



## TIPPS UND TRICKS VOM EXPERTEN

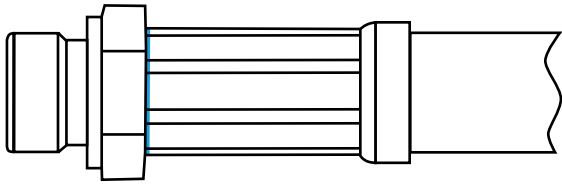
### Der Begriff „Wasserdichtheit“ lässt Interpretationsspielraum

Das Wort „wasserdicht“ hat sich als Beschreibung für Eigenschaften von Bauteilen und Konstruktionen in der Umgangssprache etabliert. Nicht selten finden sich in Konstruktionszeichnungen Begriffe wie „wasserdicht“ zur Angabe von Leckageraten. Doch bei näherem Betrachten wird deutlich, dass dieses Schlagwort einen extrem großen Spielraum für Interpretationen lässt. Es wird nicht verdeutlicht, was unter dieser Anforderung an den Dichtheitsgrad zu verstehen ist: Ist die Bildung eines Tropfens oder Flüssigkeitsfilms auf der Oberfläche des zu prüfenden Bauteils noch erlaubt, wenn es als „wasserdicht“ bezeichnet wird? Oder ist der Austritt von Wasser generell auszuschließen? Schon diese Gegenfragen verdeutlichen, dass mit der gebräuchlichen Verwendung des Schlagwortes „wasserdicht“ keine exakten Dichtheitsanforderungen definiert werden können. Aus die-

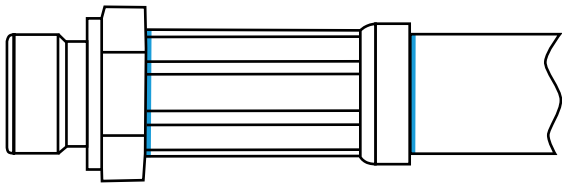
sem Grund müssen Angaben zur Wasserdichtheit von Bauteilen und Komponenten sehr viel stärker differenziert werden.

#### **Unterteilung in sechs Klassen**

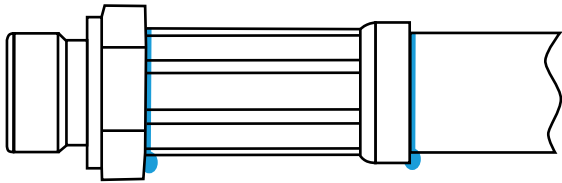
Laut „ISO/TR 11340:1994-07 Gummi und Gummiprodukte – Hydraulik-Schlauchleitungen – Klassifizierung der äußeren Leckverluste für hydraulische Systeme“ kann der Austritt von Flüssigkeiten in verschiedene Klassen unterteilt werden (siehe Abbildung 1). Dies hilft zwar dabei, eine Beurteilung durchzuführen, eine quantitative Aussage ist damit jedoch nicht möglich.



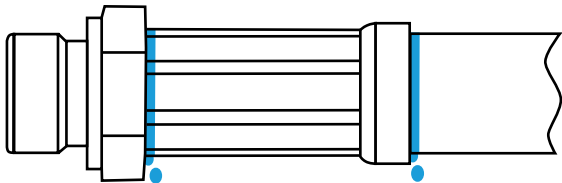
Klasse 1:  
Nicht austretende Feuchtigkeit



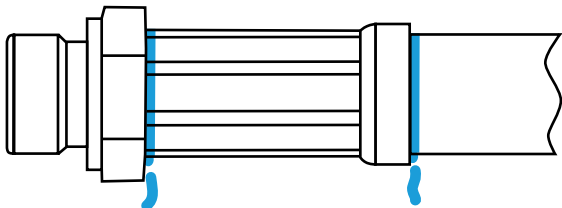
Klasse 2:  
Austretende Feuchtigkeit ohne Tropfenbildung



Klasse 3:  
Austretende Feuchtigkeit mit Tropfenbildung, nicht fallend



Klasse 4:  
Austretende Feuchtigkeit mit fallenden Tropfen



Klasse 5:  
Austretende Feuchtigkeit, wobei die Frequenz des Tropfens einen messbaren Flüssigkeitsstrom ergibt

