

# **KRIEG IM AETHER**

Vorlesungen an der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Zürich  
im Wintersemester 1982/1983

Leitung:

Bundesamt für Übermittlungstruppen

Divisionär J. Biedermann, Waffenchef der Übermittlungstruppen

## **Optische Übertragungssysteme für militärische Anwendungen**

Referent: B. Rhomberg, Dipl. El. Ing. ETHZ

2-1

# OPTISCHE ÜBERTRAGUNGSSYSTEME FÜR MILITÄRISCHE ANWENDUNGEN

B. Rhomberg, Dipl. El. Ing. ETH

## INHALTSVERZEICHNIS

1. Einführung
2. Eigenschaften der Komponenten
  - 2.1. Faser
  - 2.2. Kabel
  - 2.3. Stecker
  - 2.4. Sendeelemente
  - 2.5. Empfangselemente
3. Einfluss radioaktiver Strahlung
4. Anwendung zur Nachrichtenübertragung
5. Anwendung für die Sensortechnik
6. Ausblick

### Adresse des Autors:

Bruno Rhomberg, Dipl.El.Ing.ETHZ  
STANDARD TELEPHON UND RADIO AG  
8055 Zürich

"Krieg im Aether", Folge XXII

## 2-2

1. EINFUEHRUNG

Die wirkungsvolle Führung einer heutigen Armee setzt immer mehr auf allen Stufen eine schnelle und lückenlose Informationsbeschaffung, -übertragung und -verteilung voraus. Die bereits eingeführten Mittel dazu beruhen meist auf elektrischer Uebertragung, entweder drahtgebunden oder drahtlos.

Die optische Uebertragung hat gegenüber der Uebertragung mittels elektrischer Leiter verschiedene Vorteile: Durch die Einführung digitaler Uebertragung stiegen die Anforderungen an das Uebertragungsmedium vor allem bezüglich Bandbreite. Die optische Uebertragung bietet eine grosse Bandbreite und gleichzeitig grosse Zwischenverstärkerabstände, was besonders für das feste Netz von Bedeutung ist. Die Faser ist im Gegensatz zum Koaxialkabel sehr dünn, flexibel und trotzdem robust, wodurch die Kabel besonders für taktische Verbindungen leichter werden und besser verlegbar sind.

Optische Fasern sind Nichtleiter. Das Bedrohungsbild eines modernen Krieges lässt eine Vielzahl von Radio- und andern elektromagnetischen Störungen erwarten, gegen die optische Fasern immun sind. Das Phänomen des EMP, des elektromagnetischen Impulses, der bei Atomexplosionen auftritt, bedroht heute das ganze konventionelle Nachrichtennetz. Die Sicherung konventioneller Leitungen gegen die Auswirkungen des EMP ist aufwendig und der Nutzeffekt ist keineswegs sichergestellt, da zuwenig Fakten dazu veröffentlicht sind. Optische Verbindungen sind EMP-sicher.

Die fehlende Abstrahlung erlaubt eine hohe Packungsdichte in Kabeln und erschwert auch das Abhören. Optische Fasern der heutigen Bauart sind allerdings nicht abhörsicher. Es ist aber durch verschiedene Massnahmen möglich, das Abhören auch ohne Verschlüsselung nahezu unmöglich zu machen.

Die Fernspeisung von Zwischenverstärkern ist ohne metallische Leiter nicht möglich. Bringt man in das Kabel aber metallische Leiter ein, was praktisch möglich ist und auch realisiert wird, verliert man mehrere gute Eigenschaften. Der Nachteil der fehlenden Fernspeisung ist aber von geringer Bedeutung, da die grossen Zwischenverstärkerabstände meist eine Lokalspeisung erlauben.

Verschiedene Komponenten der optischen Uebertragung, besonders die Sendequellen bei grösseren Wellenlängen, haben noch nicht den Temperaturbereich, den man gern möchte. So muss beispielsweise ein Laser bei  $1,3\mu$  Wellenlänge auf  $5^{\circ}$  C gekühlt werden.

Als weiteres Problem gilt der Einfluss von nuklearer Strahlung auf Lichtwellenleiter. Je nach Intensität und Dauer steigt der Verlust der Faser an. Allerdings ist dieses Problem für terrestrische Verbindungen um Grössenordnungen geringer als der erwartete EMP-Einfluss auf metallische Leiter, da die zur Verschlechterung notwendigen Dosen nur sehr punktuell auftreten können.

2. EIGENSCHAFTEN DER KOMPONENTEN2.1. FASER

Die Faser ist das Schlüsselement der optischen Uebertragung. Es gibt von Aufbau und Material her verschiedene Typen. Als Material kommt Glas oder Plastik in Frage, vom Aufbau her unterscheidet man Stufenprofil und Gradientenprofil. Für die meisten militärischen Anwendungen ist die Gradientenprofilfaser (siehe Fig. 1) aus Quarzglas am wichtigsten.

Die Gradientenprofilfaser ist ein guter Kompromiss zwischen einkoppelbarer Leistung, notwendiger Steckergenauigkeit und Bandbreite. Die international normierte Faser hat einen Kerndurchmesser von  $50\mu$ m und einen Aussendurchmesser von  $125\mu$ m. Dazu kommen noch die verschiedenen Beschichtungen.

2-3

$$n(r) = n_1 \left[ 1 - \left( \frac{r}{a} \right)^\alpha \Delta \right]$$

- $n(r)$  = Brechungsindex für Radius  $r$
- $r$  = Radius
- $\Delta = (n_1 - n_c) / n_1$
- $n_1$  = Brechungsindex des Kerns
- $n_c$  = Brechungsindex der Hülle
- $a$  = Kernradius
- $\alpha$  = Parabel-Potenz

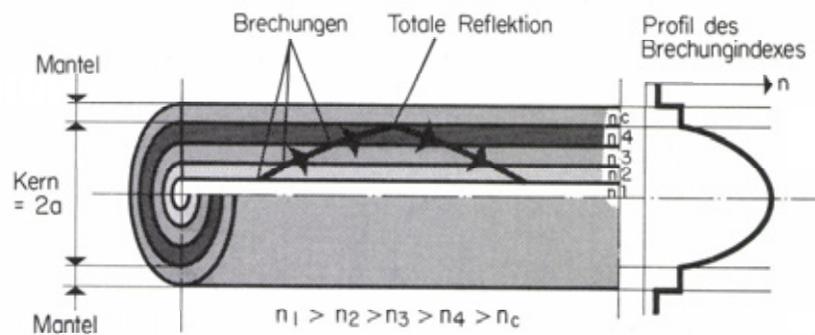


Fig. 1 Gradientenprofilfaser

Für die Herstellung einer Gradientenfaser gibt es mehrere Methoden, von denen die zwei wichtigsten hier kurz beschrieben sind.

