

Zeitschrift: Pionier : Zeitschrift für die Übermittlungstruppen

Herausgeber: Eidg. Verband der Übermittlungstruppen; Vereinigung Schweiz. Feld-Telegraphen-Offiziere und -Unteroffiziere

Band: 37 (1964)

Heft: 2

Artikel: Die infraroten Strahlen [Fortsetzung]

Autor: [s.n.]

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-560645>

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: 26.01.2026

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

Beilage zum «Pionier» zur
fachtechnischen Ausbildung
der Übermittelungstruppen

2.3 Der Strahlungsempfänger

Am bekanntesten von allen Eigenschaften der IR-Strahlung ist ihre Umwandlungsfähigkeit in Körperwärme durch Absorption. Die darauf basierenden Nachweismittel bilden die grosse Gruppe der thermischen Empfänger, die auch heute noch die wichtigsten der IR-Technik sind.

Eine weitere Eigenschaft der IR-Strahlung ist ihre Eignung zur Auslösung des Photoeffekts. Besonders ausgeprägt unter etwa $10 \mu\text{m}$ ist der innere Photoeffekt (Sperrsicht- und Widerstandszenellen), während der äussere Photoeffekt (Vakuum- oder gasgefüllte Photozellen) nur für kurzwelliges IR in Frage kommt.

Bis etwa $1,4 \mu\text{m}$ lassen sich photographische Platten und Filme sensibilisieren.

2.31 Die thermischen Empfänger

Sie sind nicht selektiv, d. h. sie verhalten sich ähnlich wie ein schwarzer Körper. Zwei wichtige Merkmale, deren Extreme sich gegenseitig ausschliessen, sind die Empfindlichkeit und die Trägheit (Zeitkonstante). Die noch ansprechende Eingangsleistung lässt sich senken, wenn z. B. die Empfängerfläche erhöht wird. Wechselt die einfallende Leistung von einem kleinen Wert auf einen höheren, dauert es eine gewisse Zeit, bis der Empfänger sein neues Temperaturgleichgewicht gefunden hat. Diese Zeit hängt unter anderem von der Empfängermasse ab.

Thermoelemente. Darunter versteht man allgemein eine Verbindung von zwei verschiedenen Metallen zu einem elektrischen Stromkreis. Die eine Verbindungsstelle hält man auf konstanter Temperatur, die andere wird der zu messenden Temperatur bzw. der Strahlung ausgesetzt. Der Temperaturdifferenz entsprechend fließt ein Thermostrom.

Als kleinste noch nachweisbare Strahlungsleistung ergibt sich für ein richtig gebautes Thermoelement mit 1 mm^2 Empfängerfläche etwa $5 \cdot 10^{-11} \text{ W}$ bei einer Zeitkonstanten⁵⁾ von etwa 0,1 s.

Bolometer. So bezeichnet man Geräte, die die Temperaturabhängigkeit des elektrischen Widerstandes ausnutzen. Die Bestimmung des Widerstandes geschieht meistens auf einer Wheatstoneschen Brücke (Abb. 7). Als Strahlungsmesser wird als Bolometer ein berusster Blechstreifen, meist Platin,

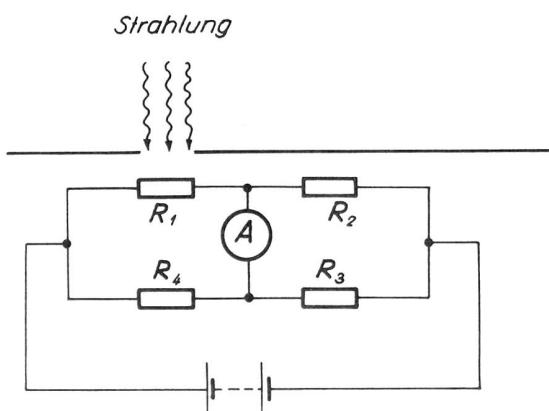


Abb. 7 Schematische Darstellung einer Bolometer-Brückenschaltung (Bolometer: R_1).
43

