

Chemische Materialprüfung durch Röntgenstrahlen

Von Hugo Stinzing, Gießen.

Es gibt nur wenige wissenschaftliche Entdeckungen, die in so hohem Grade und so schnell Gemeingut der Menschheit wurden, wie diejenige der Röntgenstrahlen. Vielleicht deshalb, weil diese Entdeckung die große, wenn auch nur teilweise erfüllte Hoffnung erweckte, mit Hilfe der neuen Strahlen auch die verborgensten Leiden nicht nur aufzufinden, sondern sogar ihrer Heilung entgegenzuführen. Während heute nach vier Jahrzehnten auf medizinischem Gebiete die Durchleuchtung zum Zweck der Diagnose fast eine der üblichen ärztlichen Untersuchungen geworden ist, hat sich diese Methode auf technischem Gebiet bei weitem nicht so eingebürgert, wie man das per analogiam hätte erwarten können. Hatte doch schon Röntgen selbst durch die klassische Aufnahme seines Jagdgewehrs den Hinweis gegeben, was auf technischem Gebiet zu leisten sei.

Es ist möglich, daß die Entwicklung bei der Materialdurchleuchtung deshalb so zurückblieb, weil das Verfahren auf diesem Gebiete schwieriger als in der Medizin ist. Wegen der höheren Absorption der Strahlen durch die Metalle, die in erster Linie in Frage stehen, sind höhere Spannungen und Stromstärken nötig; die hierfür erforderlichen Apparate und Röhren sind teurer und weniger haltbar. Die Rentabilitätsfrage gibt hier den Ausschlag, zumal die Materialdurchleuchtung keine Existenzfrage der Technik war und vielleicht auch noch nicht geworden ist.

Aber auch die Wissenschaft selbst trägt an dieser Entwicklung eine gewisse, wenn auch nur mittelbare Schuld. Es boten sich ihr durch die Lauesche Entdeckung der Interferenz der Röntgenstrahlen Wege zu lohnenderen und tieferen Problemen, wie denen der Erforschung der Kristallstruktur, des Atombaues, der chemischen Spektralanalyse u. a. mehr. So mag es gekommen sein, daß man die technische Seite vernachlässigte und daher heute noch systematische Arbeiten über die Materialdurchleuchtung nahezu völlig fehlen.

Es hat fast den Anschein, als ob die sonst so fruchtbare Anregung der Technik durch die Wissenschaft auf diesem Gebiete ausgeblieben wäre. Diese gegenseitige Befruchtung ist aber eine in wirtschaftlich schweren Situationen besonders erwünschte Folgeerscheinung wissenschaftlicher Forschung; gerade der Leserkreis dieser Mitteilungen dürfte für sie ein starkes Interesse haben. Auf dem genannten Gebiete vielleicht auch deshalb, weil der Träger des Namens jener Strahlen nicht nur an unserer Hochschule fast ein Jahrzehnt gewirkt, sondern auch auf seinen eigenen Wunsch hier seine Ruhestätte gefunden hat.

Der Verfasser möchte daher, zu einem Beitrag aufgefordert, hier einen kleinen Ausschnitt aus Arbeiten geben, die das Vermächtnis Röntgens wenigstens auf einem Teilgebiete, der chemischen Forschung, weiterzuentwickeln versucht haben. Sie dürften vielleicht auch ein Beispiel dafür abgeben, wie die wissenschaftliche Forschung spontan neue technische Probleme aufwirft, deren Lösung dann beiden, Wissenschaft und Technik, wieder zugute kommt. Ehe wir indessen hierauf eingehen können, sei ein kurzer Überblick gegeben.

