

Berechnung von Leckraten

Fall 1: Gilt für das Ausströmen eines kompressiblen Fluids (Gas) aus einem mit Druck beaufschlagten Behälter durch eine Öffnung (einfache Düsen).

Es gilt:

$$\text{Massenstrom: } \dot{m} = A \cdot \Psi \cdot \sqrt{2 \cdot p_i \cdot \rho_i}$$

$$\text{Volumenstrom: } \dot{V} = \frac{\dot{m}}{\rho_a}$$

$$\text{Leckrate: } \rho_a \cdot \dot{V} = \frac{p_a \cdot V}{t} = \dot{m} \cdot R \cdot T_a$$

A: Leckfläche

Ψ : Ausflussfunktion

p_i : Druck im Prüfling

ρ_i : Dichte des Prüfgases innerhalb des Prüflings

p_a : Druck außerhalb des Prüflings

ρ_a : Dichte des Prüfgases außerhalb des Prüflings

R : Spezifische Gaskonstante (Luft: 287, Helium: 2078 [J/(kg*K)])

T_a : Temperatur außen

Für die Ausflussfunktion Ψ gilt:

$$\Psi = \sqrt{\frac{\kappa}{\kappa-1} \left[\left(\frac{p_a}{p_i} \right)^{\frac{2}{\kappa}} - \left(\frac{p_a}{p_i} \right)^{\frac{\kappa+1}{\kappa}} \right]}$$

κ : Adiabatenexponent des Prüfgases (1,4 für Luft, 1,66 für Helium)

Mit der Korrektur durch den Reibungsbeiwert μ ergibt sich der Massenstrom zu:

$$\dot{m} = \mu \cdot A \cdot \Psi \cdot \sqrt{2 \cdot p_i \cdot \rho_i}$$

μ : Reibungsbeiwert (z.B. zylindrisches Ansatzrohr mit L/D= 2 ... 3, $\mu=0,82$)

Beispiel 1:

Wasserbadprüfung bei 1350 mbar Innendruck und 1043 mbar Aussendruck (unter Berücksichtigung des Hydrostatischen Drucks im Becken):

Leckdurchmesser in μm	Leckagerate in mbar · l/s.
10	1,4E-02
15	3,1E-02
20	5,5E-02
50	3,5E-01
100	1,4E+00

MACEAS GmbH
Königstrasse 2
26676 Harkebrügge
Germany

Ansprechpartner:
Dipl.-Physiker Jürgen Steck
Fon +49 (4497) 92190-17
Fax +49 (4497) 92190-19
Mobil +49 (172) 6823421
steck@maceas.com

Berechnung von Leckraten

Fall 2: Gilt für den Durchfluss eines kompressiblen Fluids (Gas) durch einen kreisrunden Leckkanal.

$$\text{Massenstrom: } \dot{m} = \frac{\pi \cdot d^4 \cdot m_{\text{Molekül}} \cdot (p_i^2 - p_a^2)}{256 \cdot \eta \cdot l \cdot k_B \cdot T}$$

$$\text{Leckrate: } q_L = \frac{\dot{m} \cdot R \cdot T}{M} = \frac{\pi \cdot d^4 \cdot (p_i^2 - p_a^2)}{256 \cdot \eta \cdot l}$$

m:	Masse
p_i :	Innendruck
p_a :	Außendruck
η :	Dynamische Viskosität
l:	Länge Leckkanal
d:	Durchmesser Leckkanal
k_B :	Boltzmann Konstante
$m_{\text{Molekül}}$:	Masse eines Moleküls
T:	Temperatur
R:	universelle Gaskonstante
M:	molare Masse

Beispiel 1:

Helium(100%)-Leckagerate eines 1mm langen Leckkanals mit einem Durchmesser von 15µm bei 300mbar Innendruck und 0mbar Aussendruck (Vakuum):

$$q_L = \frac{\pi \cdot (15 \cdot 10^{-6} \text{ m})^4 \cdot ((3 \cdot 10^4 \text{ Pa})^2 - (0 \text{ Pa})^2)}{256 \cdot 1,87 \cdot 10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{s} \cdot 1 \cdot 10^{-3} \text{ m}}$$

$$q_L = 2,99 \cdot 10^{-5} \frac{\text{Pa} \cdot \text{m}^3}{\text{s}} = 2,99 \cdot 10^{-4} \frac{\text{mbar} \cdot \text{l}}{\text{s}}$$

Beispiel 3:

Luft-Leckagerate eines 1mm langen Leckkanals mit einem Durchmesser von 15µm bei 1350mbar Innendruck und 1050mbar Aussendruck:

$$q_L = \frac{\pi \cdot (15 \cdot 10^{-6} \text{ m})^4 \cdot ((1,35 \cdot 10^5 \text{ Pa})^2 - (1,05 \cdot 10^5 \text{ Pa})^2)}{256 \cdot 1,72 \cdot 10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{s} \cdot 1 \cdot 10^{-3} \text{ m}}$$

$$q_L = 2,60 \cdot 10^{-4} \frac{\text{Pa} \cdot \text{m}^3}{\text{s}} = 2,60 \cdot 10^{-3} \frac{\text{mbar} \cdot \text{l}}{\text{s}}$$

MACEAS GmbH
Königstrasse 2
26676 Harkebrügge
Germany

Ansprechpartner:
Dipl.-Physiker Jürgen Steck
Fon +49 (4497) 92190-17
Fax +49 (4497) 92190-19
Mobil +49 (172) 6823421
steck@maceas.com

Berechnung von Leckraten

Fall 3: Gilt für den Durchfluss eines inkompressiblen Fluids (Flüssigkeit) durch einen kreisrunden Leckkanal.

Es gilt:

Leckrate:
$$q_L = \frac{\pi \cdot d^4 \cdot (p_i - p_a)}{128 \cdot \eta \cdot l}$$

p_i : Innendruck
 p_a : Außendruck
 η : Dynamische Viskosität
 l : Länge Leckkanal
 d : Durchmesser Leckkanal

Hinweis:

Für sehr kleine Durchmesser d ist diese Formel nicht ohne weiteres anwendbar, da sich durch die Oberflächenspannung und andere Einflüsse wesentlich geringere Leckageraten ergeben. Unter bestimmten Bedingungen kommt es für sehr kleine Durchmesser bei Flüssigkeiten praktisch zur Leckagerate 0.

MACEAS GmbH
Königstrasse 2
26676 Harkebrügge
Germany

Ansprechpartner:
Dipl.-Physiker Jürgen Steck
Fon +49 (4497) 92190-17
Fax +49 (4497) 92190-19
Mobil +49 (172) 6823421
steck@maceas.com