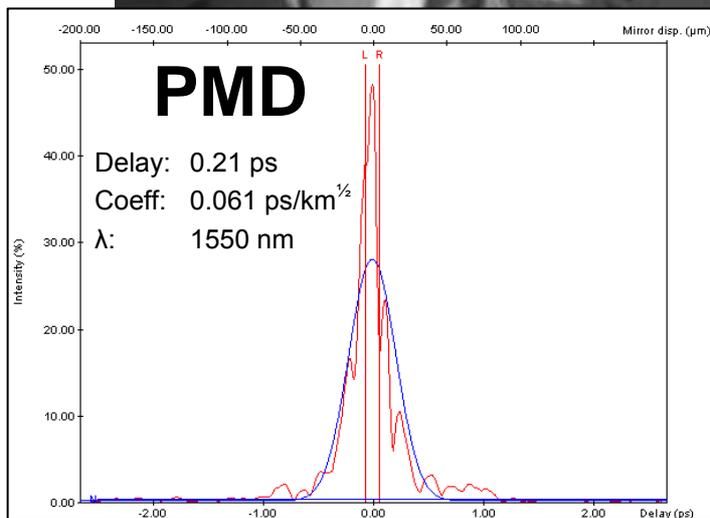
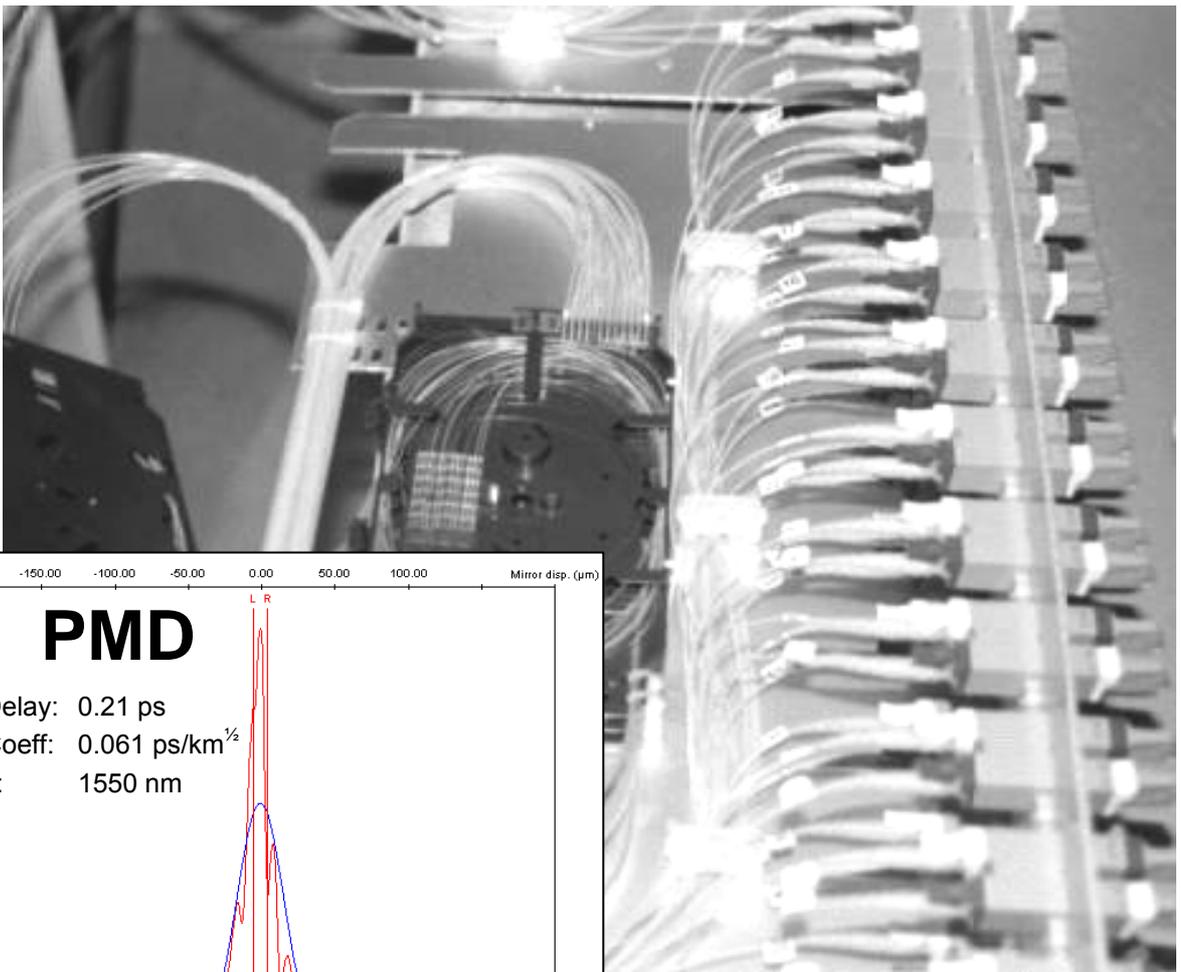


