



Monokulare. Das Night Enforcer 6010 arbeitet mit einer Röhre der 3. Generation (links). Das PS22 von ATN gibt es mit verschiedenen weit entwickelten Röhren der 2. und 3. Generation. Solche Geräte mit einer Röhre der 3. Generation werden in den USA ab rund 2700 bis über 4000 US-Dollar gehandelt.

Längenbereich zwischen 350 nm und 900 nm – also vom nicht für das menschliche Auge sichtbaren ultravioletten Licht über das gesamte sichtbare Spektrum bis hin zum nicht sichtbaren Infrarot-Licht.

Die Empfindlichkeit ist etwa doppelt so hoch wie bei einer Röhre der Generation 1, sie liefert rund 240 bis 500 $\mu\text{A/lm}$ Licht. Im Unterschied zu Röhren der Generation 1 ist bei Röhren der Generation 2 eine sogenannte Mikrokanalplatte (MCP = micro channel plate) zwischen Fotokathode und Bildschirm geschaltet. Diese MCP bewirkt eine Vervielfachung des an der Fotokathode ausgelösten Elektronenstroms. Im Detail: Jedes erzeugte Elektron löst beim Durchgang eine vielfache Anzahl von Sekundärelektronen aus, die dann am Phosphorschirm in entsprechend helles Bild umgesetzt werden.

Durch diese kaskadenartige Verstärkung des Elektronenstromes in der MCP (Grafik Seite 51) erreichen solche Röhren in der Konsequenz eine Restlichtverstärkung um etwa das 20 000-fache. Die MCP wurde etwa Mitte der 1960er-Jahre entwickelt.

Vervielfältigung von Elektronen

Eine MCP ist eine technische Meisterleistung, besteht sie doch aus Millionen von gebündelten Hohlfasern mit sechseckigem Querschnitt. Die Innenwände dieser Mikrokanäle sind mit einer elektrisch leitenden Beschichtung versehen. Die eigentliche Verstärkung erfolgt in diesen Kanälen: Die aus der Fotokathode herausgeschlagenen Elektronen springen ähnlich einer Billardkugel von Kanalwand zu Kanalwand durch die Mikroröhre. Bei jedem Auftreffen, schlagen sie viele weitere Elektronen (Sekundärelektronen) aus der Wandung, die ihrerseits – unter dem Einfluss der Hochspannung – sich von Wand zu Wand durch den Mikrokanal bewegen.

Ein Lichtimpuls bewirkt so einen sich verstärkenden Elektronenstrom, der dann auf dem Phosphorschirm in einen entsprechend hellen Bildpunkt verwandelt wird.

Röhren der Generation 2 verfügen oft über eine automatische Verstärkungsregelung sowie eine Spitzenlichtbegrenzung. Das schützt die empfindlichen Röhren vor zu raschem Ausbrennen. Ziel ist auch eine

Helligkeitsregelung, ohne dass die Auflösung leidet. Die Lebensdauer hochwertiger Röhren der Generation 2 beträgt über 10000 Stunden.

Generation 2+. Bei Röhren der Generation 2+ liegt zwar im Grundsatz die gleiche Bauweise wie bei Röhren der Generation 2 vor, doch ist sowohl die Lichtempfindlichkeit mit 500 bis 600 $\mu\text{A/lm}$ als auch die Auflösung mit 45 bis 60 lp/mm höher. Technisch ist das auf MCPs mit mehr und feineren Mikrokanälen, empfindlichere Fotokathoden sowie verbesserte Phosphorschirme zurückzuführen.

Generation 2 Super Gen. Bei diesen Röhren mit ebenfalls typischer Generation-2-Bauweise ist die Empfindlichkeit der Fotokathode auf 600 bis 700 $\mu\text{A/lm}$ angehoben, die Auflösung des Bildes beträgt 55 bis 70 lp/mm. Auch hier liegen der höheren Leistung Verbesserungen bei der Fotokathode, der MCP und dem Phosphorschirm zugrunde.

