



## So funktionieren indirekte Vakuumdruckmesser

### Teilen mit

[LinkedIn \(https://www.linkedin.com/shareArticle?mini=true&url=https://www.leybold.com/de-de/knowledge/vacuum-fundamentals/vacuum-measurement/how-indirect-pressure-measurement-works&title=Indirekte+Druckmessung+&summary=&source=Atlas%20Copco\)](https://www.linkedin.com/shareArticle?mini=true&url=https://www.leybold.com/de-de/knowledge/vacuum-fundamentals/vacuum-measurement/how-indirect-pressure-measurement-works&title=Indirekte+Druckmessung+&summary=&source=Atlas%20Copco)

[Facebook \(https://www.facebook.com/sharer/sharer.php?u=https://www.leybold.com/de-de/knowledge/vacuum-fundamentals/vacuum-measurement/how-indirect-pressure-measurement-works\)](https://www.facebook.com/sharer/sharer.php?u=https://www.leybold.com/de-de/knowledge/vacuum-fundamentals/vacuum-measurement/how-indirect-pressure-measurement-works)

[Twitter \(https://twitter.com/intent/tweet?url=https://www.leybold.com/de-de/knowledge/vacuum-fundamentals/vacuum-measurement/how-indirect-pressure-measurement-works&text=Indirekte+Druckmessung+\)](https://twitter.com/intent/tweet?url=https://www.leybold.com/de-de/knowledge/vacuum-fundamentals/vacuum-measurement/how-indirect-pressure-measurement-works&text=Indirekte+Druckmessung+)

[Mail \(mailto:?\)](mailto:?subject=Indirekte%20Druckmessung%20&body=%0A%0ALink%3A%20https://www.leybold.com/de-de/knowledge/vacuum-fundamentals/vacuum-measurement/how-indirect-pressure-measurement-works)

[subject=Indirekte%20Druckmessung%20&body=%0A%0ALink%3A%20https://www.leybold.com/de-de/knowledge/vacuum-fundamentals/vacuum-measurement/how-indirect-pressure-measurement-works\)](mailto:?subject=Indirekte%20Druckmessung%20&body=%0A%0ALink%3A%20https://www.leybold.com/de-de/knowledge/vacuum-fundamentals/vacuum-measurement/how-indirect-pressure-measurement-works)

### Vakuummeter mit gasabhängiger Druckmessung

Diese Art von Vakuummeter misst den Druck nicht direkt als flächenbezogene Kraft, sondern indirekt über andere physikalische Größen, die zu Teilchenanzahldichte und damit zum Druck proportional sind. Zu den Vakuummetern mit gasartabhängiger [Druckanzeige \(/en/knowledge-and-video/vacuum-fundamentals/fundamental-physics-of-vacuum/units-and-ranges-of-pressure\)](#) gehören: Reibungsvakuummeter, Wärmeleitungsvakuummeter und Ionisationsvakuummeter verschiedener Bauarten.

Die Geräte bestehen aus dem eigentlichen Messwertaufnehmer (Messkopf, Sensor) und dem zu dessen Betrieb erforderlichen Betriebsgerät. Die Druckskalen oder digitalen Anzeigen sind gewöhnlich auf Stickstoffdrücke bezogen; wenn der wahre Druck  $p_T$  eines [Gases \(/de-de/knowledge/vacuum-fundamentals/fundamental-physics-of-vacuum/the-ideal-gas-law\)](#) (oder Dampfes) bestimmt werden soll, muss der angezeigte Druck  $p_i$  mit einem für dieses Gas charakteristischen Faktor multipliziert werden. Diese Faktoren sind je nach Art der Geräte verschieden und werden entweder als druckunabhängige Faktoren tabellarisch angegeben (siehe Tabelle 3.2) oder sind im Falle der Druckabhängigkeit aus einem Diagramm zu ermitteln (siehe Abb. 3.11).



Tabelle 3.2 – Verbindungsfaktoren

Abb. 3.11 –  
Kalibrierungskurven der  
THERMOVAC-Messgeräte  
für verschiedene Gase,  
basierend auf dem  
Stickstoffäquivalent-  
Messwert

Leybold

Generell gilt:

Wahrer Druck  $p_T$  = angezeigter Druck  $p_i$  · Korrekturfaktor

Wenn der Druck auf einer „Stickstoffskala“ abgelesen, aber nicht korrigiert wird, spricht man von „Stickstoffäquivalent“-Angaben.

