Zeitschrift: Pionier : Zeitschrift für die Übermittlungstruppen

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

Band: 31 (1958)

Heft: 10

Rubrik: Funk + Draht

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: 28.12.2025

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

Funk + Draht

Oktober 1958

Beilage zum «Pionier»
zur fachtechnischen Ausbildung
der Übermittlungstruppen

Nachdruck verboten

Funk

Infrarot-Nachtsehgeräte

Von *E. Bolay*

DK 621.384.3

1. Einleitung

Kurz nach Erkennung des Wesens und nach Aufstellung der ersten begründeten Theorie des Lichtes durch Newton (1669) und Huygens (1677) wurde festgestellt, dass neben den sichtbaren noch andere Strahlen bestehen. Mit der Erfassung des Gesamtspektrums der elektromagnetischen Schwingungen wurde einerseits die begrenzte Spektralempfindlichkeit des menschlichen Auges anerkannt und anderseits die Entwicklung geeigneter Strahlungsempfänger eingeleitet. Mit der Zeit schien es auch möglich zu werden, den alten menschlichen Wunsch «in der Nacht sehen zu können, ohne gesehen zu werden», zu erfüllen.

Fussend auf Forschungen und Entwicklungen, die bereits vor 1939 begonnen hatten, wurden im letzten Weltkrieg sogenannte «Nachtsehgeräte» eingesetzt. Seitdem hat sich das Interesse für solche Geräte sowohl für militärische wie auch für zivile Zwecke gesteigert.

Im folgenden soll versucht werden, das Infrarot-(IR-) Nachtsehen in seinen richtigen physikalischen Rahmen zu stellen und einige wichtige Aufgaben, die bei der Entwicklung von IR-Nachtsehgeräten zu bewältigen waren, zu erwähnen. Anschliessend werden bestehende und durch uns entwickelte und gebaute Geräte kurz beschrieben.

2. Prinzip des Nachtsehens

Die bereits erwähnte, zwischen den Wellenlängen von 0,4 und 0,75 μ begrenzte Spektralempfindlichkeit des menschlichen Auges macht das Nachtsehen durch die Wahl eines geeigneten Spektralbereiches möglich. Die IR-Strahlen, auch Wärmestrahlen genannt, belegen einen sehr grossen Bereich des Spektrums und gehen von Wellenlängen von 0,76 μ bis etwa 100 μ. Aus physikalischen und praktischen Gründen werden sie unterteilt in:

Nah-IR-Strahlen	Wellenlänge etwa 0,76...1,2 μ
Mittel-IR-Strahlen	Wellenlänge etwa 1,2...3 μ
Weit-IR-Strahlen	Wellenlänge etwa 3...10 μ
Extrem-IR-Strahlen	Wellenlänge etwa 10...100 μ

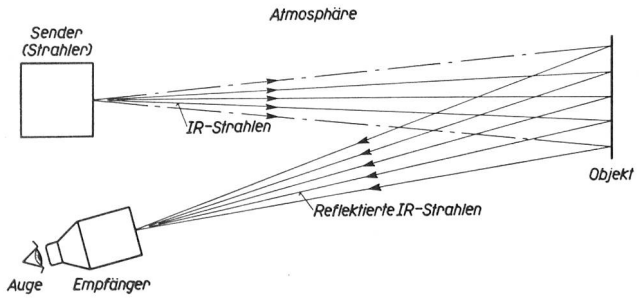

Fig. 1. Prinzip des Nachtsehens

Für die Nachtsehgeräte wurden wegen ihrer quasioptischen Eigenschaften die nahen IR-Strahlen gewählt. Die grundsätzliche Wirkungsweise geht aus Fig. 1 hervor. Die in einem Sender (Strahler) erzeugten IR-Strahlen werden auf das zu beobachtende Objekt gerichtet. Dieses reflektiert je nach den Eigenschaften seiner Oberfläche einen grösseren oder kleineren Teil dieser Strahlen, die in einem Empfänger verstärkt und sichtbar gemacht werden. Vom Sender zum Objekt und vom Objekt zum Empfänger müssen die IR-Strahlen die Atmosphäre durchdringen, deren Eigenschaften zu berücksichtigen sind.

