

# **Badische Landesbibliothek Karlsruhe**

**Digitale Sammlung der Badischen Landesbibliothek Karlsruhe**

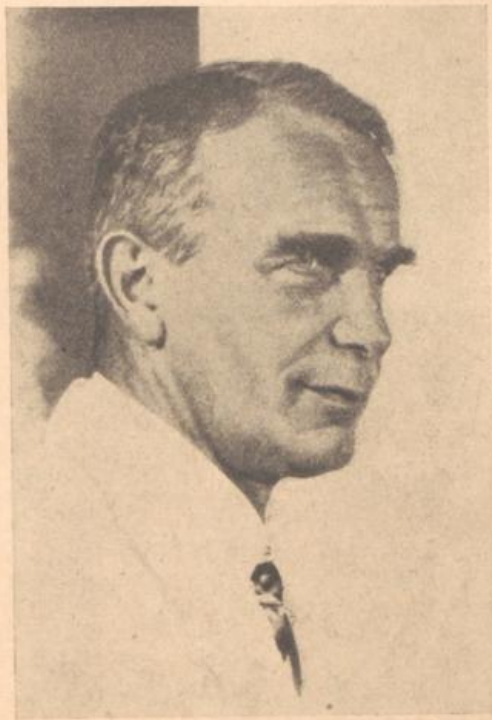
**Wolfgang Gaede**

**Wolf, Franz**

**Karlsruhe, 1947**

[Rede]

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



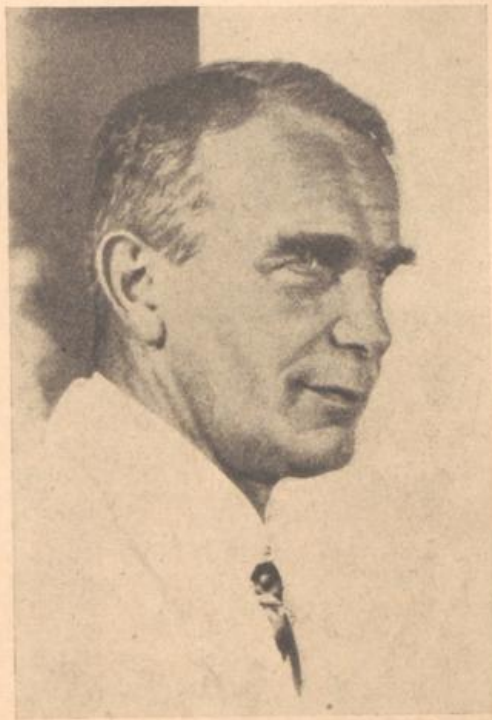
W O L F G A N G   G A E D E

1919—1934 Professor der Physik an der Technischen Hochschule Karlsruhe  
† 24. Juni 1945 in München

Am 30. Okto  
Denkmals, drau  
wissenschaftlich  
kalischen Lehrs  
als Paradoxie g  
für philosophis  
neuen physikal  
Anschauungen  
und weiter mit  
der damaligen  
tigen Radioama  
Problematik . .

Diese Worte  
Früher war die  
tiger Wunsch d  
Gaede meistert  
schienen nach  
dem Spürsinn  
zufinden, die im  
waren, die Aufg  
Laboratorium  
keine besondere  
lige tun es gew  
im einzelnen n  
geben, bedeutet  
werfen.

Wolfgang G  
Vater war kör  
Naturwissensch  
Leiter des phys  
die Änderung  
Hierbei entwick  
in Form von g  
sehr zuverlässi  
große Zahl spä  
nen Mitarbeite  
stitut. Danach  
bereits bekannt  
in gesonderten



W O L F G A N G   G A E D E

1919—1934 Professor der Physik an der Technischen Hochschule Karlsruhe  
† 24. Juni 1945 in München

## Wolfgang Gaede

### zum Gedächtnis

Am 30. Oktober 1925 gedachte bei der Enthüllung des Heinrich-Hertz-Denkmales, draußen im Hof unserer Hochschule, Wolfgang Gaede der wissenschaftlichen Leistungen seines großen Vorgängers auf dem physikalischen Lehrstuhl mit den Worten: „Philosophische Wahrheiten werden als Paradoxie geboren, um als Trivialität zu sterben. Diese Worte gelten für philosophische Wahrheiten im weitesten Sinne. Auch die großen, neuen physikalischen Gedanken widersprechen zuerst den gewohnten Anschauungen und Erfahrungen. Zunächst erscheinen sie paradox . . .“, und weiter mit Bezug auf die elektrischen Wellen: „ . . . vom Standpunkt der damaligen experimentellen Erfahrung ein Paradoxon, für den heutigen Radioamateur eine allbekannte Tatsache, eine Trivialität fern jeder Problematik . . .“

Diese Worte charakterisieren vorzüglich auch Gaedes eigene Leistung. Früher war die Schaffung eines wirklichen Hochvakuums ein sehnstlicher Wunsch der Wissenschaft wie der Technik, ein ungelöstes Problem. Gaede meisterte die Aufgabe. Die Methoden, deren er sich bediente, schienen nach damaligen Vorstellungen paradox. Doch verstand er mit dem Spürsinn eines wahren Forschers, gerade die neuen Wege herauszufinden, die im Gegensatz zu allem bis dahin Bekannten allein imstande waren, die Aufgabe voll und gründlich zu lösen. Heute trifft man in jedem Laboratorium Gaedesche Pumpen als Selbstverständlichkeit, und es ist keine besondere Kunst mehr, das beste Hochvakuum zu erzeugen. Unzählige tun es gewohnheitsmäßig jeden Tag. Aber viele von ihnen verstehen im einzelnen nicht, was sie tun. — Eine Skizze von Gaedes Leben zu geben, bedeutet vor allem, eine Geschichte der Vakuumherzeugung zu entwerfen.

Wolfgang Gaede wurde 1878 zu Lehe bei Bremerhaven geboren. Sein Vater war königl. preussischer Offizier. Er studierte Mathematik und Naturwissenschaften und promovierte 1901 unter Himstedt, dem damaligen Leiter des physikalischen Instituts in Freiburg/Br. mit der Arbeit „Über die Änderung der spezifischen Wärme der Metalle mit der Temperatur“. Hierbei entwickelte er ein neues Verfahren, das die erforderliche Wärme in Form von genau meßbarer elektrischer Energie zuführt und dadurch sehr zuverlässige Ergebnisse liefert. Es bildete die Grundlage für eine große Zahl späterer systematischer Untersuchungen von Nernst und seinen Mitarbeitern. 1900 bis 1907 war er Assistent am physikalischen Institut. Danach gründete er — durch seine vakuumtechnischen Erfindungen bereits bekannt geworden — aus eigenen Mitteln und nach eigenen Plänen in gesonderten Räumen in der Schwarzwaldstraße ein „Technisch-physi-

kalisches Institut der Universität“, wohl das erste dieser Art. Es enthielt das Privatlaboratorium zur Entwicklung und Erprobung seiner Ideen. Außerdem konnten Studierende hier auf technisch orientierten Spezialgebieten der Physik, die Gaede schon früh besonders am Herzen lagen, eine eigene Ausbildung erfahren und sich auch in werkstattstechnischer Handfertigkeit unterrichten lassen. 1909 erfolgte seine Habilitation. Die Habilitationsschrift „Die äußere Reibung der Gase“ bildet den Ausgangspunkt für die anschließende Entwicklung seiner neuen Pumpen auf gaskinetischer Grundlage und soll später im Zusammenhang gewürdigt werden. 1913 erfolgte seine Ernennung zum a.o. Professor. — Dies ist in kurzen Worten der äußere Rahmen, in dem sich jene grundlegenden Erfindungen und Entdeckungen auf vakuumtechnischem Gebiet zunächst abspielten, die so nachhaltig auf die Entwicklung der physikalischen Wissenschaft und der modernen Technik eingewirkt haben.