Bei allen elektrischen Vakuummetern (dazu gehören mit Ausnahme der kapazitiven Vakuummetern alle gasartabhängigen Vakuummeter) hat die zunehmende Anwendung von Computern zu dem Wunsch geführt, die Druckanzeige unmittelbar auf dem Bildschirm, z.B. an passender Stelle, möglichst in einem Prozess-Flussdiagramm einzublenden. Um möglichst einheitliche Computerschnittstellen verwenden zu können, werden sogenannte Transmitter (Signalwandler mit genormten Strom- oder Spannungsausgängen) anstelle von Sensor und Anzeigegerät gebaut (z. B. THERMOVAC-Transmitter, PENNIGVAC-Transmitter, IONIVAC-Transmitter). Transmitter benötigen eine Versorgungsspannung (z. B. +24 V) und senden ein druckabhängiges Stromsignal, das über den gesamten Messbereich von 4 bis 20 mA oder 0 bis 10 V linear verläuft. Der Druckmesswert wird erst nach Eingang dieses Signals beim Computer und der Verarbeitung durch die entsprechende Software bereitgestellt und dann direkt auf dem Bildschirm angezeigt.

## Wärmeleitungsvakuummeter

Die klassische Physik lehrt und bestätigt experimentell, dass die Wärmeleitfähigkeit eines ruhenden Gases bei höheren Drücken (Teilchenanzahldichten)  $p > 1$  mbar unabhängig von Druck ist. Bei niedrigeren Drücken  $p < 1$  mbar ist die Wärmeleitfähigkeit aber druckabhängig.

Sie nimmt im Druckgebiet des Feinvakuums von ca. 1 mbar ausgehend druckproportional ab und erreicht im Hochvakuum den Wert Null. Diese Druckabhängigkeit wird im Wärmeleitungsvakuummeter genutzt und ermöglicht das genaue, allerdings gasartabhängige Messen von Drücken im Feinvakuum.

Das meistverbreitete Messgerät dieser Art ist das Vakuummeter nach **Pirani**. Ein stromdurchflossener, auf etwa 100 bis 150 °C erhitzter, sehr dünner Draht (Abb. 3.10) mit dem Radius  $r_1$ , gibt die in ihm erzeugte Wärme durch Strahlung und durch Wärmeleitung an das den Draht umgebende Gas ab (außerdem natürlich auch an die Befestigungsvorrichtungen an den Drahtenden). Im Grobvakuum ist die Wärmeleitung durch die Gaskonvektion nahezu druckunabhängig (siehe Abb. 3.10). Kommt aber bei einigen mbar die mittlere freie Weglänge des Gases in die Größenordnung des Drahtdurchmessers, geht diese Art der Wärmeabfuhr mehr und mehr, und zwar dichte- und damit druckabhängig, zurück. Unterhalb  $10^{-3}$  mbar liegt die mittlere freie Weglänge eines Gases bereits in der Größe des Radius  $r_2$  der Messröhre. Der Messdraht im Messkopf bildet einen Zweig einer Wheatstone-Brücke.



3.10 Abhängigkeit des in einer Röhre (Radius  $r_2$ ) von einem geheizten Draht (Radius  $r_1$ ) bei konstanter Temperaturdifferenz abgeführten Wärmemenge vom Gasdruck (schematisch).

I Wärmeableitung durch Strahlung und Konduktion an den Metallenden

II Wärmeableitung durch das Gas, druckabhängig  
III Wärmeableitung durch Strahlung und Konvektion

  DE 





Bei den heute fast ausschließlich gebauten geregelten Wärmeleitungsvakuummetern ist der Messdraht ein Zweig einer Wheatstone-Brücke. Bei LEYBOLD sind sie als **THERMOVAC**-Serie bekannt. Die an dieser Brücke liegende Heizspannung wird so geregelt, dass der Widerstand und damit die Temperatur des Messdrahtes unabhängig von der Wärmeabgabe konstant bleibt. Das bedeutet, dass die Brücke immer abgeglichen ist. Diese Regelung hat eine Zeitkonstante von wenigen Millisekunden, sodass die Geräte – im Gegensatz zu den ungeregelten – sehr schnell auf Druckänderungen reagieren. Die an der Brücke anliegende Spannung ist ein Maß für den Druck. Die Messspannung wird elektronisch so korrigiert, dass sich eine annähernd logarithmische Skala über den ganzen Messbereich ergibt. Geregelte Wärmeleitungsvakuummeter haben einen Anzeigebereich von  $10^{-4}$  bis 1013 mbar. Durch die sehr kleine Einstellzeit eignen sie sich besonders zur [Steuerung und für Drucküberwachungsaufgaben \(/de-de/knowledge/vacuum-fundamentals/vacuum-measurement/how-to-control-vacuum-pressure\)](#). Im empfindlichsten Anzeigebereich, also zwischen  $10^{-2}$  und 1 mbar entspricht dies etwa  $\pm 10$  % der Druckanzeige (bevorzugter Einsatzbereich). Außerhalb dieses Bereiches ist die Messunsicherheit deutlich größer.

