

dereinschalten das Gleichgewicht nur um diese Abweichung gestört. Die dann auf die Störstellen wirkende resultierende Kraft beträgt im Falle unseres Beispiels nur 10% derjenigen, welche bei Abschalten die Störstellenverlagerung hervorrief. Die Rückbildung der alten Verhältnisse beim Wiederanlegen der Spannung wird daher beachtlich langsamer vor sich gehen als der beim Abschalten einsetzende Prozeß.

Der Vorgang ist vergleichbar mit einer teilweisen Entladung eines Kondensators und anschließender Wiederaufladung. Bei der Entladekurve befindet man sich hierbei im Gebiet großer Steilheit, während für die Wiederaufladung nur

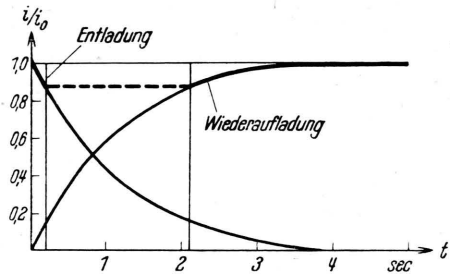


Abb. 11. Kurzzeitige Entladung mit anschließender Wiederaufladung eines Kondensators.

der flach ansteigende Teil der Kurve maßgebend ist (Abb. 11).

## Gasballastpumpen

Von WOLFGANG GAEDE <sup>† 1</sup>

(Z. Naturforsch. 2a, 233–238 [1947]; eingegangen am 1. Oktober 1946)

Beim Absaugen von dampfhaltigen Gasen kondensiert sich ein Teil des Dampfes während des Kompressionsvorgangs in der Pumpe. Dies kann durch Einlassen von zusätzlicher Luft, „Gasballast“ genannt, in den Schöpfraum der Pumpe vermieden werden. Die Arbeitsweise derartiger Pumpen wird beschrieben, die zur Vermeidung von Kondensation erforderlichen Gasballastmengen werden ermittelt.

Das erforderliche Gasballastvolumen ist um so niedriger, je geringer der Partialdruck des Dampfes im angesaugten Gase ist; daher ist die Einschaltung eines Kondensators vor der Pumpe wichtig. Über dem Kondensator ist das Verhältnis der Partialdrucke von Gas und Dampf gegenüber dem freien Gasraum verschoben, so daß eine Anreicherung von Gas über der Kondensationsfläche eintritt, die „Gasschleier“ genannt wird. Ein experimenteller Nachweis dieses Gasschleiers, der von grundsätzlicher Bedeutung für die Betrachtung von Kondensationsvorgängen in dampfhaltigen Gasen ist, wird beschrieben.

### 1. Wirkungsweise der Gasballastpumpe

Die rotierenden Ölluftpumpen verdanken ihre große Verbreitung ihrer Unverwüstlichkeit und dem erreichbaren hohen Endvakuum, solange sie nur zum Absaugen von Luft verwendet werden. Beim Absaugen von Dämpfen, beispielsweise bei

<sup>1</sup> Im März 1944 reichte Wolfgang Gaede bei der Zeitschrift für technische Physik ein Manuskript „Gasballastpumpen und Vakuumtechnik des Dampfes“ ein, in dem die Verhältnisse in dem Druckbereich zwischen 20 und 0,01 Torr, insbesondere auch bei dampfhaltigen Gasen, in ähnlich gründlicher Weise untersucht wurden, wie dies in früheren Veröffentlichungen über das eigentliche Hochvakuumgebiet erfolgt ist. Bei Kriegsende lag die druckfertige Korrektur vor, die ihres Umfanges wegen z. Zt. aber nicht publiziert werden kann. — Die vorliegende Ver-

einer Vakuumdestillation, versagt, die Ölluftpumpe jedoch nach kurzer Betriebszeit. Die Dämpfe kondensieren bei dem Kompressionsvorgang innerhalb der Pumpe, und das Kondensat verunreinigt das Pumpenöl. Die in dieser Abhandlung beschriebenen Gasballastpumpen sind rotierende Ölluftpumpen, die gegen das Absaugen von Dämpfen unempfindlich gemacht sind. Dies

öffentlichung stellt einen Auszug aus dem Manuskript dar. Bei seiner Anfertigung habe ich mich auf die Abschnitte mit vorwiegend physikalischem Inhalt beschränkt. Die außerdem im ursprünglichen Manuskript enthaltene ausführliche Diskussion der Maßeinheiten der Vakuumtechnik, die Ausführungen über die Druckmessungen in Dampf-Gas-Gemischen, eine Anzahl Experimente zum Nachweis des Gasschleiers sowie sämtliche Kapitel rein technischen Inhalts müssen einer späteren Veröffentlichung vorbehalten bleiben.

