

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 57 (1966)

Heft: 15

Artikel: Temperaturprobleme in den Leuchtstoffschichten verschiedener Fernsehröhren

Autor: Vobian, J.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-916619>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 16.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Temperaturprobleme in den Leuchtstoffschichten verschiedener Fernsehröhren *)

Von J. Vobian, Braunshardt

621.397.331.2 : 621.3.032.35

Die Abhängigkeit der Leuchtdichte der Leuchtstoffe von der Temperatur ist interessant für den Betrieb der herkömmlichen Abtast-, Normwandler-, Aufzeichnungs- und Monitorröhren, aber auch für die Konzipierung neuer Röhren, so zum Beispiel der Subscreen-Röhre. Als Einführung wird kurz auf den für den Problemkreis interessierenden Bereich der Theorie der Lumineszenz fester Körper eingegangen. Die Messungen der Temperaturabhängigkeit der Leuchtdichte einiger Phosphore zeigen, inwieweit sich die theoretischen Vorstellungen bestätigen. Ergebnisse früherer Untersuchungen anderer Autoren werden angeführt. Bei kubischen ZnS:Ag stehen die erhaltenen Ergebnisse im Widerspruch zu früheren. Als Konsequenz der Untersuchungen wird eine Abtaströhre mit Aufsichtschirm vorgeschlagen und in groben Zügen deren Aufbau skizziert. Die Temperatur der Planscheibe einer normalen 30-kV-Aufzeichnungsröhre (VBP 1010 B) wurde während des Betriebs der Röhre verfolgt bei verschiedenen Strahlströmen und Rasterflächen, und es wurde die Leuchtdichte verschiedener Röhren im Verlaufe der Brenndauer (Aufheizung des Leuchtschirms durch den Elektronenbeschuss) gemessen.

La dépendance de la luminance des substances luminescentes de la température présente de l'intérêt non seulement pour l'exploitation des tubes courants: tubes d'exploration, convertisseurs de normes, tubes d'enregistrement et tubes moniteurs, mais également en vue de la conception de nouveaux tubes, tel que par exemple le tube Subscreen. L'introduction esquisse brièvement la théorie de la luminescence des corps solides dans ses notions indispensables au sujet précité. Les mesures de la luminance de certains phosphores en fonction de la température précisent dans quelle mesure les prévisions théoriques se confirment. Les résultats d'enquêtes précédentes, exécutées par d'autres auteurs, sont également rapportés. Un composé cubique ZnS:Ag fournit des résultats contradictoires aux données acquises. Ces investigations ont pour conséquence le projet d'un tube d'exploration avec écran de contrôle, dont la construction sera esquissée sommairement. La température de l'écran plan d'un tube d'enregistrement courant de 30 kV (VBP 1010 B) a été examiné en cours d'exploitation pour divers courants électroniques et diverses trames et la luminance de divers tubes en cours d'exploitation (chauffage de l'écran luminescent par bombardement électronique) a été mesurée.

1. Einführung

Man ist bestrebt, die Leuchtdichte der Fernsehröhren zu erhöhen, besonders gilt das für die Abtaströhren der Farabbaster. Aus mehreren Gründen kommt eine Steigerung der Schirmhelligkeit durch Erhöhung des Strahlstroms nicht in Frage, vielmehr kommt es darauf an, die Lumineszenzausbeute, d. h. das Verhältnis der Lichtenergiedichte zur Strahlstromdichte, zu erhöhen. Bei konstantem Strahlstrom will man also die Leuchtdichte der Phosphorschicht vergrößern. Es ist naheliegend, dieses Problem durch die Verwendung eines neuen, helleren Leuchtstoffes zu lösen. Aber die Suche nach einem solchen Phosphor ist deshalb besonders schwierig, weil der in Betracht kommende Kreis von Leuchtstoffen von vornherein stark eingeengt ist durch spezielle Anforderungen an die Abklingzeit, die spektrale Emissionsverteilung, an die Feinkörnigkeit und durch fertigungstechnische und preisliche Bedingungen. Man muss daher untersuchen, ob man nicht die Lichtausbeute der vorliegenden, bewährten Leuchtstoffe erhöhen kann. Das gelingt auch mitunter tatsächlich durch die Modifizierung der Herstellungstechnik der Phosphore und der Leuchtschirme in den Röhren. Ob man durch Temperaturvariation der Leuchtstoffschicht im technisch möglichen Rahmen höhere Leuchtdichten erwarten kann, wurde für einige Fernsehleuchtstoffe untersucht. Die Temperaturabhängigkeit der Leuchtdichte der Phosphore ist weiterhin ein wesentliches Kriterium bei der Entwicklung von lichthoffreien Abtast- oder Aufzeichnungsröhren — den sogenannten Subscreen-Röhren. Bei diesen Röhren ist zur Vermeidung des Totalreflexionslichthofes der Leuchtstoffschichtträger nicht wie üblich die Planscheibe am Kopfende der Röhre, sondern eine hinreichend dünne Glasscheibe, die unterhalb der Planscheibe im Röhreninneren befestigt ist. Die etwa um den Faktor 50 dünneren Subscreen-Planscheibe bietet eine wesentlich kleinere Querschnittsfläche für die Wärmeleitung an als die normale Planscheibe. Dadurch wird erstere durch den Elektronenstrahl auf eine höhere Temperatur aufgeheizt. Man wird also mit stark temperaturabhängigen Leuchtstoffen keine Subscreen-Röhre bauen können, wenn man nicht einen starken Leuchtdichteabfall in Kauf nehmen will oder kann.

*) Vortrag, gehalten auf der NTG-Tagung 1965 in Ulm.

2. Theoretische Grundlagen [1; 2] ¹⁾

Bevor auf experimentelle Ergebnisse der Temperaturabhängigkeit der Leuchtdichte eingegangen wird, soll in knapper Form dargestellt werden, was die Theorie erwarten lässt. Wegen der Wechselwirkung mit dem Kristall sind die Elektronenterme der Gitteratome nicht diskret wie in verdünnten Gasen, sondern sie sind $2N$ -fach entartet, wobei N die Zahl der Atome im Kristallverband ist, es ergibt sich jeweils ein Quasikontinuum von Linien — ein Band. Zwischen den einzelnen Bändern liegen sog. verbotene Zonen. In Fig. 1 ist das oberste, mit Elektronen vollbesetzte Band mit V bezeichnet und das erste leere Band mit L . Da im idealen Kristall keine Lumineszenz möglich ist, benötigt man für sie mit geeigneten Fremdatomen dotierte Kristalle. Diese Fremdatome — sie werden auch Phosphorogene genannt — sitzen entweder auf Zwischengitterplätzen (z. B. Ag oder Cu in ZnS) oder ersetzen reguläre Gitteratome des Wirtsgitters (z. B. Mn in ZuS) — man spricht dann von Substitutionsphosphoren. Die Fremdatome bilden diskrete Terme in der verbotenen Zone — einmal Störterme C , die über dem Band V liegen und zum anderen metastabile Anlagerungs- oder Haftterme unterhalb des Bandes L . Wird dem Kristall Energie zugeführt, z. B. in Form von UV-Licht, α - oder Elektronenstrahlen, sind folgende Absorptionsprozesse, also Anregungsprozesse der Elektronen der Gitteratome möglich:

- Grundgitterabsorption: Die angeregten Elektronen gelangen von einem Energieniveau im Band V in eines im Band L .
- Störstellenabsorption (langwelliger Ausläufer der Grundgitterabsorption): Das Elektron eines Fremdatomes gelangt vom Energieniveau C ins Band L .
- Grundgitterabsorption in die Haftterme D .

