

# Vergleich von Massenstrom und Volumenstrom

---

## Einführung

Dieser Anwendungshinweis beschreibt den Unterschied zwischen Massendurchfluss in Form eines Volumendurchflusses bei Normalbedingungen (1013,25 hPa, 0 °C) und einem Volumendurchfluss bei Nicht-Normalbedingungen.

Massenstrom entspricht einer dynamischen Masse pro-Zeit-Einheit, gemessen in Gramm pro Minute (g/min). Ein genauer Massenstrom kann berechnet werden, indem ein Volumenstrom (cm<sup>3</sup>/min) auf Temperatur und Druck bei Normalbedingungen bezogen wird. Der Massendurchfluss wird in der Industrie häufig als Volumendurchfluss unter Normalbedingungen angegeben.

Dementsprechend spezifiziert First Sensor seine Massendurchflusssensoren in Volumenstrom bei 1013,25 hPa und 0 °C .

### **Achtung:**

Im Gegensatz zu diesen weltweit einheitlich definierten Normalbedingungen wird der Volumenstrom auch oft unter nicht genormten sogenannten Standardbedingungen angegeben. Dabei wird die Standardtemperatur manchmal mit 20 °C oder auch 25 °C angegeben, und kann in verschiedenen Industrien unterschiedlich definiert sein. Daher sollte immer darauf geachtet werden, auf welche Bedingungen sich die Angabe des Volumenstroms tatsächlich bezieht.

# Vergleich von Massenstrom und Volumenstrom

---

## 1. Berechnung des Massenstroms anhand des Volumenstroms

Aus dem Volumenstrom bei Normalbedingungen lässt sich der spezifische Massenstrom berechnen, z.B. ergeben 200 cm<sup>3</sup>/min trockene Luft bei Normaltemperatur und Normaldruck einen Massenstrom von 0,258 g/min, wie die folgende Berechnung zeigt.

### Definitionen:

P = Druck [hPa][atm]

V = Volumen [cm<sup>3</sup>]

n = Anzahl der Mole [Mol]

R = allgemeine Gaskonstante [(cm<sup>3</sup>•atm)/(Mol•K)]

T = absolute Temperatur [K]

ρ = Dichte [g/cm<sup>3</sup>]

m = Masse [g]

$\dot{m}$  = Massenstrom [g/min]

$\dot{V}$  = Volumenstrom [cm<sup>3</sup>/min]

$\dot{V}_N$  = Volumenstrom bei Normbedingungen [cm<sup>3</sup>/min]

Aus der idealen Gasgleichung

$$PV = nRT$$

ergibt sich das Gasvolumen zu

$$V = \frac{nRT}{P} \quad (1)$$

Die Gasdichte ist definiert als

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2)$$

Ersetzt man in Gl. (2) das Volumen durch Gl. (1) ergibt sich

$$\rho = \frac{mP}{nRT} \quad (3)$$

Massenstrom ist das Produkt aus Dichte und Volumenstrom

$$\dot{m} = \rho \cdot \dot{V} \quad (4)$$

Mit der Dichte nach der idealen Gasgleichung aus Gl. (3) ergibt sich für den Massenstrom die Schreibweise

$$\dot{m} = \frac{mP}{nRT} \cdot \dot{V} \quad (5)$$

Für einen Volumenstrom von  $\dot{V}_N = 200$  cm<sup>3</sup>/min bei Normalbedingungen errechnet sich der Massenstrom zu

$$\dot{m} = 0,258 \text{ g/min}$$

$$\dot{V}_N = 200 \text{ cm}^3/\text{min}$$

$$m = 28,949 \text{ g in 1 Mol Luft}$$

$$n = 1 \text{ Mol}$$

$$P = 1 \text{ atm (1013,25 hPa)}$$

$$R = 82,1 \text{ (cm}^3\text{•atm)/(Mol•K)}$$

$$T = 273,15 \text{ K (0 °C)}$$

# Vergleich von Massenstrom und Volumenstrom

## 2. Berechnung des Volumenstroms anhand des Massenstroms

First Sensors Durchflusssensoren sind in Norm-Volumenstrom wie Norm-Kubikzentimeter pro Minute (sccm) oder Norm-Liter pro Minute (slpm) spezifiziert. Diese Einheiten können in einen echten Massenstrom umgerechnet werden, wie unter Punkt 1 gezeigt.

Die Sensoren messen Massenstrom. Deshalb ergibt sich bei einem konstanten Massenstrom ein ebenfalls konstantes Sensorsignal, unabhängig von Temperatur- oder Druckänderungen.

Wenn Massenströmsensoren zusammen mit Volumenstromsensoren, wie z.B. Rotametern eingesetzt werden, kann es zu Missverständnissen bezüglich der Durchflussmenge kommen. Um den Volumenstrom mit Hilfe von Massendurchflusssensoren zu bestimmen, müssen Temperatur und Druck des Mediums bekannt sein.

Bei unterschiedlichen Temperaturen und Drücken zeigen Volumenstromsensoren im Gegensatz zu Massenströmsensoren unterschiedliche Durchflussmengen an. Durch eine einfache Umrechnung kann aus dem Massenstrom der Volumenstrom bei einer bestimmten Temperatur und einem bestimmten Druck ermittelt werden.

Bei einem Massenstrom von 0,258 g/min (200 sccm) bei Normaldruck von 1013,25 hPa, aber einer Nicht-Normaltemperatur von 25 °C gibt z.B. First Sensors 200 sccm Sensor der WBA-Serie das gleiche Spannungssignal (5 V) aus wie bei Normalbedingungen (0 °C). Ein Rotameter würde bei diesen Bedingungen einen anderen Volumenstrom anzeigen.