M. Dunkel, St. Andreasberg (Harz).



Dieses Werk wurde im Jahr 2013 vom Verlag Zeitschrift für Naturforschung in Zusammenarbeit mit der Max-Planck-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften e.V. digitalisiert und unter folgender Lizenz veröffentlicht: Creative Commons Namensnennung-Keine Bearbeitung 3.0 Deutschland Lizenz.

Zum 01.01.2015 ist eine Anpassung der Lizenzbedingungen (Entfall der Creative Commons Lizenzbedingung „Keine Bearbeitung“) beabsichtigt, um eine Nachnutzung auch im Rahmen zukünftiger wissenschaftlicher Nutzungsformen zu ermöglichen.

This work has been digitalized and published in 2013 by Verlag Zeitschrift für Naturforschung in cooperation with the Max Planck Society for the Advancement of Science under a Creative Commons Attribution-NoDerivs 3.0 Germany License.

On 01.01.2015 it is planned to change the License Conditions (the removal of the Creative Commons License condition "no derivative works"). This is to allow reuse in the area of future scientific usage.

wird dadurch erreicht, daß eine gewisse Menge frischer Luft den Saugkammern der Pumpe zugeführt wird. Sie spült den Dampf aus der Pumpe heraus, bevor eine Kondensation eintreten kann. Diese Luftmenge (Gasballast) wird durch das Gasballastventil eingelassen. Bei geschlossenem Ventil arbeitet die Pumpe als einfache Ölpumpe und erzeugt beim Absaugen von Luft ein hohes Vakuum.

*Die Gasballastpumpe.* In Abb. 1 ist  $A$  der in Pfeilrichtung umlaufende Rotor und  $G$  das Gehäuse. Die im Schlitz des Rotors  $A$  beweglichen

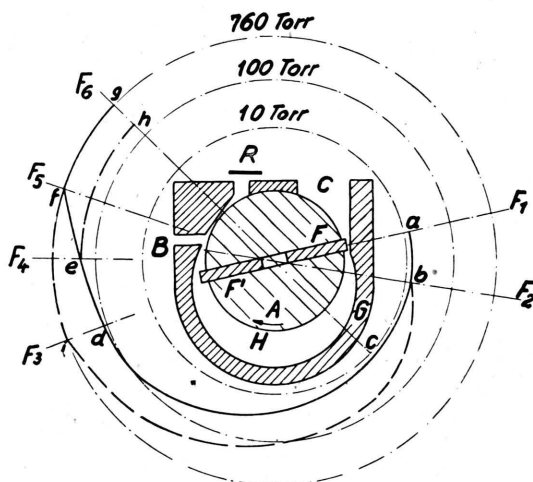


Abb. 1.

Schieber  $F$  und  $F'$  werden durch die Schleuderkraft nach außen gedrückt und berühren dauernd die zylindrische Innenwand des Gehäuses  $G$ . Bei Rotation in Pfeilrichtung wird die Luft aus dem bei  $C$  angeschlossenen Rezipienten angesogen, durch den Schieber  $F$  in Pfeilrichtung zur Rückschlagkappe  $R$  gedrängt und bei  $R$  in die freie Luft ausgestoßen. Durch die Öffnung  $B$  wird während des Pumpens dauernd atmosphärische Luft als Gasballast eingelassen. Die Öffnung  $B$  ist an einer solchen Stelle angebracht, daß die Schieber  $F$  und  $F'$  ein Überströmen des Gasballastes in den Ansaugstutzen  $C$  verhindern.

*Das Polarkoordinatensystem.* In Abb. 1 stellen die strichpunktiert gezeichneten Kreise und Geraden ein Polarkoordinatensystem mit logarithmischer Teilung zur Angabe der Drucke innerhalb der Pumpe dar. Die mit  $F_1$  bis  $F_6$  bezeichneten Radien gehen vom Drehpunkt  $M$  aus und geben charakteristische Stellungen des Schiebers  $F$  während der

Rotation des Rotors  $A$  an.  $F_1$  gibt den Augenblick, in dem der Schieber  $F$  den bei  $C$  angeschlossenen Rezipienten vom Schöpfraum  $H$  der Pumpe trennt. Die Drucke in dem Hohlraum  $H$  sind in das Polarkoordinatensystem eingetragen und ergeben die Spirallinien der Abb. 1 als Druckkurven.

