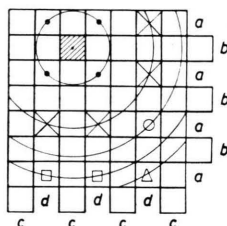


### III. Lateralempfindlichkeit gekreuzter Lagen alternierend gruppiert Zählrohre

Das Schema der in Versuch 4 benutzten Anordnung ist in Abb. 22 skizziert. Gezählt wurden Vierfach-Koinzidenzen ABCD. Die Elementarfunktion für die Treffwahrscheinlichkeit eines Schauers in 2 bestimmten Quadraten, die den Schwerpunktsabstand  $\beta_{n,m}$  haben sollen, kann wieder durch eine Art Gauß-Funktion\* angenähert werden, die für den Basisabstand  $\beta_{n,m}$  ein Maximum hat, für  $\beta_{n,m} \pm \sqrt{2} d$  praktisch verschwindet. Die genaue Form ist für unsere Betrachtungen nicht sehr wesentlich.



Kombinationen	$\beta_{n,m}$	$g_{n,m}$
• 1-1	$\sqrt{2}$	$4/\sqrt{2}$
× 1-3	$\sqrt{10}$	$4/\sqrt{10}$
○ 3-3	$\sqrt{18}$	$1/\sqrt{18}$
□ 1-5	$\sqrt{26}$	$2/\sqrt{26}$
△ 3-5	$\sqrt{34}$	$1/\sqrt{34}$
5-5	$\sqrt{50}$	$0/\sqrt{50}$

Abb. 22. Zur Abschätzung der Lateralempfindlichkeit gekreuzter Lagen alternierend parallelgeschalteter Zählrohre. (Erläuterung im Text.)

\*  $\varphi_{n,m}(-\beta_{n,m} + \beta)$  in Abschn. I.

Diese Elementarfunktionen sind nun für verschiedene Quadratkombinationen mit Gewichtungsfaktoren zu versehen. Bei 7 Zählrohren sind z. B. folgende Kombinationen möglich: 1-1, 1-3, 3-3, 1-5, 3-5, 5-5. Die Kombination  $n, m$  ist dabei so definiert, daß man von einem bestimmten Quadrat um  $n$  Quadrate in der zugehörigen Horizontalreihe weitergeht und von hier aus um  $m$  Quadrate in der Vertikalreihe. Für das schraffierte Quadrat in der Abb. 22 sind die verschiedenen Kombinationsmöglichkeiten eingezeichnet. Es trägt beispielsweise zur Kombination 1-3 mit dem Häufigkeitsgewicht 4 bei. Der Abstand der Quadrate beträgt  $\beta_{13} = \sqrt{1^2 + 3^2}$ . Wie wir vorher bereits gesehen haben, nimmt aber die Treffwahrscheinlichkeit bei beliebiger Orientierung der Basis umgekehrt proportional zu ihrer Größe ab. Der Gewichtungsfaktor, mit dem dieses eine Quadrat zur Gesamtempfindlichkeit für eine Koinzidenz 1-3 beiträgt, ist also  $4/\sqrt{10}$ . Praktisch geht man jedoch so vor, daß man nicht für ein Quadrat alle Kombinationen auswählt, sondern die Häufigkeit für eine bestimmte Kombination jeweils in die einzelnen Quadrate einschreibt und die Summe aller so gewonnenen Zahlen bildet. Die praktische Durchführung des Verfahrens ist sehr einfach.

Die Elementarfunktionen für die verschiedenen Quadratkombinationen mit dem Schwerpunktsabstand als Basis werden wieder mit Gewichten versehen, addiert und normiert.

Als Resultat erhält man eine Kurve, die sich nicht wesentlich von derjenigen einer einfachen Reihe unterscheidet (Abb. 4). Die Maxima sind nur etwas stärker ausgeprägt, weil nun auch in beiden zueinander senkrechten Richtungen verbotene Zonen für  $\beta_{n,m}$  auftreten.

