

# Darstellung der Druckskala im Vakuum von $10^{-9}$ Pa bis $10^3$ Pa

## 1. Definition Vakuum

Als Vakuum werden alle Drücke bezeichnet, deren Wert kleiner als der umgebende Luftdruck ist (ISO 3529/1 und DIN 28400/1). Auch im Vakuum ist der Druck  $p$  definiert als Kraft  $F$  auf die Fläche  $A$

$$p = \frac{F}{A} \quad ,$$

auch wenn bei niedrigen Drücken die Kräfte nicht mehr messbar sind und andere Verfahren der Druckmessung eingesetzt werden. Einheit des Drucks ist das Pascal (Pa). Es ist  $\text{Pa} = \text{N m}^{-2} = \text{kg m s}^{-2} \text{m}^{-2}$ .

## 2. Was heisst "Darstellen der Druckskala"?

Darstellung bedeutet in diesem Fall, dass die Einheit des Drucks von den Grundgrößen der Länge (m), Masse (kg) und Zeit (s) abgeleitet wird, und mit physikalischen Methoden in einem sogenannten Primärnormal ein möglichst genau bekannter Druck hergestellt wird.

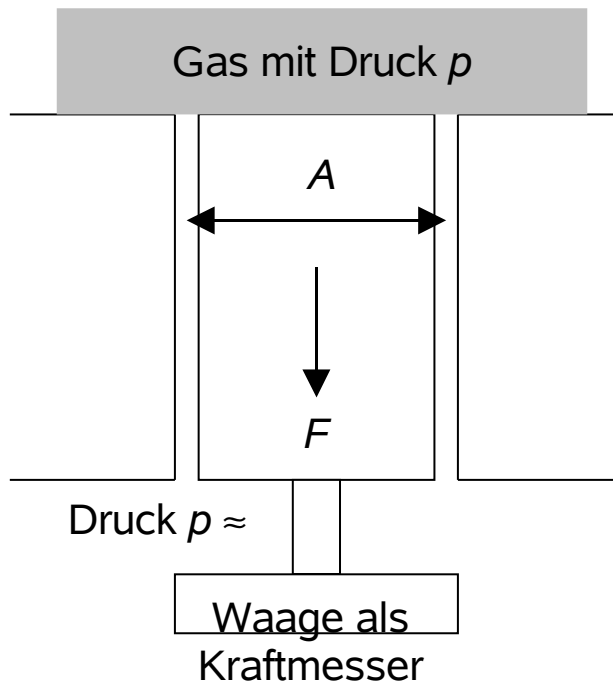
## 3. Wie wird die Druckskala unter 1000 Pa dargestellt?

Drei verschiedene Verfahren werden in der PTB angewandt:

### 3.1. Die Druckwaage

Ein Kolben-Zylindersystem realisiert eine bestimmte Querschnittsfläche  $A$  (siehe Bild).

Das Gas übt durch seinen Druck eine Kraft auf den mittleren Querschnitt zwischen Kolben und Zylinder aus und drückt diesen nach unten. Die Kraft  $F$ , welche einer Gewichtskraft entspricht, wird durch eine Waage gemessen. das Verfahren wird angewendet zwischen 30 Pa und  $10^4$  Pa.

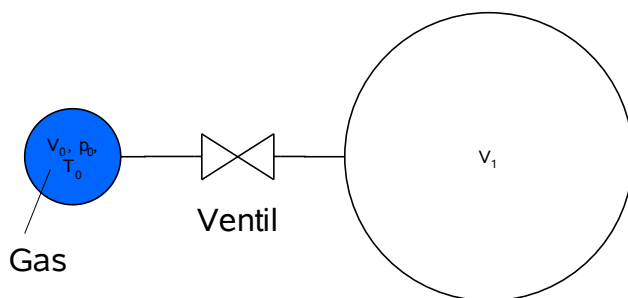


Funktionsprinzip einer Druckwaage

### 3.2. Statische Expansion

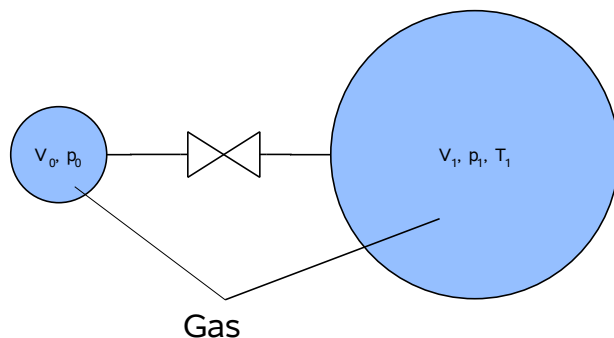
Im statischen Expansionsverfahren wird das Boyle-Mariotsche Gesetz angewandt: Das Produkt aus Druck und Volumen ist bei konstanter Temperatur für eine eingeschlossene Gasmenge konstant.

