



Roland Gut
LWL-Schulung 2

Dätwyler AG
Schweizerische Kabel-, Gummi-
und Kunststoffwerke
CH-6460 Altdorf

Telefon 044 - 4 11 22
Telex 866 364 dag ch
Telefax 044 - 4 15 07

Sachbearbeiter: S. Planzer
Telefon-Direktwahl: 044 - 4 15 16

Ihre Zeichen	Ihre Nachricht vom	Unsere Zeichen	CH-6460 Altdorf,
		KIN/KINP	24.10.88/sp

"Optical cables and systems"

Sehr geehrte Damen und Herren

Ist es nicht faszinierend, dass mit Hilfe von Glasfasern Licht über grosse Distanzen verstärkungsfrei übertragen werden kann?

Ist es nicht fantastisch, Licht als Informationsträger für Bild, Ton, Sprache oder Daten zu nützen?

Wie kann dies funktionieren?

Wo wird die optische Kommunikationstechnik eingesetzt?

Dies sind die Themen unserer brandneuen Broschüre **"Optical cable and systems"**.

Wir hoffen sehr, Ihnen hiermit eine Freude bereiten zu können.

Wenn Sie weitere, detaillierte Informationen über **"optofil"** LWL-Kabel oder **"optonic"**-Systeme interessieren oder Sie gar ein konkretes Projekt mit uns besprechen wollen, so rufen Sie uns doch bitte an oder senden Sie uns beiliegende Geschäftsantwortkarte ausgefüllt retour.

Mit freundlichen Grüßen

Dätwyler AG
i. V. S. Planzer

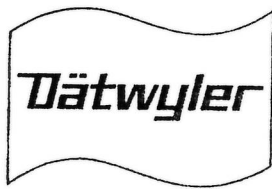


Dätwyler

Roland Gut
LWL-Schulung 2
Oktober 1988

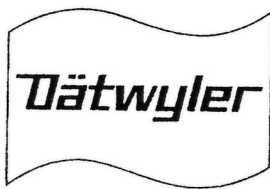
Die Technologie der Glasfaserübertragung

M.F. Arzner
Dipl. Phys.
Daetwyler AG, 6460 Altdorf



Inhaltsverzeichnis

1. Weshalb Glasfaseruebertragung
2. Komponenten von Glasfaserkabelanlagen
 - 2.1 Glasfasern
 - 2.2 Glasfaserkabel
 - 2.3 Stecker und Spleisse
 - 2.4 Lichtquellen und Sender
 - 2.5 Detektoren und Empfaenger
3. Messgeraete fuer die Faseroptik
4. Literaturverzeichnis



1. Weshalb Glasfaseruebertragung?

1.1 Wo stehen wir heute?

- * Keine Zukunftsvision
- * Realitaet

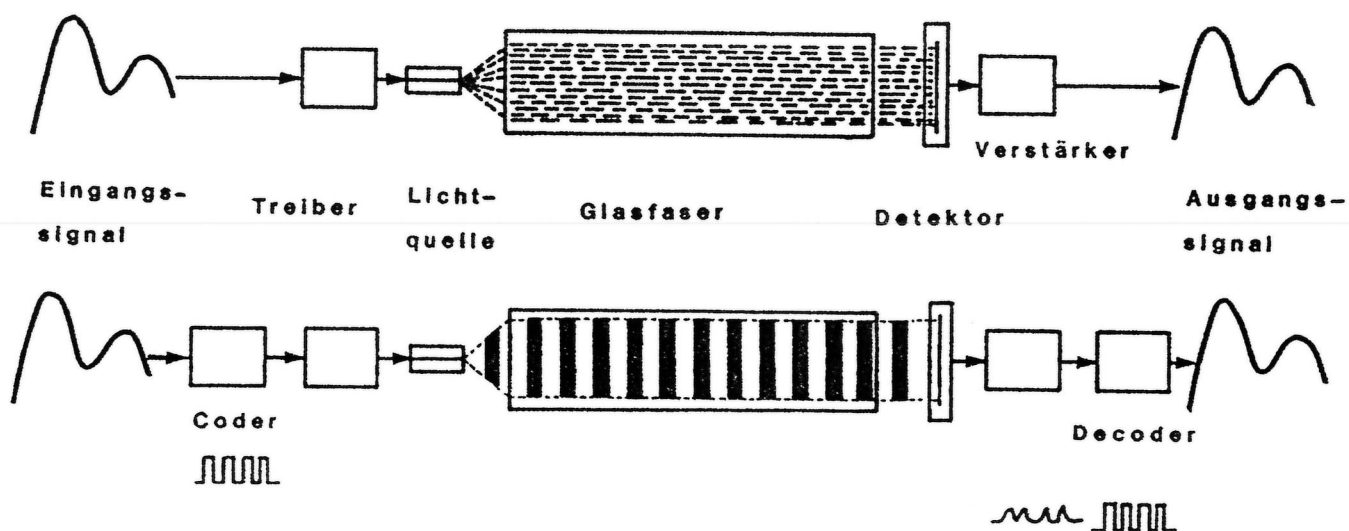
Glasfaseruebertragung ist :

- * technisch vorteilhaft
- * wirtschaftlich sinnvoll

1.2 Vorteile der Glasfaseruebertragung :

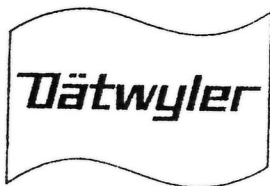
- * wenig materialintensiv, d.h.kleines Gewicht
- * platzsparend
- * hohe Uebertragungskapazitaet, normal uebliche Modulationsverfahren + Wellenlaengenmultiplex
- * weitgehend temperaturunabhaengige Kabeldaempfung
- * kein Nebensprechen, erhoechte Abhoersicherheit
- * keine Fremdbeeinflussung
- * keine Erdungsprobleme, Sender - Empfaenger Potential sind voneinander unabhaengig
- * gefahrlos in explosivgef. Umgebung

ANALOGE BZW. DIGITALE ÜBERTRAGUNGSTECHNIK
MIT GLASFASERKABEL



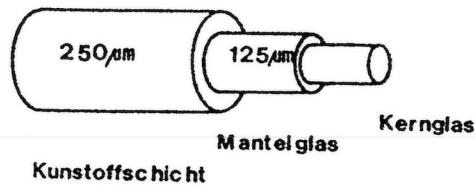
2. Komponenten von Glasfaserkabelanlagen

- * Glasfaserkabel
- * Stecker und Spleisse
- * Quellen und Sender
- * Detektoren und Empfaenger
- * Koppler und Splitter
- * Systeme



2.1 Glasfaser

GLASFASERAUFBAU



Eine Glasfaser fuer optische Kommunikationszwecke besteht im Prinzip aus folgenden konzentrischen Schichten :

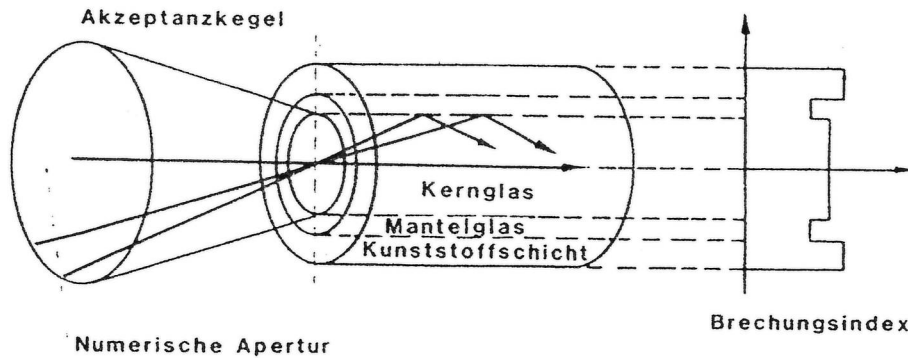
Kern
Mantel
Kunststoffschicht

Der zylinderische Kern ist der eigentliche Lichtwellenleiter. Die Aufgabe des Mantelglases ist, Licht, das sich im Kernbereich nicht parallel zur Faserachse ausbreitet - also den Kernbereich verlassen moechte, wieder in den Kern zurueck zu reflektieren. Dies wird erreicht, indem man fuer den konzentrischen Mantel eine Glassorte mit geringerer optischer Dichte (Brechzahl) verwendet. Um die haarfeinen Fasern vor Luftfeuchtigkeit, Staub und mechanischen Beschaedigungen zu schuetzen, werden sie beim Faserziehen mit einer Kunststoffschicht ueberzogen.

