

VALVO

Technische Informationen für die Industrie

4



Anwendungen von NTC-Widerständen
für Vakuummeßzwecke

Die VALVO GMBH übernimmt keinerlei Gewähr, daß die in den „Technischen Informationen für die Industrie“ angegebenen Schaltungen, Geräte und Anlagen frei von Patentrechten Dritter sind.

Die Ratschläge in unseren „Technischen Informationen“ stützen sich auf Versuche in unseren Applikations-Laboratorien; sie sind unverbindliche und keine Haftung begründende Empfehlungen.

Dieses Informationsheft ist nicht für Weiterveröffentlichung bestimmt. Nachdruck, auch auszugsweise, ist nicht gestattet.

APRIL 1961

Alle den Inhalt und den Versand der VALVO Technischen Informationen betreffenden Zuschriften sind an die VALVO GMBH, Hamburg 1, Burchardstraße 19, zu richten.



Anwendungen von NTC-Widerständen für Vakuummeßzwecke

In der vorliegenden Technischen Information werden zwei Wärmeleitungsmanometer beschrieben, die mit Zwerg-NTC-Widerständen arbeiten. Es handelt sich hierbei um

1. ein sehr einfaches und robustes Grobvakuum-Manometer (Bereich 10 bis $\sim 10^{-3}$ Torr), das mit einem kleinen Zusatzgerät als Schaltgerät benutzt werden kann, und
2. um ein Manometer, das unter Verwendung eines Thermostaten und einer stabilisierten Spannungsversorgung Drücke von 10 Torr bis hinab in das Gebiet von einigen 10^{-5} Torr zu messen gestattet.

Einleitung

Das Meßprinzip, das beiden Geräten zugrunde liegt, ist im wesentlichen folgendes:

Ein in einem Vakuumsystem eingebauter NTC-Widerstand wird beim Stromdurchgang erhitzt. Die stationäre Temperatur, die der Widerstand dabei annimmt, ist abhängig von den Wärmetransportverhältnissen zwischen Widerstand und Umgebung. Der Wärmetransport kann dabei auf verschiedenen Wegen erfolgen:

- a) Wärmeleitung über Zuleitungsdrähte,
- b) Wärmetransport über das umgebende Medium,
- c) Strahlung.

Die unter a) und c) aufgeführten Fälle können bei einem zweckmäßigen Aufbau unberücksichtigt bleiben. Somit kann zur Druckbestimmung der unter b) angeführte Fall herangezogen werden. Die Meßgröße ist dabei die Spannung



an einem NTC-Widerstand, der von einem konstanten Strom durchflossen wird. Der Zusammenhang zwischen Druck und Meßspannung geht aus folgenden Wirkungen hervor. Mit zunehmendem Druck wächst bei wenig veränderlicher Temperatur die Dichte des Restgases, wobei die Wärmeleitfähigkeit größer und bei konstanter Leistung die Temperatur im NTC-Widerstand abnimmt. Da wiederum bei negativem Temperaturkoeffizienten der Widerstand mit abnehmender Temperatur zunimmt, erhält man eine Erhöhung der Meßspannung am Widerstand.

Damit die Meßspannung schnellen Druckänderungen genügend rasch folgen kann, dürfen nur Widerstände geringer Wärmekapazität, also Zwerg-NTC-Widerstände, verwendet werden. Um große Änderungen der Meßspannung bei kleinen Druckabweichungen zu bekommen, ist es zweckmäßig, die höchsten verfügbaren Widerstandswerte zu verwenden.