*Die Druckkurve für Luft bei geschlossenem Gasballastventil.* Die Kurve  $abcdeffg$  ist die Druckkurve für Luft ohne Gasballast. Der Druck bei  $a$  (Schieberstellung  $F_1$ ) ist gültig sowohl für den Hohlraum  $H$  als auch für den Rezipienten und hat den Zahlenwert 18 Torr. Von Schieberstellung  $F_1$  bis  $F_2$  erfolgt keine Volumenänderung von  $H$  und somit auch keine Kompression. Der Druck steigt kurz nach Überschreiten der Schieberstellung  $F_2$  und erreicht bei  $d$  185 Torr, bei  $e$  278 Torr. Hierbei ist stets isotherme Kompression vorausgesetzt. Bei  $f$  (Schieberstellung  $F_5$ ) ist Atmosphärendruck erreicht. Von nun an öffnet sich das Rückschlagventil  $R$  und läßt den Luftinhalt aus  $H$  in die freie Atmosphäre entweichen, so daß von  $f$  bis  $g$  kein weiterer Druckanstieg erfolgt.

*Die Druckkurve für Wasserdampf bei geschlossenem Gasballastventil.* Die Kurve  $abcdeh$  ist die Dampfdruckkurve für Wasserdampf ohne Gasballast. Der Dampfdruck bei  $a$  ist ebenso groß wie der Luftdruck im ersten Beispiel (18 Torr). Die Betriebstemperatur der Pumpe ist  $60^\circ\text{C}$ . Der Wasserdampf folgt alsdann zwischen den Schieberstellungen  $F_1$  bis  $F_4$  den Gasgesetzen, so daß die Wasserdampfdruckkurve zusammenfällt mit der Luftdruckkurve  $abcde$ . Der im Punkt  $e$  (Schieberstellung  $F_4$ ) erreichte Druck 278 Torr stimmt überein mit dem Sättigungsdruck des Wasserdampfes bei  $60^\circ\text{C}$ . Die weitere Volumenverringerng des Dampfraumes  $H$  ist mit keiner Drucksteigerung verbunden (Kreisbogen  $eh$ ). Der atmosphärische Überdruck hält das Ventil  $R$  geschlossen, so daß der im Raum  $H$  enthaltene Wasserdampf nicht entweichen kann und kondensiert. Mit der Zeit reichert sich das Wasser in der Pumpe an unter Bildung einer Wasser-Öl-Emulsion. Der Rotor  $R$  verschmiert die Emulsion in den Saugraum  $C$  der Pumpe. Hier verdampft das in der Emulsion enthaltene Wasser von neuem und verhindert das Zustandekommen eines guten Vakuums.

*Die Druckkurve für Wasserdampf bei offenem Gasballastventil.* Die Kurve  $abifg$  ist die Druckkurve für Wasserdampf mit Gasballast. Der Was-

serdampf wird ebenso wie bei dem vorhergehenden Beispiel beim Druck 18 Torr angesaugt. Auf dem Kurvenstück  $a-b$  bleibt der Druck konstant. Bei der Schieberstellung  $F_2$  gleitet der Schieber  $F'$  über die Gasballastöffnung  $B$  hinweg und läßt die Ballastluft durch ein Überdruckventil, das nur bei Druckdifferenzen  $> 700$  Torr offen ist, in den Dampfraum  $H$  eintreten. Die bei  $b$  beginnende gestrichelte Kurve gibt den Gesamtdruck. Der Teildruck des Wasserdampfes ist gegeben durch die oben besprochene Kurve  $bcd$ . Die Druckkurve des Gemisches erreicht bei  $i$  (Schieberstellung  $F_3$ ) Atmosphärendruck. In diesem Augenblick öffnet sich das Rückschlagventil  $R$  und läßt das Dampf-Luft-Gemisch aus dem Hohlraum  $H$  in die freie Atmosphäre entweichen. Von  $i$  bis  $g$  (Schieberstellung  $F_3$  bis  $F_6$ ) erfolgt kein weiterer Druckanstieg, und zwar gilt dies auch für den Teildruck des Wasserdampfes, der durch den Punkt  $d$  gegeben ist. Bei  $d$  ist der Teildruck des Wasserdampfes 185 Torr. Der Sättigungsdruck des Wasserdampfes bei der Temperatur der Pumpe ( $60^\circ\text{C}$ ) ist 278 Torr. Somit ist Kondensation verhindert.

