

Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber: Association suisse des électriciens
Band: 37 (1946)
Heft: 21

Artikel: Die neue Beleuchtungsanlage im Kunstmuseum Luzern
Autor: Hodel, R. / Schneider, E.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1057356>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 26.04.2025

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

entrepris dans divers pays durant la guerre, où une coordination des efforts était presque impossible par manque de contact entre les services techniques intéressés. L'Administration suisse des téléphones en aidant à développer le système de signalisation à une fréquence vocale décrit a pu apporter sa contribution à la solution du problème.

Comme cette importante question est à l'ordre du jour d'une réunion internationale ayant lieu en Suisse, il a semblé intéressant de rappeler les données et les difficultés techniques du problème et d'indiquer la solution à laquelle on s'est ralliée chez nous.

Adresse de l'auteur:

H. Jacot, Ingénieur, Wabernstrasse 55, Berne.

Die neue Beleuchtungsanlage im Kunstmuseum Luzern

Von R. Hodel, Luzern, und E. Schneider, Basel

628.973 : 727.6

Anlässlich der Ausstellung italienischer Kunst aus der Sammlung der Ambrosiana in Mailand entschloss sich die Leitung des Kunsthauses Luzern, die Ausstellungsräume mit einer künstlichen Beleuchtung auszurüsten. Der Artikel befasst sich mit der elektrischen und lichttechnischen Installation. In zahlreichen Diagrammen werden die erzielten Resultate graphisch veranschaulicht, und eine Auswahl photographischer Aufnahmen bei Tageslicht und bei künstlicher Beleuchtung zeigt die grossen Vorzüge der neuen Installation.

A l'occasion de l'Exposition d'art italien de la collection de l'Ambrosiana de Milan, la direction du Musée des Beaux-Arts de Lucerne décida d'installer l'éclairage électrique dans les salles d'exposition. M. Hodel décrit dans cet article les installations électriques et d'éclairage. Les résultats obtenus sont présentés par de nombreux diagrammes, tandis que plusieurs photographies prises de jour et à l'éclairage artificiel montrent les grands avantages de la nouvelle installation d'éclairage.

Der Wunsch, die Räume des Kunstmuseums Luzern zweckmässig zu beleuchten, tauchte erstmals anfangs 1937 auf. Damals sollte die Anlage so vorgesehen werden, dass die künstliche Beleuchtung sowohl für ihren Hauptzweck, nämlich für die Gemäldegalerie, als auch zur Abhaltung grosser Kongresse in diesen Räumen genügen würde.

Im Jahre 1942/43 wurde das Projekt erneut aufgegriffen, jedoch nicht weiter verfolgt, da die Kosten nicht aufgebracht werden konnten. Das gleiche Schicksal drohte dem letzten Projekt vom Juni 1946, als man aus Anlass der Ausstellung italienischer Kunst aus dem Besitz der Ambrosiana Mailand an eine neue Beleuchtungsanlage dachte. Der Besuch dieser Ausstellung ergab aber ein derart günstiges Ergebnis, dass dem Elektrizitätswerk der Stadt Luzern anfangs August der Auftrag zur Durchführung einer provisorischen Beleuchtung erteilt wurde, mit der Bedingung, die Arbeiten bis Mitte August beendigt zu haben.

Zur Verfügung standen zehn Nächte. Die bereits eröffnete Ausstellung erforderte während der Nachtzeit besondere Vorsichtsmassnahmen. Maurer- und Spitzarbeiten mussten unterbleiben; die ganze Anlage musste sich der vorhandenen Architektur anpassen. Die folgende Veröffentlichung zeigt, wie durch exakte Anwendung und Beherrschung der lichttechnischen Mittel und durch persönlichen Einsatz der Beteiligten während einer Zeitspanne von nur rund 1000 Nachtarbeitsstunden (innert zehn Tagen) eine schwere Aufgabe nach dem Urteil der kompetenten Fachleute hervorragend gelöst wurde. Die Aufgabe selbst war nicht leicht, zählte aber für den Fachmann zu den reizvollsten.

Wir werden bei einem Gang durch das Museum die wesentlichen Merkmale der Grundidee, nämlich die *Schwerpunktverlagerung nach der Vertikalen*, also die Bevorzugung der vertikalen gegenüber der horizontalen Beleuchtungsstärke, eingehend an Beispielen erläutern. Die Raumaufnahmen, welche die Wirkung bei Tageslicht der bei künstlichem Licht gegenüberstellen, sowie die maßstäblichen Licht-

kurven in Schnitt und Perspektive der künstlichen Beleuchtung sollen den Beweis erbringen, dass sich die Grundidee, die konsequent durchgeführt wurde, als richtig erwies.

Es steht heute fest, dass die im allgemeinen übliche Beleuchtung von Ausstellungsräumen bei Tag durch Oberlicht nicht voll befriedigt, da dabei nur die Lichtstromkomponente parallel zur Wandfläche, also die horizontale Beleuchtungsstärke, bevorzugt ist, während die Vertikalkomponente, also die Aufhellung der Bildwände, vernachlässigt bleibt. Erst die Resultate der künstlichen Beleuchtung zeigen, dass auch bei der Tagesbeleuchtung der umgekehrte Weg beschritten werden sollte, indem die zu den Wänden vertikale Lichtstromkomponente zu forcieren wäre, und der Raum in der Horizontalebene nur eine leichte Aufhellung erhalten soll, die geringer sein muss, als die Aufhellung in der Vertikalebene. Dass die Vermeidung jeglicher Reflexe oder Ueberschleierungen bei dieser Beleuchtung Grundbedingung ist, bedarf keiner weiteren Erwähnung. Um dies aber bei künstlicher Beleuchtung sicher zu erreichen, ist erforderlich, dass nur gerichtetes Licht verwendet wird. Im vorliegenden Fall wurden durchwegs optisch einwandfrei konstruierte, hochwertige Glassilberspiegel-Reflektoren verwendet, deren präzise Reflexion bekannt und unerreicht ist. Nur auf Grund der genauen Kenntnisse der Verwendung dieser Spiegelreflektoren und ihrer Lichtkurven war es möglich, dass in der kurzen zur Verfügung stehenden Zeit die Montage direkt auf Grund theoretischer Erwägungen durchgeführt werden konnte; es bestand keine Möglichkeit, vorher durch Beleuchtungsproben die einzelnen Probleme experimentell abzuklären. Von irgendwelchen Versuchen mit Mischlicht wurde von vornherein Abstand genommen, um jede Farbverzerrung durch starke violette Komponenten zu vermeiden. Die Urteile aller Fachexperten und massgebenden Stellen, die die künstliche Beleuchtungsanlage zu begutachten Gelegenheit hatten, gaben uns in dieser Hinsicht recht und bestätigen die Tatsache immer wieder, dass sich die

Ausstellung bei künstlicher Beleuchtung besser präsentiere als bei Tag.

