitsprüfung von
Leuchten und Scheinwerfer**

Dr. Joachim Lapsien, Vertriebsleiter



Testsysteme GmbH

Lösungspartner für industrielle Dichtheits- und Durchflussprüfung

Marie-Curie-Str. 35-37 - 40721 Hilden - DEUTSCHLAND

www.cetatest.com

Dr. Joachim Lapsien - CETA Testsysteme GmbH - Tel.: +49 (0) 2103 / 2471-19 - E-Mail: joachim.lapsien@cetatest.com - www.cetatest.com



Inhaltsübersicht

Kurzvorstellung CETA Testsysteme GmbH

Grundlagen der Dichtheitsprüfung

- Industrielle Dichtheitsprüfverfahren, Dichtheit und Leckraten
- Differenzdruckverfahren
- Ablauf der Dichtheitsprüfung

Leuchten und Scheinwerfer

- Ursachen für Undichtheiten
- Dichtheitsprüfung befüllbarer Scheinwerfer
- Typische Prüfparameter
- Dichtheitsprüfung gekapselter Leuchten
- Typische Prüfparameter

IP-Schutzarten - Theorie und Umsetzung in die Praxis

Auswirkungen zyklischer Druckbelastungen

- Einsatz von Druckausgleichselementen

Zusammenfassung

Dr. Joachim Lapsien - CETA Testsysteme GmbH - Tel.: +49 (0) 2103 / 2471-19 - E-Mail: joachim.lapsien@cetatest.com - www.cetatest.com

CETA® Kurzvorstellung CETA Testsysteme GmbH

Hersteller von Dichtheits- und Durchflussprüfgeräten

Messtechnik „**Made in Germany**“ 

Prüfmedien: **Druckluft** und Formiergas (5 % H₂, 95 % N₂)

Mehr als **25 Jahre** Kompetenz in der Lösung industrieller produktionsbegleitenden Dichtheits- und Durchflussaufgaben

DAkKS-Kalibrierlabor für die Messgröße Druck (D-K-19566)















Bevorzugter Lieferant für einige der bekanntesten Automotive-Unternehmen

Weltweit **mehrere tausend CETA-Prüfgeräte** im industriellen Einsatz

Exportanteil: **40 %**

Internationale Vertretungen in:

 Frankreich	 China	 Thailand
 Spanien	 Korea	 Indonesien
 Tschechische Republik	 Ungarn	 Singapur
 Polen	 Türkei	 Indien

Dr. Joachim Lapsien - CETA Testsysteme GmbH - Tel.: +49 (0) 2103 / 2471-19 - E-Mail: joachim.lapsien@cetatest.com - www.cetatest.com

CETA® Industrielle Dichtheitsprüfverfahren

Prüfmedium	Luftleckrate	Methode	Anmerkungen
Wasser	> 10 ⁻² mbar*/l/s	Nachweis von Luftblasen	<ul style="list-style-type: none"> • Qualitative Methode • Lecklokalisierung
Druckluft	> 10 ⁻³ mbar*/l/s	Messung des Druckverlustes bzw. des Druckanstiegs (Relativdrucksensor, Differenzdrucksensor)	<ul style="list-style-type: none"> • Quantitative Methode • Automatisierbar • Einfache Handhabung • Volumenabhängig • Temperatursensibel • Integrale Methode • Lecklokalisierung => Lecksuchspray
Wasserstoff (Formiergas)	> 10 ⁻⁶ mbar*/l/s	Messung der H ₂ -Konzentration	<ul style="list-style-type: none"> • Quantitative Methode • Automatisierbar • Keine Volumenabhängigkeit • Keine Temperatursensibilität • Lecklokalisierung => Schnüffeln
Helium	> 10 ⁻⁹ mbar*/l/s	Messung der He-Konzentration	<ul style="list-style-type: none"> • Quantitative Methode • Automatisierbar • Keine Volumenabhängigkeit • Keine Temperatursensibilität • Nachweis geringer Leckraten => Evakuieren • Lecklokalisierung => Schnüffeln