Die erste Luftpumpe erfand um 1635 Otto von Guericke. Um die damals viel diskutierte Frage zu entscheiden, ob ein absolut leerer Raum möglich sei, versuchte er — wenn auch zuerst vergeblich — ein mit Wasser gefülltes Faß mittels der Feuerspritze auszusaugen und dadurch ein Vakuum zu erzeugen. Verbesserungen der Versuchstechnik lehrten ihn bald, daß das Wasser überflüssig war, daß sich vielmehr auch die Luft

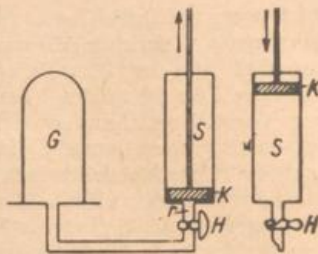


Abb. 1 Schema der Kolbenpumpe

unmittelbar absaugen ließ. Aus dem Faß wurden schließlich die berühmten „Magdeburger Halbkugeln“, die in evakuiertem Zustand vor Kaiser und Reichstag in Regensburg auch von 16 Pferden kaum auseinandergerissen werden konnten, aus der Feuerspritze die einfache „Stiefelpumpe“, die bis in unsere Zeit das Vorbild für alle später gebauten Vakuumpumpen geworden ist.

Die Luft wird hier durch Bewegungen eines Kolbens (Abb. 1) zunächst aus dem Versuchsraum, dem „Rezipienten“, in den Pumpenzylinder gesaugt und dann nach Umstellen eines Hahns weiter an die Atmosphäre ausgestoßen. Fortgesetzte Wiederholung dieses Vorgangs senkt den Druck im Rezipienten immer mehr, und man kann so durch genügend langes Pumpen schon eine beträchtliche Leere erzielen. Der Erreichung eines absoluten Vakuums stehen allerdings prinzipielle Hindernisse entgegen. Vor allem enthalten derartige Pumpen in den Bohrungen des Hahns und in den Rohrverbindungen einen „schädlichen Raum“, aus dem der Kolben

die Luft nie wieder mit Atmpumpen zurück unschädlich zu machen gelingt dies nie diesen Zweck a des durch Pum druck ins Vers 15 mm Quecksil derartigen An

Die stürmisch lenkte das Inter jetzt vor allem ladungserschein dünnung mögl O. v. Guericke's konstruktion durc Quecksilbersäu des schädlichen man sie nicht v vorevakuierten aus den Kanäl fand die Pum 0,00 01 mm la kuierung von die von dem E struierte Pump Ihr Zylinder h Quecksilber ge Hähne durch lungen, z. T. r folgten. Der s Dampfdruck d Millimeter Qu fort und mißt druck des Que Rezipienten v Grenzdrucke Freilich gehör Mühe. Um be auf 0,00 003 m benötigt. — I der Luft bes merkliche Lu der immer kl

Um 1904 w von ihm entd Vakuum zu v

Art. Es enthielt  
g seiner Ideen.  
tierten Spezial-  
n Herzen lagen,  
statttechnischer  
abilitation. Die  
den Ausgangs-  
umpen auf gas-  
gewürdigt wer-  
Dies ist in kur-  
legenden Erfin-  
Gebiet zunächst  
ikalischen Wis-

ericke. Um die  
ut leerer Raum  
— ein mit Was-  
nd dadurch ein  
nik lehrten ihn  
auch die Luft

ch die berühm-  
and vor Kaiser  
n auseinander-  
fache „Stiefel-  
päter gebauten

1) zunächst aus  
ylinder gesaugt  
mosphäre aus-  
t den Druck im  
nd länges Pum-  
ang eines abso-  
e entgegen. Vor  
s Hahns und in  
em der Kolben

die Luft nie verdrängen kann, der im Gegenteil bei jedem Pumpenakt wieder mit Atmosphärenluft gefüllt wird und diese dann an den Rezipienten zurückliefert. Schon v. Guericke versuchte, diesen Raum dadurch unschädlich zu machen, daß er ihn mit Wasser ausfüllte. Aber völlig gelingt dies nie. Außerdem verdampft das Wasser wie jede sonstige, für diesen Zweck angewandte Flüssigkeit ins Vakuum und bringt so an Stelle des durch Pumpen herabgesetzten Luftdrucks einen Flüssigkeitsdampfdruck ins Versuchsgefäß, der bei Wasser von Zimmertemperatur etwa 15 mm Quecksilbersäule entspricht. Unter 15 mm Druck ist also mit einer derartigen Anordnung prinzipiell nicht zu kommen.

Die stürmische Entwicklung der Physik des vorigen Jahrhunderts lenkte das Interesse erneut auf die Vorgänge in gasverdünnten Räumen, jetzt vor allem auf die hier auftretenden mannigfaltigen elektrischen Entladungserscheinungen. Zu ihrer Klärung war es notwendig, die Luftverdünnung möglichst weit zu treiben. Fleuss z. B. ersetzte das Wasser O. v. Guericke in seiner diesem zu Ehren „Gerykpumpe“ genannten Konstruktion durch Öl und gelangte so zu einer Verdünnung von 0,01 mm Quecksilbersäule. Sehr vorteilhaft lernte man auch, die störende Wirkung des schädlichen Raumes der Stiefelpumpe dadurch zu verringern, daß man sie nicht unmittelbar in die Atmosphäre, sondern in einen selbst schon vorevakuierten Raum ausstoßen ließ, so daß nur stark verdünnte Luft aus den Kanälen in den Rezipienten zurückgeliefert wird. In dieser Form fand die Pumpe von Fleuss mit Grenzdrucken der Luft von nahe 0,00 01 mm lange Zeit hindurch große technische Verbreitung zur Evakuierung von Kohlenfadenlampen. — Am wirksamsten erwies sich aber die von dem Bonner Glasbläser Geißler auf Anregung von Plücker konstruierte Pumpe, die allerdings nur für Laboratoriumszwecke geeignet ist. Ihr Zylinder besteht aus einem Glasgefäß, in das als Kolben flüssiges Quecksilber getrieben wird. A. Toepler ersetzte die hier noch notwendigen Hähne durch selbsttätige Quecksilberverschlüsse, und weitere Abwandlungen, z. T. mit maschinellem Antrieb und in rotierender Anordnung, folgten. Der schädliche Raum ist hier weitgehend vermieden, und der Dampfdruck des Quecksilbers beträgt bei Zimmertemperatur nur 0,00 13 Millimeter Quecksilbersäule. Setzt man den Pumpvorgang genügend lange fort und mißt mittels des Mac Leödschen Manometers, das den Dampfdruck des Quecksilbers außer acht läßt und nur den Partialdruck der im Rezipienten verbliebenen Luft anzeigt, so sind mittels der Toeplerpumpe Grenzdrucke der Luft von der Größenordnung 0,00 001 mm erreichbar. Freilich gehört hierzu ein unangenehm großer Aufwand an Zeit und Mühe. Um beispielsweise einen Rezipienten von 6 Litern Inhalt nur bis auf 0,00 003 mm zu evakuieren, wurden Zeiten von mehr als 5 Stunden benötigt. — Daß auch hier eine Grenze für die erreichbare Verdünnung der Luft besteht, liegt daran, daß Gefäßwände wie Quecksilber stets merkliche Luftmengen abgeben, die bei so geringen Drucken schließlich der immer kleiner werdenden Sauggeschwindigkeit die Waage halten. —