Der Deutschen Forschungsgemeinschaft, Bad Godesberg, danken wir für die Gewährung sachlicher Beihilfen.

## Veränderungen von Leuchtschirmeigenschaften unter Elektronenbestrahlung in Kathodenstrahlröhren

Von K. H. JURGEN ROTTGARDT und WOLFGANG BERTHOLD

Aus dem Standard Laboratorium der C. Lorenz AG., Werk Eßlingen

(Z. Naturforschg. 10 a, 736—740 [1955]; eingegangen am 2. August 1955)

Vergleiche der Abklingkurven sowie der Anodenspannungsabhängigkeit der Helligkeit zwischen ungeschädigten und elektronengeschädigten Bereichen von aluminisierten ZnS:Ag-Schirmen zeigen, daß die Lumineszenzabnahme unter Elektronenbestrahlung auf Vorgängen im Kristallgitter der Leuchtstoffpartikel beruht. Der Verlauf der Lumineszenzabnahme ist unabhängig von der Anodenspannung des schädigenden Elektronenstrahles. Die Kristallgitterform hat bei ZnS:Ag- und ZnS:Cu-Phosphoren einen größeren Einfluß auf den Verlauf der Zerstörung als die Art und Menge des Aktivators.

Die bei der technischen Anwendung der Kathodolumineszenz störenden Nebenwirkungen bestehen

1. in der Abnahme der Lumineszenzfähigkeit des Leuchtschirmes,

\* Erweiterte Fassung eines auf der Tagung der Physikalischen Gesellschaft Württemberg-Baden-Pfalz in Ulm am 17. 4. 1955 gehaltenen Vortrages.

2. in dem Auftreten einer Schwärzung des Leuchtschirmes und
3. in Veränderungen des Sekundäremissionsfaktors des Leuchtschirmes.

Eine einheitliche Meinung über die Ursache bzw. den Angriffspunkt der Strahlelektronen bei diesen Veränderungen besteht in der Literatur noch nicht.



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

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

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

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

Diese Erscheinungen könnten durch direkte Einwirkung der Elektronen auf das Kristallgitter oder auf die Oberfläche der Leuchtstoffkörner entstehen. Möglich ist aber auch, daß die Elektronen indirekt über eine von ihnen ausgelöste Elektrolyse des Leuchtschirmes wirken.

Diese einzelnen Wirkungen sind oft schwer voneinander zu trennen, da sie gleichzeitig auftreten. Es muß bei Untersuchungen dieser Art daher sehr genau auf einwandfreie Versuchsbedingungen geachtet werden.

Die folgende Arbeit soll auf Grund neuer Versuchsergebnisse einen Beitrag zur Aufklärung der Ursachen der Elektronenwirkungen liefern. Alle von uns unternommenen Experimente wurden ausschließlich an abgeschmolzenen Röhren durchgeführt.

### 1. Veränderung des Sekundäremissionsfaktors

Die Untersuchungen über die Veränderung der Sekundäremissionseigenschaften des Leuchtschirmes unter Elektronenbestrahlung sind bereits an anderer Stelle veröffentlicht worden<sup>1</sup>. Die Ergebnisse haben gezeigt, daß diese in einer Abnahme des Grenzpotentials bestehenden Veränderungen durch Wirkungen der Elektronen auf die Leuchtschirmoberfläche hervorgerufen werden. Es handelt sich dabei um die Zerstörung oder Umbildung von an der Leuchtstoffoberfläche adsorbierten Substanzen.