Über die wissenschaftlichen Errungenschaften der Röntgenstrahlen in der Chemie. Fast noch bedeutender als die Entdeckung der Strahlen selbst durch Röntgen war die ihrer Interferenz- und Beugungsvorgänge durch v. Laue. Auf der Suche nach einem Beweis für die Wellennatur der unsichtbaren Strahlen, fand er in den Kristallen natürliche Beugungsgitter, die nach der Größe der Gitterkonstanten, hier des Abstandes der Atome, zur Erzeugung von Interferenzerscheinungen geeignet sein mußten. Durch die experimentelle Bestätigung dieser Vermutung war einerseits der gesuchte Beweis für die Wellennatur geliefert, anderseits aber jene äußerst fruchtbare Forschungsmethode gewonnen, die die Anordnung atomarer Bausteine in der Materie zu entziffern gestattet. Es wurden zwar damit keine prinzipiell neuen Erfahrungen gewonnen, aber es wurde experimentell die Richtigkeit der klassischen Strukturlehren von Schoenflies in der Kristallographie, von A. Werner in der anorganischen und von van t'Hoff und Le Bel in der organischen Chemie erwiesen. Im letzten Jahre gelang es schließlich Debye, nun sogar die Atomlagen und Abstände in gasförmigen Stoffen absolut zu messen, z. B. die Lagen und Abstände der Kohlenstoffatome und der Atome anderer Elemente in organischen einfachen Verbindungen.

Aber nicht so sehr diese Struktur-Analyse, als vielmehr die eigentliche chemische Spektalanalyse mit Hilfe von Röntgenstrahlen,

die durch die Interferenz-Methode gleichfalls ermöglicht wurde, löste eine Fülle von Forschungsarbeit aus. Mit Hilfe eines beugenden Kristalls, von der Gitterkonstanten $2d$, kann man die Wellenlänge λ der Röntgenstrahlen aus dem Ablenkungswinkel φ nach der allgemeinen Beugungsgleichung messen:

$$(1) \quad n \cdot \lambda = 2d \cdot \sin \varphi.$$

Auf Grund dieser Beziehung fand man charakteristische Röntgenspektren für alle der Untersuchung zugänglichen Elemente, deren Linien mit zunehmender Ordnungszahl, das heißt von Element zu Element in der Reihenfolge des natürlichen Systems, immer kürzere Wellenlängen besitzen. Ihre Erregung hängt von der Anregungsspannung V ab und steht mit der elektrischen Elementarladung e , auf dem Wege über die Plancksche Konstante h , mit der Schwingungszahl ν , bzw. der Wellenlänge λ , durch das Einsteinsche Gesetz in der Beziehung

$$(2) \quad e \cdot V = h \cdot \nu = \frac{h \cdot c}{\lambda}.$$

Die Röntgenspektren sind durch die genannten Gesetzmäßigkeiten relativ einfach und einheitlich zu überblicken, im Gegensatz zu den optischen Spektren. Man konnte mit ihrer Hilfe endgültig Ordnung in das natürliche System bringen und auch eine Anzahl bisher unbekannter Elemente, wie Hafnium, Masurium und Rhenium, auffinden. Ganz allgemein aber gestatteten sie eine neue chemische Analysen-Methode, insbesondere die der Photographie der Linien, die sogar bis zu einem gewissen Grade quantitativ ausgebildet werden konnte. Schließlich bildeten sie die wichtigsten experimentellen Belege zum Ausbau der Bohrschen Atomtheorie.

Chemische, insbesondere quantitative Spektralanalyse durch Röntgenstrahlen. Formel 1 ist genau die gleiche, wie sie für die optische Spektralanalyse mit Gitterspektrographen verwandt wird. Im optischen Gebiet aber gestaltet der Linienreichtum die Analyse zu einer sehr verwickelten Methode, zumal die Serien-Gesetze der Spektren nur sehr unvollkommen bekannt sind. Während die theoretische Physik dort mit einem enormen Aufwand geistigen Rüstzeuges nur schrittweise vorzudringen vermag, kann man die Röntgen-Serien praktisch jedenfalls so weit übersehen, daß die Zuordnung von Linien zu bestimmten Elementen, ja sogar zu ihren speziellen Serien, meistens gelingt. Dank einer Fülle von Arbeiten, besonders der Sieg-

bahnischen Schule, verfügt man schon heute über ein fast vollständiges Schema der Röntgenlinien aller gemessenen Elemente.