Jeder Röhrenhersteller optimiert die Röhren ständig. Die entsprechend verbesserten Röhren erhalten dann vom Röhrenhersteller entsprechende Zusätze, wie zum Bei-



Spitzenleistung. Das Modell PVS 14 von ATN ist eines von zahlreichen Beispielen, wie der technologische Fortschritt der Röhrenentwicklung in Produkte für das (US-amerikanische) Militär umgesetzt wird. Mit der am weitest entwickelten Röhre der 3. Generation arbeitend erreicht das Monokular eine Auflösung von 64 bis 72 lp/mm. Das Gerät wird als handgehaltenes oder am Helm montiertes Nachtsichtgerät benutzt. Es kann auch an Kameras montiert werden. Interessenten von außerhalb der USA werden solche Geräte offiziell nicht erhalten können, da auf Röhren und Geräten mit Röhren der 3. Generation strenge Ausfuhrbeschränkungen bestehen. Häufig sind im Angebot der Hersteller aber sehr ähnliche Geräte mit modernen Röhren der 2. Generation, die dann keinen Exportrestriktionen unterliegen. Das abgebildete Gerät mit moderner Röhre der 2. Generation (ATN NVM14-HPTI FOM 1250) erreicht eine Auflösung von 51 bis 64 lp/mm und einen Figure of Merit (FOM = Auflösung \times signal/noise) von 1250 – eine hervorragende Leistung für ein Gerät mit einer Röhre der 2. Generation. Zum Vergleich: Mit Röhre der 3. Generation liegt der FOM bei 1600. Auch europäische Hersteller haben bereits Röhren der 2. Generation mit ähnlichen Leistungen im Programm.



Binokulare. Das AN/AVS-9 ist konzipiert für Piloten, es wird am Helm befestigt und kann herunter- und hochgeklappt werden (links). Das AN/PVS-23 ist für den militärischen Bodeneinsatz gedacht. Es wird ebenfalls am Helm befestigt. Beide Geräte stammen von ITT Nightvision.

spiel „Generation 2 CGT“ oder „Generation 2 HPT“. Auskunft über die Leistungsmerkmale gibt aber nur ein Blick ins Datenblatt.

Generation 3. Bei Röhren der Generation 3 wird als Elektronen emittierendes Material an der Fotokathode anstatt Trialkali Galliumarsenid (GaAs) eingesetzt. Es handelt sich hier um eine kristalline Verbindung. Diese Verbindung ist deutlich lichtempfindlicher als Trialkali. Sie liefert unter Lichteinfluss einen Strom von über 800 bis zu 1800 $\mu\text{A}/\text{lm}$. Ebenso wie Röhren der Generation 2 wird zur Verstärkung des Elektronenstromes eine MCP eingesetzt. Ein Problem: In der MCP entstehen bei Freisetzung der für die Lichtverstärkung notwendigen Sekundärelektronen positive geladene Ionen, gegen die das Galliumarse-

„Generation“ kein Qualitätsbegriff

nid sehr empfindlich ist. Aus diesem Grund ist zwischen dieser kristallinen Schicht und der MCP eine ultradünne Schicht als Ionenbremse (Ion barrier film) eingebaut. Diese Schicht schützt allerdings nicht nur, sie reduziert auch den von der Fotokathode ausgehenden Elektronenstrom (siehe Grafik Seite 50 oben).

Das Restlicht wird in Röhren der Generation 3 etwa um den Faktor 50 000 verstärkt. Galliumarsenid ist im Spektralbereich zwischen 450 nm und 930 nm empfindlich, also bis in den Bereich des bei Nacht überwiegend vorhanden Infrarotlichtes. Je nach Röhre beträgt die Auflösung 32 bis über 64 lp/mm. Die Lebensdauer beträgt rund 15 000 Stunden.

Röhren der 3. Generation wurden Anfang der 1990er-Jahre entwickelt, entsprechende

Geräte wurden von den Amerikanern erstmals im Ersten Irak-Krieg eingesetzt.