Wird Gas unter relativ hohem Druck in einem kleinen Volumen eingeschlossen und anschließend in ein wesentlich größeres, vorher evakuiertes Volumen expandiert, so wird sich der Druck entsprechend dem neuen Volumenverhältnis verringern.



#### Vor der Expansion

Ventil geschlossen: Das Gas befindet sich im kleinen Behälter bei hohem Druck  $p_0$ .



#### Nach der Expansion

Ventil offen: Das Gas befindet sich in beiden Behältern bei wesentlich niedrigerem Druck  $p_1$ , der sich aus den Volumina  $V_0$ ,  $V_1$  und dem Druck  $p_0$  errechnen lässt.

In der Praxis ist es nicht möglich, exakt gleiche Temperaturbedingungen zwischen den beiden Volumina zu erhalten. Daher wird anstelle des Boyle-Mariottischen Gesetzes das ideale Gasgesetz angewandt:

$$\frac{p \cdot V}{T} = \text{const}$$

Wird von Volumen  $V_0$  bei dem Druck  $p_0$  und der Temperatur  $T_0$  in das Volumen  $V_1$  expandiert, so gilt:

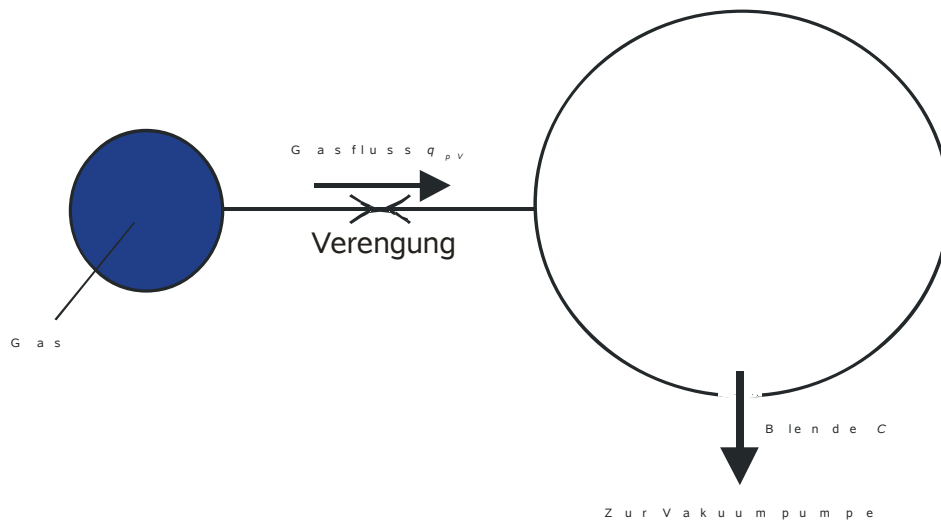
$$\frac{p_0 \cdot V_0}{T_0} = \frac{p_1 \cdot (V_0 + V_1)}{T_1}$$

Je kleiner das Expansionsverhältnis  $\frac{V_0}{V_0 + V_1}$ , desto kleiner der Druck nach der Expansion.

### 3.3. Kontinuierliche Expansion

Die Darstellung der Druckskala im Bereich zwischen  $10^{-9}$  Pa und  $10^{-2}$  Pa erfolgt mit dem Prinzip der kontinuierlichen Expansion.

Bei der kontinuierlichen Expansion findet eine Druckerniedrigung durch eine Verengung (kleiner Leitwert) statt. Durch diese strömt Gas aus einem Behälter mit relativ hohem Druck kontinuierlich in einen Kalibrierkessel, wird dort auf einen wesentlich kleineren Druck verdünnt (Faktor  $10^{-8}$ ), und fließt dann zur Vakuumpumpe.



Der Druck im Kalibrierkessel ergibt sich aus:

$$p = \frac{q_{pV}}{C}$$

$q_{pV}$  = Gasstrom  
 $C$  = Blende

Der gut bekannte Gasfluss  $q_{pV}$  wird mittels eines Gasdosiersystems erzeugt.