### 2. Abnahme der Lumineszenzfähigkeit des Leuchtschirmes

Die hier beschriebenen Versuche zeigen deutlich, wie Abb. 1 beweist, daß die Zerstörung der Lumineszenzfähigkeit des Leuchtstoffes in dem Kristallgitter erfolgt. In der Abb. 1 ist die Helligkeit als Funktion der Anodenspannung bei konstanter Strombelastung aufgetragen und zwar an einem aluminisierten ZnS:Ag-Schirm. Eine solche Funktion wird angenähert durch eine Gerade dargestellt. Untersucht wurde diese Abhängigkeit sowohl an einem ungeschädigten, als auch an einem elektronengeschädigten Bereich eines Leuchtschirmes. Die Lu-

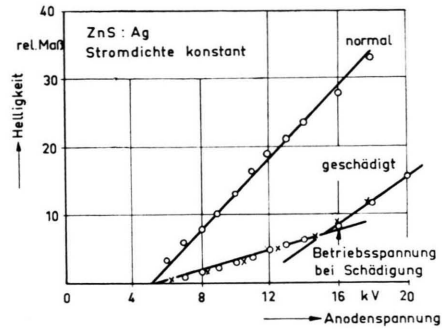


Abb. 1. Vergleich der Abhängigkeiten: Helligkeit als Funktion der Anodenspannung an normalen und elektronengeschädigten ZnS:Ag.

mineszzenzzerstörung ist durch eine Bestrahlung mit 16-kV-Elektronen über längere Zeitdauer erreicht worden. Vergleicht man die beiden Kurven, so erkennt man in derjenigen für den geschädigten Bereich einen deutlichen Knick bei 16 kV. Dieser Knick weist darauf hin, daß die Schädigung bis zu einer Tiefe im Kristall erfolgt ist, welche der Eindringtiefe der zerstörenden 16-kV-Elektronen entspricht.

Bestünde die Schädigung z. B. in einer Abscheidung einer elektronenabsorbierenden Schicht auf der Seite der Aluminiumhaut, welche dem Röhrenkolben zugewandt ist, so müßte der Anfangspunkt der Geraden für diesen Bereich nach höheren Spannungen verschoben sein, genau so wie die Aluminiumhinterlegung den Ursprung der Geraden von dem Nullpunkt der Abszisse nach höheren Spannungen verlegt. Diese Erscheinung wird aber, wie Abb. 1 zeigt, nicht beobachtet.

Es wird in der Literatur immer wieder die Meinung vertreten, daß die Abnahme der Lumineszenz unter Elektronenbestrahlung die Folge einer Oberflächenveränderung des Leuchtstoffes ist. In einer vor kurzem erschienenen Arbeit haben Dowling und Sewell<sup>2</sup> die Vermutung ausgesprochen, daß Kohlenstoffschichten, welche durch Zersetzung von auf dem Schirm adsorbierten organischen Dämpfen unter Elektronenbestrahlung entstehen, direkt und indirekt für die Lumineszenzabnahme verantwortlich sind. Bei der Deutung von an Schliffrohren gewonnenen Versuchsergebnissen dürfte diese Anschauung den Tatsachen entsprechen. Das in Abb. 1 wiedergegebene Versuchsergebnis zeigt aber, daß an Leuchtschirmen, welche in abgeschmolzenen Röhren

<sup>1</sup> K. H. J. Rottgardt, W. Berthold u. H. Dietrich, Z. angew. Phys. 6, 560 [1954]; K. H. J. Rottgardt u. W. Berthold, J. Appl. Phys. 26, 1180 [1955].

<sup>2</sup> P. H. Dowling u. J. R. Sewell, J. Appl. Phys. 25, 228 [1954].

untersucht werden, die Lumineszenzabnahme auf einer Veränderung im Innern der Leuchtstoffkristalle beruhen muß. Änderungen der Sekundäremissionseigenschaften des Leuchtschirmes, welche wie bereits erwähnt, sicher durch Oberflächenveränderungen hervorgerufen werden, können bei dem oben beschriebenen Experiment ebenfalls nicht als Ursache für die Lumineszenzabnahme verantwortlich gemacht werden, da ja ein mit einer Aluminiumschicht hinterlegter Leuchtschirm verwendet wurde.