Die angeregten Elektronen werden sich eine bestimmte Zeit im Band L aufhalten und einen Teil der Anregungsenergie in Form von Phononen an das Gitter abgeben und dann unter Emission des verbliebenen Teils der Anregungsenergie als Licht mit den Löchern in den Störtermen C re kombinieren. Dieses Licht wird Fluoreszenzlicht oder spontane Nachleuchten genannt. Es besteht für die sich im Band L befindenden Elektronen die Möglichkeit, dass sie von Hafttermen D (Elektronenfallen) eingefangen werden. Aus

1) Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

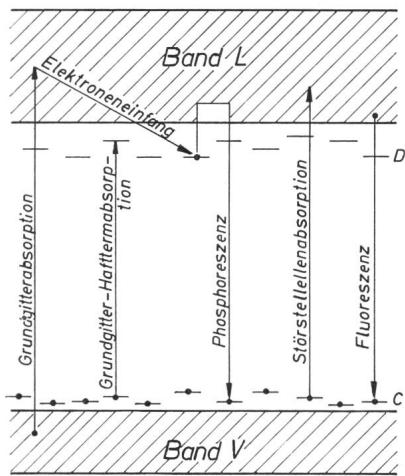


Fig. 1

Energiebandschema der Kristallphosphore

V Valenzband (oberstes besetztes Band); L Leitungsband (unterstes leeres Band); C Störterme; D Haftterme

serdem können durch Grundgitterabsorption Elektronen direkt in die Haftterme D gelangen (3. Anregungsart). Die Elektronen sind dann in einer Potentialmulde gefangen und können nur durch Energiezufuhr von aussen — in Form von Infrarotstrahlung oder thermischer Energie — befreit werden, d. h. ins Band L gehoben werden. Sie rekombinieren dann auch mit den Löchern in den C-Termen. Das emittierte Licht wird Phosphoreszenzlicht genannt. Nach dem bisher Gesagten müsste die Quantenausbeute = 1 sein, d. h. für jedes absorbierte Energiequant wird wieder eines emittiert, das einen kleineren Energiewert hat (Stokesches Gesetz). Dass eine 100%ige Quantenausbeute nicht erreicht wird, liegt daran, dass das angeregte Elektron im Band L seine Energie strahlungslos durch Mehrfachstöße mit dem Gitteratom abgeben kann. Die Wahrscheinlichkeit W dieser strahlungslosen Übergänge schätzten Möglic und Rompe [3] ab:

$$W \geq AT^{\frac{E}{h\nu_G}}$$

mit A Konstante

T Temperatur (0K)

E Energiedifferenz zwischen Anfangs- und Endzustand des Elektronenübergangs vom Band V in das Band L

h Plancksches Wirkungsquantum ($6,625 \cdot 10^{-34}$ Js)

ν_G Debeyesche Grenzfrequenz

Der Ungleichung kann man entnehmen, dass die Wahrscheinlichkeit strahlungloser Übergänge mit der Temperatur wächst, mit um so grösserem Exponenten, je grösser E ist, je höher also das Elektron angeregt wird, je höher das erreichte Niveau im Band L liegt.

Für die Fluoreszenzstrahlung ist jede Temperaturerhöhung von negativem Einfluss. Für die Phosphoreszenz, die aber bei den meisten Leuchtstoffen nur einen kleinen Teil des Luminenszenzlichtes ausmacht, braucht man einen vom Kristall abhängigen thermischen Energiebetrag für die Freiheit der angeregten Elektronen aus den Hafttermen. Wenn man den Leuchtstoff hinreichend tief kühlte, kann man die Phosphoreszenzelektronen in den Elektronenfallen einfrieren. Temperaturen, die den Schwellenwert für die Ausreibung der angeregten Elektronen aus den Haftstellen we-

sentlich überschreiten, wirken sich auch — nach der Ungleichung von Rompe und Möglic auf die Quantenausbeute negativ aus.

Eine recht interessante Konsequenz die Abschätzung von Möglic und Rompe: Die Energieausbeute bei Elektronenstrahlung ist wesentlich geringer als bei UV- oder α -Strahlen. Die auf den Phosphor auftreffenden Elektronen erzeugen wenige und hochangeregte Elektronen, die mit grosser Wahrscheinlichkeit strahlungslos rekombinieren; die schweren α -Teilchen hingegen erzeugen Kaskaden vieler Elektronen niedrigerer Energie und damit kleiner Phononenemissionswahrscheinlichkeit. Die UV-Strahlen wiederum dringen viel tiefer in die Leuchtstoffschicht ein und heben viele Elektronen in ein niedriges Anregungsniveau in das Band L. Aus dem bisher Gesagten erwartet man nun folgenden qualitativen Temperaturverlauf der Leuchtdichte der Kristallphosphore:

Bei Leuchtstoffen mit überwiegendem Phosphoreszenzlicht erwartet man, dass, beginnend mit tiefen Temperaturen, die Leuchtdichte mit der Temperatur ansteigt, weil die Zahl der aus den Haftstellen befreiten angeregten Elektronen wächst. Es wird dann ein Temperaturintervall bzw. -wert existieren, bei dem die Leuchtdichte optimal ist (allen Elektronen in den Hafttermen steht eine genügend grosse thermische Energie zum Überwechseln in das Leitungsband L zur Verfügung); mit weiter ansteigender Temperatur wird dann die Leuchtdichte wegen der zunehmenden Wahrscheinlichkeit für strahlungslose Rekombinationen wieder abnehmen. Bei Leuchtstoffen mit überwiegendem Fluoreszenzlicht erwartet man nur geringe Änderungen der Leuchtdichte bei Temperaturerhöhung zu einem Temperaturwert, bei dem die Phononenemission einsetzt, die dann mit wachsender Temperatur immer stärker wird und zur Folge hat, dass die Leuchtdichte stark abnimmt. Ein typisches Beispiel für diesen Fall gibt N. Riehl [1] an. Er untersuchte mit α -Strahlen angeregtes ZnS:Cu und fand eine konstante Lichtintensität von — 200 bis + 150 °C, danach einen starken Abfall. Bei 500 °C ist die Intensität Null.