Wie bei allen gasartabhängigen Vakuummetern gelten auch bei Wärmeleitungsvakuummetern die Skalenangaben der Anzeigeeinstrumente und Digitalanzeigen für Stickstoff und für Luft. Innerhalb der Fehlergrenzen kann bei der Druckmessung von Gasen mit ähnlicher molarer Masse, d. h. also von  $O_2$ , CO oder anderen, direkt abgelesen werden. [Korrekturkurven \(/de-de/knowledge/vacuum-fundamentals/vacuum-measurement/how-to-calibrate-vacuum-gauges\)](#) für eine Reihe von Gasen sind in Abb. 3.11 angegeben.

Ein extremes Beispiel für die Diskrepanz zwischen wahren Druck  $p_T$  und angezeigtem Druck  $p_I$  bei der Druckmessung wäre das Belüften einer Vakuumanlage mit Argon aus einem Druckzylinder zur Vermeidung von Feuchtigkeit (Pumpzeit). Gemäß Abb. 3.11 würde man bei Erreichen von „Ar-Atmosphärendruck“  $p_w$  eine  $p_T$ -Anzeige von nur 40 mbar erhalten – Argon würde u. U. aus dem Behälter entweichen (Deckel öffnet, Glocke hebt ab). Für solche und ähnliche Anwendungen sind [gasartunabhängige \(/de-de/knowledge/vacuum-fundamentals/vacuum-measurement/how-direct-pressure-measurement-works\)](#) Vakuummeter oder Druckschalter zu verwenden.

## Ionisationsvakuummeter

Ionisationsvakuummeter sind die wichtigsten Messgeräte zum Messen von Gasdrücken in den Bereichen Hoch- und Ultrahochvakuum. Sie messen den Druck über die druckproportionale Teilchenanzahldichte. In den Messköpfen der Geräte wird das darin befindliche Gas, dessen Druck gemessen werden soll, mithilfe eines elektrischen Feldes teilweise ionisiert. Die Ionisation erfolgt durch Elektronen, die im elektrischen Feld beschleunigt werden und dabei genügend Energie erreichen, um bei einem Zusammenstoß mit Gasmolekülen positive Ionen zu bilden. Diese Ionen geben ihre Ladung an einer Messelektrode (Ionenfänger, Kollektor) des Messsystems wieder ab. Der so erzeugte Ionenstrom (genauer: der zur Neutralisierung dieser Ionen nötige Elektronenstrom in der Zuleitung der Messelektrode) ist ein Maß für den Druck, denn die Ionenausbeute ist proportional zur Teilchenanzahldichte und damit zum Druck.

Die Bildung der Ionen erfolgt entweder in einer Entladung bei hoher elektrischer Feldstärke (sogenannte Kaltkathoden-Entladung oder Penning-Entladung, [siehe \(/de-de/knowledge/vacuum-fundamentals/vacuum-measurement/how-direct-pressure-measurement-works\)](#) direkte Druckmessung) oder durch Stoß mit Elektronen, die von einer Glühkathode emittiert werden (Oberbegriff für Bayard-Alpert/Extraktor/Triode, [siehe \(/de-](#)

[de/knowledge/vacuum-fundamentals/vacuum-measurement/how-direct-pressure-measurement-works](#)) direkte Druckmessung).



DE ▼

Leybold



Bei sonst gleichbleibenden Bedingungen hängt die Ionenausbeute und damit der Ionenstrom von der Gasart ab, da sich manche Gase leichter ionisieren lassen als andere. Wie alle Vakuummeter mit gasartabhängiger Anzeige werden auch Ionisationsvakuummeter mit Stickstoff als Referenzgas kalibriert (Stickstoffäquivalentdruck, siehe „Direkte Druckmessung“). Um den wahren Druck für andere Gase als Stickstoff zu erhalten, muss der abgelesene Druck mit dem für das betreffende Gas in Tabelle 3.2 angegebenen Korrekturfaktor multipliziert werden. Die in Tabelle 3.2 angegebenen Faktoren werden als druckunabhängig angenommen, sind aber etwas von der Geometrie des Elektrodensystems abhängig. Sie sind daher als Mittelwerte für verschiedene Ausführungen von Ionisationsvakuummetern (siehe Abb. 3.16) anzusehen.