Die infraroten Strahlen

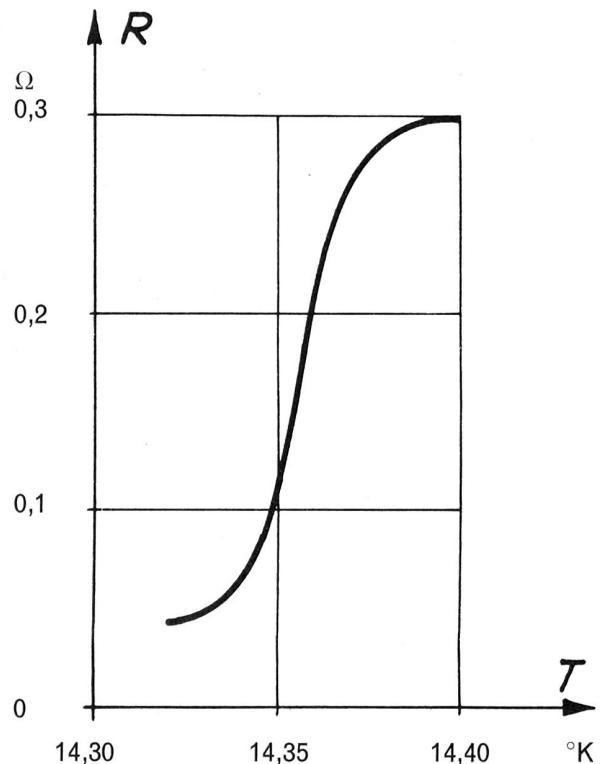


Abb. 8 Elektrischer Widerstand von Niobnitrid im Übergangsgebiet zur Supraleitung. Zur Kühlung wird flüssiger Wasserstoff verwendet. Der lineare Teil umfasst bei einer Temperaturänderung von nur $0,01^\circ\text{C}$ eine Widerstandssteigerung um 100 %.

verwendet. An Stelle der Metalle werden auch Halbleiter als Baumaterial verwendet. Ihr Temperaturkoeffizient ist grösser als bei Metallen und negativ. Damit lassen sich bei einer Zeitkonstanten von etwa 3 ms Strahlungsleistungen von $7 \cdot 10^{-11} \text{ W}$ nachweisen.

Als modernste Bolometerform ist das Supraleitungsbolometer zu erwähnen. Bei vielen Metallen ändert sich bei Annäherung an den absoluten Nullpunkt der elektrische Widerstand bei einer für jeden Stoff charakteristischen Temperatur innerhalb eines schmalen Temperaturbereiches fast sprunghaft auf einen sehr kleinen Wert. In diesem Sprungbereich hat der Temperaturkoeffizient des elektrischen Widerstandes eine beträchtliche Grösse. Man sucht natürlich nach Legierungen, bei denen dieser Effekt bei nicht zu tiefen Temperaturen auftritt (Abb. 8).

Messungen an Supraleitungsbolometern ergaben Zeitkonstanten von $0,5 \dots 17 \text{ ms}$ und eine nachweisbare Strahlungsleistung von $2 \cdot 10^{-11} \text{ W}$. Nachteilig wirkt sich allerdings die Kühl anlage zur Erzeugung von ca. -260°C aus.

2.32 Der photoelektrische Empfänger

Die photoelektrischen Bauelemente verschiedenster Art wandeln Strahlungsenergie unmittelbar in die Energie des elektrischen Stromes um.

Man teilt diese Effekte in drei Gruppen ein, den äussern Photoeffekt, den innern Photoeffekt und den Sperrsichtphotoeffekt.