3. Einige schon vorliegende experimentelle Ergebnisse

Messungen der Abhängigkeit der Leuchtdichte von der Temperatur sind durchaus nicht neu, sie sind schon für viele Leuchtstoffe durchgeführt worden, teilweise mit recht unterschiedlichen Resultaten. Die erste wesentliche Arbeit auf dem Gebiet veröffentlichte Randall 1937 [4]. Er untersuchte ZnS und ZnCdS in verschiedenen Gitterkonfigurationen, mit verschiedener Komponentenverteilung, verschiedenen Aktivatoren (Ag, Cu und Mn) und Aktivatorkonzentrationen. Er regte die Leuchtstoffe mit UV-Licht (3650 Å) an. Bei hexagonalem ZnS:Mn fand er einen fast linearen Anstieg von — 170 bis + 100 °C, dann ein etwa 50 °C breites Maximum und ab 150 °C einen starken exponentiellen Abfall. Bei 250 °C ist die Leuchtdichte auf etwa 20 % des Maximalwertes abgefallen. Bei kubischem ZnS:Ag stellte Randall ein scharfes, nur ungefähr 20 °C breites Maximum bei Zimmertemperatur fest, bei höheren Temperaturen einen steilen Abfall und nach niedrigeren Temperaturen hin einen langsam Abfall mit einem flachen Minimum bei etwa — 70 °C. Hexagonales ZnS:Ag zeigt zwei Maxima etwa gleicher Höhe, bei — 50 °C ein recht breites und ein sehr schmales bei Zimmertemperatur. Beide Maxima sind getrennt durch ein scharfes Minimum,

das bei ungefähr 0 °C auftritt. Ab 30 °C fällt die Intensität stark ab. Kubisches ZnS:Cu hat eine fast konstante Leuchtdichte bis etwa 30 °C, nach höheren Temperaturen fällt sie ab, aber nicht so stark wie bei hexagonalem ZnS:Ag. Bei ZnCdS:Cu treten ähnlich wie beim hexagonalen ZnS:Ag zwei Maxima auf, ein Tieftemperaturmaximum bei ungefähr — 100 °C und ein Peak bei 30...70 °C. Der Abfall nach höheren Temperaturen ist ungefähr so stark wie bei kubischem ZnS:Cu. Mit wachsendem CdS-Gehalt wird der Tieftemperaturpeak immer ausgeprägter, das zweite Maximum tritt immer mehr zurück und verschwindet ab 22 % CdS fast völlig. *Randall* zeigte mit seiner Arbeit, dass der Temperaturverlauf der Leuchtdichte abhängt vom Leuchtstoff selbst, der Gitterstruktur des Phosphors, vom Aktivatorelement und der Aktivatordotierung, und bei komplexen Leuchtstoffen von der prozentualen Zusammensetzung der einzelnen Komponenten. Eine sehr wesentliche Rolle spielen auch Verunreinigungen und damit das Fertigungsverfahren des Phosphors und des Leuchtschirms. Sicher hängt der Temperaturverlauf der Leuchtdichte auch ab von der Art der Anregungsenergie. *F. J. Studer, L. Gaus und L. Thorington*, besonders dieser [5; 6] setzten die Randallsche Arbeit fort und bestätigten qualitativ deren Ergebnisse. Auch sie fanden Intensitätsmaxima bei Aufnahme der Temperaturkurven bei allen untersuchten Leuchtstoffen, ausser bei Zn_2SiO_4 , $ZnBeSiO_4$ und $MgWO_4$. Während $MgWO_4$ bis etwa 30 °C eine annähernd konstante Leuchtdichte aufweist, die dann nach höheren Temperaturen stark abfällt (bei 100 °C nur noch etwa 60 %), fällt die Leuchtdichte bei Zn_2SiO_4 :Mn und $ZnBeSiO_4$:Mn von — 173 °C mit steigender Temperatur monoton ab. Dabei ist Willemit (Zn_2SiO_4 :Mn) von allen, von den Verfassern untersuchten Phosphoren derjenige mit der geringsten Temperaturabhängigkeit. Ein sehr interessanter Leuchtstoff ist das Mn-dotierte (0,5 % Mn) Kadmiumborat. Dessen Temperaturverlauf ähnelt einer sehr schmalen Glockenkurve mit kleiner Halbwertbreite (nur etwa 250 °C). Die Temperaturkurven der einzelnen Phosphore unterscheiden sich am meisten im Tieftemperaturbereich. Der optimale Temperaturwert ändert sich sehr stark mit dem Leuchtstoff.

Bei den bisher angeführten Ergebnissen wurde stets als Anregungsenergie UV-Licht verwendet. Über das Temperaturverhalten einiger Leuchtstoffe bei Elektronenstrahlanregung liegt eine Arbeit von *H. A. Klasens und A. Bril* [7] vor. Sie untersuchten die Fluoreszenzausbeute (Verhältnis der Lichtenergiedichte zur Stromdichte des auftreffenden Elektronenstrahls) von $MgWO_4$, $CaWO_4$, $CaMgSiO_3$:Ti, $2(ZnO \cdot BeO)SiO_2$:Mn, Zn_2SiO_4 :Mn, ZnS :Zn (Cl) und ZnS :Ag (Cl) in Abhängigkeit von der Temperatur. Sie fanden bei beiden Zinksulfiden einen recht starken Abfall, die Fluoreszenzausbeute sinkt zwischen 150 und 200 °C praktisch auf 0 ab. Bei ca. 70 °C hat die Leuchtdichte von ZnS :Ag ein Maxi-

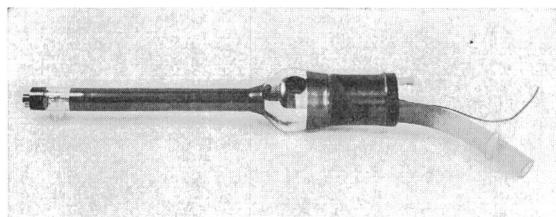


Fig. 2
Gesamtansicht der Versuchsröhre

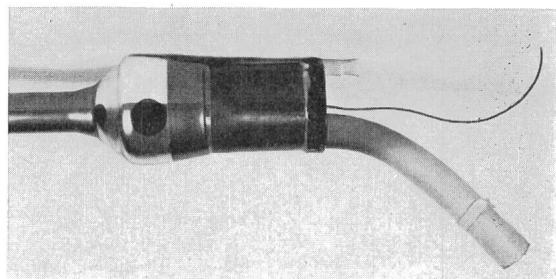


Fig. 3
Schirmteil der Versuchsröhre

mum. Bei allen anderen Leuchtstoffen wurde kein Maximum beobachtet. Sie zeigen einen monotonen Abfall der Lichtausbeute mit steigender Temperatur. Allerdings beschränkten sich die Messungen auf den positiven Temperaturbereich. Einen starken Temperatureffekt zeigten auch $CaWO_4$ und $MgWO_4$, bei 200 °C ist die Leuchtdichte praktisch 0. Die weitaus schwächste Temperaturabhängigkeit zeigte Willemit.

