

## 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
- $\Psi$ : Ausflussfunktion
- $p_i$ : Druck im Prüfling
- $\rho_i$ : Dichte des Prüfgases innerhalb des Prüflings
- $p_a$ : Druck außerhalb des Prüflings
- $\rho_a$ : Dichte des Prüfgases außerhalb des Prüflings
- $R$ : Spezifische Gaskonstante (Luft: 287, Helium: 2078 [J/(kg\*K)])
- $T_a$ : Temperatur außen

**Für die Ausflussfunktion  $\Psi$  gilt:**

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

$\kappa$ : Adiabatenexponent des Prüfgases (1,4 für Luft, 1,66 für Helium)

**Mit der Korrektur durch den Reibungsbeiwert  $\mu$  ergibt sich der Massenstrom zu:**

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

$\mu$ : 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 $\mu\text{m}$	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
$\eta$ :	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  
 $\eta$ : 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