Tabelle I

T °K	E_{tot} W/cm²	λ_{max} μ	E_1 für $\lambda = 0{,}4 \ldots 0{,}75\ \mu$ %	E_2 für $\lambda > 0{,}8\ \mu$ %	E_3 für $\lambda = 0{,}8 \ldots 1{,}2\ \mu$ %
2000	30	1,46	1,5	98	12
2500	72	1,26	5	93	20
3000	150	0,97	10,8	86	26
3500	280	0,83	18,2	77	29
4000	450	0,73	25	68	29
5000	1200	0,58	37	52	26
6000	2500	0,485	43	39	21

T = Absolute Temperatur des schwarzen Körpers in ° Kelvin
E_{tot} = Intensität der Gesamtstrahlung
E_1 = Intensität für Strahlungsanteil im sichtbaren Bereich in %
E_2 = Intensität für Strahlungsanteil im ganzen IR-Bereich in %
E_3 = Intensität für Strahlungsanteil im Bereich der nahen IR-Strahlen in %
λ_{max} = Wellenlänge für maximale Intensität

3. Physikalische Grundprobleme des Nachtsehens

Der IR-Sender

Für die Erzeugung von IR-Strahlen werden feste Körper, die auf eine entsprechende Temperatur gebracht werden, benützt. Die heute verwendeten Glühkörper bewähren sich sehr gut, ihr Wirkungsgrad ist jedoch, verglichen mit anderen Sendern und unter Berücksichtigung des für die Nachtsehgeräte wirklich verwendeten Spektralbereiches, schlecht.

Tabelle I, gerechnet für die Strahlung des schwarzen Körpers, soll dies erläutern. Für verschiedene absolute Temperaturen (T) sind die entsprechenden Intensitätswerte der Gesamtstrahlung in Watt pro cm² und die Wellenlänge λ_{max} für die maximale Intensität angegeben. Betrachtet man den prozentualen Anteil der Strahlung, der im Bereich von 0,8 bis 1,2 μ steht, so ergibt sich beispielsweise für 3000°K ein Anteil von 26%. Werden dazu noch die Filterdurchlässigkeit und der Reflexionskoeffizient berücksichtigt, so vermindert sich in diesem Falle der praktisch verwendbare Anteil der IR-Strahlen auf etwa 15%. Daneben sind auch noch der prozentuale Anteil der Strahlung für alle Wellenlängen oberhalb 0,8 μ und für den sichtbaren Bereich zwischen 0,4 und 0,75 μ angegeben. Für die Verbesserung des Wirkungsgrades sind somit nur die folgenden Wege offen:

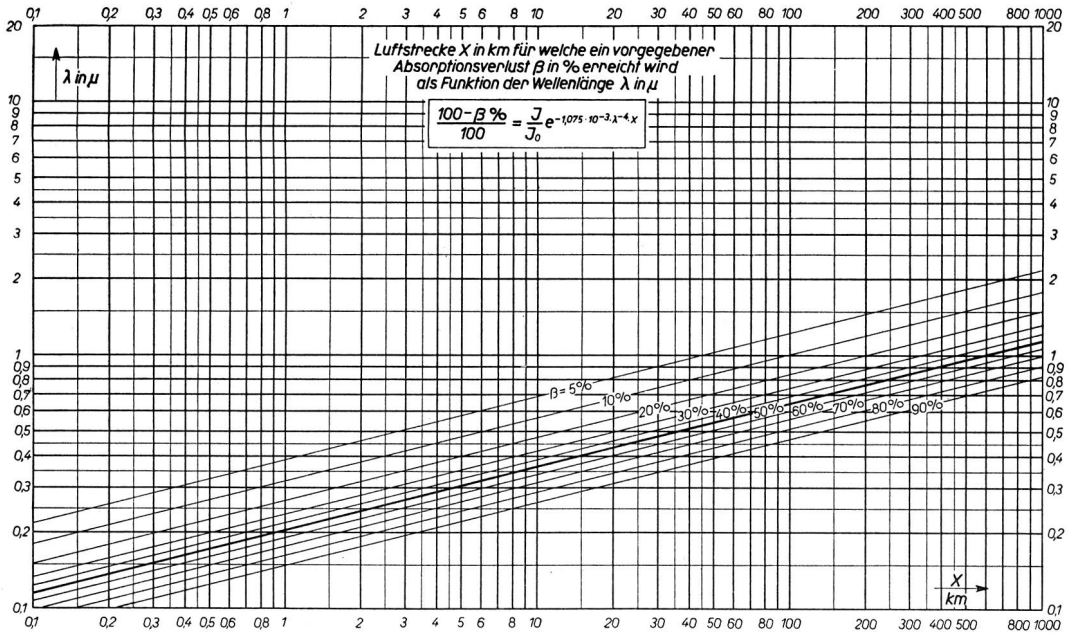

Fig. 2. Dicke der Atmosphärenschichten X in km, für welche ein vorgegebener Zerstreuungsverlust β in % erreicht wird, in Funktion der Wellenlänge λ in μ