Hierdurch hat sich die Röntgen-Spektralanalyse trotz ihrer experimentell komplizierteren und teureren Hilfsmittel allmählich neben der optischen Methode einen nicht mehr zu verlierenden Platz erobert. In einigen Gebieten, wie dem der seltenen Erden, war sie direkt die Erlösung aus dem Labyrinth der vielen leicht verwechselbaren Erscheinungen. Das Versagen chemischer Methoden bei schwer trennbaren Elementen oder bei sehr kleinen Stoffmengen führte unsere Methode als Hilfsmittel in fast alle wissenschaftlichen Institute und auch in die Praxis der Metallindustrie mit wachsendem Erfolge ein.

Die Einfachheit der Seriengesetze und die eben erörterten Vorzüge der Methode bei speziellen Aufgaben führten auch zu dem Versuch, quantitative Analysen mit Röntgenstrahlen auszuführen. Der von Hadding, von Coster und von Hevesy einerseits und vom Verfasser andererseits eingeschlagene Weg beruht im wesentlichen auf der Beimengung von Eichstoffen von bekannter Menge und bekannten Strahlungseigenschaften zur Analysesubstanz. Es muß unter Verzicht auf Einzelheiten auf die zusammenfassende Darstellung des Verfassers und eine neuere Arbeit von Hevesy in den Bänden I und II der „Ergebnisse der Technischen Röntgenkunde“ verwiesen werden. Diese beiden Bände enthalten auch eine schöne Übersicht über die sämtlichen wissenschaftlichen und technischen Gebiete der Materialuntersuchung mit Röntgenstrahlen überhaupt aus den Federn der einzelnen Forscher selbst.

Die wesentlichsten Schwierigkeiten der Röntgen-Spektralanalyse kamen bei der quantitativen Methode erst voll zur Geltung. Sie liegen in der Natur der Erzeugungsweise der Röntgenspektren begründet. Ihre Überwindung gelang durch Abänderungen der Methodik, welche zu röntgen- und vakuumtechnischen Aufgaben führten, die bisher unlösbar erschienen waren. Um sie verstehen zu können, müssen wir hier etwas näher auf die Mittel zur Erzeugung von Röntgenstrahlen eingehen. Hierbei liegt der Schwerpunkt in der Herstellung geeigneter Röntgenröhren für die Spektralanalyse. Die Röntgenstrahlen entstehen bekanntlich durch Auftreffen von Kathodenstrahlen auf Materie. Ein leider nur sehr minimaler Bruchteil der kinetischen Energie der korpuskularen Kathodenstrahlen wird hierbei in strahlende Röntgenenergie umgewandelt, während die Hauptmenge als Wärme verloren geht. Für die Erzeugung und Beschleunigung der Kathodenstrahlen bedarf es einer Entladungsröhre, in der ein

hohes Vakuum herrscht und an die man möglichst hohe Spannungen zwischen etwa 10 bis 150 Kilovolt anlegen kann.

Wir wollen uns hier auf eine Methode zur Erzeugung von Kathodenstrahlen beschränken, nämlich die der Verwendung von Glühkathoden, das sind meist Wolframdrahtspiralen, aus denen bei Weißglut Kathodenstrahlenteilchen (= Elektronen) ausgesandt und bei Anlegung einer negativen Spannung ausgestoßen werden. Dieses Verfahren hat den Vorzug, daß die entstehende Stromstärke der Entladung durch die Röhre allein von der Glühtemperatur der Kathode abhängig ist. Wird diese elektrisch geheizt, so kann man durch die Regulierung der Heizstromstärke einfach die Röhrenstromstärke und damit die Intensität der Röntgenstrahlen bemessen. Und zwar kann diese Regulierung unabhängig von der angelegten Spannung erfolgen, die für die sogenannte Härte, d. h. die erreichbare Wellenlänge, nach der obengenannten Gleichung (2) maßgebend ist.