**FKH – Fachtagung  
23. August 2000**

**ETH Zürich  
Hörsaal HG F1**

# **Lichtwellenleiter-Hochleistungsnetze**

**Technologie, Instandhaltung, Diagnostik,  
Qualitätssicherung**







FKH Fachtagung 2000 „Lichtwellenleiter-Hochleistungsnetze“

**FKH - Fachtagung  
23. August 2000**

**ETH Zürich  
Grosser Hörsaal HG F1**

# Lichtwellenleiter-Hochleistungsnetze

Technologie, Instandhaltung, Diagnostik,  
Qualitätssicherung

**Veranstalter:**

*Fachkommission für Hochspannungsfragen, FKH  
Voltastrasse 9  
8044 Zürich*



**Unterstützt von:**

*diAx  
Thurgauerstr. 60  
8050 Zürich*



*ITG, Informationstechnischen Gesellschaft c/o SEV  
Luppenstr. 1  
8320 Fehraltorf*





**FKH - Fachtagung  
23. August 2000**

# **Lichtwellenleiter-Hochleistungsnetze**

Technologie, Instandhaltung, Diagnostik, Qualitätssicherung

## **Vorwort**

Der Anstoss für diese Tagung gab der vielseitige Wunsch zu einer öffentlichen Diskussion des heutigen Technologiestands im Bereich der Lichtwellenleiter-Hochleistungsnetze. Im Sinne eines nachhaltigen Investitionsschutzes der neuen hochbelasteten LWL-Netze steht neben der Gewährleistung eines zuverlässigen Betriebs insbesondere auch die Sicherung der zukünftigen Ausbaufähigkeit im Vordergrund. Ein hoher und einheitlicher Kenntnisstand über die technologischen Grundlagen sowie ein rascher Informationsaustausch ist hierzu für alle Parteien der Branche unabdingbar.

Das notwendige Wissen – oft erst durch engen Lieferantenkontakt vermittelt - ist heute aufgrund der sehr stark erweiterten Möglichkeiten der Elektronik und des Übertragungsmediums "Glasfaser" sowie des dynamischen Softwarefortschritts ein strategischer Faktor für die neuen Telco orientierten Dienstleistungsunternehmen geworden. Zudem ist der Rythmus der Neuentwicklungen und damit die Generationszeit von Hardwarelösungen kleiner geworden. Für grundlegende Entscheide ist dieses Wissen oft zu spät bekannt oder aber es steht den Realisatoren/Konstrukteuren nur mit ungenügender Breite auch wirklich zur Verfügung. Aus Grundüberlegungen hervorgehende betriebliche Notwendigkeiten werden vielfach nicht als erfolgsrelevant erkannt.

Zugleich steigen die Anforderungen an den Netzbau sehr schnell an und dies bei anhaltendem Kostendruck und erhöhter Geschwindigkeit der Projektabwicklung, die mancherorts ein unbefriedigendes Resultat hinterlassen. In Abhängigkeit der Netzanforderungen lassen sich hieraus nicht amortisierbare Investitionen orten und/oder aufwendige Nachkorrekturen, welche die Betriebskosten zunehmend belasten.

Um solchen Entwicklungen entgegenzutreten wurden von technischer Seite sehr früh (vor 1995) von PTT (Swisscom), etwas später (nach 1995) von diAx und von der schweizerischen Industrie (Komponentenhersteller, Kabelwerke, SBB und Elektrizitätswerken eingeschlossen) wegweisende, allgemein verbindliche Spezifikationen geschaffen, die zu zahlreichen, international anerkannten Richtlinien und Entwicklungen geführt haben. Wir müssen bedacht sein, diese anerkannt robusten Grundlagen konsequenter in den Netzalltag zu bringen.

Während der Projektierung und des Baus des Hochleistungsnetzes gemeinsam mit den Infrastrukturträgern Elektrizitätswerke, Tiefbauämter, Bahnen, Gemeinden usw. und der schweizerischen Industrie (KMU) fällt allerdings auf, dass Grundlagen und Kenntnisse der einschlägigen Normenliteratur nicht überall genügend zur Kenntnis genommen werden.

Im Zuge des enormen Zeit- und Kostendrucks zeichnen sich tendenziell folgende nachteilige Entwicklungen ab:

- 1) Provisorien tendieren zu definitiven Lösungen (aus Zeitgründen) zu werden.
- 2) Schleichende konzeptionelle und technische Engpässe bahnen sich an.