Der Aufgabe entsprechend, die künstliche Beleuchtung für die Ausstellung würdig zu gestalten, mussten unter allen Umständen noch zwei Forderungen erfüllt werden:

1. Unbedingte Betriebssicherheit der elektrischen Einrichtungen,
2. Betriebstechnisch richtige Unterbringung der Schalt- und Bediengeräte.

Es war nicht leicht, diese Forderungen mit der zur Verfügung stehenden kurzen Zeit in Einklang zu bringen, sollten die Anlagen termingemäss fertiggestellt werden.

Um ein Bild vom Umfang der in dieser für eine derartige Verteilungsanlage sehr kurzen Montagezeit geleisteten Arbeit zu geben, sei erwähnt, dass rund 5 km Kabel und Leitungsdraht verlegt und 310 Beleuchtungskörper montiert werden mussten. Die Arbeiten erforderten grösste Vorsicht. Die Verlegung der Leitungen erfolgte grösstenteils in den vorhandenen Luftschächten und -kanälen. Das Kunstmuseum Luzern liegt im Nordtrakt des Kunsthauses, die Hauptverteilstation für elektrische Energie aber ist im Südtrakt untergebracht. Die grosse räumliche Trennung, die Forderung nach Sicherheit und Wirtschaftlichkeit führten zur Erkenntnis, dass die Verteilung der relativ grossen Leistung am erfolgreichsten mit dem verketteten Netz $3 \times 380/220$ Volt geschieht. Das für die Energieversorgung des Kunsthauses vorhandene Einphasennetz von 145 V konnte zufolge der grossen Entfernung, der grossen erforderlichen Leistung und nicht zuletzt aus Gründen der Betriebssicherheit nicht in Frage kommen.

Der Entschluss, die Energie dem vorhandenen Kraftnetz zu entnehmen, erforderte im Verteilraum des Kunsthaus-Südtraktes die Aufstellung eines Transformators für die Ueberführung des Dreiecknetzes in ein Sternnetz mit herausgeführtem Sternpunkt. Dank dem Entgegenkommen der Central-schweizerischen Kraftwerke wurde die Bereitstellung dieses nicht alltäglichen Transformators innert nützlicher Frist möglich.

Das für die Energieversorgung der Ausstellung gewählte Verteilsystem hat sich bewährt. Die erhofften Vorteile — grösste Sicherheit der Versorgung, beste Konstanzhaltung der Spannung bei symmetrischer Belastung und geringer Materialaufwand — wurden erreicht. Den grundsätzlichen Aufbau der elektrischen Verteilungsanlage zeigt Fig. 1.

Das Verhältnis der Verluste und Querschnitte zwischen dem vorhandenen 145-V-Einphasennetz und dem gewählten verketteten Drehstrom-Vierleiternetz $3 \times 380/220$ V beträgt $13,7 : 1$, d. h. beim Einphasensystem müsste der Querschnitt das 13,7-fache betragen, sofern gleiche Verluste wie beim Drehstrom-Vierleiternetz zugelassen werden. Es ist leicht ersichtlich, dass bei grossen räumlichen Ausdehnungen und hohen Leistungen nur ein Drehstrom-Vierleitersystem wirtschaftlich arbeiten kann.

Bei der Planung der Verteilungsanlage war zu berücksichtigen, dass die Symmetriehaltung, d. h. die glei-

che Phasenbelastung im verketteten Netz, Voraussetzung für eine gute, bei Glühlampen erforderliche Spannungshaltung ist. Deshalb wurden die Stromkreisleitungen als Drehstrom-Vierleiter verlegt und konnten so mit kleinen Querschnitten direkt zu den

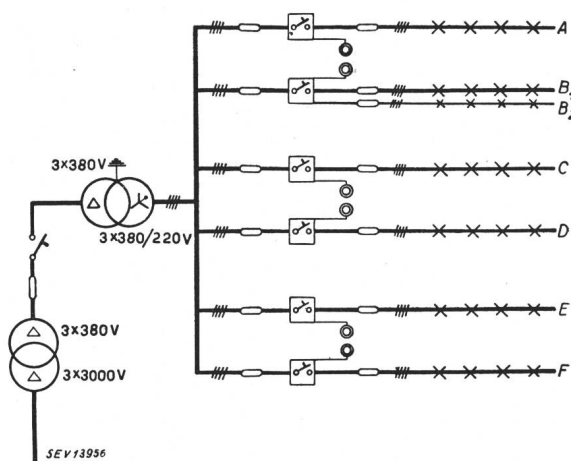


Fig. 1.

Prinzipschema der Verteilungsanlage

- Zweig A: West-Saal (18,6 kW)
- Zweig B₁: Vestibule (3,8 kW)
- Zweig B₂: Transparent (1 kW)
- Zweig C: grosser Oberlichtsaal (5,8 kW)
- Zweig D: Seekorridor-Nord (5,8 kW)
- Zweig E: Seekorridor-Ost (3,8 kW)
- Zweig F: Ost-Saal (16,8 kW)

Beleuchtungskörpern geführt werden. Diese Verteilung ergibt bei eventuellem Ausfall einer Phase eine erhöhte Betriebssicherheit.

Die drei Hauptverbrauchsgruppen sind:

I	II	III
West-Saal	grosser Oberlichtsaal	Seekorridor-Ost
Vestibule	Seekorridor-Nord	Ost-Saal
Transparent		

An diesen Stellen sind die Steuerglieder in je einer Schalttafel zusammengefasst. Zur Vereinfachung der Bedienung der gesamten Ausstellungs-Beleuchtung wurde eine zentrale Schaltmöglichkeit beim Eingang zur Ausstellung vorgesehen. Dort befinden sich die Steuerschalter, mit welchen über die Schützen der drei Verbrauchsgruppen die gewünschten Stromkreise eingeschaltet werden.

Um die elektrischen Einrichtungen möglichst unsichtbar zu halten und doch eine leichte Bedienung zu gewährleisten, wurden die Sicherungsgruppen und Schützenschalter jeder Verbrauchergruppe in je einer zugänglichen Ventilations-Schaltkammer untergebracht. Die alte — auf einigen Figuren ersichtliche — Linestra-Röhrenbeleuchtungsanlage (Einphasenstrom, 145 V) dient noch als Notbeleuchtung, da sie ja durch ein vom Kraftnetz 3×380 V unabhängig geführtes Zuleitungskabel gespeist wird.