Die CVD (Chemical Vapour Deposition, Fig. 2) -Methode geht von einem Quarzglasrohr aus, in dem chemisch unter Wärmezufuhr ein Teil des Mantels und der ganze Kern abgelagert werden. Der quadratische Verlauf des Brechungsindex wird Schicht für Schicht angenähert. Der Index der einzelnen Schichten kann durch das Verhältnis der Dotierungsstoffe (meist Germanium und Bor) zum Quarzglas bestimmt werden. Die Wärmezufuhr erfolgt entweder mit einem Brenner oder mit Plasmaerhitzung durch Mikrowellen. Nach Beendigung der Schichtenablagerung wird dem Rohr soviel Wärme zugeführt, dass es weich wird und sich durch die Oberflächenspannung zu einem Stab zusammenzieht.

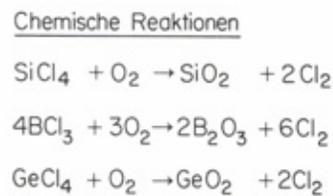
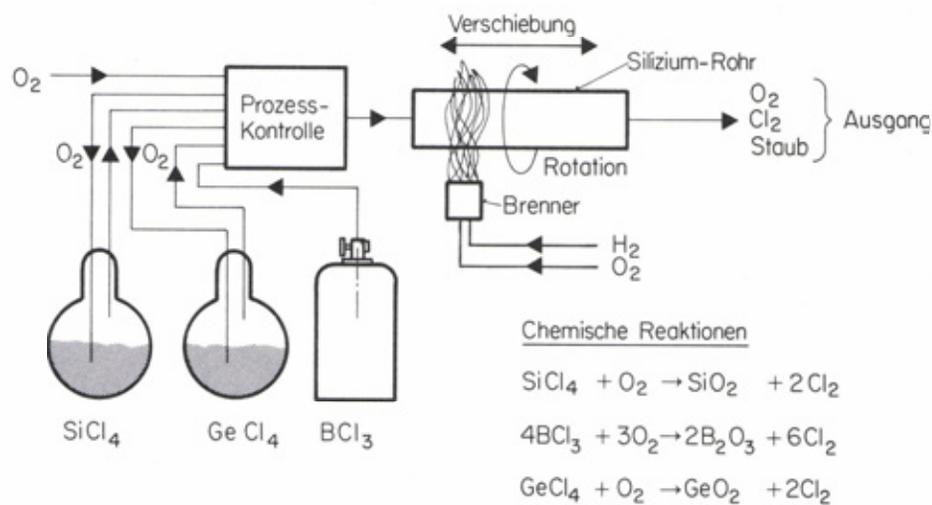


Fig. 2 Faserherstellung mit dem Chemical Vapour Deposition-Prozess

2-4

Eine andere Methode, die Vorform direkt herzustellen, ist die in Japan entwickelte Vapour Axial Deposition (VAD) -Methode. Dabei wird die Vorform in Längsrichtung chemisch erzeugt (Fig. 3). Diese Methode hat den Vorteil, dass sehr gute Fasern beliebiger Länge hergestellt werden können. Allerdings erfordert die Herstellung viel Aufwand bei der Prozesskontrolle.

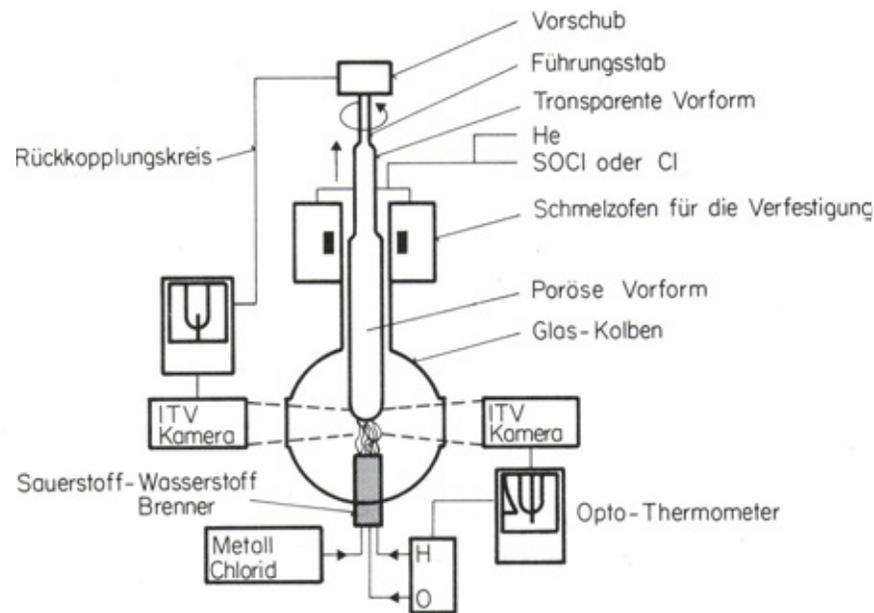


Fig. 3 Faserherstellung mit dem Vapour Axial Deposition-Prozess

Die Vorform, die mit einer der vorhergehenden Methoden hergestellt wurde, wird an einem Ende angeschmolzen und davon wird die Faser gezogen. Während des Ziehvorganges bringen die Hersteller eine erste Beschichtung an, wodurch der Angriff der Luft auf die Faseroberfläche verhindert wird.