- 3) In der Folge mehren sich Anpassungsarbeiten (Retrofit), welche die operationelle Betriebsführung ausserordentlich erschweren, wenn nicht sogar die Zuverlässigkeit gefährdet.
  - 4) Die Einhaltung der Sicherheitsaspekte (Objekt-, Datenschutz, Lasersicherheit, Personenschutz usw.) erfordern dadurch einen erhöhten Aufwand.
  - 5) Die interne Dokumentation von aktuellen Änderungen ist mancherorts nicht mehr gegeben; ohne Gegensteuer wird man ungewollt zum blinden Piloten.
  - 6) Funktionale Lebenszyklen von Investitionen werden verkürzt -> Sonderabschreibungen werden notwendig.
  - 7) Die Flexibilität, den Technologiefortschritten zu folgen, ist nicht mehr gewährleistet.
  - 8) Sachzwänge können schliesslich zur Divergenz zwischen Marktbedürfnissen und Dienstleistungserbringung führen.
- ➔ Durch all diese ungünstigen Tendenzen kann der wirtschaftliche Erfolg langfristig gefährdet werden.

Wir müssen deshalb gemeinsam robuste Lösungen erarbeiten, die der kurzlebigen Zeit weit voraus sind; damit tragen wir in einem wirtschaftlich erschwerten Umfeld zur längerfristigen Existenz unserer Körperschaften und auch zur Erhaltung der Arbeitsplätze bei.

Die heutige Tagung soll eine gemeinsame Plattform zur Knüpfung von Kontakten und zum Erfahrungsaustausch schaffen. Sie soll damit eine günstige Voraussetzung für die Bewältigung bevorstehender Technologieschritte bieten, welche im zunehmenden Masse als „global teamwork“ verstanden werden müssen.

Möge diese Tagung zur Kohäsion, zum vertieften Verständnis bei der Umsetzung der hohen, komplexen Anforderungen des Netzbaus beitragen.

Damit wünsche ich Ihnen zahlreiche interessante Kontakte und einen kurzweiligen Tag an der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich.

15. August 2000  
der Tagungsleiter  
Dr. Giorgio Friedrich



## Tagungsprogramm

Veranstalter: FKH Zürich, unterstützt von diAx Zürich und der Informationstechnischen Gesellschaft ITG c/o SEV Fehraltorf

Datum: 23. August 2000

Ort: ETH-Zürich: Grosser Hörsaal HG F1

Tagungsleitung: Dr. G. Friedrich, diAx Telecommunications, Zürich

09 <sup>15</sup> -09 <sup>20</sup>	Begrüssung	FKH
09 <sup>20</sup> -09 <sup>30</sup>	Einführung in das Tagungsthema	Dr. G. Friedrich: diAx
09 <sup>35</sup> -09 <sup>55</sup>	Die LWL-Technologie aus der Sicht des Herstellers	J. Fehlbaum: Alcatel-Cortailod
10 <sup>00</sup> -10 <sup>20</sup>	Neue Tendenzen in der LWL-Messtechnik	Dr. A. Fougères: EXFO / GAP
10 <sup>25</sup> -10 <sup>45</sup>	Anforderungen an ein Hochleistungsnetz aus Sicht des Betreibers	Dr. G. Friedrich: diAx
10 <sup>45</sup> -11 <sup>15</sup>	Pause	
11 <sup>15</sup> -11 <sup>35</sup>	Aufbau von Netzinfrastrukturen im Zeitalter des Internets	Dr. B. Perny: Swisscom
11 <sup>40</sup> -12 <sup>00</sup>	Steckverbindungen: aktuelle Entwicklungen und Normen	S. Marazzi, D. Ernst: Diamond SA
12 <sup>05</sup> -12 <sup>25</sup>	Kriterien bei der Realisierung von hochqualitativen LWL-Strecken	H. Blöchlinger: LightCom AG
12 <sup>30</sup> -14 <sup>00</sup>	Mittagessen	
14 <sup>00</sup> -14 <sup>20</sup>	Physikalische Grenzen von optischen Übertragungssystemen	R. Dall'Ara: Opto Speed SA
14 <sup>25</sup> -14 <sup>45</sup>	EMV-Probleme bei der Integration von SDH-Knoten in Energieanlagen	Dr. R. Bräunlich: FKH
14 <sup>50</sup> -15 <sup>10</sup>	Spezifische Anforderungen an Bodenkabel im Umfeld von Bahnanlagen	P. Scholl: SBB

### 15<sup>15</sup> – 16<sup>15</sup> Diskussionsteil:

- Angemeldete und freie Diskussionsbeiträge
- Meinungen und Anregungen zur Bildung einer Interessensgemeinschaft „LWL-Netztechnik“ mit den Zielen: Förderung des Wissensstands, F&E-Kooperation zwischen Industrie und Anwender, Qualitätsstandardisierung.

