



Bild: Pewarton

Bild: Pewarton

Bild: Pewarton

Bild: Pewarton

Bild: Alexstar – stock.adobe.com

**Volumen- und Massestrom:** Es kommt auf die Applikation an und wie die Messdaten interpretiert werden. Abgebildet sind verschiedene MEMS-Differenzdruck und Flow-Sensoren.

## Den Durchfluss richtig messen und die Messdaten interpretieren

*Eine häufige Messaufgabe in der Medizin oder der Industrie ist es, den Volumen- oder Massestrom zu messen. Dabei kommt es auf die Applikation an und wie die Messdaten interpretiert werden.*

PHILIPP KISTLER \*

**W**ie so oft in der Technik oder im täglichen Leben kann eine Aufgabe auf verschiedene Arten gelöst werden. Das Beispiel der Durchflussmessung zeigt, wie wichtig es ist, von Anfang an den



\* Philipp Kistler  
... ist Produkt-Manager für Druck- und Flowsensoren bei Pewarton in Zürich.

richtigen Ansatz zu wählen. Um den Durchfluss zu messen, bieten sich zwei Verfahren an, die zudem auch am weitesten verbreitet sind: Zum einen die Messung über einen Differenzdruck, sowie die Flow-Messung nach dem thermischen Prinzip. Weitere Verfahren haben durchaus ihre Berechtigung, besetzen aber eher Nischencharakter. Der Beitrag betrachtet vor allem gasförmige Medien. Viele Aspekte davon gelten auch bei Flüssigkeiten, andere sind gesondert zu betrachten.

Zuerst soll der Unterschied zwischen Volumenstrom und Massestrom betrachtet werden. Bei einem Massedurchfluss oder auch Massestrom wird die Anzahl der Moleküle gemessen – beim Volumenstrom dementsprechend der Raum, den die Moleküle einnehmen. Gase sind komprimierbar, daher kann sich ein Volumenstrom bei Temperatur- und Druckänderungen wesentlich ändern. Das Verhältnis wird durch die folgende Formel  $pV = nRT$  beschrieben. Dabei sind die

## ALLGEMEINE MESSTECHNIK // SENSORIK

Parameter  $p$  = Druck,  $V$  = Volumen,  $n$  = Molare Masse,  $R$  = Gaskonstante und  $T$  = Temperatur. Die thermische Zustandsgleichung idealer Gase beschreibt diesen Zusammenhang. Gut veranschaulicht lässt sich das an einem Beispiel mit zwei Kolben.

### Warum der Massedurchfluss am genauesten ist

Um eine Aussage über einen Massefluss zu treffen, ist die unmittelbare Messung des Massedurchflusses grundsätzlich die exakteste Möglichkeit. Bei anderen Verfahren wird über Differenzdruck, Volumenstrom oder Strömungsgeschwindigkeit der Durchfluss abgeleitet. Diese Methoden sind aber Druck- und Temperaturabhängig und müssen dementsprechend korrigiert werden. Wenn der Massendurchfluss die zu messende Größe ist, ist also eine unmittelbare Messung meist genauer. Diese direkte Messung erfolgt über das thermische Prinzip. Was genau ist das thermische Prinzip? Vereinfacht dargestellt wird der Energietransport gemessen. Das bedeutet, die über den Heizer erzeugte und über den Fluss abgeführte Energie. Hierbei ist leicht verständlich, dass für den Energietransport nicht das Volumen, sondern vielmehr die Anzahl Moleküle entscheidend ist.

Diese Zusammenhänge verdeutlichen, dass ein Massefluss eigentlich in Gewichtseinheiten wie mg/s oder g/h angegeben werden sollte. In der Praxis werden jedoch häufig Volumeneinheiten verwendet. Das ist nicht falsch, solange der Druck und die Temperatur dazu angegeben werden. Hierzu gibt es zwei vorbereitete Bedingungen. Als Normalbedingung wurde ein Druck von 1013 mbar und eine Temperatur von 0 °C definiert. Gekennzeichnet wird diese Volumeneinheit durch den tiefgestellten Buchstaben n:  $l_n/$