Eine der wichtigsten Eigenschaften der fertigen Faser ist die Dämpfung. Die Dämpfung hat zwei Ursachen, nämlich Absorption und Streuung. Je nach Wellenlänge absorbieren sowohl das Grundmaterial, die Dotierungsstoffe und die Verunreinigungen. Im Wellenlängenbereich von  $0,8 \mu\text{m}$  bis  $1,6 \mu\text{m}$  ist die Absorption von Quarzglas und von Dotierungsstoffen sehr gering, die Absorption wird daher hauptsächlich durch Verunreinigungen verursacht.

Eine der wesentlichen Verunreinigungen ist Wasser, das bei heutigen "trockenen" Fasern eine Konzentration von weniger als  $10^{-7}$  aufweist. Gewisse Metallionen wie Eisen und Chrom dürfen sogar Konzentrationen von  $10^{-10}$  nicht überschreiten.

Der Verlust durch die Streuung ist physikalisch bedingt. Er wird verursacht durch Fluktuationen im Mikrogefüge und ist stark wellenlängenabhängig. Die Streuung ist der hauptsächliche Grund, warum man zu höheren Wellenlängen strebt.

In der Figur 4 ist die gemessene Dämpfung einer modernen Faser ersichtlich. Die Spitzen kommen durch die OH-Absorption zustande, dazwischen liegen die bevorzugten Übertragungsbereiche (Fenster) bei  $0,85 \mu\text{m}$ ,  $1,3 \mu\text{m}$  und  $1,55 \mu\text{m}$  Wellenlänge.

Die Faser ist sowohl bei der folgenden Verkabelung als auch später im Gebrauch hohen Beanspruchungen ausgesetzt. Daher ist die Festigkeit besonders für militärische Anwendungen von grosser Bedeutung.

2-5

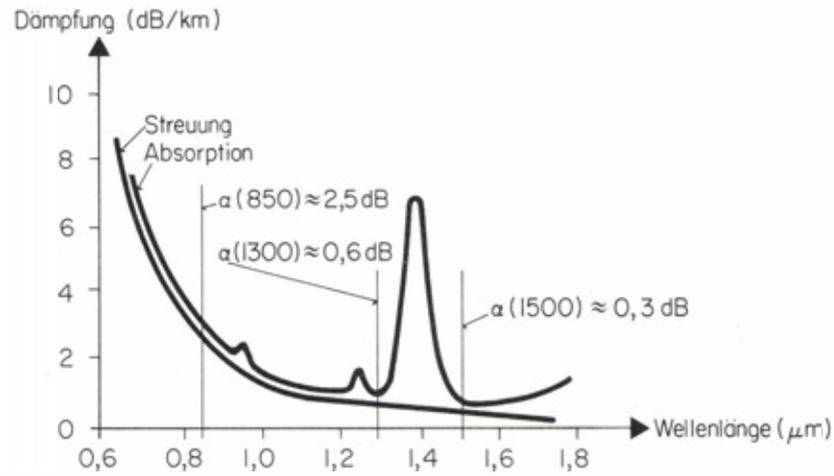


Fig. 4 Dämpfung einer modernen Faser

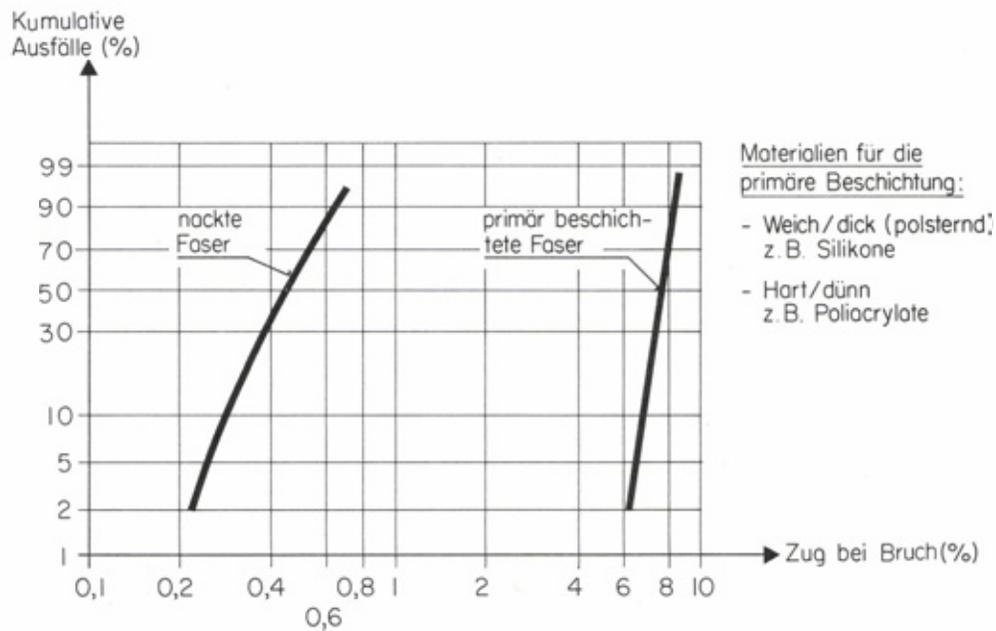


Fig. 5 Einfluss der Primärbeschichtung auf die Zugfestigkeit der Faser

Figur 5 zeigt, welchen wesentlichen Einfluss die Primärbeschichtung auf die Faserfestigkeit hat. Die Figur gibt den Prozentsatz der kumulierten Faserbrüche in Funktion der Faserdehnung an.

Der Unterschied zwischen den beiden Kurven kommt dadurch zustande, dass die ungeschützte Faser durch die Luft angegriffen wird. Die dadurch entstehenden Mikrorisse bilden wegen der geringen Kerbzähigkeit des Glases den Ausgangspunkt für Brüche.

Um die mechanischen Eigenschaften vor der Verkabelung zu testen, werden die Fasern mit konstanter Last resp. mit konstanter Dehnung getestet. Das Verfahren mit der konstanten Last ist ungenauer, da die Faserbeschichtung einen Teil der Last aufnimmt.

