

# Physikalisch- Technische Bundesanstalt



---

**Richtlinie  
DKD-R 6-2**

**Kalibrierung von  
Messmitteln für Vakuum**

Teil 3


Elektrische Membran-Vakuummeter

---

Ausgabe 09/2018

<https://doi.org/10.7795/550.20180828AL>



	Kalibrieren von Messmitteln für Vakuum Teil 3: Elektrische Membran-Vakuummeter <a href="https://doi.org/10.7795/550.20180828AL">https://doi.org/10.7795/550.20180828AL</a>	DKD-R 6-2 Teil 3	
		Ausgabe:	09/2018
		Revision:	0
		Seite:	2/11

## Deutscher Kalibrierdienst (DKD)

Im DKD sind Kalibrierlaboratorien von Industrieunternehmen, Forschungsinstituten, technischen Behörden, Überwachungs- und Prüfinstitutionen seit der Gründung 1977 zusammengeschlossen. Am 03. Mai 2011 erfolgte die Neugründung des DKD als *technisches Gremium* der PTB und der akkreditierten Laboratorien.

Dieses Gremium trägt die Bezeichnung Deutscher Kalibrierdienst (DKD) und steht unter der Leitung der PTB. Die vom DKD erarbeiteten Richtlinien und Leitfäden stellen den Stand der Technik auf dem jeweiligen technischen Fachgebiet dar und stehen der Deutschen Akkreditierungsstelle GmbH (DAkKS) für die Akkreditierung von Kalibrierlaboratorien zur Verfügung.

Die akkreditierten Kalibrierlaboratorien werden von der DAkKS als Rechtsnachfolgerin des DKD akkreditiert und überwacht. Sie führen Kalibrierungen von Messgeräten und Maßverkörperungen für die bei der Akkreditierung festgelegten Messgrößen und Messbereiche durch. Die von ihnen ausgestellten Kalibrierscheine sind ein Nachweis für die Rückführung auf nationale Normale, wie sie von der Normenfamilie DIN EN ISO 9000 und der DIN EN ISO/IEC 17025 gefordert wird.

### Kontakt:

Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB)


DKD-Geschäftsstelle

Bundesallee 100 38116 Braunschweig

Postfach 33 45 38023 Braunschweig

Telefon Sekretariat: (05 31) 5 92-8021

Internet: [www.dkd.eu](http://www.dkd.eu)

	Kalibrieren von Messmitteln für Vakuum Teil 3: Elektrische Membran-Vakuummeter <a href="https://doi.org/10.7795/550.20180828AL">https://doi.org/10.7795/550.20180828AL</a>	DKD-R 6-2 Teil 3	
		Ausgabe:	09/2018
		Revision:	0
		Seite:	3/11

*Zitiervorschlag für die Quellenangabe:*

*Richtlinie DKD-R 6-2, Teil 3, Kalibrierung von Messmitteln für Vakuum – Elektrische Membran-Vakuummeter, Ausgabe 09/2018, Revision 0, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig und Berlin. DOI: <https://doi.org/10.7795/550.20180828AL>*


Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt und unterliegt der Creative Commons Nutzerlizenz CC by-nc-nd 3.0 (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/de/>). In diesem Zusammenhang bedeutet „nicht-kommerziell“ (NC), dass das Werk nicht zum Zwecke der Einnahmenerzielung verbreitet oder öffentlich zugänglich gemacht werden darf. Eine Nutzung seiner Inhalte für die gewerbliche Verwendung in Laboratorien ist ausdrücklich erlaubt.



Autoren:

Mitglieder des Fachausschusses *Druck und Vakuum* des DKD in der Zeit von 1999 bis 2009.

Herausgegeben von der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) für den Deutschen Kalibrierdienst (DKD) als Ergebnis der Zusammenarbeit der PTB mit dem Fachausschuss *Druck und Vakuum* des DKD.