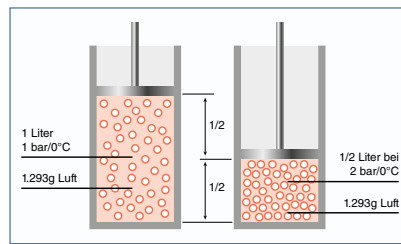


Bild: Pevatron

**Bild 1:** Die thermische Zustandsgleichung idealer Gase veranschaulicht am Beispiel mit zwei Kolben. Ein Behälter mit einem Volumen von einem Liter und einem beweglichen, gewichtslosen Kolben enthält 1293 g Luft, der Umgebungsdruck beträgt ein bar. Bewegt sich der Kolben nach unten, verringert sich das Volumen auf 1/2 Liter. Der Druck steigt auf zwei bar. Die Masse bleibt konstant bei 1293 g.

min. Eine zweite weit verbreitete Definition zur Umrechnung von Masse in Volumen ist die Standardbedingung. Diese ist auf 20 °C anstelle von 0 °C bezogen und wird entsprechend mit einem  $s$  anstelle des  $n$  gekennzeichnet:  $l_s/\text{min}$ . Diese Angaben von Temperatur und Druck sind absolut zwingend. Wird der Unterschied  $l_n/\text{min}$  und  $l_s/\text{min}$  nicht beachtet, resultiert ein Fehler von um die 7%. Weichen auch die Druckbedingungen von den 1013 mbar ab, kann der Messwert noch weitaus deutlicher von der Realität abweichen. Volumetrische Messvorrichtungen, wie Flügelradzähler, Schwebekörper- oder Tur-

binen-Durchflussmesser, erkennen Temperatur- und Druckänderungen nicht. Für eine Masseflussmessung müssten zusätzliche Sensoren für die Größen sowie eine Recheneinheit (Mikro-Controller oder PC) eingesetzt werden, die aus allen Rohmessdaten den echten Massefluss berechnet. Darauf wird allerdings verzichtet bzw. die Messprinzipien kommen meist dann zum Einsatz, wenn ein ungefährender Messwert bzw. keine hohe Genauigkeit gefordert ist oder wenn der Volumenstrom die interessierende Größe ist. Ob nun ein Volumenstrom oder ein Massefluss gemessen werden soll, entscheidet grundsätzlich die Applikation selbst. Oft ist das historisch bedingt oder von der Branchen abhängig. Wird nach Volumen gekauft oder verkauft, sollte volumetrisch gemessen werden. Wenn das Gewicht wie beim Benzin der Faktor für den Preis ist, sollte dementsprechend der Massenstrom gemessen werden.

### Von applikationsspezifischen Umgebungsbedingungen

Neben der zu messenden Messgröße, die auch von der Applikation abhängig ist, tragen die Umgebungsbedingungen dazu bei, welcher Sensor oder welches Messprinzip zum Einsatz kommt. Ein gutes Beispiel ist ein Volumenstromregler für HLK-Lüftungen. Hier sind vor allem zwei Randbedingungen zu beachten: Verschmutzung und der Langzeit

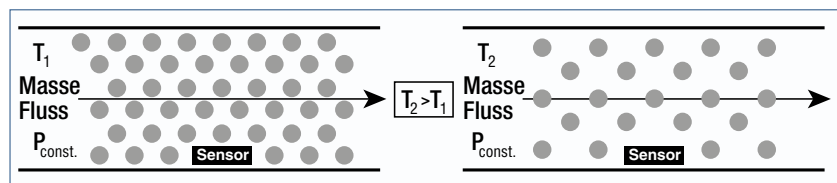



Bild: Pevatron

**Bild 2:** Masse- vs. Volumenstrom sowie das Temperaturverhalten.


## ORIGIN 2018b Datenanalyse- und Grafiksoftware

Weil ein Bild mehr sagt als tausend Worte



Erhalten Sie mit Origin schnell und einfach aussagefähige, publikationsreife Grafiken und Reports aus Ihren Datenanalysen.  
[www.additive-origin.de/ep](http://www.additive-origin.de/ep)

