

# **Badische Landesbibliothek Karlsruhe**

**Digitale Sammlung der Badischen Landesbibliothek Karlsruhe**

**Wolfgang Gaede**

**Wolf, Franz**

**Karlsruhe, 1947**

[Rede]

[urn:nbn:de:bsz:31-140067](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:31-140067)

Raum der Pumpe,  $e$  der Rezipient. Dann schlägt sich — wie die Luftfeuchtigkeit unserer Zimmer in kühlen Nächten an den Fensterscheiben — der ganze Quecksilberdampf an der kalten Rohrwandung in tropfbarer Form nieder, die Vakuumseite  $b$ ,  $e$  wird dampffrei. Die Pumpe  $a$  allerdings vermag fortgesetzt Quecksilber nachzuliefern, daher fließt von dieser Seite her ein ununterbrochener Dampfstrom zur Kühlung  $c_1$  und wird hier kondensiert. Über die Druckverhältnisse bei einer solchen Anordnung war man sich lange im unklaren. Es schien durchaus einleuchtend, was in dem bekannten Lehrbuch von Müller-Pouillet von 1906 noch zu lesen stand, daß nämlich die Gesamtdrucke zu beiden Seiten der Kühlung gleich sein müßten. Wenn also auf der Pumpenseite der Restdruck der Luft neben dem Quecksilberdampfdruck von 0,0013 mm auch noch so weit heruntergedrückt ist, so sollte hiernach im Rezipienten, wo es keinen Quecksilberdampf gibt, derselbe Totaldruck von mindestens 0,0013 mm allein durch die Luft aufrechterhalten werden, und man käme also in diesem Fall mit dem Luftdruck im Rezipienten trotz Anwendung bester Pumpen nicht einmal unter diese Grenze herunter.

Gaede prüfte diese Frage durch Experimente nach und fand, daß dieser Satz des Müller-Pouillet falsch war. Tatsächlich bestehen zu beiden Seiten der Kühlung verschiedene Totaldrucke. Auf der Seite der rotierenden Quecksilberpumpe herrscht deren Dampfdruck von 0,0013 mm und ein kleiner Restdruck der im Abströmen begriffenen Luft. Auf der Seite des Rezipienten aber haben wir stets allein einen nur um wenig größeren Luftdruck als in der Pumpe. Das Gas fließt dennoch — ohne Rücksicht auf den dort herrschenden großen Quecksilberdampfdruck unter Diffusion durch dieses Hindernis — allein infolge der Differenz der Partialdrucke der Luft vom Rezipienten  $e$  zur Pumpe  $a$  ab. Freilich bleibt der von  $a$  nach  $c_1$  zur Kühlung strömende Quecksilberdampf auch nicht ohne Einfluß auf diesen Vorgang. Man erkennt dies am deutlichsten, wenn man die Pumpe abstellt. Dann werden die Partialdrucke der Luft zu beiden Seiten der Kühlung nicht etwa gleich, sondern der strömende Quecksilberdampf schafft einen etwas größeren Luftdruck im Rezipienten als in der Pumpe, indem er die Luftmoleküle vor sich hertreibt. Die Größe dieses Effekts hängt, wie Gaede durch theoretische Überlegungen zeigen konnte, ganz von den Versuchsbedingungen ab. Bei großen Drucken ist er unmerklich klein, bei kleinen kann er sehr bedeutend werden. Es kommt dabei vor allem noch auf die Intensität des Quecksilberstromes und auf die Rohrweite an.

Bei diesen Untersuchungen wurde Gaede mit einem Male klar, daß derartige Vorgänge selbst schon die Möglichkeit zur Herstellung einer Pumpwirkung in sich tragen. Einerseits vermag wie zuletzt ein Quecksilberdampfstrom Luftmoleküle mit sich fortzureißen und bei hinreichender Intensität also zu evakuieren. Andererseits kann eine fortgesetzte Zufuhr von Luft in den Dampfstrom, die ja notwendig ist, wenn ein Evakuierungsvorgang merklich wirksam werden soll, durch die nach oben ebenfalls erwiesene Diffusion der Luftmoleküle in den Quecksilberdampfstrom erreicht werden. Man muß die Vorgänge nur geeignet leiten. Die theoretischen Rechnungen zeigten, daß das Verhalten eines Quecksilber-