Als Spezialität der IR-Technik soll hier lediglich die Bildwandlerröhre beschrieben werden. Sie gehört in die Gruppe des äussern Photoeffektes (es gibt eine hier nicht näher erläuterte Bildwandlerröhre, die zur Gruppe des innern Photoeffekts gehört). Eine Optik wirft die Abbildung eines Gegenstandes (oder auch einer Landschaft) auf die grössflächige Kathode (Abb. 9). Entsprechend der örtlichen Verteilung der Strahlungsintensität werden mehr oder weniger Elektronen von der Kathodenoberfläche abgelöst. Als Kathodenmaterial kommt eine Substanz zur Anwendung, die bereits beim Eintreffen der energiearmen IR-Photonen Elektronen emittiert, z. B. Cäsium-Silberoxyd, das bis etwa $1,2 \mu\text{m}$ anspricht und ein Empfindlichkeitsmaximum bei etwa $0,84 \mu\text{m}$ aufweist.

«Beleuchtet» man einen Gegenstand mit unsichtbaren IR-Strahlen, erhält man an der Kathodenoberfläche eine Elektronenverteilung, die der IR-Abbildung des Gegenstandes entspricht. Diese Elektronen werden durch das im Vakuum aufgespannte elektrische Feld beschleunigt und treffen unter Wahrung ihrer geometrischen Verteilung auf der Anode auf. Dies gilt allerdings nur, wenn der Abstand Kathode—Anode, wie in Abb. 9 gezeigt, genügend klein ist (entspricht der Kontaktkopie der Phototechnik). An der Anode ist eine fluoreszierende Schicht angebracht. Da das elektrische Feld den Elektronen kinetische Energie zuführt, ist grundsätzlich die Möglichkeit vorhanden, die energiearmen Photonen der IR-Strahlung in energiereichere Photonen des sichtbaren Lichtes umzusetzen. Die Leistungsverstärkung des Bildes hängt von der durchlaufenen Spannung ab.

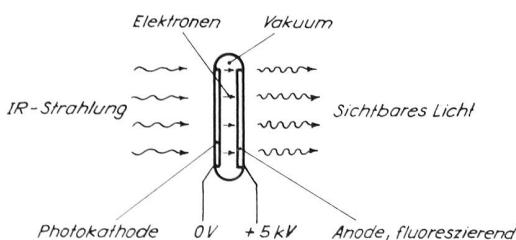


Abb. 9 Einfachste Ausführung einer Bildwandlerröhre.

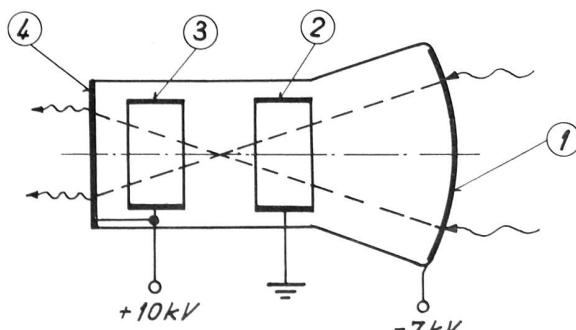


Abb. 10 Schematische Darstellung eines Bildwandlerrohrs
1 Transparente Photokathode
2 und 3 Zylindrische Anoden, Elektronenoptik
4 Leuchtschirm

Für die Praxis genügt eine Anordnung nach Abb. 9 nicht. Das Bild erscheint nicht genügend scharf, und mit Rücksicht auf Überschläge kann die Spannung nicht auf die wünschbaren Werte gebracht werden. Die Anwendung einer Elektronenoptik, wie sie z. B. in elektrostatischen KO-Röhren zu finden ist, beseitigt beide oben erwähnten Mängel (Abb. 10).

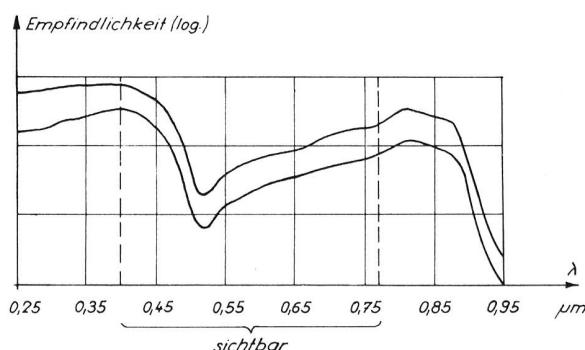


Abb. 11 Spektrale Empfindlichkeit eines handelsüblichen IR-Filmes.