Um 1904 war Gaede mit der Fortsetzung von Untersuchungen über die von ihm entdeckte „Polarisation des Voltaeffekts“ beschäftigt, die er ins Vakuum zu verlegen gedachte. Seine Bemühungen scheiterten jedoch an

der viel zu geringen Saugeschwindigkeit der damals verfügbaren Pumpen. Dies veranlaßte ihn zu seiner ersten bedeutenden Erfindung auf dem Gebiet der Vakuumtechnik. Er schuf die nach ihm benannte „rotierende Quecksilberpumpe“, die große Verbreitung in der ganzen Welt gefunden hat. Bereits das erste Modell lieferte derart günstige Ergebnisse, daß er sich rasch entschloß, unangemeldet auf die wenige Tage nachher beginnende 77. Versammlung deutscher Naturforscher und Ärzte nach Meran zu reisen und seine Erfindung vorzuführen. Nicht ohne Stolz hören wir ihn in seinem erläuternden Vortrag am 26. September 1905 sagen: „Die Pumpe arbeitet ohne Hahn und Ventil und dient dazu, ein mittels Wasserstrahl- oder Stiefelpumpe leicht erzielbares Vakuum von 10 bis 20 mm in kürzester Zeit bis zu den höchsten Verdünnungsgraden zu steigern“.

Ihr Wesen geht aus der Schnittzeichnung Abb. 2 hervor. In einem schweren gußeisernen Gehäuse G ist eine zylindrische Porzellantrommel mit der Achse senkrecht zur Abbildung angeordnet. Sie ist vorn und hinten abgeschlossen und in ihrem Innern durch ein System von drei Kammern unterteilt, die im Querschnitt zu erkennen sind. Sie stehen jeweils durch einen langen, schneckenförmigen Kanal mit dem Außenraum in Verbin-

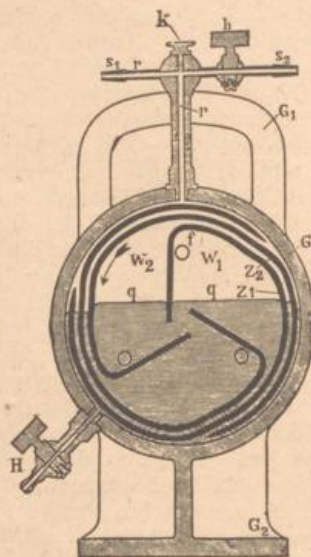


Abb. 2 Schema der rotierenden Quecksilberpumpe

dung. Gehäuse und Trommel sind gut zur Hälfte mit Quecksilber gefüllt, dessen Oberfläche durch q, q angedeutet ist. Das Rohr r führt zu dem durch Wasserstrahl- oder Stiefelpumpe aufrechterhaltenen Vorvakuum, während der Rezipient, in der Abbildung nicht sichtbar, auf der Rückseite des Gehäuses angeschlossen wird und in der gezeichneten Trommelstel-

lung durch da  
Verbindung st  
Gasuhr. Wäh  
allerdings un  
durch einen M  
Rezipienten in

Die Leistu  
dahin bekann  
0,00 001 mm G  
noch niedrige  
Litern Inhalt  
infolge der g  
Rotation die  
men außerord  
100 cm<sup>3</sup> pro S  
Null herab. —  
ladungsrohr  
ladungsforme  
der durch K  
gekant rasch  
des schon zu  
Der Eindruck  
ereignis der  
streitigkeiten  
wissenschaftl  
räume der I  
schaftlicher  
besondere vo  
angewiesen i  
daß Gaede s  
folger, Fabri

Auch an  
sen'schen W  
samere rotie  
zu ersetzen,  
Prinzip des  
reits im sie  
angegeben v  
ein kleinere  
trisch derart  
tellinie nahe  
Metallschieb  
an die Inne  
Richtung de  
den Hohlräu  
wendungsw  
tikalstellung



lung durch das Loch  $f$  in der Trommelrückwand mit der Kammer  $w_1$  in Verbindung steht. Die Anordnung hat Ähnlichkeit mit derjenigen einer Gasuhr. Während dort das Gas die Trommel in Bewegung setzt, wird hier allerdings umgekehrt die Trommel von außen her mit der Hand oder durch einen Motor langsam gedreht und befördert dabei die Luft des Rezipienten ins Vorvakuum.

Die Leistung dieser Pumpe übertrifft in der Tat diejenige aller bis dahin bekannten Konstruktionen. Ihr Grenzvakuum liegt ebenfalls bei 0,00 001 mm Quecksilbersäule, unter besonderen Vorsichtsmaßregeln sogar noch niedriger. Aber 0,00 001 mm werden bei einem Rezipienten von sechs Litern Inhalt schon nach etwa 15 Minuten erreicht. Dies liegt daran, daß infolge der großen Kammervolumina und ihrer verhältnismäßig raschen Rotation die Sauggeschwindigkeit hier gegenüber allen früheren Systemen außerordentlich vergrößert ist. Bis zu etwa 0,00 1 mm beträgt sie um 100 cm<sup>3</sup> pro Sekunde und sinkt dann erst gegen das Grenzvakuum hin auf Null herab. — Vor der Meraner Versammlung wurde ein elektrisches Entladungsröhr ausgepumpt. Beginnend mit 5 mm Druck ließ es alle Entladungsformen von der leuchtenden Glimmentladung bis zum Auftreten der durch Kathodenstrahlen erzeugten grünen Glasfluoreszenz in ungekannt rascher Folge vorüberziehen, bis nach kaum drei Minuten infolge des schon zu gering gewordenen Druckes die ganze Erscheinung verlosch. Der Eindruck auf die Teilnehmer war groß, die Pumpe wurde zum Hauptereignis der Tagung. Von hier aus trat sie — ungeachtet mehrerer Patentstreitigkeiten, die zu Gædes Gunsten ausliefen — ihren Siegeszug in die wissenschaftlichen Institute wie in die Laboratorien und Fabrikationsräume der Industrie an und ermöglichte bedeutende Fortschritte wissenschaftlicher Erkenntnis wie fabrikatorischer Herstellungsverfahren, insbesondere von Metallfadenlampen, deren Bau auf leistungsfähige Pumpen angewiesen ist. Die Nachfrage nach diesem neuen Gerät wurde so groß, daß Gæde seine fabrikmäßige Herstellung der Firma E. Leybolds Nachfolger, Fabrik physikalischer Apparate in Köln, übertrug.