Durch Umstellung der Formel (5) kann der entsprechende Volumenstrom bei 25 °C für den vom WBA-Sensor gemessenen Massenstrom berechnet werden.

$$\dot{V} = \frac{nRT}{mP} \cdot \dot{m} \quad (6)$$

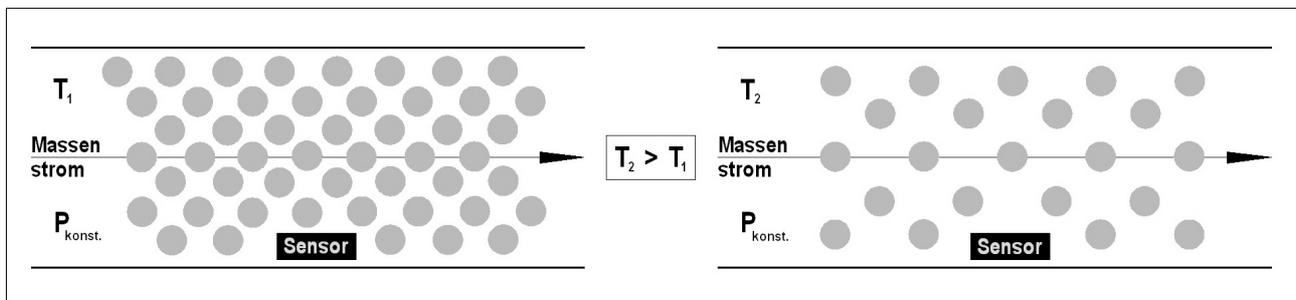
$$\dot{V} = 218,15 \text{ cm}^3/\text{min}$$

$$\begin{aligned} \dot{m} &= 0,258 \text{ g/min} \\ m &= 28,949 \text{ g in 1 Mol Luft} \\ n &= 1 \text{ Mol} \\ P &= 1 \text{ atm (1013,25 hPa)} \\ R &= 82,1 \text{ (cm}^3 \cdot \text{atm)/(Mol} \cdot \text{K)} \\ T &= 298,15 \text{ K (25 °C)} \end{aligned}$$

Dieses Beispiel ergibt für einen Norm-Volumenstrom (Massenstrom) von 200 cm<sup>3</sup>/min einen Nicht-Norm-Volumenstrom von 218,26 cm<sup>3</sup>/min bei einer Gas-temperatur von 25 °C.

Dieser Volumenanstieg kommt zustande, da sich das Gas bei Temperaturerhöhung ausdehnt, und sich dadurch der Abstand zwischen den Gasmolekülen vergrößert (Bild 1). Ein größerer Abstand bedeutet, es passt weniger Gas in ein bestimmtes Volumen als vor der Temperaturerhöhung (bei konstantem Druck).

Bei konstantem Massenfluss und erhöhter Temperatur muss sich der Volumenfluss erhöhen, um die gleiche Masse (Molekülmenge) zu transportieren.



**Bild 1:** Erhöhter Volumenfluss durch Temperaturerhöhung  $T_2 > T_1$ , Massenstrom und Druck konstant.

# Vergleich von Massenstrom und Volumenstrom

---

## 3. Berechnung des Volumenstroms unter Nicht-Normal-Bedingungen

Der tatsächliche Volumenstrom unter Nicht-Normal-Bedingungen  $\dot{V}_x$  kann aus dem Volumenstrom unter Normalbedingungen  $\dot{V}_N$  ( $P_N = 1013,25 \text{ hPa}$ ,  $T_N = 0 \text{ °C}$ ) berechnet werden, wenn die tatsächlichen Druck- und Temperaturbedingungen des Gases ( $P_x$ ,  $T_x$ ) bekannt sind.

Diese Methode erfordert keine Kenntnis der spezifischen Gasdichte bei Normalbedingungen sowie bei den tatsächlichen Messbedingungen.

### Weitere Definitionen:

- $\dot{V}_N$  = Volumenstrom bei Normalbedingungen
- $\dot{V}_x$  = Volumenstrom bei Messbedingungen
- $T_N$  = Temperatur bei Normalbedingungen
- $T_x$  = Temperatur bei Messbedingungen
- $P_N$  = Druck bei Normalbedingungen
- $P_x$  = Druck bei Messbedingungen
- $\dot{m}_N$  = Massenstrom bei Normalbedingungen
- $\dot{m}_x$  = Massenstrom bei Messbedingungen

Wenn der Massenstrom über Druck und Temperatur konstant gehalten wird, ergibt sich

$$\dot{m}_N = \dot{m}_x$$

und

$$\frac{mP_x}{nRT_x} \cdot \dot{V}_x = \frac{mP_N}{nRT_N} \cdot \dot{V}_N$$

Damit lässt sich der tatsächliche Volumenstrom  $\dot{V}_x$  wie folgt berechnen

$$\dot{V}_x = \dot{V}_N \cdot \frac{P_N}{P_x} \cdot \frac{T_x}{T_N} \quad (7)$$

$$\dot{V}_x = 218,3 \text{ cm}^3/\text{min}$$

- $\dot{V}_N = 200 \text{ cm}^3/\text{min}$
- $P_N = 1 \text{ atm (1013,25 hPa)}$
- $P_x = 1 \text{ atm (1013,25 hPa)}$
- $T_N = 273,15 \text{ K (0 °C)}$
- $T_x = 298,15 \text{ K (25 °C)}$