

Der Normkubikmeter

oder: Warum ist Vakuum so teuer wie Druckluft? Zum besseren Verständnis im Umgang mit den Gasen

Im alltäglichen Umgang wird die Mengenbestimmung der Gase oftmals kritiklos mit deren Volumen in Verbindung gebracht. Zum Beispiel messen wir den häuslichen Gasverbrauch gemeinhin in **m³** ab. Gas besteht aber aus stofflicher Materie und diese hat eine bestimmbar Masse/Stoffmenge, somit eine feststellbare physikalische Grundgröße zur verbindlichen Quantifizierung.

Da die Moleküle eines Gases sich kompressibel im Raum bewegen können, müssen die Rahmenbedingungen für eine bestimmte Masse/Stoffmenge des Gases definiert bzw. festgestellt werden.

Diese Rahmenbedingungen werden durch die Größen **Volumen, Druck** und **Temperatur** bestimmt.

Die bekannte Gasgleichung für ideale Gase lautet:

$$\frac{p_1 * V_1}{T_1} = \frac{p_2 * V_2}{T_2}$$

Wenn T₁ und T₂ (in Kelvin gemessen) in der Praxis annähernd gleich groß sind, können diese in der ersten Näherung aus der Betrachtung gelassen werden, somit lautet die vereinfachte Gasformel

$$p_1 * V_1 = p_2 * V_2$$

Das heißt Volumenangaben zur Quantifizierung von Gasen sind immer **an den Bezug auf den Druck** gebunden.

Damit bei Gasmengenbetrachtungen eine verbindliche Grundlage gegeben ist, wurde der Bezug normiert.

Die stoffliche Menge eines Gases (mol oder kg), welche bei einem Druck von 1,013 bar, (1013 mbar) und einer Temperatur von 273,15 K (0 °C) ein Volumen von 1 m³ ausfüllt, bezeichnet man als einen Normkubikmeter Gas. Damit erhalten wir eine eindeutige Quantifizierung der Gase über das Volumen.

Beispiele: 1 Nm³ folgender Gasarten enthalten die genannten Massen an Gasen:

1. Luft:	1,293	kg
2. Wasserstoff:	0,0899	kg
3. Methan:	0,717	kg
4. Stickstoff:	1,250	kg
5. Kohlendioxid	1,98	kg

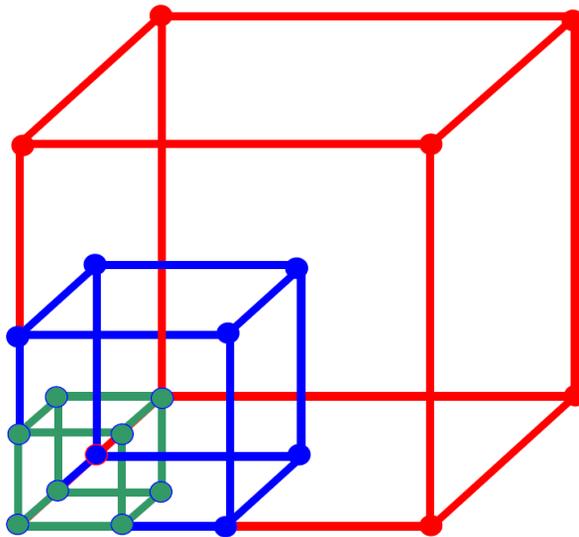
In o. g. Formeln könnten p₁, V₁, T₁ durch die Normwerte p_N, V_N, T_N ersetzt werden, somit andere Druck/Volumen/Temperatur-Kombinationen, das so genannte Betriebsdruckvolumen rechnerisch ermittelt werden.

Der Normkubikmeter

oder: Warum ist Vakuum so teuer wie Druckluft?
Zum besseren Verständnis im Umgang mit den Gasen

In der räumlichen Darstellung von drei Würfeln sind mit praxisnahen Werten die Verhältnisse **am Beispiel Luft** anschaulich dargestellt.

1. Der blaue Würfel steht für das Normvolumen (Nm³)
 $p_N=1013 \text{ mbar}$, $V_N=1 \text{ m}^3$, **$m=1,293 \text{ kg}$**
2. Der rote Würfel steht für ein Betriebsdruckvolumen (Beispiel: Unterdrückenwendung Trocknungsprozess)
 $p_B=p_N/8=126 \text{ mbar}$, $V_B=8*V_N=8 \text{ m}^3$, **$m=1,293 \text{ kg}$**
3. Der grüne Würfel steht ebenso für ein Betriebsdruckvolumen (Beispiel: Überdrückenwendung Druckluft)
 $p_B=p_N*8=8,1 \text{ bar}$, $V_B=V_N/8=0,125 \text{ m}^3$, **$m=1,293 \text{ kg}$**



Fazit: In allen drei Fällen ist die zugrunde liegende Luftmasse/(Stoffmenge) die gleiche. Der notwendige energetische Aufwand liegt vereinfacht gesagt im Aufbringen des Druckes oder gleichberechtigt im rasanten Vergrößern des Volumens. **Der damit verbundene Massestrom bleibt gleich.**
Bildlich gesprochen, könnte man sagen:

Drücke Dich tot oder renne Dich tot, der Aufwand ist der gleiche!