Erfahren Sie in unseren Schulungen mehr über die verschiedenen Anwendungsmöglichkeiten mit Origin!  
[www.additive-academy.de/origin](http://www.additive-academy.de/origin)



## ALLGEMEINE MESSTECHNIK // SENSORIK

Offset-Drift. Es liegt auf der Hand, dass sich in den Lüftungen von Wohnungen und Geschäftshäusern über die Zeit einiges an Staub ansammelt. Vergleicht man einen MEMS-Differenzdrucksensor mit einem Thermischen-Flow-Sensor, wirkt Staub völlig unterschiedlich auf die beiden Messprinzipien. Typischerweise wird mit einer Messblende ein Differenzdruck erzeugt, der sich je nach Flow ändert. Die Druckdifferenz wird mit einem MEMS-Niederdrucksensor gemessen. Das sind meist einige wenige mbar. Zu hoch darf der Druckabfall allerdings nicht sein, weil sonst zu viel Energie vernichtet wird. Staub stellt hier kein wesentliches Problem

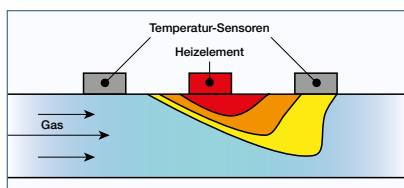


Bild 3: Das Prinzip des thermischen Messprinzips.

dar. Durch die Membran besteht zwischen den zwei Messpunkte keine Verbindung.

Es gibt keinen Durchfluss durch den Sensor, das heißt, der Drucksensor kann nicht durch Staub verstopfen. Anders sieht es bei den Thermischen-Flow-Sensoren aus. Diese lassen sich auch als Differenzdrucksensoren konfigurieren und im gleichen Aufbau verwenden. Allerdings haben sie den Nachteil, dass immer ein kleiner Fluss durch den Sensor vorhanden sein muss. Ist der Sensor durch Staub oder Schmutz verstopft, ist der Flow unterbrochen und der Sensor defekt. Um das zu verhindern, kann auch ein Filter vorgeschaltet werden. Ein Filter vermindert das Risiko zu verstopfen, erhöht aber auch die Kosten sowie Service- und Montageaufwand.

Neben den genannten Nachteilen bieten die thermischen Flow-Sensoren verschiedene Vorteile. Ihre Stärke ist ihre geringe Langzeit-Offset-Drift. Prinzip bedingt driftet der Offset über Jahre kaum. Somit ist kein Offset-Abgleich in der Applikation nötig. Drucksensoren haben physikalisch bedingt eine Off-

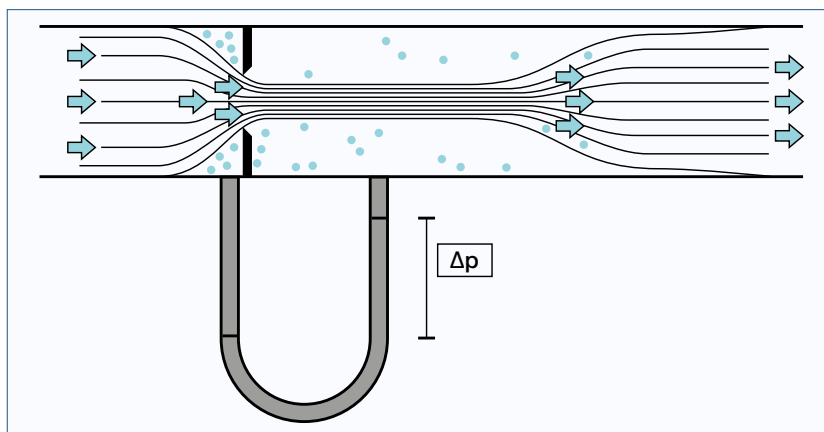


Bild 4: Die Differenzdruck-Messung über Messblende.