Der West-Saal

Die Aufnahmen Fig. 2a und 2b zeigen deutlich die Charakteristik der Beleuchtungsart und geben einen Beweis, dass die theoretischen Ueberlegungen richtig waren. Bei Tag liegt der Schwerpunkt des Lichts in der Saalmitte, die Bilder selbst sind schwach beleuchtet, undeutlich, z. T. überschleiert. Bei künst-

Fig. 2 a...e

West-Saal

Fig. 2a.

Aufnahme bei Tageslicht
Man beachte den hellen Boden.

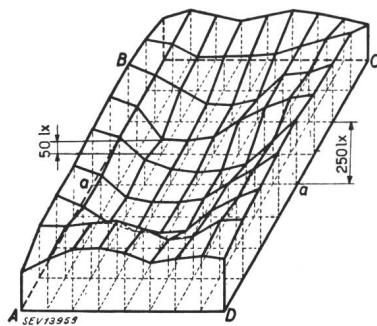
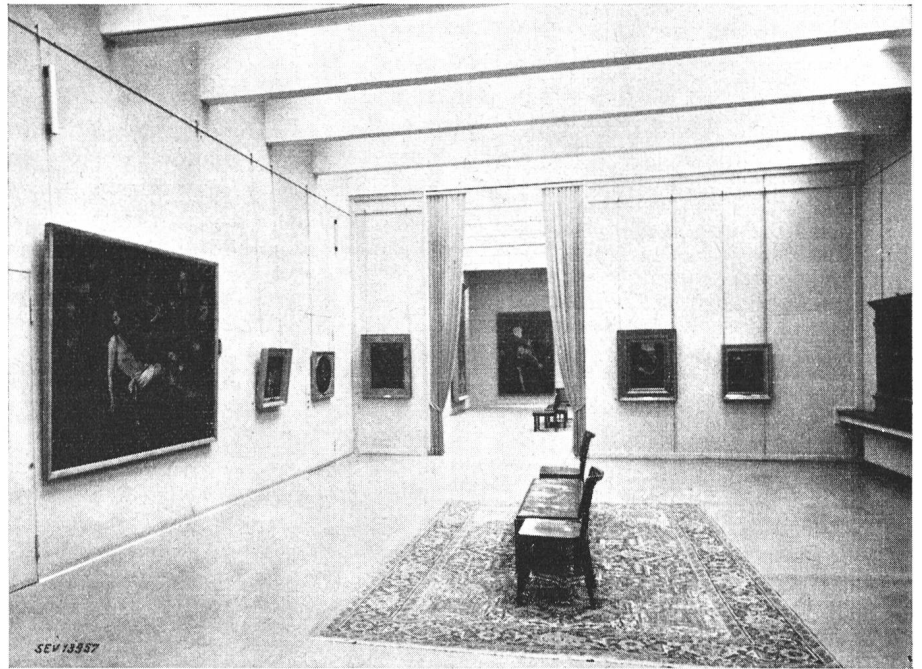


Fig. 2c.

Lichtverteilung 1 m über dem Boden im
West-Saal bei künstlicher Beleuchtung
 $E_{\min} = 50 \text{ lx}$, $E_{\text{med}} = 158 \text{ lx}$, $E_{\max} = 250 \text{ lx}$

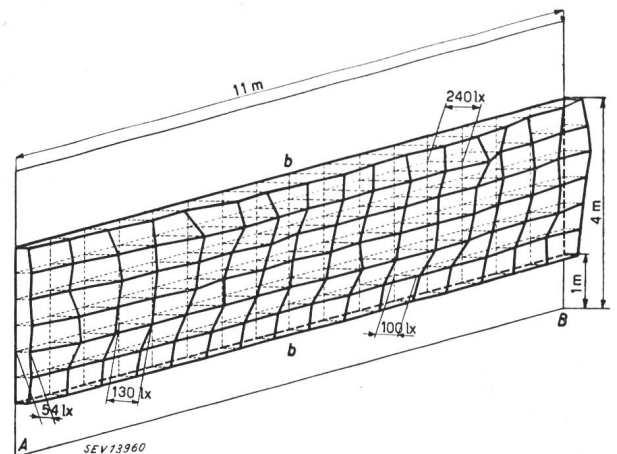


Fig. 2d.

Lichtverteilung an der Wandfläche A-B
des West-Saals bei künstlicher Beleuchtung
 $E_{\min} = 54 \text{ lx}$, $E_{\text{med}} = 133 \text{ lx}$, $E_{\max} = 240 \text{ lx}$

Fig. 3 a und b

Seitenkabinett des West-Saales

Fig. 3a.

Aufnahme bei Tageslicht

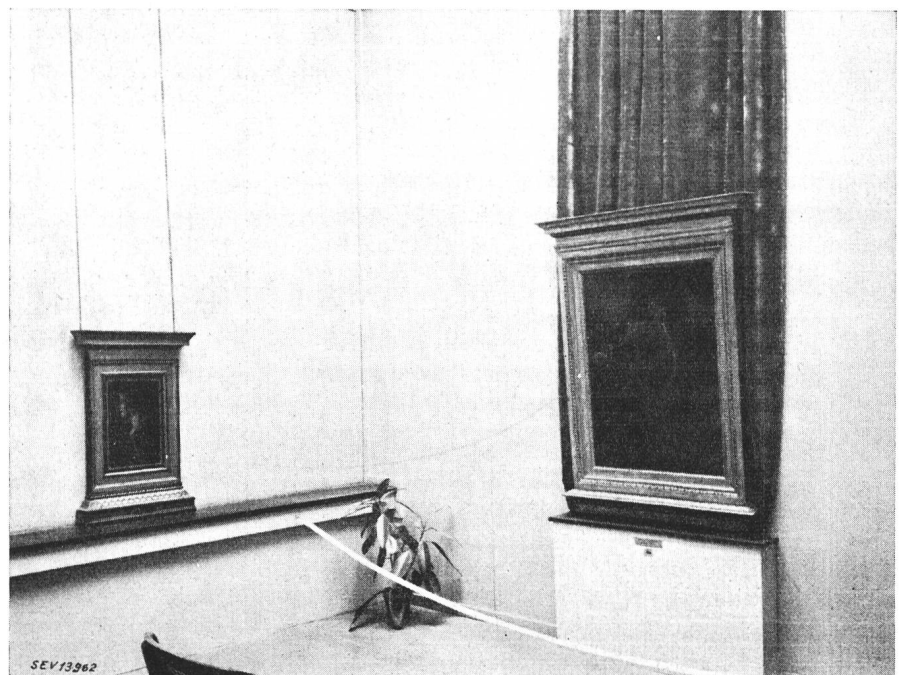




Fig. 2b.
Aufnahme bei
künstlicher Beleuchtung
Man beachte die hellen Wände.

Fig. 2e.