Generation 4. Die „Generationen“ 1 bis 3 sind technisch zumindest halboffiziell unterschieden. Anders ist das bei der Bezeichnung „Generation 4“. Teilweise wird der Begriff in den USA verwendet. Technisch sollen sich dahinter Geräte mit Röhren verbergen, die im tiefen Infrarot-Bereich, also im deutlich längerwelligen Bereich als 900 nm eine sehr hohe Empfindlichkeit aufweisen. Bei diesen Röhren ist der Schutzfilm (Ion barrier film) stark reduziert oder weggelassen mit dem Effekt, dass die Verstärkungsleistung und Abbildungsleistung nochmals deutlich erhöht ist. Um Schäden gegen den erwähnten Ionenbeschuss der Fotokathode zu vermeiden, arbeiten die Röhren mit einer sehr kurz getakteten Stromversorgung. Diese Art

Nachtsichtvorsatz. Die Waffe ist mit einem Standardzielfernrohr für den Tageinsatz bestückt. Bei Bedarf setzt der Schütze den Nachtsichtvorsatz – hier von ATN – direkt vor das Zielfernrohr. Das ist sowohl über eine entsprechende Montageschiene oder aber über ein Adaptertubus möglich.





Nachtzielgerät. Neben Nachtsichtvorsätzen, die vor normale Zielfernrohre für den Tageseinsatz montiert werden können, werden auch reine Nachtzielgeräte hergestellt. Für Zivilisten in Deutschland unter Strafandrohung verboten, sind sie für bestimmte militärische und polizeiliche Einsatzszenarien das Zielhilfsmittel der Wahl – vor allem dann, wenn der Nutzer von vorneherein nur bei Nacht operiert. Der Nachtsichtvorsatz hat dagegen den Vorteil, dass der Soldat die normale Zieloptik bei Tageslicht nutzen kann und ohne Veränderung der Treffpunktlage bei Bedarf bei Nacht einfach das Vorsatzgerät vorschiebt.

von Röhren ist bisher außerhalb der USA nicht zu bekommen.

Modulbauweise. Ab Geräten mit der Röhren-Generation 2 setzte sich die modulare Bauweise durch. Die Röhren werden mit ihrer Steuerelektronik als ein Bauteil hergestellt, sodass die Nachtsichtgeräte für eine standardisierte Modulgröße ausgelegt werden konnte. Moderne Bildverstärkerröhren verfügen über eine Arbeitsfläche mit 18 mm oder 25 mm Durchmesser. Sowohl das Eingangsfenster (Fotokathode) als auch das Ausgangsfenster (Phosphorschirm) haben dabei die gleiche Größe. Röhren mit 18 mm Durchmesser sind bei Monokularen und Nachtsichtbrillen üblich, 25-mm-Röhren finden sich eher bei Nachtzielgeräten.

Qualitätsmerkmale. Grundsätzlich ist der Begriff „Generation“ nicht normiert und stellt damit auch kein Qualitätsmerkmal für ein Gerät dar, allenfalls umschreibt er das technische Leistungspotenzial. Bei Geräten ein- und derselben Generation kann die Qualität aber deutlich unterschiedlich sein. Um eine Aussage über die Qualität der Röhre treffen zu können, geben zunächst die Angaben zu der Empfindlichkeit der Fotokathode den ersten Hinweis. Unter normierten Bedingungen wird gemessen, wie viele Elektronen aus dieser Bestrahlung der Fotokathode abgegeben werden, das bedeutet, wie viel Strom fließt. Angegeben in „Mikroampere pro Lumen“ ($\mu\text{A/L}$) betragen die Werte mittlerweile für Röhren der modernsten 3. Generation über 2100 $\mu\text{A/L}$ (zum Vergleich: 1. Generation maximal 150 $\mu\text{A/L}$,

2. Generation maximal 600 $\mu\text{A/L}$, 3. Generation ab circa 1000 $\mu\text{A/L}$).

Besonders deutlich wird die hohe Leistung einer GaAs-Beschichtung der Fotokathode bei den Werten für die Empfindlichkeit im Infrarotbereich. Gemessen wird hier bei einer Wellenlänge von 830 nm in „Milliampere pro Watt“ (mA/W). Wegen des hohen Infrarotanteils im nächtlichen Restlicht sagt dieser Wert viel über die Ausnutzung der Lichtressourcen aus. In diesem Messbereich sind die äußerst kleinen Werte selbst für die Röhren der 2. Generation kaum mehr erfassbar. Dagegen erreichen die modernsten Röhren der 3. Generation Leistungen bis circa 200 mA/W.