	<b>Kalibrieren von Messmitteln für Vakuum</b> <b>Teil 3: Elektrische Membran-Vakuummeter</b> <a href="https://doi.org/10.7795/550.20180828AL">https://doi.org/10.7795/550.20180828AL</a>	DKD-R 6-2 Teil 3	
		Ausgabe:	09/2018
		Revision:	0
		Seite:	4/11

## Vorwort

DKD-Richtlinien sind Anwendungsdokumente zu den Anforderungen der DIN EN ISO/IEC 17025. In den Richtlinien werden technische, verfahrensbedingte und organisatorische Abläufe beschrieben, die den akkreditierten Kalibrierlaboratorien als Vorbild zur Festlegung interner Verfahren und Regelungen dienen. DKD-Richtlinien können zum Bestandteil von Qualitätsmanagementhandbüchern der Kalibrierlaboratorien werden. Durch die Umsetzung der Richtlinien wird die Gleichbehandlung der zu kalibrierenden Geräte in den verschiedenen Kalibrierlaboratorien gefördert und die Kontinuität und Überprüfbarkeit der Arbeit der Kalibrierlaboratorien verbessert.

Die DKD-Richtlinien sollen nicht die Weiterentwicklung von Kalibrierverfahren und -abläufen behindern. Abweichungen von Richtlinien und neue Verfahren sind im Einvernehmen mit der Akkreditierungsstelle zulässig, wenn fachliche Gründe dafürsprechen.

Die vorliegende Richtlinie wurde vom Fachausschuss 06 Druck und Vakuum in Zusammenarbeit mit der PTB und akkreditierten Kalibrierlaboratorien bereits 1999 erstellt.

Die vorliegende geänderte Neuauflage enthält lediglich ein aktualisiertes Impressum.


Sie ist inhaltsgleich mit der DAkkS-DKD-R 6-2 Teil 3 (Ausgabe 2010). Die DAkkS wird die DAkkS-DKD-R 6-2 Teil 3 spätestens zum 01.01.2021 zurückziehen.

Ausgabe: 1999, veröffentlicht vom DKD

1. Neuauflage: 03/2002, überarbeitet durch den DKD
2. Neuauflage: 2010, durch die DAkkS
3. Neuauflage: 2018, durch den DKD, inhaltsgleich mit der 2. Neuauflage

## Inhalt

1	Geltungsbereich .....	5
2	Druckbereich .....	5
3	Normale und Messeinrichtungen .....	5
3.1	Bezugs- und Gebrauchsnormale.....	5
3.2	Besonderheiten für den Gebrauch von Kolbenmanometern als Normale .....	5
3.3	Apparatur .....	5
4	Kalibriergegenstand.....	6
5	Kalibrierfähigkeit.....	6
6	Einstellungen des Kalibriergegenstandes .....	7
7	Umgebungsbedingungen.....	7
8	Kalibrierverfahren .....	7
9	Durchführung der Kalibrierung .....	7
9.1	Voraussetzungen.....	7
9.2	Einstellen der Kalibrierdrücke.....	8
10	Auswertung, Kalibrierergebnis .....	8
10.1	Korrekturen .....	9
10.2	Thermische Effusion .....	9
Anhang A	.....	10
A.1	Kapazitiver Membrandruckaufnehmer.....	10
A.2	Thermische Effusion .....	10
Anhang B	.....	11
B.1	Kalibriersystem .....	11

	Kalibrieren von Messmitteln für Vakuum Teil 3: Elektrische Membran-Vakuummeter <a href="https://doi.org/10.7795/550.20180828AL">https://doi.org/10.7795/550.20180828AL</a>	DKD-R 6-2 Teil 3	
		Ausgabe:	09/2018
		Revision:	0
		Seite:	5/11

## 1 Geltungsbereich

Direkt messende elektrische Membran-Vakuummeter, z.B. kapazitive, piezoresistive und ähnliche Druckaufnehmer für Absolutdruckmessung.

## 2 Druckbereich

typisch  $10^{-6}$  mbar bis 1000 mbar

## 3 Normale und Messeinrichtungen

### 3.1 Bezugs- und Gebrauchsnormale

Die Kalibrierung erfolgt durch direkten Vergleich der Messwerte des Kalibriergegenstandes mit denen des Bezugsnormals oder Gebrauchsnormals. Bezugsnormal oder Gebrauchsnormal sind direkt oder indirekt auf ein nationales Normal rückgeführt. Als Normale werden langzeitstabile Vakuummeter verwendet.