Auch an damaligen Bestrebungen, die nur langsam arbeitenden Bunsen'schen Wasserstrahlpumpen bzw. die Kolbenpumpen durch viel wirksamere rotierende Anordnungen für die Erzeugung des Vorvakuums zu ersetzen, ist Gæde beteiligt. Alle diese Konstruktionen benutzen das Prinzip des „Wasserriegels“, das zum Fortpumpen von Flüssigkeiten bereits im siebzehnten Jahrhundert von dem englischen Prinzen Rupert angegeben wurde. In ein zylindrisch ausgedrehtes Gehäuse 1 (Abb. 3) ist ein kleinerer Metallzylinder 2 um seine Rotationsachse drehbar exzentrisch derart angeordnet, daß er den äußeren Zylinder stets in einer Mantellinie nahe bei 5 berührt. Er trägt in einem Schlitz zwei bewegliche Metallschieber 3, die in entgegengesetzten Richtungen durch Federn stets an die Innenwand des Gehäuses angepreßt werden. Bei Drehung in der Richtung des Pfeiles vergrößert der Schieber 3 den links von ihm liegenden Hohlraum und saugt dabei durch das Rohr 4 bei der früheren Verwendungsweise Flüssigkeit an. Überschreitet das Schieberpaar die Vertikalstellung, so wird das angesogene Volumen alsbald durch den zweiten,

oberen Schieber vom Saugrohr 4 abgetrennt und im Verlauf der weiteren Drehung durch die Öffnung 5 ausgestoßen.

Aus diesem Wasserriegel entsteht eine gut wirkende Luftpumpe, wenn man das Ausstoßrohr 5 mit einem Rückschlagventil versieht und zur Abdichtung alle gefährdeten Stellen unter Öl setzt. Gaedes erste Konstruktion dieser Art, die weit verbreitete „Kapselpumpe“ lieferte Vakua von

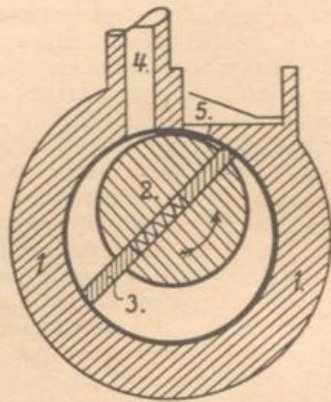


Abb. 3 Schema des Wasserriegels

0,1 bis 0,01 mm. Sie wurde später durch bessere Modelle ersetzt, die durch Hintereinanderschaltung mehrerer Einzelsysteme in der „Duplex- bzw. Triplexpumpe“ Grenzdrucke bis zu 0,00 01 mm erreichten. Auch gelang ihm die Konstruktion einer wasserunempfindlichen, dreistufigen Kolbenpumpe von etwa der gleichen großen Leistungsfähigkeit.

Bis hierhin sind die Gaedeschen Pumpenkonstruktionen als geschickte Fortentwicklungen bekannter und bereits bewährter Prinzipien anzusehen. Ein klarer Blick für die wesentlichen physikalischen Vorbedingungen und die daraus sich ergebende vorteilhafteste Formgebung, großes konstruktives Geschick, verbunden mit sorgfältiger, keine Mühe scheuender Erprobung technischer Einzelheiten, holte in jedem Fall die denkbar günstigste Wirkung heraus. Ein besonderer Glücksumstand war es dabei für Gaede, daß er in dem von der Firma Leybold seit dem Jahre 1909 gestellten Mechanikermeister Gustav Harweg einen Mitarbeiter von großer Eignung und Treue fand. Bei der Entwicklung der obigen wie aller weiterer Pumpenkonstruktionen hat dieser ihn ganz wesentlich unterstützt und ihn bis zu dessen Lebensende auf allen seinen Wegen von Freiburg über Karlsruhe bis München 36 Jahre lang begleitet. —

Angeregt durch Nachfragen aus der Industrie nach noch wirksameren Luftpumpen begann Gaede bereits unmittelbar nach der Meraner Tagung, nach neuen physikalischen Prinzipien zu suchen, mittels deren über das bisher Erreichte womöglich grundsätzlich hinauszukommen wäre. Eingehendes Studium der Bewegungsgesetze der Gasmoleküle, wie sie die

„kinetische G...  
gangbare Wes...  
für völlig si...  
Leistungen e...

Zunächst v...  
renden Queck...  
auf die Saug...  
diese für Vak...  
müsse, als b...  
geschwindigk...  
bald auf den...  
Erzeugung ei...  
Klarheit zu...  
matische Unt...  
wenn ein Ga...  
hindurchströ...  
wähnt.

Bei großer...  
einigen Milli...  
lange bekan...  
wonach die d...  
druck propor...  
strömt trotz...  
hindurch. D...  
fortwährende...  
halb des Str...  
wand ruht,  
Innern des r...  
müßte nach...  
verschwinden...  
kleinen Dru...  
dünnung des...  
zurücklegen...  
weiß, daß d...  
bei 0,00 1 m...  
von der Gr...  
darunter wi...  
Moleküle un...  
die „innere...  
Reibung“ in...  
schender Be...  
und gefunde...  
wird, als ma...  
Die Durchflu...  
hängig von...  
Knudsen'sch...  
0,00 1 und e...  
Minimum.

„kinetische Gastheorie“ behandelt, führte ihn tatsächlich auf ganz neue, gangbare Wege, die bis dahin ein jeder nach dem landläufigen Wissen für völlig sinnlos gehalten hätte, und hier setzen Gaedes unvergängliche Leistungen ein.

Zunächst war ihm schon beim praktischen Arbeiten mit seiner rotierenden Quecksilberpumpe der überraschend große Einfluß der Gasreibung auf die Sauggeschwindigkeit aufgefallen, und es wurde ihm klar, daß diese für Vakuumuntersuchungen von viel weitergehender Bedeutung sein müsse, als bisher angenommen wurde. Nicht nur, daß sie die Sauggeschwindigkeit in den Zuleitungsrohren ungünstig beeinflusst, er kam bald auf den Gedanken, daß die Gasreibung im positiven Sinn auch zur Erzeugung einer Saugwirkung verwendbar sein müsse. — Um hierüber Klarheit zu erhalten, führte Gaede zunächst eine eingehende systematische Untersuchung der Reibungsvorgänge durch, die sich abspielen, wenn ein Gas durch eine enge Leitung wie ein Rohr, einen Spalt u. dgl. hindurchströmt. Wir haben sie als seine Habilitationsarbeit bereits erwähnt.