## 2-6

2.2. KABEL

Das Kabel schützt die Faser vor verschiedenen äusseren Einwirkungen. Die Entwicklungsziele der Verkabelung sind:

- Faser überlebt Verkabelung
- Faser überlebt den Kabeleinsatz während der vorgesehenen Lebensdauer
- Die optischen Werte bleiben innerhalb der Spezifikation

Je nach Anwendung sind viele verschiedene optische Kabeltypen optimal. So verlangen viele Spezifikationen metallfreie Kabel. Bei diesen sind Probleme mit eindringendem und gefrierendem Wasser zu lösen, die Festigkeit gegen Zug- und Knickbeanspruchung muss gut sein, auch der Nagetierschutz kann wichtig sein.

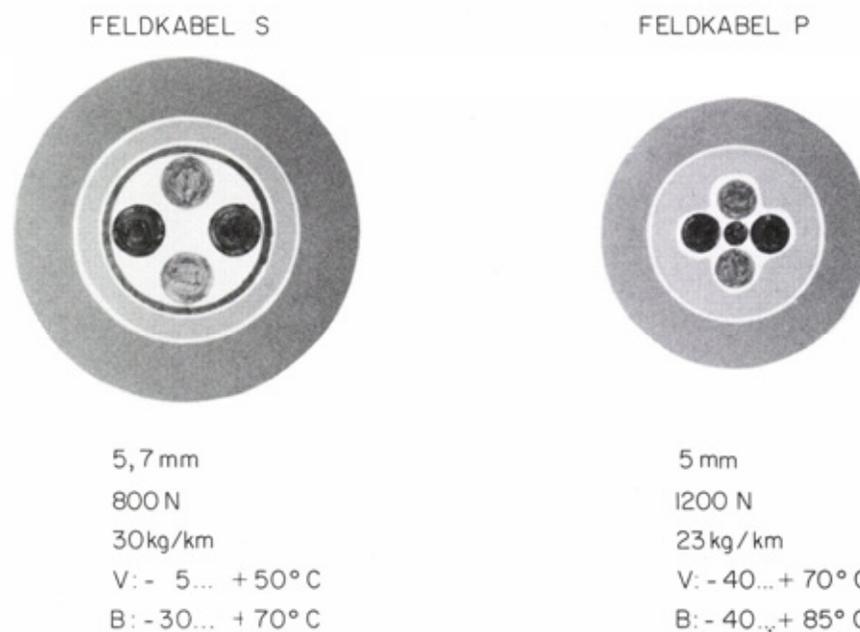


Fig. 6 Beispiele Feldkabel

In der Figur 6 sind zwei heute erhältliche Feldkabel gezeigt. Angegeben ist jeweils der Aussendurchmesser, die garantierte Zugfestigkeit, das Gewicht und der zulässige Temperaturbereich, wobei V für Verlegung und B für Betrieb steht. Das Feldkabel P hat durchwegs eine bessere Spezifikation, ist aber teurer.

2.3. STECKER

Der Stecker ist besonders für taktische Verbindungen eine wichtige Komponente. Die Anforderungen an den Stecker sind folgendermassen:

- Zweifaserstecker
- Zwitter
- Mechanisch robust
- Unempfindlich gegen Verschmutzung

Es sind zwei verschiedene Methoden denkbar, einen derartigen Stecker zu realisieren. Die eine Methode ist der Faserkontakt, bei der die beiden Fasern möglichst genau aufeinander positioniert werden. Die jeweilige Faseroberfläche hat nur eine aktive Schicht von 50  $\mu\text{m}$  Durchmesser, die Anforderungen an Genauigkeit und Dichtigkeit gegen Verschmutzung sind extrem.

In der Figur 7 ist ein Beispiel für einen optischen Zweifaserstecker gezeigt, der Faser auf Faser positioniert. Gegen die Verschmutzung dient ein automatischer Verschluss, der die Faserendflächen bei geöffnetem Stecker schützt.