## Ionisationsvakuummeter mit kalter Kathode

Ionisationsvakuummeter, die mit kalter Entladung arbeiten, nennt man Kaltkathoden- oder Penning-Vakuummeter. Der Entladungsvorgang in einer Messröhre ist im Prinzip der gleiche wie im System einer Ionen-Zerstäuberpumpe ([/de-de/knowledge/vacuum-fundamentals/vacuum-generation/how-do-ion-pumps-work](#)). Allen Ausführungsformen der Kaltkathoden-Ionisationsvakuummeter ist gemeinsam, dass diese lediglich zwei nicht beheizte Elektroden, Kathode und Anode, enthalten, zwischen denen mittels einer Gleichspannung (Größenordnung 2 kV) eine sogenannte kalte Entladung gezündet und aufrecht erhalten wird, die auch noch bei sehr niedrigen Drücken stationär brennt. Dies wird dadurch erreicht, dass mithilfe eines Magnetfeldes (siehe Abb. 3.12) der Weg der Elektronen so lang gemacht wird, dass ihre Stoßrate mit Gasmolekülen hinreichend groß wird, um die zur Aufrechterhaltung der Entladung erforderliche Anzahl von Ladungsträgern zu bilden. Das Magnetfeld ist so angeordnet, dass die magnetischen Kraftlinien den elektrischen Kraftlinien überlagert sind. Dadurch werden die Elektronen auf ihrem Weg zur Kathode auf eine schraubenförmige Bahn gezwungen. Die hierbei durch Stoß erzeugten positiven und negativen Ladungsträger wandern zu den entsprechenden Elektroden und bilden den druckabhängigen Entladungsstrom, der auf einer Messskala angezeigt wird. Die Anzeige in mbar ist von der Gasart abhängig. Die obere Grenze des Messbereiches ist dadurch gegeben, dass bei Drücken oberhalb von einigen  $10^{-2}$  mbar die Penning-Entladung in eine mit intensivem Leuchten verbundene Glimmentladung übergeht, deren Stromstärke – bei konstant gehaltener Spannung – vom Druck nur in geringem Maße abhängt und daher messtechnisch nicht ausnutzbar ist. In allen Penning-Messröhren ist die Gasaufzehrung – verglichen mit Ionisationsvakuummetern, die mit heißer Kathode arbeiten – erheblich. Eine Penning-Messröhre pumpt Gase, nach einem ähnlich Prinzip wie eine Ionen-Zerstäuberpumpe ([/de-de/knowledge/vacuum-fundamentals/vacuum-generation/how-do-ion-pumps-work](#)) mit einem sehr kleinem Saugvermögen von ( $S \approx 10^{-2}$  l/s). Auch hier werden die in der Entladung erzeugten Ionen auf die Kathode hin beschleunigt, wo sie teilweise festgehalten werden, zum Teil aber auch eine Zerstäubung des Kathodenmaterials hervorrufen. Das zerstäubte Kathodenmaterial wiederum bildet eine getternde Oberfläche auf den Wänden der Messröhre. Trotz dieser Nachteile, die eine relativ hohe Ungenauigkeit der Druckanzeige (bis zu etwa  $\pm 50$  %) verursachen, hat das Kaltkathoden-Ionisationsvakuummeter drei besonders hervorstechende Vorteile: Erstens ist es das preiswerteste aller Hochvakuummessgeräte. Zweitens ist das Messsystem unempfindlich gegen Lufteinbrüche und Erschütterungen und drittens ist das Gerät sehr einfach zu bedienen.



Abb. 3.12 –  
Schnittzeichnung  
der PENNINGVAC-  
Messröhre PR 25.



1. Kleinflansch DN 25 KF, DN 40 KF
2. Gehäuse
3. Anodenring mit Zündstift
4. Keramikscheibe
5. Stromdurchführung
6. Anschlussbuchse
7. Anodenstift
8. Kathodenblech



DE ▼



## Ionisationsvakuummeter mit Glühkathode

Darunter versteht man – im üblichen Sprachgebrauch – Messsysteme, die aus drei Elektroden (Kathode, Anode und Ionenfänger) bestehen, wobei die Kathode eine Glühkathode ist. Die Kathoden waren früher aus Wolfram und werden heute meist aus oxidbeschichtetem Iridium ( $\text{Th}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Y}_2\text{O}_3$ ) gefertigt, um die Elektronenaustrittsarbeit herabzusetzen und sie gegen Sauerstoff widerstandsfähiger zu machen. Ionisationsvakuummeter dieser Art arbeiten bei niedrigen Spannungen und ohne äußeres Magnetfeld. Die Glühkathode ist eine sehr ergiebige Elektronenquelle. Die Elektronen werden im elektrischen Feld beschleunigt und nehmen aus dem Feld genügend Energie auf, um das Gas, in dem sich das Elektrodensystem befindet, zu ionisieren. Die gebildeten positiven Gasionen gelangen auf den bezüglich der Kathode negativen Ionenfänger und geben hier ihre Ladung ab. Der dadurch entstehende Ionenstrom ist ein Maß für die Gasdichte und damit für den Gasdruck. Ist  $i$  – der aus der Glühkathode emittierte Elektronenstrom, so ist der im Messsystem gebildete druckproportionale Ionenstrom  $i_+$  gegeben durch:

$$(3.3)$$

$$(3.3a)$$

Die Größe  $C$  ist dabei die Vakuummeterkonstante des Messsystems. Im Allgemeinen beträgt diese für Stickstoff etwa  $10 \text{ mbar}^{-1}$ . Bei konstantem Elektronenstrom wird die Empfindlichkeit  $E$  einer Messröhre als Quotient aus Ionenstrom und Druck angegeben. Bei einem Elektronenstrom von  $1 \text{ mA}$  und für  $C = 10 \text{ mbar}^{-1}$  beträgt demnach die Empfindlichkeit  $E$  der Messröhre:

Auch Ionisationsvakuummeter mit Glühkathode zeigen Gasauflagerung (Pumpwirkung), die allerdings beträchtlich geringer ist als bei Penning-Systemen und etwa  $10^{-3} \text{ l/s}$  beträgt. Diese Gasauflagerung erfolgt im Wesentlichen an der Glaswand der Messröhre, in geringerem Maße am Ionenfänger. Hier nutzt die Verwendung von Einbaumesssystemen, die sich leicht ausbauen lassen, da man auf einen äußeren Magneten keine Rücksicht nehmen braucht. Die obere Grenze des Messbereichs der Ionisationsvakuummeter liegt (von Sonderausführungen abgesehen) bei etwa  $10^{-2} \text{ mbar}$ . Sie wird im Wesentlichen durch die bei höheren Drücken kürzere freie Weglänge bedingten Streuprozesse der Ionen an Gasmolekülen bestimmt (Die Ionen erreichen den Ionenfänger nicht mehr = geringere Ionenausbeute). Außerdem können sich bei höheren Drücken unkontrollierbare Glimm- oder auch Bogenentladungen bilden und bei Glasröhren kann es zu elektrostatischen Aufladungen kommen. Dann kann der angezeigte Druck  $p_i$  erheblich vom wahren Druck  $p_T$  abweichen.

Bei niedrigen Drücken wird der Messbereich durch zwei Effekte begrenzt: durch den Röntgen- und den Ionendesorptionseffekt. Diese Effekte haben zur Folge, dass die streng lineare Proportionalität zwischen Druck und Ionenstrom verlorengeht und eine scheinbar nicht unterschreitbare Druckgrenze vorgetäuscht wird (siehe Abb. 3.14).



DE ▼



Leybold

*Abb. 3.14 – Durch den Röntgeneffekt bei einer normalen Ionisationsvakuummeterröhre vorgetäuschte untere Druckmessgrenze.*

I – Druckanzeige ohne Röntgeneffekt

II – Durch Röntgeneffekt vorgetäuschte untere Druckgrenze

III – Summe von I und II

#### Der Röntgeneffekt (siehe Abb. 3.15)



*Abb. 3.15 Erklärung des Röntgeneffektes in einer normalen Ionisationsvakuummeterröhre. Die von der Kathode K emittierten Elektronen  $e^-$  prallen auf die Anode A und lösen dort eine weiche Röntgenstrahlung (Photonen) aus. Diese trifft zum Teil auf den Ionenfänger I und löst dort Photoelektronen aus:  $e^-_s$*

C – Kathode

A – Anode

I – Ionenfänger

Die von der Kathode emittierten und auf die Anode treffenden Elektronen lösen dort Photonen (weiche Röntgenstrahlen) aus. Diese Photonen wiederum lösen ihrerseits beim Auftreffen auf Oberflächen Photoelektronen aus. Die am Ionenfänger ausgelösten Photoelektronen (auch Sekundärelektroden genannt) fließen zur Anode, d. h. der Ionenfänger emittiert einen Elektronenstrom, der in gleicher Weise angezeigt wird wie ein zum Ionenfänger fließender positiver Ionenstrom. Dieser Photostrom täuscht einen Druck vor. Wir wollen diesen Effekt den positiven Röntgeneffekt nennen. Er ist von der Anodenspannung und von der Größe der Oberfläche des Ionenfängers abhängig.

Es gibt aber unter gewissen Voraussetzungen auch einen negativen Röntgeneffekt. Photonen, die auf die das Messsystem umgebende Wand treffen, lösen dort Photoelektronen aus, die ebenfalls in Richtung zur Anode fliegen, und – da die Anode gitterförmig ist – auch in den Raum innerhalb der Anode. Befindet sich nun die umgebende Wand auf demselben Potential wie der Ionenfänger, z. B. auf Erdpotential, so kann ein Teil dieser an der Wand ausgelösten Elektronen den Ionenfänger erreichen. Das hat zur Folge, dass ein Elektronenstrom zum Ionenfänger fließt, d. h. es fließt ein negativer Strom, der einen positiven Strom kompensieren kann. Dieser negative Röntgeneffekt hängt von dem Potential ab, auf dem sich die äußere Wand des Systems befindet.