1 mbar*/l/s = 60 ml/min

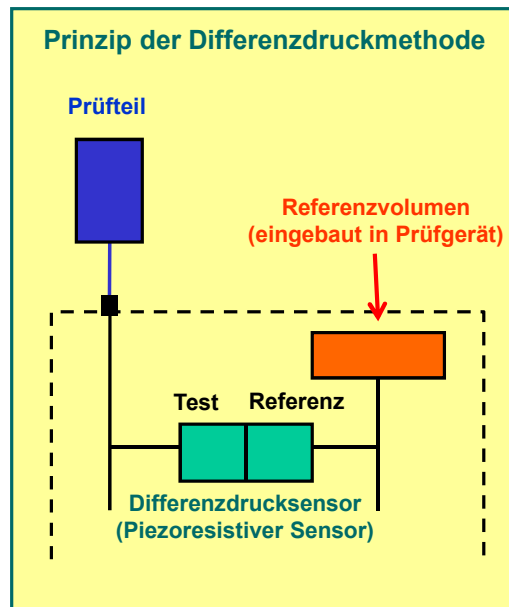
Dr. Joachim Lapsien - CETA Testsysteme GmbH - Tel.: +49 (0) 2103 / 2471-19 - E-Mail: joachim.lapsien@cetatest.com - www.cetatest.com

Dichtheitsanforderung	Leckrate	Prüfmedium
Wasserdicht	$Q_L < 10^{-2}$ mbar*l/s	Druckluft
Dampfdicht	$Q_L < 10^{-3}$ mbar*l/s	Druckluft, Wasserstoff
Bakteriendicht	$Q_L < 10^{-4}$ mbar*l/s	Wasserstoff
Benzindicht / Öldicht	$Q_L < 10^{-5}$ mbar*l/s (abhängig von Viskosität / Temperatur des Öls)	Wasserstoff, Helium
Virendicht	$Q_L < 10^{-6}$ mbar*l/s bis $Q_L < 10^{-8}$ mbar*l/s (abhängig von der Virengröße)	Helium
Gasdicht	$Q_L < 10^{-7}$ mbar*l/s	Helium
Technisch dicht	$Q_L < 10^{-10}$ mbar*l/s	Helium

1 mbar*l /s = 60 ml/min

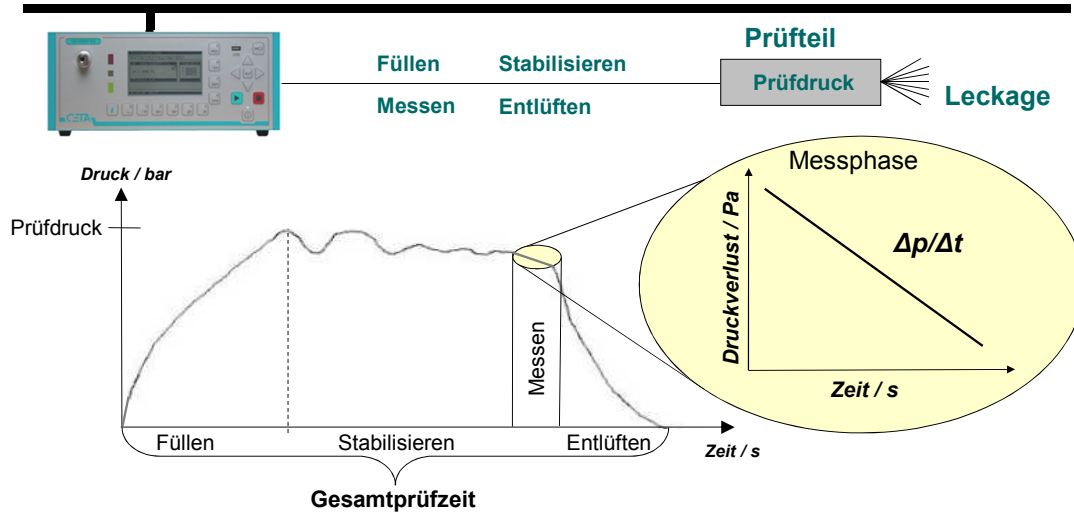
Dr. Joachim Lapsien - CETA Testsysteme GmbH - Tel.: +49 (0) 2103 / 2471-19 - E-Mail: joachim.lapsien@cetatest.com - www.cetatest.com