2-7

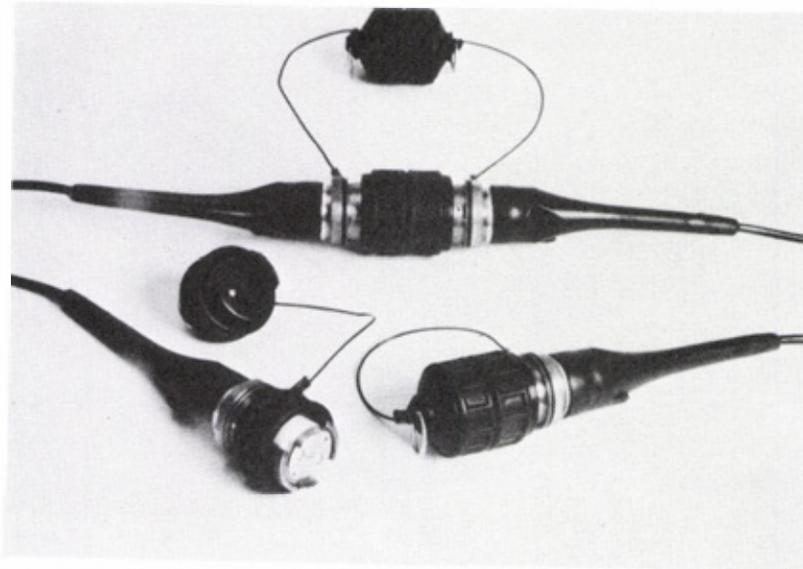


Fig. 7 Beispiel für Faserkontaktstecker

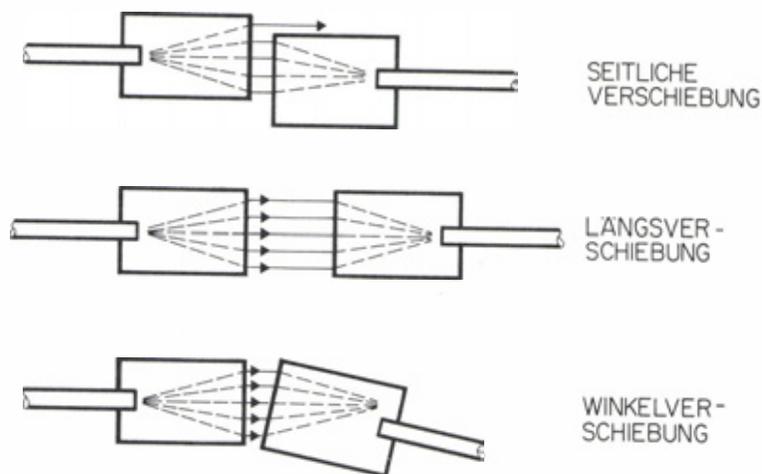


Fig. 8 Prinzip des strahlaufweitenden Steckers

Die andere Methode, Fasern lösbar zu verbinden, ist der strahlaufweitende Stecker (siehe Fig. 8). Dabei werden die aus dem Faserende austretenden Lichtstrahlen mit Linsen aufgeweitet und dabei parallel gerichtet. Der Abstand der beiden Linsen voneinander hat nur mehr einen geringen Einfluss auf die Dämpfung, ebenfalls sind Ungenauigkeiten in der Querposition weniger heikel als beim Faserkontaktstecker. Der Winkel muss dafür viel genauer eingehalten werden. In der Figur 9 ist ein solcher strahlaufweitender Zweifaserstecker gezeigt. Gegen die Verschmutzung der Linse ist ein Schutzglas angebracht, das leicht zu reinigen ist.

2-8

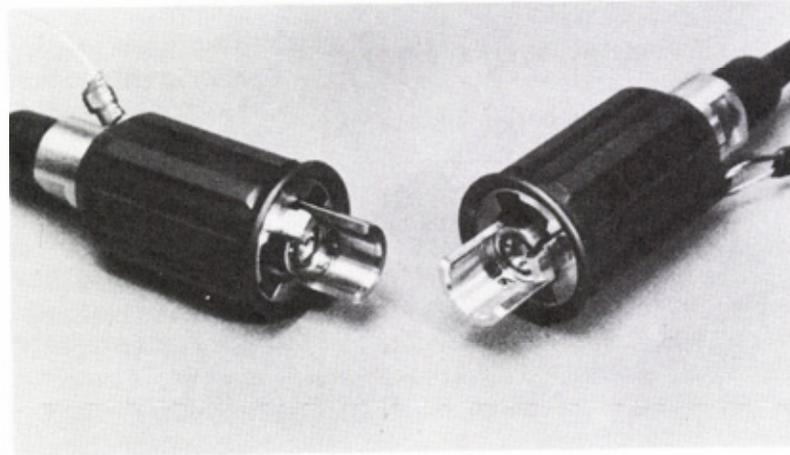


Fig. 9 Beispiel für strahlenaufweitenden Stecker

2.4. SENDEELEMENTE

Als Sendeelemente dienen Halbleiterbauelemente. Je nach Wirkungsweise unterscheidet man Laserdioden und lichtemittierende Dioden (LED). Der Unterschied liegt im Aufbau und den Eigenschaften. Die folgende Tabelle gibt einen Ueberblick über die Eigenschaften typischer Vertreter dieser Bauelemente (Fig. 10).

	LASER		LED	
	0,85 $\mu\text{m}$	1,3 $\mu\text{m}$	0,85 $\mu\text{m}$	1,3 $\mu\text{m}$
Wellenlänge	0,85 $\mu\text{m}$	1,3 $\mu\text{m}$	0,85 $\mu\text{m}$	1,3 $\mu\text{m}$
Leistung in Faser 50/125	1 mW	1 mW	50 $\mu\text{W}$	20 $\mu\text{W}$
Linienbreite	< 2 nm	< 5 nm	50 nm	100 nm
MTTF in 1'000 h (typ)	100	40	100	-
Chip-Temperatur zu MTTF	20 C°	5 C°	20 C°	-

(MTTF = Mean Time to Failure)

Fig. 10 Vergleich von Sendeelementen

Aus der Tabelle sieht man, dass für militärische Anwendungen die Laser auf jeden Fall gekühlt werden müssen, um eine vernünftige Lebensdauer zu erreichen. Eine neuere, noch nicht veröffentlichte Untersuchung an der Lebensdauer von LED's bei 0,85  $\mu\text{m}$  Wellenlänge zeigt ähnliche Resultate wie bei den Lasern. Die Komponenten bei 1,3  $\mu\text{m}$ , von denen heute Muster erhältlich sind, sind bezüglich Lebensdauer noch nicht erfassbar.

2-9

2.5. EMPFANGSELEMENTE

Als Empfangselement dient heute fast ausschliesslich eine Halbleiterdiode. Die PIN-Diode (PIN = Positive-Intrinsic-Negative) hat keine interne Verstärkung, während die Lawinenfotodiode (APD = Avalanche Photo Diode) Verstärkungsfaktoren bis über 100 aufweisen kann. Die APD setzt allerdings Vorspannungen bis etwa 250 V voraus.

Je nach Wellenlänge kommen verschiedene Materialien zur Anwendung: Für Wellenlängen von  $0,9 \mu\text{m}$  ausschliesslich Silizium, ein Material mit geringem Dunkelstrom und guten Lawineneigenschaften. Bei Wellenlängen bis  $1,6 \mu\text{m}$  kommt als Material Germanium (für PIN und APD) oder Gallium-Indium-Arsenid (für PIN) in Frage. Die spektrale Empfindlichkeit dieser Materialien ist aus der Figur 11 ersichtlich.

