

**Zeitschrift:** Pionier : Zeitschrift für die Übermittlungstruppen  
**Herausgeber:** Eidg. Verband der Übermittlungstruppen; Vereinigung Schweiz. Feld-Telegraphen-Offiziere und -Unteroffiziere  
**Band:** 42 (1969)  
**Heft:** 12

**Artikel:** Resthelligkeit der Nacht, Möglichkeiten für passives Nachtsehen  
**Autor:** Leuenberger, Urs  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-563951>

### **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:** 14.03.2025

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

# Resthelligkeit der Nacht, Möglichkeiten für passives Nachtsehen

Von Urs Leuenberger

## Einleitung

In der Nacht zu sehen, ohne selber gesehen zu werden, ist ein alter Traum der Menschen. Moderne technische Hilfsmittel haben ihn der Erfüllung dieses Wunsches näher gebracht. Dabei geht es keineswegs um eine blossen Spielerei, sondern um die Lösung einer Aufgabe, welche beispielsweise bei militärischen Anwendungen von Bedeutung ist.

Das Wesentliche am Sehvorgang ist die Übermittlung eines Bildes an einen Beobachter. Bei allen zur Zeit bekannten Systemen dient, zumindest im ersten Glied der gesamten Übertragungskette, elektromagnetische Strahlung als Informationsträger. Empfangsorgan als letztes Glied einer Kette bildet das Auge des Beobachters. Es ist jedoch nur in einem sehr kleinen Gebiet des ganzen elektromagnetischen Spektrums empfindlich, für Wellenlängen zwischen etwa 0,4 und 0,75  $\mu\text{m}$  ( $1 \mu\text{m} = 1/1000 \text{ mm}$ ). Technische Hilfsmittel gestatten es, diesen Bereich sowohl zu kürzeren (Ultraviolett-) wie auch zu längeren (Infrarot-) Wellenlängen zu erweitern. Dem verwendeten Gerät kommt dann die Aufgabe zu, das dem Auge unsichtbare Bild zu empfangen und in dem für den Beobachter sichtbaren Spektralgebiet wiederzugeben.

Die geringen beim Nachtsehen zur Verfügung stehenden Strahlungsleistungen und der kleine Wirkungsgrad des Auges schaffen nicht sehr befriedigende Voraussetzungen. Zusätzlich erweist sich die starke Begrenzung des verfügbaren Lichtstromes durch die Pupille des Auges als nachteilig. Technische Hilfsmittel können hier auf zwei Arten Verbesserungen bringen: Objektive mit grosser Öffnung stellen einen grösseren Lichtstrom zur Verfügung, und eine Lichtverstärkeranordnung ermöglicht eine bessere Auswertung der empfangenen Informationen durch das Auge.

## Strahlungsquellen für das Nachtsehen

Alle Nachtsehgeräte sind auf elektromagnetische Strahlung angewiesen. Je nach Strahlungsquelle lassen sich drei grundsätzliche Typen unterscheiden. Wir sprechen von einem aktiven System, wenn der Beobachter wie in Fig. 1a einen Strahler zur Beleuchtung einsetzt. Handelt es sich dabei um einen

Scheinwerfer mit sichtbarem Licht, so dient das unbewaffnete Auge als Empfänger. In diesem Falle ist eine unerwünschte Mitbeobachtung durch andere möglich. Deckt man den Scheinwerfer mit einem Infrarotfilter ab, so wird das sichtbare Licht zurückgehalten, und die Beleuchtung erfolgt durch eine für das Auge unsichtbare infrarote Strahlung. Ein Beobachter vermag das vom Infrarotscheinwerfer beleuchtete Bild nur dann zu sehen, wenn ein Bildwandlergerät das für ihn unsichtbare Bild in ein sichtbares umwandelt; für das unbewaffnete Auge dagegen herrscht Dunkelheit. Seit vielen Jahren werden von uns solche Bildwandlergeräte gebaut und sind zum Beispiel in [1] beschrieben worden. In militärischen Anwendungen hat dieses System aber auch Nachteile. Ein mit ähnlichen Geräten ausgerüsteter Gegner kann nicht nur mitbeobachten, sondern auch den Scheinwerfer auf grosse Entfernung erkennen. Ferner hat die für den Betrieb des Scheinwerfers notwendige leistungsstarke Stromquelle ein ansehnliches Gewicht und verursacht zusätzliche Schwierigkeiten für Transport und Nachschub. Wenn auch diese Nachteile bei geschicktem Einsatz wesentlich an Bedeutung verlieren, so ist doch der Wunsch, auf einen eigenen Strahler zu verzichten, sehr wohl begründet.