Bei großen Drucken, von demjenigen der Atmosphäre bis herunter zu einigen Millimetern Quecksilbersäule, wird der Vorgang durch das schon lange bekannte Gesetz von Hagen-Poiseuille befriedigend beschrieben, wonach die durch das Hindernis strömende Gasmenge dem mittleren Gasdruck proportional ist. Je geringer der Druck ist, desto weniger Gas strömt trotz konstant gehaltener treibender Kraft durch das Hindernis hindurch. Das Gas verhält sich völlig wie eine zähe Flüssigkeit. Durch fortwährende Zusammenstöße der Moleküle untereinander entsteht innerhalb des Stromes eine „innere Reibung“. Da das Gas an der Röhrenwand ruht, werden durch diesen Reibungseffekt auch die Gasmassen im Innern des Rohres an einer völlig freien Bewegung gehindert. — An sich müßte nach diesem Gesetz die Durchflußmenge bei kleinsten Drucken verschwindend klein werden. In Wirklichkeit liegen die Dinge bei sehr kleinen Drucken, unter 0,001 mm, aber ganz anders. Hier ist die Verdünnung des Gases so weit getrieben, daß die Moleküle große freie Wege zurücklegen können, ohne mit ihresgleichen zusammenzustoßen. Man weiß, daß die „mittlere freie Weglänge“ zwischen zwei Zusammenstößen bei 0,001 mm schon mehrere Zentimeter groß geworden ist, also schon von der Größenordnung der üblichen Röhrendurchmesser selbst, und darunter wird sie noch viel größer. Daher finden hier Zusammenstöße der Moleküle untereinander im Röhreninnern überhaupt kaum mehr statt, die „innere Reibung“ verschwindet ganz. An ihrer Stelle wird die „äußere Reibung“ infolge der Molekülstöße auf die Röhrenwand von vorherrschender Bedeutung. M. Knudsen hat sie schon systematisch untersucht und gefunden, daß durch sie die Gasströmung viel weniger abgedrosselt wird, als man für so kleine Drucke nach Poiseuilles Gesetz erwartet hätte. Die Durchflußmenge erweist sich hier außerdem als konstant, d. h. unabhängig vom mittleren Gasdruck. Im Übergangsbereich zwischen dieser Knudsenschen und der Poiseuilleschen Strömung, also zwischen etwa 0,001 und einigen Millimetern Druck, durchläuft die Durchflußmenge ein Minimum.

Gaede prüfte alle diese Erscheinungen eingehend experimentell und theoretisch nach. Er konnte das Knudsen'sche Ergebnis bei kleinsten Drucken durch originelle neue Versuche bestätigen und fand außerdem eine Erklärung für das bis dahin unverstandene Minimum bei den anschließenden größeren Drucken. — Und nun ging er daran, seine genauen Kenntnisse über die Reibungsvorgänge für die Herstellung einer Saugwirkung nutzbar zu machen. Der Versuch gelang über alles Erwarteten gut in seiner sogenannten „Molekularpumpe“. Es handelt sich dabei einfach um eine Umkehrung des bisherigen Vorgangs. Oben glitt das Gas längs der Röhrenwand und wurde durch die reibende Wirkung der Wand abgebremst, also in seiner Geschwindigkeit derjenigen der ruhenden Wand angeglichen. Jetzt wird die Wand längs eines ruhenden Gases mit großer

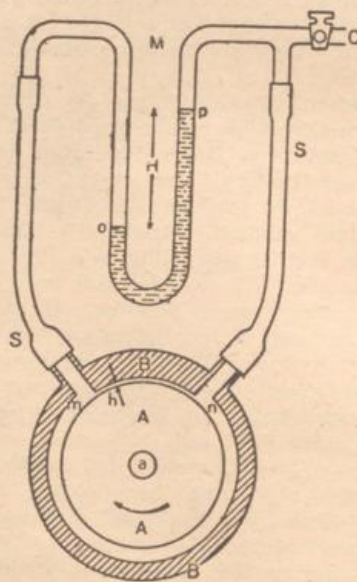


Abb. 4 Schema zur Molekularpumpe

Geschwindigkeit bewegt. Die reibende Wirkung verursacht eine Mitnahme des Gases in der Bewegungsrichtung der Wand und fördert dadurch das Gas in einer gewünschten Richtung. Das Prinzip der praktischen Durchführung zeigt die Abb. 4. In einem Gehäuse B rotiert, mit sehr kleinem Abstand  $h$  eingepaßt, um  $a$  als Welle der glatte Zylinder A mit großer Geschwindigkeit. Nur von  $n$  bis  $m$  ist in das Gehäuse längs der Zylinderoberfläche ein weiterer Kanal eingefräst, der den Einlaß bei  $n$  mit dem Auslaß bei  $m$  verbindet. Bei Drehung im Sinn des Pfeiles wird durch die Reibung an der Zylinderoberfläche Gas in der angedeuteten Weise von  $n$  nach  $m$  befördert. Man erhält in dem zur Demonstration des Effekts an-

geschlossenen I  
evakuierten rec  
gedrückt wird  
stande.

Die Erfahrung  
auch quantitati  
mung mit kont  
der Gültigkeit  
eine konstante  
gigen inneren  
ein 10 mm kle  
und man pump  
spielsweise auc  
ein Versuchsge  
eine Unzahl  
würde nicht me  
lend zu leisten  
kung der außer  
artigen Mecha  
Drucke rechts  
der Druck  $1/10$   
etwa von 0,00 1  
würde diesen  
drigen u.s.f. M  
tereinanderzus  
dringen zu kör  
äußeren Reibu  
ordnung zusam

Praktisch h  
einer einzigen  
angeordnet. Es  
vakuumpumpe  
übertraf, obwo  
keinerlei Abs  
Hochvakuum  
unterhalb eine  
keit betrug ma  
diejenige der  
Röntgenröhre  
beginnend, in  
mehr zustande  
begründet, da  
moleküle absa  
Pumpen ein d  
benen Pumper  
kehrungen —  
flüssigkeit bes  
wird hier der

perimentell und  
bei kleinsten  
und außerdem  
n bei den an-  
seine genauen  
g einer Säug-  
Erwarten gut  
dabei einfach  
das Gas längs  
der Wand ab-  
henden Wand  
es mit großer

geschlossenen Manometer M ein Ansteigen des Quecksilbers auf der evakuierten rechten Seite, während es links durch Druckzuwachs herabgedrückt wird. Eine Druckdifferenz von  $H$  mm Quecksilber kommt zustande.