4. Versuchsanordnung und -durchführung

Die untersuchten Leuchtstoffe wurden in einer Versuchsröhre angebracht (Fig. 2 und 3) und mit Elektronenstrahlen angeregt. Fig. 2 zeigt die Gesamtansicht der Versuchsröhre, Fig. 3 den Schirmteil. Der Elektronenstrahl wird von einem Monitorstrahlsystem (Triode) erzeugt, die Anode ist eine Collagschicht im Röhrenhals, die im Röhrenkonus und in der Bildkappe durch eine Aluminiumschicht ersetzt wurde. Allerdings ist in der Nähe der Leuchtschirmschicht in der Bildkappe wieder ein Collagring angebracht, um zu vermeiden, dass Aluminium auf die Leuchtstoffschicht aufdampft. An dem Bildteilzylinder ist ein Vacovittopf angeschmolzen. Auf dessen Kathodenseite wurde der zu untersuchende Leuchtstoff aufsedimentiert. Die Schichtdecke betrug etwa 0,1 mm. In den Metalltopf wurde die Heiz- oder Kühlflüssigkeit (Wasser, flüssiges Paraffin) gegossen. Im Al-Anodenbelag sind zwei Fenster, durch das eine tritt das zu messende Lumineszenzlicht aus; das zweite Fenster dient zur Beobachtung des vom Elektronenstrahl geschriebenen Rasters (Grösse und Schärfe desselben). Die Fokussierung und Ablenkung des Elektronenstrahls erfolgt magnetisch, der Röhrenhals steckt in einem Fokussier- und Ablenkspulensystem.

Der Elektronenstrahl schreibt auf dem Leuchtschirm einen Raster, dessen Grösse konstant gehalten wurde (45 × 60 mm). Das Raster wurde ohne Strahlauastastung, also mit Rücklauf geschrieben. Der Strahlstrom — ein Gleichstrom — wird in der Kathodenleitung gemessen, wobei die Rasterschärfe stets optimal sein muss. Die Temperaturmessungen erfolgten mit einem Fe-Ko-Thermoelement, dessen eine Lötstelle in Eiswasser getaucht wurde, während die zweite in inniger Berührung mit dem Boden des Vacovittopfes war, um die Temperaturdifferenz zwischen der Messstelle des Thermoelementes und der Leuchtstoffschicht minimal zu halten. Der Topfboden war 1 mm dick. Um den Einfluss dieser Temperaturabweichung zu eliminieren, wurden die Messreihen meist reversibel durchgeführt. Die Messwerte unterschieden sich bei zunehmender und abnehmender Temperatur nur wenig. In den Kurven der Fig. 4...14 sind stets Mittelwerte dargestellt.

Das Lumineszenzlicht wurde mit einem Selenphotoelement gemessen, und zwar nur die relative Helligkeit des

Leuchtstoffes und deren Temperaturabhängigkeit. Aus diesem Grund brauchte die spektrale Empfindlichkeit des Photoelementes nicht berücksichtigt zu werden. Natürlich sind die Photoströme der verschiedenen Leuchtstoffe nicht vergleichbar. Die Änderung der spektralen Emissionsverteilung der Leuchtstoffe mit der Temperatur [5] bzw. die damit verbundene Änderung der Empfindlichkeit des Photoelementes entsprechend dessen spektraler Empfindlichkeitsverteilung wurde vernachlässigt. Bei den Messungen wurden der Strahlstrom und die Anodenspannung variiert, beide treten als Kurvenparameter auf. Bei der Angabe der Anodenspannung wurde ein Fehler gemacht, dessen Größe leider nicht ohne Aufwand abgeschätzt werden kann. Da die Leuchtstoffschicht nicht mit einer Metallschicht (Al) hinterlegt werden kann wie bei kommerziellen Röhren, wird die kathoden-seitige Oberfläche der Leuchtstoffschicht beim Elektronenbeschuss, weil hier Sekundärelektronen emittiert werden, auf ein positives Potential aufgeladen. Diese Elektronen bauen eine Raumladung vor dem Schirm auf und setzen die effektiv

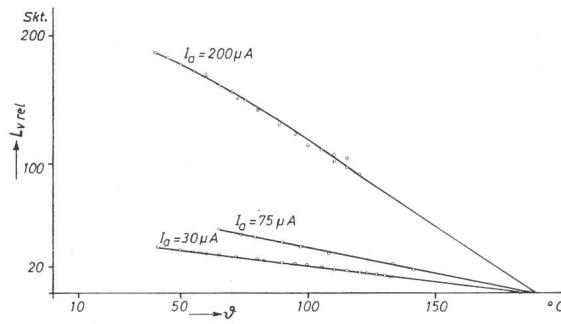


Fig. 4
Temperaturabhängigkeit der relativen Leuchtdichte $L_{v \text{ rel}}$ von ZnO:Zn
Strahlstrom I_a als Parameter
Anodenspannung 15 kV; θ Temperatur; Skt. Skalenteilung

wirksame Anodenspannung herab, entsprechend der Gleichung:

$$U_{\text{eff}} = U_a - K_2 \cdot f(U_a)$$

U_a Anodenspannung, $K_2 \cdot f(U_a)$ Gegenfeld

Dieser Raumladungseffekt ist charakteristisch für nicht-metallhinterlegte Leuchtschirme. Es ist ja ein wesentlicher Vorteil der Leuchtschirme mit Al-Haut, dass für ein definiertes Schirmpotential gesorgt wird. Die Messungen zeigen aber, dass die Anodenspannung zwar einen quantitativen aber keinen qualitativen Einfluss auf den Temperaturverlauf der Leuchtdichte hat. Aus diesem Grund ist diese Abweichung nicht sehr interessant, zumal die angegebenen Leuchtdichtewerte nur relative Größen sind.

5. Messergebnisse

5.1 Hexagonales ZnO:Zn [P 15] vom Leuchtstoffwerk Heidelberg. Zinkoxyd ist der Leuchtstoff der Abtaströhre, er leuchtet blaugrün und zeichnet sich durch eine extrem kurze Abklingzeit aus (etwa 10^{-6} s). Fig. 4 zeigt den Temperaturverlauf bei einer festen Anodenspannung (15 kV) und verschiedenen Strahlströmen. Daraus ist ersichtlich, dass die Leuchtdichte praktisch linear und recht steil mit zunehmender Temperatur fällt. Der Kurvengradient wächst mit dem Strahlstrom.