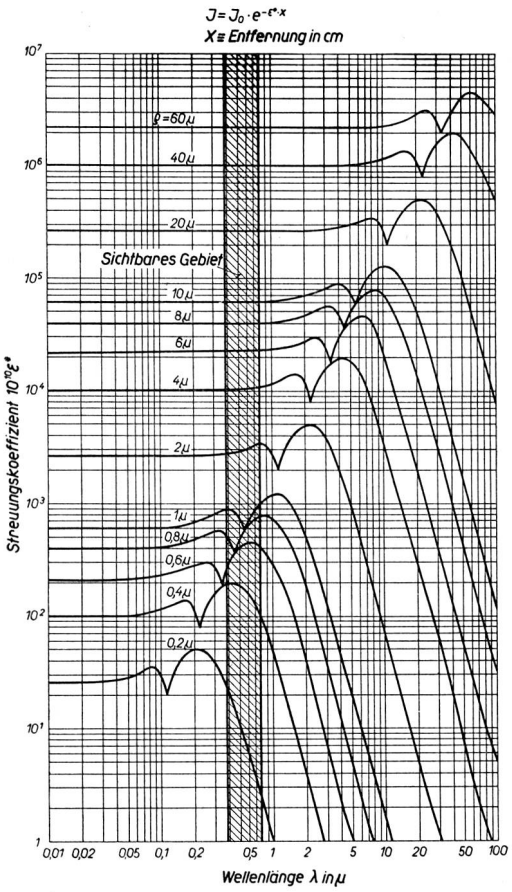

Fig. 3. Streuungskoeffizient ε^* in Abhängigkeit von der Wellenlänge λ und dem Teilchenhalbmesser ρ (Parameter)

— Schaffung eines Senders mit grossem Anteil an Strahlen im gewünschten Spektralbereich. Die bis jetzt erreichten Resultate mit gasgefüllten Glühlampen und dergleichen genügen nicht.

— Benützung eines grösseren Spektralbereiches im Empfänger, z. B. zwischen 0,8 und 10 μ.

Der Einfluss der Atmosphäre. Die Durchlässigkeit der Atmosphäre in Bodennähe für die sichtbaren Strahlen war von jeher bekannt. Jedoch erst in jüngster Zeit sind Durchlässigkeitsmessungen bekannt geworden, die auch den Bereich der IR-Strahlen miterfassen.

Die Strahlungsdämpfung der reinen Atmosphäre setzt sich aus zwei Anteilen zusammen, aus der Zerstreuung und aus der selektiven Absorption. Sie ist u. a. abhängig von der Brechung, Wellenlänge, Einfallrichtung der IR-Strahlen.

Unter der Voraussetzung, dass die Teilchengrössen einen Bruchteil der Wellenlänge betragen, haben Rayleigh und Plank eine Theorie der Lichtdämpfung bzw. der Strahlungsdämpfung, bedingt durch die Zerstreuung an Medien, aufgestellt, und sie sind zu fast identischen Resultaten gekommen. Die aus dieser Theorie errechneten Dämpfungswerte für reine Luft sind aus Fig. 2 zu entnehmen. Aufgetragen sind Luftschichtdicken x in km in Funktion der Wellenlänge λ und μ mit den Zerstreuungsverlusten β in % als Parameter. Zum Beispiel für $\lambda = 1\ \mu$ erreichen die Zerstreuungsverluste β erst bei Luftschichtdicken x von 46 km den Betrag von 5%. Besonders bemerkenswert ist hier die Abnahme dieser Dämpfungsverluste bei wachsender Wellenlänge, und zwar mit λ^4. Dieser Dämpfungsanteil kann somit vernachlässigt werden. Die selektive Absorption bei reiner Atmosphäre, d. h. bei Abwesenheit von Wasser- und Kohlensäuredampf, Staub und anderen Verunreinigungen ist verschwindend klein und darf deshalb in diesem Fall unberücksichtigt bleiben.

Bei getrübter Atmosphäre, d. h. im Falle von Dunst und Nebel, und bei Vorhandensein von Verschmutzung, Staub, Rauch sind die Verhältnisse ganz anders. In diesem Falle können die Teilchendurchmesser der Wellenlänge gleich, sogar grösser sein, so dass die Rayleighsche Theorie nicht mehr stimmt.