Fällt keine Fremdstrahlung auf das zu beobachtende Objekt, so muss die Eigenstrahlung verwertet werden, wie dies in Fig. 1c dargestellt ist. Jeder Körper, dessen Temperatur über dem absoluten Nullpunkt von  $-273^\circ\text{C}$  liegt, sendet elektromagnetische Wellen aus. Körper hoher Temperatur, wie etwa die Wolframwendel einer Glühlampe, geben viel sichtbares Licht ab. Gegenstände mit niedrigen Eigentemperaturen strahlen vorwiegend im Infrarotgebiet. Nachtsehgeräte, welche diese Eigenstrahlung ausnutzen, sind für Wellenlängen von etwa 10  $\mu\text{m}$  empfindlich. Der oben erwähnte Bildwandler eignet sich nicht für diesen Einsatz, da seine Empfindlichkeit nur etwa bis 1,2  $\mu\text{m}$  reicht. Die erforderlichen langwelligen Infrarotgeräte bereiten jedoch in ihrer technischen Realisierung erhebliche Schwierigkeiten.

In Fig. 1b ist ein weiterer Gerätetyp dargestellt. Hier geht die zur Beobachtung verwendete Strahlung weder vom Beobachter aus, wie beim aktiven Gerät nach Fig. 1a, noch vom

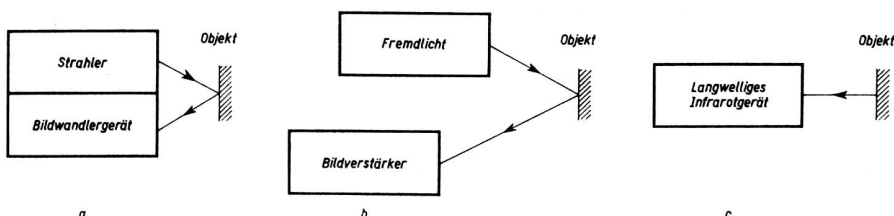


Fig. 1 Nachtsehsysteme, nach Strahlungsquellen geordnet.  
a Bildwandlergerät (aktiv)

b Bildverstärkergerät (passiv)

c Langwelliges Infrarotgerät (passiv)

Objekt, wie beim passiven System nach Fig. 1c, sondern sie hat ihren Ursprung in einer natürlich vorkommenden Fremdlichtquelle. Vom Beobachter aus gesehen, handelt es sich dabei ebenfalls um ein passives System. Da die Lichtintensität im allgemeinen schwach ist, muss dem beobachtenden Auge ein Bildverstärker vorgeschaltet werden. Bevor dieser Gerätetyp nach Fig. 1b ausführlicher beschrieben wird, muss die Frage nach der Fremdlichtquelle untersucht werden.

### Resthelligkeit der Nacht

Bekanntlich ist die Nacht nicht völlig lichtlos. Die auftretende geringe Helligkeit bezeichnen wir als Resthelligkeit der Nacht. Ihre Intensität und ihr Spektralverlauf ändern sich stark mit der geographischen Lage, der Jahreszeit, den Witterungsverhältnissen usw. Immerhin sind in der spektralen Zusammensetzung dieses Restlichtes stets gewisse charakteristische Kennzeichen vorhanden (Fig. 2). Einem spektralen Kontinuum, dessen Maximum etwa bei  $0,48 \mu\text{m}$  liegt, sind ausgeprägte Linien und Spektralbanden überlagert. Der Ursprung des Kontinuums liegt im wesentlichen bei drei Quellen:

1. **Zodiakallicht**, welches im interplanetarischen Raum gestreutes Sonnenlicht darstellt,
2. **galaktisches Licht**, das von der Streuung von Sternenlicht an interstellarer Materie herrührt, und
3. **direktes Sternenlicht**.

Von den dem Kontinuum überlagerten Spektrallinien und Banden ist im Ultravioletten die energetisch nicht sehr bedeutende Strahlung von Sauerstoff- und Stickstoffmolekülen zu erwähnen. Im sichtbaren Gebiet spielen die Sauerstofflinien bei  $0,56 \mu\text{m}$ , das Sauerstoffdoublett bei  $0,63 \mu\text{m}$  und die Natrium-D-Linie bei  $0,59 \mu\text{m}$  eine gewisse Rolle. Im Infrarotgebiet finden wir eine Anzahl von Vibrations-Rotations-Banden des OH-Ions. Sie ergeben bei Wellenlängen oberhalb von  $1 \mu\text{m}$  Strahlungsleistungen, welche diejenige des Kontinuums weit übertreffen.