Dieser reine Glühkathoden-Betrieb einer Röntgenröhre ist nur möglich, wenn keine anderen Elektrizitätsträger an der Entladung teilnehmen können. Solche sind aber sofort vorhanden, wenn das Innere der Röhre oder Teile derselben, insbesondere die Anode, Gasreste enthalten. Dann entstehen Gas-Ionen, welche die Vorgänge der Entladung komplizieren, oder, falls sie in zu großer Menge auftreten, überhaupt keine Röntgenstrahlen mehr entstehen lassen. Es kommt also alles auf gute Entgasung und gute Pumpen an. Denn man kann nicht für die Spektralanalyse die üblichen Röhren gebrauchen, wie sie für andere, besonders medizinische Zwecke, völlig entgast und gut evakuiert als zugeschmolzene Glaskolben geliefert werden. Man muß vielmehr Röhren haben, die sich öffnen lassen, um das Analysenmaterial einbringen zu können. Dies ist deshalb nötig, weil ja die in der Röhre erzeugten Kathodenstrahlen auf das Analysenmaterial auftreffen müssen, um dessen charakteristische Strahlung zu erzeugen.

Hier begegnen wir einer der größten Schwierigkeiten bei der quantitativen Analyse. Beim Auftreffen der Elektronen erwärmt sich die Analysensubstanz, unter Umständen bis zum Glühen, so daß leicht Verdampfung oder andere Veränderungen in der Zusammensetzung eintreten. Verschiedene Wege wurden mit wechselndem Erfolg zur Beseitigung dieser Fehlerquelle eingeschlagen. Schließlich ging die Entwicklung dahin, daß man zu ihrer Vermeidung einen Umweg beschritt. Man kann nämlich die charakteristische Röntgenstrahlung auch erhalten, wenn man eine primäre Röntgenstrahlung durch Elektronenaufprall

auf einer ersten Anode erzeugt und diese primäre Strahlung auf eine zweite Anode lenkt, die den Analysenstoff enthält. Der Analysenstoff emittiert unter diesen Umständen eine sekundäre Röntgenstrahlung, ohne daß er dabei erwärmt wird.

Die Sekundärstrahlen-Methode hat allerdings den großen Nachteil, daß die Intensität der sekundären Strahlung naturgemäß infolge der zweimaligen Energieumsetzung und des verlängerten Strahlenweges erheblich sinkt. Dennoch wurde dieser Methode in zunehmendem Maße der Vorzug gewährt, da die Primär-Methode auch noch den anderen Nachteil besaß, daß durch die Erwärmung häufig eine Gasabgabe auftrat und sich somit die Mängel eines unregelmäßigen Röhrenbetriebes geltend machten.

Um die durch die Herabsetzung der Intensität bedingten langen Belichtungszeiten wieder auf ein erträgliches Maß zu kürzen, gab es zwei Wege. Einmal mußte man die Strahlenwege durch die Anordnung der verschiedenen Röhrenteile so kurz wie möglich gestalten. Dies konnte besonders dadurch erreicht werden, daß man die Sekundäranregung nicht erst außerhalb der Röhre, sondern bereits in ihr geschehen ließ. Einen derartigen Strahlengang erzielt die vom Verfasser konstruierte Sekundärstrahlenröhre. Der andere Weg war der einer durchgreifenden Steigerung der Röhrenstromstärke. Die Belastungsgrenze der Röntgenröhren lag bis vor kurzem bei der Schmelzgrenze des Anodenmaterials. Hier besitzt man im Wolfram ein Element, das wohl kaum von anderen Elementen oder Verbindungen für diesen Zweck wesentlich übertroffen werden kann.

Als Verfasser noch mit der Behebung der Fehlerquellen der Primär-methode beschäftigt war, führte er zum erstenmal im Jahre 1926 eine von außen mechanisch drehbare Anode ein, um das Analysenmaterial an den Kathodenstrahlen zur Vermeidung der Verdampfung vorüberzuführen. Das Bedürfnis einer solchen Drehanode entstand ferner aus der Notwendigkeit, Analysenstoffe und Eichstoffe nicht direkt zu mischen, weil sie ihre Strahlungen gegenseitig durch Absorption beeinflussen können. Aus diesem Grunde ordnete sie Verfasser in getrennten Proben wie die Patronen in der Walze eines Revolvers an, so daß sie beim Drehen den Kathodenstrahlen nacheinander ausgesetzt wurden. Der Strahlungseffekt ist zwar dann ein intermittierender, bleibt aber im Gesamtergebnis bei der photographischen Registrierung der gleiche, da ja alle zu vergleichenden Intensitäten auf gleiche Weise zustande kommen.

Drehanoden-Röntgenröhren. Aus diesen neuen Bedürf-

nissen heraus entstand die Aufgabe, eine bisher für unmöglich gehaltene Konstruktion zu verwirklichen. Nach langjährigen Versuchen gelang die Drehung von Anoden von außen vermittels einer Durchführung durch die Röhrenwand in einer so zuverlässigen Weise, daß nicht nur wie anfangs eine Durchführung, sondern sogar deren mehrere angebracht werden können. Das hierbei erzielte Hochvakuum der ständig an der Pumpe hängenden Röhre ist so gut, daß sie nach dem Glühkathodenprinzip zu arbeiten vermag, d. h. in einfacher Abhängigkeit von der Heizstromstärke. Diese Konstruktion eröffnete nicht nur der Technik des Hochvakuums zahlreiche neue Möglichkeiten, sie ebnete vielmehr gerade in unserem Fall die Wege zur Lösung der Intensitätsfrage. Gibt man nämlich einer Anode eine möglichst große Oberfläche und dreht sie exzentrisch an dem Auftreffpunkt der Kathodenstrahlen vorbei, so wird zwar die gesamte Auftrefffläche oder der materielle Brennfleck in dem Maße vergrößert, als Umfang und Drehgeschwindigkeit gesteigert werden; die geometrische Auftrefffläche oder der optische Brennfleck bleibt aber klein und kann, wenn nötig, sogar punktförmig gehalten werden. Beim Drehen der Anode werden fortwährend neue Teile der Oberfläche getroffen und erhitzt, so daß sich die Wärme verteilt. Da die Drehanode mit Hilfe einer Durchführung von außen zugeführt wird, läßt sie sich auch durch eine von außen herangeführte Flüssigkeit kühlen.

In dem Maße also, wie es gelingt, die Wärme zu verteilen und bis zur periodischen Wiederkehr des gleichen Teiles des Anodenmaterials zum Auftreffpunkt die Wärme abzuleiten, kann ein Schmelzen verhindert werden. Das bedeutet aber, daß man wesentlich höhere Energien auf gleichem Raum momentan konzentrieren kann, was eine Steigerung der Intensität der Röntgenstrahlung bedingt.

Während diese Arbeiten heranreiften, hatte in der Medizin das Bedürfnis hoher, kurzzeitiger Belastungen für die Diagnose bewegter innerer Organe zu Röhrenkonstruktionen geführt, die ebenfalls die Intensität durch das Drehanodenprinzip steigern. Da die bisher in der Medizin gebräuchlichen Röhren abgeschmolzene Glaskolben waren, konstruierte man eine Drehanode im Inneren einer Röhre ohne Hindurchführung und damit ohne Kühlmöglichkeit. Die Drehung erfolgt bei der einzigen bisher bewährten Röhre dieser Art in der Weise, daß die Drehanode als Rotor eines die Röhre von außen umschließenden Drehfeldes ausgebildet ist. Diese bewundernswerte Konstruktion von Bouwers, die von einer der General Electric Company in den Vereinigten Staaten angeschlossenen holländischen Gesellschaft ausgeführt

wird, ist naturgemäß sehr empfindlich und kostspielig. Für Zwecke der Analyse kommt diese Konstruktion nicht in Frage, da die Röhre ja geöffnet werden muß, um das Analysenmaterial einzubringen. Wir werden uns daher im Folgenden nur mit