## 2. Der zum Absaugen von Dampf theoretisch notwendige Gasballast

Der Gesamtdruck wird mit  $P$ , der Teildruck des Gases (Luft) mit  $L$  und der Teildruck des Dampfes mit  $D$  bezeichnet. Dann lautet das Dalton'sche Gesetz:

$$P = L + D. \quad (1)$$

Die Bezifferung der Drucke gibt an, auf welche Schieberstellung in Abb. 1 der Druck bezogen ist.  $S$  ist die Sauggeschwindigkeit der Pumpe oder das bei  $C$  (Abb. 1) im Mittel in der Zeiteinheit einströmende Volumen.  $S_3$  ist das Schöpfraumvolumen in der Schieberstellung  $F_3$ , multipliziert mit der doppelten sekundlichen Umdrehungszahl. Es sei vorausgesetzt, daß gasfreier Dampf vom Druck  $D_1$  abgesogen wird. Somit ist  $L_1 = 0$ . Setzen wir für die ungesättigten Dämpfe die Gültigkeit der idealen Gasgesetze und eine isotherme Kompression voraus, so ist das Produkt von Druck und Volumen konstant, und wir erhalten:

$$D_1 S = D_3 S_3. \quad (2)$$

$B$  ist das durch das Ballastventil ( $B$  in Abb. 1) im Mittel pro sec einströmende Luftvolumen, ge-

messen bei Atmosphärendruck  $A$ . Die ein- und die austretenden Gasballastmengen sind einander gleich, d. h.:

$$AB = (A - D_3) S_3. \quad (3)$$

Durch Elimination von  $S_3$  aus den Gln. (2) und (3) folgt:

$$B = D_1 \left( \frac{1}{D_3} - \frac{1}{A} \right) S. \quad (4)$$

$D_s$  ist der Sättigungsdruck des Dampfes bei der Betriebstemperatur der Pumpe. Der Luftballast verhindert eine Kondensation, wenn

$$D_3 \leq D_s. \quad (5)$$

Aus den Gln. (4) und (5) folgt, daß man mit einem um so kleineren Gasballastvolumen  $B$  auskommt, je kleiner der Ansaugdruck  $D_1$  und je größer der Sättigungsdruck  $D_s$  ist. Damit  $D_1$  klein ist, empfiehlt es sich, in die Saugleitung eine Pumpenvorlage einzuschalten.

## 3. Der zum Absaugen eines Dampf-Gas-Gemisches theoretisch notwendige Gasballast

Die Teildrucke des von der Gasballastpumpe abgesogenen Dampf-Gas-Gemisches sind  $D_1$  und  $L_1$ . Durch Hinzukommen des Gases wird der Gesamtdruck auf das Mehrfache des Dampfdruckes  $D_1$ , z. B. das  $n$ -fache, erhöht. Es ist:

$$n D_1 = D_1 + L_1. \quad (6)$$

Nach Gl. (2) ist der bei Schieberstellung  $F_3$  gemessene Druck  $D_3$  proportional  $D_1$ . Somit ist der Druck  $D_3$  ebenfalls auf das  $n$ -fache erhöht und beträgt  $n D_3$ . Ersetzt man in Gl. (4) die Größen  $D_1$  und  $D_3$  durch  $n D_1$  und  $n D_3$ , so erhält man:

$$B = n D_1 \left( \frac{1}{n D_3} - \frac{1}{A} \right) S. \quad (7)$$

Durch Elimination von  $n$  aus den Gln. (6) und (7) erhält man:

$$B = D_1 \left( \frac{1}{D_3} - \frac{1 + L_1/D_1}{A} \right) S. \quad (8)$$

Gl. (8) zeigt, daß der zur Verhinderung der Kondensation notwendige Gasballast  $B$  um so kleiner ist, je größer der Teildruck  $L_1$  des im Gemisch enthaltenen Gases ist im Vergleich zum Teildruck  $D_1$  des Dampfes.

#### 4. Gegenseitige Durchdringung der Gase und Dämpfe während des Pumpens (Abb. 2).

Ölluftpumpen werden ohne Ausfriervorrichtung verwendet. Eine Verunreinigung der Geräte durch die Öldämpfe der Pumpe ist vermieden, wenn die aus den Geräten abgesaugte Luft die Öldämpfe in die Pumpe zurückdrängt. Die Ölluftpumpe *A* sei mit dem zu evakuierenden Gerät *B* durch das Rohr *R* der Länge *l* verbunden. Die Pumpe *A* erzeugt einen von *B* nach *A* gerichteten Gasstrom, der die Öldämpfe der Pumpe nach *A* zurückdrängt. Der Teildruck der Öldämpfe innerhalb der

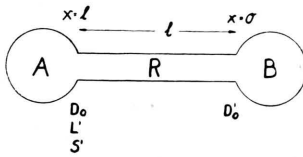


Abb. 2.