Glasfasertypen:

Wir unterscheiden zwischen Stufenindex-, Gradientenindex- und Monomodefasern.

STUFENINDEXFASER



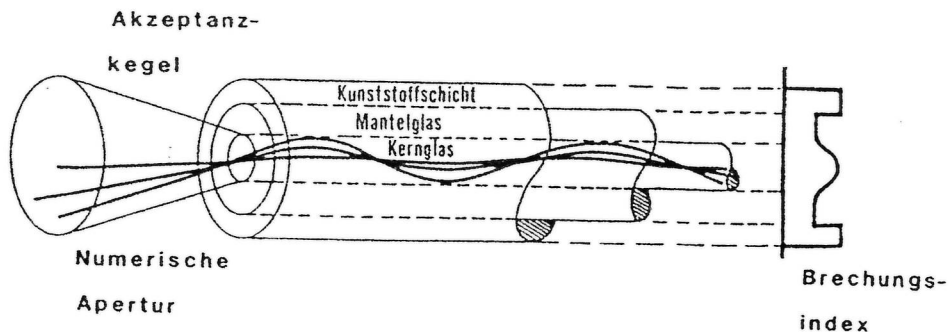
Die Stufenindexfaser ist die ursprüngliche Glasfaser. Obwohl man sie auch mit sehr kleinen Dämpfungswerten herstellen kann, wird sie, - wenn überhaupt, nur im Kurzdistanzbereich (bis zu ca 1 - 2 km) und fuer kleine Uebertragungsraten eingesetzt.

Weshalb ?

Sendet man einen Lichtimpuls in eine Glasfaser, so wird die Energie in sehr viele Strahlen, man sagt auch Moden, aufgeteilt. Da hohe Moden einen laengeren Weg durch die Faser zuruecklegen, werden sie bei gleicher Ausbreitungsgeschwindigkeit am anderen Ende der Faser zeitlich verzoeigert eintreffen. Effekt: Der Ausgangsimpuls ist stark verbreitert, was die zulaessige Uebertragungsrates entscheidend beeinflusst.

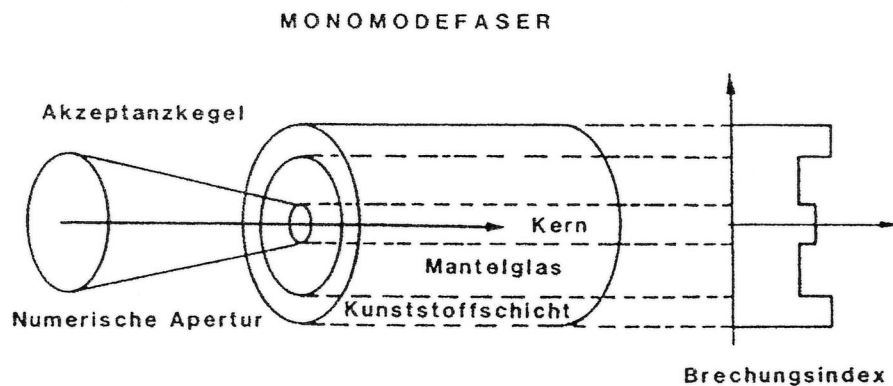
Wenn man von einer Querschnittsverkleinerung des Kerns absieht, laesst sich der geometrisch laengere Weg mehr oder weniger optimal kompensieren, wenn man dem Kernbereich ein parabolisch verlaufendes Brechzahlprofil gibt.

GRADIENTENINDEXFASER

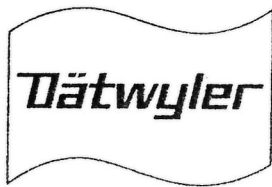


Dieses Brechzahlprofil bewirkt zweierlei. Lichtstrahlen laufen auf sinusfoermigen Bahnen. Geometrische Wegunterschiede sind nach wie vor vorhanden, doch da der Brechungsindex in der Kernmitte am groessten ist, wird der Strahl mit dem kuerzesten Weg, d.h. der Zentrumstrahl sich mit der kleinsten Geschwindigkeit ausbreiten. Strahlen mit irgend einem Winkel zur Faserachse haben wie bei der Stufenindexfaser den laengeren Weg, doch ist die mittlere Brechzahl laengs des Weges kleiner als im Kernzentrum und damit ihre Ausbreitungsgeschwindigkeit groesser.

Waehrend Stufenindexfasern nur mit Bandbreiten von 20 - 30 MHzxkm herzustellen sind, haben gute Gradientenindexfasern Spitzenwerte bis zu 3 GHzxkm. Noch hoehere Bandbreiten > 10 GHzxkm erzielt man mit Monomodefasern.



Die Monomodefaser kommt im Prinzip wieder mit einem Stufenprofil aus. Der Kernbereich dieser Faser ist so klein, dass sich alles Licht nur geradlinig ausbreiten kann. Es gibt somit keinen zeitlichen Versatz zu einem 2. Strahl.



Abmessungen gebrauchlicher Fasern:

Fasertyp	Kern ϕ	Mantelglas ϕ
SM	9	125
* G	* 50	* 125
G	85	125
G	100	140

SM = Singlemode (Monomode)

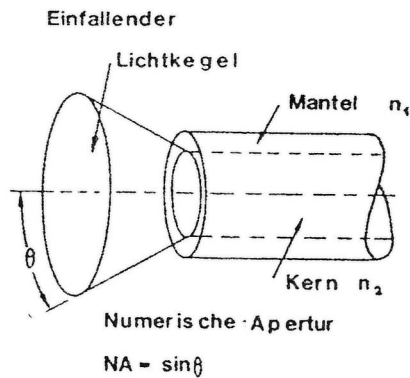
G = Gradientenindex

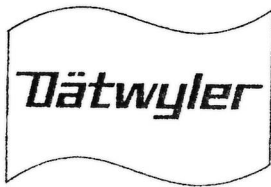
* CCITT normiert

Optische Eigenschaften:

Numerische Apertur

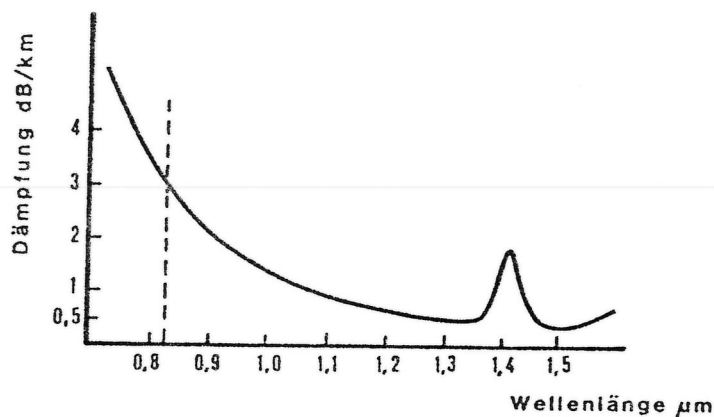
Eine Glasfaser fuehrt nur das Licht, welches innerhalb eines bestimmten Oeffnungswinkels auf die Faserstirnflaechen trifft.