#### Der Ionendesorptionseffekt

Adsorbierte Gase können durch Elektronenstoß von einer Oberfläche als Ionen desorbiert werden. Für ein Ionisationsvakuummetersystem bedeutet das: Wenn auf der Anode eine Schicht adsorbierter Gase vorhanden ist, so werden diese Gase durch die auftreffenden Elektronen zum Teil als Ionen desorbiert. Die Ionen gelangen zum Ionenfänger und führen zu einer Druckanzeige, die zunächst unabhängig vom Druck ist, aber mit Erhöhung des Elektronenstromes zunimmt. Stellt man einen so kleinen Elektronenstrom ein, dass die Anzahl der auf die Oberfläche treffenden Elektronen klein gegen

die Anzahl der adsorbierten Gasteilchen ist, so wird jedes Elektron die Möglichkeit haben, positive Ionen zu desorbieren. Erhöht man dann den Elektronenstrom, so wird die Desorption von Ionen zunächst zunehmen, weil mehr Elektronen auf die Oberfläche auftreffen. Das führt schließlich zu einer Verarmung der Oberfläche an adsorbierten Gasteilchen. Die Anzeige wird wieder sinken und erreicht dann im allgemeinen Werte, die zum Teil beträchtlich unter der Druckanzeige liegen können, die bei einem kleinem Elektronenstrom beobachtet worden ist. Für die Praxis hat dieser Effekt zur Folge, dass man sich vergewissern muss, ob die Druckanzeige durch einen Desorptionsstrom beeinflusst worden ist. Das geschieht am einfachsten, indem man den Elektronenstrom vorübergehend um den Faktor 10 oder 100 ändert. Dabei ist der genauere Druckwert derjenige, der bei den größeren Elektronenströmen gefunden wird.

Neben dem konventionellen sogenannten normalen Ionisationsvakuummetersystem, dessen Elektrodenaufbau etwa dem einer gewöhnlichen Triode gleicht, gibt es verschiedene Ionisationsvakuummetersysteme (Bayard-Alpert-System, Bayard-Alpert-System mit Modulator, Extraktor-System), die je nach Bauart die beiden oben beschriebenen Effekte mehr oder weniger unterdrücken und deshalb bevorzugt für Messzwecke im Hoch- und Ultrahochvakuumbereich eingesetzt werden. Als Standardsystem für diesen Bereich ist heute das Bayard-Alpert-System üblich.

Leybold  
-  
Vacuum  
Fundamentals  
graphics

*Abb. 3.16 – Schematische  
Darstellung des  
Elektrodenaufbaus  
verschiedener  
Ionisationsvakuummeter-  
Messsysteme.*

- a) Bayard-Alpert-  
Ionisationsvakuummetersystem
- b) Normales  
Ionisationsvakuummetersystem
- c)  
Ionisationsvakuummetersystem  
für höhere Drucke (bis 1 mbar)
- d) Extraktor-  
Ionisationsvakuummetersystem

I – Ionenfänger  
Sc – Abschirmung  
M – Modulator  
A – Anode  
C – Kathode  
R – Reflektor

### a) Das Bayard-Alpert-Ionisationsvakuummetersystem (heute übliches Standardmesssystem)

Um die Linearität zwischen Gasdruck und Ionenstrom über einen möglichst großen Druckbereich zu gewährleisten, muss der Röntgeneffekt so weit wie möglich unterdrückt werden. Dies geschieht in der Elektrodenanordnung nach Bayard-Alpert dadurch, dass die Glühkathode außerhalb der Anode liegt und der Ionenfänger als dünner Draht die Achse des Elektrodensystems bildet (siehe Abb. 3.16a). Der Röntgeneffekt wird durch die Verkleinerung der Oberfläche des Ionenfängers um zwei bis drei Zehnerpotenzen verringert. Bei der Messung von Drücken im Ultrahochvakuumbereich beeinflussen die Oberflächen der Messröhren und ihrer Anschlussleitungen an den Rezipienten die Druckmessung. Auf die verschiedenen Adsorptions-, Desorptions-, Dissoziations- und Strömungseffekte kann in diesem Zusammenhang nicht eingegangen werden. Bei Verwendung der Bayard-Alpert-Systeme als Einbaumesssysteme, die sich direkt im Rezipienten befinden, werden Fehlmessungen auf Grund der genannten Effekte weitgehend vermieden.