Großvakuum-Manometer

Meßmethode und Aufbau

Für den elektrischen Teil der Messung wird eine einfache Brückenschaltung nach Bild 1 verwendet. Um immer mit der gleichen Speisespannung zu arbeiten, kann die für den Betrieb der Schaltung erforderliche Gleichspannung einem

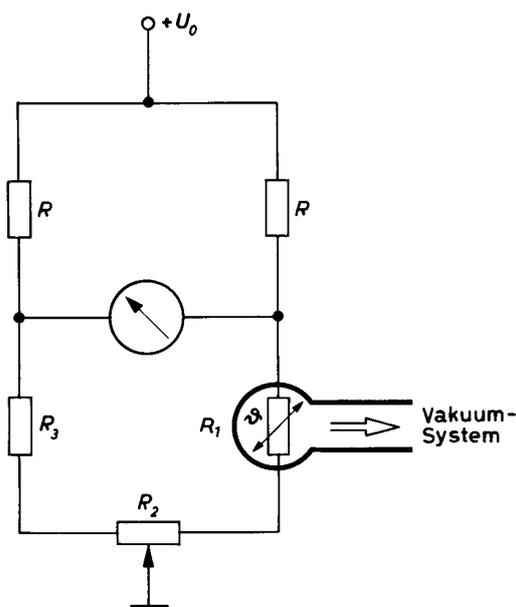


Bild 1 Brückenschaltung



stabilisierten Netzgerät entnommen werden. Eine Stabilisierung ist unter Umständen nicht erforderlich, wenn man das Brückeninstrument auch zur Spannungskontrolle benutzt.

Das Potentiometer R_2 dient dem Nullabgleich der Brücke. Die Dimensionierung der Festwiderstände ergibt sich aus den Kenndaten des verwendeten NTC-Widerstandes und der verwendeten Speisespannung (z.B. $U_0 = 220 \text{ V}$) der Brückenschaltung. Es empfiehlt sich, die Festwiderstände möglichst hochohmig zu wählen, damit der Strom durch den NTC-Widerstand nur gering durch die Änderungen des NTC-Widerstandes selbst beeinflußt wird. Andererseits dürfen die Widerstandswerte für die Festwiderstände nicht zu hoch gewählt werden, da erst bei einer Leistung von ungefähr 5 mW am NTC-Widerstand eine ausreichende Temperaturdifferenz zwischen Widerstand und Umgebung auftritt. Das bedeutet, daß Wärmeleitungsänderungen der Umgebung dann erst einen hinreichenden Einfluß haben.

In dem interessierenden Druckgebiet gilt in erster Näherung die Gleichung

$$N = \frac{dQ}{dt} = c \cdot p (\vartheta_2 - \vartheta_1),$$

worin sind:

- N die pro Zeit transportierte Wärmemenge,
- p der Druck der umgebenden Gasatmosphäre,
- ϑ_2 die Oberflächentemperatur des NTC-Widerstandes,
- ϑ_1 die Oberflächentemperatur der Meßzelle und
- c eine Konstante, in der die geometrischen Größen und der Akkomodationskoeffizient der jeweiligen Gasart usw. berücksichtigt sind.

Aus der Gleichung ergibt sich, daß der Wärmefluß auch von der Temperatur ϑ_1 der Meßzelle abhängig ist. Sie muß daher möglichst konstant gehalten werden. Mit folgenden Maßnahmen erhält man ohne allzugroßen Aufwand hierfür eine ausreichende Meßgenauigkeit:

Der NTC-Widerstand wird in ein relativ dickwandiges Aluminiumgehäuse eingebaut. Man erreicht damit, daß der Widerstand durch die blanke Metalloberfläche sehr gut gegen Temperaturerhöhungen durch äußere Wärmestrahlungen geschützt ist, und daß durch die genügend große Wärmekapazität des Gehäuses kurzzeitige Schwankungen der Außentemperatur ohne Einfluß auf die Druckmessungen bleiben. Nicht ausgeschaltet wird allerdings der Einfluß sehr lang-