2.33 Infrarotempfindliche Filme

Im photographischen Prozess wird Strahlungsenergie in chemische Energie umgewandelt. Die in der Strahlung steckende Quantenenergie muss zur Auslösung der photochemischen Reaktion ausreichen. Der wirksame Teil der photographischen Schicht (Emulsion) ist ein Silberhalogenid, meistens AgBr. Nur die Quantenenergie genügend kurzwelliger Strahlung ($\lambda < 0,5 \mu\text{m}$) reicht zur Auslösung des erwähnten Prozesses. Durch die sogenannte Sensibilisierung wird der Emulsion ein Farbstoff zugesetzt, der längere Wellen absorbiert und die absorbierte Energie dem Bromsilbermolekül zuleitet. So gelingt die Herstellung von Filmen mit einer Empfindlichkeit bis zu etwa $1,4 \mu\text{m}$ (Abb. 11).

Als Strahlungsempfänger bietet die photographische Platte den Vorteil, dass sie Energie kumuliert, was den Nachweis einer sehr schwachen Strahlung durch eine entsprechend lange Belichtungszeit ermöglicht.

Der Photographie im langwelligen IR-Gebiet ist eine prinzipielle Grenze gesetzt. Äußerlich drückt sich dies durch immer schlechtere Haltbarkeit der Platten aus, je weiter sie ins Infrarote sensibilisiert sind. Platten, die bis etwa $1,1 \mu\text{m}$ reagieren, müssen bereits bei -80°C gelagert werden. Der Grund ist folgender: Aus dem Planckschen Gesetz (2) lässt sich errechnen, wie gross die Strahlungsintensität der Filmverpackung für z. B. Zimmertemperatur und für den sensibilisierten Bereich ist. Diese Strahlung wirkt dauernd und verschleiert die Platte.

3. Einige Anwendungen

3.1 Aktive IR-Geräte

Darunter sollen jene verstanden sein, bei denen der interessierende Gegenstand von einer IR-Quelle bestrahlt wird. Die IR-Photographie arbeitet mit Filmen, die bis $0,9\text{...}1,4 \mu\text{m}$ sensibilisiert sind. Als Strahlungsquelle dient das Sonnenlicht. Diese Filme werden z. B. für Fern- und Flugaufnahmen verwendet. Das aus folgenden Gründen:

a) Dunst trübt die Fernsicht. Den vielen kleinen Wasserteilchen ($r < 5 \mu\text{m}$), die sich in Bodennähe befinden, streuen elektromagnetische Wellen. Die Streuung ist sehr wellenlängenabhängig. Bei mässiger Sicht von Auge ergibt sich noch eine gute bis sehr gute IR-Sicht. Nebel wird nicht durchdrungen. Auf diese Weise wurden Aufnahmen über mehr als 200 km gemacht. (Um auch Nebelzonen zu durchdringen, benötigt man grössere Wellenlängen, z. B. 8-mm-Radargeräte.)
 b) Interessant sind die Remissionskurven (Emission bei Bestrahlung, spektral beeinflusste Reflektion) des pflanzlichen Grüns: Im Sichtbaren ziemlich geringe Remission mit einem Maximum bei etwa $0.54 \mu\text{m}$ (das für den Grüneindruck verantwortlich ist), an den Grenzen zwischen sichtbarem Licht und IR-Strahlung ein steiler Anstieg (Abb. 12). Der steile Anstieg und die hohen Remissionswerte im nahen IR sind Ursache des Chlorophylleffektes. Dieser ergibt eine bessere Nuancierung bei Geländeaufnahmen (Abb. 13 und 14).