Weiterhin wurde die Abklingkurve der Lumineszenz, welche durch einen einmaligen kurzen Elektronenstrahlimpuls erzeugt worden war, untersucht. Die Dauer des rechteckigen Impulses betrug  $2\ \mu\text{sec}$ . Beim Vergleich des Abklingens in einem ungeschädigten und einem elektronengeschädigten Bereich eines aluminisierten ZnS:Ag-Schirmes ergibt sich das in Abb. 2 gezeigte Bild. Das Abklingen in dem geschädigten Bereich erfolgt schneller. Um dieses deutlich zu zeigen, ist der Anfangswert der Abklingkurven auf den gleichen Wert gebracht worden. Die Lumineszenz des geschädigten Bereiches betrug bei gleicher Anregungsdichte bei diesem Experiment nur noch 20% des normalen Bereiches.

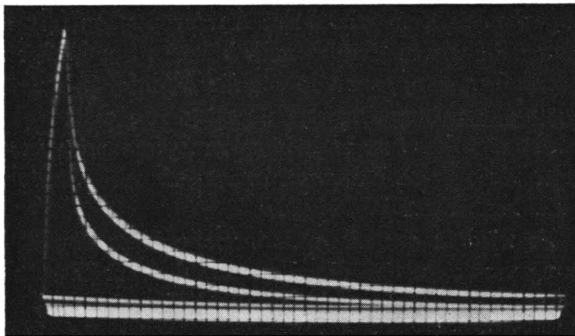


Abb. 2. Blaukomponente einer technischen Fernsehweißmischung ZnS:Ag. Vergleich der Abklingkurven eines ungeschädigten (obere Kurve) und eines geschädigten (untere Kurve) Bereiches. Schädigungsgrad: die Lumineszenz beträgt nur noch 20% des ungeschädigten Bereiches, mittels einer Verstärkereinrichtung sind die Anfangswerte der Abklingkurven auf den gleichen Wert gebracht worden.

Es soll als „Abklingkonstante“ definiert werden die Zeitdauer, welche verstreicht, bis die von einem einmaligen Elektronenstrahlimpuls erzeugte Helligkeit auf 37% des Anfangswertes abgeklungen ist, und als „Schädigungsgrad“ eines Leuchtschirmbereiches der Wert  $1 - L/L_0$ , wobei  $L_0$  die Lumineszenz eines ungeschädigten und  $L$  die Lumineszenz des geschädigten Bereiches bei konstanter Elektronenbestrahlung darstellt.

Abb. 3 zeigt die Abklingkonstante als Funktion des Schädigungsgrades eines aluminisierten ZnS:Ag-Schirmes (Blaukomponente einer technischen Fernsehweißmischung). Die zunächst eintretende Zunahme der Abklingkonstanten bei geringen Elektronenschädigungen wurde auch bei anderen Leuchtstoffen wie hex. ZnS:Mn und hex. CdS:Ag gefunden. Die auf dieses Maximum mit weiter steigendem Schädigungsgrad erfolgende Abnahme der Abklingkonstanten konnte im Prinzip auch gefunden werden an einem auf spezielle Anforderung von einem anderen Leuchtstoffhersteller bezogenem hex. ZnS: $10^{-4}$  Ag (Koaktivator Cl, gegläht an Luft bei  $1150^\circ$ , mittlere Korngröße  $10 - 15\ \mu$ ).

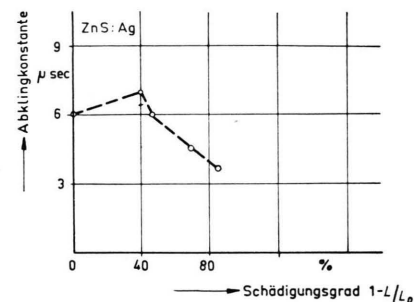


Abb. 3. Abklingkonstante als Funktion des Schädigungsgrades.

Das Verhältnis der Abklingkonstanten des ungeschädigten zum elektronengeschädigten Bereich hängt von der Anregungsdichte des Elektronenstrahlimpulses ab. Oberhalb einer bestimmten Anregungsdichte verschwindet der Unterschied in den Abklingkurven.