sam erfolgreicher Änderungen der Umgebungstemperatur. Um diese Abhängigkeit in dem interessierenden Druckgebiet (unter 1 Torr) weitgehend auszuschalten, wird der Vergleichswiderstand R_3 (vgl. Bild 1) durch einen ebenfalls in der Meßzelle untergebrachten und im Vakuum befindlichen NTC-Widerstand ersetzt, der denselben Widerstandswert wie der Meß-NTC-Widerstand hat ($R_1 = R_3$). Der Einfluß der Außentemperatur ist dadurch bei Drücken unter 1 Torr auf den Meß- und den Vergleichswiderstand der gleiche, d.h. die Nullpunkt Konstanz der Brückenschaltung und die Meßgenauigkeit erreichen damit hohe Werte. Die Brückenspannung ist

$$\Delta U = U_0 \frac{\Delta R}{R + R_1},$$

wenn ΔR die Widerstandsänderung des NTC-Widerstandes ist. Die verwendeten NTC-Widerstände haben die Typenbezeichnung B8 320 04P/680K und B8 320 06P/680K.

Die Kontrolle der Betriebsspannung U_0 kann durch den Einbau eines Umschalters ermöglicht werden; die Schaltung hierfür muß so ausgebildet sein, daß sich in der Kontrollposition die Ströme in den Brückenzweigen nicht verändern können. Die Spannung U_0 kann mit Hilfe des Potentiometers R_7 auf den Sollauschlag am Instrument eingestellt werden. Der Aufbau einer Meßzelle ist in Bild 2 dargestellt. Die Anschlußmöglichkeiten an ein Vakuumsystem lassen sich natürlich dem jeweiligen Bedarf anpassen.

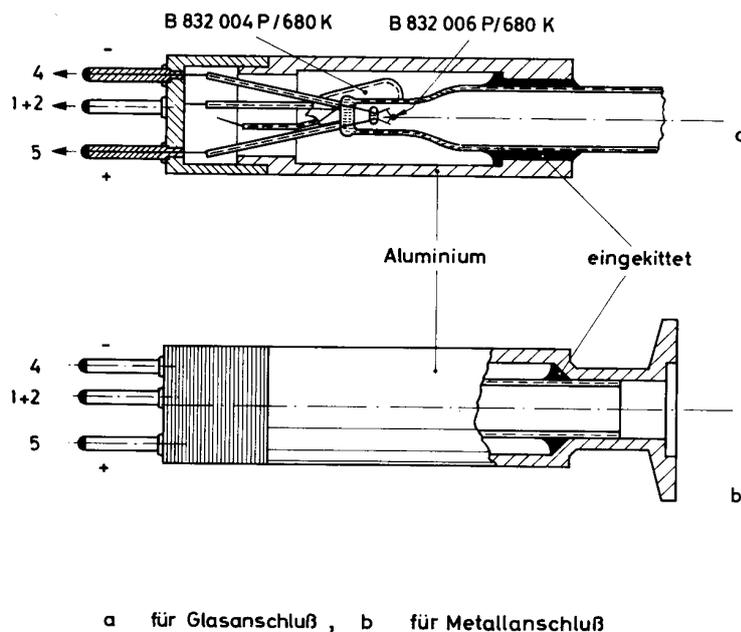


Bild 2 Aufbau der Meßzelle



Die vollständige Schaltung zeigt Bild 3. Der veränderbare Widerstand R_6 und das Potentiometer R_2 dienen der einmaligen Einstellung des Gerätes. Mit dem veränderlichen Widerstand R_7 wird die Spannung U_0 eingestellt.