- Das Prüfteil wird an den Testanschluss des Differenzdrucksensors angeschlossen.
- Der leckagebedingte Druckabfall wird bezogen auf das geräteinterne Referenzvolumen gemessen.
- Eigenschaften piezoresistiver Sensoren:
 - Interne Auflösung 0,01 Pa (Anzeige: 1 Pa)
 - Sehr lineare Kennlinie
 - Kein Volumeneffekt.
- Typische Prüfaufgaben
 - Wasserdichtheit
 - Dichtheitsprüfung in Anlehnung an die Anforderungen der IP-Schutzarten (z.B. IP 57, IP 67, IP69)



Dr. Joachim Lapsien - CETA Testsysteme GmbH - Tel.: +49 (0) 2103 / 2471-19 - E-Mail: joachim.lapsien@cetatest.com - www.cetatest.com

Druckluftnetz



Stabiler Messzustand

Leckagebedingter Druckverlust
Ist proportional zur Zeit ($\Delta p \sim \Delta t$)

➔ Leckratenformel

$$\frac{\Delta p}{\Delta t} \left[\frac{\text{Pa}}{\text{s}} \right] = \frac{Q_L [\text{ml/min}]}{V [\text{ml}]} \cdot \frac{100.000 \text{ Pa}}{60 \text{ s/min}}$$

- Materialfehler
- Nicht eingehaltene Maßhaltigkeit der verbauten Komponenten
- Unvollständige Klebung bzw. Schweißung
- Fehlerhafte Dichtungen
- Undichte Steckverbinder
- Undichte Kabeldurchführungen
- Nicht korrekt montierte oder beschädigte Druckausgleichselemente
- Montagefehler
- Zu große Montagetoleranzen
- Nicht überwachte Montageparameter
- Unzulässige mechanische Verspannungen



Scheinwerfer

Innen befüllbare Prüfteile
Großes Innenvolumen
Direkte Adaption des Prüfteils
Befüllung über Belüftungsöffnung
oder Leuchtmittelöffnung
Messung des Druckverlustes
durch Leckagen

Leuchten

Gekapselte Prüfteile
Geringes Innenvolumen
Haubenprüfung
Befüllung einer Haube, die das Prüfteil
möglichst eng umgibt
Messung, wie sich der Druck aufgrund
von Leckagen in das Prüfteil abbaut



Scheinwerfer
(zwei Belüftungsöffnungen)



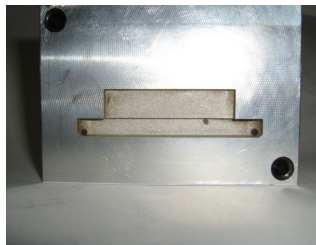
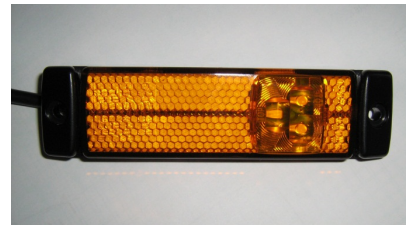
Dichtheitsprüfstand für Scheinwerfer

Typische Parameter und Prüfbedingungen

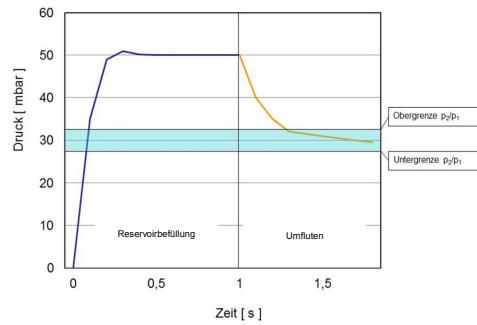
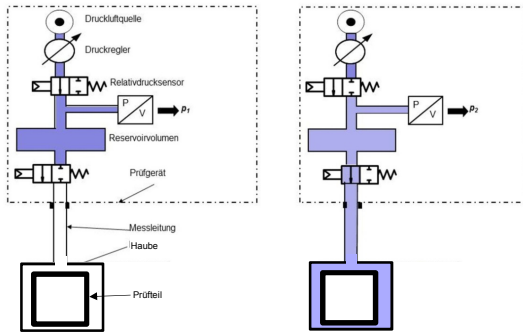
Prüfteil:	Großvolumige Scheinwerfer
Verdrängungsvolumina:	9 l bis 15 l
Befüllbare Volumina:	7 l bis 10 l
Prüfdrücke:	-35 mbar ... +35 mbar (relativ)
Grenzleckraten:	20 ml/min ... 30 ml/min abhängig von Volumen / Produktionsgüte
Prüfaufgabe:	Vollständigkeit der Klebnaht Frontglas / Gehäuse
Prüfteiltyp:	Direkt befüllbare Prüfteile Befüllung über Belüftungsöffnung
Prüfverfahren:	Druckverlustprüfung / Differenzdruckmethode
Gesamprüfzeit:	ca. 30 - 60 s
Besonderheit:	Dichtheitsprüfung direkt nach Klebung Frontglas / Gehäuse