### Ende der Veranstaltung ca. 16<sup>15</sup>

Weitere Exemplare der Tagungsunterlagen sind erhältlich bei FKH Fachkommission für Hochspannungsfragen, Voltastrasse 9, 8044 Zürich  
Fax: +1 253 62 60, Tel.: +1 253 62 62, Sekr. Frau Rütschi



## **Zusammenfassung der Referate**

### **Inhaltsverzeichnis**

<b>Einführung in das Tagungsthema</b>	
Dr. G. Friedrich: diAx	1
<b>Die LWL-Technologie aus der Sicht des Herstellers</b>	
J. Fehlbaum: Alcatel-Cortailod	2
<b>Neue Tendenzen in der LWL-Messtechnik</b>	
Dr. A. Fougères: EXFO / GAP	5
<b>Anforderungen an ein Hochleistungsnetz aus Sicht des Betreibers</b>	
Dr. G. Friedrich: diAx	10
<b>Aufbau von Netzinfrastrukturen im Zeitalter des Internets</b>	
Dr. B. Perny: Swisscom	15
<b>Steckverbindungen: aktuelle Entwicklungen und Normen</b>	
S. Marazzi / D. Ernst: Diamond SA	17
<b>Kriterien bei der Realisierung von hochqualitativen LWL-Strecken</b>	
H. Blöchliger: LightCom AG	21
<b>Physikalische Grenzen von optischen Übertragungssystemen</b>	
R. Dall'Ara: Opto Speed SA	34
<b>EMV-Probleme bei der Integration von SDH-Knoten in Energieanlagen</b>	
Dr. R. Bräunlich: FKH	36
<b>Spezifische Anforderungen an Bodenkabel im Umfeld von Bahnanlagen</b>	
P. Scholl: SBB	43
<b>Literatur LWL-Netze</b>	46
<b>Teilnehmerverzeichnis</b>	48
<b>Referentenadressen</b>	52



## Einführung in das Tagungsthema

Dr. Giorgio Friedrich, diAx, Thurgauerstr. 60, 8050 Zürich

Das rasante Wachstum des Dienstleistungsangebots im Kommunikationssektor wird abgesehen von den Möglichkeiten der drahtlosen Mobiltelefonie zweifelsohne durch die faszinierende Leistungsfähigkeit der Lichtleitertechnologie getragen. Der beachtliche Kapazitätswachstum ist dabei sowohl den neu installierten Netzen als auch der Leistungssteigerung an einzelnen Übertragungstrecken zuzuschreiben. Aufgrund der stetig weiter wachsenden Ansprüche in der Informationsübermittlung aber auch angesichts der erwarteten technologischen Entwicklungen ist ein Ende dieses Trends nicht absehbar.

Nachdem die sukzessive Umwandlung der konventionellen Kupferkabelnetze durch Lichtwellenleiter eine Steigerung der Übertragungskapazität um einen Faktor 1000 erbrachte, vollzieht sich seit der Öffnung des Telekommunikationsmarkts ein weiterer Evolutionsschritt, bei welchem durch den Einsatz von Hochleistungs-LWL mit entsprechender Optoelektronik eine vergleichbare Kapazitätsvervielfachung verzeichnet werden kann. In der Schweiz wurden in den letzten 4 Jahren allein von Elektrizitätswerken schätzungsweise 3500 km LWL-Kabelstrecke bzw. etwa 170000 km Einzelfaserlänge verlegt und in Betrieb gesetzt. Gleichzeitig ist seit 1998 durch die Weiterentwicklungen des Wellenlängenmultiplexes auch die Übertragungsleistung pro optisches Fenster um ein 50- bis 100-faches angestiegen.

Bei den Primäranbietern im Telekommunikationsmarkt wurden bis heute schwergewichtig landesweite Hochleistungs-Ringnetze (sogenannte „SDH Back-Bones“) erstellt. Die kommenden Jahre werden dagegen vor allem durch den Ausbau von regionalen Lichtleiternetzen mit zahlreichen Fasern pro Einzelkabel sowie durch die Schaffung leistungsfähiger Kundenanschlüsse geprägt sein.

Aufgrund der Marktöffnung wird die benötigte Infrastruktur von einer grossen Zahl von Unternehmen zur Verfügung gestellt und betrieben werden. Alle Anbieter unterliegen bei der Realisierung der Betriebsmittel einem hohen Konkurrenzdruck, welcher die Durchsetzung dauerhafter Qualitätsstandards erheblich erschwert. Der Sicherstellung von Kompatibilität, Zuverlässigkeit und Langlebigkeit kommt deshalb im Hinblick auf den Investitionsschutz eine zentrale Bedeutung zu. Die genannte Aufgabe muss demzufolge gemeinsam durch alle Anbieter wahrgenommen werden.