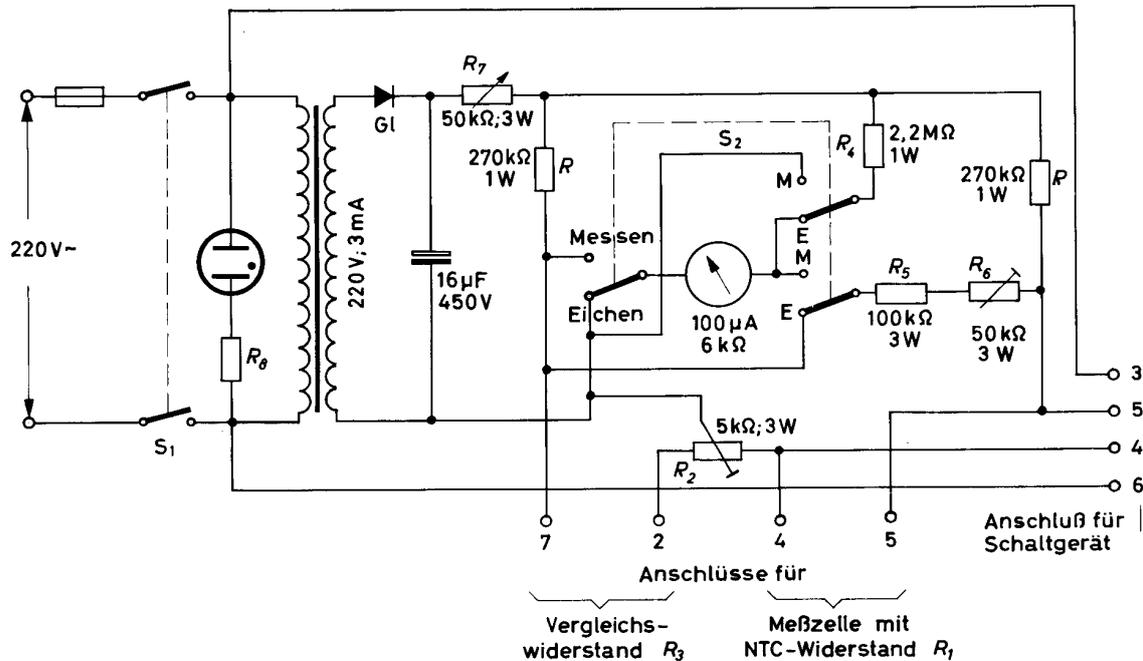


Bild 3 Meßschaltung

Eichung

Wegen der Streuung der serienmäßigen NTC-Widerstände in den Widerstandswerten und in den B-Werten ist es erforderlich, jedes Meßgerät auf die zugehörige Meßzelle abzustimmen. Diese Einstellung wird nur einmal vorgenommen und ist in der Durchführung verhältnismäßig einfach (vgl. Einstellvorschrift). Damit ergibt sich für jedes Manometer mit ausreichender Genauigkeit die gleiche Eichkurve (Bild 4). Die Kontrolle von Manometern mit Hilfe eines Quecksilber-Kompressionsmanometers ergab, das im Druckgebiet zwischen 10^{-2} und 10^{-1} Torr die Meßunsicherheit unterhalb 10 % liegt. Die Einstellzeit beträgt dabei etwa 1 bis 2 s. Unterhalb 10^{-2} Torr nimmt die Meßunsicherheit zu. Ein Druckanstieg von 10^{-3} Torr auf $3 \cdot 10^{-3}$ Torr läßt sich aber noch mit Sicherheit feststellen. Bei Drücken über 2 Torr wird die Meßunsicherheit wieder größer, da sich dann der Einfluß der Außentemperatur bemerkbar macht. Die Arbeitstemperatur des Meß-NTC-Widerstandes beträgt maximal etwa 140°C .