Pumpe sei  $D_0$ . Nur ein kleiner Teil der Öldämpfe dringt durch Diffusion entgegen dem Gasstrom nach *B* vor und erzeugt in *B* den Teildruck  $D_0'$ . Den Quotienten  $D_0'/D_0$  bezeichnen wir als Durchdringungszahl *n*. Es ist

$$n = D_0' / D_0. \quad (9)$$

Zur Berechnung von *n* gehen wir aus von der Stephanischen Diffusionsgleichung:

$$\frac{k \cdot 760}{L} \frac{dD}{dx} = u D. \quad (10)$$

*x* bedeutet die Entfernung vom Behälter *B* und *u* ist die Geschwindigkeit, mit der das Gas im Rohr *R* strömt. Die Diffusionskonstante ist  $k \cdot 760 / L$ , wo *L* in mm Hg zu messen ist. *q* ist der Querschnitt des Rohres *R*. Ferner sei *S'* die Sauggeschwindigkeit der Pumpe *A*, und *L'* der am Saugstutzen der Pumpe *A* gemessene Teildruck der Gase. Da die Gasmenge

$$M = q u L = S' L' \quad (M \text{ in Torr} \cdot \text{cm}^3 \cdot \text{sec}^{-1}) \quad (11)$$

unabhängig von *x* ist, so ergibt die Integration der Gl. (10) in den genannten Grenzen:

$$n = e^{-M L / q k \cdot 760}. \quad (12)$$

Abb. 3 zeigt die durch Gl. (12) gegebene Abhängigkeit der Durchdringungszahl *n* von *M* in

logarithmischer Teilung, wobei  $l / q k \cdot 760 = 1$  gesetzt ist. Dies entspricht dem praktischen Fall, daß beispielsweise  $l \approx 100$  cm und  $q \approx 1$  cm<sup>2</sup>, und daß man  $k = 0,1$  einsetzt, entsprechend einer Diffusion von Luft in Öldampf. In Abb. 3 ist  $M_0 = 14$ . Eine Gasballastpumpe sauge bei geschlossenem Ballastventil Luft aus dem Gefäß *B* ab (Abb. 2). Für  $S' = 1400$  und  $M = M_0 = 14$  gibt Gl. (11)  $L' = 0,01$  Torr. Wenn also der an der Pumpe gemessene Druck *L'* größer ist als 0,01 Torr, dann ist die Durchdringungszahl *n* so klein, daß die Öldämpfe der Pumpe auch nicht spurenweise in das Gefäß *B* eindringen. Wenn dagegen *L'* kleiner ist als 0,01 Torr, diffundieren die Dämpfe des

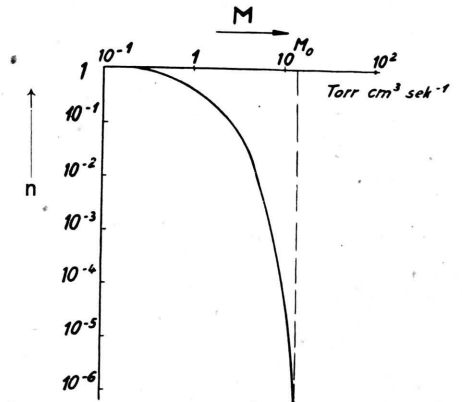


Abb. 3.

Pumpenöles entgegen dem abgesogenen Luftstrom in das Gefäß *B*.

Abb. 3 gibt den Zusammenhang von *n* und *M* auch für den Fall, daß die Pumpe aus dem Gefäß *B* Dampf absaugt. In diesem Fall sind in den Gln. (10) und (11) die Drucke *L* und *D* gegenseitig zu vertauschen, so daß  $M = S' D'$  die in der Zeiteinheit durch das Rohr hindurchgesaugte Dampfmenge, und daß  $n = L_0' / L_0$  die für die zurückgedrängte Luft gültige Durchdringungszahl ist. Es zeigt sich also, daß bei einer Vakuumdestillation weder Gase noch Dämpfe aus der Gasballastpumpe in das Destillationsgerät gelangen, solange der an der Pumpe gemessene Gesamtdruck *P* größer ist als etwa 0,05 Torr. Wenn dagegen *P* kleiner wird, dringen die Dämpfe und Gase aus der Gasballastpumpe in das Destillationsgerät ein und verunreinigen das Destillat. Für Destillationen bei sehr niederen Drucken, für Molekulardestillationen, verwendet man daher keine Gasballastpumpen, sondern Öldiffusions-



pumpen. Die von den Öldiffusionspumpen abgegebenen Gas- und Dampfmengen sind so außerordentlich klein, daß diese keine Verunreinigung des Destillates bedeuten, auch wenn die Durchdringungszahl  $n = 1$  ist.