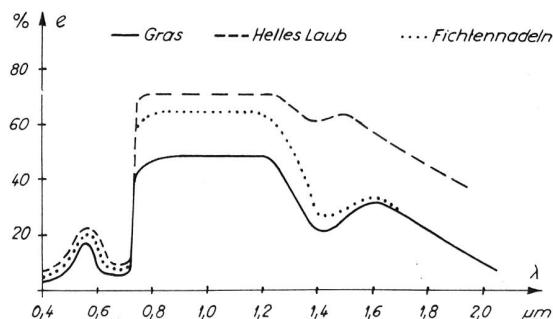


Abb. 12 Spektrale Remissionskurven von Gras, hellem Laub und Fichtennadeln. Ihre stärkste Remission liegt nicht im Grün, sondern im Infrarot. Auch z. B. Baumaterialien, wie Sand, Ziegelstein und Asphalt, besitzen Remissionsmaxima im Infraroten.

Seit längerer Zeit sind Lichtsprechanlagen bekannt. Der Sender (z. B. Glühlampe mit Unterspannung) bündelt seinen IR-Strahl mit optischen Mitteln sehr stark und richtet ihn auf den bis zu etwa 15 km entfernten Empfänger. Die Intensität des Strahles kann z. B. durch eine sich im Rhythmus der Nachricht öffnende und schliessende Blende moduliert werden. Der empfangene Strahl wird optisch auf einen IR-Empfänger genügend kleiner Zeitkonstante konzentriert. Die Weiterverarbeitung erfolgt mit üblichen elektronischen Mitteln.

Eine wissenschaftliche Anwendung findet sich in der IR-Spektroskopie. Als Strahlungsquelle dient ein genau definierter Strahler. Mit der anorganischen Spektralanalyse gelingt es, die Elemente eines kompliziert zusammengesetzten Moleküls zu bestimmen sowie Auskunft zu geben über die Abstände der Atome im Molekül und die gegenseitigen Bindungskräfte. Die organische Spektralanalyse untersucht die «Gliederung» der Moleküle oder die Reinheit eines Stoffes, wobei sie sich auf die Absorptionsmaxima stützt. Es ist hier nicht der Ort, näher auf diese Fragen einzugehen. Einzelheiten können in Lit. [2] nachgelesen werden.

Für vorwiegend militärische Zwecke werden Nachtsehgeräte gebaut, Nachtsehgeräte im Sinne von «sehen ohne gesehen zu werden». Das Ziel wird mit IR-Strahlen beleuchtet. Erzeugt werden sie durch Glühlampen, deren Strahlungsmaximum im

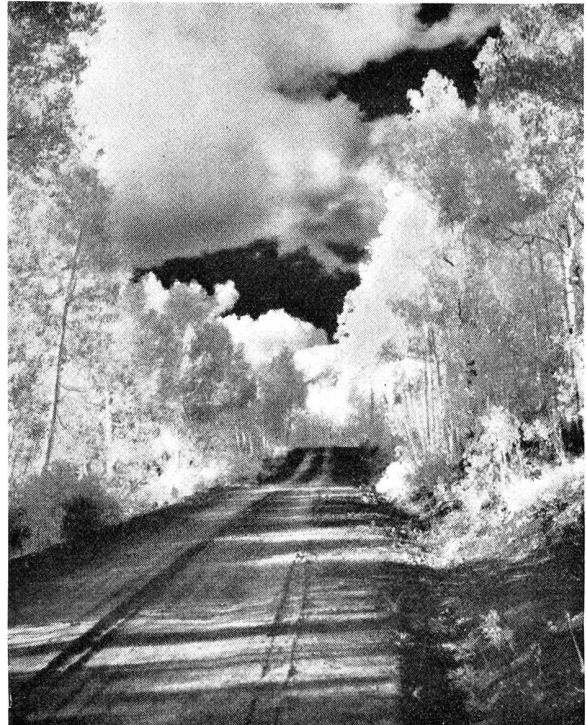


Abb. 13 IR-Aufnahme. Der Chlorophylleffekt kommt deutlich zum Ausdruck.