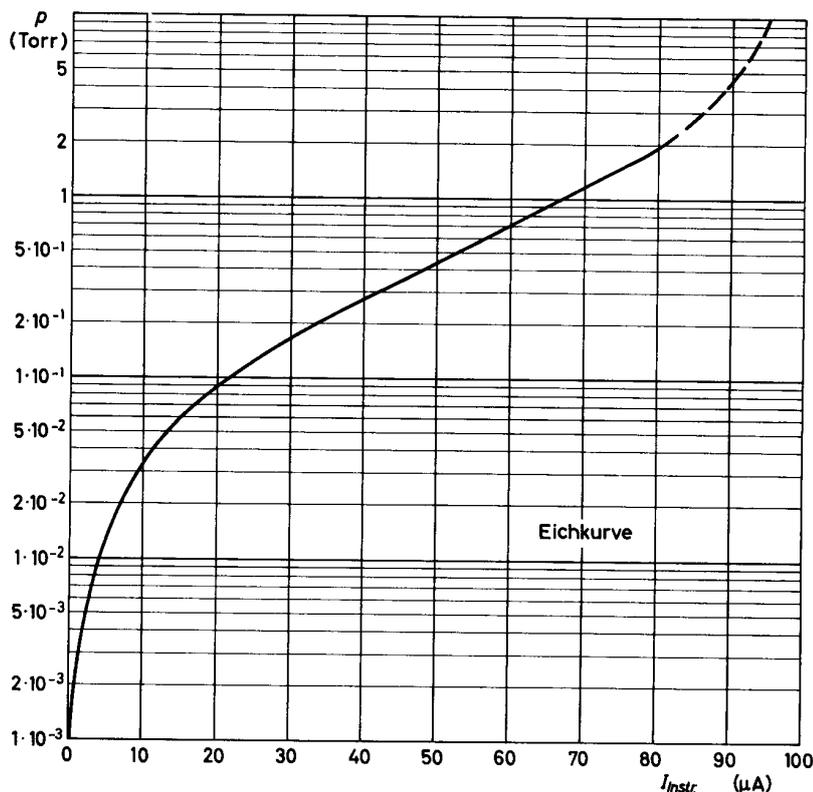


Bild 4 Eichkurve eines Gerätes

Einstellvorschrift

1. Schalter S_2 in Position "Eichen"
2. Netz einschalten (Schalter S_1)
3. Meßzelle im Meßkopf evakuieren ($p < 10^{-3}$ Torr)
4. Veränderlicher Widerstand R_6 auf $R_6 = 0$ einstellen
5. Mit dem veränderlichen Widerstand R_7 das Instrument auf $90 \mu A$ einstellen
6. Schalter S_2 in Position "Messen"
7. Mit dem Potentiometer R_2 am Instrument $0 \mu A$ einstellen
8. In Position "Eichen" $90 \mu A$, in Position "Messen" $0 \mu A$ kontrollieren
9. Schalter S_2 in Position "Eichen"
10. Meßzelle belüften
11. Mit dem veränderlichen Widerstand R_7 das Instrument auf $90 \mu A$ nachstellen
12. Schalter S_2 in Position "Messen"
13. Mit dem veränderlichen Widerstand R_6 das Instrument auf Vollausschlag einstellen



14. In Position "Eichen" 90 μA , in Position "Messen" 100 μA (Vollausschlag) kontrollieren
15. Potentiometer R_2 und den veränderbaren Widerstand R_6 plombieren

Nach einer Eichung muß darauf geachtet werden, daß der zum Gerät gehörige Meßkopf nicht gegen einen anderen vertauscht wird. Die Einstellung des Gerätes erfolgt zweckmäßigerweise bei der an der vorgesehenen Meßstelle herrschenden Temperatur.

Vor dem Einschalten empfiehlt es sich, den Schalter S_2 auf die Position "Eichen" zu stellen und erst ca. 1 min nach dem Einschalten auf die Position "Messen" umzuschalten.

In der folgenden Tabelle sind einige Betriebsdaten des Manometers für 10^{-3} Torr zusammengestellt.