## 5. Der Schutzkühler

Die Kondensation der abgesaugten Dämpfe wird durch den Gasballast um so wirksamer verhindert, je kälter das angesaugte Gemisch, d. h. je niedriger der Sättigungsdruck ist. Vor Eintritt in die Gasballastpumpe werden die Dämpfe zweckmäßig mit Hilfe eines Schutzkühlers abgekühlt.

## 6. Der tönende Gasschleier

Der bei einer Vakuumdestillation entwickelte Dampf enthält stets geringe Gasmengen. Bei der Kondensation eines gashaltigen Dampfes verflüssigt sich der Dampf, und das Gas bleibt übrig. Das nachströmende Dampf-Gas-Gemisch führt neue Gasmengen zu und bewirkt eine Anhäufung von Gas in Form einer die Kühlfläche bedeckenden Schicht. Diese Gasschicht bezeichnen wir als „Gasschleier“. Der Gasschleier beeinträchtigt die Kondensation. Die Dicke des Gasschleiers wird ausschließlich durch die Diffusion des Dampfes zur Kondensationsfläche bestimmt. Sie ist unabhängig vom Gasdruck, solange die freie Weglänge klein gegen die Gefäßdimensionen ist. Da im Gleichgewicht so viel Dampf durch den Gasschleier diffundiert, wie auf der Kondensatorfläche niedergeschlagen wird, kann die maximal kondensierbare Dampfmenge aus der Wärmestromdichte durch die Kondensatorfläche ermittelt werden, wofür ausreichend technische Unterlagen zur Verfügung stehen. Die Ausrechnung ergibt für normale technische Bedingungen die Dicke des Gasschleiers, d. h. den Abstand, innerhalb dessen sich 90% der Gesamtgasmenge befinden, zu:

$$d < 2,3 \text{ mm} .$$

Die Dicke ist der Wärmestromdichte umgekehrt proportional.

Ein Experiment, das die Existenz eines Gasschleiers eindeutig nachweist, muß in einem neuartigen Kondensationseffekt bestehen, der ohne Annahme eines Gasschleiers nicht erklärlich ist.  $R'$  in Abb. 4 sei das gekühlte Kondensationsrohr. Die kreisrunde Scheibe  $S$  sperrt den Querschnitt des Rohres  $R'$  und läßt nur am Rande eine ringförmige Verbindung von etwa 1 mm Breite offen zwischen dem Dampfraum  $D$  und

dem Luftraum  $L$ . Für die Luft ist in Abb. 4 nur eine Tür offen: sie tritt am Rand der Scheibe  $S$  entweder in der Richtung  $u$  in den Dampfraum  $D$  ein oder in der Richtung  $v$  aus dem Dampfraum  $D$  aus. Wenn die Luft in der Richtung  $u$  strömt, wird an der Rohrwand  $R'$  des Dampfraumes  $D$  der Luftschleier verstärkt und der Luftschleierdruck  $L_k$  erhöht. Es steigt dann auch der Druck  $P$  im Dampfraum  $D$ . Der Druck im Luftraum  $L$  habe den konstanten Wert  $P_0$ . Sobald  $P$  größer geworden ist als  $P_0$ , kehrt die Bewegungsrichtung der Luft um, und es wird Luft in der Richtung  $v$  in den Luftraum  $L$  zurückbefördert. Dadurch vermindert sich der Luftgehalt des Luftschleiers und der Luftschleierdruck  $L_k$  sinkt. Dann sinkt auch der Druck  $P$  im Dampfraum  $D$ . Sobald  $P$

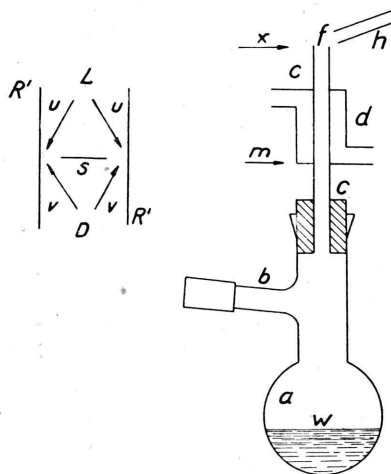


Abb. 4.