In Fig. 3 sind die Streuungskoeffizienten ε^*, nach den Theorien von J. A. Stratton, H. G. Houghton und durch H. Gaertner berechnet wiedergegeben. Aus diesem Bild

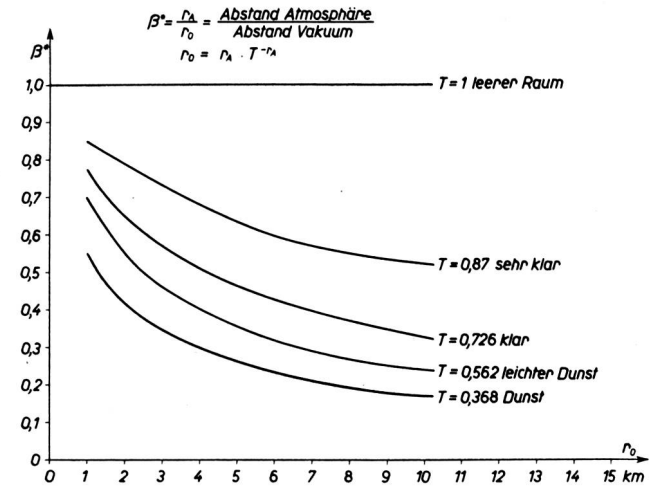

Fig. 4. Schwächung β^* der Lichtstärke für verschiedene atmosphärische Verhältnisse

geht hervor, dass im Bereich, in dem die Wellenlänge klein ist gegenüber der Teilchengrösse, die Zerstreuung von der Wellenlänge unabhängig ist. Im Übergangsgebiet, d. h. bei Wellenlängen, die der Teilchengrösse ähnlich sind, ist eine Unregelmässigkeit der Zerstreuung festzustellen. Für $\lambda/\varrho = 1$ entsteht ein Maximum. Im Bereich grösserer Wellenlängen, wo die Teilchendimensionen nur Bruchteile von λ werden, nimmt die Zerstreuung langsam ab und verläuft schliesslich nach der Rayleighschen Theorie.

Die bei den theoretischen Überlegungen gemachten Annahmen stimmen mit der Wirklichkeit nicht ganz überein, aber systematische laboratoriumsmässige Untersuchungen sind sehr schwierig. Ferner müsste noch der mit der Zunahme der Teilchengrösse zu erwartende Einfluss der selektiven Absorption mitberücksichtigt werden, und deshalb können nur empirische Messungen hierüber Auskunft geben. Die Arbeiten von H. A. Gebbie, W. R. Harding, C. Hilsum, A. W. Pryce und V. Roberts sind hier besonders zu erwähnen. Aus diesen geht vorwiegend der selektive Einfluss des Wasserdampfes hervor. Es gibt Lücken mit bedeutend grösserer Durchlässigkeit der Atmosphäre, z. B. bei 0,9, 1,25, 1,75, 2,25 μ.

In Fig. 4 sind die nach A. S. Snyder und J. R. Platt gemessenen Schwächungen β^* der Lichtstärke im sichtbaren Bereich für verschiedene atmosphärische Verhältnisse und bezogen auf Vakuum wiedergegeben. Aus diesen Messungen geht hervor, dass z. B. bei klarer Sicht und 4 km Vakuumstrecke die gleiche Lichtstärke bereits nach etwa 2 km Luftstrecke erreicht ist. Eigene Erfahrung zeigt auch, dass bei Nebel die nahen IR-Strahlen nur ein sehr wenig erhöhtes Durchdringungsvermögen gegenüber sichtbaren Strahlen aufweisen. Aus dem Vorhergesagten geht hervor, dass es nicht ohne weiteres möglich ist, diese Verhältnisse zu verbessern. Als einzige Möglichkeit erscheint auch hier die Wahl einer grösseren Wellenlänge.

Der IR-Empfänger. Heute sind mannigfaltige Strahlungsempfänger bekannt. Hier sollen nur die Empfänger, die für Nachtsehgeräte verwendbar sind, behandelt werden. Grundsätzlich sind an solche Empfänger folgende Hauptbedingungen zu stellen:

— grosse IR-Empfindlichkeit

— gute Auflösung } Bildqualität

— kontrastreich } Bildqualität

— lichtstarkes, sichtbares Bild

Um diese Bedingungen erfüllen zu können, sind bis jetzt ausschliesslich sogenannte Bildwandlerröhren verwendet worden. Diese Röhren besitzen eine IR-empfindliche Photokathode, eine Elektronenoptik sowie einen Schirm und sind deshalb in der Reihe der nach dem äusseren Photoeffekt arbeitenden Strahlungsempfänger einzureihen. Das IR-Bild wird mittels eines Objektivs auf die Photokathode abgebildet, und das sichtbare Bild auf dem Schirm wird mittels eines Okulars betrachtet. Die heutigen Empfänger befriedigen hinsichtlich Bildqualität. Dagegen wäre es wünschenswert, die IR-Empfindlichkeit zu steigern. Hier wird aber die Grenze einerseits durch die physikalischen Eigenschaften der durchsichtigen photoempfindlichen Schichten und anderseits durch die thermische Aufhellung gegeben. Künstlich kann die thermische Aufhellung durch Kühlen der Bildwandlerröhren herabgesetzt werden, und somit wären auch bessere Kontrast-Eigenschaften zu erreichen, jedoch sind die dazu benötigten Einrichtungen zu unwirtschaftlich. Verbesserun-

gen scheinen somit nur durch Verwendung anderer physikalischer Eigenschaften von Körpern, z. B. der inneren Photoeffekte möglich. Dies würde auch die Möglichkeit bieten, in den langwelligen IR-Bereich vorzustossen, was sehr vorteilhaft sein könnte. Jedoch zeigen die heutigen Forschungen und Entwicklungen auf diesem Gebiet, dass die unerlässliche Forderung genügender Bildqualität bei Nachtsehgeräten noch grosse Schwierigkeiten verursacht. Es muss aber erwähnt werden, dass bei Geräten, die in einem Wellenbereich oberhalb 2 μ arbeiten, die zu verwendenden Objektive neu überlegt werden müssten, da die Durchlässigkeit der Glasarten, wie sie in der klassischen Optik verwendet werden, ungenügend ist.

Das menschliche Auge. Um die wichtige Bedingung der Unsichtbarkeit des Strahlers erfüllen zu können, müssen auch einige Eigenschaften des menschlichen Auges mitberücksichtigt werden; vor allem interessieren die absolute und spektrale Empfindlichkeit des dunkeladaptierten Auges. Die Empfindlichkeitsgrenze des dunkeladaptierten Auges wird angegegeben mit $1...2 \times 10^{-9}$ lx. Die relative spektrale Empfindlichkeit für Tages- und Dämmerungssehen ist aus Fig. 5 ersichtlich.

Tabelle II

λ in mμ	$V\lambda$	λ in mμ	$V\lambda$
400	$4 \cdot 10^{-4}$	750	$1{,}2 \cdot 10^{-4}$
450	$3{,}8 \cdot 10^{-2}$	800	$4 \cdot 10^{-6}$
500	0,328	860	$7{,}6 \cdot 10^{-8}$
555	1,00	900	$7{,}7 \cdot 10^{-9}$
600	0,531	960	$3{,}5 \cdot 10^{-10}$
650	0,107	1000	$1{,}4 \cdot 10^{-10}$
700	$4{,}1 \cdot 10^{-3}$		

Bis vor kurzem wurde angenommen, dass die Empfindlichkeit des Auges, oberhalb 0,76 μ praktisch null sei. Die neuesten Untersuchungen von Czerny zeigen jedoch eine Empfindlichkeit des Auges bis etwa 1 μ.

Tabelle II gibt die relative spektrale Augenempfindlichkeit nach den Angaben der Internationalen Beleuchtungskommission und nach Czerny, wobei für 0,555 μ (grün) die maximale Empfindlichkeit mit 100% = 1 gesetzt ist. Oberhalb 0,76μ wurden die Werte nach Czerny eingesetzt. Der Tabelle kann entnommen werden, dass die Augenempfindlichkeit bei 1 μ nur noch $1{,}4 \times 10^{-10}$ beträgt. Aus der spektralen Empfindlichkeit des Auges geht hervor, dass einerseits die Filter unterhalb 0,75 μ sehr gut sperren müssen und dass anderseits, wenn man im nahen IR-Bereich arbeiten will, eine sehr schwache Sichtbarkeit der Quelle bleibt, insbesondere wenn die Lichtstärke der verwendeten Strahlungssender hochgezüchtet wird. Versuche zeigen aber, dass in den meisten Fällen bei gutem Filter die restliche Augenempfindlichkeit im nahen IR-Bereich nicht stört, vor allem dann nicht, wenn die Strahlen eng gebündelt sind.