Lichtverteilungsprofile im West-Saal

Oben: Vertikalbeleuchtung auf die Wandflächen, Schnitt *b-b*
(vgl. Fig. 2d).

Unten: Horizontalbeleuchtung auf den Boden, Schnitt *a-a*
(vgl. Fig. 2c).

1 Kugelzonenspiegel, 2 Decke aus Ornamentglas.

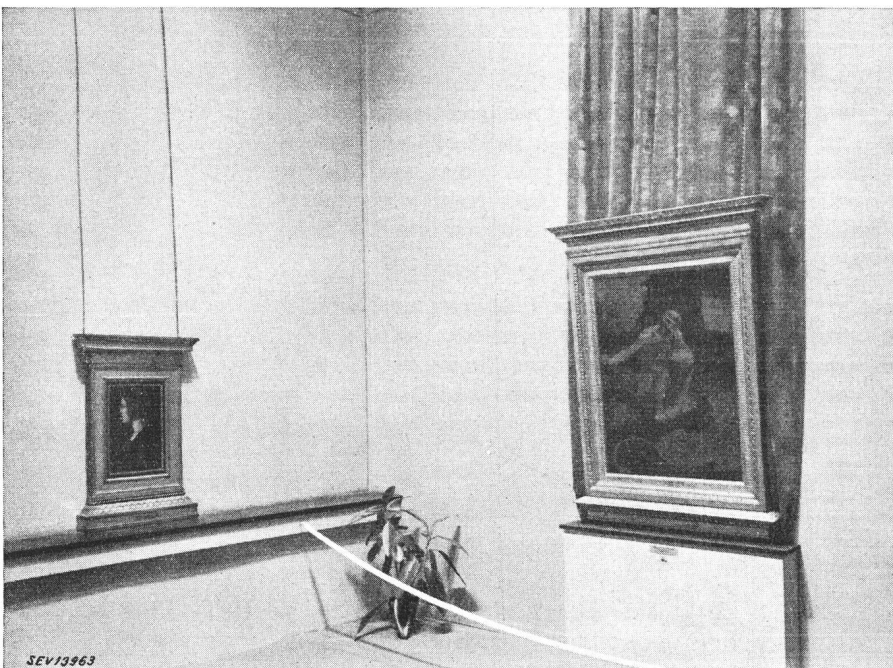
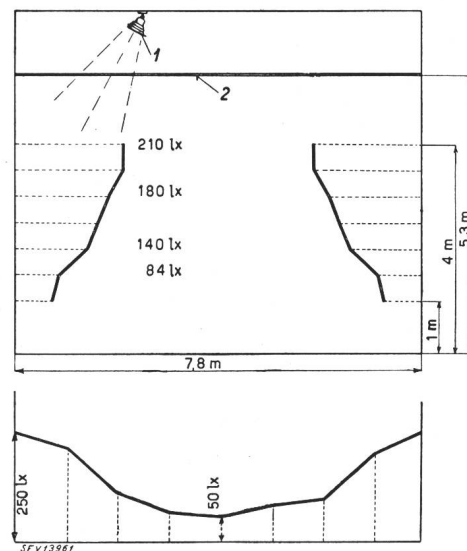


Fig. 3b.
Aufnahme bei
künstlicher Beleuchtung

Fig. 4 a...c

See-Korridor Nord

Fig. 4a.
Aufnahme bei Tageslicht

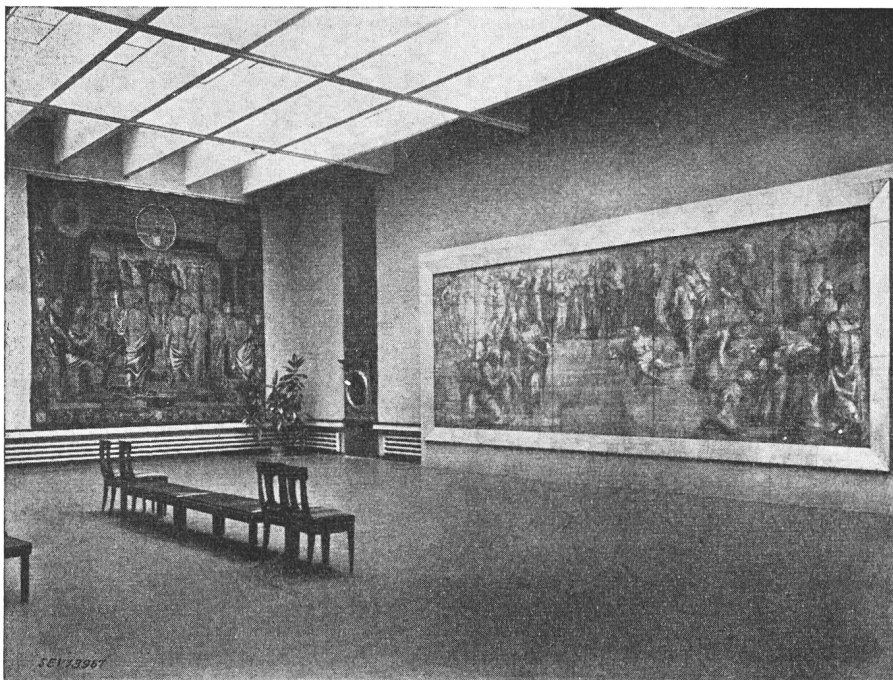
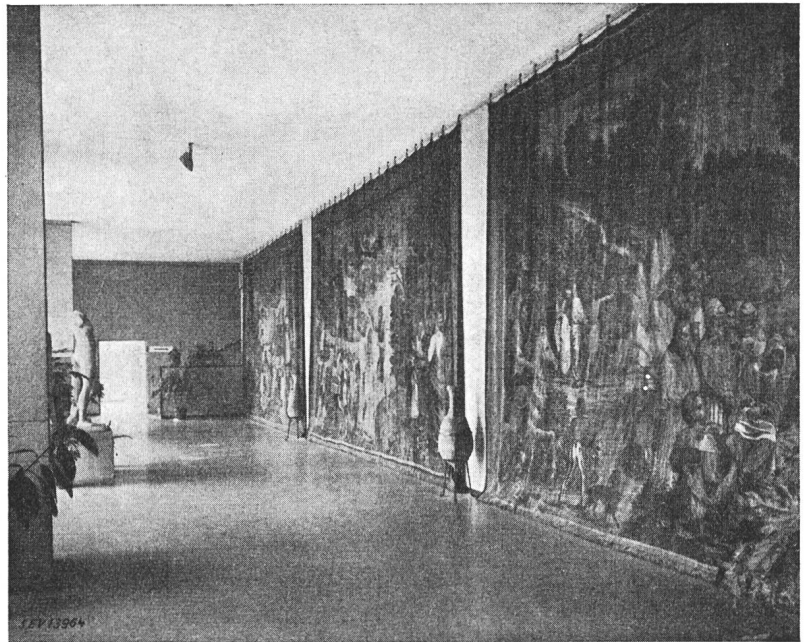
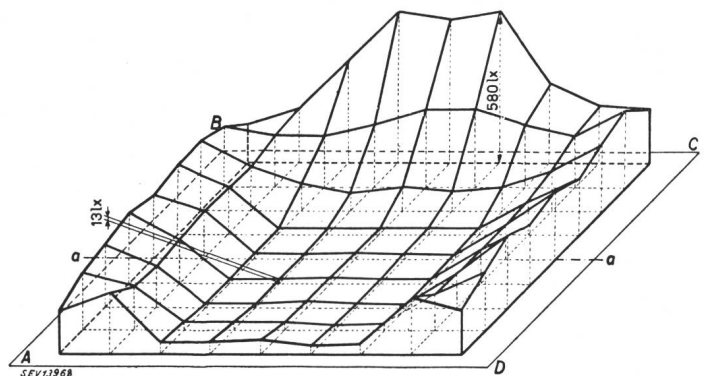