Der Normkubikmeter

oder: Warum ist Vakuum so teuer wie Druckluft?
Zum besseren Verständnis im Umgang mit den Gasen

Welche Bedeutung hat diese Erkenntnis für Volumenstrommessungen bei Gasen?

1. Massestrom pro Zeiteinheit ist **druck-/temperaturunabhängig**, damit allein verantwortlich für den notwendigen Energieaufwand beim Stofftransport (von sonstigen systembedingten Verlusten abgesehen).
2. Damit sind die energetischen Aufwendungen sowohl in Überdruck- wie auch bei Unterdruckerwendungen für gleichgroße Masseströme vergleichbar.
3. Die Masseströme von Gasen lassen den mathematischen Rückschluss auf Normvolumenströme ohne weitere messtechnische Erfassungen von Druck und Temperatur zu.
4. Betriebsdruckvolumenströme bedürfen in aller Regel der Festlegung eines bestimmten Systemdrucks zur Gewährleistung der Verfahrenssicherheit. Dabei sollte berücksichtigt werden, dass durch Leitungswiderstände und Lastwechsel beim Massestrom am Messort Druckschwankungen und somit Schwankungen des effektiven Betriebsdruckvolumenstroms in der Praxis zu erwarten sind.
5. Zur Gewährleistung eines gewünschten Betriebsdruckvolumenstroms sollte die Dimensionierung der Anlage immer die Aufrechterhaltung des Systemdrucks auch im Falle von starken Lastwechseln gewährleisten (Geringer Innenwiderstand des Systems).
6. Mit sinkendem Systemdruck machen sich Leitungswiderstände verstärkt bemerkbar (vgl. Ohmsches Gesetz). Das heißt: Im Unterdruckbereich sind die Leitungen besonders großzügig zu dimensionieren. Ungünstige Formgestaltung und Leitungsführung wirken sich zunehmend negativ aus (vgl. komplexe Widerstände im elektrischen Stromkreis).
7. Die Angabe des Normvolumenstrom repräsentiert die energetischen und anlagentechnischen Aufwendungen zu dessen Realisierung, trifft aber keine Aussage über die Qualität der damit erzeugten Betriebsdruckvolumenströme (zum Beispiel notwendiges Druckniveau für ein Verfahren).

Der Normkubikmeter

oder: Warum ist Vakuum so teuer wie Druckluft?
Zum besseren Verständnis im Umgang mit den Gasen

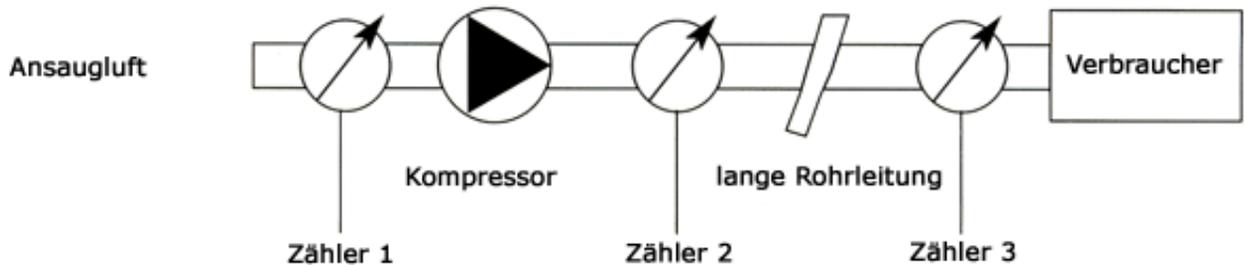
Welche Messverfahren eignen sich zur direkten Bestimmung des Massestroms?

1. Schwebekörper: **nein**
2. Flügelrädchen: **nein**
3. Thermisches Verfahren: **ja**
4. Coriolisverfahren: **ja**
5. Messblende: **nein**
6. Vortex: **nein**

Der Normkubikmeter

oder: Warum ist Vakuum so teuer wie Druckluft?
Zum besseren Verständnis im Umgang mit den Gasen

Betriebsdruckvolumenstrom und Massestrom in einer Anlage



Volumenstrom	1 m ³ /h	0,172 m ³ /h	0,167 m ³ /h
Temperatur	20°C (293 K)	80°C (353 K)	20°C
Druck	1 bar (a)	7 bar (a)	6 bar (a)
Dichte	1,205 kg/m ³	7,001 kg/m ³	7,23 kg/m ³
Massenstrom	1,205 kg/h	1,205 kg/h	1,205 kg/h

Dieses Funktionsbild einer Druckluftanlage gilt umgekehrt auch für eine Anlage im Absaugbetrieb.

Wesentlich dabei:

Der Massestrom ist an allen Stellen gleich, der Betriebsdruckvolumenstrom ist abhängig von den Verhältnissen innerhalb der Anlage und am Messort und immer im Zusammenhang mit Druck (und ggf. Temperatur) zu definieren.