4. Besondere Entwicklungsaufgaben

Zu den obenerwähnten physikalischen Grundproblemen des Nachtsehens mussten im Hinblick auf die Verwirklichung von Nachtsehanlagen die folgenden Aufgaben behandelt werden:

a) Entwicklung einer Glühlampe mit besonderer Wendelform, um eine gute Anpassung der Quellendimensionen an die Spiegeleigenschaften zu verwirklichen und somit ein quasiparalleles Lichtbündel zu erreichen. Beseitigung der unliebsamen Fokussierung der Lampe bei Lampenwechsel.

b) Verwendung von Parabol-Metallspiegeln hoher Qualität.

c) Entwicklung von IR-Filtern mit Dämpfungswerten $> 10^4$ unterhalb 0,75 μ.

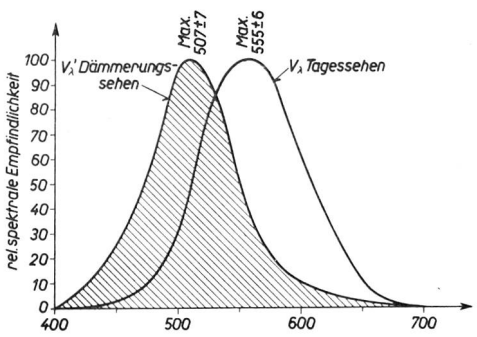

Fig. 5. Relative spektrale Augenempfindlichkeit nach IBK für Tages- und nach Bender/Tschermak für Dämmerungssehen

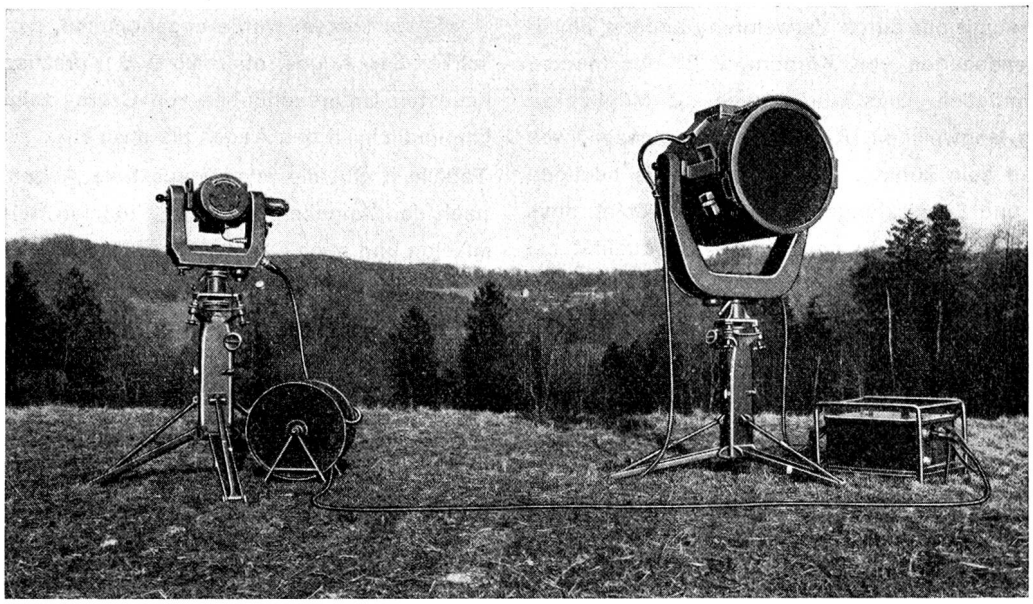

Fig. 6. Halbmobile IR-Beobachtungs- und Zielanlage mit Fernsteuerung

d) Verwendung eines lichtstarken und verzerrungsfreien Objektivs und Anpassung an die verwendeten Bildwandlerröhren.

e) Entwicklung von Bildwandlerröhren mit höchster IR-Empfindlichkeit bei möglichst guter Bildqualität.

f) Entwicklung von raumsparenden Hochspannungserzeugern für die Speisung der BW-Röhren.

g) Entwicklung einer Fernsteuerungsanlage auf der Basis der Servo-Nachlaufsteuerung und von Netzgeräten.

5. Nachtsehgeräte und -anlagen

Gestützt auf die beschriebenen physikalischen und technischen Grundlagen haben wir folgende Nachtsehgeräte bzw. -anlagen entwickelt und gebaut:

a) Halbmobile Geräte für grosse Distanzen: Im Zusammenhang mit der Überwachung ganzer Geländeabschnitte und Engpässe; für Küstenüberwachung wurde eine Anlage geschaffen, die Beobachtungen bis etwa 1000 m und mehr gestattet. Um ein kontrastreiches Bild zu erhalten, wurden bei dieser Anlage Strahler und Sichtrohr auseinandergenommen. Die maximale Basis beträgt 50 m. Zur Erleichterung der Bedienung ist eine Fernsteuerung vorgesehen, die dafür sorgt, dass die unsichtbaren Schweinwerferstrahlen automatisch auf das Ziel gerichtet werden (siehe Fig. 6).