Fig. 5 a...f
Grosser Oberlichtsaal

Fig. 5a.
Aufnahme bei Tageslicht

Fig. 5b.
Lichtverteilung 1 m über dem Boden
im grossen Oberlichtsaal bei künstlicher
Beleuchtung
 $E_{\min} = 13 \text{ lx}$, $E_{\text{med}} = 151 \text{ lx}$, $E_{\max} = 580 \text{ lx}$



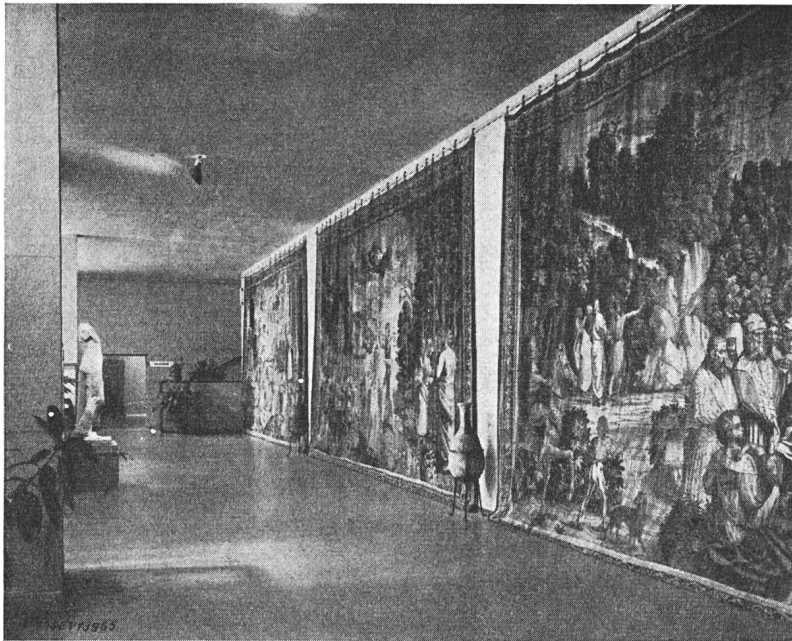


Fig. 4b.
Aufnahme bei künstlicher Beleuchtung

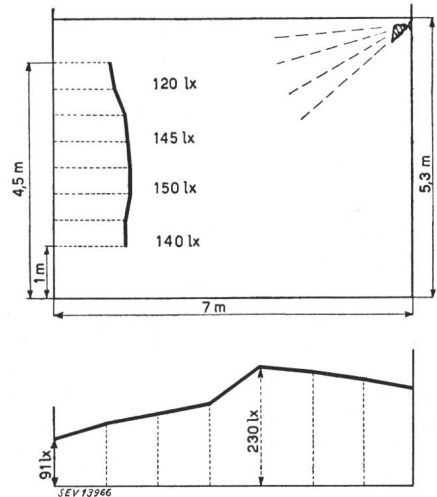


Fig. 4c.
**Lichtverteilungsprofile
im See-Korridor Nord**
Oben: Vertikalbeleuchtung auf die Wand-
fläche.
Unten: Horizontalbeleuchtung auf den
Boden.

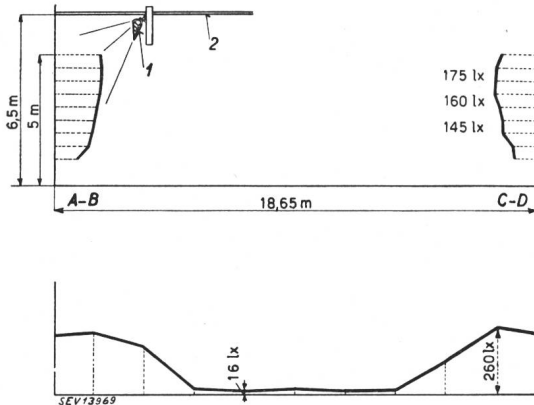


Fig. 5c.
Lichtverteilungsprofile im grossen Oberlichtsaal
Oben: Vertikalbeleuchtung auf die Wandflächen A—B
(links) und C—D (rechts), Schnitte b—b (vgl.
Fig. 5d, f).
Unten: Horizontalbeleuchtung auf den Boden, Schnitt
a—a (vgl. Fig. 5b).
1 Schrägstrahler, 2 Decke aus Ornamentglas.

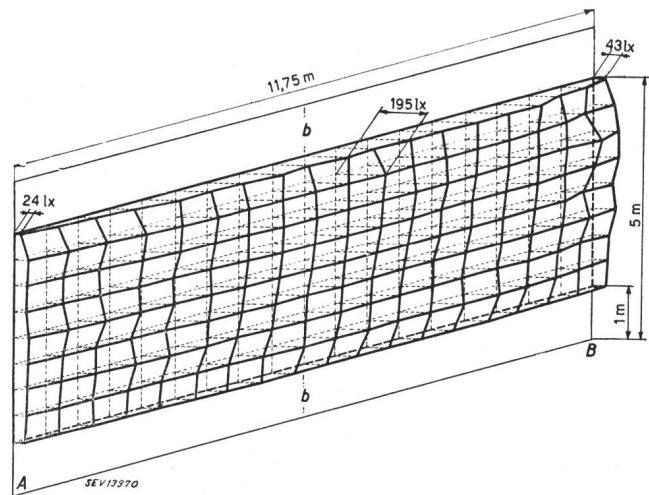


Fig. 5d.
**Lichtverteilung an der Wandfläche A—B
im grossen Oberlichtsaal bei künstlicher Beleuchtung**
 $E_{\min} = 24 \text{ lx}$, $E_{\text{med}} = 129 \text{ lx}$, $E_{\max} = 195 \text{ lx}$