Abbildung 1: Klassifizierung von Leckagen nach ISO/TR 11340:1994 (E)

Um aus der Beobachtung von austretendem Wasser eine quantitative Aussage für eine Dichtheitsprüfung ableiten zu können, eignen sich die im Pfeiffer Vacuum „Lecksuch-Kompendium“ zusammengefassten Formeln für die Umrechnung einer Flüssigkeits- in eine Prüfgas-Leckagerate. Zur Verdeutlichung dieser Ableitung dient ein Alltagsbeispiel: Sollen im Winter beim Skifahren farbige Tropfen im weißen Schnee vermieden werden, darf ein Pistenfahrzeug keinen Tropfen aus einer Kühlwasserleitung verlieren. Demnach würde die Kühlwasserleitung nach Klasse 3 der ISO/TR 11340 klassifiziert werden.

Ist die austretende Wasserblase kugelförmig mit einem Durchmesser von 2 mm, so hat sie ein Volumen von etwa 4,2 mm<sup>3</sup>. Tritt die Blase aus, so gefriert sie entweder bei tiefen Temperaturen oder verdampft bei Temperaturen über dem Nullpunkt innerhalb von 10 Minuten. Damit liegt also eine maximale Flüssigkeits-Leckagerate von 4,2 mm<sup>3</sup> in 10 Minuten oder rund 7 mm<sup>3</sup> pro Sekunde vor.

Die Umrechnung auf eine Helium-Leckagerate gelingt mit der Formel

$$Q_{He} = \frac{\eta_{flüssig}}{\eta_{gas}} \cdot Q_{Wasser} \cdot \frac{p_1 + p_2}{2}$$

- $\eta_{flüssig}$  = dynamische Viskosität der Flüssigkeit [Pa·s]
- $\eta_{gas}$  = dynamische Viskosität des Prüfgases [Pa·s]
- $p_1$  = Leitungsdruck (abs) [bar]
- $p_2$  = Außendruck (abs) [bar]

Mit den Zahlenwerten

- $\eta_{flüssig}$  =  $1,0 \cdot 10^{-3}$  [Pa·s]
- $\eta_{gas}$  =  $1,86 \cdot 10^{-5}$  [Pa·s]
- $p_1$  = 3 [bar]
- $p_2$  = 1 [bar]

erhalten wir eine Helium-Leckagerate von rund 0,75 mbar·l·s<sup>-1</sup>. Rechnen wir diese Rate noch auf einen Prüfdruck von 1 bar gegen Vakuum um, erhalten wir rund 0,1 mbar·l·s<sup>-1</sup>. Überlegen wir uns aber den Fall einer Dampfsterilisation medizinisch-optischer Objekte, so soll ein entstehender Wassertropfen deutlich kleiner sein als das Auflösungsvermögen des Auges des behandelnden Arztes. Nehmen wir einen Tropfendurchmesser von ¼ mm an, so kommen wir auf Helium-Leckageraten im Bereich von einigen 10<sup>-6</sup> mbar·l·s<sup>-1</sup>.

In oben stehenden Beispielen liegt Wasser in flüssiger Form und als Dampf vor. Doch gilt die Bezeichnung „wasserdicht“ auch in Bezug auf den flüssigen Aggregatzustand für einen derart weiten Bereich?

In einer Literaturrecherche findet man beispielhafte Aussagen für Wasserdichtheit (siehe Tabelle 1, [www.dgzfp.de/Fachauschüsse/Dichtheitsprüfung/faq; FAQ 22](http://www.dgzfp.de/Fachauschüsse/Dichtheitsprüfung/faq; FAQ 22)):

Diese Werte sind meist berechnet, wodurch sich auch Unterschiede in publizierten Tabellen für Leckkanäle - ein Leck in einer relativ dicken Wand oder Blendenlecks, ein Leck in einer sehr dünnen Wand - ergeben. Mit den Werten aus der obigen Tabelle ergeben sich sicherlich Anhaltspunkte für einen vernünftigen Bereich einer Spezifikation, als quantitative Aussage reichen sie aber nicht.

