## 1. Einleitung

Zuerst sollen die Definitionen einiger hierbei wichtiger Begriffe gegeben werden.

In DIN 28400 Blatt 3 war definiert:

### 2.3 Leck

Lecks an einer Vakuumanlage sind Löcher oder Poren in den Wandungen der Vakuumanlage oder an Verbindungsstellen (Schweißnähten, Vakuumflanschen usw.), z.B. hervorgerufen durch Material- oder Bearbeitungsfehler oder falsche Handhabung der Dichtelemente."

In DIN 28400-8 sind weitere charakteristische Größen festgelegt:

### 4.3 Gasabgaberate eines Vakuumsystems

Gasmenge, die je Zeiteinheit von allen inneren Oberflächen des Vakuumsystems desorbiert wird (sie wird angegeben als pV-Durchfluss).

Anmerkung: In der Praxis täuscht eine Gasabgabe im Inneren eines Vakuumsystems häufig ein Leck vor. In diesem Fall wird von einem "virtuellen Leck" gesprochen.

### 4.4 Leckrate eines Vakuumsystems

Die von außen in das Vakuumsystem je Zeiteinheit eindringende Gasmenge, angegeben als pV-Durchfluss

### 4.5 Druckanstiegsrate eines Vakuumbehälters

Die Druckanstiegsrate eines (vom Pumpsystem abgetrennten) Vakuumbehälters ist der Druckanstieg je Zeiteinheit bei konstanter Temperatur.

## 2. Dichtheitsprüfung nach der Druckanstiegsmethode

Zweck der Dichtheitsprüfung ist die Bestimmung der Leckrate und nicht der Gasabgaberate.

Bei der Dichtheitsprüfung nach der Druckanstiegsmethode wird die Anlage - in der Regel mit dem eigenen Pumpsystem - möglichst nahe an das Endvakuum gebracht, dann werden die Ventile zum Pumpsystem geschlossen und mindestens zwei Druckmessungen in zeitlichem Abstand (Standzeit) vorgenommen. Bei der Druckanstiegsmessung wird außer dem Druckanstieg infolge der durch - echte - Lecks in das Vakuumsystem einströmenden Gasmenge auch der Druckanstieg infolge der von den Oberflächen des Vakuumsystems abgegebenen Gasmenge gemessen. Die Gasabgabe ist daher sehr störend.

### 2.1 Gasabgaberate

In erster Annäherung nimmt die Gasabgabe der Wandungen etwa wie 1/t (t = Zeit) ab. Ein Beispiel soll dies verdeutlichen:

Die Gasabgabe nach 10 Stunden Pumpzeit beträgt nur noch 1/10 der Gasabgabe nach einer Stunde Pumpzeit und nach 20 Stunden Pumpzeit nur noch die Hälfte des Wertes nach 10 Stunden Pumpzeit oder 1/20 des Wertes nach einer Stunde Pumpzeit.

Aus diesem Grund ist eine Pumpzeit von mindestens 10 Stunden zu empfehlen, wenn der Anteil der Gasabgabe am gemessenen Druckanstieg klein gehalten werden soll.

**Bild 1** zeigt die nach Pumpzeiten von 1, 10 und 100 Stunden zu erwartenden Gasabgaberaten qG in Abhängigkeit vom Anlagenvolumen V .

### 2.2 Messungen mit Kühlfallen

Die störende Gasabgaberate besteht in der Regel zu etwa 90% aus Wasserdampf. Dieser große Wasserdampfanteil kann in einer Kühlfalle festgehalten werden. Die von außen durch Lecks einströmende Luft enthält dagegen nur wenige Prozent Wasserdampf. Bei 1013 mbar (= 760 mm Hg), 20°C und 100% relativer Luftfeuchtigkeit ist der Partialdruck des Wasserdampfes rd. 23,4 mbar (= 17,5 mm Hg) oder 2,3 % . Die ermittelte tatsächliche Leckrate wird daher durch die Vorschaltung einer Kühlfalle praktisch nicht beeinflusst.