In Fig. 5 ist der Temperaturverlauf der Leuchtdichte bei konstantem Strahlstrom ($I_a = 30 \mu\text{A}$) und variabler Anoden-

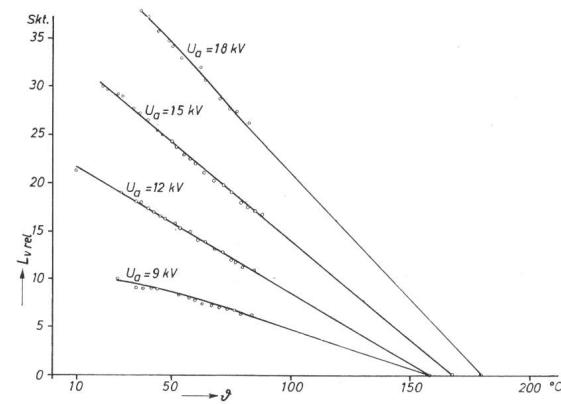


Fig. 5
Temperaturabhängigkeit der relativen Leuchtdichte $L_{v \text{ rel}}$ von ZnO:Zn
Anodenspannung U_a als Parameter
Strahlstrom $I_a = 30 \mu\text{A}$; θ Temperatur

spannung U_a dargestellt. Auch diese Kurven zeigen die lineare Abnahme der Leuchtdichte und einen wachsenden Kurvengradienten mit steigender Anodenspannung.

5.2 Kubisches ZnS:Ag [S 1 blau 1] vom Leuchtstoffwerk Heidelberg. Die Silberdotierung liegt bei ungefähr 0,01 %. ZnS:Ag leuchtet blau und wird für Aufzeichnungsrohren verwendet. Er zeichnet sich durch eine grosse Fluoreszenzausbeute aus und ist einer der hellsten Leuchtstoffe. Die Messergebnisse sind in Fig. 6 wiedergegeben. Im Gegensatz zu den bisher veröffentlichten Arbeiten über ZnS:Ag nimmt die Leuchtdichte bis 150 °C keineswegs stark ab. Es wurden Maxima festgestellt, die allerdings nur schwach ausgeprägt sind. Sie liegen bei 120...130 °C, und ihre Lage scheint von der Anodenspannung abhängig zu sein, in dem Sinn, dass sie sich mit steigender Anodenspannung nach höheren Temperaturen hin verschieben. Der Tieftemperaturbereich ist gekennzeichnet durch praktisch konstante Leuchtdichte bis 0 °C. Dieses, von den bisherigen Erkenntnissen abweichende Verhalten wurde durch eine Untersuchung von Subscreen-Röhren mit verschiedenen Schirmen, die anschliessend beschrieben wird, indirekt bestätigt.

5.3 Willemit-Zn₂SiO₄:Mn [P1] auch vom Leuchtstoffwerk Heidelberg. Die Mangandotierung liegt bei 0,3...1 %. Dieser Leuchtstoff wird in den Normwandlerröhren verwendet. Das Temperaturverhalten der relativen Leuchtdichte zeigt Fig. 7 bei zwei verschiedenen Anodenspannungen

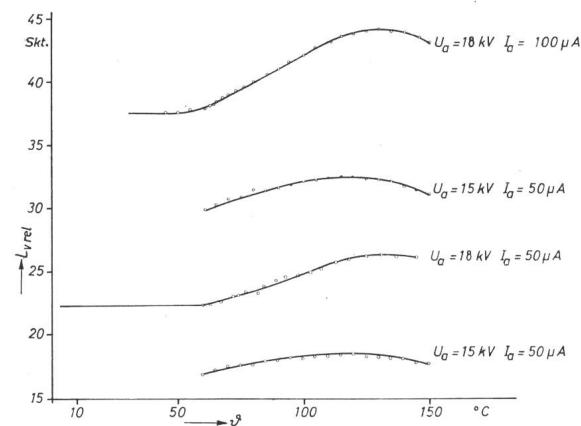


Fig. 6
Temperaturabhängigkeit der relativen Leuchtdichte $L_{v \text{ rel}}$ von kubischen ZnS:Ag
 θ Temperatur

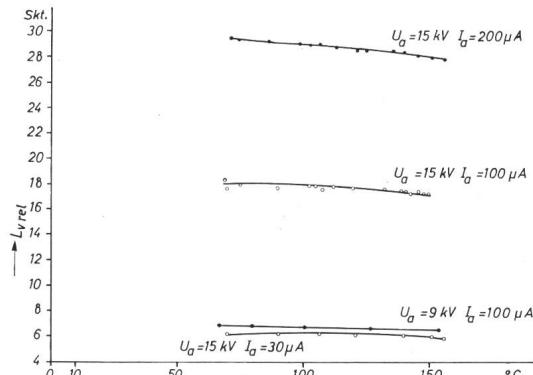


Fig. 7
Relative Leuchtdichte L_v rel von Willemit (Zn_2SiO_4 :Mn) in Abhängigkeit von der Temperatur θ

(9 und 15 kV) und bei 30, 100 und 200 μ A Strahlstrom. Im Einklang mit schon früher veröffentlichten Messergebnissen ändert sich bis 150 °C die Leuchtdichte nur sehr wenig. Nach *Bril* und *Klasens* ist mit einem merklichen Temperatureffekt erst über 200 °C, und mit einem starken erst über 300 °C zu rechnen.

5.4 $ZnCdS:Ag$ [Orange 54010] von der Firma Riedel de Haen. Der untersuchte Leuchtstoff besteht aus 35 Gewichts-% ZnS und 65 Gewichts-% CdS. Er ist eine der Leuchtstoffkomponenten in der Mischfarbe Fernseh-Weiss, die aus 57 % ZnS:Ag und 43 % $ZnCdS:Ag$ besteht. Der Leuchtstoff $ZnCdS:Ag$ allein wird in Farbbildröhren verwendet. Wie Fig. 8 zeigt, ist der Temperaturverlauf der Leuchtdichte von $ZnCdS:Ag$ dem von $ZnO:Zn$ (s. Fig. 4) ähnlich. Bei Temperaturen über 200 °C ist die Lichtintensität praktisch auf Null abgesunken. Das Maximum liegt bei etwa 50 °C.