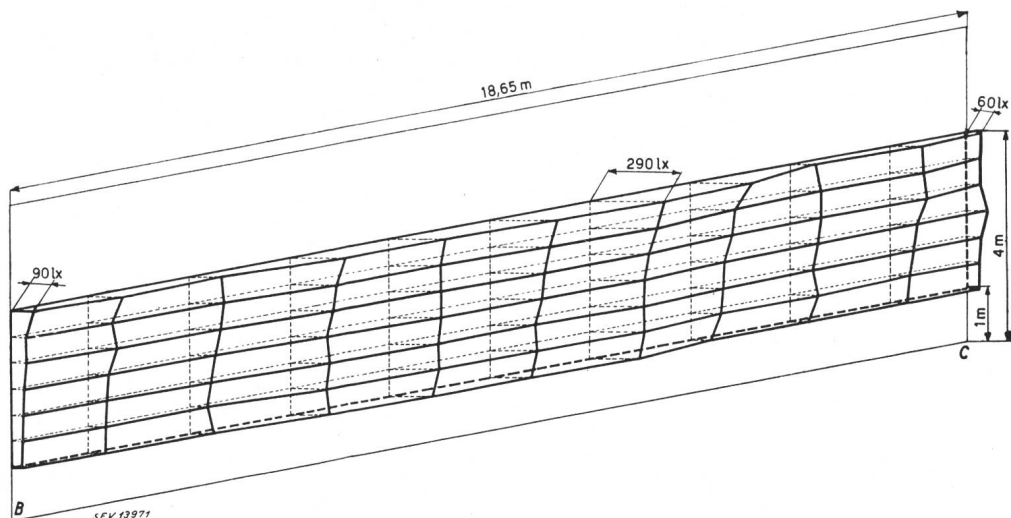


Fig. 5e.
Lichtverteilung an der Wandfläche B—C im grossen Oberlichtsaal bei künstlicher Beleuchtung
 $E_{\min} = 60 \text{ lx}$, $E_{\text{med}} = 148 \text{ lx}$, $E_{\max} = 290 \text{ lx}$

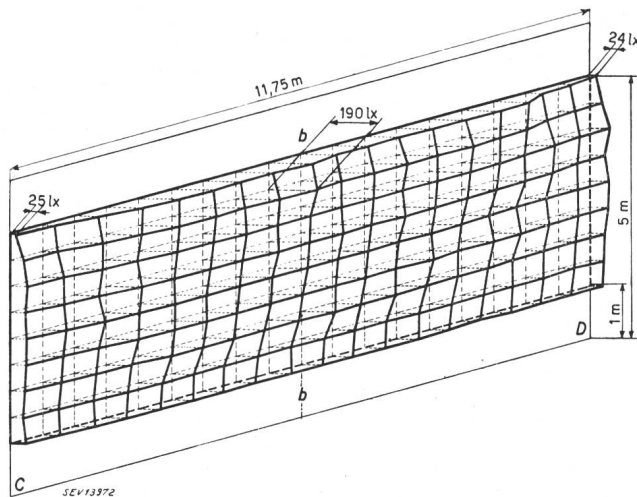


Fig. 5f.

Lichtverteilung an der Wandfläche C—D
im grossen Oberlichtsaal bei künstlicher Beleuchtung

$$E_{\min} = 24 \text{ lx} \quad E_{\text{med}} = 115 \text{ lx} \quad E_{\max} = 190 \text{ lx}$$

Fig. 6a.
Ost-Saal bei Tageslicht

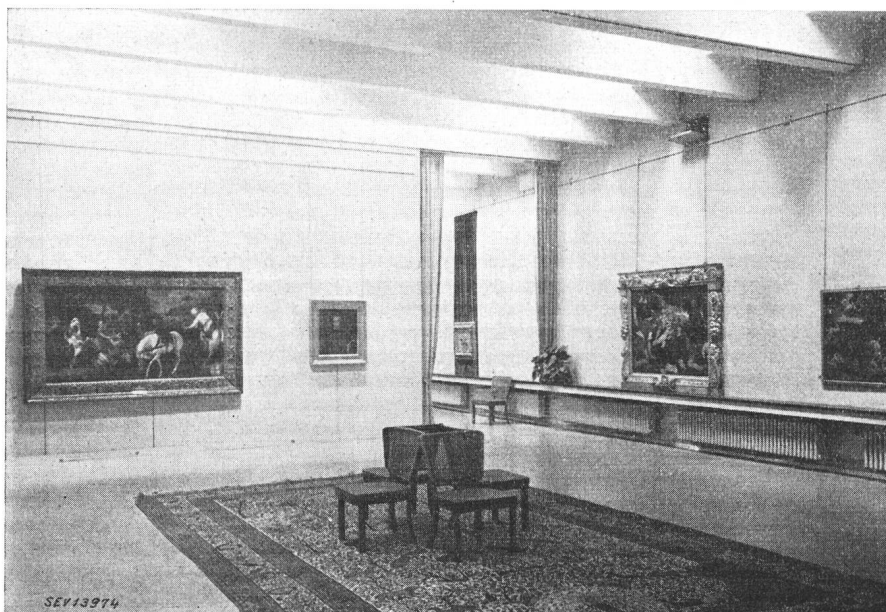
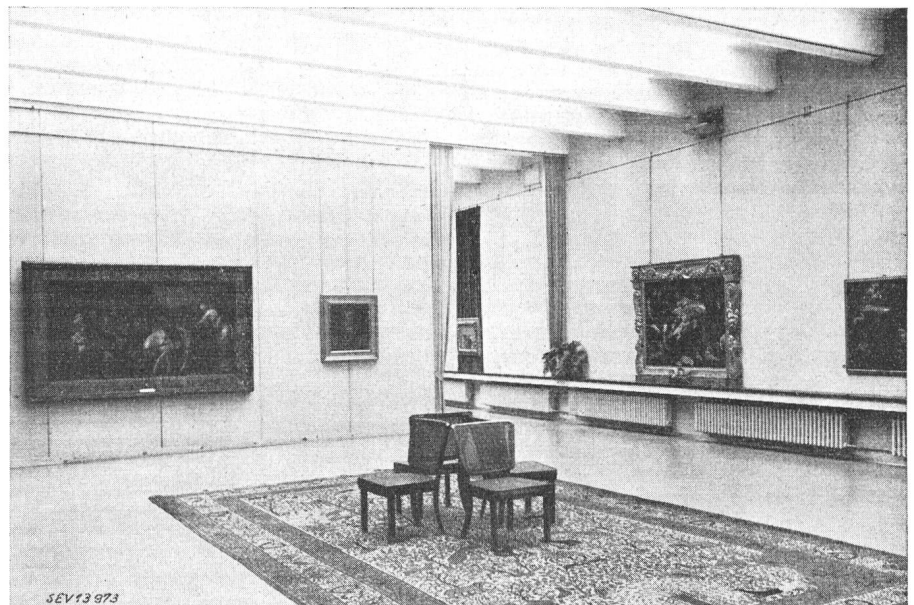


Fig. 6b.
Ost-Saal
bei künstlicher Beleuchtung

licher Beleuchtung ist die Saalmitte abgedämpft, dagegen sind die Wände so aufgehellert, dass die Bilder farbig und in der Zeichnung klar erscheinen, da die Farbvalours viel intensiver herauskommen als bei Tag. Noch eindeutiger veranschaulichen die Lichtkurven, welche für die künstliche Beleuchtung aufgenommen wurden, die Lichtverteilung im West-Saal.