## 3. Abgrenzung des Prüfverfahrens und Nachweisgrenze

Die Druckanstiegsmethode ist ein einfaches und bequemes Prüfverfahren, um die Leckrate qL einer Vakuumanlage zu bestimmen. Sie ist jedoch infolge des starken Einflusses der Gasabgabe von Wandungen und Bauteilen innerhalb der Anlage nur bei – im Verhältnis zur Größe der Anlagen – hohen Leckraten brauchbar. Da immer nur Integralwerte , d.h. die Summen aller Lecks , gemessen werden, ist die Lokalisierung eines einzelnen Lecks nicht so ohne weiteres möglich.

Die Nachweisgrenze der Leckrate ist gleich der entsprechend der Pumpzeit zu erwartenden Gasabgaberate; sie schwankt je nach Art und Größe der Anlage erheblich (Bild 1).

Nach zehnstündiger Pumpzeit können z.B. Leckraten nachgewiesen werden zwischen etwa

qL = 10 ^-5 und 10^-4 mbar * l * sec^-1 ( Anlagenvolumen V in l ) .

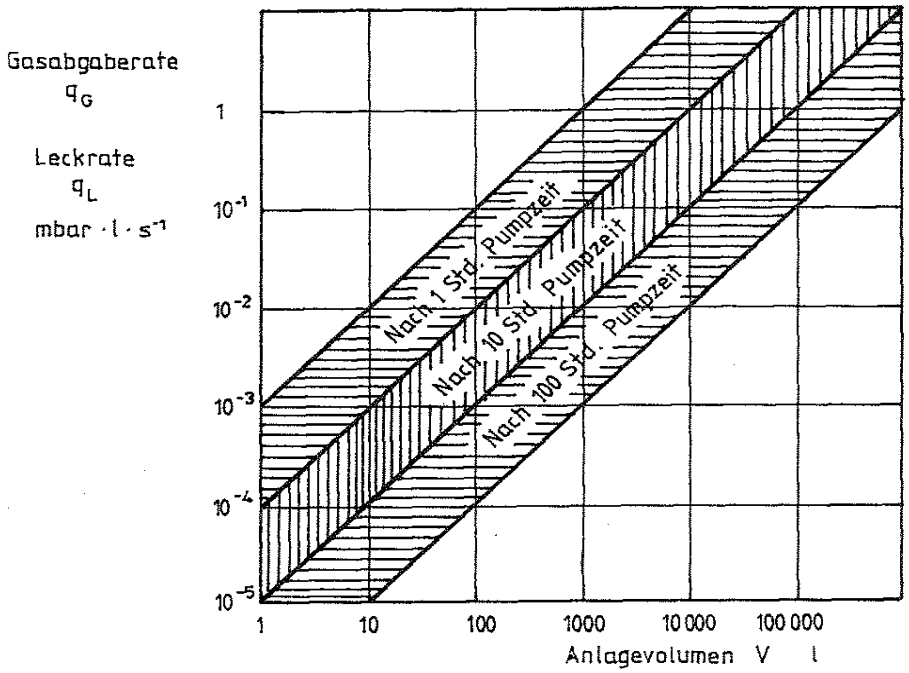


Bild 1: Zu erwartende Gasabgaberate qG und Nachweisgrenze der Leckrate qL in Abhängigkeit vom Anlagenvolumen V .

Zum Beispiel: Anlagenvolumen V = 10000 l,
Nachweisgrenze der Leckrate zwischen
qL ≥ 10^-5 * 10000 = 0,1 mbar * l * s ^-1 und
≥ 10^-4 * 10000 = 1,0 mbar * l * s ^-1 .

Bei der Benutzung von Kühlfallen vor der Meßeinrichtung kann die Nachweisgrenze um eine Größenordnung verbessert werden. So liegt sie z.B. nach 10 Stunden Pumpzeit zwischen

qL ≥ 10^-6 * V und ≤ 10^-5 * V ( in mbar * l * s ^-1 ).

Hierbei sind Luft- und Gaslecks vorausgesetzt. Bei undichten Wasserkreisläufen können wesentlich größere Unterschiede auftreten.

## 4. Druckanstieg in geschlossenen Vakuumbehältern

Das Prinzipschema einer Vakuumanlage mit Druckmessanordnung ist in Bild 2 dargestellt.