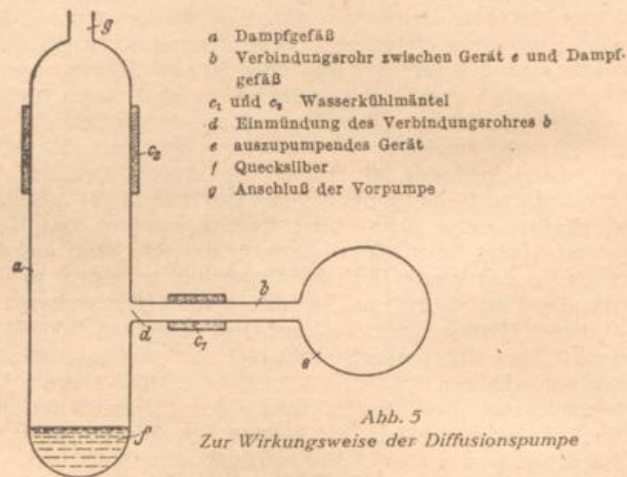
Die Erfahrungen über die Gasreibung erlaubten Gaede, den Vorgang auch quantitativ durchzurechnen. Dabei zeigte sich — in Übereinstimmung mit kontrollierenden Versuchen —, daß die Anordnung im Bereich der Gültigkeit des Poiseuilleschen Gesetzes unabhängig vom Gasdruck eine konstante Druckdifferenz liefert, entsprechend der druckunabhängigen inneren Reibung. Wenn also bei Atmosphärendruck von 760 mm ein 10 mm kleinerer Druck von 750 mm auf der anderen Seite entsteht und man pumpt bei  $c$  die ganze Anordnung aus, so lauten die Drucke beispielsweise auch 350 und 340 mm oder 50 und 40 mm usw. Um hiermit ein Versuchsgefäß auch nur annähernd zu evakuieren, müßte man also eine Unzahl derartiger Pumpensysteme hintereinanderschalten, und würde nicht mehr erreichen, als was schon eine einzige Kapselpumpe spielend zu leisten imstande ist. Anders bei kleinen Drucken, wo die Wirkung der äußeren Reibung maßgebend ist. Hier bleibt infolge des andersartigen Mechanismus nicht die Differenz, sondern das Verhältnis der Drucke rechts und links konstant. Beispielsweise kann auf der Saugseite der Druck  $\frac{1}{10}$  des Wertes auf der Druckseite betragen, so daß man hier etwa von 0,001 auf 0,0001 mm herunterkommt. Ein weiteres Pumpsystem würde diesen Druck abermals auf  $\frac{1}{10}$ , also auf 0,00001 mm erniedrigen u.s.f. Man sieht, man braucht hier nur wenige solche Systeme hintereinanderzuschalten, um bis zu außerordentlich kleinen Drucken vordringen zu können. Freilich muß man von vornherein, um im Bereich der äußeren Reibung zu bleiben, bei kleinen Drucken beginnen, also die Anordnung zusammen mit einer Vorvakuumpumpe betreiben.

Praktisch hat Gaede die hintereinander zu schaltenden Systeme in einer einzigen Maschine nebeneinander auf ein und denselben Zylinder angeordnet. Es gelang, auf Grund dieses neuen Prinzips, eine Hochvakuumpumpe zu schaffen, die alles Bisherige an Leistungsfähigkeit weit übertraf, obwohl sie im Gegensatz zu allen früheren Systemen überhaupt keinerlei Absperrung, weder Kolben noch Sperrflüssigkeiten, zwischen Hochvakuum und Vorvakuum besaß. Das erreichte Grenzvakuum lag unterhalb eines Millionstel mm Quecksilbersäule. Die Sauggeschwindigkeit betrug maximal 1400 cm<sup>3</sup> pro Sekunde und übertraf ganz allgemein diejenige der rotierenden Quecksilberpumpe rund um das Zehnfache. Eine Röntgenröhre von einem Liter Inhalt war, bei einem Druck von 5 mm beginnend, in 10 Sekunden so weit evakuiert, daß sie keine Entladung mehr zustande kommen ließ. — In dem molekularen Prinzip liegt es auch begründet, daß die Pumpe nicht nur Gas, sondern ebenso jederlei Dampf- molekule absaugt und dadurch im Gegensatz zu überhaupt allen sonstigen Pumpen ein dampffreies Vakuum herstellt. Während die früher beschriebenen Pumpen auch bei größter Luftverdünnung — ohne besondere Vorkehrungen — im Versuchsraum immer noch den Dampfdruck ihrer Sperrflüssigkeit bestehen lassen, 0,0013 mm bei Quecksilber, 0,005 mm bei Öl, wird hier der Druck von einem Millionstel Millimeter wirklich, als Total-

ne Mitnahme  
dadurch das  
schen Durch-  
sehr kleinem  
A mit großer  
der Zylinder-  
i n mit dem  
rd durch die  
Weise von n  
s Effekts an-

druck erreicht. Dies macht das Instrument für alle wissenschaftlichen Untersuchungen außerordentlich wertvoll. —

Die Molekularpumpe würde — trotz ihrer durch die großen Drehzahlen von vielen Tausend pro Minute bedingten Schwierigkeiten — die Laboratorien unserer Zeit beherrschen, wenn Gaede nicht selbst sehr bald ein weiteres, noch wirksameres Prinzip entdeckt hätte, so daß die Molekularpumpe rasch durch die „Diffusionspumpe“ verdrängt wurde. Nur an Stellen, wo man besonderen Wert auf die dampffreie Wirkungsweise legt, wird sie noch benutzt. Beispielsweise hat Siegbahn in Upsala seine



berühmten Arbeiten über Optik und Spektren der Röntgenstrahlen mit — von ihm verbesserten — Molekularpumpen durchgeführt. —

Gaedes Weg zur Diffusionspumpe beginnt ebenfalls bei Untersuchungen an der rotierenden Quecksilberpumpe. Wenn wir bei ihr ein allmähliches Absinken des Luftdrucks im Rezipienten bis auf 0,00 001 mm feststellen, so bedeutet dies nach unseren bisherigen Annahmen, daß die Luftmoleküle durch den von der Pumpe her ständig und unverändert auch im Rezipienten aufrecht erhaltenen Quecksilberdampf von 0,00 13 mm Druck hindurch auf verschlungenen Zickzackwegen, unter vielen Zusammenstößen mit den Quecksilbermolekülen, d. h. unter Diffusion durch den Dampf, sich einen Weg zur Pumpe suchen, die sie dann ins Vorvakuum schafft. Ein solches Strömen wird dadurch verursacht, daß der von den Luftmolekülen allein ausgeübte Partialdruck im Rezipienten größer ist als in der Pumpe. — Nun hat man aber seit langem gelernt, die alle Versuche störenden Dämpfe der Pumpen doch vom Rezipienten fernzuhalten, indem man die Verbindungsleitung zur Pumpe in ein kräftiges Kältebad, meistens heute in flüssige Luft eintaucht, wie dies in der vorläufig ganz schematisch zu verstehenden Abb. 5 durch c<sub>1</sub> angedeutet ist. a sei der

Raum der Pump-  
 tigkeit unserer  
 ganze Quecksil-  
 nieder, die Val-  
 mag fortgesetzt  
 her ein ununte-  
 kondensiert. Üb-  
 man sich lange  
 bekannten Lehr-  
 daß nämlich die  
 müßten. Wenn  
 dem Quecksilber  
 gedrückt ist, so  
 dampf gibt, der  
 die Luft aufrech-  
 dem Luftdruck  
 mal unter diese