Der Sinus des halben Oeffnungswinkels wird als Numerische Apertur oder kurz NA bezeichnet.

SPEKTRALE DÄMPFUNG



Rayleigh - Streuung an der Molekuelstruktur des Glases und Absorption sind die zwei Hauptursachen fuer den Verlust an Lichtintensitaet laengs der Faser. Die Streuung ist umgekehrt proportio-
nal zu 4. Potenz der Wellenlaenge. Sie erreicht einen Tiefstwert bei ca $1,5 \mu\text{m}$.

Neben der erwaehten Streuung kann das Licht auch wellenlaengen-
selektiv von gewissen Schwermetallen, Dotierungsstoffen und Was-
ser absorbiert werden. Eventuelle Schwermetalle sind Verunreinig-
ungen, die sich bei der Faserproduktion ebenso wie Wassermolekue-
le einschleichen. Allerdings zeigen heute moderne Fasern eine
sehr grosse Reinheit. Die dem spektralen Daempfungsverlauf ueber-
lagerten Spitzen werden immer kleiner.

Bandbreite, Dispersion

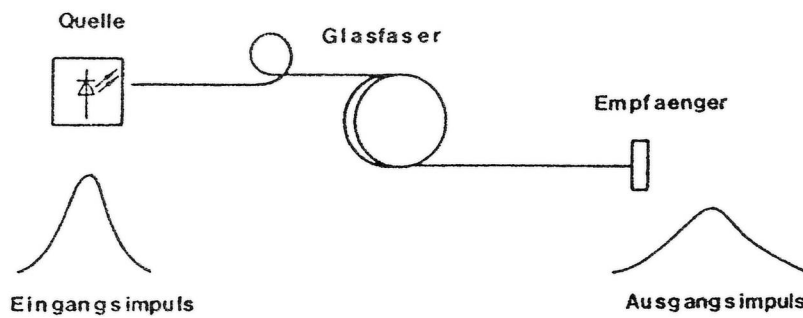
Trotz parabolischem Brechzahlverlauf gibt es bei der Gradienten-
indexfaser Dispersion, naemlich einen modalen Teil und Material-
dispersion. Die Groesse des modalen Anteils laesst sich durch ein
optimales Brechzahlprofil auf ein Minimum reduzieren. Die
Materialdispersion ist abhaengig von der Glassorte und von der



Wellenlaenge des Lichtes. Auch Singlemodedefasern unterliegen dem letztern Einfluss. Aber die Werte sind deshalb so klein, weil bei 1300 nm die Materialdispersionskurve von Quarzglas durch null geht.

Der Einfluss, generell der Dispersion laesst sich mit folgendem Bild erklaren.

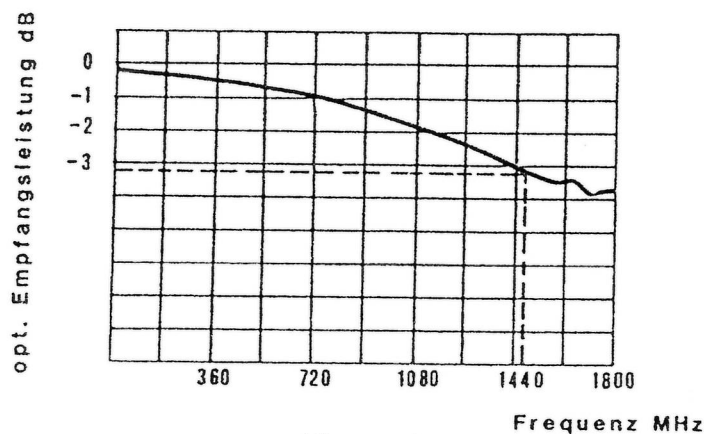
DISPERSION

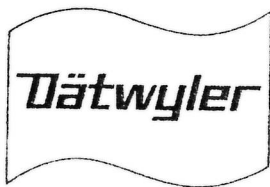


Die Groesse der Impulsverbreiterung haengt von der Faserqualitaet, von der spektralen Breite der Lichtquelle und von der zurueckgelegten Weglaenge. Wenn man auf Ein- und Ausgangsimpuls eine Fourierzerlegung anwendet, kommt man zum Ergebnis, dass am fernen Ende vor allen Dingen die hohen Frequenzanteile fehlen. Demzufolge verhaelt sich eine Faser wie ein Tiefpass. Der 3 dB Abfall der Lichtintensitaet ist die Definition der Bandbreite.

ÜBERTRAGUNGSFUNKTION

Kabel Nr. 3571, Länge 2078 m



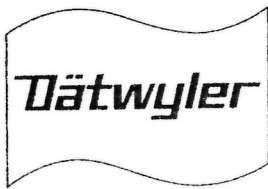


2.2 Kabelaufbau

Auf was kommt es an ?

- * Die Wahrscheinlichkeit eines Faserbruches ist abhaengig von der Groesse der mechanischen Belastung auf das Kabel, d.h von Zug- und Druckspannungen und deren Beanspruchungsdauer. Im Hinblick auf eine Lebensdauer groesser 30 Jahre duerfen Kabeldehnungen keine Faserdehnungen bewirken.
- * Da Zugkraefte an den Fasern und Feuchtigkeit unweigerlich zu einem Bruch fuehren, muessen Glasfasern auch vor Feuchtigkeit geschuetzt werden.
- * Auf Glasfasern duerfen nur kurzzeitig radiale oder axiale Kraefte ausgeuebt werden. Veraenderungen in den optischen Eigenschaften sind ein untruegliches Zeichen hierfuer, wieweit dies der Fall ist.
- * Die Glasfasern sind so zu verkabeln, dass die thermischen Ausdehnungen und Kontraktionen bzw. die Dehnungen und Stauungen sich nicht Deformationen umsetzen.
- * Wegen moeglichen Verbiegungen im Mikrobereich und der lebensnotwendigen Kraftentkopplung zwischen Glasfaser und uebrigem Kabelaufbau sollte die Glasfaser sowohl weich gepolstert wie auch laengsbeweglich sein.
- * Mit Beschaedigungen des Kabelmantels muss gerechnet werden. Das Vollaufen der Kabelseele mit Wasser ist zu verhindern. Auch wenn die Fasern zunaechst vor direktem Kontakt mit Wasser durch diverse Kunststoffumhuellungen geschuetzt sind, wuerde bei tiefen Temperaturen durch Eisbildung auch auf die gepolsterte Faser Druck ausgeuebt. Erhebliche Zusatzdaempfun- gen und das Unbrauchbarwerden einer generell nicht abschaetz- baren Laenge waeren die Folge.

Wie koennen diese wichtigen Randbedingungen beim Bau eines Kabels eingehalten werden?

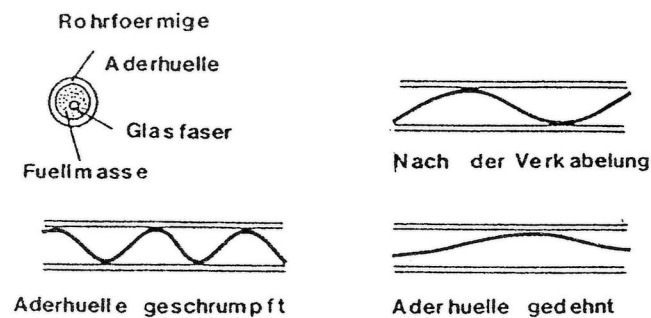


Die SIECOR Kabeltechnik

Die Hohlader

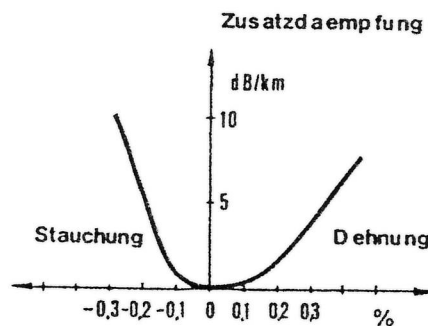
Eine Glasfaser oder auch mehrere werden mit einer definierten Ueberlaenge in quer- und laengsstabilen, rohrfoermigen Huellen kraeftefrei gelagert.