Der maximale Lochdurchmesser, durch den eine Flüssigkeit gerade nicht mehr durchtreten kann, wird durch die folgende Gleichung beschrieben:

$$d_{max} = \frac{4 \cdot \sigma \cdot \cos \phi}{\Delta p}$$

- $\sigma$  = Oberflächenspannung [N·m<sup>-1</sup>]
- $\phi$  = Randwinkel
- $\Delta p$  = Druckdifferenz zwischen Anfang und Ende des Leckkanals [bar]

Hier ist also nicht mehr die dynamische Viskosität der bestimmende Parameter, sondern die Oberflächenspannung. Nachdem der Randwinkel meist unbekannt ist, wird er gleich 1 gesetzt – dies ist der größte Wert, den ein Cosinus annehmen kann und daher auch für die Leckagerate der schlimmste anzunehmende Fall. Die Oberflächenspannung von Wasser bei 20 °C ist in Tabellenwerken mit 72,8·10<sup>-3</sup> N·m<sup>-1</sup> angegeben. Dies gilt aber nur bei dieser Temperatur für nicht entspanntes Wasser auf Aluminium.

Ändert man also die Temperatur, gibt einen Tropfen eines Tensids (Spülmittels) zum Wasser oder verwendet einen wasserabweisenden Kunststoff als Oberfläche, dann kriecht Wasser durch Kanäle. Dieses hätte die Oberflächenspannung sonst noch leicht verstopft – damit wird aus „wasserdicht“ statt 10<sup>-2</sup> mbar·l·s<sup>-1</sup> schnell 10<sup>-5</sup> mbar·l·s<sup>-1</sup>.

Noch schlimmer wird es, wenn nur geringste Mengen Wasser von der Oberfläche einer Kalotte eines kleinen wassergefüllten Leckkanals abdampfen und im geschlossenen Gehäuse eines Elektronikbauteils Schwingquarze beschweren oder Kontakte und Leitungen korrodieren lassen. Hier befindet man sich schnell im Bereich von 10<sup>-8</sup> mbar·l·s<sup>-1</sup>.

Diese Beispiele sollen zeigen, dass „wasserdicht“ einen breiten dynamischen Bereich an Leckageraten überdeckt und ein Schlagwort keinesfalls als quantitative Dichtheitsanforderung gelten kann.

Diese Abschätzungen können mit den Formeln aus dem Pfeiffer Vacuum „Lecksuch-Kompendium“ nachvollzogen werden. Gerne unterstützen wir Sie bei der anwendungsspezifischen Optimierung Ihrer Vakuumlösung – fragen Sie uns!

Leckagerate / mbar·l·s <sup>-1</sup>	Leckagerate / Pa·m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup>	Durchmesser des Leckkanals / m	Leckage bei 1 bar Differenzdruck
10 <sup>2</sup>	10 <sup>1</sup>	1,0 · 10 <sup>-3</sup>	Wasser läuft aus
10 <sup>0</sup> = 1	10 <sup>-1</sup>	1,0 · 10 <sup>-4</sup>	Wasserhahn tropft
10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-3</sup>	3,5 · 10 <sup>-5</sup>	Entspricht ungefähr dem Durchmesser eines Haares; Mindestanforderung für „tropft nicht“
10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-4</sup>	2,0 · 10 <sup>-5</sup>	„wasserdicht“

Table 1: Beispielhafte Aussagen für Wasserdichtheit

## VAKUMLÖSUNGEN AUS EINER HAND

Pfeiffer Vacuum steht weltweit für innovative und individuelle Vakuumlösungen, für technologische Perfektion, kompetente Beratung und zuverlässigen Service.

## KOMPLETTES PRODUKTSORTIMENT

Vom einzelnen Bauteil bis hin zum komplexen System:

Wir verfügen als einziger Anbieter von Vakuumtechnik über ein komplettes Produktsortiment.

## KOMPETENZ IN THEORIE UND PRAXIS

Nutzen Sie unser Know-how und unsere Schulungsangebote!

Wir unterstützen Sie bei der Anlagenplanung und bieten erstklassigen Vor-Ort-Service weltweit.

Sie suchen eine perfekte  
Vakuumlösung?  
Sprechen Sie uns an:

Pfeiffer Vacuum GmbH  
Headquarters · Germany  
T +49 6441 802-0  
info@pfeiffer-vacuum.de

[www.pfeiffer-vacuum.com](http://www.pfeiffer-vacuum.com)