Die Lichtwanne (Fig. 2c) ist klar erkennbar mit einem E_{min} von 50 lx in der Raummitte und einem E_{max} von 250 lx längs der Wände. Fig. 2d zeigt das Lichtgebirge im West-Saal, längs der Wand A—B. Die mittlere Beleuchtungsstärke in der Vertikalen auf der nutzbaren Bildbehängfläche von 1 bis 4 m Höhe beträgt 133 lx. Fig. 2e zeigt die Schnitte der Vertikal- und Horizontalbeleuchtung sowie die Anordnung der Spiegelreflektoren über der Glasdecke.

Seitenkabinett des West-Saales

Wie unvollkommen die Aufhellung bei Tag die Bildbetrachtung gestalten kann, zeigen die beiden Aufnahmen vom Seitenkabinett des West-Saales mit dem Hauptbild des Hieronymus von Leonardo da Vinci. Bei Tageslicht (Fig. 3 a) zeigt sich keine Zeichnung, es sind keine Valours zu erkennen. Bei

infolge der 7 m betragenden Entfernung von den Fenstern nur ganz stumpf und ohne Plastik erscheinen, zeigt die Aufnahme bei künstlicher Beleuchtung (durch Schrägstrahler, die die Entfernung von 7 m spielend überbrücken) eine unerhörte Lebendigkeit der Farben und gibt dem Gewebe eine Plastik von überwältigender Schönheit.

Fig. 4 c stellt die Lichtkurven für die Vertikal- und Horizontalbeleuchtung (als Schnitt durch das Lichtgebirge) dar und zeigt das erzielte Resultat und die Art der Montage. Es interessiert vielleicht auch, dass die Geräte nur mit Glühlampen von 200 W bestückt sind, was einen weiteren Beweis für die Qualität der verwendeten Silberspiegel liefert.

Grosser Oberlichtsaal

Die Lösung der Beleuchtung im grossen Oberlichtsaal (Fig. 5 a) war sehr schwierig, da es sich zeigte, dass es nicht möglich war, den Karton der Schule von Athen von Raffael — eine Kohle-Kreide-Zeichnung — durch die Anstrahlung der über dem Ornamentglas montierten Tiefstrahler zu erreichen. Es wurden für die Wand, an welcher der Karton hängt, Schrägstrahler hinter dem Unterzug angebracht und eine maximale Helligkeit von 580 lx erzielt. Fig. 5b zeigt perspektivisch die Beleuchtungswanne im grossen Oberlichtsaal mit der charakteristischen Auftürmung gegen die Wand, an welcher der Karton hängt. Fig. 5c stellt den Schnitt durch die Vertikal- und Horizontalbeleuchtung für die Wände A—B und C—D dar. Die Fig. 5d, e und f zeigen die Vertikalbeleuchtungsstärken der Wände A—B, B—C (Wand mit Karton der Schule von Athen von Raffael) und C—D.

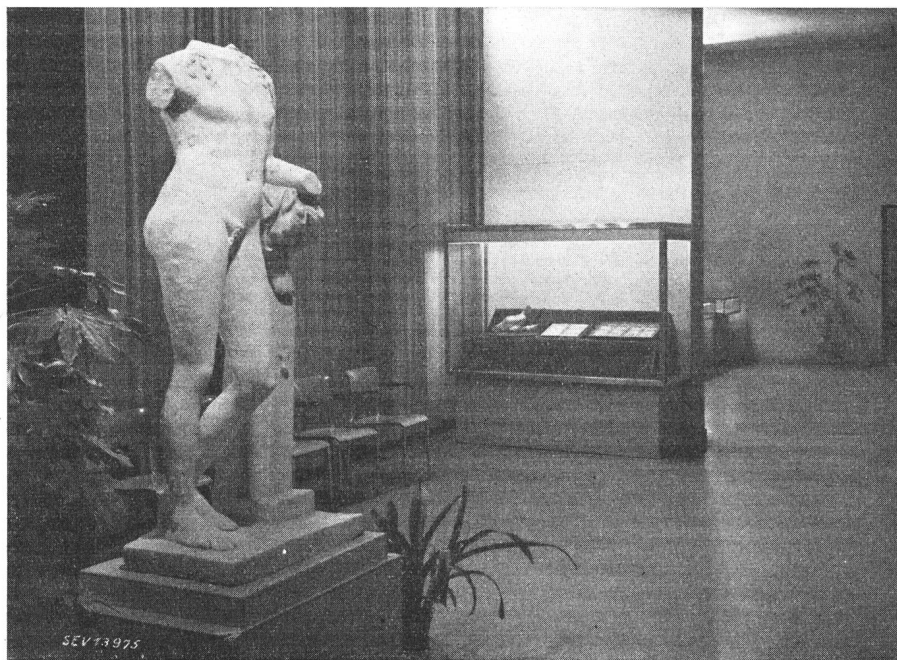


Fig. 7.
Plastik im See-Korridor Nord
bei künstlicher Beleuchtung

Nacht (Fig. 3 b) leuchtet das Bild auf und ermöglicht das Erkennen jeder koloristischen Finesse. Um diese Wirkung zu erzielen, waren wir genötigt, die Anstrahlung direkt unter der Glasdecke durchzuführen, um die Absorption des Cathedralglases, die 36 % ausmacht, zu vermeiden.