## 4. Verwendete Primärnormale der PTB

### 4.1. Druckwaage FRS5

Die käuflich erworbene Druckwaage FRS5 der Firma Furness wurde sorgfältig evaluiert und wird in Kürze als Primärnormal zwischen 30 Pa und 1000 Pa eingesetzt.

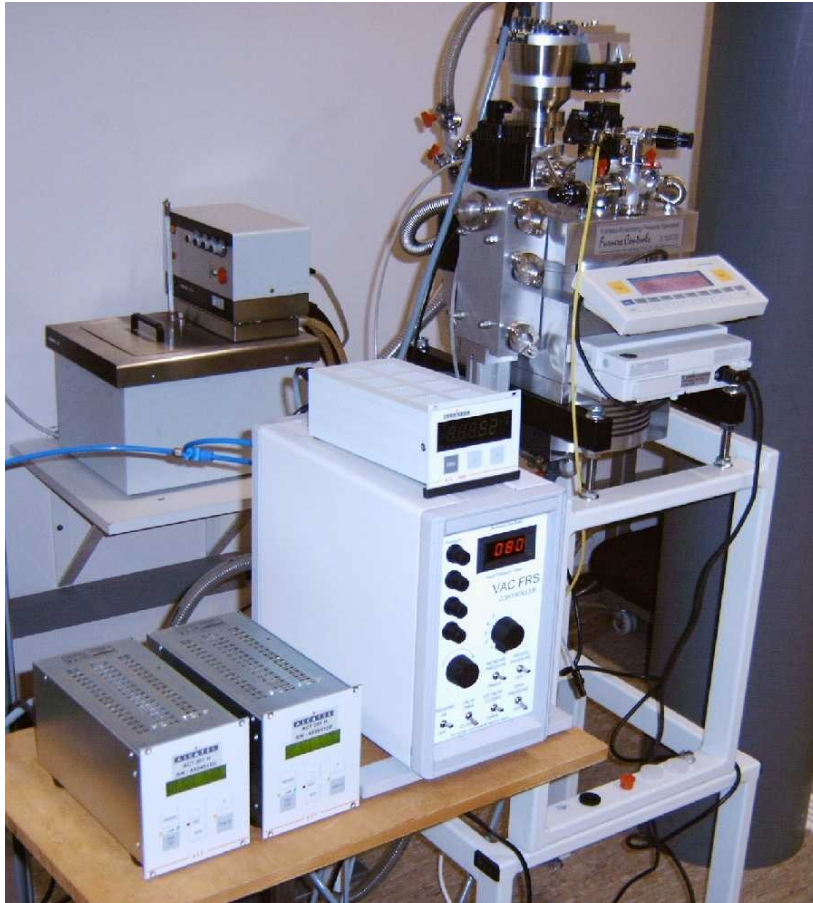
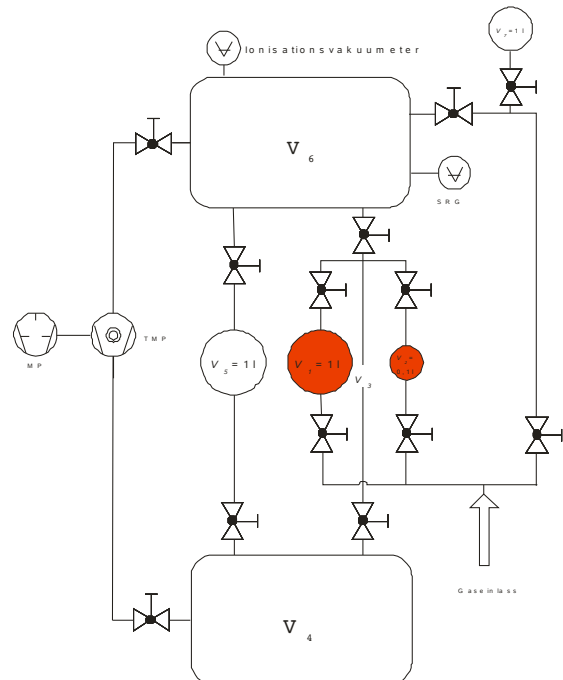
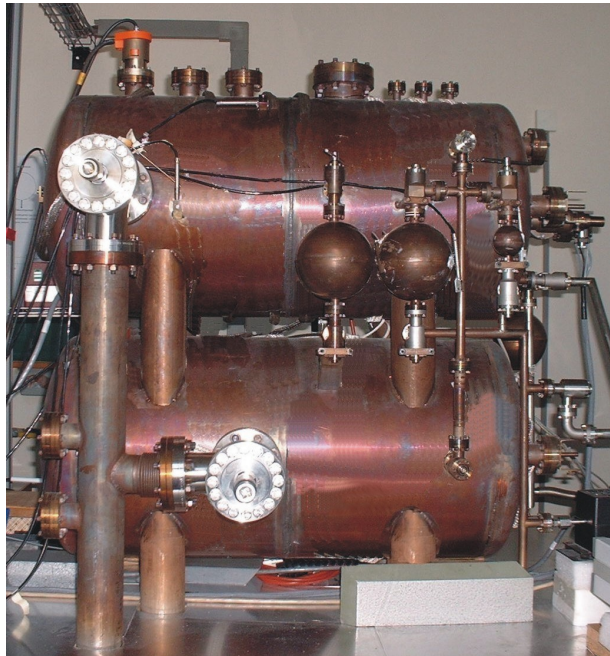