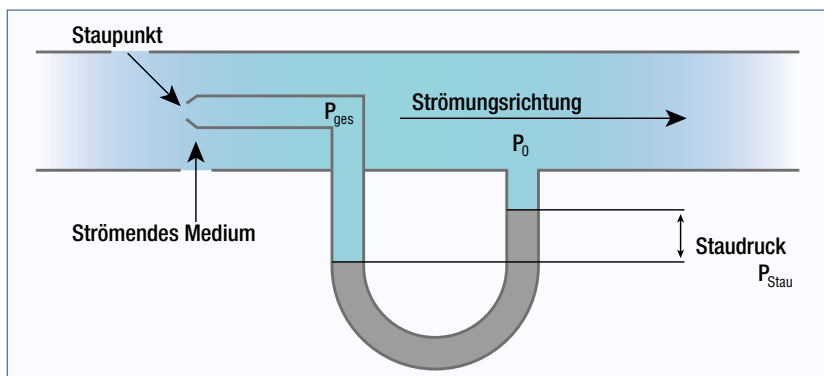


Bild 5: Eine Differenzdruck-Messung über das Pitot Rohr.

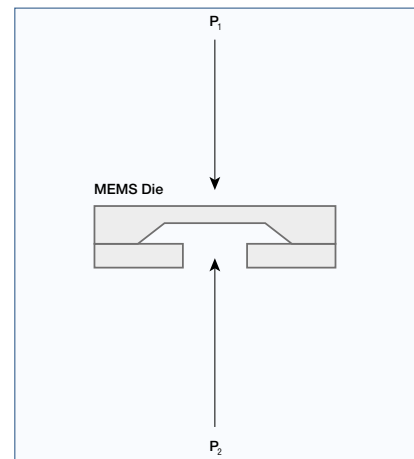


Bild 6: Eine Prinzip-Darstellung von MEMS-Drucksensoren.

setdrift – vor allem Niederdrucksensoren, manche sind sogar Abhängig von der Lage. In einem Design mit einem Drucksensor empfiehlt sich immer ein Offset-Abgleich bei der Produktion oder Inbetriebnahme und je nach Möglichkeit auch während der gesamten Lebensdauer. Ob das möglich ist, gibt die Applikation vor. Gibt es einen bekannten, definierten Zustand im Betrieb, sollte der genutzt werden, um per Software den Offset zu korrigieren. Ist das in einer Applikation möglich, ist der Drucksensor meist die beste Lösung, da er genauer und preiswerter ist. Falls kein Abgleich möglich ist, muss der Offset-Drift in den Genauigkeitsberechnungen berücksichtigt werden. Die meisten Hersteller haben jedoch die Daten nicht im Datenblatt spezifiziert. Einige Hersteller geben diese Werte auf Anfrage raus.

### Verschiedene Messprinzipien gegenüberstellen

Die Messung des Volumens für einen Volumenstromregler im HLK-Umfeld ist nur ein Beispiel für eine Applikation. Wie bei jeder Messaufgabe sollten die verschiedenen Messprinzipien, die infrage kommen, gegenübergestellt und die Vor- und Nachteile betrachtet werden. Je nach Applikation können ganz unterschiedliche Konzepte eingesetzt werden. Oft ist auch der Preis ein entscheidender Faktor, wodurch allerdings nicht immer die technisch beste Lösung, sondern die kommerziell vielversprechendste zum Einsatz kommt. Wichtig ist, diese Aspekte und Randbedingungen möglichst früh in der Entwicklung und während der Design-In-Phase zu beachten. // HEH

Pewatron

## We are here for you. Addresses and Contacts.

---

### Headquarter Switzerland:

Angst+Pfister Sensors and Power AG  
Thurgauerstrasse 66  
CH-8050 Zurich  
Phone +41 44 877 35 00  
[sensorsandpower@angst-pfister.com](mailto:sensorsandpower@angst-pfister.com)

### Office Germany:

Angst+Pfister Sensors and Power Deutschland GmbH  
Edisonstraße 16  
D-85716 Unterschleißheim  
Phone +49 89 374 288 87 00  
[sensorsandpower.de@angst-pfister.com](mailto:sensorsandpower.de@angst-pfister.com)

---

Scan here and get an overview of personal contacts!



[sensorsandpower.angst-pfister.com](https://sensorsandpower.angst-pfister.com)

---