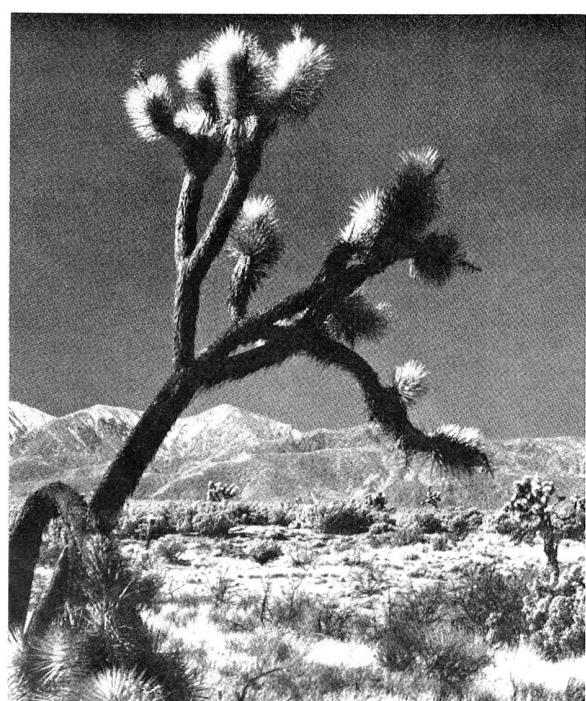


Abb. 14 IR-Aufnahme. Man beachte die sehr klare Zeichnung des Hintergrundes sowie den Chlorophylleffekt.

nahen IR liegt. Vor dem Scheinwerfer ist ein Filter angebracht, das den sichtbaren Anteil der Strahlung absorbiert. Die zurückkommenden Strahlen werden durch eine Sammellinse auf die Photokathode eines Bildwandlers geworfen. Die Elektronenoptik verfügt über Spannungen von 10...20 kV. Die Beobachtung des Fluoreszenzschirmes geschieht mittels einer Lupe. Abb. 15 fasst die spektralen Verhältnisse zusammen. In Abb. 16 ist der grundsätzliche Aufbau einer Anlage zu sehen.

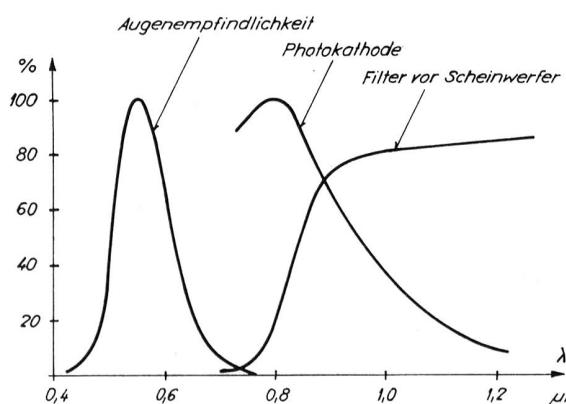


Abb. 15 Zusammenstellung der spektralen Kurven eines IR-Nachtsehgerätes.

Mittlere, transportable IR-Nachtsehgeräte erreichen bei guten Verhältnissen eine Reichweite von einigen 100 m. Der Strahler benötigt dabei eine Leistung von 200 W. Das Gewicht ohne Stromversorgung beträgt rund 40 kg. Die Abb. 17 und 18 zeigen Nachtsehgeräte der Firma Albiswerk.

Der angestrahlte «Feind» stellt mit einfachen Hilfsmitteln fest, ob und aus welcher Richtung er bestrahlt wird. Er benutzt dazu das Infrascop (etwas kleiner als ein Tennisball). Es arbeitet nach folgendem Prinzip: Eine phosphoreszierende Schicht wird durch das Licht einer Taschenlampe kurzzeitig beleuchtet und so aktiviert. Treffen nun, beim Absuchen des Geländes, IR-Strahlen auf die aktivierte Schicht, so leuchtet sie