SIECOR HOHLADERTECHNIK



Um Wasserablagerungen an der Faseroberflaeche auszuschliessen, sind die Aderhuelen zusaetzlich mit einer Masse gefuellt. Diese hat die Eigenschaft, weder bei tiefen Temperaturen einzufrieren, noch bei hohen Temperaturen auszulaufen.

Betrachtet man die Faserdaempfung in Abhaengigkeit vom Laengenunterschied Faser-Roehrchen, so erhaelt man qualitativ folgendes Bild :



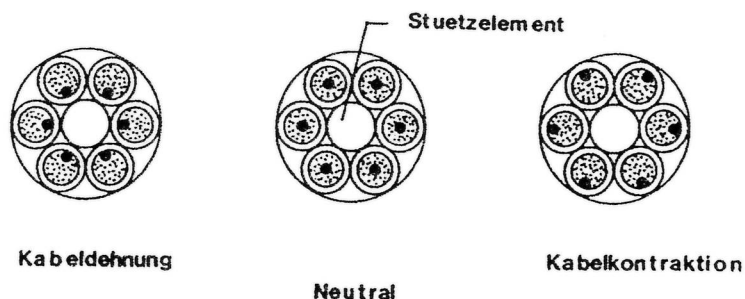
Daraus kann man ersehen, dass fuer vernachlaessigbare Zusatzdaempfung die Kontraktion bzw. Dehnung des Roehrchens nicht mehr als 0,1 % betragen darf.

Da die auf ein Kabel wirkenden Kraefte, seien sie mechanischer oder thermischer Natur, groessere Dehnungen verlangen, kommt auch dem weiteren Kabelaufbau grosse Bedeutung zu.

Die Verseilung

Die Hohladern werden je nach Anzahl eventuell zusammen mit Blindadern SZ-foermig um ein zentrales Stuetzelement aus glasfaserverstaerktem Kunststoff verseilt. Die folgenden Skizzen illustrieren das mechanische Verhalten.

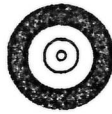
VERSEILUNG



Zugentlastung, Laengswasserschutz, Kabelmantel

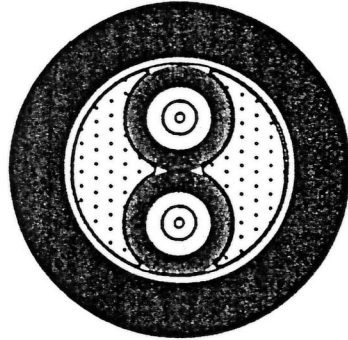
Ueber die Verseilung folgt als Zugentlastung eine Lage Aramidgarne (z.B. KEVLAR), die in eine spezielle Kunststoffschicht eingebettet werden. Durch Fuellen der Kabelseele mit einem Jelly wird im Schadenfall das eventuelle Eindringen und Ausbreiten von Wasser verhindert. Wie bei konventionellen Kupfer - Erdkabeln bietet ein schwarzer, spannungsrissbestaendiger Polyaethylenmantel einen hervorragenden Schutz gegen allerlei Umwelteinfluesse.

INNENKABEL MIT LICHTWELLENLEITER



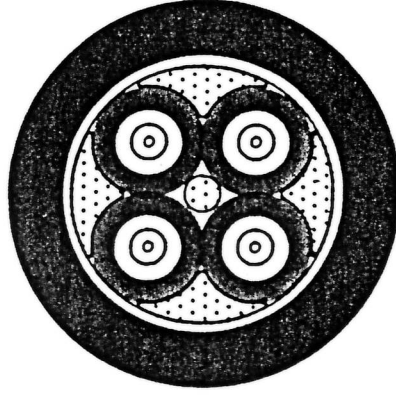
Kabel Typ GA2

Durchmesser 2,80mm



Kabel Typ 2-GA2

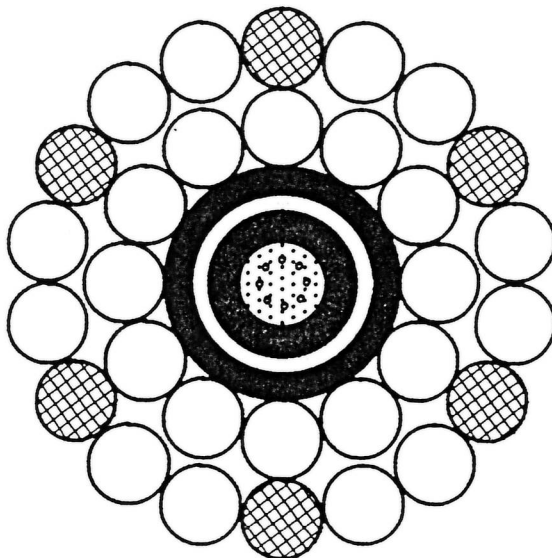
Durchmesser 9,00mm



Kabel Typ 4-GA2

Durchmesser 10,50mm

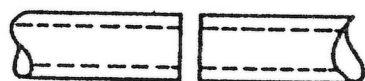
Erdseil mit 8 Fg



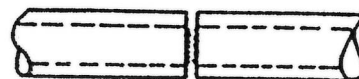
Legende:

-	Fallmasse für Längs- und Querwasserschutz	23,10 mm
-	Aussendurchmesser	6,00 mm
-	Miniband mit 8 Fg – Röhrendurchmesser	0,70 mm
-	Aramidfasern in Kunststoffschicht	1,25 mm
-	PE-Aussenmantel	102,60 mm ²
-	1. Lage: 12 AD-Drähte, ø 3.30 mm, Querschnitt	102,60 mm ²
-	2. Lage: 12 AD-Drähte, ø 3.30 mm, Querschnitt	51,3 mm ²
	: 6 AW-Drähte, ø 3.30 mm, Querschnitt	
-	Kabelgewicht	975 kg/km

STECKER VERLUSTFAKTOREN



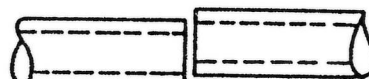
axiale Distanz



Schmutz bzw.
schlechte Oberfläche



Kerne nicht konzentrisch



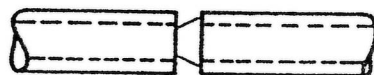
seitlicher Versatz



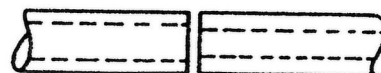
Endfläche nicht rechtwinkl.



axiale Verkippung



unterschiedliche NA



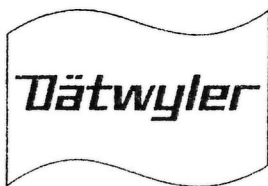
unterschiedliche Kern ϕ

2.3 Stecker und Spleisse

Die Verluste lassen sich hauptsächlich auf 3 Ursachen zurückführen. Es sind dies:

- * Mechanische Dejustierungen der Steckerstifte
- * Ungenuegende Endflaechenbearbeitung
- * Schlechte Fasergeometrie

Da bei den meisten Faserherstellern in den letzten 3-4 Jahren grosse Fortschritte erzielt wurden, steht das Problem der Fasergeometrie nicht mehr im Vordergrund. Um so wichtiger wird die sorgfaeltige und gewissenhafte Montage. Zum Beispiel kann die



axiale Distanz und bei zu grossem Bohrungsdurchmesser auch die Konzentrizitaet in geringen Grenzen beeinflusst werden. Jedoch sind die meisten mechanischen Dejustierungen durch die Qualitaet der verschiedenen Steckerfabrikate vorprogrammiert. Nichts destoweniger ist, wie bereits erwaeht, die fachgerechte Montage von nicht zu unterschaeztender Bedeutung. Eine schlecht polierte und schmutzige Oberflaeche kann Daempfungserhoehungen von 3 dB und mehr verursachen. Man sollte sich ueber folgendes im klaren sein:

- * Nur eine gut polierte Oberflaeche kann immer wieder gereinigt werden.
- * Eine Glasfaser hat bekanntlich die Groesse eines Haares und ein Staubkorn im Faserkernbereich genuegt, um sehr viel Licht zu verlieren.