Die in dem Qualitätsmanagement-Handbuch des DKD-Laboratoriums dokumentierten Gebrauchsnormale werden in einem akkreditierten Labor kalibriert und mit einem Kalibrierschein versehen, in dem die erweiterte Messunsicherheit unter Referenzbedingungen ausgewiesen ist. Gebrauchsnormale unterliegen der Genehmigung der PTB. Die Normale können von der Bauart her sehr unterschiedlich sein.

### 3.2 Besonderheiten für den Gebrauch von Kolbenmanometern als Normale

Die Vakuumkammer des Kolbenmanometers (Glocke) muss auf einen Restgasdruck  $p_{res}$  genügend weit evakuiert werden (empfohlen:  $p_{res} \leq 0,05 \% \cdot p$ ). Der Restgasdruck muss gemessen werden. Der Kalibrierdruck  $p_{kal}$  ergibt sich aus der Summe der Druckdifferenz  $p_{kol}$  am Kolben und dem Restgasdruck:

$$p_{kal} = p_{kol} + p_{res}$$


Die Unsicherheit des Restgasdruckes muss bei der Berechnung der Unsicherheit des Kalibrierdruckes berücksichtigt werden.

Für das Evakuieren der Glocke sollte möglichst eine eigene Pumpe eingesetzt werden.

### 3.3 Apparatur

(in Anlehnung an ISO/CD3567 – Stand: 09/99)

- Das Volumen der Vakuumkammer sollte mindestens das 20-fache des gesamten Volumens der angeschlossenen Vakuummeter inklusive der dazugehörigen Verbindungsleitungen betragen.
- Die Vakuumkammer sollte so beschaffen sein, dass das Verhältnis von Wandoberfläche zu Volumen so gering wie praktisch möglich ist (Idealfall: Kugel); dieses Verhältnis sollte nicht den Wert überschreiten, der durch einen geraden Kreiszyylinder gegeben ist, dessen Länge gleich dem zweifachen Durchmesser ist.
- Die Verbindung zwischen Vakuumkammer und dem übrigen Teil des Vakuumsystems muss so ausgebildet sein, dass der eintretende Gasstrom weder die zu kalibrierenden Vakuummeter oder die Normale trifft noch die zu den Vakuummeter führenden Öffnungen.

	Kalibrieren von Messmitteln für Vakuum Teil 3: Elektrische Membran-Vakuummeter <a href="https://doi.org/10.7795/550.20180828AL">https://doi.org/10.7795/550.20180828AL</a>	DKD-R 6-2 Teil 3	
		Ausgabe:	09/2018
		Revision:	0
		Seite:	6/11

- Die Normale und die zu kalibrierenden Vakuummeter müssen so an der Prüfkammer angeordnet sein, dass Druck- und Temperaturunterschiede zu keinen nennenswerten Fehlern führen (äquivalente Messanschlüsse). Der Leitwert der Rohrverbindungen zwischen Messkammer und Vakuummeter sollte mindestens einige Liter pro Sekunde betragen, um den Einfluss von Adsorptions- und Desorptions-Effekten gering zu halten. Der Gasstrom (Einlassen und Abpumpen) darf nicht direkt auf die aktive Zone der Vakuummeter gelangen.
- Die Vakuummeter dürfen sich nicht gegenseitig beeinflussen, gegebenenfalls müssen Vorsichtsmaßnahmen getroffen werden.
- Die Reinheit des Gases soll einem maximalen Verunreinigungsgrad von 1 Vol.-% entsprechen.

#### 4 Kalibriergegenstand

Elektrische Membran-Vakuummeter mit Anzeige und/oder analogem Ausgang und/oder digitaler Schnittstelle.

#### 5 Kalibrierfähigkeit

Die Bearbeitung eines Kalibrierauftrages setzt die Kalibrierfähigkeit (Eignung) des Kalibriergegenstandes voraus, d.h. der momentane Zustand des Kalibriergegenstandes sollte den allgemein anerkannten Regeln der Technik sowie den speziellen Vorgaben gemäß Herstellerdokumentation entsprechen. Die Kalibrierfähigkeit ist durch Beschaffenheits- und Funktionsprüfungen festzustellen.