Beispiel: Dichtheitsprüfung eines direkt befüllbaren Scheinwerfers

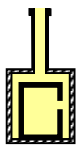
Prüfteilvolumen:	10.000 cm ³ (inklusive Zuleitung und Adaption)
Zulässige Luft-Leckrate:	30 ml/min bei einem Prüfdruck von +30 mbar (positiver Überdruck) Zeitlicher
Druckverlust:	5 Pa/s
Messzeit:	8 Sekunden
Druckabfall:	40 Pa



Prüfung der Leuchte in einer Haube, die unter Druck gesetzt wird.
 Eventuelles Anschlusskabel wird abgedichtet aus Haube herausgeführt.
 Haube sollte Leuchte möglichst eng umfahren (geringes Spaltmaß).
 Prüfablauf: 1) Grobleckprüfung 2) Feinleckprüfung

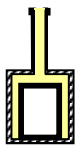


- Gekapselte Prüfteile ohne Befüllöffnung → Dichtheitsprüfung in einer Formhaube
- Erster Prüfschritt: **Grobleckerkennung** (undichtes Prüfteil wird sofort mit Druckluft befüllt)
- Bereitstellung von Druck p_1 im prüfgeräteinternen Volumen (Reservoirvolumen).
- Umflutung des Reservoirvolumens in die Haube (bei eingelegtem Prüfteil).
- Druck p_2 abhängig vom Zustand des Prüfteils (Grobleck, Nicht-Grobleck)
- Liegt kein Grobleck vor → Druckverlustmessung (Feinleckprüfung)
- Hinweis: Haube umfährt Prüfteil konturnah (typ. Spaltmaße: ca. 0,2 bis 2 mm)



Grobleck - Das Innere des Prüfteils wird direkt befüllt

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{V_{\text{Reservoir}}}{V_{\text{Reservoir}} + V_{\text{Messkreis}} + V_{\text{Leitung}} + V_{\text{Adaption}} + V_{\text{Haube}} - V_{\text{Prüfteil, Außenvolumen}} + V_{\text{Prüfteil, Innenvolumen}}}$$



Feinleck - Das Innere des Prüfteils wird nicht direkt befüllt

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{V_{\text{Reservoir}}}{V_{\text{Reservoir}} + V_{\text{Messkreis}} + V_{\text{Leitung}} + V_{\text{Adaption}} + V_{\text{Haube}} - V_{\text{Prüfteil, Außenvolumen}}}$$

Beispiel: Dichtheitsprüfung einer gekapselten Leuchte

Leuchtendaten:	Außenvolumen: 50 cm ³ , Innenvolumen: 38 cm ³
Prüfbedingungen:	Prüfdruck: 100 mbar (in der Haube), Leckrate: 0,6 ml/min
Prüfgerät:	Reservoirvolumen: 45 cm ³ , Messkreisvolumen: 5 cm ³
Messleitung:	Volumen: 12,6 cm ³ (Länge: 1,0 m, Innendurchmesser: 4 mm)
Haube:	Volumen: 60,6 cm ³ (0,5 mm Spaltmaß umlaufend um Leuchte)
Startdruck:	$p_1 = 161$ mbar (relativ)
Haube / Adaption undicht:	$p_2 = 0$ mbar ⇒ $p_2 / p_1 = 0$ ⇒ Abbruch
Prüfteil mit Grobleck:	$p_2 = 65,5$ mbar ⇒ $p_2 / p_1 = 0,41$ ⇒ Abbruch
Prüfteil ohne Grobleck:	$p_2 = 100$ mbar ⇒ $p_2 / p_1 = 0,62$ ⇒ Feinleckprüfung ⇒ 35,5 Pa/s