Eine weitere interessante Angabe betrifft das Auflösungsvermögen eines Bildverstärkers. Ob zum Beispiel zwei nebeneinander stehende, aber weit entfernte Objekte noch tatsächlich als solche zu erkennen sind (und nicht optisch zu einem verschmelzen) ist ein Qualitätsmerkmal, welches in „Linienpaare pro Millimeter“ (lp/mm) gemessen wird. Dabei wird über eine Standardtafel die maximale Anzahl von eindeutigen Linienpaaren der Röhre pro Millimeter Abbildungsfläche ermittelt.

Zur Zeit haben Nachtsichtgeräte der amerikanischen Streitkräfte in der Regel eine Auflösung von mindestens 64 lp/mm. Allerdings sind auch schon Spitzenwerte von 78 lp/mm beispielsweise auch mit Röhren von europäischen Herstellern erreicht worden. Jedoch reicht ein hohes Auflösungsvermögen allein nicht aus, um

gut zu sehen: Bei der Umwandlung von Licht in Elektronen kommt es immer auch zu dem sogenannten Hintergrundrauschen, das sich als „Bildgrieseln“ bemerkbar macht. Gerade bei Situationen mit sehr wenig Restlicht kann dieser Effekt das Bild dominieren und feine Helligkeitsunterschiede überlagern.

Das Verhältnis von Lichtinformation zum Hintergrundrauschen wird als der Parameter „Signal-to-Noise“-Verhältnis (S/N) auf dem Datenblatt angegeben. Lag das Verhältnis noch bei der 2. Generation zu Beginn bei 4,5 sind es bei der 3. über 20 mit Spitzenwerten um die 30.

Aus den Werten S/N und Auflösung lässt sich der sogenannte „Figure of Merit“ (FOM) ermitteln: $\text{FOM} = \text{S/N} \times \text{Auflösung}$ (lp/mm). Mit Hilfe dieses Wertes lassen sich leicht Leistungsvergleiche anstellen.

Der Wert für die Lichtverstärkung ist kein Qualitätskriterium für Nachtsichtgeräte. Die Lichtverstärkung (Luminance Gain) ist zwar auch auf dem Datenblatt verzeichnet, bezieht sich aber nur auf die Röhre und stellt kein Vielfaches der Gesamtverstärkung (Systemverstärkung), sondern nur das Verhältnis von eingehender zu ausgehender Beleuchtungsstärke dar. Eine Aussage zur Lichtverstärkung macht höchstens als Angabe der gesamten Systemverstärkung eines Nachtsichtgerätes Sinn. Beispiel: Eine Röhre der 1. Generation weist eine 1000- bis 2000-fache Verstärkung auf, das ganze Gerät bringt letztlich aber nur eine maximal 50-fache tatsächliche Lichtverstärkung. Dem steht eine rund 1000-fache beziehungsweise 2000-fache

„Figure of Merit“ berechnen

bei Geräten mit Röhren der 2. und 3. Generation gegenüber.

Die Angabe über eine bestimmte Reichweite eines Nachtsichtgeräts mit entsprechendem Bildverstärker ist kaum aussagekräftig, da neben dem Linsensystem die gesamten Bedingungen beim Einsatz (Wolken, Mond, Temperatur, Luftfeuchtigkeit, künstliche Lichtemissionen) schon bei kleinsten Veränderungen stark die maximale Beobachtungreichweite beeinflussen.

Sehr wichtige Qualitätsmerkmale sind auch eine integrierte automatische Helligkeitsregelung (ABC) und der automatische Blendschutz (BSP), der helle Lichtquellen im Bild ausblendet.

Gesetzliches. Schon längst sind selbst gute Nachtsichtgeräte auch für den zivilen Nutzer erschwinglich geworden. Der hat aber vor dem Erwerb die Regelung 1.2.4.2 in Abschnitt 1 der Anlage 2 zum Waffengesetz zu beachten. Dort heißt es: „Nachtsichtgeräte und Nachtzielgeräte mit Montagevorrichtungen für Schusswaffen sowie Nachtsichtvorsätze und Nachtzielaufsätze für Zielhilfsmittel (zum Beispiel Zielfernrohre) sind, sofern die Gegenstände einen Bildwandler oder eine elektronische Verstärkung besitzen, verboten.“ Diese Regelung ist sehr deutlich.