See-Korridor Nord

Einen grossen Anreiz bot die Anstrahlung der berühmten Gobelins im Seekorridor (Fig. 4 a und 4 b), die trotz der grossen Schwierigkeit, sie provisorisch zu lösen, wie die Aufnahmen zeigen, sehr gut gelungen ist. Während bei Tag die Farben der Gobelins

Ost-Saal

Die beiden Aufnahmen des Ost-Saales (Fig. 6 a und b) zeigen wieder eindeutig, dass die Bildbetrachtung bei Tag weniger günstig ist, als bei Nacht mit künstlicher Beleuchtung. Besonders deutlich wird dies, wenn wir eines der schönsten Gemälde dieses Saales, den «Tizian», betrachten, welcher bei Tag ganz verschwommen und dunkel erscheint, während das ganze Bild sich bei künstlicher Beleuchtung in lichtem Glanz dem Beschauer präsentiert. Die folgende Aufnahme (Fig. 7) zeigt, wie günstig sich auch die Plastik bei künstlicher Beleuchtung auswirkt.

Es ist dem Entschluss der Behörden der Stadt Luzern und der Leitung des Kunstmuseums Luzern zu verdanken, dass die künstliche Beleuchtung der Räume durchgeführt werden konnte, und dass da-

durch auch dem Werk tätigen in dessen Freizeit am Abend die Ambrosiana zugänglich gemacht wurde.

Adresse der Autoren:

H. Hodel, EW der Stadt Luzern, Luzern;
E. Schneider, dipl. Ingenieur, Direktor der Lumar A.-G., Basel.

Impedanzröhren für Frequenzmodulation

Von H. Klausner, Zürich

621.396.619.23

Es wird ein Ueberblick über Wirkungsweise und Anwendung der Impedanzröhrenschaltung gegeben. Insbesondere soll ihre Verwendung für die Frequenzmodulation von Sendern untersucht werden. Es zeigt sich, dass Pentoden mit quadratischem Kennlinienverlauf und grosser mittlerer Steilheit, als steuerbare Induktivität geschaltet, die Bedingungen für verzerrungsfreie Modulation am besten erfüllen. Anhand einer Formelübersicht können Grösse und Verlauf des Frequenzhubes für die einzelnen Schaltungen berechnet werden. Die Unterdrückung der gleichzeitig auftretenden Amplitudenmodulation ist für eine bestimmte Frequenz möglich. Die Frequenzmodulation mittels Raumladungssteuerung wird am Schluss kurz erwähnt.

L'auteur donne tout d'abord un aperçu du fonctionnement et de l'utilisation du couplage à lampe de glissement, notamment pour la modulation de fréquence des émetteurs. Montées en self-induction variable, les pentodes à caractéristique quadratique et à forte pente moyenne sont les tubes les mieux appropriés à une modulation sans distorsion. Des formules permettent de déterminer la grandeur et la variation du swing de fréquence pour les différents couplages. Pour une fréquence donnée, il est possible de supprimer la modulation d'amplitude qui se produit simultanément. L'auteur termine son exposé en mentionnant brièvement la modulation de fréquence par variation de la charge spatiale.

1. Einleitung

Es darf als bekannt vorausgesetzt werden, dass Elektronenröhren zur Erzeugung von variablen Scheinwiderständen verwendet werden. Das Anwendungsgebiet dieser «Impedanzröhren» erstreckt sich auf die Frequenzsteuerung und die automatische Scharfabstimmung von Schwingkreisen, auf das Abstimmen von Brücken in Messgeräten und die Erzeugung von negativen Induktivitäten und Kapazitäten. Als ein Spezialfall der Frequenzsteuerung kann nun die Frequenzmodulation eines Schwingkreises angesehen werden, bei der die Frequenz im Takte der Niederfrequenz gesteuert, also moduliert wird.

Die Frequenzmodulation eines Senders erfordert demnach eine von der Modulationsamplitude abhängige Veränderung der frequenzbestimmenden Grössen L und C des Steueroszillatorkreises. Dies lässt sich mit einer als steuerbare Impedanz geschalteten Röhre verwirklichen, indem diese dem Oszillatorkreis parallelgeschaltet wird. Im folgenden sollen nun Wirkungsweise und Schaltungsmöglichkeiten der Impedanzröhre, sowie die Bedingungen für verzerrungsfreie Modulation kurz untersucht werden.

2. Wirkungsweise und Ersatzschaltungen der Impedanzröhre

Die Wirkungsweise der Impedanzröhre beruht im wesentlichen darauf, dass ein phasendrehender Spannungsteiler am Steuergitter einen gegenüber der hochfrequenten Anodenwechselspannung phasenverschobenen Anodenwechselstrom erzeugt. Die auf diese Weise erzeugte Impedanz ist bei gleichbleibenden Spannungen nur von der Röhrensteilheit abhängig und kann somit durch deren Aenderung gesteuert werden.

Bei Frequenzmodulation wäre es natürlich erwünscht, eine steuerbare Reaktanz herzustellen, die keinen Verlustwinkel aufweist. Dies erfordert aber eine Phasendrehung von genau 90° , was nur für eine feste Frequenz durch Anwendung eines doppelten Drehgliedes durchführbar ist.

Fig. 1 zeigt das prinzipielle Schema einer Impedanzröhre. R_1 und R_2 sind die für die Phasendrehung benötigten Widerstände, R_3 wird dargestellt durch die Anoden-Kathoden-Kapazität der Röhre.

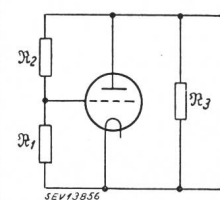


Fig. 1.

Prinzipielles Schaltschema einer Impedanzröhre

Mit Hilfe der Vierpoltheorie lässt sich der Eingangsscheinleitwert G_a der Schaltung bestimmen [1]¹⁾.

$$G_a = \frac{1}{R_i} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_1 + R_2} + \frac{S R_1}{R_1 + R_2} \quad (1)$$

Der letzte Summand in Gleichung (1) stellt den von der Röhrensteilheit S abhängigen Scheinleitwert dar. Die beiden ersten Summanden dürfen ohne weiteres vernachlässigt werden, da einerseits bei Verwendung von Pentoden der Innenwiderstand R_i sehr gross und andererseits der durch C_{ak} dargestellte Widerstand R_3 bedeutungslos ist, da diese Kapazität der Schwingkreis Kapazität parallelgeschaltet wird. Damit geht (1) über in die Form

$$G_a = \frac{1}{R_1 + R_2} + \frac{S R_1}{R_1 + R_2} \quad (1a)$$

wofür das in Fig. 2 gezeichnete Ersatzschema gilt. Dieses lässt sich noch weiter vereinfachen, wenn

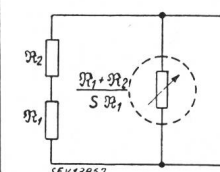


Fig. 2.

Vereinfachtes Ersatzschema der Impedanzröhrenschaltung nach Gleichung (1a)

man voraussetzt, dass der Spannungsteilerwiderstand R_2 viel grösser ist als der Widerstand R_1 . Für den

¹⁾ s. Literaturverzeichnis am Schluss.