Zusammenfassend kann man zu dem Problem der Erhöhung der Lichtausbeute durch Kühlung des Schirms sagen, dass eine solche Kühlung bei Abtaströhren (ZnO -Schirm) die Lichtausbeute sicher steigern würde. Man könnte die Schwierigkeiten, die ein Kühlen des Schirmteils der Röhre mit sich bringt, etwa dadurch eliminieren, dass man Aufsichtsröhren baut, die in groben Zügen der Versuchsröhre (Fig. 2 und 3) ähnlich sind. Bei ihnen wird das Raster von der Kathodenseite aus betrachtet. Der Leuchtschirm würde dann auf einer Metallunterlage aufgebracht, wobei man die optimale Leuchtstoffschichtdicke bestimmen muss. Sie darf nicht zu klein sein, damit sämtliche Elektronen des Strahls im Phosphor

absorbiert werden und nicht etwa Elektronen durch die Schicht durchdringen und ihre Energie dem Leuchtstoff vorerhalten bleibt. Die Leuchtstoffschicht darf aber auch nicht zu dick sein, damit sie das von der Metallscheibe reflektierte Fluoreszenzlicht nicht zu stark absorbiert. Das Reflexionsvermögen der Metallscheibe kann man durch eine aufgedampfte Al-Schicht noch erhöhen. Diese hätte auch den Vorteil, dass sie die Leuchtstoffschicht von der Metallschicht trennt und so verhindert, dass Metallatome in die Phosphorschicht diffundieren und sie vergiften. Die Art des Metalls richtet sich nach dem verwendeten Glas der Röhre, da man die Metallplanscheibe oder den Metalltopf vakuumdicht mit dem Glaszylinder der Röhre verbinden muss. Das an der

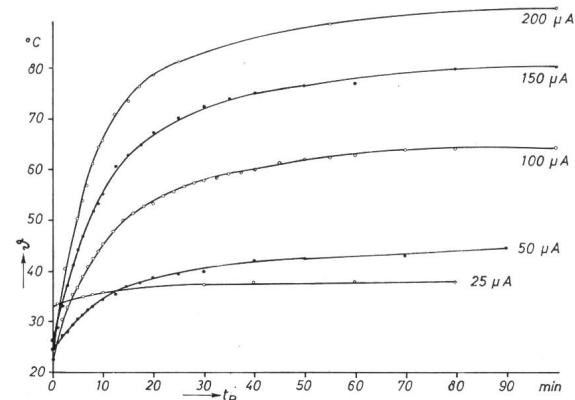


Fig. 9
Temperaturverlauf in der Planscheibe der 30-kV-Aufzeichnungsröhre in Funktion der Brenndauer t_B
Anodenspannung $U_a = 30$ kV; θ Temperatur

Metallscheibe reflektierte Licht braucht man auf alle Fälle, um in der Helligkeit mit den metallhinterlegten Durchsichtsröhren überhaupt konkurrieren zu können. Man könnte auch auf die Metallscheibe verzichten und die Röhre wie bisher ganz aus Glas fertigen. Dann müsste aber auf die Kathodenseite der Glasplanscheibe eine hinreichend dicke reflektierende Al-Schicht aufgedampft werden. Diese Lösung hat den Vorteil, dass die Herstellung der Röhre einfacher ist, da die Metall-Glasverbindung fortfällt. Sie hat aber den Nachteil der schlechteren Kühlung des Leuchtstoffes, der jetzt auf einer etwa 4 mm dicken Glasscheibe liegt statt auf einer 1 mm dicken Metallscheibe. Mit der Aufsichtsröhre würden sich auch zwei Probleme, die bei der Durchsichtsröhre auftreten, von selbst lösen: der Reflexionslichthof²⁾ wäre beseitigt und der Einbrenneffekt³⁾ stark geschwächt, wenn nicht überhaupt unterdrückt. Die Beseitigung des Lichthofes bedeutet eine Detailkontrasterhöhung. Da der Einbrenneffekt oft die Lebensdauer der Röhre bestimmt (wenn nämlich, bedingt durch die abnehmende Transparenz der Planscheibe, die Leuchtdichte zu klein wird), bedeutet die Abschwächung bzw. Beseitigung des Einbrennens eine Erhöhung der durchschnittlichen Lebensdauer. Da in die Glasplanscheibe genau das eingestellte Raster einbrennt, kann man nach einigen Stunden die Rasterfläche nicht mehr variieren, im Gegenteil, man muss genau darauf achten, dass das vom Elektronenstrahl geschriebene Raster sich mit dem eingebrennten deckt. Auch dieser Nachteil fällt bei Aufsichtsröhren weg. Bei Ver-

²⁾ Totalreflexion beim Übergang Glas – Luft des Lumineszenzlichtes.

³⁾ Bräunung der Glasplanscheibe durch Elektronen- und vor allem Röntgenstrahlen. Diese bedingt eine Abnahme der Transparenz der Planscheibe, daraus das Absinken der Leuchtdichte im Verlaufe der Lebensdauer resultiert.

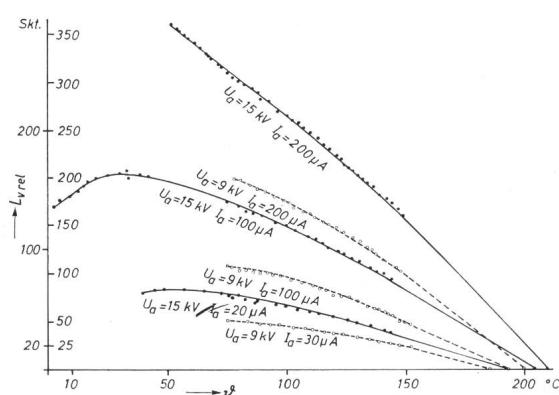


Fig. 8
Temperaturabhängigkeit der relativen Leuchtdichte L_v rel von $ZnCdS:Ag$
 θ Temperatur

wendung von ZnCdS:Ag als Leuchtstoff würde man durch Kühlung auch eine Helligkeitssteigerung erreichen. Unnötig ist die Kühlung bei Aufzeichnungsrohren (ZnS:Ag-Schirm) und Normwandlerröhren (Willemitschirm).

Durch den Elektronenbeschuss wird die Phosphorschicht erwärmt, ein Grossteil der Elektronenenergie wird in Wärme umgewandelt, nur ein kleiner Teil in Licht. Interessant ist nun die Frage nach der Höhe der Temperatur in der Leuchtschicht während des Betriebes der Röhren. Zur Untersuchung dieser Frage wurde in die Mitte der Planscheibe einer 30-kV-Aufzeichnungsrohre VBP1010B ein kreisrundes Loch (Durchmesser 2 mm, Tiefe 2 mm) gebohrt. In das Loch wurde die Lötstelle eines Fe-Ko-Thermoelementes eingekittet und die Thermospannung während des Röhrenbetriebs mit einem Kompensator gemessen. Die Höhe der Raumtemperatur wurde durch ein Korrekturglied berücksichtigt. Fig. 9 zeigt die gemessene Temperatur in Funktion der Brenndauer der Röhre bei verschiedenen Strahlströmen. Die Röhre wurde mit 30 kV Anodenspannung und ohne Austastung betrieben. Die Grösse des Rasters betrug 75×50 mm. Die Kurven zeigen zunächst einen raschen Temperaturanstieg, der sich später