b) Mobile Geräte für mittlere Reichweiten: Eine grosse Zahl von Verwendungsmöglichkeiten bieten mobile Geräte für mittlere Distanz. Diese Geräte (siehe Fig. 7) sind für die verschiedensten Zwecke geeignet. Sie gestatten eine Überwachung des Geländes bis zu einer Distanz von etwa 500 m und finden deshalb auch bei der Überwachung von Gebäuden, Hafenanlagen usw. ein reiches Anwendungsgebiet.

c) Tragbare Geräte mit kurzer Reichweite: Der Wunsch, für bestimmte polizeiliche und militärische Massnahmen über ein leichtes Beobachtungs- und Zielgerät zu verfügen, das gestattet, auch Waffen mit beschränkter Reichweite zur Wirkung zu bringen, führte zur Konstruktion leichter IR-Zielgeräte, auch etwa «Sniperscope» genannt. In Verbindung mit dem Sturmgewehr, dem Raketenrohr, der Maschinenpistole oder auch nur als Beobachtungsgerät können damit Ziele bis zu den Distanzen von 150 m erkannt, beobachtet und gegebenenfalls bekämpft werden. Geräte dieser Ausführungsform (siehe Fig. 8) eignen sich vorzüglich für individuelle Aktionen sowie für Schutz- und Bewachungsaufgaben. Moderne Geräte sind klein und handlich und wiegen zusammen mit einer Akkumulatorenbatterie für den Strahler weniger als 10 kg.

d) Fahrgeräte: Es liegt auf der Hand, dass eine der offensichtlichsten Anwendungen des IR-Prinzips in der Ausrüstung von Fahrzeugen mit Fahrgeräten liegt (siehe Fig. 9). Solche Geräte erlauben es, bei Nacht mit Fahrzeugen auch in schwierigem Gelände ohne Licht und mit normalen Geschwindigkeiten zu fahren. In Fahrgeräten kommen im allgemeinen Empfänger mit Weitwinkeloptiken sowie Okulare für doppeläugigen Einblick zur Verwendung. Die am Fahrzeug vorhandenen Scheinwerfer werden durch Anbringen von entsprechenden Filtern in IR-Strahlungsquellen verwandelt, so dass keine besonderen Strahler benötigt werden.