dampfstroms gegenüber der Luft durch die Größe des Produkts Rohrradius  $r$  mal Quecksilberdampfdruck  $P$  entscheidend bestimmt wird. Ist es groß, so wird der Dampfstrom genügend intensiv, um keine Luft in sich hineindiffundieren zu lassen, sondern die Luft wird vollständig von ihm fortgedrängt. Ist es dagegen sehr klein, so findet zwar Diffusion der Luft in den Dampf statt, der Dampf kann Luft in sich aufnehmen. Aber der für eine Pumpwirkung nötige Zurückdrängungseffekt kommt nicht mehr zustande. — Verschiedene Dampfdrucke  $P$  bedeuten zugleich, daß die freie Weglänge  $\lambda$  der Luftmoleküle zwischen Zusammenstößen mit den Quecksilbermolekülen verschieden groß ausfällt.  $\lambda$  wird um so größer, je kleinere Dampfdrucke  $P$  man wählt. Deshalb läßt sich das Produkt  $rP$  auch durch den Quotienten Rohrradius  $r$  / freie Weglänge  $\lambda$  vertreten, und die Untersuchung zeigt, daß bei dieser Schreibweise die Grenze zwischen dem Zurückdrängungseffekt und dem Diffusionseffekt erreicht wird, wenn  $r/\lambda$  nicht viel größer als Eins ist.  $\lambda$  muß gleich dem Rohrradius  $r$  oder nur wenig kleiner sein, damit gleichzeitig Diffusion und Zurückdrängungseffekt in hinreichendem Maß wirksam werden.

Die Abb. 5, die wir bisher nur als Schema zur Erläuterung der obigen Überlegungen benutzten, stellt in Wirklichkeit eine brauchbare Anordnung zur Evakuierung mittels der Diffusionseffekte, eine „Diffusionspumpe“ dar, die Gaede neben vielen anderen Versuchmodellen selbst konstruiert hat. Der Rezipient  $e$  und das Pumpgefäß  $a$  müssen zunächst mittels einer bei  $g$  anzuschließenden Vorvakuumpumpe bis auf einen Druck von etwa 0,1 mm evakuiert werden, damit man in den wirksamen Bereich der besprochenen Effekte kommt. Dann läßt man durch Erhitzen des Quecksilbers  $f$  mittels Brenners einen kräftigen Quecksilberdampfstrom entstehen, der im Gefäß  $a$  nach oben schießt und so abgeglichen ist, daß er die anfänglich vorhandene Luft aus  $a$  gegen das Vorvakuum  $g$  völlig verdrängt, der also selbst bald gänzlich luftfrei wird. Um das verdampfte Quecksilber zurückzugewinnen, läßt man es an einer kräftigen Wasserkühlung bei  $c_2$  kondensieren und in Tropfenform nach  $f$  zurückfließen. — Ein Teil des Quecksilberdampfes tritt auch in das offene Verbindungsrohr zum Rezipienten bei  $d$  ein, wird aber durch Kondensation an der Kühlung  $c_1$  von diesem selbst ferngehalten und fließt in Tropfenform ebenfalls zur Pumpe zurück. Auf die richtige Bemessung der Weite dieses Verbindungsrohres kommt es entscheidend an. Einerseits muß es genügend eng sein, um den Dampfstrom so weit zu drosseln, daß die aus dem Rezipienten  $e$  kommende Luft noch kräftig bis  $d$  durch ihn hindurchdiffundieren kann. Andererseits darf es auch nicht zu eng sein, damit der Abfluß der Luft aus  $e$  nicht zu sehr behindert wird. Die obige Forderung, daß  $r$  etwa gleich  $\lambda$  sein soll, liefert gerade das richtige Maß. Dann reißt der aufwärtsgehende Dampfstrom die bei  $d$  eintretende Luft mit sich fort und spült sie ins Vorvakuum. Die Durchrechnung zeigt, daß die Pumpe saugt, solange der Gasdruck in  $e$  denjenigen bei  $d$  überhaupt überragt. Da an der Mündung  $d$  bei genügender Vorsicht der Druck Null des Gases leicht erreichbar ist, heißt dies, daß die Pumpe arbeiten kann, bis im Rezipienten auch der letzte Rest eines Gasdrucks völlig verschwindet. Die Diffusionspumpe kennt also, wenn Undichtigkeiten und Gasabgabe der