Diese Resthelligkeit der Nacht kann als Strahlungsquelle zum Nachtsehen im Sinne von Fig. 1b verwendet werden. Die geringe zur Verfügung stehende Strahlungsintensität macht jedoch einen leistungsfähigen Bildverstärker notwendig. Sollen Strahlungsleistungen ausserhalb des sichtbaren Spektrums ausgenützt werden, so übernimmt der Bildverstärker gleichzeitig auch die Rolle des Bildwandlers, damit ein für das Auge sichtbares Bild entsteht.

### Prinzip des Bildwandlers

Die meisten Bildwandler und Bildverstärkergeräte, vor allem wenn sie bei geringen Lichtintensitäten arbeiten, benützen den äusseren Photoeffekt, das heisst die Photoemission von

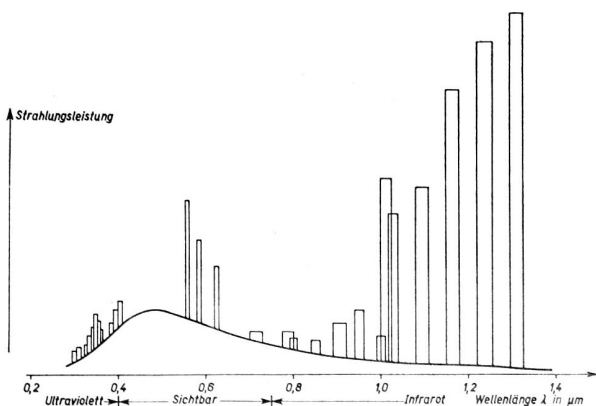


Fig. 2 Spektrale Zusammensetzung der Resthelligkeit

Kathoden. Das Prinzip eines einfachen Bildwandlers ist in Fig. 3 dargestellt.

Das Objekt wird durch das Objektiv auf die Photokathode der Bildwandlerröhre abgebildet. Durch Photoemission entsteht aus dem Strahlungsbild an der Photokathode ein Ladungsbild. Mit Hilfe einer angelegten Hochspannung zwischen Kathode und Leuchtschirm wird das Ladungsbild auf den Leuchtschirm übertragen. Die eingebaute Elektronenoptik sorgt dafür, dass die Bildeigenschaften dabei möglichst gut erhalten bleiben. Da die Elektronen mit hoher Energie auf den Leuchtschirm auftreffen, werden die entsprechenden Stellen zum Leuchten gebracht. Das entstehende Leuchtbild liegt im sichtbaren Gebiet und kann von Auge durch das Okular betrachtet werden.

Die Photokathode der Bildwandlerröhre bestimmt die spektrale Empfindlichkeitsverteilung des Gerätes. Die amerikanische Behörde «Jedec Electron Tube Council» hat verschiedene Spektralkurven normiert. Die drei für Bildwandler und Bildverstärker wichtigsten Photokathoden entsprechen den Kurven S-1, S-11 und S-20. Sie sind in Fig. 4 aufgetragen und gehören zu den Kathodenschichten aus Zäsium, Silber und Sauerstoff (S-1), Zäsium und Antimon (S-11) beziehungsweise Natrium, Kalium, Zäsium und Antimon (S-20).

Da neben der relativen Empfindlichkeit nach Fig. 4 auch ihr absoluter Wert von Bedeutung ist, definiert man den Kathodenwirkungsgrad  $\eta_k$  im Empfindlichkeitsmaximum als Anzahl der pro hundert einfallenden Photonen erzeugten Photoelektronen. Dieser ist in der kleinen Tabelle in Fig. 4 angegeben. Aus den Fig. 2 und 4 ist ersichtlich, dass die beiden Kathoden S-11 und S-20 ihre grösste Empfindlichkeit in dem Bereiche haben, in welchem die Resthelligkeit das Maximum des spektralen Kontinuums aufweist. Die S-20-Kathode ist wegen des höheren Kathodenwirkungsgrades der S-11-Kathode technisch überlegen. Dieser Vorteil muss jedoch durch grössere Schwierigkeiten bei der Herstellung erkauft werden. Die S-1-Kathode ist die einzige bekannte Photokathode, deren Empfindlichkeit so weit ins Infrarotgebiet reicht, dass sie die in Fig. 4 angegebenen hohen Energien der OH-Banden ausnützen kann. Leider ist aber ihr Kathodenwirkungsgrad gering.