Bild der Druckwaage FRS5. Im Vordergrund Einrichtungen der Gasversorgung, dahinter das Gehäuse für das Kolben-Zylindersystem mit der zugehörigen Präzisionswaage.

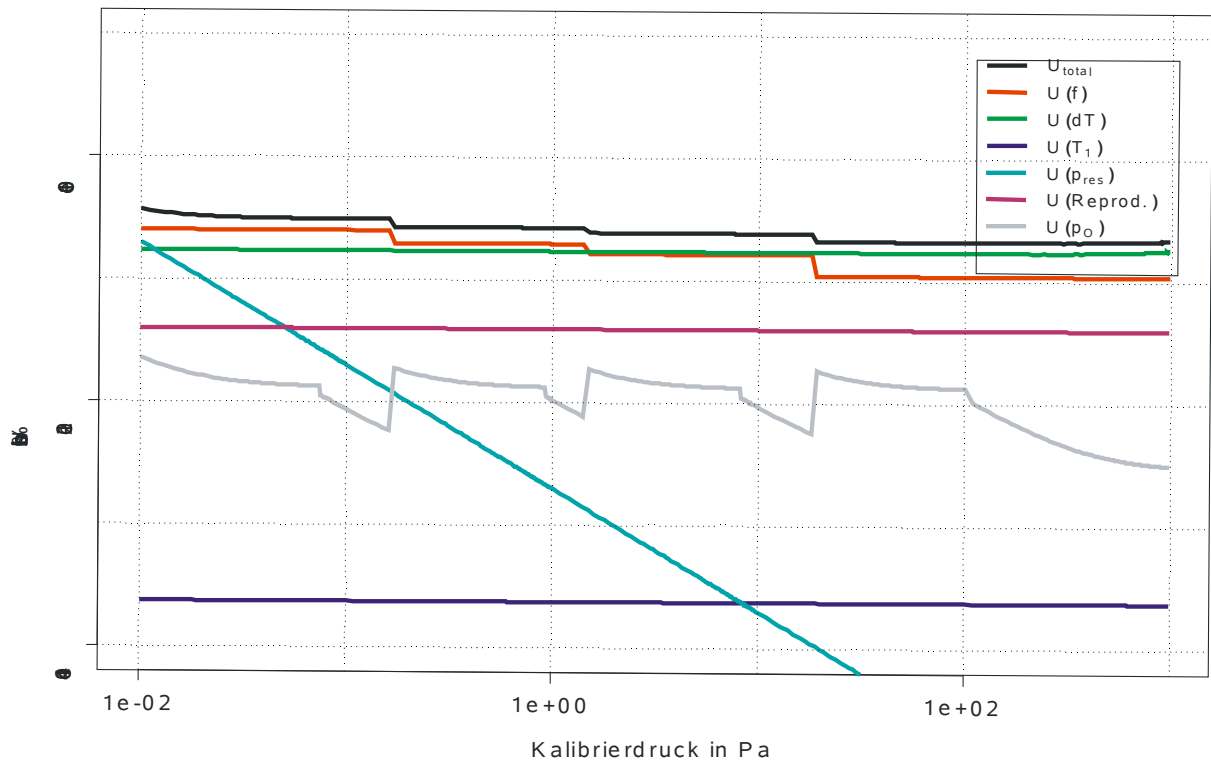
## Primärnormal SE-2

Die Darstellung der Druckskala im Vakuumbereich zwischen  $10^{-2}$  Pa und  $10^3$  Pa wird mit dem Primärnormal SE2 nach dem Statischen Expansionsverfahren realisiert.