Wenn einmal eine Kabelanlage in Ordnung ist und das Uebertragungssystem funktioniert, sollte man, wenn immer moeglich:

- * Stecker nicht rausziehen !

Typische Steckerdaempfungswerte:

Gute "Trocken" Stecker	0.4 - 0.8 dB
Mittlere Qualitaet	1.0 - 1.5 dB

Diese Angaben gelten fuer ein Steckerpaar, d.h. 2 Stecker in einem Mittelstueck zusammengesteckt.

Spleisse

Beim Spleissen von Glasfasern hat sich das Lichtbogenschweissen eindeutig durchgesetzt. Wegen der sehr hohen Schmelztemperatur von Quarzglas muessen zum Verschweissen Temperaturen von ca 2000 °C eingestellt werden. Auf dem Markt sind heute einige sehr gute Geraete erhaeltlich, mit denen sich bei Gradientenindexfasern mittlere Spleissdaempfung von 0.2 dB erzielen lassen.

Bei Monomodefasern muss etwas mehr Aufwand getrieben werden. Doch sind auch hier Mittelwerte von 0.3 - 0.4 dB erzielbar.

Aehnliches wie fuer die Stecker montage gilt auch fuer das Spleissen:

- * Gute Resultate verlangen sauberes und zuverlaessiges Arbeiten !

Wichtige Beurteilungskriterien fuer Stecker und Spleisse sind in der unten stehenden Tabelle zusammengefasst.

- * Verlust
- * Wiederholbarkeit
- * Rotationsverhalten
- * Klima und allgemeine Resistenz gegen allerlei Umwelteinfluesse.

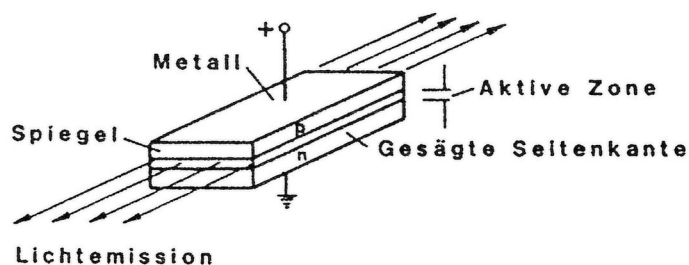
2.4 Quellen und Sender

LASER = Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation

Der Halbleiter-Laser ist neben der Glasfaser das Schlusselement fuer die optische Kommunikationstechnik. Beim einfachsten Aufbau handelt es sich p und n dotierte GaAs Schichten.

HOMODIODENLASER

PULSLASER



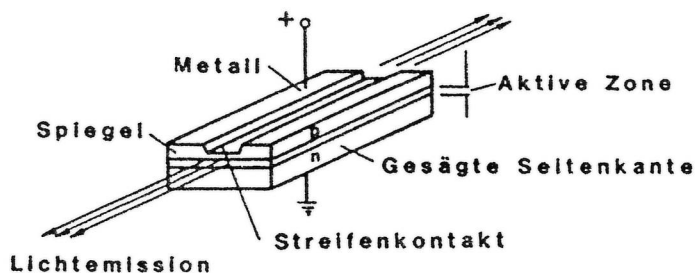
Auf der Vorder- und Rueckseite bilden die natuerlichen Spaltflaechen Spiegel. Wird die Diode in Vorwaertsrichtung betrieben, werden in den pn Uebergang Ladungstraeger injiziert, die dann im Infrarotbereich strahlend rekombinieren. Die beiden halbdurchlaessigen Spiegel bilden fuer den kohaerenten Wellenzug die notwendige Kavitaet.

Der Homodioden-Laser hat einen grossen Nachteil. Er muss, bis der Lasereffekt eintritt, (Besetzungsinversion) sehr stark gepumpt werden. Er eignet sich daher nur fuer Pulsbetrieb.

Wesentlich effizienter sind die Doppelheterostruktur-Halbleiterlaser. Das Einbringen von 2 Schichten aus (AlGa)As begrenzt die aktive Zone. Wir haben damit im Rekombinationsraum eine wesentlich hoehere Ladungstraegerkonzentration. Die erforderliche minimale Besetzungsinversion tritt schon bei einem Schwellstrom von ca 10 kA/cm² ein. Im Dauerstrich betriebene LASER koennen ausschliesslich in Doppelheterostruktur aufgebaut sein, weil bei einer Diode ohne diesen Schichtaufbau die hohen Injektionsstroeme den Halbleiterkristall zerstoeren wuerden.

Beim Streifenlaser wird die aktive Zone zusaetzlich seitlich begrenzt.

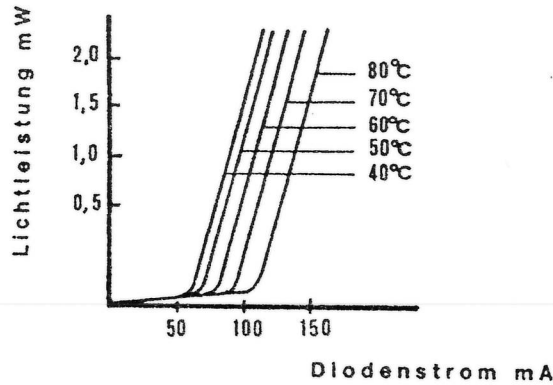
STREIFENLASER



Die Lichtleistung wird auch wieder ueber den Injektionsstrom geregelt. Bei Stroemen, welche kleiner als der Schwellstrom sind, funktioniert die Laserdiode wie eine LED, d.h. sie gibt nur spontane Emission ab.

Das folgende Bild zeigt die typische Kennlinie eines Halbleiterlasers.

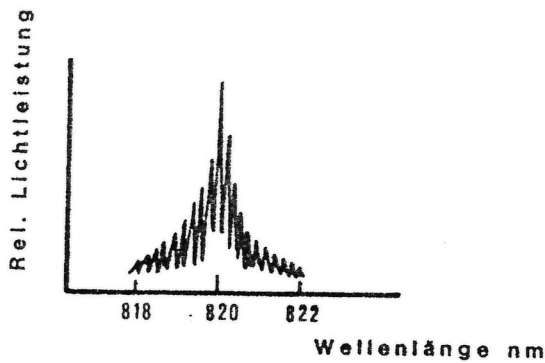
STROM-LICHTCHARAKTERISTIK

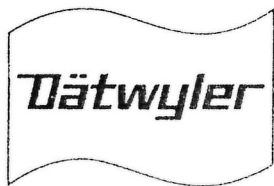


Man sieht aus dem Diagramm, dass die Ausgangsleistung mit der internen Kristalltemperatur variiert. Um diesen Einfluss auszu-schalten, werden die Dioden auf thermoelektrische Kuehler mon-tiert. Als weitere Stabilisierung wird das Licht von der Rueck-seite auf eine Monitordiode gefuehrt, um den Injektionsstrom zu regeln.

Die folgende Grafik zeigt eine typische spektrale Lichtvertei-lung.