Es sei hier darauf hingewiesen, daß Berthold<sup>3</sup> gezeigt hat, daß bei der Ionenschädigung des Leuchtstoffes die Abklingkonstante des ionengeschädigten Bereiches, unabhängig von dem Schädigungsgrad, größer als die des ungeschädigten ist.

Inwieweit das in Abb. 3 gezeigte Maximum der Abklingkonstanten bei der Elektronenschädigung ein Zeichen dafür ist, daß zu diesem Zeitpunkt ein zusätzlicher andersartiger Mechanismus der Elektronenschädigung des Leuchtstoffes einsetzt, kann zur Zeit noch nicht entschieden werden.

Bereits in früheren Arbeiten konnte gezeigt werden<sup>4</sup>, daß der Verlauf der Lumineszenzzerstörung durch Elektronenbestrahlung nur von der Gesamtzahl der absorbierten Elektronen abhängt und unab-

<sup>3</sup> W. Berthold, Naturwiss., **42**, 436 [1955].

<sup>4a</sup> K. H. J. Rottgardt, Naturwiss., **40**, 315 [1953];

<sup>4b</sup> K. H. J. Rottgardt, Z. angew. Phys., **6**, 610 [1954].

hängig von der pro Zeiteinheit auf den Schirm auftreffenden Elektronen ist. Weiterhin wurden die Angaben anderer Autoren bestätigt, daß ein Einfluß der Korngröße des Leuchtstoffes auf den Schädigungsverlauf besteht. Für einen aluminisierten  $\text{ZnS:Ag}$ -Schirm ist bereits vor kurzem<sup>5</sup> nachgewiesen worden, daß die Geschwindigkeit der auftreffenden Strahlelektronen den Verlauf der Lumineszenzschädigung nicht beeinflußt.

Das letztgenannte Untersuchungsergebnis ist auch für  $\text{Zn}_2\text{SiO}_4\text{:Mn}$  gültig: Abb. 4. Aufgetragen ist hier die Abnahme der Lumineszenz als Funktion der dem Schirm zugeführten Ladung, also der Zahl der aufgetroffenen Elektronen. Die Untersuchungen wurden bei Anodenspannungen von 150 Volt<sup>6</sup>, 4 kV und 16 kV an ganz verschiedenen Röhrentypen vorgenommen. So wurden die Messungen bei 150 Volt, um Aufladungserscheinungen zu vermeiden, an einem auf einer Metallunterlage liegenden Schirm ausgeführt. Aus dem gleichen Grunde war bei den Untersuchungen mit 16 kV der auf Glas aufgebrachte Leuchtstoff mit einer Aluminiumschicht hinterlegt. Die Tatsache, daß die Anodenspannung der Primärelektronen keinen Einfluß auf die Lumineszenzabnahme hat, deutet doch wohl darauf hin, daß die inneren Sekundärelektronen eine große Rolle bei dem Zustandekommen des Effektes spielen. Infolge der verschiedenen Eindringtiefe der Primärelektronen bei 4 und 16 kV dürfte die Dichte der inneren Sekundärelektronen in beiden Fällen nicht wesentlich verschieden sein. Der Kurvenverlauf

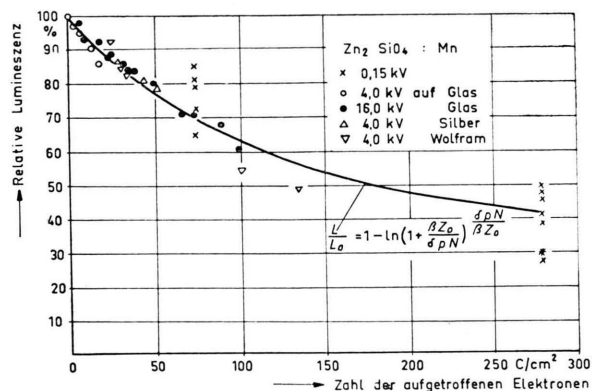


Abb. 4. Lumineszenzzerstörung durch Elektronen verschiedener Anodenspannung am  $\text{Zn}_2\text{SiO}_4\text{:Mn}$ .