Beschaffenheitsprüfungen umfassen z. B.:

- Sichtprüfung auf Beschädigungen (Zeiger, Beschriftung, Lesbarkeit der Anzeigen, Aufbau des Messsystems, Dichtfläche), Kontamination und Sauberkeit. Empfehlung: Dekontaminierung vom Auftraggeber bescheinigen lassen.
- Prüfung, ob zur Kalibrierung erforderliche Unterlagen (Technische Daten, Bedienungsanleitung) vorliegen.


Funktionsprüfungen umfassen z. B.:

- Dichtheit des Kalibriergegenstandes
- Elektrische Funktionsfähigkeit
- einwandfreie Funktion der Bedienelemente (z. B. Einstellbarkeit des Nullpunktes)
- Einstellelemente in definierter Stellung
- fehlerfreier Ablauf von Selbsttest- und/oder Selbstjustierungsfunktionen; ggf. sind interne Referenzwerte über EDV-Schnittstelle auszulesen

Anmerkung: Falls zur Herstellung der Kalibrierfähigkeit Instandsetzungsmaßnahmen erforderlich sind, sollten diese Arbeiten zwischen Auftraggeber und Kalibrierlaboratorium abgesprochen werden.

Insbesondere die Stabilität des Nullpunktes ist ein Indiz für den Zustand des Membran-Vakuummeters. Reste von Luftfeuchtigkeit und anderen Rückständen, z.B. von Prozessstoffen, müssen vollständig aus der Messzelle des Kalibriergegenstandes entfernt sein. Dies geschieht durch Evakuieren, ggf. unterstützt durch Ausheizen.

Bei Bedarf können hierzu folgende spezielle Funktionsprüfungen durchgeführt werden:

	Kalibrieren von Messmitteln für Vakuum Teil 3: Elektrische Membran-Vakuummeter <a href="https://doi.org/10.7795/550.20180828AL">https://doi.org/10.7795/550.20180828AL</a>	DKD-R 6-2 Teil 3	
		Ausgabe:	09/2018
		Revision:	0
		Seite:	7/11

- a) Mehrfaches Befüllen mit trockenem Gas auf den zwei- bis dreifachen Endwert, aber nicht über den max. zulässigen Druck hinaus, mit anschließendem Evakuieren unter die Auflösungsgrenze. Die Streuung der Nullpunktanzeige soll innerhalb der Herstellerangaben liegen. Ergibt sich eine größere Streuung oder liegen keine Herstellerangaben vor, sollte mit dem Auftraggeber die Kalibrierfähigkeit geklärt werden. Ergibt sich nach jedem Zyklus eine Verschiebung der Nullanzeige in die gleiche Richtung, dann ist der Kalibriergegenstand nicht kalibrierfähig (z. B. wegen Verschmutzung, Defekt z.B. Referenzvakuumverlust)
- b) Aufzeichnen des Nullsignals über 12 h oder mehr, z. B. mit  $y/t$ -Schreiber oder Datenerfassungssystem. Wenn die Umgebungstemperatur den Nullpunkt beeinflusst, muss diese ebenfalls mit aufgezeichnet werden. Anhand der Herstellerangabe für den Temperaturkoeffizienten kann eine Aussage über die Temperaturstabilität des Kalibriergegenstandes gemacht werden.

## 6 Einstellungen des Kalibriergegenstandes

Vor der Kalibrierung müssen die Einstellungen des Vakuummeters entsprechend den Herstellerangaben oder nach Absprache mit dem Auftraggeber vorgenommen werden (z.B. Messkanal, Thermostatisierung, Konfiguration des Ausgangssignals usw.). Justierungen (z.B. für Linearität, Endwert) sollten in Abstimmung mit dem Auftraggeber erfolgen.

## 7 Umgebungsbedingungen

Die Kalibrierung sollte bei einer Umgebungstemperatur von 20 °C bis 26 °C, vorzugsweise 23 °C durchgeführt werden. Die Temperaturschwankung sollte dabei nicht mehr als  $\pm 1$  °C betragen.

## 8 Kalibrierverfahren

Die zu kalibrierenden Vakuummeter und die entsprechenden Bezugs- und Gebrauchsnormale werden an eine Vakuumkammer angeschlossen, in der die Drücke eingestellt werden. Die Vakuumkammer muss so ausgelegt werden, dass die Drücke an den Messstellen so weit übereinstimmen, dass Vergleiche mit der erforderlichen Genauigkeit möglich sind.