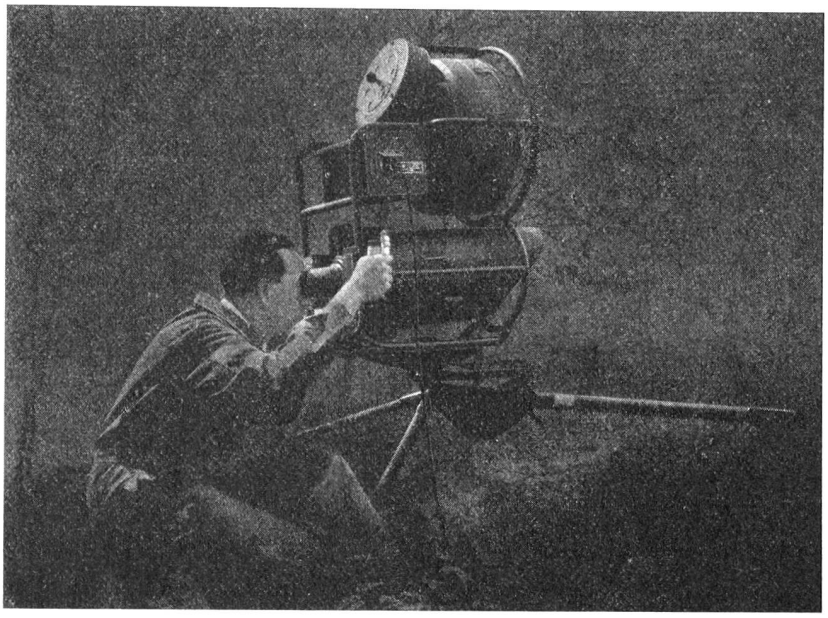

Fig. 7. IR-Beobachtungsgerät auf Lafette

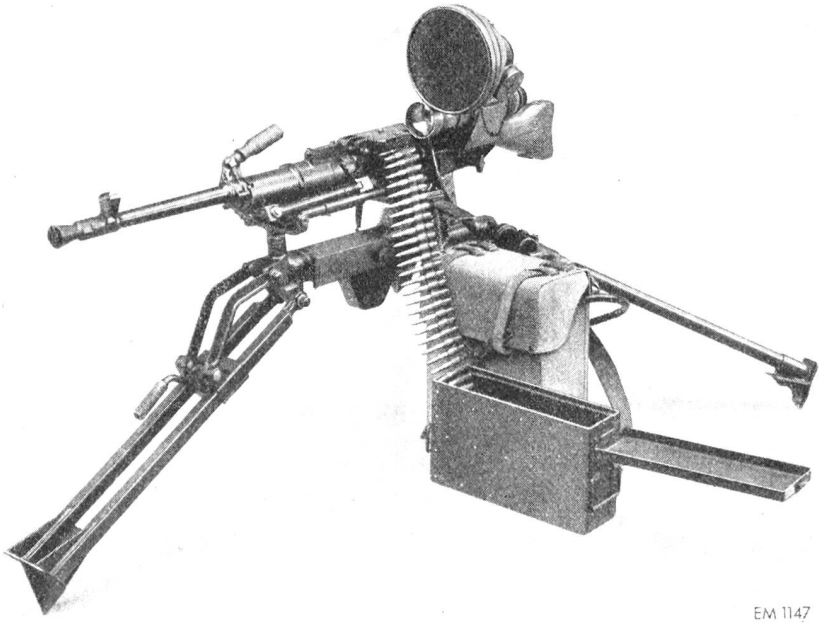

Fig. 8. IR-Zielgerät auf Maschinengewehr montiert

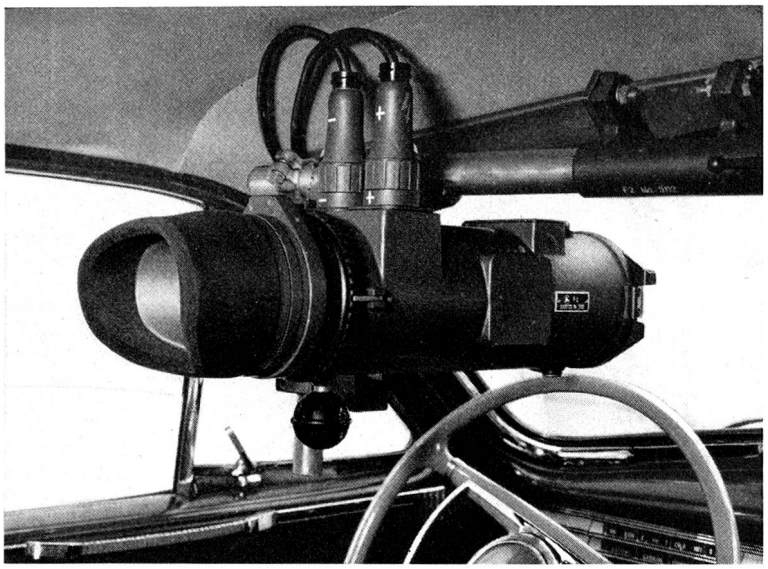

Fig. 9. IR-Fahrgerät für doppeläugigen Einblick

6. Schlusswort

Die beschriebenen IR-Anlagen bzw. IR-Geräte sind verschiedentlich zum Einsatz gekommen. Die bisherigen Betriebsergebnisse sind vielversprechend. Die Entwicklung bleibt aber nicht stehen; weitere Geräte sind in Arbeit, und es ist zu hoffen, dass die Technik des Nachtsehens auf breiterer Basis neue Anwendungsgebiete finden wird.

Auch auf dem Gebiete der Forschung sind Neuerungen zu erwarten. Es bestehen heute begründete Hoffnungen, dass mit der Zeit auch passive IR-Geräte entwickelt und verwendet werden können.

Einführung in die Elektrotechnik

Der in der fachtechnischen Beilage des «Pioniers» erschienene elektrotechnische Kurs — ohne den Teil «Apparatekenntnis» — ist soeben als Separatdruck erschienen. Diese Broschüre im Format 12 × 17 cm umfasst 144 Seiten und enthält 157 Abbildungen. Diese Publikation, die im Buchhandel nicht erhältlich ist, wird zum Preis von **Fr. 2.20** (inkl. Porto und Versand) abgegeben. Mengenrabatte für Sektionen und Vorunterrichtskurse können infolge dieses niederen Preises keine gewährt werden. Bestellungen können mit einem Einzahlungsschein an die Redaktion des «Pioniers», Postcheckkonto VIII 15 666, gerichtet werden. Nachnahmebestellungen werden nicht ausgeführt.

Fr. 2.20