Typische Parameter und Prüfbedingungen

Prüfteil:	Gekapselte Leuchten Seitenblinker, Seitenmarkierungsleuchten, Kennzeichenleuchte, Heckleuchten, LED-Tagfahrlicht Bremsleuchten, Ladeklappenleuchten
Verdrängungsvolumina:	50 cm ³ bis 500 cm ³
Befüllbare Innenvolumina:	10 cm ³ bis 300 cm ³
Prüfdrücke:	-250 mbar... +250 mbar (relativ)
Grenzleckraten:	0,6 ml/min IP 6K 9K (kleinvolumige Leuchten) 6 ml/min (Seitenleuchten) abhängig von Prüfteilvolumen und Produktionsgüte
Prüfaufgaben:	Wasserdichtheit / Steckerkontakte / Klebnaht
Prüfteiltyp:	Gekapselte Prüfteile
Prüfverfahren:	Haubenprüfung
Gesamtprüfzeit:	8 – 20 s (abhängig von Prüfteilvolumen)
Anmerkungen:	Geringes Haubenrestvolumen Messleitungen mit geringem Innendurchmesser

IP-Schutzart	Testvorrichtung	Testvorschrift	Testdauer	Schwenkwinkel
IP X1 Tropfwasser	Tropfgerät	1 mm/min	10 min	
IP X2 Tropfwasser unter unter 15°	Tropfgerät mit Schwenktisch	3 mm/min unter 15°	4 x 2,5 min 2,5 min je Stellung	4 feste, um 15° geneigte Stellungen
IP X3 Sprühwasser	Schwenkrohr oder Spritzbrause	0,07 l/min je Düse	10 min	+/- 60°
IP X4 Spritzwasser	Spritzwasserkammer	0,07 l/ min je Düse	10 min	+/- 180°
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/m ² 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/m ² t ≥ 3 min	
IP X7 Zeitweilige Flutung	Tauchbecken Tiefe 1 m	150 mm Wassersäule über dem höchsten Punkt des Gehäuses. Niedrigster Punkt des Gehäuses 1 m unter Wasser	30 min	
IP X8 Dauerflutung	Tauchbecken Tiefe > 1 m	Wassersäule > 150 mm über dem Prüfling, Tauchtiefe wählbar	t = ∞	
IP X9K (*) Prüfung mit Flachstrahldüse	Flachstrahldüse und Drehsteller	qv = 14 - 16 l/min p = 80 - 100 bar T = +80°C +/- 5°C	30 s je Position	



Vorrichtung zur Prüfung gemäß IP X4 unter Einsatz eines Schwenkrohrs



Strahlbild einer Flachstrahldüse zur Prüfung gemäß IP X9K

Abbildungen mit freundlicher Genehmigung © Kunststoff-Institut Lüdenscheid

Dr. Joachim Lapsien - CETA Testsysteme GmbH - Tel.: +49 (0) 2103 / 2471-19 - E-Mail: joachim.lapsien@cetatest.com - www.cetatest.com

- Spezifikation der Dichtheit eines Produktes:
Prüfdruck und zulässige Luftleckrate Q_L ($[Q_L]$: mbar*l/s bzw. ml/min)
- Definition der IP-Schutzarten:
Durchführung der (Labor-)Prüfung, keine Aussagen über zulässige Luftleckraten.
- Bei einigen IP-Schutzarten können die Prüfbedingungen zwischen Hersteller und Anwender vereinbart werden (z.B. bei IP 68 Eintauchtiefe und Tauchdauer).
- Laboruntersuchungen zur Ableitung einer zulässigen Luftleckrate
- Transfer in den industriellen Prozess und Produktionstaktzeit notwendig.
- Bestimmung der Dichtheit von Prüfteilen unterschiedlicher Produktionsgüte
- IP-Schutzartenprüfung im Labor
- Auswertung der Korrelationsversuche
- Ableitung von Prüfdruck und zulässige Luftleckrate (bisweilen prüfteilspezifisch)
- Orientierung an Leckraten, die im industriellen Umfeld verwendet werden
(z.B. für Wasserdichtheit wird üblicherweise eine zulässige Luftleckrate von kleiner 10^{-2} mbar*l/s entsprechend 0,6 ml/min zugrunde gelegt)
- Gefahr, dass man evtl. „zu scharf“ prüft.

