



TIPPS UND TRICKS VOM EXPERTEN

Virtuelle Lecks: Entstehung, Detektion und Vermeidung

Unter einem virtuellen Leck versteht man ein scheinbares, nicht wirklich vorhandenes Leck. Es wird durch die langsame Abgabe von Gasen an der Oberfläche, aus dem Inneren des Materials oder teilweise aus abgeschlossenen Volumina innerhalb des Systems hervorgerufen. Dabei ist die Langsamkeit der Gasabgabe die entscheidende Eigenschaft, die ein virtuelles Leck kennzeichnet.

Virtuelle Lecks verlangsamen als Gasquellen einen Abpumpprozess oder die Zeit zum Erreichen des gewünschten Enddrucks deutlich. Die Gasflussrate aus dem virtuellen Leck wird bestimmt durch die Abmessungen des Leckkanals zwischen dem eingeschlossenen Gasvorrat und dem freien Volumen des Vakuumbehälters. Ist der Kanal sehr klein, werden die eingeschlossenen Gase wegen des hohen Strömungswiderstands des Kanals sehr langsam abgegeben und die Abpumpzeit des

Behälters kann drastisch verlängert werden. Wird das Vakuumsystem wiederholt belüftet, kann sich der Gasvorrat immer wieder auffüllen. Damit tritt dieser Effekt bei jedem Anpumpvorgang erneut auf. Eine Pumpe hat dabei keinen Einfluss auf die Geschwindigkeit der Gasabgabe. Die Leckagerate (in mbar·l/s) aus dem Hohlraum ist im Gleichgewicht mit der Gasabfuhr durch die Pumpe, also dem Saugvermögen (l/s) multipliziert mit dem aktuellen Druck (mbar).

Entstehung von virtuellen Lecks durch eingeschlossene Gase

Eingeschlossene Gasvolumina können beispielsweise durch Fügeprozesse während der Produktion eines Vakuumbehälters entstehen. Soll beispielsweise die Wand eines Vakuumbehälters stumpf auf eine Bodenplatte geschweißt werden,

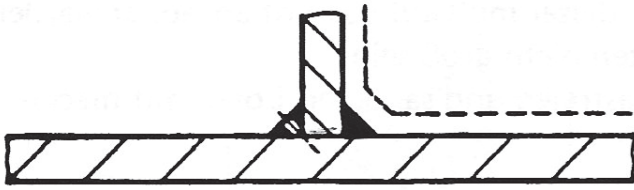


Abbildung 1: Doppelkehlnaht, die Vakuumseite ist durch die gestrichelte Linie angedeutet (Quelle: Jobst H. Kerspe et al., Vakuumtechnik in der industriellen Praxis, expert-Verlag)

so montieren unerfahrene Konstrukteure sie oft mit einer doppelten Kehlnaht (siehe Abbildung 1). Dies birgt die Gefahr, dass Gas zwischen den beiden Schweißnähten eingeschlossen wird. Ist nun die vakuumseitige Schweißnaht undicht, so wird sich das eingeschlossene Gas in das Innere der Vakuumkammer ausbreiten. Durch den hohen Strömungswiderstand der kleinen Pore zwischen eingeschlossenem Gasvolumen und dem Innenvolumen der Kammer wird dies langsam geschehen. Ist nun gleichzeitig die äußere Schweißnaht dicht, so besteht keine Möglichkeit, die undichte Stelle mittels Helium-Lecksuche zu lokalisieren. Daher werden die von der Atmosphärenseite zugänglichen Schweißnähte nicht durchgezogen, sondern entweder unterbrochen oder nachträglich angebohrt.

Aus dem gleichen Grund werden CF-Flansche mit einer Lecksuchnut versehen. Generell gilt: Eine Reihenschaltung von Dichtungen birgt immer die Gefahr virtueller Lecks. Die innere Dichtung ist die relevante Abdichtung zum Vakuum, eine äußere Dichtung schließt einen Hohlraum ein und verhindert, dass das eingesetzte Helium zur Lecksuche an die relevante Dichtung gelangt.