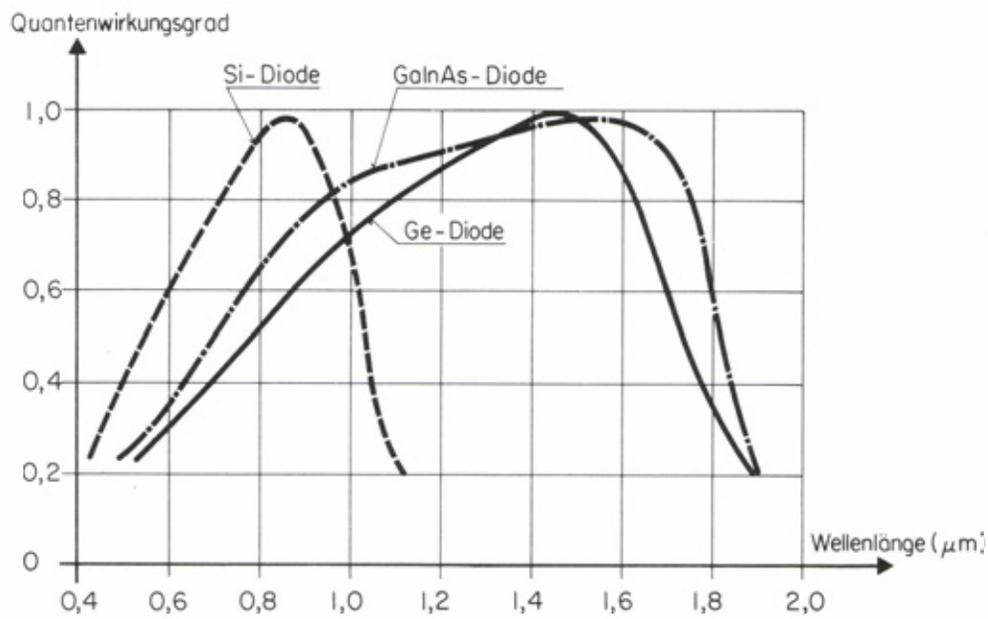


Fig. 11 Spektrale Materialempfindlichkeiten

Wegen des hohen Dunkelstroms von Germanium und der Rauscheigenschaft dieses Materials bei der Lawinenbildung ist für tiefere Bitraten die Kombination PIN-Diode aus Gallium-Indium-Arsenid mit einem Feldeffekttransistor als erstes Verstärkungselement optimal. In Figur 12 sind die auch bei tiefen Bitraten gemessenen Empfindlichkeitskurven dargestellt. Es fällt auf, dass bei 2 Mb/s die Empfangsempfindlichkeit bei  $\lambda = 0,85 \mu\text{m}$  um 8 bis 10 dB besser ist als bei  $\lambda = 1,3 \mu\text{m}$ .

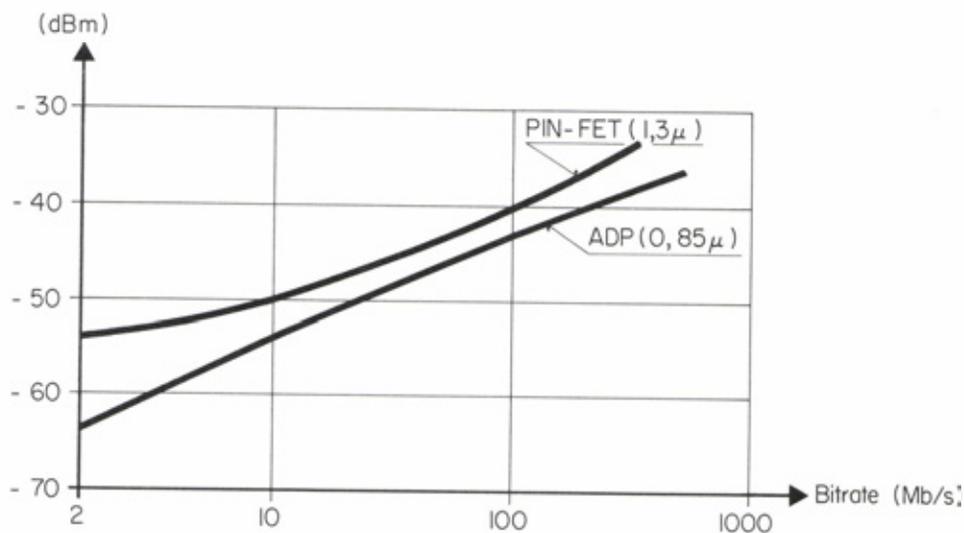


Fig. 12 Empfangsempfindlichkeit

## 2-10

3. EINFLUSS DER RADIOAKTIVEN STRAHLUNG

Bei der Explosion von Atombomben treten verschiedene Wirkungen auf, die bei der Planung und beim Aufbau eines Nachrichtennetzes berücksichtigt werden müssen. Die Energieverteilung einer Atombombe hängt sehr von ihrem Aufbau ab. Während bei einer gewöhnlichen A- oder H-Bombe ca. 90 % der Energie in Hitze und Druck anfallen und 10 % in primärer Strahlung, wird diese Verteilung bei den Neutronenbomben zugunsten der Strahlung verschoben; die Primärstrahlung enthält bis zu 70 % der Gesamtenergie. Die Wirkung der Strahlung soll hier etwas näher erläutert werden.

Wenn die Strahlung auf Luft trifft, werden aus den Luftatomen Elektronen herausgeschlagen, die mit grosser Geschwindigkeit mehrere hundert Meter in der verdünnten Luft auf der Höhe zwischen 30 und 40 km zurücklegen. Das führt zu einem grossen Strom mit sehr kurzer Anstiegszeit. Dieser Strom pflanzt sich als Feld fort und bewirkt den elektromagnetischen Puls (EMP oder NEMP für Nuclear). Die Pulsleistung bei einer Megatonne ergibt am Boden Felder mit 50 kV/m und eine Spitzenleistung von  $6 \text{ MW/m}^2$  (2). Eine Bombe in grosser Höhe bewirkt einen EMP mit einem Durchmesser, der ganz Europa einschliesst.

Ueber die Wirkungen des EMP auf alle möglichen elektrischen Anlagen, angefangen von empfindlichen Computerverbindungen bis zur Autozündung, ist schon viel geschrieben worden. Das Spektrum reicht von der Verniedlichung bis zur Katastrophe. Den meisten Veröffentlichungen gemeinsam ist, dass sie auf Mutmassungen und Berechnungen beruhen und nicht auf Messungen. Sicher ist, dass metallfreie optische Kabel durch den EMP nicht gefährdet werden.

Sicher wesentlich geringer, aber doch nicht vernachlässigbar sind die Wirkungen radioaktiver Strahlen auf die optische Übertragung. Dabei spielen hauptsächlich die Gammastrahlung im Wellenlängenbereich von  $10^{-11}$  ...  $10^{-14}$  m und schnelle Neutronen (1...14 MeV) eine Rolle. Die folgende Zusammenstellung zeigt den Einfluss der Strahlung auf Sende- und Empfangselemente. Die Neutronendosis ist in Neutronen pro Flächeneinheit ( $\text{n/cm}^2$ ), die Gesamtstrahlung in Rad angegeben.