Wände nicht erreicht! — In ungekannter Höhe ohne ein Grenz ausgeführtes beachtliche Sa von etwa gleiche Leistung nahm

Der Ausbrü ten Ergebnisse er bereits mit hergestellten friedenheit ar gen ihn, die sich mit Frage und ihrer Auf wicklung eine Ruf nach Cha Maßstab ein Unruhen nach nischen Hoch nehmen, obw erhielt.

In den vor nun eine gro pen, die alle, strom arbeit aufstellten u silberdampf u.a. bezeichn um andere F in einen län Rechte zu w vielfach abge Theorien zu dann imstan von ihm gefe strom einset noch einmal über seine n weise und ü

Diese neu gerung, eine Hochvakuum wie schon : serienmäßig willkürliche für das Ho

Wände nicht störend wirken, kein Grenzvakuuum, absolute Leere wird erreicht! — In der Tat konnte Gaede unter diesen Umständen zu bisher ungekannt niedrigen, schließlich unmeßbar kleinen Drucken vordringen, ohne ein Grenzvakuuum zu finden. Sein erstes, für praktischen Betrieb ausgeführtes Modell — im wesentlichen aus Glas — zeigte für Luft die beachtliche Sauggeschwindigkeit von maximal 80 cm<sup>3</sup> pro Sekunde, also von etwa gleicher Größe wie die rotierende Quecksilberpumpe, und diese Leistung nahm bis zu kleinsten meßbaren Drucken kaum merklich ab. —

Der Ausbruch des Krieges 1914 zwang Gaede, seine bisherigen gesicherten Ergebnisse über Diffusionspumpen rasch zu veröffentlichen, obwohl er bereits mit Versuchen an einem neuen, wirksameren, ganz aus Stahl hergestellten Modell beschäftigt war. Da dieses noch nicht zu seiner Zufriedenheit arbeitete, blieb es vorläufig unerwähnt. Kriegsaufgaben zwangen ihn, die Vakuumpumpen vorläufig zurückzustellen. Er beschäftigte sich mit Fragen des Nachrichtenwesens, mit unsichtbaren Geheimschriften und ihrer Aufdeckung, mit Leuchtspurgeschossen, schließlich mit der Entwicklung einer Benzinpumpe für das Luftfahrtwesen. 1918 erhielt er einen Ruf nach Charlottenburg mit der Aufgabe, nach eigenen Ideen in großem Maßstab ein technisch-physikalisches Institut zu gründen. Die dortigen Unruhen nach Kriegsende bewogen ihn, 1919 den Lehrstuhl der Technischen Hochschule Karlsruhe als Nachfolger von Otto Lehmann zu übernehmen, obwohl er auch noch Berufungen nach Darmstadt und Stuttgart erhielt.

In den vorangehenden und auch in den anschließenden Jahren erschien nun eine große Anzahl von Veröffentlichungen neuer Hochvakuum-pumpen, die alle, ähnlich wie die Gaedeschen, mit einem Quecksilberdampfstrom arbeiteten, jedoch für ihre Wirkungsweise ganz neue Theorien aufstellten und sich dementsprechend mit neuen Namen wie „Quecksilberdampfstrahlpumpe“, „Kondensationspumpe“, „Parallelstrahlpumpe“ u.a. bezeichneten. Gaede erkannte sofort, daß es sich in allen Fällen nur um andere Formen seiner Diffusionspumpe handelte und war gezwungen, in einen längeren Patentkampf einzutreten, um seine diesbezüglichen Rechte zu wahren. Er stellte selbst eine große Reihe von Versuchen mit vielfach abgeänderten Modellen an, um die Unrichtigkeit der gegnerischen Theorien zu beweisen und zu zeigen, daß deren Pumpen durchweg erst dann imstande waren, ein wirkliches Hochvakuum zu erzeugen, wenn der von ihm gefundene Diffusionsvorgang der Luft in den Quecksilberdampfstrom einsetzte, 1923 berichtete er in der Zeitschrift für technische Physik noch einmal zusammenfassend über die Theorie der Diffusionspumpe, über seine neuen Versuche zur Klärung aller Einzelheiten ihrer Wirkungsweise und über sämtliche bis dahin bekannt gewordenen Modelle.