Gaede prüft  
 ser Satz des M  
 Seiten der Küh-  
 den Quecksilber  
 ein kleiner Re-  
 des Rezipienten  
 Luftdruck als  
 den dort herr-  
 durch dieses I  
 der Luft vom  
 nach c<sub>1</sub> zur K  
 fluß auf diese  
 die Pumpe ab  
 Seiten der Kü  
 berdampf sch  
 der Pumpe, in  
 ses Effekts hä  
 konnte, ganz  
 unmerklich kl  
 dabei vor alle  
 die Rohrweite

Bei diesen  
 derartige Vor-  
 Pumpwirkung  
 silberdampf-  
 der Intensität  
 fuhr von Luft  
 kuierungsvor-  
 ebenfalls erw  
 strom erreich  
 theoretischen

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 Grenzvakuu, absolute Leere wird erreicht! — In der Tat konnte Gaede unter diesen Umständen zu bisher ungekannt niedrigen, schließlich unmeßbar kleinen Drucken vordringen, ohne ein Grenzvakuu 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-

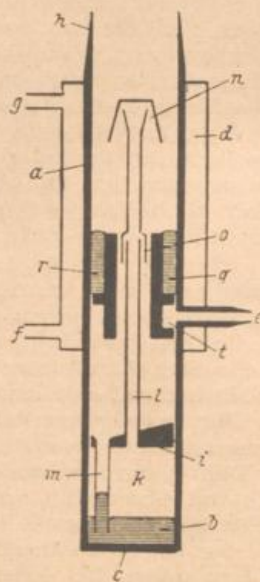


Abb. 6 Schnitt durch eine zweistufige Diffusionspumpe aus Stahl

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 0,00 1 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 herausarbeitete

Auch auf seiner Karlsbad 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.

nd wird durch die  
o daß er als ring-  
Wandung a gebil-  
die eindiffundie-  
Quecksilberdampfes  
rdnung umgelenkt  
s Vorvakuum. Auf  
Quecksilberwulst q  
2 bis 15 mm Druck  
n größerer Ausfüh-

lieferte Gaede seinen Beitrag, indem er günstigste Versuchsbedingungen herausarbeitete und Wege zur Veredelung der Öle schuf.

Auch auf anderen Gebieten der Vakuumtechnik arbeitete er während seiner Karlsruher Zeit eifrig weiter. Die rotierenden Ölpumpen für Vorvakuumzwecke wurden fortgesetzt verbessert. In der „Wälzpumpe“ entstand eine diesen gegenüber etwas veränderte Konstruktion, die außerordentlich viel größere Saugleistungen ermöglichte. Um auch Dämpfe in großen Mengen ohne Schädigung der Maschine absaugen zu können, wurde eine „Gasballastpumpe“ geschaffen, die durch Beimischen von Luft zum Dampf vermeidet, daß dieser sich während der Kompression in der Pumpe kondensiert. — Andererseits verwandte Gaede auch viel Sorgfalt auf die genaue Messung von Drucken. Bereits bei den früheren Arbeiten prüfte er eingehend die Eigenschaften des Mac Leodschen Manometers und gab Hinweise für seine Handhabung und die Vermeidung von Fehlern. Auch die handliche Konstruktion des „abgekürzten Mac Leods“ stammt aus jener Zeit. Später folgten in den hübschen „Vakuskopen“ besonders einfache Instrumente zur raschen, ungefähren Bestimmung von Drucken zwischen etwa 50 und 0,01 mm. Einen außerordentlichen Fortschritt bedeutete schließlich sein „Molvakuumeter“, das den thermischen Molekulardruck, den „Radiometereffekt“, zur Anzeige benutzt und den riesigen Druckbereich von 10 bis 0,00 000 01 mm beherrscht.

So nahm Gaede wahrhaft umfassenden Anteil an der Entwicklung der modernen Vakuumtechnik. Allein über 17 000 seiner verschiedenen Pumpen waren bis 1930 von der Firma Leybold nach allen Teilen der Welt geliefert. — Er verdankte seine großen Erfolge nicht weniger dem aufs Praktische gerichteten konstruktiven Geschick wie besonders seiner tiefen wissenschaftlichen Begabung, der völligen Beherrschung aller physikalischen Grundlagen und der vorzüglichen Fähigkeit, in glücklicher Vereinigung experimenteller und theoretischer Mittel wertvolles wissenschaftliches Neuland zu erschließen. Die Auswirkung seiner Erfindungen war für die Wissenschaft wie für die Technik von gleich grundlegender Bedeutung. Zuerst war es die rotierende Quecksilberpumpe, dann die Molekularpumpe und die Diffusionspumpe, die der physikalischen Forschung neue große Möglichkeiten eröffneten. Die Untersuchung der Kathodenstrahlen, der Röntgenstrahlen, der Spektren von Gasen und Dämpfen, des lichtelektrischen Effekts und vieler anderer Dinge lieferte die grundlegenden Erkenntnisse, auf denen dann unsere moderne Theorie der Materie, von der Quantentheorie Bohrs bis zur Quantenmechanik aufbauen konnte. 1937 schrieb Lenard in einem Brief an Gaede: „Oft denke ich an Sie. Ich kann kaum etwas lesen, was sich an den Grenzen des Naturwissens bewegt und was nicht der von Ihnen geschaffenen Mittel bedürfte, um ausführbar zu sein.“ — Auf der anderen Seite konnte die Technik mit der Herstellung von Glühlampen, Leuchtröhren, Verstärker- und Senderöhren, Gleichrichtern und Photozellen, mit der Entwicklung praktisch brauchbarer Röntgenröhren u. a. beginnen, und es entstanden große neue Industriezweige, die aus dem heutigen Leben gar nicht mehr fortzudenken sind. — Die deutsche Gesellschaft für technische Physik brachte ihre Anerkennung für Gaedes Verdienste um die Indu-

e aus Stahl

er Größenordnung  
toriums in Leyden  
ter Helium in der  
den wir Modelle,  
cke eine möglichst  
schen 1 und 0,00 1  
länder Burch aus-  
onspumpen durch  
gen Dampfdruckes  
t unnötig machen,

strie dadurch zum Ausdruck, daß sie ihn 1929 zu ihrem Ehrenmitglied ernannte, und 1943 schrieb ihr Vorsitzender, Dr. Mey: „Es wird wenige Physiker geben, welche von so entscheidendem Einfluß auf die Industrie ihres Vaterlandes gewesen sind.“ — Bereits 1913 verlieh ihm das Franklin Institute of the State Pennsylvania in Philadelphia „the Elliot Cresson Medal for his Molekular Air-Pump“ in Gold, und 1933 erhielt er von der Physical Society in London die „Dudell Medal“ verliehen, verbunden mit einer ehrenvollen Einladung nach London zu einem Festabend, der ihm zu Ehren gegeben wurde.