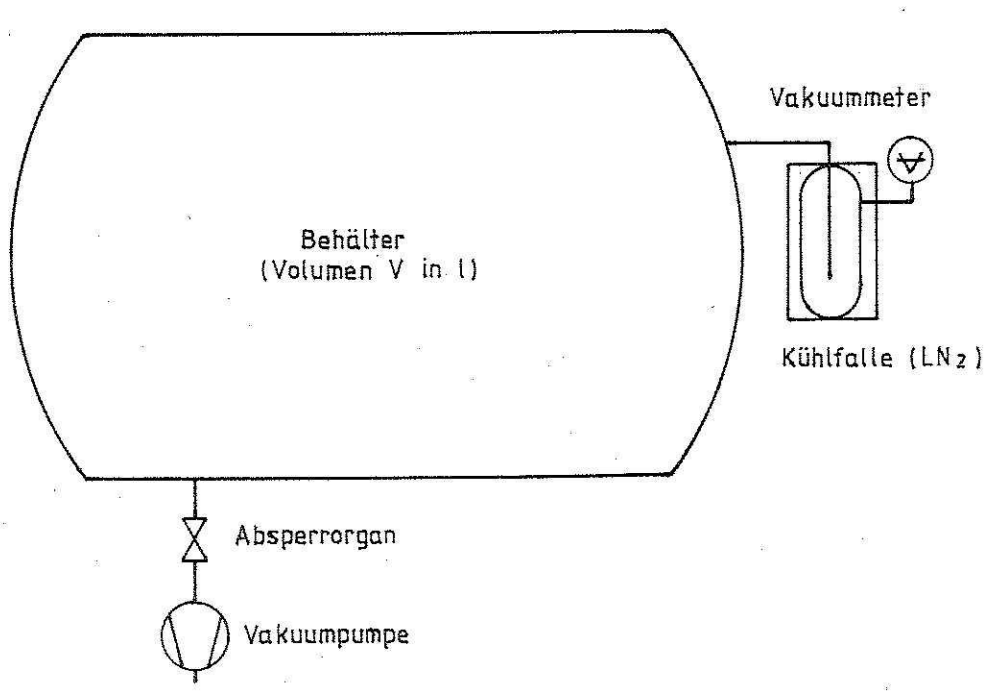


Bild 2: Prinzipschema einer Vakuumanlage mit Druckmessanordnung

Der grundsätzliche Verlauf des Druckanstiegs infolge der durch Lecks und durch Gasabgabe in das Vakuumsystem einströmenden Gasmengen wird in Bild 3 gezeigt.

Wird der Druckanstieg allein durch Gasabgabe verursacht, so ist der Kurvenverlauf in der Regel proportional dem Integral 1/t, also einer logarithmischen Funktion von t, analog Kurve "a" in Bild 3. Dies gilt, solange der Sättigungsdampfdruck von Wasserdampf bei Raumtemperatur (20°C) von 23 mbar nicht erreicht ist. Je nach Größe des Vakuumsystems kann dies ziemlich lange dauern, z.B. bei einer Gasabgaberate qG = 0,1 mbar*l*s^-1 und einem Volumen V = 10000 l ist die Zeit t = 2,3 *10^6 s ≈ 1 Monat.

Ein Leck ergibt jedoch einen linearen Verlauf des Druckanstiegs analog der Kurve "b" in Bild 3.