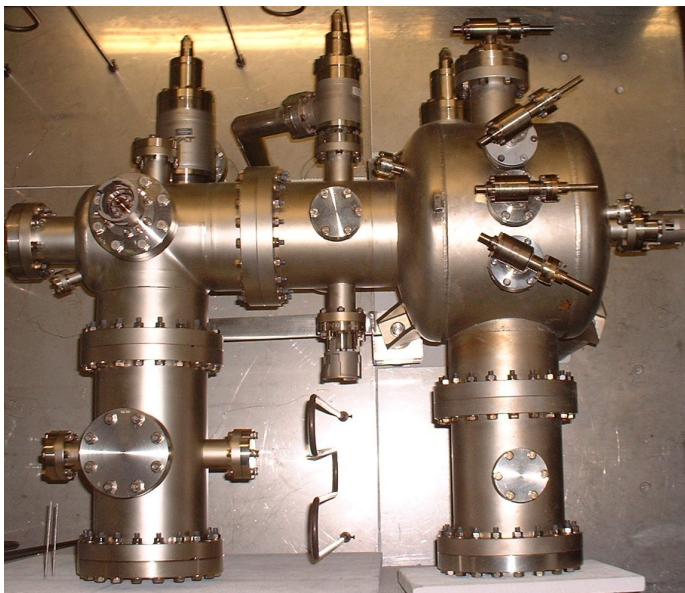
Das Primärnormal SE-2 besteht aus einer Anzahl kleiner und großer Volumina, welche durch Vakuumventile voneinander getrennt sind. Je nach gewünschtem Kalibrierdruck wird einmal oder mehrmals expandiert.

Bei nur einer Expansion wird aus V1 oder V2 direkt in das Endvolumen V6 expandiert. Erfolgen hingegen 2 Expansionen, so wird von den Volumina V1 oder V2 über V5 in das Endvolumen V6 expandiert.



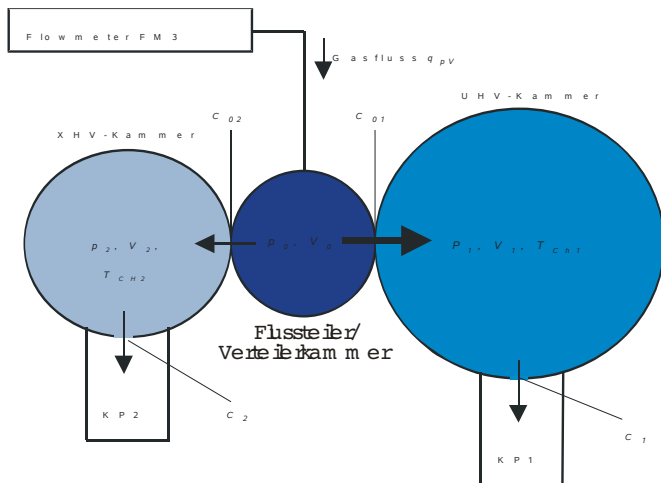
## 4.2. Primärnormal CE-3

Die Darstellung der Druckskala im Bereich zwischen  $10^{-9}$  Pa und  $10^{-2}$  Pa erfolgt mit dem Primärnormal CE-3 nach dem beschriebenen Prinzip der kontinuierlichen Expansion.



Das System besteht aus zwei Kalibrierkammer (UHV- Kammer V1 und XHV- Kammer V2) und zwei Kryopumpen. Zwischen ihnen befindet sich eine Verteilerkammer, die ca. 99% des Gasflusses in V1 und 1% in V2 leitet. Dadurch wird bei gleichem Gasfluss der untere Druckbereich in V2 um einen Faktor 100 verkleinert. Der Gasstrom  $q_{pv}$  wird gesondert im Gasdosiersystem (Flowmeter FM-3) erzeugt und

gemessen.



Um Rückströmung durch die Blenden zu vermeiden, befinden sich hinter den Blenden Kryoflächen. Diese Flächen werden durch flüssiges Helium auf 2,6 K gekühlt.

Der einfallende Gasstrom  $q_{pV}$  teilt sich auf die beiden Kammern auf:

$$q_{pV} = q_{01} + q_{02}$$

Darstellung der Messunsicherheiten CE3:

