

Werk

Titel: Zur Frage der Erzeugung möglichst harter Röntgenstrahlen

Autor: Cermak , P.

Ort: Berlin

Jahr: 1918

PURL: https://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?34557155X_0006 | LOG_0101

Kontakt/Contact

[Digizeitschriften e.V.](#)
SUB Göttingen
Platz der Göttinger Sieben 1
37073 Göttingen

✉ info@digizeitschriften.de

Soweit ich den Beziehungen zwischen *Goethe* und *Albertus Magnus* nachzugehen imstande war — eine eingehende monographische Behandlung haben sie bis jetzt nicht gefunden —, ist eine unmittelbare Abhängigkeit *Goethes* von Albertinischen Gedankengängen nicht nachweisbar. Daß *Goethe* Albertinische Schriften zur Hand genommen hat, ist sicher. „Ich studierte den *Albertus Magnus*, aber mit wenigem Erfolge“, heißt es in den Tag- und Jahreshäften für 1807. In den Beiträgen zur Farbenlehre wird *Albertus* mehrfach genannt — *Goethe* erwähnt ihn im Zusammenhang mit den Magikern (Geschichte der Farbenlehre, 1. Teil. Vollst. Ausgabe letzter Hand 1833 Bd. 53, S. 143) und bezieht sich an anderer Stelle (ebenda 1833 Bd. 53, S. 182, 183) auf seine Lehre vom Regenbogen. Es ist ferner gewiß nicht ausgeschlossen, daß *Goethe* in den letzten Jahren des 18. Jahrhunderts und den ersten des folgenden beim Studium der alten magischen Literatur auf anderen Wegen als den der naturwissenschaftlichen Forschung auf Albertinische oder pseudo-Albertinische Schriften gestoßen sei; wir wissen nichts von einer solchen Begegnung mit *Albertus*, aber an ihre Möglichkeit wäre zu denken. Alle diese Hinweise beziehen sich aber auf Daten nach dem Erscheinen des *Goetheschen* „Versuchs, die Metamorphose der Pflanzen zu erklären“ (1790). Der Gedanke, den *Goethes* Werk mit dem Theoriengebäude *Alberts* gemeinsam hat, ist vermutlich schon in den achtziger Jahren — gewiß in Italien — konzipiert worden. Mit Sicherheit ausgeschlossen wird freilich durch diese Erwägungen die Abhängigkeit *Goethes* von *Albertus* natürlich nicht — um so weniger, als wir wissen, daß die Bibliothek von *Goethes* Vater Schriften von *Albertus Magnus* enthält und durch sie für den Sohn ein Weg zu ihrem Studium geführt haben könnte¹⁾. Für wahrscheinlich wird man auf diesen Punkt hin die Abhängigkeit *Goethes* von *Albertus* aber schwerlich erklären dürfen. Ich möchte im Negieren noch weiter gehen und der Vermutung Raum geben, daß auch nachträglich — d. h. nachdem der Gedanke von der Bedeutung der Knoten für ihre humoralen Qualitäten und ihre Gestaltungsprozesse gefunden, gereift und veröffentlicht war — *Goethe* die entsprechenden Stellen in *Alberti* „De vegetabilibus“ nicht gefunden hat: Bei der großen Übereinstimmung ihres Inhalts mit wesentlichen Zügen der ihm „so werten Metamorphose“ hätte *Goethe* sich ohne Zweifel zu genauerem Studium der Albertinischen Schriften und zu irgendwelchen Äußerungen über jene Ideenverwandtschaft bewogen gefühlt. Wir finden aber auch nach 1790 nichts über *Alberts* Botanik bei *Goethe*. — Die Metamorphose, welcher biologische Theorien unterworfen sind, ist ein Prozeß, der Jahrtausende in Anspruch nehmen

¹⁾ *Bartscherer, A.*: Zur Kenntnis des jungen *Goethe*, Dortmund 1912, S. 58 (Fußnote).

kann. Die Lehre *Albert des Großen* und der Einblick in *Goethes* Werk machen uns den Zusammenhang verständlich, der die aristotelisch-mittelalterliche Theorie von den vier Elementarqualitäten schließlich mit der Chemomorphosenlehre eines *Jul. v. Sachs* und vieler zeitgenössischer Forscher verbindet.

Zur Frage der Erzeugung möglichst harter Röntgenstrahlen.

Seitdem man weiß, daß die Röntgenstrahlen und die Gammastrahlen der radioaktiven Substanzen von gleicher Natur sind und sich nur durch ihr Durchdringungsvermögen oder moderner gesprochen durch ihre Wellenlängen unterscheiden, ist es ein Bestreben der reinen und auch der medizinischen Physik gewesen, die Röntgenstrahlen immer durchdringungsfähiger zu machen, also gewissermaßen auf künstlichem Wege Gammastrahlen zu erzeugen. Da nun die Härte der Röntgenstrahlen um so größer ist, je schneller die Kathodenstrahlen, bei deren Bremsung sie entstehen, und da die Kathodenstrahlen um so schneller, je größer die an die Röntgenröhre angelegte Spannung ist, so schien von vornherein die Lösung dieses Problems möglich und der Weg, der einzuschlagen ist, gegeben. Doch war die Lösung der technischen Fragen, die dabei auftraten, schwierig genug, so daß nur eine allmähliche und langsame Annäherung an das gewünschte Ziel eingetreten ist. Man bedurfte zur Erreichung immer höherer Spannungen einerseits neuer Apparate, die diese hohen Spannungen zu erzeugen gestatteten, andererseits entsprechender Röntgenröhren, die das Anlegen solcher Spannungen vertrugen. Da die Röhren für solche Zwecke sehr hoch evakuiert sein mußten, ließen sie keinen genügend großen Stromdurchgang mehr zu.

Ein wesentlicher Fortschritt in der gewünschten Richtung war daher die Einführung von Glühkathodenröhren verschiedener Konstruktionen, welche auch bei dem höchsten erreichbaren Vakuum den an der Glühkathode erzeugten Elektronen die gewünschte hohe Geschwindigkeit zu geben erlaubten. Die physikalischen Untersuchungen über die Zunahme der Härte mit der Spannung wurden nach ihrer Einführung von neuem aufgenommen und bis zu den höchsten erreichbaren Spannungen (etwa 170 000 Volt) durchgeführt, wobei sowohl Röhren alter wie neuer Bauart zur Verwendung kamen (*Dessauer* und *Winauer*, Phys. Z. 15, 730—741, 1914; *Rutherford, Barnes u. Richardson*, Phil. Mag. (6) 30, 339 1915). Dabei ergab sich nun merkwürdigerweise, daß von etwa 145 000 Volt an keine weitere Steigerung der Röntgenstrahlhärte bei vermehrter Spannung eintrat. Man mißt bei solchen Messungen die Härte der Röntgenstrahlen durch die Art, wie sie in genau bekannten Schichten eines Metalles absorbiert werden. Dazu wird die Intensität der Strahlung unter gleichbleibenden äußeren Bedingungen festgestellt, einmal direkt so, wie sie der Röhre entspringt, das andere Mal, nachdem sie eine bekannte Schicht des absorbierenden Metalles, meist Aluminium oder Blei, durchsetzt hat. Die bei solcher Untersuchung die Strahlung charakterisierende Zahl nennt man den Absorptionskoeffizienten. Er betrug für die oben erwähnte härteste Strahlung in der üblichen Bezeich-

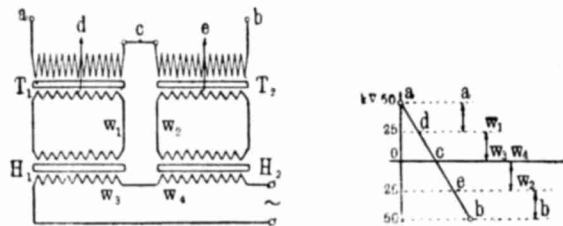
nungsweise $\mu_{Al} = 0,39 \text{ cm}^{-1}$ ¹⁾). Zur Erzeugung dieser hohen Spannungen war dabei ein Funkeninduktor benutzt worden.

Es galt nun, festzustellen, ob wirklich mit dieser Strahlung ein Ende des Röntgenspektrums erreicht sei, oder ob dieses Ende nicht nur ein scheinbares, durch die zufälligen Versuchsbedingungen begründetes sei. Dazu aber war nötig, noch wesentlich höhere Spannungen zu erzeugen und an die Röntgenröhren anzulegen. Man mußte also Funkeninduktoren oder andre Transformatoren bauen, die höhere Spannungen liefern. Das ist wohl möglich in der Weiterausbildung der bisherigen Konstruktionen und ist auf diesem Wege auch geschehen, die Größenverhältnisse und Preise solcher Anlagen wachsen aber mit einer recht hohen Potenz der erreichten Spannungszunahme und die Betriebssicherheit solcher Apparate wird um so geringer, je höhere Spannungen von ihnen verlangt werden. Der Wunsch, hier weiter zu kommen, deckte sich mit einem lange gehegten Wunsche der medizinischen Physik, die ja der harten, durchdringenden Röntgenstrahlen überall da bedarf, wo sie bestrebt ist, die Heilwirkungen des Radiums durch jene möglichst harten Röntgenstrahlen zu ersetzen. Auch sie also bedarf der Apparate, die besonders hohe Spannungen in gewünschter Weise erzeugen können, und viele der dafür eingeführten Konstruktionen haben sich auch im großen ganzen bewährt, besonders dann, wenn die Apparate nur kürzere Zeiten und mit entsprechenden Pausen in Betrieb genommen wurden. Doch haben sich immer wieder unerwünschte Durchschläge an den Induktoren und Transformatoren gezeigt, wenn sie bei Dauerbestrahlungen längere Zeiten hindurch in Tätigkeit bleiben mußten, denn alle solchen Anordnungen mußten schon der Platzfrage wegen immer so gebaut werden, daß sie bis aufs äußerste ausgenutzt werden konnten. Es ließ sich eben nicht ermöglichen, betriebssichere Röntgeninstrumentarien für derartig hohe Spannungen zu bauen, ohne ihre Größenmaße beträchtlich zu vermehren, weil die Durchschlagsgefahr weit schneller wächst als die erreichte Zunahme der Spannung. Besonders die Endspulen in den sekundären Wicklungen der betreffenden Systeme erfordern eine sorgfältige Isolierung und gerade dort stellen sich am ehesten die Durchschläge ein.

F. Dessauer (Verh. d. D. Phys. Ges. Heft 16/17. 1917) hat es nun unternommen, eine genaue Untersuchung der Uebelstände durchzuführen und den Transformatorbau auf Grund der so gewonnenen Erfahrungen auf eine neue Grundlage zu stellen. Mit den so erhaltenen Instrumentarien hat er dann die Untersuchungen über die Erzeugung immer härterer Röntgenstrahlen von neuem aufgenommen.

Bei den bisher üblichen Induktoren und Röntgentransformatoren hat der enge Raum zwischen der Primär- und Sekundärspule die ganze Spannungsdifferenz auszuhalten. An den Enden der Sekundärspulen, wo die höchsten Spannungsschwankungen auftreten, ist die Beanspruchung des Isolationsmaterials am größten und wird besonders groß noch, wenn etwa der eine Pol der sekundären Leitung Erdschluß hat; wenn der Transformator 100 000 Volt liefern soll, müßte in diesem Falle die Isolierung zwischen den beiden Spulen

dieser hohen Gesamtspannung widerstehen können. Man kann sich schon helfen, wenn man die Mitte der Sekundärspule erdet (oder mit der Primärspule leitend verbindet, da deren Niedrigspannung gegen die hohe Sekundärspannung vernachlässigt werden kann). Dann ist die Beanspruchung nur mehr halb so groß, in unserem speziellen Falle also 50 000 Volt. Doch kann man auf diesem Wege nicht weiter in der Verminderung der Beanspruchung kommen, und solche Anzapfung der Sekundärspule ist auch wenig üblich. Da nun, wie erwähnt, die Isolationschwierigkeiten mit zunehmender Spannung immer mehr wachsen, hat Dessauer einen neuen Weg gesucht, bei dem zwar die Gesamtspannung charakterisierende Übersetzungsverhältnis zwischen Primär- und Sekundärspule des Transformators wie bisher bestehen bleibt, bei dem aber die Beanspruchung des Isolationsmaterials wesentlich herabgesetzt wird. Wenn es sich z. B. um den Bau eines Röntgentransformators für 100 000 Volt handelt, so kann man folgendermaßen verfahren: Die Sekundärspule des Transformators (in der beigegebenen Figur sind ihre Enden mit a, b bezeichnet) wird in zwei Teile getrennt, die bei c verbunden und dort geerdet sind. Die von der Wechselstromquelle gespeiste Primärwicklung sitzt nun nicht, wie beim gewöhnlichen Transformator, auf denselben Eisenkernen T_1, T_2 , wie die Sekundärwicklung, sondern sitzt auf