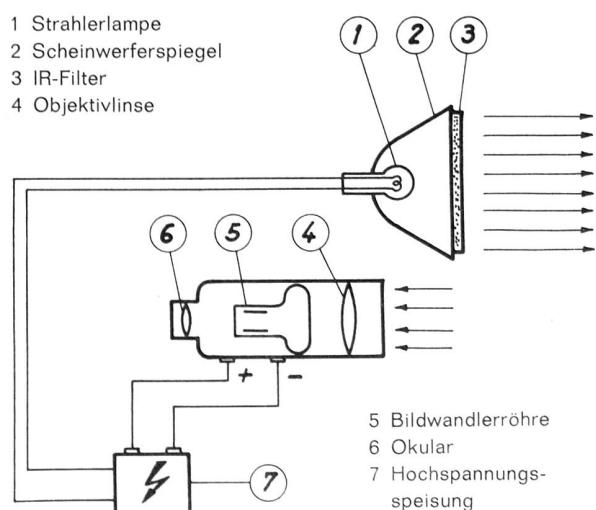


Abb. 16 Technisches Prinzip eines IR-Nachtsehgerätes

gelblich auf. Gegenstände können damit nicht erkannt werden. Die Bestrahlungstechnik bildet einen kommerziell wichtigen Teil der aktiven IR-Anwendungen. Verschiedene Firmen bieten zu diesem Zweck Strahler für das kurzwellige Infrarot an. Ihr Einsatz in der medizinischen Strahlungstherapie, zur Förderung des Wachstums in der Vieh- und Geflügelzucht, zur Raumheizung oder zur Lackhärtung im Automobilbau kann an dieser Stelle nicht näher beschrieben werden.

3.2 Passive IR-Geräte

Darunter sollen jene verstanden sein, bei denen die Eigenstrahlung des interessierenden Gegenstandes ausgenutzt wird. IR-Photographie. Es ist möglich, nachts über ein Gebiet zu fliegen und ohne Beleuchtung, nur auf Grund der verschiedenen stark strahlenden Erdoberfläche, ein Bild aufzunehmen. Da es sich dabei um relativ niedrige Temperaturen handelt (große Wellenlänge), lässt sich dies, wie besprochen, nicht mit einem Film erreichen. Zum Einsatz gelangen thermische Bildwandler. Im Gerät wird die Bildfläche in eine große Anzahl Flächenelemente zerlegt. Auf jedem ist z. B. ein Bolometer montiert. Dem Bildinhalt entsprechend stellt sich sein Widerstandswert ein. Das Bild kann z. B. auf einer Elektronenstrahlohröhre sichtbar gemacht werden. Die Bolometer werden periodisch abgetastet. Synchron zu dieser Bewegung läuft der

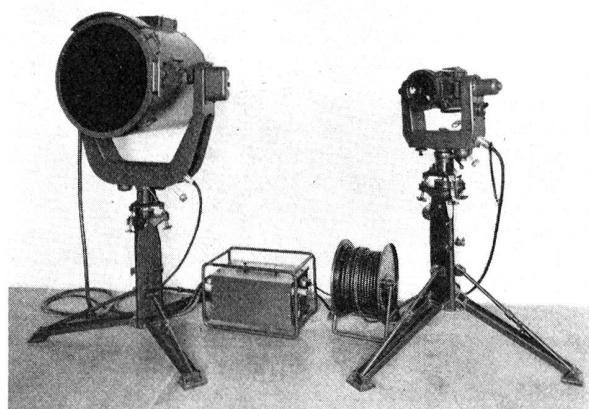


Abb. 17 Schwere IR-Beobachtungs- und Zielanlage

Elektronenstrahl. Seine Helligkeit wird indirekt durch den Bolometerzustand gesteuert. So entsteht, wenn auch grob gerastert, ein leuchtendes Bild der dunklen Erdoberfläche. Es gleicht eher einem Radarbild als einer Photographie. Einer Pressemitteilung war kürzlich zu entnehmen, dass solche Anlagen fähig seien, die «Wärmespur», die ein fahrender Lastwagen auf der Straße hinterlässt, noch nach Stunden zu registrieren. Also eine Kamera mit dem «Blick in die Vergangenheit». Es ist klar, dass solche Geräte vorwiegend der militärischen Aufklärung dienen.