SPEKTRUM AlGaAs, DH, CW LASER

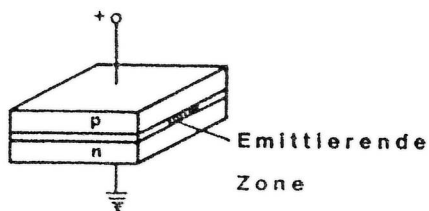




In vielen Anwendungen sind Quellen in Form von lichtemittierenden Dioden, oder kurz LED, die bessere Alternative zu LASER.

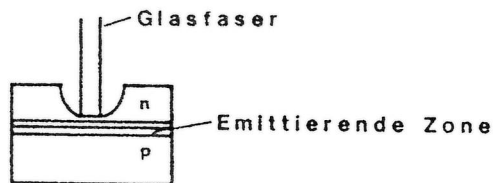
LED sind prinzipiell gleich aufgebaut wie Laserdioden mit Ausnahme der fehlenden Spiegel. Zwei Typen haben vor allen Dingen Bedeutung erlangt, naemlich Kanten- und Oberflaechenstrahler.

LED-KANTENSTRAHLER



LED-OBERFLÄCHENSTRAHLER

BURRUS-DIODE

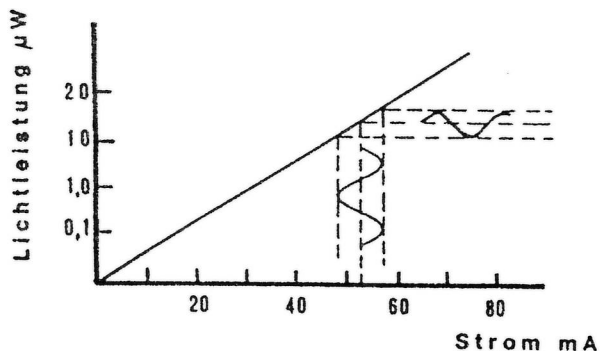
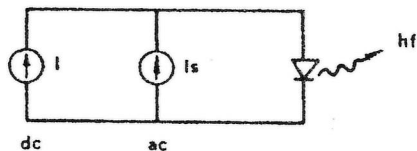


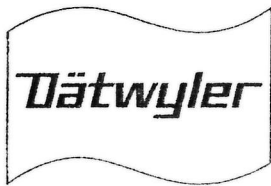
Die elektrischen Eigenschaften einer LED sind denen einer herkoemmlichen pn-Diode sehr aehnlich. Die Forderung nach einer Modulationskennlinie mit ausreichender Steilheit ist ueber weite Bereiche erfuehlt.

STROM-LICHTCHARAKTERISTIK

LED

ANALOGMODULATION





Deshalb ist die LED sowohl fuer Analog- wie Digitalmodulation geeignet. Die Diode geht erst bei Stroemen ueber 200 mA in die Saettigung.

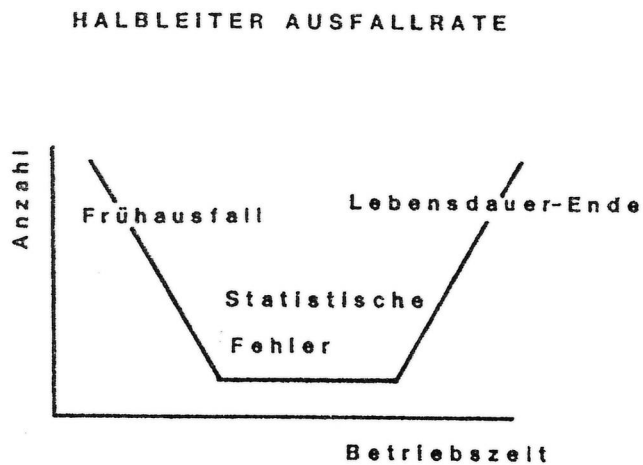
Vergleich LED - LASER (LD)

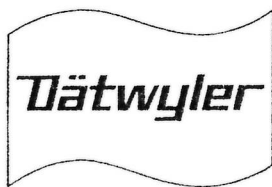
- * LED sind bedeutend billiger
- * LED sind weniger temperaturempfindlich

	LED	LD
Opt. Ausgangsleistung	ca 50 uW	ca 1 mW
Spektrale Breite	ca 80 nm	ca 2 nm
Modulationsfrequenz	ca 120 MHz	ca 3 GHz
Lebensdauer	>ca 100 000 h	>ca 10 000 h

Lebensdauer von LASER und LED Quellen:

LASER und LED Quellen gehoeren zu den Halbleitern, verhalten sich aber etwas anders als die ueblichen Halbleiterbauelemente auf Silizium Basis, fuer die das untenstehende Diagramm gilt.





Die Fruehausfallrate ist betraechtlich. LASER und LED Quellen werden zur Zeit sehr intensiv getestet und eingebrannt, um die moegliche Lebensdauer vorauszubestimmen. Auf dem Diagramm ist heute die Zeitachse voellig unklar. Im zeitlichen Alterungsverhalten koennten vielleicht parallelen zu Gluehbirnen gezogen werden.

Regel fuer den Eisatz LASER/LED:

Wenn es die Modulationsfrequenz und die zu ueberbrueckende Distanz zulassen, lieber eine 1300 nm LED einsetzen, eventuell in Kombination mit einer etwas besseren Faser.

LED haben keine Spiegel, welche mit der Zeit kontaminieren. Sie werden auch thermisch sehr viel weniger belastet.

Weitere wichtige Kriterien fuer die Auswahl von Lichtquellen:

- * In die Faser eingekoppelte Ausgangsleistung
- * Bandbreite
- * Wellenlaenge
- * LASER: Schwellstrom und Extinktionskoeffizient
- * Stabilitaet und Lebensdauer

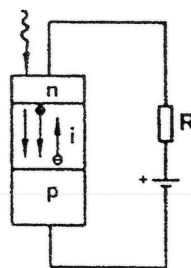
2.5 Detektoren und Empfaenger

Genauso wichtig, wie eine geeignete Lichtquelle, ist die Ruecktransformation von Licht in elektrische Energie. Ganz aehnlich wie bei den Lichtquellen sind in den Umwandlungsprozess p und n dotierte Halbleiter, wie zum Beispiel in der Photodiode, involviert.

Werden in die Photodiode Lichtquanten (Photonen) eigestrahlt, so spalten sich von den Atomen Elektronen ab und bilden freie Ladungstraeger. Damit die erzeugten Elektron - Lochpaare nicht rekombinieren, wird die Diode in Sperrichtung betrieben. Da das elektrische Feld auf den pn Uebergang und seine unmittelbaren Umgebung beschraenkt ist, wird nur ein Teil der freien Ladungstraeger erfasst. Deshalb sind fuer die optische Kommunikationstechnik Photodioden zu traeege.

Dagegen zeigen PIN Photodioden weitaus schnellere Ansprechzeiten.

PIN PHOTODIODE

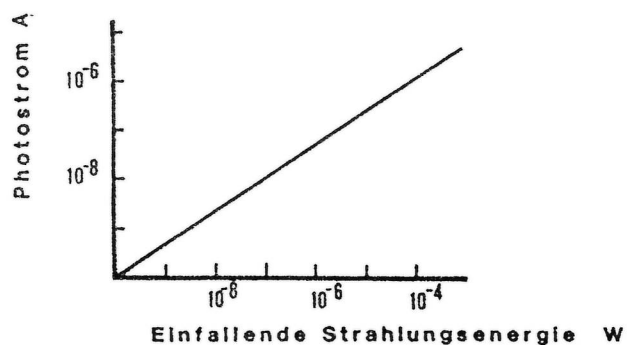


Funktionsprinzip:

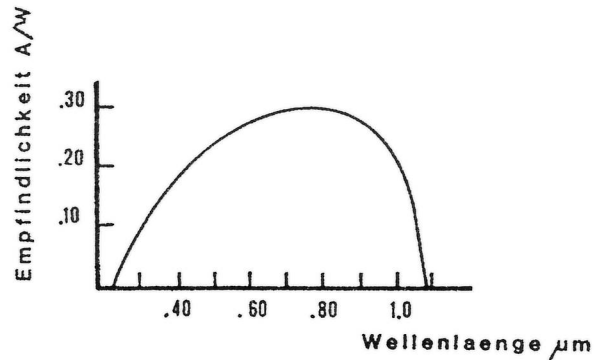
In der zusaetzlich eingebauten i-Schicht herrscht eine grosse Feldstaerke. Die meisten Photonen werden in dieser relativ breiten Schicht absorbiert und erzeugen dadurch freie Elektron-Lochpaare, welche durch das hohe elektrische Feld beschleunigt werden. Macht man das elektrische Feld (Sperrspannung) genuegend gross, kann es durch Stossionisation zur Ladungstraeger-Multiplikation kommen. Man spricht in diesem Fall von einer Avalanche-Photodiode, oder kurz APD.