Dr. Joachim Lapsien - CETA Testsysteme GmbH - Tel.: +49 (0) 2103 / 2471-19 - E-Mail: joachim.lapsien@cetatest.com - www.cetatest.com

Druckänderungen und gekapselte Prüfteile

- Ursachen für Druckschwankungen
 - ⇒ Temperaturbedingte Druckänderungen (Betrieb, äußere Einflüsse)
 - ⇒ Betrieb in unterschiedlichen Höhen
- Unterdruck
 - ⇒ Feuchtigkeit kann von außen in das Prüfteil hineingezogen werden.
- Überdruck
 - ⇒ Dichtelemente werden nach außen gedrückt.
- Zyklische Belastung der Gehäusedichtungen, Schweiß- und Klebnähte, gesteckten Kontakte ⇒ Erhöhte Gefahr für die Entstehung von Undichtheiten

Beispiel

- Automotive-Bereich: Auslegung für Temperaturbereich von -40°C bis +85°C
- System bei +20°C auf Normaldruck ($p_1 = 1013,25 \text{ mbar}$)
- Erwärmung: +20°C auf +85°C ($\Delta T = +65 \text{ K}$) ⇒ $\Delta p = +224,7 \text{ mbar}$
- Abkühlung: +20°C auf -40°C ($\Delta T = -60 \text{ K}$) ⇒ $\Delta p = -207,4 \text{ mbar}$.
- Bei schockartiger Abkühlung von +85°C auf -40°C entsteht im ungünstigsten Fall ein Unterdruck von ca. -432 mbar.

Eigenschaften von Druckausgleichselementen

- Druckausgleichselemente (wasserdicht, luftdurchlässig) werden zur Belüftung von Leuchten und Scheinwerfern eingesetzt.
- Typisch: 10^5 bis 10^9 Poren pro cm^2 (Porendurchmesser: 0,1 bis 10 μm).
- Gleichzeitiger Schutz vor Öl, Wasser und Partikeln.
- Reduzierung der Belastung der Dichtungen bei zyklischem Druckwechsel.
- Verringerung der temperaturbedingten Druckänderungen
- Feuchtigkeit kann entweichen und Reduzierung der Gefahr der Kondensation.

Auswirkungen auf den Prüfprozess

- Wenn ein Prüfteil mit Druckausgleichselement auf Dichtheit geprüft werden muss, kann der Fall eintreten, dass das Prüfteil durch die Membran befüllt werden muss.
- Der Befüllvorgang ist durch das DAE deutlich verlangsamt.
- Verkürzung des Befüllvorgangs durch Anfüllung des Prüfteils mit höherem Druck..
- Durch den Vorfülldruck darf das DAE nicht irreversibel gedehnt werden.
- Bisweilen ist zusätzlich prüfen, dass das DAE keine Beschädigungen aufweist und korrekt montiert (geschweißt, geklebt, geclippt) ist.

- Druckluft als Prüfmedium erlaubt die schnelle, automatisierbare und objektive Dichtheitsprüfung von Leuchten und Scheinwerfern in der Produktionslinie.
- Das Differenzdruckverfahren ermöglicht die Erkennung geringer Luftleckraten
- Druckverlustprüfung:
 - Geeignet für direkt befüllbare Prüfteile (Scheinwerfer)
 - Direkte Adaption des Prüfteils
- Haubenprüfung:
 - Geeignet für gekapselte Prüfteile (Leuchten)
 - Prüfung in einer Formhaube mit geringem Spaltmaß
 - Zweistufige Prüfung: 1) Grobleckprüfung 2) Feinleckprüfung
- Die Definition der IP-Schutzarten geben keine Luftleckraten vor.
- Ableitung von Prüfbedingungen in der Produktionslinie aus den Anforderungen der IP-Schutzarten nur auf Basis umfangreicher Voruntersuchungen möglich.
- In der Praxis
 - Orientierung an gängigen Luftleckraten
 - Versuche mit präparierten Prüfteilen
 - Korrelationsuntersuchung: Laborprüfung gemäß IP-Vorgabe ⇒ Luftleckrate
- Druckausgleichselemente reduzieren die Gefahr von Undichtheiten, die durch zyklische Druckänderungen ausgelöst werden.

**Ihr Lösungspartner für industrielle
Dichtheits- und Durchflussprüfungen**



Testsysteme GmbH

**Mehr als 25 Jahre Kompetenz in der
Lösung industrieller Prüfaufgaben**