Druck	10^{-3} Torr	760 Torr
Temperatur des Meß-NTC-Widerstandes	140 °C	105 °C
Widerstandswert	17,2 k Ω	42 k Ω
Spannung am Widerstand	12 V	27 V
Strom durch den Widerstand	700 μA	640 μA
Leistung am Widerstand	8,4 mW	17,3 mW

Verwendung des NTC-Manometers als Schaltgerät

Für Steuerzwecke kann ein Zusatzgerät, das in das Meßgerät eingebaut oder über ein Kabel mit diesem verbunden wird, benutzt werden. Die Anschlußpunkte sind in Bild 3 eingezeichnet. Bild 5 zeigt das Schaltbild des Steuerzusatzes. Die Skala des Potentiometers kann in Torr geeicht werden, so daß der Wert, bei dem das Relais A ansprechen und ein Schaltvorgang ausgelöst werden soll, am Potentiometer eingestellt werden kann. Mit Hilfe dieses Schaltgerätes können Ventile gesteuert oder Warnsignale ausgelöst bzw. Öldiffusionspumpen bei Unterschreitung des minimal zulässigen Vorvakuumdruckes abgeschaltet werden.

Verwendung von NTC-Widerständen zur Präzisions-Druckmessung

Die Erzielung einer hohen Meßgenauigkeit und die Ausdehnung des Meßbereiches in Richtung niedriger Drucke kann durch folgende Maßnahmen erreicht werden:

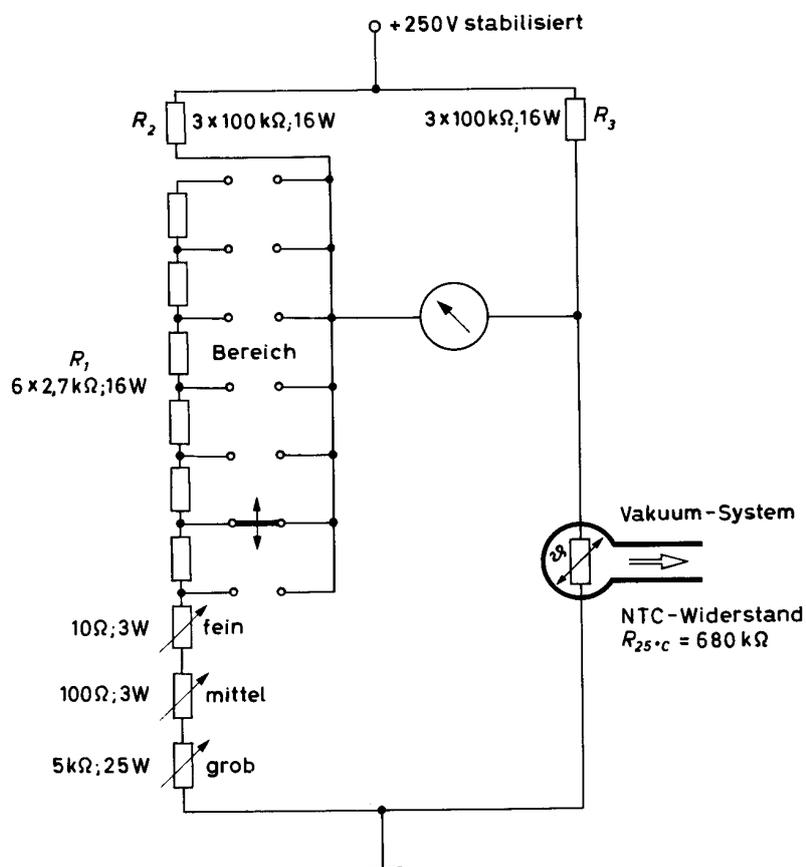


Bild 6

Brückenschaltung für
Präzisions-Druckmessung

Obwohl die an der Meßstelle benutzten VALVO Zwerg-NTC-Widerstände über eine Zeit von 1000 Stunden bei 105 °C gealtert werden, ist diese Wärmebehandlung für höhere Ansprüche nicht immer ausreichend, da die mittlere Arbeitstemperatur bei etwa 150 °C liegt. Eine hinreichende Stabilität der Meßanordnung läßt sich jedoch durch weiteres Altern der NTC-Widerstände erreichen. Dazu müssen unter Umständen die NTC-Widerstände unter Betriebsbedingungen einige Wochen bis Monate geheizt werden. Die Erfahrung hat gezeigt, daß es ratsam ist, auch während längerer Arbeitspausen die NTC-Widerstände mit Heizstrom zu belasten.