Ein Beispiel für ein Kalibriersystem enthält Anhang B.

Das Vakuummeter ist möglichst als Gesamtheit (Messkette) zu kalibrieren.

Die vom Hersteller empfohlene/vorgeschriebene bzw. mit dem Auftraggeber vereinbarte Einbaulage ist zu berücksichtigen.

## 9 Durchführung der Kalibrierung

### 9.1 Voraussetzungen


Vor Beginn der Kalibrierung müssen die Kalibriergegenstände und Normale

1. thermisch eingelaufen sein

Wenn keine Herstellerangaben vorliegen, werden als Stabilisierungszeiten empfohlen:

Nicht thermostatisierte Geräte: 1 Std.

Thermostatisierte Geräte: 4 Std.

	Kalibrieren von Messmitteln für Vakuum Teil 3: Elektrische Membran-Vakuummeter <a href="https://doi.org/10.7795/550.20180828AL">https://doi.org/10.7795/550.20180828AL</a>	DKD-R 6-2 Teil 3	
		Ausgabe:	09/2018
		Revision:	0
		Seite:	8/11

2. nach Punkt 6 eingestellt sein.

Zur Einstellung des Nullpunktes von Kalibriergegenstand und Normal gelten die Angaben der Hersteller. Bei fehlenden Angaben wird empfohlen, einen Restdruck von nicht mehr als 1/10 der Ansprechschwelle (in Herstellerangaben häufig als Auflösung oder Resolution bezeichnet) des Kalibriergegenstandes einzustellen.

Hinweis:

Die Zeit zur Thermostatisierung kann zusätzlich zum Evakuieren und Ausgasen der Messzelle genutzt werden. Dadurch wird zugleich der Zeitaufwand für das Erreichen des zur Nullpunkteinstellung notwendigen Vakuums reduziert.

### 9.2 Einstellen der Kalibrierdrücke

Wenn mit dem Auftraggeber nichts anderes vereinbart wurde, sollen mindestens 10 Kalibrierpunkte, gleichmäßig über den Kalibrierbereich verteilt, aufgenommen werden. Bei Kalibrierung über mehrere Dekaden sollen pro Dekade mindestens 3 Kalibrierpunkte aufgenommen werden (z.B. 1, 2, 5).

Die Aufnahme der Kalibrierwerte erfolgt, wenn nichts anderes vereinbart wurde, vom kleineren zum größeren Druck in aufsteigender Richtung. An jedem Messpunkt ist abzuwarten, bis sich ein stationärer Zustand der Ausgangsgrößen von Kalibriergegenstand und Normal eingestellt hat.

Zur Kontrolle der Nullpunktstabilität kann nach Abschluss der Messreihe der Nullpunkt des Kalibriergegenstandes überprüft werden.

## 10 Auswertung, Kalibrierergebnis

Die Hauptbestandteile der Druckmesseinrichtung erhalten jeweils eine Kalibriermarke; bei Messketten erhält jedes Gerät eine Kalibriermarke.

Zusätzlich zu den in DAkKS-DKD-5 enthaltenen Forderungen sind im Kalibrierschein anzugeben:

- Messgas
- Kalibrierverfahren (z.B. DIN 28418 oder diese Richtlinie)
- Einbaulage des Kalibriergegenstandes
- Einstellungen am Kalibriergegenstand


Der Kalibrierschein sollte eine Tabelle aller Messwerte enthalten. Darin müssen mindestens enthalten sein:

- Kalibrierdruck
- Signal (z.B. Druckanzeige, Gleichspannungsausgang) des Kalibriergegenstandes

Weiterhin können im Kalibrierschein enthalten sein:

- die Messabweichungen
- die relativen Messabweichungen
- weitere Messwerte, Berechnungen usw.