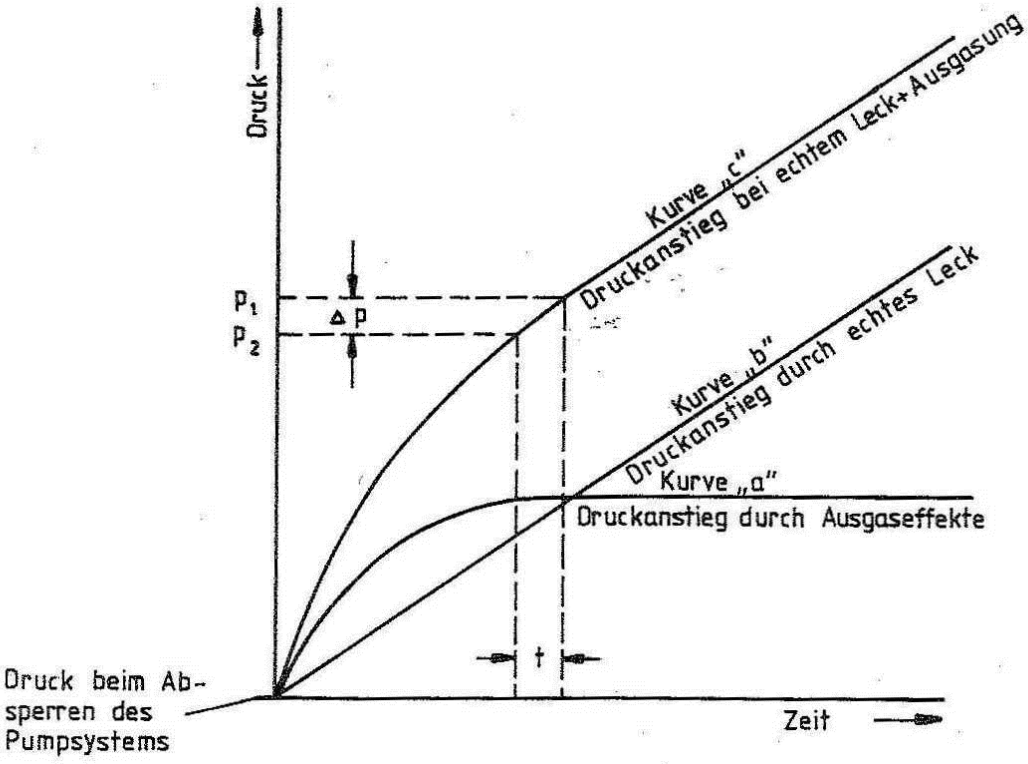


Bild 3: Druckanstieg in einem Vakuumbehälter nach Absperren des Pumpsystems (schematisch) .

Im allgemeinen steigt jedoch der Druck analog der Kurve "c" in Bild 3 an, die eine Überlagerung der Kurven "a" und "b" ist.

Die dargestellte Kurve "a" zeigt den Druckanstieg nach verhältnismäßig kurzer Pumpzeit und deshalb noch hoher Gasabgaberate zu Beginn der Standzeit. Dieser störende Anteil am Druckanstieg wird weitgehend dadurch ausgeschaltet, indem die Druckanstiegsmessung erst nach längerer Pumpzeit, z.B. 10 Stunden oder mehr, durchgeführt wird, d.h. wenn die Gasabgabe wesentlich kleiner geworden oder fast abgeklungen ist.

Für die Bestimmung der Leckrate qL ist also nur der lineare Teil der Kurve "c" zu verwenden. Aus ihm ergibt sich die Gesamtleckrate qL angenähert zu :

$$qL = \Delta p * V / t \text{ in mbar} * l * s^{-1} ,$$

| | | |
|---|---|---|
| wobei | Druckanstieg zwischen 2 Messungen: | $\Delta p = (p1 - p2)$ in mbar . |
| | Anlagenvolumen: | V in l |
| | Zeit zwischen 2 Messungen: | t in s |

## 5. Druckmessgeräte

In der Regel wird der Druckanstieg in der Vakuumanlage mit dem eingebauten Messgerät gemessen. Reicht dessen Genauigkeit nicht aus, so muss z.B. ein Ionisationsvakuummeter verwendet werden. Ist die gemäß der Spezifikation nachzuweisende Leckratengrenze in der Größenordnung der zu erwartenden Gasabgaberate qG (siehe Bild 1), dann muss vor dem Vakuummeter eine z.B. mit flüssigem Stickstoff gekühlte Falle eingebaut werden.

## 6. Prüfpersonal

Die Dichtheitsprüfungen werden von der Vakuumprüfung durchgeführt. Für die Vorbereitung, Durchführung und Auswertung sind Prüfer einzusetzen, die durch ihre Ausbildung und ihr Können für diese Arbeiten qualifiziert sind.

Die Prüfaufsicht hat alle Vorgänge zu kontrollieren und ist für die Einhaltung der anerkannten Regeln der Technik verantwortlich.