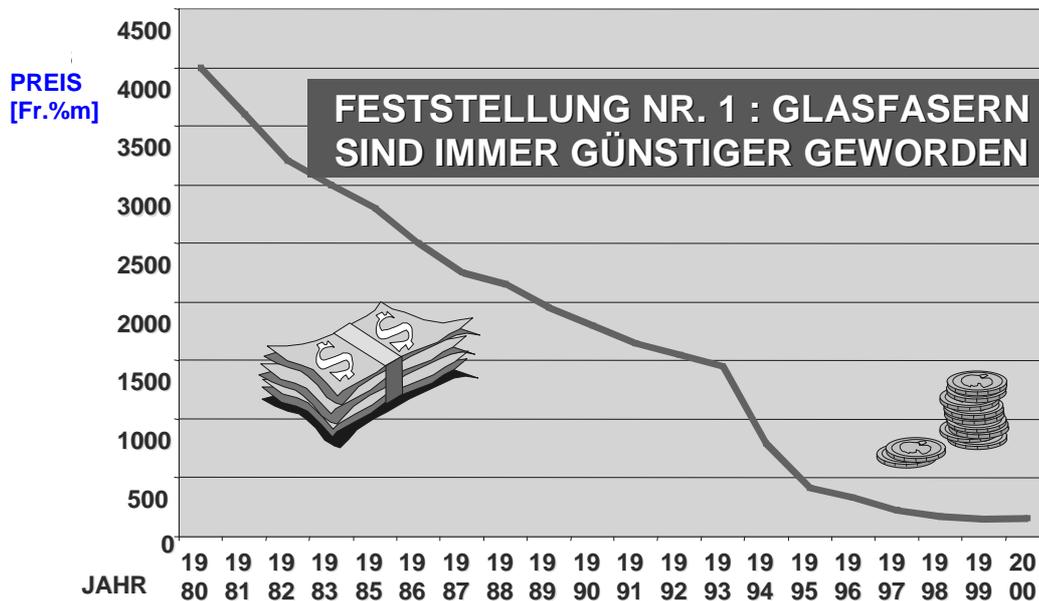
Ziel der ausgeschriebenen Tagung ist eine Präsentation des technischen Ist-Zustands der bestehenden LWL-Netze. Auch wird ein Ausblick auf die geplante zukünftige LWL-Netz-Infrastruktur gegeben. Die Grenzen und die ungelösten Fragestellungen in der LWL-Technologie werden aufgezeigt und es wird auf Probleme bei der gemeinsamen Benützung von Trassen der elektrischen Energieübertragung durch Kommunikationssysteme hingewiesen.

Im Zentrum der Ausführung stehen praktische Gesichtspunkte der Projektierung, Verlegung, Kontrolle und Inbetriebnahme der Netze.

Durch eine abschliessende Plenumsdiskussion zur Frage der technischen Standardisierung und Qualitätssicherung soll der Kontakt und Meinungs-austausch zwischen den verantwortlichen Fachleuten gefördert werden. Dabei wird auch ein Vorschlag zur Einrichtung einer gemeinsamen neutralen Fachstelle zur Abdeckung dieser Bedürfnisse vorgestellt.