### b) Das normale Ionisationsvakuummeter

Als Messröhre wird eine Triode konventioneller Bauart (siehe Abb. 3.16b), jedoch insofern etwas abgeändert, dass die äußere Elektrode als Ionenfänger, das weiter innen liegende Gitter als Anode dient. Die Elektronen werden bei



dieser Schaltung auf lange Wege gezwungen (Pendeln um die Gitterdrähte der Anode), sodass die Wahrscheinlichkeit für ionisierende Zusammenstöße und damit die Empfindlichkeit der Messröhre relativ hoch ist. Da die Triodensysteme wegen ihres starken Röntgeneffektes gewöhnlich nur im Hochvakuumbereich zur Druckmessung verwendet werden, haben Gasaufzehrungs-(Pump-)effekte und der Gasgehalt des Elektrodensystems nur geringen Einfluss auf die Druckmessung.

### c) Das Ionisationsvakuummeter für höhere Drücke (bis 1 mbar)

Als Messsystem wird ebenfalls eine Triode konventioneller Bauart (siehe Abb. 3.16c), jedoch nun in konventioneller Triodenschaltung verwendet. Da das Messsystem die Messung von Drücken bis zu 1 mbar ermöglichen soll, muss die Kathode gegen relativ hohen Sauerstoffdruck resistent sein. Sie ist daher als sogenannte Non-Burnout-Kathode ausgebildet und besteht aus einem Iridiumbändchen, das mit Yttriumoxid überzogen ist. Um bis zu Drücken von 1 mbar eine geradlinige Charakteristik (lineare Abhängigkeit des Ionenstromes vom Druck) zu erreichen, ist in den Anodenkreis ein hochohmiger Widerstand von einigen MΩ eingebaut.

### d) Das Extraktor-Ionisationsvakuummeter

Die Druckmessung beeinflussende, störende Effekte können auch durch ein Ionenoptisches System, wie es erstmals von Redhead angegeben wurde, weitgehend eliminiert werden. Bei diesem Extraktorsystem (Abb. 3.16d) werden die Ionen aus dem Anodenzyylinder auf einen sehr dünnen und kurzen Ionenfänger fokussiert. Der Ionenfänger befindet sich in einem Raum, dessen Rückwand von einer kalottenförmigen Elektrode gebildet ist, die sich auf Anodenpotential befindet, sodass sie von Ionen, die aus dem Gasraum stammen, nicht erreicht werden kann. Durch die Geometrie des Systems sowie durch die Potentiale der einzelnen Elektroden werden die störenden Einflüsse durch Röntgeneffekte und Ionendesorption fast vollkommen ausgeschlossen, ohne dass ein Modulator benötigt wird. Das Extraktorsystem misst Drücke zwischen  $10^{-4}$  und  $10^{-12}$  mbar. Ein weiterer Vorteil ist, dass das Messsystem als Einbaumesssystem mit einem Durchmesser von nur 35 mm gebaut und damit auch in kleine Apparaturen eingebaut werden kann.

## Reibungsvakuummeter

[Leybold](#)

-

[Vacuum](#)

[Fundamentals](#)

[graphics](#)

[\(/content/](#)

[dam/](#)

[brands/](#)

[leybold/](#)

[web-only/](#)

[knowledge/](#)

[vacuum-](#)

[fundamentals/](#)

[vacuum-](#)

[measurement/](#)

[Fig.](#)

[%203.9%20Cross-](#)

[section%20of%20the%20gauge%20head%20of%20a%20VISCovac%20VM%2012%20spinning%20](#)

[\\_jcr\\_content/](#)

[renditions/](#)

[cq5dam.web.1600.1600.jpeg\)](#)

*Abb. 3.9 – Schnitt  
durch den Messkopf  
eines  
Reibungsvakuumme-  
ters*

1. Kugel

2. Messrohr, einseitig  
geschlossen, in den  
Anschlussflansch 7  
eingeschweißt

3. Permanentmagnete

4. Stabilisierungsspulen

5. 4 Antriebsspulen

6. Libelle

7. Anschlussflansch

Die bei niedrigen Gasdrücken druckabhängige Gasreibung kann zum Messen



von Drücken im Fein- und Hochvakuum genutzt werden. In technischen Geräten dieser Art wird als Messelement eine Stahlkugel von einigen Millimetern Durchmesser verwendet, die in einem Magnetfeld berührungsfrei aufgehängt ist (siehe Abb. 3.9). Die Kugel wird durch einen elektromagnetisches Drehfeld in Rotation versetzt: nach Erreichen einer Startdrehzahl (etwa 425 Hz) wird die Kugel sich selbst überlassen. Dabei fällt die Drehzahl unter dem Einfluss der druckabhängigen Gasreibung je nach dem herrschenden Druck mehr oder weniger rasch ab. Der Gasdruck wird aus der relativen Abnahme der Drehzahl  $f$  (Abbremsung) aus folgender Gleichung abgeleitet:

$$\begin{aligned} & \text{Leybold} \\ & - \\ & \text{Vacuum} \\ & \text{Fundamentals} \\ & \text{graphics} \\ & (3.2) \end{aligned}$$

$p$  = Gasdruck

$r$  = Radius der Kugel  $\rho$  = Dichte des Kugelmateri als

$c$  = mittlere Geschwindigkeit der Gasteilchen, gasartabhängig

$\sigma$  = Reibungskoeffizient der Kugel, gasartunabhängig, nahezu 1.