Wichtige Parameter jeglicher Art von Photodioden sind Linearitaet, spektrale Empfindlichkeit und Strom-Spannungscharakteristik

LINEARITAT



SPEKTRALE EMPFINDLICHKEIT

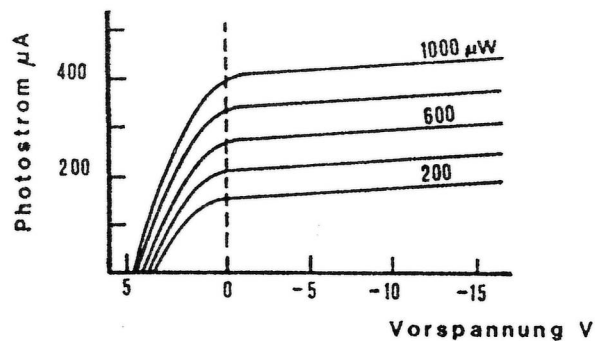


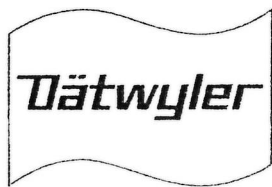
Der oben dargestellte spektrale Verlauf gilt fuer Silizium. Die maximale Empfindlichkeit faellt in etwa mit Emissionswellenlaenge von GaAs LASER und LED s zusammen. Fuer den 1.3 und 1.3 μm Bereich (2. und 3. Fenster) braucht es Dioden aus anderen Halbleitermaterialien.

Grenzwellenlaenge einiger wichtiger Dioden:

- * Silizium 1.1 μm
- * InGaAs 1.6 μm
- * Ge 1.8 μm

STROM-SPANNUNGSCHARAKTERISTIK





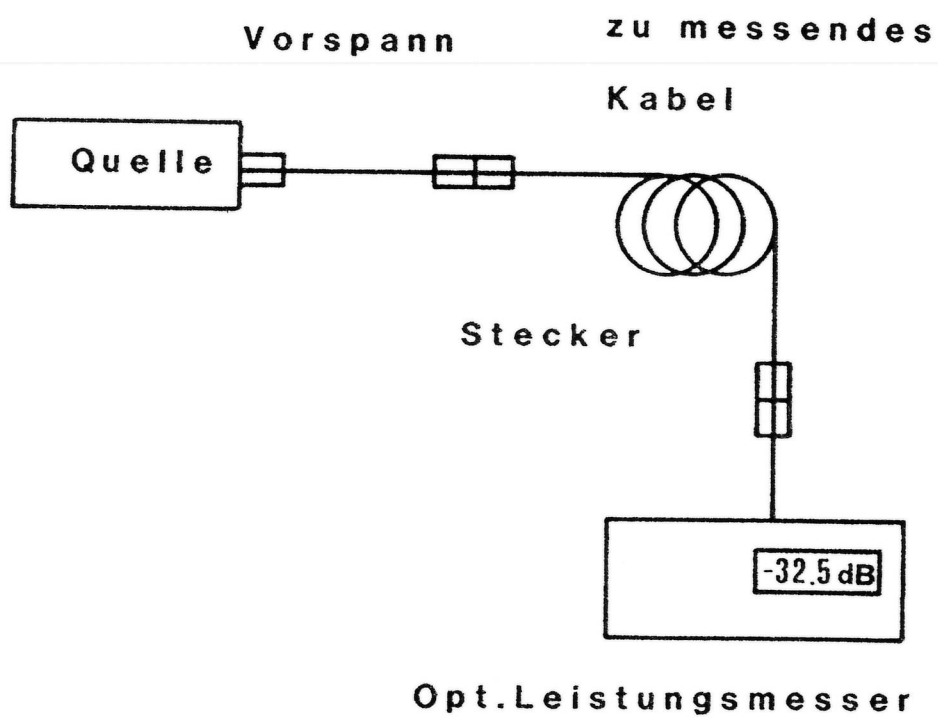
Kriterien fuer die Auswahl von Detektoren:

- * Empfindlichkeit
- * Bandbreite
- * Verzerrung bei analoger Uebertragung
- * Stabilitaet
- * Temperaturbereich und Resistenz gegen diverse Umweltfaktoren

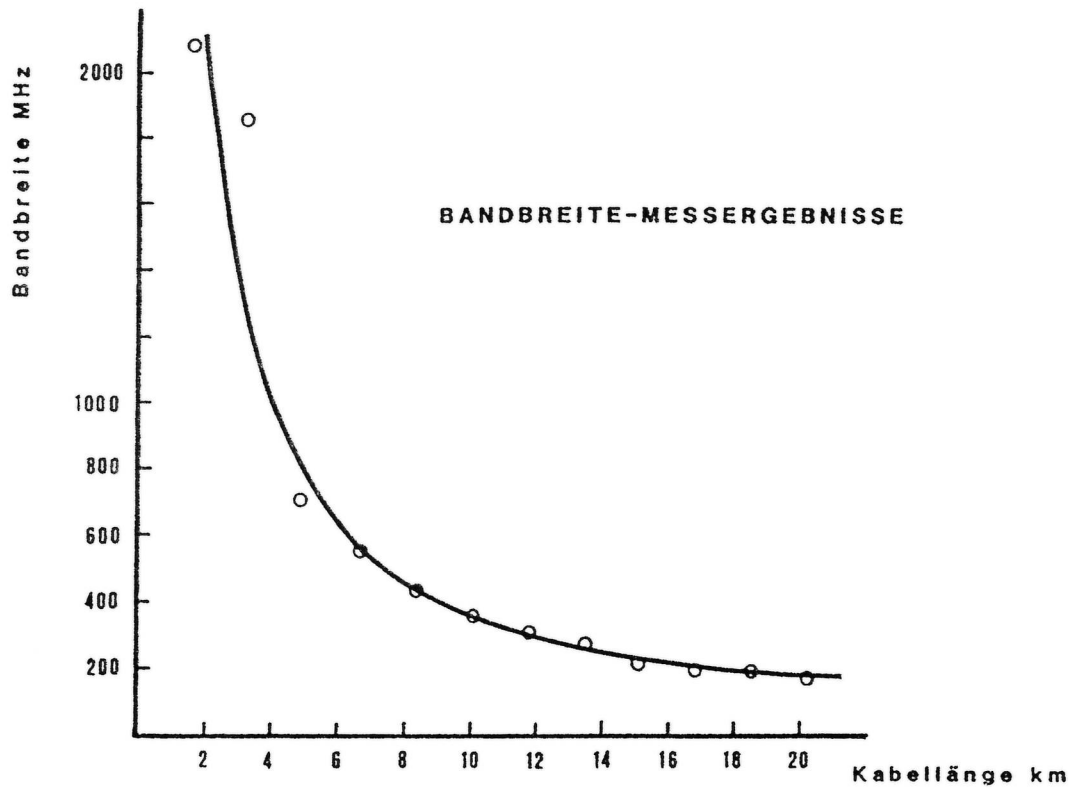
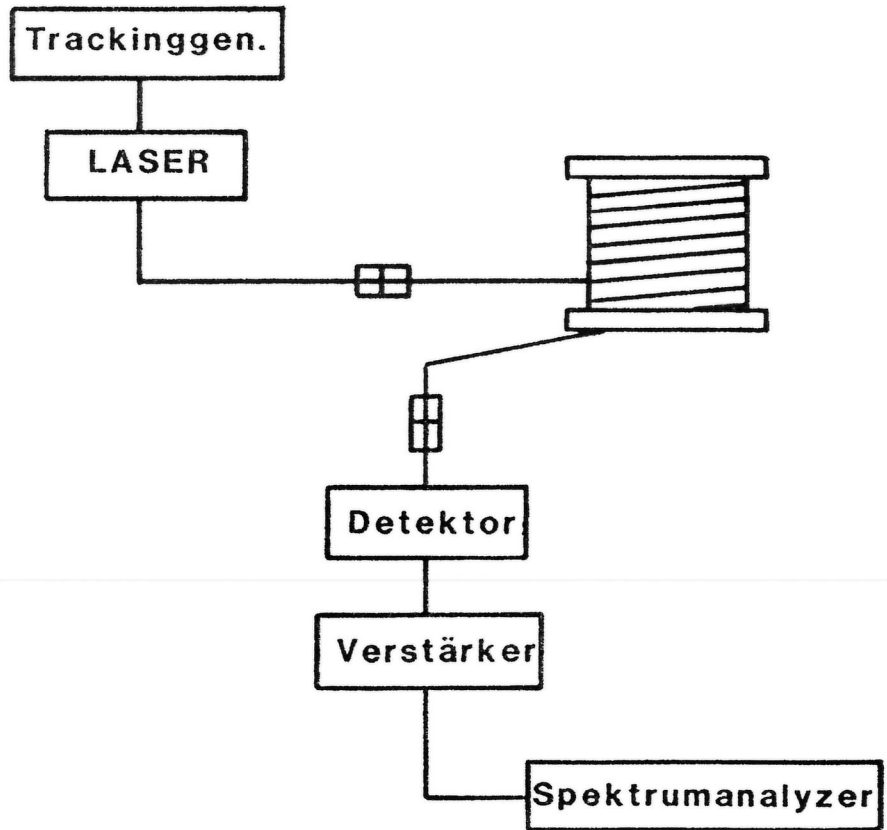
3. Messgeraete fuer die Faseroptik