Doch wann ist ein monokulare Nachtsichtgerät ein Nachtzielvorsatz? Dazu eine telefonische Auskunft des Bundeskriminalamtes: Wenn ein bestimmtes Gerät „offensichtlich als Nachtsichtvorsatz“ benutzt werden soll, steht dem Besitzer Ärger ins Haus – selbst wenn es weder Montage noch Strichplatte besitzt. Das Merkmal für „offensichtlich als Nachtsichtvorsatz gedacht“ ist laut BKA die nicht vorhandene Fokussiereinrichtung – fokussiert würde über das Ziel-



Vielfältige Einsatzmöglichkeiten. Nachtsichttechnik ist nicht nur auf den militärischen Einsatz beschränkt. Monokulare Geräte wie das ATN PS22 können mittels Adapter auch als Vorsatzgeräte etwa bei Spektiven eingesetzt werden. Das Gerät liefert auf Basis des vorhandenen Restlichtes ein Bild, das dann vom optischen System des Spektivs vergrößert wird. Aussagen zur Abbildungsleistung des Systems lassen sich aber erst nach eigenen Tests machen. Mit Sicherheit sind der Beobachtungsentfernung Grenzen gesetzt.

fernrohr. Fehlt diese Fokussiereinrichtung, sollte der Privatmann in Deutschland von einem Erwerb absehen. Der wäre nämlich leicht möglich in Ländern mit anderer Gesetzgebung.

Hersteller und Produkte. Wegen des riesigen Militärmärktes schreitet die Röhrenentwicklung in den USA besonders schnell voran. Dennoch gibt es auch in Europa renommierte Hersteller. Als Gerätehersteller fungiert die Carl Zeiss Optronics in Wetzlar. Deren Nachtsichtmodule NSA und NSV lassen sich auf die unterschiedlichsten Handwaffen montieren. Zusammen mit einem Zielfernrohr ermöglichen sie dem Schützen präzises Schießen bei Nacht.

NSA ist eine Spezialentwicklung für die Verwendung auf dem Sturmgewehr G36. Das NSV kann als Nachtsichtvorsatz mit den meisten hochwertigen Zielfernrohren kombiniert werden. Es wurden ebenso Lösungen für andere Waffen entwickelt, beispielsweise für die Panzerfaust 3, die Panzerfaust 90 und das RGW 60.

Renommierte Hersteller aus den USA sind etwa ATN (www.atncorp.com) und ITT (www.nightvision.com). Nachtsichtgeräte für die unterschiedlichsten Anwendungen, Nachtzielvorsätze und Nachtzielgeräte stehen auf der Fertigungsliste. Eingesetzt werden die Röhren ab Generation 1 bis hin zu den modernsten Entwicklungen, die dann teilweise – wie beschrieben – als Generation 4 bezeichnet werden. Eine kleine Auswahl an Geräten sind in diesem Beitrag beispielhaft abgebildet. Ein bedeutender Hersteller von Röhren ist etwa Photonics (www.photonics.com/nightvision).

Bei der Auswahl für Kauf oder Beschaffung gilt – gleichgültig ob dienstlicher Beschaffer oder Privatkäufer – der Rat, sich zunächst intensiv mit den Datenblättern auseinanderzusetzen.

Das DWJ wird in Zukunft in loser Folge Nachtsichtgeräte im Detail im Rahmen von Praxistests vorstellen. ■

Speziell für Kameras. Das Night Quest 6010 von Nightvision ist speziell für den Einsatz auf Kameras entwickelt worden. Die Abbildung zeigt damit sehr eindrucksvoll die vielfältigen Einsatzmöglichkeiten von Nachtsichttechnik.



Service

■ Die DWJ-Redaktion bedankt sich bei der Carl Zeiss Optronics in Wetzlar für die ausführlichen Informationen zur Funktionsweise von Röhren. Für Fotos und Einsatzaufnahmen danken wir der American Technologies Network Corp., und der ITT Night Vision, USA.