Um zu erreichen, daß wirklich nur die Änderung des Gasdruckes eine Änderung des Wärmetransportes und somit eine Widerstandsänderung bewirkt, müssen Einflüsse wie die Wärmeabfuhr durch Strahlung und durch Leitung über die Zufüh-



rungsdrähte der NTC-Widerstände möglichst klein und konstant gehalten werden. Außerdem muß die Änderung der Umgebungstemperatur ohne Einfluß bleiben. Das wird durch folgende Anordnung erreicht (vgl. Bild 7).

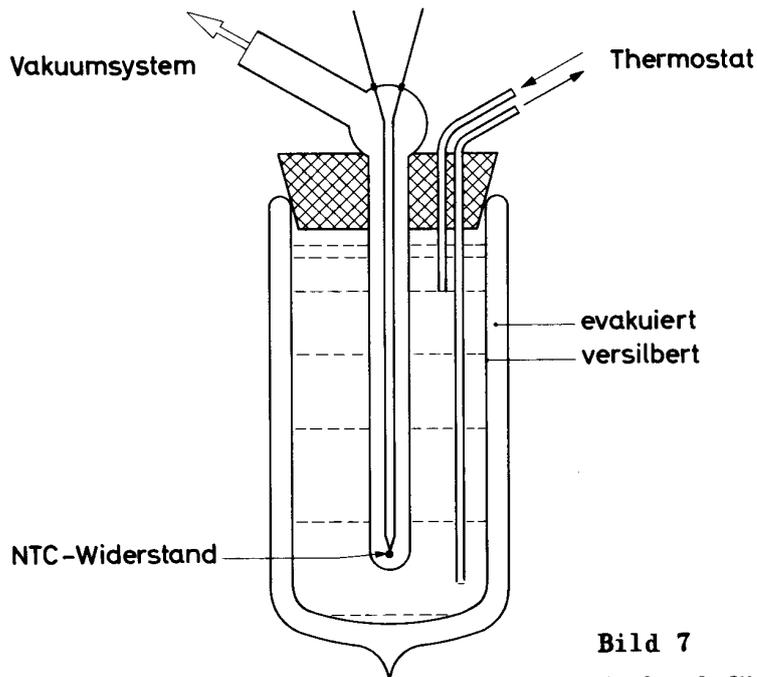


Bild 7

Meßkopf für Druckmessungen bis 10^{-5} Torr

Der NTC-Widerstand befindet sich in einem auf der einen Seite zugeschmolzenen Glasröhrchen von ca. 6 mm Durchmesser und 120 mm Länge an etwa 120 mm langen Zuleitungsdrähten möglichst kleiner Wärmeleitfähigkeit (Konstantan). Nahe der Einschmelzstelle der Zuführungsdrähte am oberen Ende des Röhrchens befindet sich auch die Anschmelzung zum Rezipienten, in dem der Druck gemessen werden soll. Das Glasröhrchen mit dem NTC-Widerstand wird in ein innenverspiegeltes Dewar-Gefäß eingesetzt, das mit einem Gummistopfen verschlossen ist. Dieser Gummistopfen muß außer der Bohrung für das Glasröhrchen noch zwei Bohrungen für Ein- und Ausfluß der Kühlflüssigkeit haben. Es ist notwendig, die Temperatur der umlaufenden Kühlflüssigkeit (Wasser) durch einen Thermostaten konstant zu halten (z.B. $22\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\%$). Wegen der ungenügenden Wärmeableitung und der Bildung von Stellen unterschiedlicher Temperatur am Glasröhrchen ist eine Kühlung durch ein Eis-Wasser-Gemisch nicht zu empfehlen. Die durch das Glasröhrchen verringerte Wärmeleitfähigkeit ergibt keine Verzögerung der



Druckanzeige; der NTC-Widerstand dagegen braucht bei einer Druckänderung einige Minuten zum Erreichen des Wärmegleichgewichtes. Schnell ablaufende Druckänderungen lassen sich deshalb nicht verfolgen.