## 7. Vorbereitung der Dichtheitsprüfung

Die zu prüfende Anlage soll innen sauber, trocken und frei von Rost, Zunder Öl und sonstigen Gasabgebenden Teilen sein. Bauteile die nicht in die Dichtheits-prüfung einbezogen werden, wie Halterungen, Käfige, Abschirmbleche, Tiegel usw. sind auszubauen. Fingerabdrücke sollten wegen der Gasabgabe vermieden werden.

## 8. Durchführung der Dichtheitsprüfung nach der Druckanstiegsmethode

Eine für alle Anlagen - ins Detail gehende - gültige Vorschrift kann nicht gegeben werden. Die meisten Anlagen können jedoch nach folgendem Ablauf geprüft werden:

a.) Vakuumanlage auf Endvakuum abpumpen; Pumpzeit mindestens 10 Stunden.

b.) Ventile zum Pumpsystem schließen.

c.) Druckanstieg über etwa 0,5 Stunden messen, wobei der Druck mindestens auf das Doppelte, d.h. Faktor 2, ansteigen sollte.

d.) Die Messung kann nach kurzer Pumpzeit zur Kontrolle der Messwerte wiederholt werden.

e.) Bei Messungen mit Kühlfallen wird der Druckanstieg zunächst mit nicht gekühlter und danach mit gekühlter Falle gemessen. (Ändert sich die gemessene Rate wenig oder gar nicht, so liegt ein Luftleck vor). Je stärker die Änderung der Rate, desto größer ist der Anteil, der durch Gasabgabe verursacht wird.

f.) Lecks in Wasserkreisläufen werden mit nicht gekühlter Falle, z.B. durch Änderung des Wasserdrucks, festgestellt.

g.) Zur Lokalisierung einzelner Lecks sind andere, geeignetere Methoden anzuwenden, z.B.
Dichtheitprüfung nach der Vakuummethode "Sprühtest" (5.550-6046) oder Dichtheitsprüfung nach der Überdruckmethode mit schäumendem Spray (5.550-6047).

## 9. Auswertung und Abnahmeprotokoll

Die zulässigen Gasabgabe- und Leckraten werden der Zeichnung oder der Spezifikation entnommen.
In den Prüfprotokollen sind die vorgeschriebenen Werte festzuhalten:

-- Volumen V in l
-- Messzeit t in s
-- Gesamtpumpzeit in h (Desorptionszeit)
-- Enddruck p1 in mbar
-- Anfangsdruck p2 in mbar und
-- Differenzdruck $\Delta p = (p1 - p2)$ in mbar .

Aus diesen Werten wird die Gasabgabe- und Leckrate q berechnet nach der Gleichung:

$$q = \Delta p * V / t = (p1 - p2) * V / t \quad \text{in mbar} * l*s^{-1} .$$

Die ermittelte Leckrate muss kleiner sein als die verlangte; sie kann größer als oder so groß wie die Leckraten-Nachweisgrenze sein (siehe Bild 1).

Ist die ermittelte Leckrate größer als der verlangte Wert, so muss die Messung wiederholt und nach der Ursache der zu hohen Leckrate gesucht werden.

Die Protokollierung der Meßergebnisse und deren Auswertung erfolgt in der Prüfanweisung der betreffenden Anlage und zusätzlich im Qualitäts-Prüfzertifikat durch den verantwortlichen Prüfer.

Es ist zu beachten:

In der Spezifikation der Anlage muss angegeben sein, nach welcher Methode die Leckrate bestimmt wird und wie groß sie sein darf. Wird die Leckrate nach der Druckanstiegsmethode bestimmt, so kann sie nicht unter der Nachweisgrenze, d.h. unter der für die Art und Größe der Anlage und für die Pumpzeit zu erwartenden Gasabgaberate liegen.

Es müsste z.B. in der Spezifikation heißen:

Leckrate $q \leq 1 * 10^{-3}$ mbar * l / s ,

bestimmt durch Dichtheitsprüfung nach der Druckanstiegsmethode (Werksnorm 5.550-6048) nach 10 Stunden Pumpzeit.

Auf diese Weise ist unmissverständlich gesagt, was zugesichert ist, und wie dies gemessen und bestimmt wird. So lassen sich Missverständnisse und Unstimmigkeiten über die zugesagte und erreichte Leckrate zwischen Kunden und Bühler Alzenau von vornherein vermeiden.