	Kalibrieren von Messmitteln für Vakuum Teil 3: Elektrische Membran-Vakuummeter <a href="https://doi.org/10.7795/550.20180828AL">https://doi.org/10.7795/550.20180828AL</a>	DKD-R 6-2 Teil 3	
		Ausgabe:	09/2018
		Revision:	0
		Seite:	9/11

### Beispiel für eine Darstellung der Kalibrierergebnisse:

(Druckaufnehmer mit Messbereich 10 mbar und Signalausgang 2–10 V)

Kalibrierdruck mbar	Kalibriergegenstand		Messab- weichung mbar	Erweiterte Messunsicher- heit mbar
	Ausgangssignal $U_a$ V	Berechneter Druck * mbar		
0,1000	2,084	0,105	0,005	0,0036
0,2008	2,163	0,204	0,003	0,0070
0,5001	2,396	0,495	-0,005	0,0165
1,0220	2,810	1,013	-0,009	0,0304
usw.				

\* Berechnet nach Angabe des Herstellers:

$$p = (U_a - 2 \text{ V}) \cdot (10 \text{ mbar} / 8 \text{ V})$$

Die erweiterte Messunsicherheit ist gemäß DAkkS-DKD-5 anzugeben.

#### 10.1 Korrekturen

Am Messwert angebrachte Korrekturen sind eindeutig zu beschreiben.

Werden die erweiterte Messunsicherheit und die Abweichung in der Tabelle angegeben, muss der Kalibrierschein den Hinweis enthalten:

„Die erweiterte Messunsicherheit bezieht sich auf die in der Tabelle angegebene Anzeige des Kalibriergegenstandes, nachdem diese um die Abweichung gegenüber dem Kalibrierdruck korrigiert wurde“.

#### 10.2 Thermische Effusion

Bei den meisten Membranvakuummetern für niedrige Druckbereiche werden zur Erhöhung der Stabilität die Messzellen (Sensoren) beheizt. Dadurch entsteht in der Regel ein Temperaturgefälle von der Messzelle zur Vakuumkammer und es herrscht in der Messzelle ein höherer Druck. Dies führt im Bereich < 1 mbar zu systematischen Messabweichungen von einigen (typisch 3 bis 4) Prozent. Der funktionale Zusammenhang ist entweder vom Hersteller angegeben oder kann durch eine Ausgleichsrechnung ermittelt werden.

Werden im Kalibrierschein die korrigierten Werte angegeben, so muss dies ausdrücklich mit Angabe bzw. Beschreibung des Korrekturverfahrens erfolgen.

## Anhang A

### A.1 Kapazitiver Membrandruckaufnehmer

#### (Kapazitätsmanometer, Kapazitives Vakuummeter)

In einer Messzelle befindet sich eine elastische Membrane. Durch die Membrane wird die Messzelle in zwei Kammern unterteilt, die voneinander leckdicht getrennt sind. Die Membrane biegt sich entsprechend dem anliegenden Druck durch. In geringem Abstand zur Membrane befinden sich je nach Ausführung des Sensors ein oder zwei Elektroden, die als Scheibe oder als Ring und Scheibe auf einem isolierten Träger aufgebracht sind. Die Membrane, die entweder selbst elektrisch leitend ist oder eine leitende Oberfläche besitzt, bildet mit der Elektrode einen Plattenkondensator (bei zwei Elektroden einen zweifachen Plattenkondensator) dessen Kapazität abhängig vom Abstand der Membrane zu den Elektroden bzw. direkt abhängig vom Druck ist. Die Kapazität wird in eine Gleichspannung umgewandelt, die linear zum Druck ist.

Bei Absolutdruckaufnehmern ist der Raum hinter der Membrane ständig evakuiert, so dass der anliegende Druck vor der Membrane stets als Absolutdruck erscheint. Bei Differenzdruckaufnehmern muss zur Absolutdruckmessung der Raum hinter der Membrane soweit evakuiert werden, dass der Restdruck geringer als das Auflösungsvermögen ist.