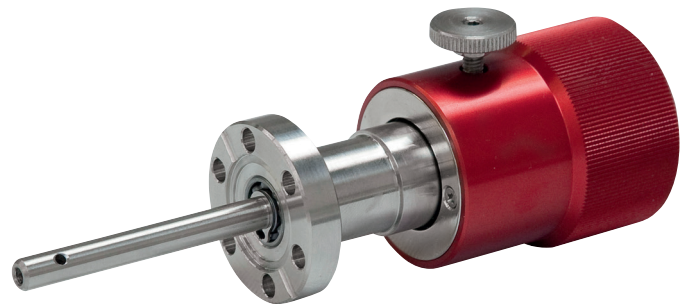


Abbildung 3: Das Wellenende der Drehdurchführung ist ein Innengewinde mit seitlicher Entlüftungsbohrung

Wie bereits erwähnt, bestimmen die Abmessungen des Leckkanals die Geschwindigkeit der Gasabgabe. Ein klassisches Beispiel ist der Gasaustritt aus einem Sackloch durch den Gewindegang einer Schraube in der Wand eines Vakuumbehälters. Eine Entlüftungsbohrung von Sacklöchern oder durchbohrte Schrauben können eingesetzt werden, um den Gasaustritt aus dem Sackloch zu beschleunigen. Durch eine Bohrung wird allerdings der Kern der Schraube geschwächt und die Tragfähigkeit reduziert. Wenn es die Geometrie erlaubt, kann eine Entlüftungsbohrung von der Seite in den Gewindeauslauf gesetzt werden.

Sollen Einbauten in Kammern befestigt werden, können alternativ zum Bohren von Gewinden in die Kammerwand Gewindemuffen auf die Kammerwand geschweißt werden, die gleich mit eingefrästen Entlüftungsritzen versehen sind.

Gelegentlich entstehen virtuelle Lecks einfach durch den Spalt zwischen zwei Flanschen bei maximal angezogenem Spanning und damit gequetschter Dichtung.

Doppelte Dichtungsschnüre werden in Kammerdichtungen oft eingesetzt, um den Permeationsgasstrom zu minimieren. Hat aber nun die innere Dichtung ein Leck, entsteht wiederum ein virtuelles Leck. Abhilfe schaffen hier Nuten zur Evakuierung des Totvolumens hinter dem O-Ring und ein Vakuumanschluss zwischen doppelten O-Ringen. Damit können eingeschlossene Gase abgepumpt und eine Helium-Lecksuche durchgeführt werden, und zwar für jede der beiden Dichtungen einzeln.

Bis jetzt haben wir immer nur von Gasen gesprochen, die in eingeschlossenen Volumen sitzen. Die oben genannten Auswirkungen virtueller Lecks - also Verlängerung der Abpumpzeit und langsames Erreichen des gewünschten Enddrucks - verstärken sich noch, wenn man Wasserdampf in ein virtuelles Leck einsperrt. Dies kann beispielsweise durch Belüften mit feuchter Umgebungsluft oder Wasseraustritt aus einer Kühlwasserleitung im Inneren des Vakuumbehälters geschehen. Wasserdampf wird sich nach Austritt aus einem virtuellen Leck an der kältesten Stelle in einem Vakuumbehälter ansammeln und ist noch schwieriger abzupumpen als die schwächer an der Oberfläche anhaftenden Luftgase wie Stickstoff, Sauerstoff oder Argon.

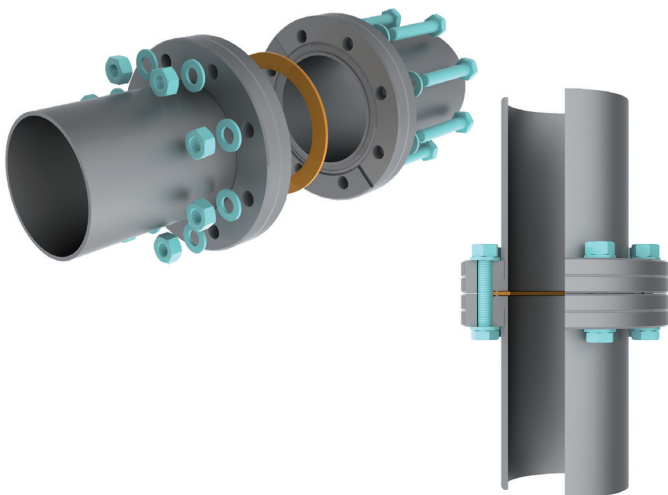


Abbildung 2: Die CF-Lecksuchnut öffnet das undefiniert gedichtete Volumen zwischen den aufliegenden Flanschflächen und der Kupferdichtung

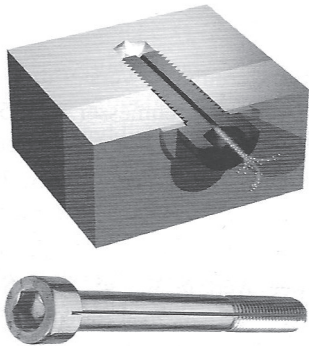


Abbildung 4: Schraube mit Entlüftungsbohrung (Quelle: Karl Jousten (Hrsg.) Handbuch Vakuumtechnik, 11. Auflage, Vieweg & Teubner Verlag Wiesbaden 2013).