- * Daempfungstester
- * Optischer Leistungsmesser
- * LED und LASER Quellen
- * Daempfungsglieder (variabel)
- * OTDR
- * Bandbreitenmessplatz
- * Mikroskop

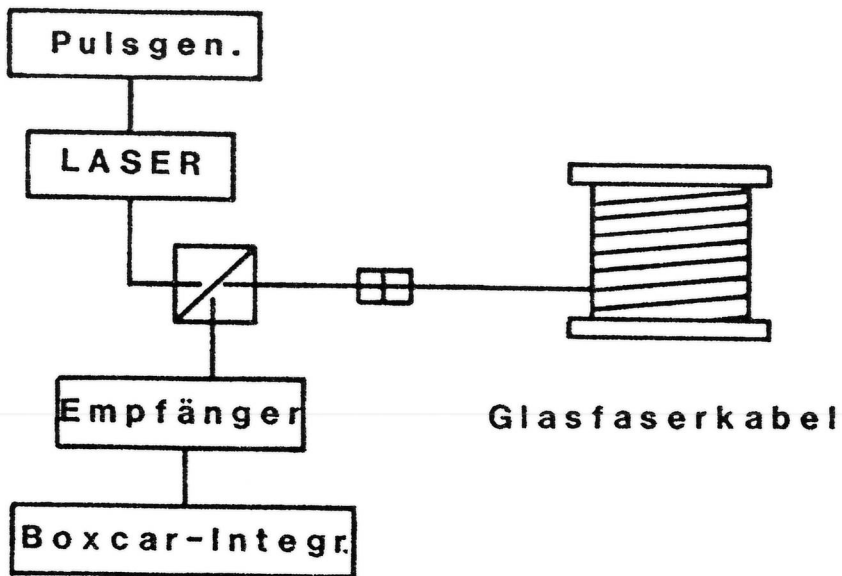
DÄMPFUNGSMESSUNG



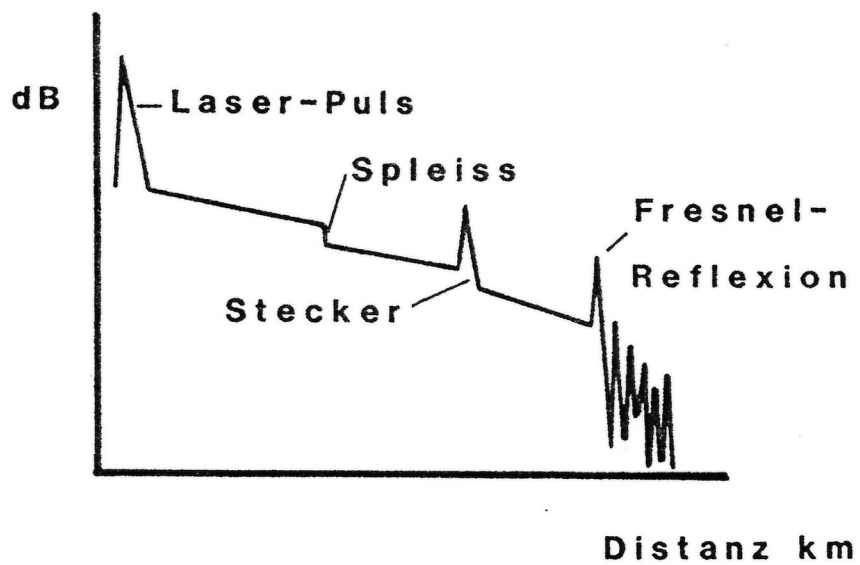
BLOCKSCHEMA
BANDBREITE-MESSUNG

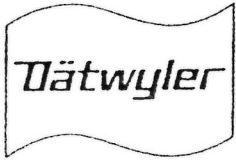


OTDR BLOCKSCHEMA



TYPISCHES OTDR BILD





NACHTEILE OTDR

- **BRAUCHT GEÜBTEN BEDIENER FÜR DIE INTERPRETATION DES BILDSCHIRMS**
- **SEHR TEUER**
- **GIBT FALSCHER DÄMPFUNGSWERTE (SOGAR VERSTÄRKUNG) FÜR STECKER U. SPLEISSE**
- **LIMITIERTES AUFLÖSUNGSVERMÖGEN**
- **UNGENÜGENDE GENAUIGKEIT BEI DER MESSUNG**
- **VON SPLEISSVERLUSTEN**



VORTEILE OTDR

- **BRAUCHT FÜR MESSUNG NUR
1 FREIE FASERSEITE**
- **ZEIGT GRAFISCH DIE FASER,
SPLEISSE U . STEKER-VERLUSTE**
- **ZEIGT VORHANDENE FEHLERSTELLEN,
INHOMOGENITÄTEN, MECHANISCHE EINFLÜSSE**
- **ZEIGT FASERLÄNGE
BZW. DISTANZ BIS ZUR FEHLERSTELLE**



Literaturverzeichnis

SIEMENS Telecom report

M.Craig, M.Lemrow, Venkata A. Bhagavatula, CORNING Glass
Advanced Fiber designs

R. Kersten, Einfuehrung in die optische Nachrichtentechnik
Springer Verlag

M.F. Arzner Daetwyler AG, Die optischen Kabel auf der
auf der SBB - Strecke Luzern - Zug