Diese neuen Erfahrungen ermöglichten ihm nun in fortgesetzter Steigerung, eine ganze Reihe wertvoller und leistungsfähiger Modelle von Hochvakuum-pumpen für verschiedene Zwecke herauszubringen, die alle, wie schon sein erstes Modell, von der Firma Leybolds Nachfolger in serienmäßige Herstellung übernommen wurden. Die Abb. 6 bringt als willkürliches Beispiel eine zweistufige Pumpe aus Stahl. Der Rezipient für das Hochvakuum wird bei h, das Vorvakuum bei e angeschlossen.

Der Quecksilberdampf steigt durch das Rohr l hoch und wird durch die übergestülpte Glocke bei n nach unten umgelenkt, so daß er als ringförmiger Strahl an dem durch den Rand von n und die Wandung a gebildeten ringförmigen Diffusionsspalt vorbeischießt und die eindiffundierende Luft mitnimmt. Ein Teil des aufsteigenden Quecksilberdampfes wird aber bereits bei o in eine zweite derartige Anordnung umgelenkt und drängt das von der ersten Stufe kommende Gas ins Vorvakuum. Auf dem Weg f, d, g strömendes Leitungswasser und der Quecksilberwulst q besorgen die nötige Kühlung. Diese Pumpe besitzt bei 12 bis 15 mm Druck des Vorvakuums eine Sauggeschwindigkeit von 2 500, in größerer Ausfüh-

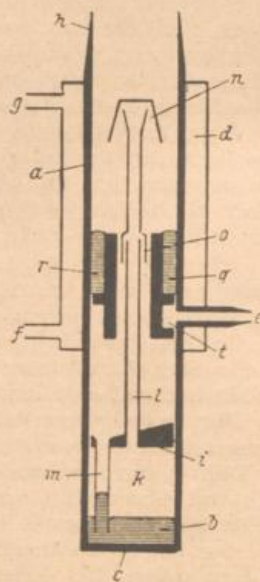


Abb. 6 Schnitt durch eine zweistufige Diffusionspumpe aus Stahl

rung sogar 10 000 cm<sup>3</sup> pro Sekunde, also von ganz anderer Größenordnung als das erste Modell. Für Spezialzwecke des Kältelaboratoriums in Leyden wurde eine Pumpe konstruiert, die sogar bis zu 420 Liter Helium in der Sekunde abzusaugen imstande ist! — Andererseits finden wir Modelle, die nicht das hohe Vakuum, sondern für chemische Zwecke eine möglichst große Saugleistung im Bereich mittlerer Drucke, zwischen 1 und 0,001 Millimeter, zum Ziel haben. Auch zu den von dem Engländer Burch ausgehenden Bestrebungen, das Quecksilber der Diffusionspumpen durch hochsiedende Öle zu ersetzen, die wegen ihres niedrigen Dampfdruckes eine Kühlung der Versuchsanordnung durch flüssige Luft unnötig machen,

lieferte Gaed  
herausarbeit

Auch au  
seiner Karls  
vakuumzweck  
stand eine d  
ordentlich vi  
großen Men  
wurde eine  
zum Dampf  
Pumpe kond  
auf die gena  
prüfte er ei  
und gab H  
Fehlern. Au  
stammt aus  
besonders ei  
Drucken zw  
schritt bede  
Molekulardr  
riesigen Dru

So nahm  
modernen V  
pen waren  
geliefert. —  
Praktische g  
wissenschaftl  
lichen Gru  
einigung ex  
schaftliches  
war für die  
Bedeutung.  
Molekularp  
schung neu  
Kathodenstr  
Dämpfen, d  
die grundleg  
der Materie  
aufbauen k  
denke ich a  
des Naturw  
Mittel bedu  
die Technik  
stärker- un  
wicklung p  
entstanden  
nicht mehr  
Physik bra