## Die LWL-Technologie aus der Sicht des Herstellers

Jean Fehlbaum, Alcatel Cable Suisse SA, Rue de la Fabrique 2, 2016 Cortaillod

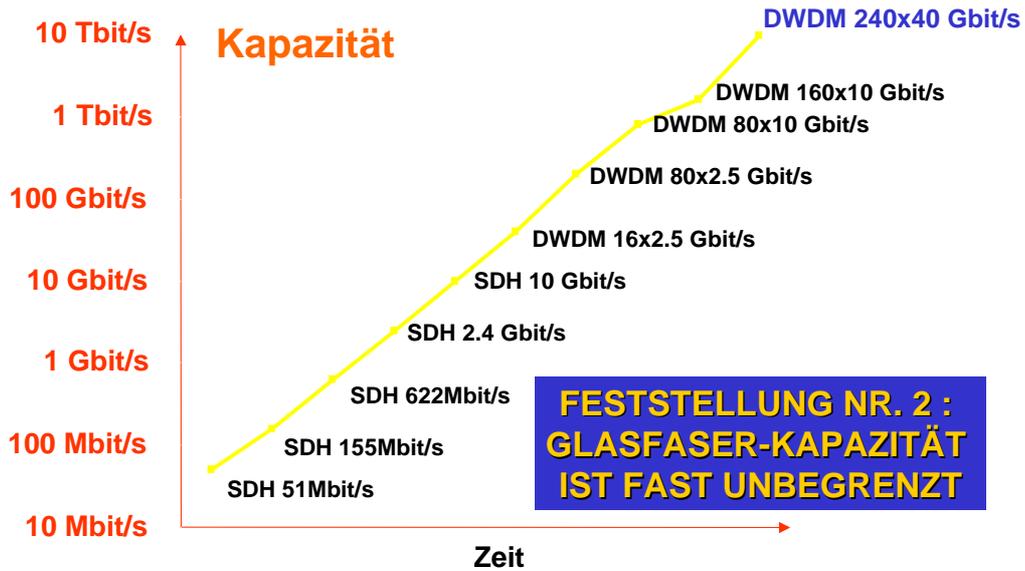


Alle Faser- und Kabelhersteller haben vor mehr als 20 Jahren ihre Produktivität stark verbessert. Somit ist der Verkaufspreis der LWL-Kabel um einen Faktor von 20 kleiner geworden. Gleichzeitig ist die LWL-Übertragungskapazität der Monomode-Glasfasern um ca. 10'000 Mal größer geworden. Das heißt, dass heute die Bandbreite fast kostenlos ist.

Aus diesem Grund sind mit der Liberalisierung der Telekommunikation neue Bedürfnisse aufgetaucht, die durch diese günstige Übertragungslösung mit Effizienz abgedeckt wurden. Der resultierende Boom führte dazu, dass statt den üblichen 10-15% Wachstum dieses Marktes die Nachfrage an Lichtwellenleitern um mehr als 20% zwischen 1998 und 1999 anstieg, und um mehr als 30% im Jahre 2000.

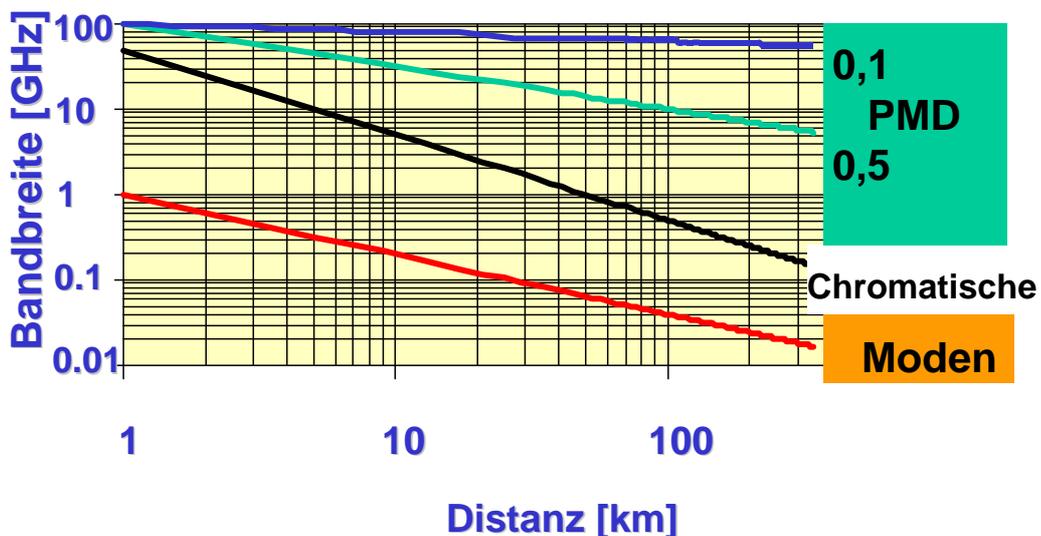
Dieses Phänomen hatte mehrere Konsequenzen :

- Es sind letztlich neue Fasertypen entwickelt worden, um das Wachstum des Bandbreitenbedarfes abzudecken. Jetzt werden im Bereich der internationalen Verbindungen mehrheitlich NZ-DSF-Fasern installiert (G655). Bei kürzeren Leitungen werden immer noch normale Monomodefaser eingesetzt (G652). Die Multimodefasern (50/125 und 62.5/125) werden nur noch im LAN-Bereich angewendet.
- Bei allen Fasertypen sind Weiterentwicklungen durchgeführt worden, die die Bandbreite verbessert haben. Sogar Multimodefasern wurden optimiert, um die Modendispersion zu reduzieren. Damit kann auch jetzt Gigabit-Ethernet über mehr als 500m übertragen werden.
- Trotz einer starken Erhöhung der Produktionskapazität aller Faserhersteller ist momentan ein großer Fasermangel auf dem Weltmarkt festzustellen.