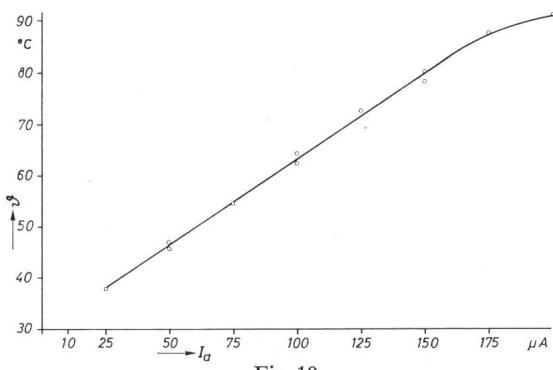


Fig. 10
Gleichgewichtstemperatur ϑ in Abhängigkeit vom Strahlstrom I_a
Anodenspannung = 30 kV

verlangsamt bis er schliesslich einen stationären Endwert, die Gleichgewichtstemperatur, erreicht. Diese ist dadurch charakterisiert, dass sich die vom Elektronenstrahl zugeführte Wärmeenergie jener der durch Strahlung und Leitung abgeführten entspricht. Die Höhe der Gleichgewichtstemperatur ist vom Strahlstrom abhängig. Fig. 10 zeigt, dass die Abhängigkeit für nicht zu grosse Strahlströme fast linear ist. Die Temperaturkurven sind sehr gut reproduzierbar ($\pm 3\%$). Fig. 11 stellt die Abhängigkeit des Temperaturverlaufes von der Rastergrösse bei einem konstanten Strahlstrom von

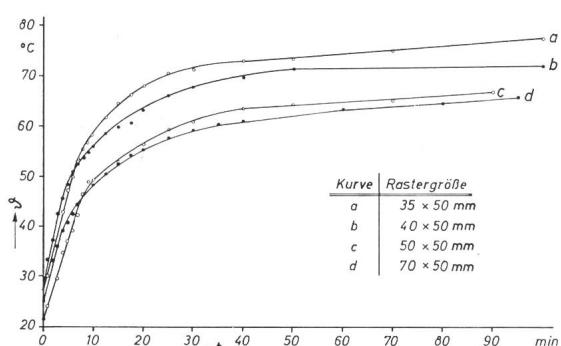


Fig. 11
Einfluss der Rastergrösse auf den Temperaturverlauf
Strahlstrom $I_a = 100 \mu A$; Anodenspannung $U_a = 30$ kV;
 ϑ Temperatur; t Zeit

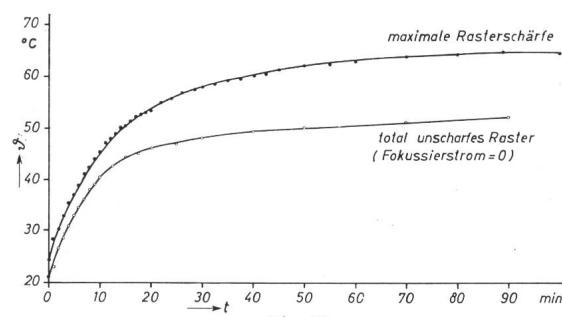


Fig. 12
Einfluss der Bildschärfe auf den Temperaturverlauf
Rastergrösse 75×50 mm
Weitere Bezeichnungen siehe Fig. 10

100 μA dar. Mit zunehmender Rasterfläche sinkt die Gleichgewichtstemperatur, da die Flächenbelastung abnimmt. Auch diese Messungen wurden bei maximaler Rasterschärfe durchgeführt. Fig. 12 zeigt, dass auch die Rasterschärfe einen Einfluss auf den Temperaturverlauf hat. Die Gleichgewichtstemperatur ist bei total unscharfem Raster (Fokussierstrom = 0) wesentlich niedriger als bei maximaler Strahlshärfe. Diese ist durch die minimale Schirmhelligkeit festgelegt, da die Röhre bei den Betriebsbedingungen im Sättigungsgebiet des Phosphors arbeiten. Mit abnehmender Strahlshärfe nimmt bei konstantem Strahlstrom die Strahlstromdichte ab. Dadurch werden mehr Elektronen im Leuchtstoff angeregt und ein kleinerer Teil der auftreffenden Energie wird in Wärme umgewandelt.

Die gemessenen Temperaturwerte geben die Temperatur in der Planscheibe an, die entsprechenden Werte in der Leuchtschicht werden etwas höher sein, da zwischen der Meßstelle und der Phosphorschicht 2 mm Glas ist. Der qualitative Verlauf der Kurven sollte aber der gleiche sein. Dies beweisen auch analoge Untersuchungen an einer Vacovittopfröhre, bei der nur eine 1 mm dicke Metallscheibe der Leuchtschichtträger ist (Fig. 13).

Beide Untersuchungen, einmal die der Temperaturabhängigkeit der Leuchtdichte verschiedener Leuchtstoffe und zum anderen die Messung der Erwärmung des Phosphors durch Elektronenbeschuss beim Betrieb der Röhren werden zusammengefasst durch die Beantwortung der Frage nach dem Einfluss der Erwärmung der Röhre im Betrieb auf die Leuchtdichte. In Fig. 14 sind die Ergebnisse aufgezeichnet. Die Leuchtdichte wurde mit einem Selen-Photoelement gemessen, die Photoströme mit einem Strom-Spannungsschreiber aufgezeichnet. Die Röhren wurden bei 30 kV Anodenspannung und 150 μA Strahlstrom — also einen recht hohen Wert — betrieben. Die Leuchtdichte der normalen Aufzeichnungsrohre VBP1010B (ZnS:Ag-Schirm) ändert sich während des Betriebes, trotz der Erwärmung des Schirmes nicht. Das

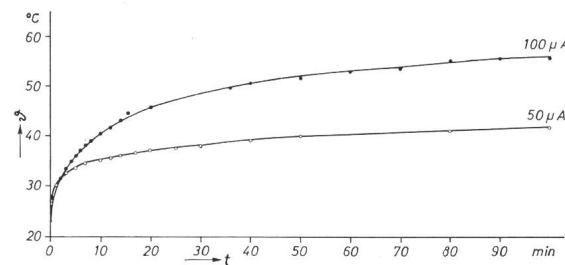


Fig. 13
Temperatur ϑ der mit ZnS belegten Vacovitscheibe in Abhängigkeit von der Betriebsdauer t
Anodenspannung $U_a = 18$ kV

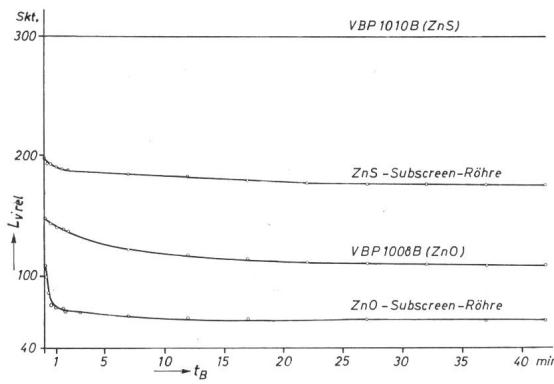


Fig. 14
Leuchtdichte $L_{v\text{ rel}}$ in Abhängigkeit von der Brenndauer t_B der Röhren
 $U_a = 30 \text{ kV}; I_a = 150 \mu\text{A}$

erwartet man auch nach den Ergebnissen der Temperaturabhängigkeit der Leuchtdichte. Die Schirmhelligkeit der normalen Abtaströhre VBP1008B (ZnO:Zn-Schirm) sinkt im Laufe der Brenndauer der Röhre auf etwa 75 % des Ein-