an der Pumpe hängenden Metall-Röntgenröhren befassen. Zahlreiche Forscher haben seit langem den Vorzug metallischer Röntgenröhrengehäuse gegenüber den zerbrechlichen Glaskolben erkannt. In den wissenschaftlichen Laboratorien hat man es immer mehr gelernt, solche zerlegbaren und an der Pumpe hängenden Metallröhren sicher zu betreiben. Auch bei den abgeschmolzenen Modellen nehmen in den letzten Jahren die metallischen Bestandteile einen immer größeren Anteil an dem Aufbau der Röhren, insbesondere seit man es gelernt hat, die Metalle gut zu entgasen und in größerem Ausmaß mit Glas zu verschmelzen. Die Entgasungsschwierigkeiten beziehen sich einerseits auf die an der Entladung normalerweise teilnehmenden Elektroden und andererseits auf die davon nicht betroffenen Teile der Wandungen. Eine wesentliche Erleichterung für die Evakuierung war die Einführung metallischer Quecksilberdampfpumpen von hoher Sauggeschwindigkeit, in Deutschland 1922 durch den Verfasser und Gaede angebahnt. Allerdings stört die Anwesenheit von Quecksilberdampf in kleinsten Mengen den Röntgenröhrenbetrieb, wenn Hg-Ionen gebildet werden. Ein Gleiches gilt auch von den in den Metallteilen bei ihrer Herstellung eingeschlossenen Gasresten, welche Gas-Ionen bilden, wenn sie von Elektronen getroffen oder auf andere Weise ionisiert werden.

Hier gaben nun Erfahrungen, die u. a. Janitzky veröffentlicht hat, einen Hinweis auf die Möglichkeit zur Vermeidung solcher Störungen. Hiernach genügt es nämlich, wenn lediglich die Anode völlig gasfrei gemacht wird, weil dann eine JONENTLADUNG gar nicht entstehen kann, selbst wenn meßbare Gasmengen in der Röhre vorhanden sind. Eine solche Entgasung der Elektroden vor der Einbringung derselben in die Röhre ist nach neueren Versuchen des Verfassers mit sehr einfachen Mitteln und in vollkommener Weise erzielbar und, was das Wesentlichste ist: eine einmal entgaste Anode wird in der Kälte an der Luft oder beim Behandeln mit Reinigungsmitteln nicht wieder gashaltig, sondern ist jederzeit wieder in der Röhre benutzbar. Eine Anwesenheit von geringen Gasresten in der Röhre hindert alsdann nicht daran, diese Röhre nach dem Glühkathodenprinzip zu betreiben.

Auf Grund dieser Erfahrungen wurde eine Drehanodenröhre aus Stahl, auch für Durchleuchtungszwecke, geschaffen. Sie besitzt als

einzigem Glasteil einen Isolator zur Einführung der Hochspannung in die Röhre mit zwei normalisierten Schliffen, von denen einer in die Röhre, der andere in den Schliff der Glühkathode paßt. Die Heizdrähte werden durch einen weiteren Glaskörper mit Doppelschliff zugeleitet, so daß jegliche Glasverschmelzung wegfällt. Es hat sich im Laufe der Zeit herausgestellt, daß derartige mit bekannten Hochvakuumkitten gedichtete Schliffe eine vielleicht geringere Gefahrenquelle darstellen, als Verschmelzungen zwischen Glas und Metall. Außerdem aber kann sich nun jedermann die Röhre selbst zusammensetzen, was auch für Lehrzwecke nützlich sein dürfte.

Für unsere Zwecke sowie für die Durchleuchtung in der Medizin und Materialprüfung ist aber das Wichtigste, daß die nach obigen Grundsätzen gebaute Röhre nun nicht (wie alle bisherigen abgeschmolzenen Röhren einschließlich der obengenannten Drehanodenröhre von Bouwers) nur Bruchteile von Sekunden höchste Belastungen verträgt, sondern daß ihr schon jetzt wirkliche Dauerbelastungen mit einer Stromstärke von etwa 200 Milliampère und einer Spannung von 90 Kilovolt maximal zugemutet werden können. Dem Nachteil, daß zur ersten Inangangsetzung der Pumpe eine Zeit von 2—3 Minuten erforderlich ist, steht der Vorteil gegenüber, daß die Röhre durch nichts zerstört werden kann. Das einzige, was vorkommen kann, ist das Durchbrennen eines Glühfadens, der in wenigen Minuten vom Benutzer erneuert werden kann. Nur bei grober Fahrlässigkeit kann auch eine Anode angeschmolzen werden. Ihr Ersatz erfordert aber ebenfalls nur kurze Zeit. Während der Bruch einer modernen Röntgenröhre einen Verlust von etwa ein- bis zweitausend Mark bedeutet, übersteigen die Ersatzkosten der obigen Teile kaum zehn Mark. Die Verdrängung der Glas-Röntgenröhren ist somit eine dringende wirtschaftliche Aufgabe, da sie nicht nur den Anschaffungspreis, sondern auch (durch Wegfall der Ersatzkosten) die Aufnahmen zu verbilligen geeignet ist.