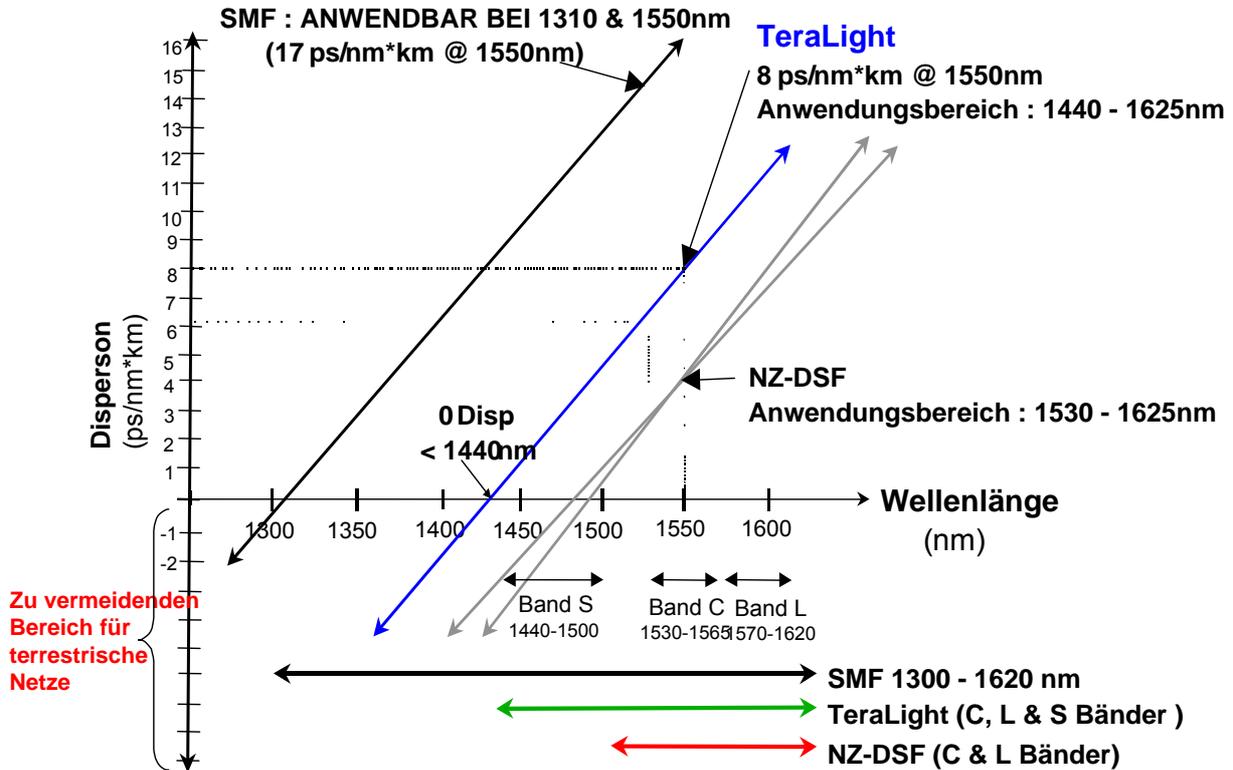


Die Übertragungseigenschaften der heutigen Glasfasern decken alle Bedürfnisse ab, aber es muss von Fall zu Fall in Abhängigkeit der heutigen und zukünftigen Anwendung die richtige Faserart gewählt und empfohlen werden. Die Übertragungsverluste (optische Dämpfung) der heutigen Fasern liegen sehr nahe bei der physikalischen Grenze. Das heißt, dass es bezüglich diesem Parameter kein Verbesserungspotential mehr gibt. Aber bei der Verlege- und den Montagearbeiten können gravierende Verschlechterungen geschehen, wenn unangepasste Werkzeuge oder Prozeduren zum Einsatz kommen, oder wenn ungenügend ausgebildetes, ausgerüstetes oder erfahrenes Personal LWL-Leitungen installiert. Dies kann zu sehr enttäuschenden Ergebnissen bei einer fertiggestellten Leitung führen.

Für die Übertragungskapazität sind noch andere Elemente wichtig. In diesem Fall hat es mit den Installationstechniken des Kabels nur noch wenig zu tun. Da liegt es mehrheitlich an der richtigen Wahl von passiven und aktiven Komponenten einer LWL-Verbindung. Für die Glasfaser selber ist die Bandbreite nur noch vom Design und von der Produktionsqualität abhängig. (Siehe folgende Abbildung: Bandbreite in Abhängigkeit der Länge und des bandbreitenlimitierenden Dispersionstyps.