kleiner geworden ist als  $P_0$ , tritt Luft in Richtung  $u$  aus dem Luftraum  $L$  in den Dampfraum  $D$  ein und verstärkt den Luftschleier im Dampfraum  $D$ . Der Vorgang beginnt von neuem, und es entsteht ein abwechselndes Hin- und Herfließen der Luft in den Richtungen  $u$  und  $v$ . Es erhebt sich nun die Frage, ob auf diese Weise ungedämpfte Schwingungen entstehen können. Zu diesem Zwecke wurde (Abb. 4) das Ansatzrohr  $b$  mittels eines Stopfens verschlossen. Ein kreisrundes Blättchen  $S$  war am Ende eines Drahtes befestigt, um das Blättchen bei  $f$  in das Rohr  $c$  einführen zu können. Das Blättchen hatte einen Durchmesser von 6 mm, und der innere Durchmesser des Rohres  $c$  war 8 mm, außerdem hielten 3 Stifte das Blättchen  $S$  in der Mitte des Rohres  $c$ , so daß der Abstand des Blättchens vom Rohr ringsherum 1 mm war. Während das Wasser  $W$  kochte, wurde das Blättchen  $S$  in das Rohr  $c$  eingeführt. Sobald das Blättchen  $S$  sich in der Nähe der Stelle  $m$  in Abb. 4 befand, entstand tatsächlich ein hoher Ton.

Die Versuchsbedingungen wurden variiert durch Veränderung der Länge des Röhrchens  $c$  zwischen 11 cm und 23 cm, durch Verändern der Wärmeleitfähigkeit des Röhrchenmaterials (Messing und Glas) und durch Vermeiden des Rückflusses des Konden-

sats, indem der Apparat ohne Wasser *W* auf den Kopf gestellt wurde. Im letzten Falle war das Gefäß *a* oben und das Röhrchen *c* unten, und der aus einem Siedegefäß entnommene Dampf wurde durch das Seitenrohr *b* eingeleitet. Schließlich wurde noch der Wasserkühler *d* längs des Röhrchens *c* versetzt, so daß die Schwingungserregung durch das Scheibchen *S* sowohl oberhalb als auch unterhalb des Knotenpunktes der Grundschiwingung untersucht werden konnte. Das Resultat war, daß in sämtlichen Fällen ausnahmslos ein Geräusch hörbar wurde, sobald das Scheibchen *S* an die Kondensationsstellen gebracht wurde. An einer bestimmten Stelle des Kondensationsbereiches ging das Geräusch vorübergehend für die Dauer von wenigen Sekunden, manchmal auch länger, in einen hohen Ton über.

Die Schwingungszahl des entstehenden Tones stimmte größenordnungsweise mit dem Eigenton der Dampf-Luft-Säule *c* überein. Es handelt sich darum, ob die bis zu 10% betragenden Unterschiede als Meßfehler, hervorgerufen durch die unsichere Abgrenzung zwischen Dampf- und Gassäule, oder als systematische Abweichungen zu deuten sind. Um dies zu entscheiden, wurde mit Hilfe des Röhrchens *h* in Abb. 4 Luft gegen die Öffnung *f* geblasen und dadurch der Eigenton der schwingenden Dampf-Luft-Säule *c* erregt. Der Versuch ergab eine vollkommene Übereinstimmung der durch das Scheibchen *S* und das Röhrchen *h* erregten Töne. Somit erregen die Gasschleierschwingungen den Eigenton der Dampf-Luft-Säule *c*.

Es ist zu prüfen, ob die Schwingungserregung durch das Scheibchen *S* zu erklären ist: a) durch einen mechanischen Vorgang, indem der an *S* vorbeiströmende Dampf wirkt wie die aus dem Labium der Orgelpfeife austretende Luft, oder b) durch einen thermischen Vorgang ähnlich der singenden Flamme,

weil der untere Teil des Röhrchens *c* vom Dampf erhitzt und der obere Teil vom Wasser gekühlt ist.