Ein Trick zur Erkennung von virtuellen Lecks: Ist das Vakuumsystem mit einem Massenspektrometer ausgerüstet, kann ein virtuelles Leck nach Belüften mit einem Edelgas zwar nicht lokalisiert, aber durch den erhöhten Ionenstrom auf der betreffenden Masse erkannt werden. Wird beispielsweise eine Kammer mit virtuellem Leck nach Belüftung mit Helium das nächste Mal evakuiert, verrät ein intensives Signal bei 4 u im Massenspektrum das Vorhandensein eines virtuellen Lecks. Wurde die Belüftung mit Argon durchgeführt, kann der Anwender damit eventuell einen Prozess im Vakuum retten, bei dem ein inertes Edelgas im Gegensatz zu Luftfeuchtigkeit oder Sauerstoff nicht stört. Ein Beispiel sind Sputterprozesse, in denen Argon oft als Prozessgas eingesetzt wird.

Entstehung von virtuellen Lecks durch anhaftende Gase

Bis jetzt lag der Fokus auf eingeschlossenen Gasen. Nach der oben genannten Definition können die Gase aber auch fest an der Oberfläche anhaften oder im Inneren eines Materials gespeichert sein. Neben der Sauberkeit der eingebauten Teile beeinflusst auch die Materialauswahl das Ausgasungsverhalten des Gesamtsystems.

Die in der Vakuumtechnik eingesetzten Dichtungsmaterialien und Betriebsmittel speichern leichte Gase, vor allem Wasserstoff, Wasser, aber auch Luft und Rückstände von Lösungsmitteln. Die Abgabe wird über einen Diffusions-Transport durch das Volumen an die Oberfläche bestimmt. Bei diesen Materialien sollte das Volumen klein gehalten werden. Einige Materialien gehen dabei selbst in die Gasphase über. Dieser Dampfdruck ist stark temperaturabhängig.



Abbildung 6: Zentrierringe mit Außen-Stützring für ISO-K-Verbindungen sind geschlitzt und ermöglichen eine Entlüftung

Für Flüssigkeiten wie Fette, Öle oder Wasser kann er schon bei Raumtemperatur zur dominanten Gasquelle werden. Bei Metallen entwickelt beispielsweise Zink einen hohen Dampfdruck. Es sollte sowohl im Vollmaterial als auch in Schweißdrähten oder Loten vermieden werden.

Aluminium besitzt immer eine passivierende Oxidschicht auf der Oberfläche. Bei unbehandeltem, sogenanntem nativem Aluminium ist diese Schicht nur wenige Nanometer dick und absolut dicht. Durch Eloxieren kann diese Schicht auf mehrere 10 µm verdickt werden und damit die Härte wesentlich verbessern. Allerdings sind diese Eloxalschichten sehr porös und bilden häufig ein virtuelles Leck. In Vakuumanlagen wird deshalb meist auf Eloxalschichten verzichtet.

Keramiken sind oft gesinterte Oxide, die je nach Herstellungsprozess zwischen 80 bis über 99 % effektive Dichte erreichen. Der Nachteil von möglichen Poren wird meist über die gute Ausheizbarkeit ausgeglichen. Metalle und Gläser sind meist dicht, allerdings adsorbieren sie Gas an der Oberfläche. Im Ultrahochvakuum ist dies die dominierende Gasquelle, wenn alle anderen virtuellen und realen Lecks ausgeschaltet sind. Zusammenfassend kann man sagen, dass zur Vermeidung virtueller Lecks bereits die Konstruktion einer Vakuumkammer oder die Integration von Einbauten mit größtmöglicher Sorgfalt erledigt werden sollte.

Gerne stehen Ihnen unsere Anwendungsspezialisten für einen Vorschlag über eine spezifisch auf Ihre Anwendung abgestimmte, vakuumgerechte Kammer zur Verfügung.

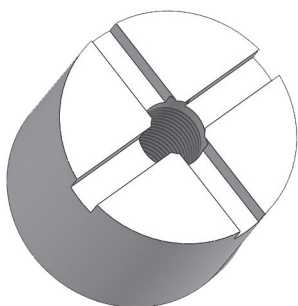


Abbildung 5: Gewindemuffe mit eingefrästen Entlüftungsnuten

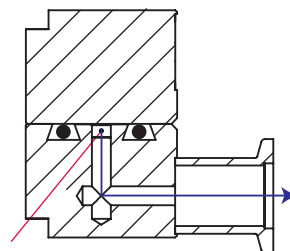


Abbildung 7: Doppelte O-Ring-Dichtung mit Zwischenraumabsaugung

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