## - Zerstörung durch Ionisation

LASER/LED	: $10^9 \dots 10^{10}$	Rad/s
PIN/APD	: $10^9$	Rad/s

## - Bleibende Verschlechterung

LASER/LED	: $10^7$ $10^{12} \dots 10^{15}$	Rad $\text{n/cm}^2$
PIN/APD		
Wirkungsgrad	: $10^8$ $10^{13} \dots 10^{14}$	Rad $\text{n/cm}^2$
Dunkelstrom	: $10^4 \dots 10^6$ $10^{10} \dots 10^{13}$	Rad $\text{n/cm}^2$

## - Vergleich für Zerstörung anderer Elemente

TTL	: $10^6$	Rad
CMOS	: $3 \cdot 10^3$	Rad

Aus dieser Zusammenstellung geht hervor, dass optische Halbleiter sehr robust gegen Strahlung sind (4).

Der Einfluss der Strahlung auf die Faser äussert sich in der Zunahme der Dämpfung. Diese Zunahme ist sehr komplex und von einer Vielzahl von Faktoren abhängig:

- Fasertyp, Dotierung, Geschichte
- Strahlentyp ( $\gamma$ , N)
- Zeit, Temperatur
- Geführte Lichtleistung
- Wellenlänge

Der Einfluss auf eine Germanium dotierte Quarzglasfaser ist aus der Figur 13 ersichtlich. Die Faser wurde mit 3700 Rad bestrahlt und die Dämpfungszunahme unmittelbar nachher in Funktion der Zeit gemessen. Die Messfrequenz betrug  $0,85 \mu\text{m}$ , die optische Leistung in der Faser ist ein Parameter. Man sieht, dass die Dämpfungszunahme mit der Zeit abklingt. Das Abklingen wird beschleunigt durch eine höhere geführte Lichtleistung (Fotobleichung).

Der Einfluss der Strahlung auf die Zunahme der Dämpfung ist auch wellenlängenabhängig. Bei  $1,3 \mu\text{m}$  Wellenlänge ist die Zunahme etwa 10 mal geringer als bei  $0,85 \mu\text{m}$ .

2-11

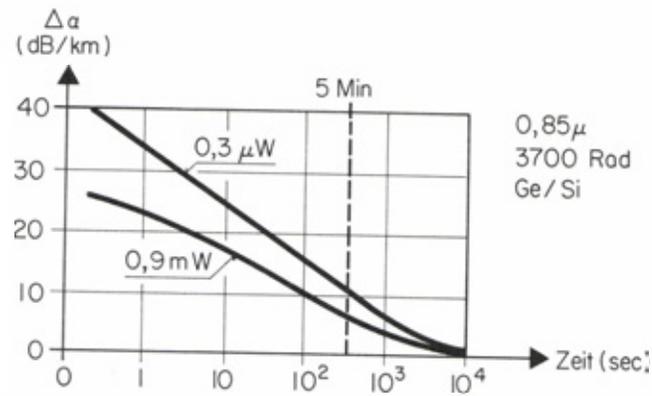


Fig. 13 Dämpfungszunahme durch Bestrahlung

#### 4. ANWENDUNGEN ZUR NACHRICHTENUEBERTRAGUNG

Das angestammte Gebiet der optischen Uebertragung ist die Nachrichtenübertragung. Je nach militärischem Bedürfnis kann folgende Gliederung erfolgen:

- Festes Netz
- Taktische Verbindungen
- Kurzstreckenverbindungen
- Radarverbindungen
- Ferngesteuerte Fahrzeuge

Das feste Netz ist ein wichtiger Bestandteil. Die Schweiz mit reinen Verteidigungsabsichten kann den optimalen Nutzen aus dem in Friedenszeiten errichteten Nachrichtennetz ziehen. Dieses Netz verhält sich gleich wie das zivile Netz. Der Fortschritt der optischen Uebertragung wird am besten durch den Zwischenverstärkerabstand illustriert (Grundlage ist ein System mit 140 Mb/s):

- 1977 : 4 km ( $\lambda = 0,85 \mu\text{m}$ )
- 1983 : 25 km ( $\lambda = 1,30 \mu\text{m}$ )
- 1986 : 100 km ( $\lambda = 1,55 \mu\text{m}$ )

Der Zwischenverstärkerabstand für Koaxialkabel (Grosskoax) bei 140 Mb/s ist mit 5 km doch recht bescheiden.

Die taktische Verbindung ist eine temporäre Verbindung, die man auch in Kriegszeiten und während Kampfhandlungen aufbauen kann. Die vorher erwähnten Kabel und Stecker werden hauptsächlich für taktische Verbindungen gebraucht. Die hier zur Geltung kommenden Vorteile sind folgende:

- Kabel leicht verlegbar
- Geeignet für Digitalübertragung
- Keine Zwischenverstärker
- EMP-sicher

Besonders die EMP-Sicherheit ist wichtig, da die Kabel völlig ungeschützt verlegt werden.

Im Auftrag der GRD hat die STR ein Gerät entwickelt, das mechanisch und elektrisch kompatibel zur RIMUS-Familie ist. Die Bitrate ist umschaltbar 512 kb/s oder 2048 kb/s, ein digitaler Dienstkanal ist ebenfalls vorhanden. Das Gerät enthält einen Laser als Sender und eine APD als Empfänger. Es dient dazu, Erfahrungen im Einsatz mit optischer Uebertragung zu gewinnen (siehe Figur 14).