Zwecks Raketensteuerung, vor allem in der letzten Annäherungsphase, werden oft IR-Suchköpfe verwendet. Sie orientieren sich in Richtung der intensivsten Strahlung. Als Empfänger eignen sich die mechanisch robusten Photowiderstände. Dank eines Parabolspiegels reagieren sie ausschließlich auf Strah-



Abb. 18 IR-Zielgerät für Mg. 51. Es unterhält nur den Strahlenempfänger und gelangt mit dem auf dem Titelbild der Nr. 1/1963 gezeigten Gerät zusammen zum Einsatz. Die beiden Standorte sind in der Regel etwas getrennt.

lung aus einer bestimmten Richtung. Eine geringe konische Abtastbewegung moduliert die empfangene Intensität und liefert die Kriterien zur Steuerung des Servoverstärkers, der seinerseits den Raketenkopf an den Ort der Strahlungsquelle steuert (Düsenöffnung, Abgase). Ähnlich erreicht man bei Feuerleitradaranlagen das automatische Verfolgen des Ziels.

4. Zusammenfassung

Die Technik der infraroten Strahlen wird weiterhin sehr intensiv erforscht. Vor allem arbeitet man an militärischen Geräten des langwelligen IR.

Durch Heizen wird auf elementare Art elektromagnetische Strahlung erzeugt. Die IR-Strahlung folgt den gleichen Gesetzmäßigkeiten wie z. B. die cm-Wellen (Radar). Ihrer viel kleineren Wellenlänge entsprechend (Faktor z. B. 10^{-3}) zeigen sich Effekte, die z. B. beim 3-cm-Band noch nicht merkbar sind oder nicht mit erträglichem Aufwand erhalten werden können.

Die Strahlungsempfänger arbeiten ebenfalls nach elementaren Prinzipien. Die eintreffenden Photonen beeinflussen direkt oder indirekt (thermisch) das elektrische Verhalten des Empfängers.

Ing. R. Feller, Instr. Of. ATR

Literatur:

[1] Proceeding of the IRE, Sept. 1959; [2] W. Brügel, Physik und Technik der Ultrarotstrahlung, Vincentz-Verlag, Hannover 1961; [3] Soldat und Technik, Jahrgang 1958/59, Umschau-Verlag, Frankfurt a. M.

¹ Im deutschen Sprachgebrauch auch Ultrarot.

² Nicht bei allen Strahlungsvorgängen stammt die Energie aus der Wärme des strahlenden Körpers. Die Lumineszenzstrahlung z. B. hat andere physikalische Ursachen.

³ Dies gilt für den stationären Zustand. Wird der Probe im kalten Zustand eine konstante Leistung zugeführt, so wird die Energie sich zuerst in der sich erhöhenden Temperatur speichern. Damit erhöht sich auch die abgestrahlte Leistung, womit zur weiteren Erwärmung weniger Leistung übrig bleibt. Der Temperaturanstieg erfolgt folglich nicht linear mit der Zeit, sondern nach einer Exponential-Kurve.

⁴ Die absolute Temperatur wird in °Kelvin (°K) gemessen. $1^{\circ}\text{C} \triangleq 1\text{°K}$, d. h. nur die Nullpunkte sind verschieden. Der absolute Nullpunkt liegt bei $-273,16\text{°C} = 0\text{°K}$. Algebraisch: $a\text{°C} = (273 + a)\text{°K}$.

⁵ Zeitkonstante. Nehmen wir als Beispiel ein angestrahltes Thermoelement. Die Umgebungstemperatur beträgt $20,2\text{°C}$. Die bestrahlte Probe habe eine Temperatur von $20,3\text{°C}$. Zur Zeit t_0 wird die Strahlung abgeschaltet. Wenn zur Zeit $t_0 + 0,1\text{s}$ die Temperaturdifferenz auf den $1/e$ -ten Teil, auf 37% abgesunken ist ($20,237\text{°C}$), ordnet man diesem Empfänger eine Zeitkonstante von $0,1\text{s}$ zu.

Wir danken der Redaktion der Zeitschrift «Der Elektroniker» (Verlag Aargauer Tagblatt, Aarau), dass sie uns die Klischeevorlagen zur Verfügung stellte und uns den Nachdruck gestattete.

Red.