a) Die mechanische Tonerregung durch das Scheibchen *S* wird geprüft ohne Dampf, indem durch das Seitenrohr *b* Luft eingeblasen wird. Dasselbe Scheibchen *S*, das den Gasschleierton erzeugt hatte, wird in das Röhrchen *c* eingeführt. Es entsteht ein Ton nur dann, wenn man das Scheibchen nach *x* bringt, das ist 3 bis 6 mm unterhalb der Öffnung *f*. Die Rohrlänge *c* ist dann das Ein- bis Vielfache der halben Wellenlänge des erzeugten Tones, je nach der Stärke des Anblasens. Es entsteht dagegen niemals ein Ton, wenn das Scheibchen *S* sich bei *m* oder irgendwo in der Mitte von *c* an einer der Stellen befindet, an denen ein Gasschleierton entstanden war. Daraus folgt, daß der von dem Scheibchen *S* erregte Ton nicht auf mechanische Ursachen ähnlich der Orgelpfeife zurückführbar ist.

b) Ein oben und unten offenes Rohr wird thermisch zum Tönen angeregt, wenn man in den unteren Teil des Rohres eine Flamme oder ein erhitztes Drahtnetz einführt. Analog zu diesem Versuch wird die thermische Tonerregung durch das Scheibchen *S* ohne Dampf geprüft, indem das Röhrchen *c* aus dem Gefäß *a* herausgenommen wird, so daß Röhrchen *c* sich oben und unten in freier Luft befindet. Der unter dem Kühler *d* vorstehende Teil des Röhrchens *c* wird statt durch Dampf mit einem Bunsenbrenner erhitzt. Das Röhrchen *c* gibt keinen Ton, an welche Stelle man auch das Scheibchen *S* bringt. Die Tonerregung durch das Scheibchen *S* ist somit nicht thermischer Natur.

Nachdem die Versuche a und b gezeigt haben, daß die Entstehung des Tones an der Kondensationsstelle nicht durch die bekannten mechanischen und thermischen Ursachen erklärt werden kann, bleibt nur die Erklärung mit Hilfe des Gasschleiers übrig.

## NOTIZEN

### Bemerkung über Mischphosphore

Von Peter Brauer<sup>1</sup>

(Z. Naturforsch. 2a, 238–239 [1947]; eingeg. am 18. Okt. 1946)

Bei den vom Verf. früher<sup>2</sup> beschriebenen, für Ultrarot sensibilisierten Mischphosphoren können die Lichtsummen und deren Spektren beim Ausleuchten und Ausheizen sehr verschieden sein. Dies zwingt nach W. Schottky zu der Annahme, daß das ausleuchtende Licht nicht nur, wie bisher bekannt, gespeicherte Elektronen befreit, sondern auch den Ladungszustand der Aktivatorstörstellen durch Abspaltung von Defektelektronen verändert. Die Eigenabsorption des sensibilisierenden Aktivators (hier des  $\text{Sm}^{+++}$ ) scheint von wesentlichem Einfluß zu sein.

Kürzlich wurde vom Verfasser das neuartige Verhalten gewisser Mischphosphore beschrieben<sup>2</sup>. Die

<sup>1</sup> Großhesselohe bei München. Die Resultate stammen aus einer in den Jahren 1941/42 im Physikalischen Institut der Technischen Hochschule München ausgeführten Arbeit.

seinerzeit mitgeteilten Überlegungen erweisen sich jedoch in einem wesentlichen Punkte als änderungs- bzw. ergänzungsbedürftig. Der Verfasser konnte sich nach Rücksprache mit Hrn. Prof. Schottky davon überzeugen, daß entgegen der ursprünglich geäußerten Ansicht<sup>3</sup> die experimentellen Ergebnisse dazu zwingen, dem Ladungswechsel der Störstellen<sup>4</sup>, also der Abtrennung und Anlagerung von Defektelektronen, eine wesentliche Beteiligung zuzuerkennen; nach Ansicht von Prof. Schottky trifft das insbesondere auch auf die Ausleuchtvorgänge zu. Die an den Phosphoren gefundenen Phänomene, vor allem die Verschiedenheit der Spektren beim Ausheizen und Ausleuchten, müssen nämlich als Beweis dafür angesehen werden, daß die Absorption langwelligen Lichtes nicht

<sup>2</sup> P. Brauer, Z. Naturforsch. 1, 70–78 [1946]. In dieser Arbeit befindet sich ein Schreibfehler: In den Abb. 3 bis 10 und 12 muß es durchgängig statt  $16000\text{ cm}^{-1}$  richtig  $15000\text{ cm}^{-1}$  heißen.

<sup>3</sup> Siehe besonders Fußnote 21 der Arbeit<sup>2</sup>.

<sup>4</sup> M. Schön, Z. Physik 119, 463 [1942].