Bild 8 zeigt eine Eichkurve für Stickstoff. Da die Messung des Druckes über die Leitfähigkeit des Gases erfolgt, ist die Messung mit NTC-Widerständen abhängig von der Art des Gases. Es muß beachtet werden, daß infolge von Fertigungstoleranzen von $\pm 20\%$ die Eichkurven für verschiedene NTC-Widerstände bei gleicher Gasart nicht identisch sind; die Kurven können etwas parallel zueinander verschoben sein.

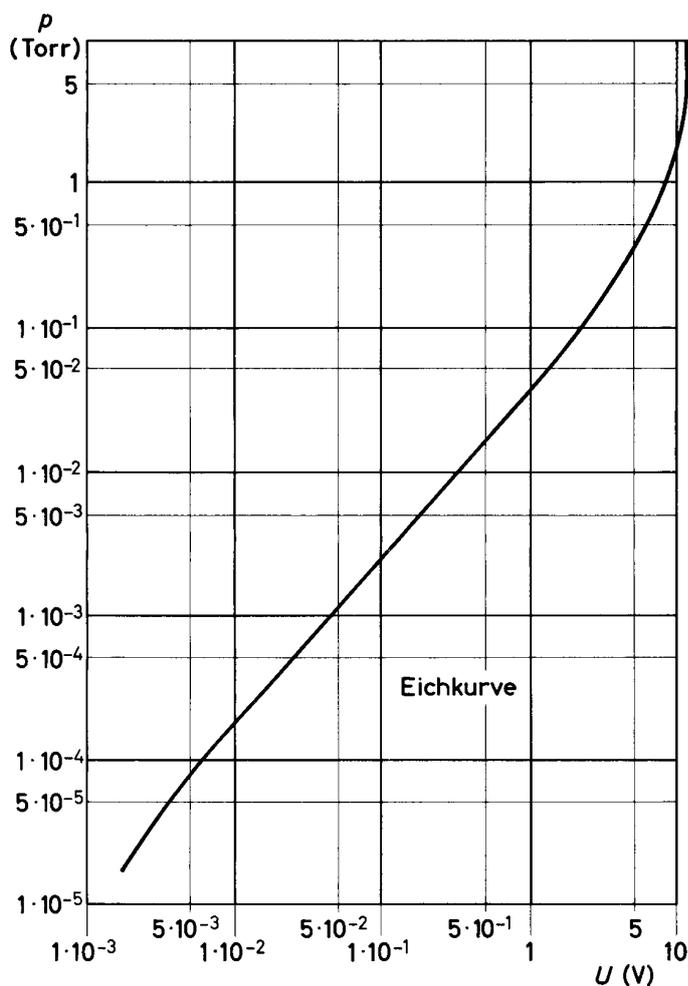


Bild 8 Eichkurve für Stickstoff

ZULETZT ERSCHIENENE TECHNISCHE INFORMATIONEN FÜR DIE INDUSTRIE

- Heft 1 Ferroxcube 7 - piezomagnetische Ferrite**
- Heft 2 Die Triode VALVO PC 88 für Gitterbasisstufen im UHF-Bereich
Stabilisierung der Anodenstromaufnahme der Vorstufe im
UHF-Konverter**
- Heft 3 Neue Zählrohre und Schaltungen zur Messung schwacher Beta-Strahlung**

I N H A L T

Mit Zwerg-NTC-Widerständen ist es möglich, bei nur geringem Schaltungsaufwand einfache und robuste Geräte für Druckmessungen zu bauen.

Das vorliegende Heft enthält die notwendigen Angaben über ein Grobvakuum-Manometer (10 bis $\sim 10^{-3}$ Torr) und ein Manometer für Drücke von 10 Torr bis hinab zu einigen 10^{-5} Torr.

V A L V O G M B H H A M B U R G 1