<sup>5</sup> K. H. J. Rottgardt u. W. Berthold, Naturwiss. 42, 67 [1955].

<sup>6</sup> Die Meßwerte für 150 Volt stellte uns freundlicherweise Herr Dipl.-Ing. Lieb zur Verfügung.

zeigt außerdem eine Unabhängigkeit von der Art der Unterlage, auf welcher sich der Schirm befindet. Ob das  $\text{Zn}_2\text{SiO}_4$  auf Konstantan, Wolfram, Silber oder Glas aufgebracht ist, zeigt sich in dem Verlauf nicht besonders an. Ebenfalls ist die Art der Aufbringung ohne Einfluß. Die verschiedenen  $\text{Zn}_2\text{SiO}_4\text{:Mn}$ -Schirme sind in der Art der Fernsehbirnen mit Wasserglas oder nur in reinem Methanol sedimentiert oder nach einem ganz anderen technischen Verfahren aufgebracht worden.

Die in der Abb. 4 eingezeichnete Kurve entspricht der von Broser u. Warminsky<sup>7</sup> für die Lumineszenzzerstörung durch  $\alpha$ -Partikel abgeleiteten Gleichung:

$$\frac{L}{L_0} = 1 - \ln \left( 1 + \frac{\beta z_0}{\delta p N} \right)^{\delta p N / \beta z_0}.$$

Die Zahl  $N$  der auftreffenden Teilchen bedeutet im hier beschriebenen Fall die Anzahl der auftreffenden Strahlelektronen je  $\text{cm}^2$ .  $L_0$  bzw.  $L$  bedeuten die Lumineszenz vor der Zerstörung bzw. im Laufe der Zerstörung.  $\beta$  und  $\delta$  sind Stoffkonstanten,  $z_0$  die durch ein Strahlelektron erzeugte Anfangserregungsdichte und  $p$  eine Proportionalitätskonstante zwischen der Anzahl der erzeugten tiefen Störterme und der zu ihrer Erzeugung führenden Zahl  $N$  der Strahlelektronen.

Für die Lumineszenzzerstörung von  $\text{ZnF}_2\text{:Mn}$  konnte mit Erfolg bereits die gleiche Formel angewandt werden<sup>4a</sup>.

Bei der Lumineszenzzerstörung des  $\text{ZnS}$  scheint die Form des Kristallgitters einen größeren Einfluß auf ihren Verlauf zu haben, als die Art oder die Menge des Aktivators (jedenfalls soweit es sich um Ag und Cu handelt), wie die Abb. 5 zeigt. Hierbei haben die Leuchtstoffe eine einigermaßen gleiche mittlere Korngröße zwischen 10 und 15  $\mu$ . Cub.  $\text{ZnS:Ag}$  mit  $10^{-4}$  Mol-% Silber unterscheidet sich nicht wesentlich von cub.  $\text{ZnS:Ag}$  mit  $10^{-3}$  Mol-% Aktivator. Demgegenüber liegen die hexagonalen  $\text{ZnS}$  dicht beieinander, obwohl sie verschiedene Aktivatoren Ag und Cu besitzen. Andererseits läßt sich die Lumineszenzabnahme des hex.  $\text{ZnS:Mn}$  nicht in dieses Schema unterbringen. Obwohl aus der Literatur nicht hervorgeht, daß die Lumineszenz von hex.  $\text{ZnS:Mn}$  eine stärkere Temperaturabhängigkeit als hex. und cub.  $\text{ZnS:Ag}$  zeigt, war es zunächst

<sup>7</sup> J. Broser u. R. Warminski, Z. Naturforschg. 6a, 85 [1951].