zwei anderen Eisenkernen H_1, H_2 . Sie bildet dort die Primärwicklung zweier Hilfsttransformatoren. Diese Hilfsttransformatoren tragen auf der Primär- und Sekundärspule gleiche Windungszahl, ihr Übersetzungsverhältnis ist gleich eins. Die Sekundärwicklung der Hilfsttransformatoren ist geschlossen durch die Primärwicklung der Haupttransformatoren T_1, T_2 . Diese Primärwicklung der Haupttransformatoren ist an den Stellen d und e mit den Mitten der Sekundärspulen leitend verbunden¹⁾, dort also, wo in unserem speziellen Falle die Spannungen $\pm 25 000$ Volt auftreten. So wird, wie leicht einzusehen ist, erreicht, daß nunmehr das Isolationsmaterial der Haupttransformatoren nur auf 25 000 Volt beansprucht wird; jedes Zwischenorgan der neuen Anordnung (bestehend aus der Primärwicklung des Haupt- und der Sekundärwicklung des Hilfsttransformatoren) befindet sich auf gleicher Spannungshöhe, und so wird auch das Isolationsmaterial der Hilfsttransformatoren wieder nur auf 25 000 Volt beansprucht. (Natürlich besteht

¹⁾ Wenn J_0 die Intensität der Strahlung ohne, J die mit eingeschalteter Filterschicht bedeutet, so gilt $J = J_0 e^{-\mu d}$, wobei d die Dicke der Schicht und e die Basis des natürlichen Logarithmensystems.

¹⁾ Auch beim Starkstromtransformator verbindet man zuweilen Hoch- und Niederspannungswicklungen, wenn die Nullpunkte beider an Erde gelegt sind. Das Verhalten des Transformators im normalen Betriebe ändert sich hierdurch nicht, denn ein Leitungstrom kann zwischen den beiden Wicklungen nicht fließen, da sie nur in einem Punkt zusammenhängen. Entsteht aber noch ein zweiter Schluß, so entsteht Kurzschluß, und dieser schaltet durch Sicherheitsapparate den Transformator von dem Netz ab.

zwischen den beiden Zwischenorganen rechts und links in der Figur eine Spannungsdifferenz von 50 000 Volt, doch können diese Teile räumlich genügend entfernt werden, so daß daraus keinerlei Schwierigkeiten erwachsen.)

Das kleine unter dem Schaltungsschema eingezeichnete Diagramm zeigt nochmals die Spannungsverteilung; als Ordinaten sind die Spannungen in Kilovolt, als Abszissen die mit Buchstaben versehenen Stellen des Schaltungsschemas gewählt, durch Pfeile bezeichnet sind die Spannungsdifferenzen zwischen den einzelnen Teilen der Stromkreise.

Wesentlich ist also der neuen Anordnung, daß nur an den Haupttransformatoren ein von eins verschiedenes Übersetzungsverhältnis gewählt wird; die Hilfstensoren nehmen dem Haupttransformator einen wesentlichen Teil der Beanspruchung ab. So kann bei 100 000 Volt Gesamtspannung die Durchschlagsbeanspruchung der einzelnen Teile auf ein Viertel des Betrages herabgedrückt werden. Natürlich kann eine Verteilung der Beanspruchung noch anders gewählt werden durch Vermehrung der Hilfstensoren; das wird sich nach der Höhe der gewünschten Gesamtspannung richten. Auf solchem Wege sind die Schwierigkeiten der Isolation wesentlich vermindert. Freilich tritt durch die Einschaltung der Hilfstensoren