Solange man sich mit einer Messunsicherheit von 3 % begnügt, was in den meisten praktischen Fällen durchaus ausreichend ist, kann man  $\sigma = 1$  setzen, sodass die Empfindlichkeit des Reibungsvakuummeters mit rotierender Stahlkugel lediglich durch die fundamental bestimmbare physikalische Größe der Kugel, nämlich durch das Produkt Radius x Dichte  $r \cdot \rho$  (siehe Gleichung 3.2), gegeben ist. Eine einmal „kalibrierte“ Kugel ist als „Transferstandard“ – also als Bezugsgerät zum Kalibrieren anderer Vakuummeter durch Vergleich – geeignet und zeichnet sich durch eine hohe Langzeitstabilität aus.

Während beim Reibungsvakuummeter die kinetische Gastheorie das Abzählen der Teilchen direkt das Messprinzip darstellt (Übertragen der Teilchenimpulse auf die rotierende Kugel, die dadurch abgebremst wird), wird bei anderen gasartabhängigen, elektrischen Messmethoden die Teilchenanzahldichte indirekt über die von den Teilchen abtransportierte Wärmemenge (Wärmeleitungsvakuummeter) oder über die Anzahl der gebildeten Ionen (Ionisationsvakuummeter) gemessen.

## Kombinationsvakuummeter

Bei allen oben genannten Messgerätarten ist der Messbereich begrenzt. Da immer kleinere Geräte gefordert werden, ist der Platz für mehrere Anschlüsse zur Aufnahme verschiedener Messgerätarten für den gesamten Bereich nicht mehr ausreichend. Daher werden heute Messgeräte mit Kombinationen hergestellt, um die gesamte Bandbreite abzudecken. Dabei handelt es sich in der Regel um Pirani/Kaltkathode und Pirani/Glühkathode für Atmosphären bis zum Hoch-/Ultrahochvakuum sowie Pirani-/Piezo-Messgeräte, bei denen der Piezokristall die Genauigkeit am atmosphärischen Ende der Messung erhöht.

[Blog und Wiki](#)
[Basiswissen über Vakuum](#)
[Vakuummessung](#)


## Grundlagen der Vakuumtechnik

Laden Sie unser E-Book „Grundlagen der Vakuumtechnik“ herunter, um mehr über die Grundlagen und Prozesse von Vakuumpumpen zu erfahren.



DE ▾



[E-BOOKS ANZEIGEN ↗](#)



## Referenzen

### Vakuumsymbole

#### Vakuumsymbole

Eine Übersicht der Symbole, die in der Vakuumtechnik häufig für Diagramme mit Pumpentypen und Pumpensystemkomponenten verwendet werden

[WEITERE INFORMATIONEN \(/de-de/knowledge/vacuum-fundamentals/reference/symbols-used-in-vacuum-technology-diagrams\)](/de-de/knowledge/vacuum-fundamentals/reference/symbols-used-in-vacuum-technology-diagrams)

Production / People Image Pictures

## Sprechen wir darüber

Bei uns steht Kundennähe im Fokus. Wenden Sie sich an uns, wenn Sie Fragen haben.

[Kontaktieren Sie uns](#)

## Haben Sie noch Fragen?

Hier suchen

### Direktlinks

[Online-Shop](#) (  
[Berechnungstools](#) (  
[Sound Analyzer](#) (  
[Rechtliche Hinweise und Datenschutzerklärung \(/de-de/privacy-policy\)](#)  
[Impressum \(/de-de/privacy-policy/imprint\)](#)  
[Lieferanten \(/de-de/about-us/suppliers\)](#)

[Fehlverhalten melden \(/de-de/privacy-policy/reporting-misconduct\)](/de-de/privacy-policy/reporting-misconduct)



DE

Kontaktieren Sie uns

 [Regionale Niederlassungen \(/de-de/about-us/worldwide-locations\)](/de-de/about-us/worldwide-locations)

[Stellenangebote und Karrieremöglichkeiten \(/de-de/careers/job-overview\)](/de-de/careers/job-overview)

[Kontaktformular](#)

(h (h (h (h (h

---

[Sitemap \(/de-de/sys/sitemap\)](/de-de/sys/sitemap)

[Cookie-Präferenzen](#)

© 2024 Copyright.



Germany / DE

---

**Pioneering products. Passionately applied.**