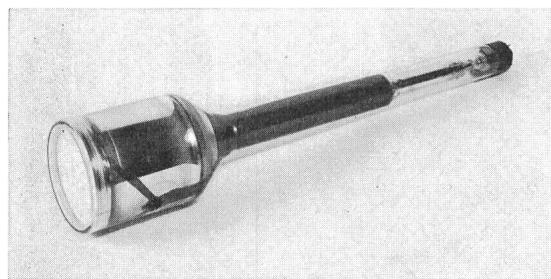


Fig. 15
Subscreen-Röhre (30 kV)

Die Gleisbildstellwerke «Nof» und «Nwf» im Hauptbahnhof von Neunkirchen (Saar)

Von H. Steinfeld, Saarbrücken

Nach einem Überblick über die Entwicklung der Bahnhofsgestaltung in den letzten Jahren, bedingt durch seine Lage im Grubensenkungsgebiet, der derzeitigen betrieblichen Verhältnisse und der bisherigen Stellwerkanlagen schildert der Verfasser die Gründe, die zur Erneuerung der Signalanlagen geführt haben. Er beschreibt die Vorteile und den Aufbau der Spurplanteknik und ihre Ausgestaltung für den Anwendungsfall Neunkirchen. Des weiteren zeigt er ein Verfahren zur automatischen Prüfung der Programmstecker, das in Neunkirchen zum ersten Male versuchsweise in Anwendung kam. Nach Einführung dieses Verfahrens kann die gesamte Prüfung der Spurplanstellwerke automatisch erfolgen.

1. Geographische und betriebliche Lage

Der Hauptbahnhof Neunkirchen (Saar) liegt an der Strecke Bingerbrück–Saarbrücken–Stieringen (Metz). Er nimmt ferner die Strecken Homburg–Neunkirchen, Saarbrücken–Wemmetsweiler–Neunkirchen (Fischbachbahn)–Neunkirchen–Heinitz, sowie die Anschlussbahnen der Gruben König und Kohlwald und des Neunkircher Eisenwerks auf (Fig. 1).

Neunkirchen ist als Bahnhof ein Ausnahmegebilde. Durch die örtlichen Verhältnisse bedingt, gliedert er sich in 3 Betriebsbezirke: in den Saarbrücker-, den Pfalz- und den Naheflügel. Durch den Engpass Bliesbrücke ist der Saarbrücker Flügel mit den beiden anderen Flügeln verbunden.

schaltwertes. Bei den eingangs schon erwähnten Subscreen-Röhren (Fig. 15 zeigt eine solche) wirkt sich die Schirmaufheizung durch den Elektronenstrahl in stärkerem Masse aus, da die Gleichgewichtstemperaturen höher sind. Der Leuchtdichteabfall bei der ZnS-Subscreen-Röhre beträgt etwa 10 %, bei der ZnO-Subscreen-Röhre hingegen ungefähr 40 %. Die Messungen sind eine qualitative Bestätigung des vorher über das Temperaturverhalten der Leuchtdichte von ZnS:Ag und ZnO:Zn Gesagten.

Literatur

- [1] N. Riehl: Physik und technische Anwendung der Luminiszenz. Berlin, Springer-Verlag, 1941.
- [2] W. Finkelnburg: Einführung in die Atomphysik. 10. Auflage. Berlin, Springer-Verlag 1964.
- [3a] F. Möglich und R. Rompe: Über die Energieumwandlung in Kristallphosphoren. Physikalische Ztschr. 41(1940)9/10, S. 236...242.
- [3b] F. Möglich und R. Rompe: Über die Anregung von Kristallphosphoren durch Korpuskularstrahlen. Physikalische Ztschr. 41(1940)23/24, S. 552...555.
- [4] J. T. Randall: The Effects of Temperature on the Intensity of Fluorescence of some Impurity Solids. Proc. Physical Soc. 49(1937)274, S. 46...56.
- [5] F. J. Studer und L. Gaus: Effect of Temperature on the Spectral Energy Distribution of several Phosphors. in: American Physical Society, Division of Electron Optics: Preparation and Characteristics of Solid Luminescent Materials. Symposium held at Cornell University, Oct. 24...26, 1946. New York, John Wiley 1948.
- [6] L. Thorington: The Influence of Temperature upon Intensity of Luminescence of various Phosphors. in: American Physical Society, Division of Electron Optics: Preparation and Characteristics of Solid Luminescent Materials. Symposium held at Cornell University, Oct. 24...26, 1946. New York, John Wiley 1948.
- [7] A. Bril und H. A. Klasens: Die Ausbeute der Fluoreszenz von Kathodenstrahlröhren. Philips techn. Rdsch. 14(1953)12, S. 398...408.

Adresse des Autors:

Joachim Vobian, Dipl.-Physiker, Taunusstrasse 5, D - 6101 Braunshardt bei Darmstadt.

625.275

Après un aperçu de l'évolution des gares au cours des années dernières; évolution motivée dans le cas particulier par la position de cette gare dans la région de dépression minière, l'auteur décrit les conditions d'exploitation actuelles et les postes de manœuvre existant, puis explique les raisons qui ont déterminé le renouvellement des installations de signalisation. Il décrit les avantages et la conception d'une technique des schémas de voies et son équipement dans le cas particulier de Neunkirchen. L'auteur présente en outre un procédé servant à l'essai automatique des fiches de programmation, appliquée la première fois à titre d'essai à Neunkirchen. Après introduction de ce procédé, tous les essais se rapportant aux postes de manœuvre avec schémas de voies peuvent s'effectuer automatiquement.

Der Saarbrücker Flügel des Bahnhofs Neunkirchen liegt ganz im Grubensenkungsgebiet. Aus Sicherheitsgründen für das Neunkircher Eisenwerk und zur Erhaltung der Vorflut der Blies findet unter der Bliesbrücke in km 121,200 der Strecke Bingerbrück–Stieringen kein Kohleabbau statt. Eine Absenkung der Bliesbrücke bedingt durch diesen Abbau tritt nicht ein, sie kommt nur in den Randbereich der Abbaueinwirkungen zu liegen.

Der westliche Teil (Saarbrücker Seite) der ebenfalls über die Bliesbrücke führenden Kreuzungsbauwerke zur Unterführung der Sulzbach- und Fischbachstrecke und ihrer westlichen Voreinschnitte mit hohen Betonstützmauern waren erheblichen Abbaueinwirkungen unterworfen.