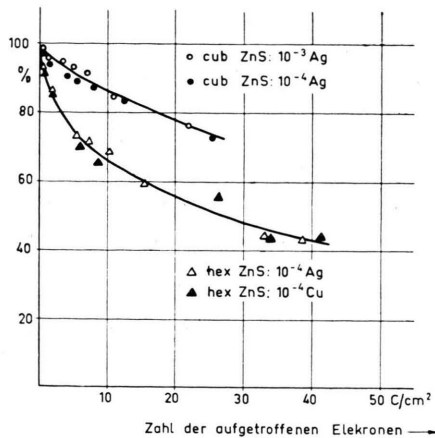


Abb. 5. Lumineszenzerstörung durch Elektronen an verschiedenen ZnS; aluminisierte Schirme;  $U_a = 16$  kV.

schwierig, reproduzierbare Ergebnisse über die Abhängigkeit der Abnahme der Kathodolumineszenz von der dem Schirm zugeführten Ladung zu bekommen. Es gelang nur dann, reproduzierbare Ergebnisse zu erhalten, wenn der Vergleich der Lumineszenz von geschädigtem und ungeschädigtem Bereich nach einer längeren Pause nach Abschalten der schädigenden Strahlung erfolgte. Dabei mußte die Ableitung der Helligkeitsmessung auch wieder nach einer genau festgelegten kurzen Zeitdauer nach Einschalten der für die Messung erforderlichen Elektronenstrahlung erfolgen. Die so gewonnene Kurve für hex. ZnS:Mn entspricht trotz gleicher mittlerer Korngröße des Leuchtstoffpulvers nicht derjenigen des hex. ZnS:Ag und hex. ZnS:Cu, sondern hat eher einen gleichen Verlauf wie die Schädigung des cub. ZnS:Ag.

Ein interessantes Ergebnis wird in der Abb. 6 wiedergegeben. Hier ist an einem ZnS:Ag (Blaukomponente einer technischen Fernsehweißmischung) die Funktion der Helligkeit von der anregenden Stromdichte für einen ungeschädigten Leuchtstoffbereich mit derjenigen für einen geschädigten verglichen. Um diese Funktion bis zu extrem hohen Stromdichten ohne Schädigung des Leuchtschirmes

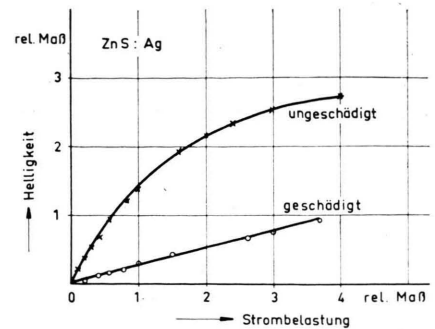


Abb. 6. Vergleich der Helligkeitskurven des ungeschädigten und des geschädigten Bereiches bei verschiedenen Strombelastungen.

während dieser speziellen Messung durchführen zu können, wird der Schirm durch Impulse hoher Stromdichte angeregt. Während die Funktion für den normalen Schirmbereich die bekannte Erscheinung der Sättigung im hohen Stromdichten zeigt, ist die Helligkeit im geschädigten Bereich bei gleichen Stromdichten noch direkt proportional zur Stromdichte, wenn auch der Absolutwert der Helligkeit beträchtlich geringer ist. Das Ergebnis scheint zu besagen, daß durch die Schädigung des Leuchtstoffes so viel zusätzliche Möglichkeiten für den strahlungslosen Übergang von angeregten Elektronen in den Grundzustand geschaffen wurden, daß die Zahl der im Moment vorhandenen Aktivatorzentren noch nicht voll zur Lichtemission ausgenützt ist.

Inwieweit ein Zusammenhang zwischen der Lumineszenzabnahme und der Schwärzung des Leuchtstoffes besteht, kann noch nicht entschieden werden. Es scheinen Anhaltspunkte dafür vorhanden zu sein, daß die Schwärzung in abgeschmolzenen Röhren nicht wie in Schliffrohren durch auf dem Schirm niedergeschlagene Kohlenstoffschichten verursacht wird. Vielmehr muß man den Austritt von metallischem Zink eventuell als Folge einer elektrolytischen Zersetzung des Leuchtstoffes mit in Betracht ziehen. Ein solcher Mechanismus könnte auch Einfluß auf die Lumineszenzabnahme haben.