### Bildverstärkung

Für das Problem des Nachtsehens ist die Bildverstärkung ebenso wichtig wie die Bildwandlung. Schon in der klassischen Bildwandlerröhre nach Fig. 3 tritt ein Verstärkungseffekt auf. Den Photoelektronen wird durch die hohe Beschleunigungsspannung der Röhre Energie zugeführt, damit sie beim Auftreffen auf den Leuchtschirm eine grosse Zahl von Photonen im sichtbaren Gebiet auslösen. Reicht diese Verstärkung nicht aus, so kann beispielsweise durch Sekundärelektronenvervielfachung zwischen Photokathode und Leuchtschirm die Elektronendichte erhöht werden. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, dass man die beschriebene Bildwandlerröhre als erste Stufe einer Verstärkerkette betrachtet und durch Kaskadenschaltung die notwendige Verstärkung erzielt. Dabei wird das Leuchtbild der ersten Stufe auf die Photokathode der zweiten Stufe übertragen. Das so entstehende verstärkte Ladungsbild wird auf einen zweiten Leuchtschirm abgebildet usw. Um eine genügende Auflösung der Bildelemente bei kleinen Lichtverlusten zu erreichen, muss man den Leuchtschirm der vorangehenden Stufe mit der Kathode der nachfolgenden entweder in engen Kontakt bringen oder durch eine Fiberoptik verbinden.

### Optimaler Aufbau eines Bildverstärkers

Ein optimaler Bildverstärker übermittelt mit geringstmöglichem Aufwand dem Beobachter möglichst viel Information. Für eine entsprechende Systembetrachtung müssen somit

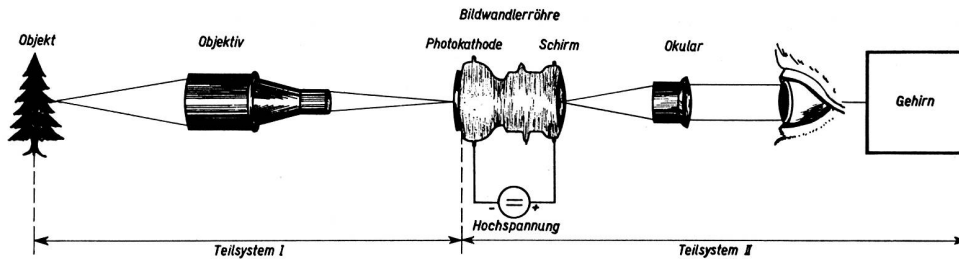


Fig. 3 Das Bildwandlerprinzip

auch das Auge des Beobachters und die Art der Verarbeitung der Bildinformation im Gehirn mit einbezogen werden, wie dies in Fig. 3 dargestellt ist. Helligkeitsunterschiede zwischen verschiedenen Flächen eines Bildes werden vom Beobachter als Differenz der Reizwerte entsprechender Nervensignale wahrgenommen. Da dieses Differenzsignal statistischen Schwankungen unterworfen ist, was der Überlagerung eines Rauschsignals entspricht, muss zur Signalerkennung das Verhältnis von Signal zu Geräusch hinreichend gross sein. Dieses Verhältnis ist also möglichst ungeschmälert durch das gesamte System zu übertragen. Um einen besseren Überblick zu erhalten, trennen wir das System in die beiden Teilsysteme I und II auf. System I umfasst das Objekt, das Objektiv und die Photokathode. Um ein möglichst gutes Signal-Geräusch-Verhältnis im Teilsystem I zu erhalten, müssen wir einige Forderungen erfüllen:

- möglichst starke Beleuchtung des Objektes;
- guten Kontrast auf dem Objekt;
- grosse Öffnung des Objektivs, damit möglichst viel Strahlung aufgenommen werden kann;
- geeignete Photokathode, welche die auffallende Strahlung auswertet (grosser Kathodenwirkungsgrad und geeignete Spektralverteilung). Dabei ist zu berücksichtigen, dass nicht nur das Strahlungsangebot, sondern auch der Reflexionskoeffizient der betrachteten Objekte und damit die Kontraste sehr stark von der Wellenlänge abhängen.