2-12

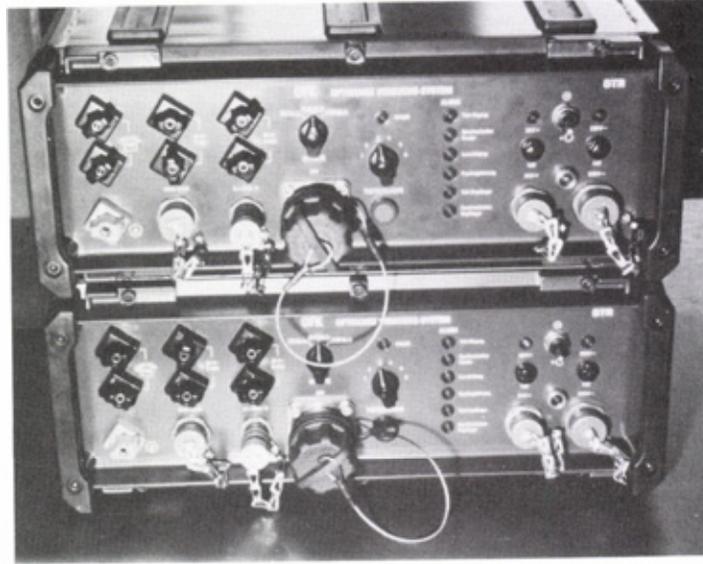


Fig. 14 Zwei Terminale eines taktischen Systems

Kurzstreckenverbindungen sind Verbindungen in Flugzeugen, Schiffen, Raketen und Gebäuden. Die hauptsächlichen Vorteile liegen in

- grosser Bandbreite
- einfacher Kabelführung
- Gewichts- und Volumenvorteilen
- elektrischer Isolation
- fehlender Interferenz
- kleinem Radarecho.

Die grosse Bandbreite ermöglicht Ringnetze, die dann zu sehr kompakten Verdrahtungen führen. Kleines Gewicht und geringes Volumen ist wichtig in Flugzeugen und Raketen, die elektrische Isolation in Häusern und in Schiffen. Wichtig ist die fehlende Störempfindlichkeit besonders in komplexen Systemen, so hatten beispielsweise die AWACS extreme Störprobleme.

Das kleine Radarecho könnte eminente Bedeutung für die Zukunft erhalten. So sieht es aus, als ob immer mehr Metallteile auch in den Antriebsaggregaten durch Keramik ersetzt werden könnten, wodurch das unsichtbare Flugzeug, das Schreckensgespenst für die Verteidigung, realisiert werden könnte.

Anwendungsbeispiel für FO-Kurzstreckenverbindungen sind Systeme im AV8B Harrier II, MX-Raketensystem und im Cruise Missile System.

Moderne Radarverbindungen benötigen immer mehr Bandbreite und grossen Aufwand für die Signalauswertung. Die dazu nötigen Computer sind störungsempfindlich und müssen geschützt aufgestellt werden. Die Verbindungslänge zwischen Radarstation und Bedienung sollte lang sein wegen der guten Treffermöglichkeit durch Raketen, die Strahlungsquellen anfliegen.

Es sind verschiedene Anwendungen von Fahrzeugen realisiert, die über eine Faser ferngesteuert werden. Ein Beispiel sind Hilfsfahrzeuge, die in Minenfeldern operieren. Ein anderes Beispiel ist das US Navy Torpedo Mark 48, das 9 km Faserkabel mitführt und abwickeln kann.

Die wesentlichen Vorteile dabei sind:

- Hohe Uebertragungskapazität
- Grosse Distanzen
- Kann nicht gestört werden
- Abschussstelle nicht ortbar
- Sicherheit für Bedienungspersonal

## 2-13

Bei den meisten Anwendungen ist die grosse Bandbreite gepaart mit grossen Distanzen darum wichtig weil meist Fernsehen mit im Spiel ist. Die Abschussstelle ist nicht ortbar im Gegensatz zu radar-gesteuerten Fernlenk Waffen, auf die wieder strahlungsquellensuchende Raketen angesetzt werden können.

5. ANWENDUNGEN FUER DIE SENSORTECHNIK

Während bei der Nachrichtenübertragung Umwelteinflüsse auf die Faser unerwünscht sind und nach Möglichkeit eliminiert werden, züchtet man bei der Sensortechnik diese Eigenschaften. Mit dem kohärenten Licht steht ein sehr genaues Messmittel für kleinste Veränderungen zur Verfügung.

Beispiele für Sensoren mit optischen Fasern sind Hydrofone, die eine 10fache Empfindlichkeit gegen konventionelle Mikrofone aufweisen, oder Faserkreisel, mit denen kleinste Drehgeschwindigkeiten detektiert werden können. Es sind schon Feldsensoren realisiert worden zur Messung elektrischer und magnetischer Felder. Denkbar sind auch Sensoren für Strahlung, Temperatur und Stoffe, die die Oberfläche der Faser verändern; wie zum Beispiel Flüssigkeiten.

6. AUSBLICK

Die optische Technologie macht eine Vielzahl von Anwendungen denkbar, die bisherigen Lösungen überlegen sind oder die bisher nicht realisiert werden konnten. Die Geräte, die schon heute in Betrieb sind, zeigen sicher noch nicht das Optimum, das erreichbar ist. Um die potentiellen Möglichkeiten auszunützen, ist Betriebserfahrung notwendig.

Die Zukunft wird grössere Wellenlängen und Heterodyn-Empfänger bringen, wodurch die überbrückbaren Entfernungen sogar Seekabel ohne Zwischenverstärker möglich erscheinen lassen.

LITERATURANGABEN

- (1) J. Gut, "Nuklearexplosionen", STZ, Nr. 9, Mai 1980, S. 414...418.
- (2) B. Dance, "Nuclear EMP Induced Chaos", communications international, Sept. 1982, S. 45...52.
- (3) ———, "Is VLSI Vulnerable to Radiations Failures", Defense Electronics, Juli 1982, S. 51...52.
- (4) R.A. Greenwell, "Fiber Optics in the Nuclear Environment", IFOC, Sept. 1981, S. 19...29.
- (5) A. Rosiewicz, J.R. Gannon, "Effects of  $\gamma$  -Irradiation on Mid-IR Transmitting Glass", Electronic Letters, März 1981, S. 184, 185.
- (6) E.J. Friebele, M.E. Gingerich, "Photobleaching Effects in Optical Fiber Waveguides", Applied Optics, Okt. 1981, S. 3448...3452.