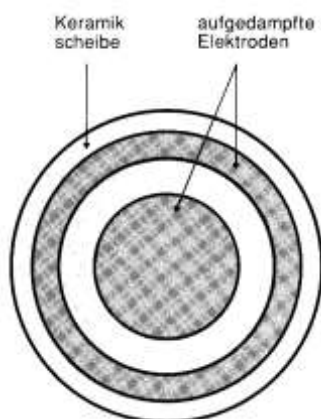


Abb. 1: Messzelle

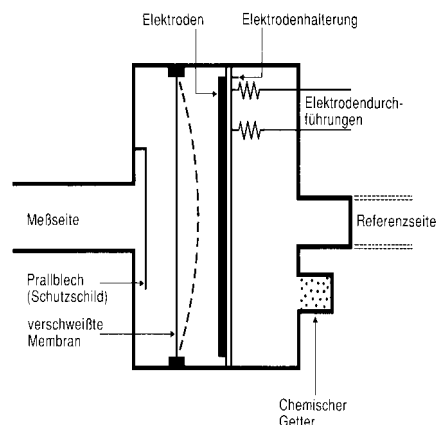


Abb. 2: Elektrodenanordnung

### A.2 Thermische Effusion

#### (Thermische Transpiration):

Dieser Effekt tritt bei Membranvakuummetern mit beheizter Messzelle im Bereich der Molekularströmung auf. Durch die höhere Temperatur der Messzelle stellt sich durch die damit einhergehende größere Teilchengeschwindigkeit in der Messzelle ein höherer Druck ein. Der Druck, unterhalb dessen der Effekt eintritt, hängt von der Teilchengröße der Gasart ab und beträgt typisch 1 mbar. Für sehr kleine Drücke verhält sich der Druck  $p_M$  in der Messzelle zum Druck  $p_R$  im Rezipienten:

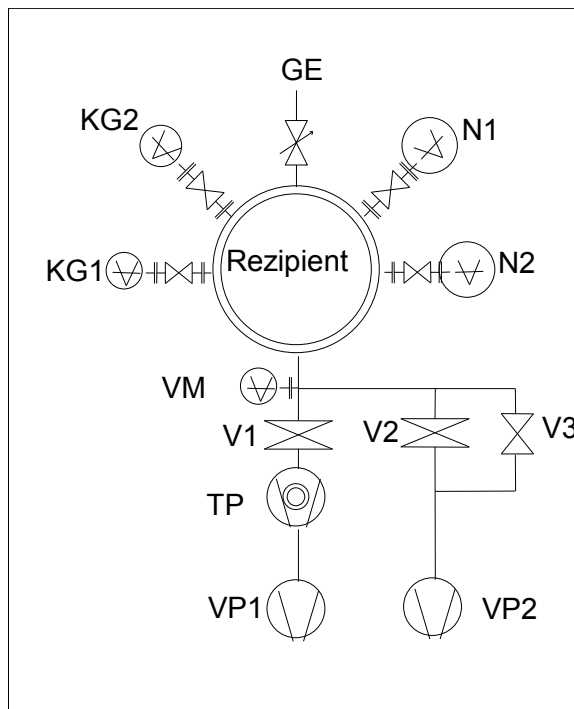
$$p_M / p_R = \sqrt{\frac{T_M}{T_R}}$$

Die Abweichung im Übergangsbereich zwischen der viskosen Strömung und der reinen Molekularströmung wird durch eine nicht lineare Übergangsfunktion beschrieben.

## Anhang B

### B.1 Kalibriersystem

Abb. 3: Beispiel für ein Kalibriersystem



Symbole:

GE	Gaseinlass
N 1,2...	Bezugsnormale
KG 1,2...	Kalibriergegenstände
VM	Vakuummeter zur Restdruckanzeige, z.B. Ionisationsmanometer oder Pirani, evtl. auch zur Pumpensteuerung
V1	Drosselventil, Leitwert verstellbar zur dynamischen Druckregelung zwischen 0,001 und 10 mbar. Falls kein vollständiges Absperrventil zusätzlich vorgesehen werden
V2	Absperrventil
V3	Ventil mit kleinem Leitwert, parallel zu V2, für langsames Abpumpen
TP	Turbomolekularpumpe
VP1	Vorpumpe für TP1
VP2	Pumpe zum Vorevakuieren

Normal und Kalibriergegenstand können über Absperrventile angeflanscht werden. Dadurch wird unnötiges Fluten des Rezipienten beim Austausch vermieden bzw. der Transport der Vakuummeter unter Vakuum ist möglich.

Wenn niedrige Restdrücke erforderlich sind, kann das Ausheizen des Kalibriersystems notwendig sein.