Das letztere gilt auch für einen anderen Teil der Röntgenanlage, der bei hohen Belastungen die stete Sorge des Betriebes ist, die Ventilröhren. Solche sind notwendig, damit man eine vollkommene Gleichrichtung und Ausnutzung der Phasen des Wechselstromes erreicht. Die Haltbarkeit der Glasventile, auch wenn sie im Inneren teilweise aus Metall hergestellt werden, wird bei hohen Anforderungen naturgemäß verringert. Verfasser hat nun, auf Grund seiner Erfahrungen mit den Röhren, an der Pumpe hängende Metallventile konstruiert, an denen ebenfalls die Isolatoren mit Hilfe der genannten Normal-

Schliffe aus Glas eingesetzt werden. Die angestellten Versuche haben die Erwartungen bestätigt. Es ist auch bei diesen Ventilen möglich, die Pumpe ohne eine Ausfriervorrichtung für Quecksilber- und Fettdämpfe direkt anzuschließen. Selbstverständlich müssen Quecksilberdampfpumpen mit einer kleinen Vorpumpe betrieben werden. Der Umstand, daß man mühelos und ohne Gefahr an einem metallischen Röhrenkörper beliebig viele Glasisolatoren mit Schliffen einsetzen kann, ermöglicht es, zwei, vier oder sogar sechs Einzelglasventile durch ein einziges Metall-Aggregat mit nur einer Hochvakuumpumpe kleinster Konstruktion zu ersetzen. Die wirtschaftliche Bedeutung dieser Maßnahme für die Röntgendurchleuchtung ergibt sich nach dem vorher Gesagten von selbst. Es sei aber noch darauf hingewiesen, daß die Metallventile auch für andere Zweige der Hochspannungstechnik eine große Bedeutung haben dürften.

Wir haben im Vorstehenden gesehen, wie eine rein chemische Aufgabe von fast nur akademischem Interesse eine Anzahl von technischen Problemen teils neu aufwarf, teils von neuem anregte. Die gesamte Röntgentechnik und schließlich auch die Hochvakuum- und die Hochspannungstechnik erhielten durch die Bedürfnisse der chemischen Spektralanalyse Konstruktionselemente und Betriebsverfahren geliefert, die eine allgemeine technische und wirtschaftliche Verbesserung herbeiführen können.

Ob sie es tun werden, hängt nicht so sehr von der Initiative und Ausdauer des Erfinders ab, als von merkantilen und patentrechtlichen Fragen. Es wäre zu wünschen, daß über diese hinweg der angezeigte Weg zur Verbilligung der Röntgenverfahren zum Wohl der Kranken, zum Nutzen für die materialprüfende Industrie und zur Entlastung der wissenschaftlichen Röntgeninstitute begangen würde. Einen kleinen Beitrag auf diesem Wege hofft der Verfasser geliefert zu haben. Er fand hierbei nicht nur die opferwillige Unterstützung durch zahlreiche einschlägige Industriefirmen, das Hessische Kultusministerium, seinen Institutsdirektor und die Notgemeinschaft der Deutschen Wissenschaft. Auch die Gießener Hochschulgesellschaft hat nach ihren Kräften wiederholt Mittel bereitgestellt, wofür ihr hier aufrichtig gedankt sein möge, ebenso wie den obengenannten Stellen. Verfasser ist auch dadurch nicht nur in die Lage versetzt worden, seine wissenschaftlichen Arbeiten durchzuführen, außerdem war es ihm möglich, an der Hessischen Landesuniversität Einrichtungen zu schaffen und bisher zu erhalten, die der Forschung und dem Unterricht durch regelmäßige Vorlesungen und Übungen auf einem Gebiet dienstbar gemacht werden konnten, das den Namen Röntgens trägt.