Persönlich machte Gaede zunächst einen sehr zurückhaltenden, stillen Eindruck. Doch ging er bei näherer Bekanntschaft gerne aus sich heraus und beteiligte sich lebhaft an interessanten Unterhaltungen und wissenschaftlichen Diskussionen. Auch liebte er Sport und gepflegte Geselligkeit. Aber er hatte, so leidenschaftlich er sich der Wissenschaft hingab, nur wenig Veranlagung zum Lehrer. Eine große Menge von Studenten machte ihn befangen, die Lehrtätigkeit bereitete ihm wenig Freude. Eine unangenehme chronische Halserkrankung, wahrscheinlich durch Quecksilbervergiftung hervorgerufen, trug das Ihrige dazu bei. Trotzdem erzählen reifere seiner Hörer von seiner Vorlesung, daß sie ihnen durch ihre Eigenart und den Reichtum an interessanten Ausblicken und Verknüpfungen wertvoll und genußreich gewesen sei. —

Vor allem anderen ging Gaede stets seine wissenschaftliche Arbeit. Er war überreich an Ideen. Mit großem Eifer und nie erlahmender Zähigkeit ging er an seine Probleme heran und fragte nicht nach durchgearbeiteten Nächten, bis ihm der Erfolg sicher war. — Dabei darf er durchaus nicht etwa als einseitiger Spezialist für Vakuumaufgaben gelten. Wir begegneten schon früher auch andersartigen Problemen, die ihn interessierten. Auch in den Vakuumarbeiten finden sich zahlreiche Ausblicke und Brücken zu anderen Gebieten. Er entwickelte ein Verfahren zur Herstellung besonders reinen Wasserstoffs, ein weiteres zur Gewinnung von hochreinem Quecksilber bei niedrigen Temperaturen. Er zeigte, daß die in seiner Molekularpumpe in Bewegung gesetzte Luft gut meßbare Temperaturerhöhungen erfährt und lieferte durch quantitative Verfolgung dieses „kinetischen Wärmeeffekts“ zum ersten Mal eine unmittelbar experimentelle Bestätigung der kinetischen Wärmetheorie, die die Temperatur mit der Bewegungsenergie der Moleküle verknüpft. Aber er erkannte auch sogleich, daß dieser Effekt die wesentliche Ursache für die Erhitzung der Sternschnuppen in der oberen Atmosphäre sein muß, und konnte mit der zuvor aufgestellten Theorie deren Temperaturen berechnen. — Dann finden wir eine in physiologische Richtung weisende Arbeit über die Bewegung der Flüssigkeit in einem rotierenden Hohlring und die entsprechenden Vorgänge in den Bogengängen des Ohres. Zusammen mit einem Karlsruher Kollegen konstruierte er evakuierte Blitzschutzvorrichtungen für Elektrizitätswerke und so noch vieles mehr. Am meisten aber überrascht die Tatsache, daß Gaede bereits 1906 mit Hilfe einer Quecksilberdampfampe durch Rückkopplung über ein eingebautes Steuergitter selbsterregte elektrische Schwingungen herzustellen vermochte und damit der funktechnischen Entwicklung um mindestens ein

Jahrzeh  
arbeit  
dieser  
in Kar

Obw  
fanden  
wälzun  
seine S  
rium u  
wurde  
Zur gl  
höchste  
mens-F  
Bosch u  
lungnal  
Ausdr

Den  
Arbeit  
genden  
veranst  
rium w  
gann e  
mit der  
räten.  
über P  
Wohns  
Leider  
schäftl  
Noch e  
am Bo  
nicht n  
hinweg  
Angina  
noch e  
Schöpf  
noch s  
neues,  
sicherh  
fabrika  
Abhan  
samme  
technik

Prof  
geb. am

Jahrzehnt vorausseilte. Krankheit und vakuumtechnische Entwicklungsarbeiten verhinderten damals weitere Versuche, und die Bekanntgabe dieser wichtigen Entdeckung unterblieb. Aber er zeigte die Röhre noch in Karlsruhe mit Stolz seinen Hörern als die erste ihrer Art. —

Obwohl ein gutes Verhältnis Gaede mit seinen Mitarbeitern verband, fanden sich im Institut minderwertige Kreaturen, die die politische Umwälzung von 1933 benutzten, um in der Hoffnung auf eigenen Vorteil seine Stellung durch fadenscheinige Anschuldigungen vor dem Ministerium unmöglich zu machen. Nach langen widerlichen Verhandlungen wurde er tatsächlich, ohne jeden wirklichen Grund, 1934 zur Ruhe gesetzt. Zur gleichen Zeit aber verlieh die Siemens-Ring-Stiftung Gaede ihre höchste Auszeichnung, den mit Saphir und Rubinen geschmückten Siemens-Ring, den vor ihm nur Auer von Welsbach, Carl von Linde, Karl Bosch und Oskar von Miller erhalten hatten, und brachte damit die Stellungnahme der Fachwelt zu diesem unerhörten Geschehnis eindeutig zum Ausdruck.

Dennoch blieb Gaede seinem eigentlichen Beruf, der wissenschaftlichen Arbeit treu. Mit rührender Anhänglichkeit erschien er auch in den folgenden Jahren noch oft im Institut zu den von seinem Nachfolger Bühl veranstalteten Kolloquien. Mechanikerwerkstatt und Forschungslaboratorium wurden in seiner Privatwohnung neu eingerichtet, und wieder begann er mit weiterer Vervollkommnung bisheriger Konstruktionen sowie mit der Neuentwicklung von maschinellen Pumpen und Vakuummeßgeräten. Auch setzte er die Reihe seiner zusammenfassenden Darstellungen über Pumpen und Vakuumtechnik fort. Im neuen Kriege verlegte er den Wohnsitz nach München und nahm seine Forschungsanstalt dahin mit. Leider fielen Werkstatt und Laboratorium samt vielen wertvollen wissenschaftlichen und technischen Unterlagen einem Bombenangriff zum Opfer. Noch einmal wurden daraufhin Schritte unternommen, um in Überlingen am Bodensee den Betrieb neu aufzuziehen. Aber zur Ausführung ist es nicht mehr gekommen. Rasch zog das Kriegsgeschehen über das Land hinweg, und bald danach, am 24. Juni 1945, erlag Gaede den Folgen einer Angina. Das Schicksal hat es ihm nicht vergönnt, aus Not und Zerstörung noch einmal zu produktiver Arbeit zurückzukehren. Aber zwei wertvolle Schöpfungen aus seiner Hand sind der Welt hinterblieben. An Stelle des noch schwierig zu handhabenden Molvakumeters hat Gaede ein ganz neues, vorzügliches Vakuummeßinstrument geschaffen, das an Betriebsicherheit und Bequemlichkeit das alte weit übertrifft und nur noch der fabrikatorischen Herstellung harrt. Außerdem liegt eine umfangreiche Abhandlung druckfertig vor, in der die Gasballastpumpe und im Zusammenhang mit ihr das interessante, schwierige Gebiet der Vakuumtechnik des Dampfes praktisch und theoretisch erschöpfend behandelt wird.

Professor Dr. Franz Wolf  
geb. am 17. 6. 1898 in Heidelberg

Landesbibliothek  
Kartlsruhe