teils schon von Schwankungen der Primärspannung herrühren, teils in den Vorgängen in der Glühkathodenröhre ihre Ursache haben, würden genaue Messungen der Absorptionskoeffizienten nicht zulassen, wenn man *nacheinander* die Intensitäten der Röntgenstrahlen mit und ohne Metallfilter bestimmen wollte. Um sie aus der Untersuchung herauszubringen, benutzt *Dessauer* gleichzeitig zwei Elektrometer gleicher Bauart, die zu gleicher Zeit abgelesen werden und von denen nur das eine das zur Messung dienende Filter vorgeschaltet trägt. Werden nun die Messungen auch noch mit vertauschten Elektrometern wiederholt, so fallen alle durch die Schwankungen der Spannung und durch noch übrig bleibende Ungleichheiten der Elektrometer bedingte Fehler aus den Messungen heraus. Natürlich hatten die Elektrometer auch eine bei solcher Strahlenshärte nötige Einrichtung in bezug auf Wandstärke, Filteranordnung usw. Gemessen wurde die Absorption der Strahlen in Aluminium und in Blei. Eine als Beispiel hier angeführte Tabelle zeigt, wie bei verschiedener Röhrenspannung jedesmal die Strahlung durch eine ganz bestimmte Schichtdicke vorgeschalteten Bleies homogen gemacht wird (weitere vorgeschaltete Filter ändern dann die Härte der Strahlen nicht mehr), wie aber auch mit zunehmender Spannung die Härte dieser Endstrahlung immer größer wird (die Absorptionskoeffizienten in Blei neh-

Spannung in kV	Vorfilter (Blei) in mm												
	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	5	6	7	8	
	μ _{Blei}												
103	44,4	33	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
132	32	25,3	24,2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
180	29,8	25	21,7	21	19,6	19,6	—	—	—	—	—	—	—
220	24,9	20,1	17,3	16,35	14,4	11,70	11,80	11,75	—	—	—	—	—
268	—	16,5	—	12,5	—	11,5	—	9,75	9,33	—	—	—	—
284	—	14,6	—	11,2	—	9,55	—	8,75	7,6	7,8	7,5	—	—
308	—	13	—	9,75	—	8,7	—	7,8	6,9	6,55	6,55	6,5	—

toren ein kleiner Energieverlust ein, aber die Betriebssicherheit des ganzen Systems ist eine weit höhere und die Kosten werden auf solche Weise noch nicht so groß als für einen entsprechend gebauten Transformator alter Art; auch fallen die beim gewöhnlichen Transformator kaum zu vermeidenden Glimmverluste weg. *Dessauer* hat weiter eine genaue Ausmessung der neuen Transformatoren vorgenommen, die dabei auftretenden Energieverluste (Glimmverluste usw.) festgestellt und dabei auch eine bequeme Methode zur Untersuchung von Hochspannungstransformatoren auf gefährdete Stellen ausgearbeitet, die der Elektrotechnik von Nutzen sein wird. (Die Spannungsmessung wurde mit einem elektrostatischen Voltmeter durchgeführt.)

Mit einer solchen Anordnung, die Spannungen bis zu 300 000 Volt lieferte, betrieb nun *Dessauer* eine Glühkathodenröhre, um die anfangs erwähnte Frage zu prüfen, ob bei der nun möglichen Erhöhung der Sekundärspannung eine weitere Härtung der Röntgenstrahlen eintritt oder ob die früher gefundene Tatsache bestehen bleibt, daß man über eine gewisse Härte der Strahlen ($\mu_{Al} = 0,39 \text{ cm}^{-1}$) nicht hinauskommen kann. Nun müssen bei solchen Absorptionsversuchen die Schwankungen der Spannung entweder vermieden oder, da das bei solcher Spannungshöhe kaum mehr möglich, für die Untersuchungsmethode wenigstens unschädlich gemacht werden. Diese Schwankungen, die

men dann immer kleinere Werte an). Die Spannungen sind in Tausenden von Volt angegeben.

Und eine zweite kleine Tabelle mag noch zeigen,

Spannung in kV	μ _{Al}	λ · 10 ⁹	v · 10 ⁻¹⁰
103	0,51	1,92	1,56
132	0,424	1,77	1,69
179	0,396	1,72	1,74
220	0,325	1,6	1,87
267	0,27	1,5	2,00
283	0,258	1,46	2,05
308	0,239	1,42	2,11

wie der Absorptionskoeffizient dieser Endstrahlungen, gemessen in Aluminium, mit zunehmender Spannung sich ändert.

In der Tabelle ist noch nach einer Umrechnungsformel auch die Wellenlänge und die Frequenz berechnet worden, welche man den Röntgenstrahlungen solcher Härte zuschreiben muß. Dabei ist natürlich die Voraussetzung gemacht, daß diese Umrechnungsformel ($\mu_{Al} = k\lambda^{0,5}$; $\lg k = 21,5$) auch in diesem Gebiete des Röntgenstrahlspektrums verwendbar ist. Zum Vergleich sei angeführt, daß für die harten Gammastrahlen des Radiums C $\mu_{Al} = 0,115$, für die weicheren