Das Teilsystem II umfasst die Bildverstärkerröhre, das Okular und das Wahrnehmungssystem des Beobachters. Um optimal zu arbeiten, muss es das von Teilsystem I gelieferte Signal-Geräusch-Verhältnis ungeschmälert dem Beobachter übermitteln. Man kann quantitativ zeigen, dass bei geschicktem Aufbau schon das in Fig. 3 gezeichnete einfache System diese Bedingung knapp zu erfüllen vermag, vorausgesetzt, dass das Auge des Beobachters dunkeladaptiert ist. Werden erschwerende Bedingungen gestellt, beispielsweise Anpassung an das helladaptierte Auge, so ist eine zusätzliche Verstärkung nötig. Natürlich gibt es andere Bildverstärker als die

beschriebenen, doch verwenden die empfindlichsten bis heute bekannten Systeme alle das in Fig. 3 gezeichnete Teilsystem I. Für das Teilsystem II sind verschiedene Abarten gebräuchlich. So kann an Stelle des Auges eine Fernsehaufnahmeröhre treten. Da diese jedoch nicht die Empfindlichkeit des menschlichen Auges erreicht, ist in diesem Falle immer eine Zwischenverstärkung notwendig. Eine andere bekannte Anordnung ist das Bildorthikon, bei welchem das Elektronenbild von Teilsystem I nicht einen Leuchtschirm anregt, sondern ein Ladungsbild auf einen isolierenden Träger erzeugt, das sich zur Abtastung durch einen Elektronenstrahl eignet.

#### Leistungsfähigkeit des Bildverstärkers

Es ist schwierig, die Frage nach der Leistungsfähigkeit des Bildverstärkers zu beantworten, denn die verwendete Strahlung, die Resthelligkeit der Nacht, ist in ihrer spektralen Struktur recht komplex und grossen Schwankungen unterworfen. Am besten eignet sich dazu ein Vergleich mit dem unbewaffneten Auge, da wir aus Erfahrung wissen, dass auch in einer dunklen Nacht einiges zu sehen ist.

Die übertragenen Bildinformation hängt vom empfangenen Lichtstrom und vom Wirkungsgrad seiner Verarbeitung ab. Da die Photokathode S-11 beispielsweise etwa die Empfindlichkeit des Auges erreicht, entspricht der Wirkungsgrad der Informationsverarbeitung bei einem Bildverstärker mit S-11-Kathode und optimal aufgebautem Teilsystem II etwa demjenigen des Auges. Zum Vergleich der Leistungsfähigkeit müssen somit nur noch die Lichtströme betrachtet werden. Diese sind beim Bildverstärker durch die Eintrittsöffnung des Objektivs, beim Auge durch die Pupille begrenzt. Bei einigermaßen handlichen Geräten kommen Objektive zum Einsatz, deren Eintrittsflächen das Tausendfache derjenigen der Augenpupille betragen. Dies bedeutet jedoch, dass beim Bildverstärker etwa gleiche Verhältnisse herrschen wie beim Auge, wenn das Objekt tausendmal stärker beleuchtet ist. Anders ausgedrückt heisst dies, dass man mit einem solchen Bildverstärker in einer dunklen, mondlosen Nacht etwa gleich viel sieht wie mit dem Auge in einer klaren Vollmondnacht, bei Vollmond dagegen leistet er bereits so viel wie das Auge etwa eine halbe Stunde nach Sonnenuntergang.

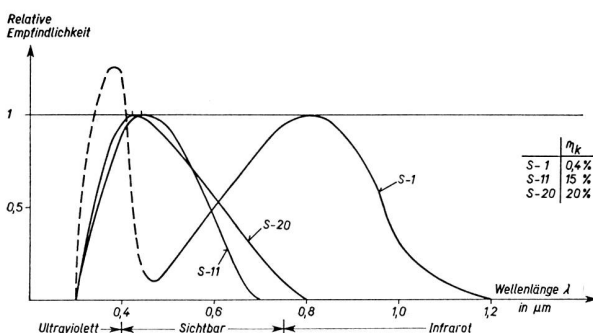


Fig. 4 Spektrale Empfindlichkeit der drei wichtigsten Photokathoden

#### Schlussbemerkung

Es wurde gezeigt, dass man eine von der Natur angebotene Lichtquelle, die Resthelligkeit der Nacht, mit Hilfe von Lichtverstärkern zur Lösung des Problems des Nachtsehens ausnützen kann. Wenn solche rein passiv arbeitenden Geräte für militärische Anwendungen auch recht beachtliche Vorteile bieten, muss doch gesagt werden, dass sie in absehbarer Zukunft keineswegs die Leistungsfähigkeit von modernen, aktiven Bildwandlergeräten erreichen können. Es ist anzunehmen, dass Lichtverstärkergeräte die bekannten kurzwelligen Infrarotgeräte ergänzen, sie aber nicht verdrängen werden.