Die neue NZ-DSF-Fasern weisen in diesem Zusammenhang eine bessere Bandbreite für sehr große Kapazitäten und sehr große Distanzen auf. Aber sie sind etwas weniger im Detail in den Normen definiert worden, und sind deshalb weniger universal als die heutige dispersionsnormale G652-Faser. (Siehe folgende Abbildung: chromatische Dispersion der verschiedenen NZ-DSF-Fasern im Vergleich mit der normalen SMF-Faser):



Aus diesem Grund empfiehlt Alcatel für kürzere Leitungen (typisch  $\leq 300$  km) nur diese Faser (G.652) einzusetzen. Und es könnte sogar in einer näheren Zukunft gerade auch diese Faser sein, die im Teilnehmer-Bereich die hochbitratigen FTTH-Anschlüsse zuverlässig gewährleisten kann (Fibre-to-the-Home).

## **New Trends in Fiber-Optic Tests & Measurements**

Dr. André Fougères, GAP Optique SA, Ecole-de-Medecine 20, 1211 Geneva 4

### **1) Introduction**

Researchers and developers in laboratories throughout the world often rely on the ability of the test and measurement (T&M) instrumentation suppliers to meet their ever-increasing needs and expectations. This is even more so in an industry like the fiber-optic (FO) telecommunication industry where assessing system performances and maintaining them is the name of the game. Indeed, with the rapid development and deployment pace set by the extraordinary increase in demands for more and more communication bandwidth (thanks to the Internet), the existence of the adequate fiber-optic test equipment can make a significant difference in the ability of a certain technology to reach deployment stage now, or never.

### **2) The future network: TDM + DWDM + Fiber Count**

Attractive new Internet applications like the electronic commerce, or television movies on-demand are at the origin of the “upward optical bandwidth spiral”: attractive applications prompt more demands which then requires more bandwidth, and more bandwidth allows to envisaged new applications.

To keep up with bandwidth demands, state-of-the-art single channel FO systems based on time-division multiplexing (TDM), have seen their transmission rate growth rapidly from few tens of Mb/s to more than 10 Gb/s. Today, long-haul prototype systems with single channel transmission rate of 40Gb/s have now been deployed in certain areas [1]. However, it also rapidly became obvious that increasing the transmission rate was technically very difficult and very costly since it typically meant replacing old systems with brand new one.

A complementary approach was then found based on the fact that a single optical fiber can carry simultaneously many different wavelengths, each corresponding to a single TDM channel, without mutual interference. The resulting so-called wavelength-division multiplexing (WDM) system has allowed to increase the bandwidth without the need for costly re-cabling: just add and combine together more transmitters and receivers [2]. Today, prototypes of WDM system with 160 channels each operating at 10Gb/s have been demonstrated, for a combined transmission rate of 1.6Tb/s over a single fiber [3].

However, once thought to be the future-proof network capacity solution, WDM systems are now facing limitations of their own. Indeed, the key WDM enabling technology, namely the erbium-doped fiber amplifier, limits the usable wavelength range to less 100nm. This has forced the channel spacing to continuously shrink from tens of nanometers initially to a fraction of a nanometer today as the number of channels increased. These latest systems are called dense WDM systems (DWDM) due to the narrow spacing between the channels. Laser wavelength control and narrow-spacing multiplexing/demultiplexing technologies are possibly approaching their limit. Although the opening of new spectral windows like the L-band (up to 1625nm) or down to 1200nm is actively pursued, installers are not taking chance, and to guarantee further bandwidth increases, new cables are deployed with a very high fiber count. Cables with more than 4000 optical fibers will be installed in the near future.

Finally, aside from being a way to squeeze more capacity into point-to-point link, DWDM technology is now seen as opening doors for the all optical network where signal switching and routing is entirely based on clever control of the passing wavelength [4].

### **3) The impacts of DWDM technology on FO test and measurement**

In this section we present the impacts of the increase in network complexity brought about by the convergence of TDM and DWDM systems on FO test and measurement requirements.

Originally, optical testing of single-channel FO systems based on time-division multiplexing involved only modest equipment such as loss test set to measure the loss of a component or that of the entire link, and an optical time-domain reflectometer (OTDR) to locate breaks and defects in the transmission medium. However as the transmission rate increased, slightly more sophisticated instruments became needed to measure source modulation depth and relative intensity noise (RIN), source peak power and consequently fiber non-linearity.

At high transmission rate (several gigabits per second) in a single-mode fiber, a new physical factor comes into play: polarization mode dispersion (PMD). This effect causes a time-spreading of light pulses under propagation in relatively long fiber and may thus impair the communication channel. It originates from the fact that different mode of polarization sees a slightly different index of refraction and consequently the portions of light signal associated with different polarization mode travels at different speed in the fiber. The difference in index of refraction is due to intrinsic birefringence and several types of defects (non-circular cross-sections, non-concentricity of the core cladding regions, microbending and other local deformations, impurities, etc.) induced in the fiber material during the manufacturing process. It is seen as the major limitation in high-speed systems [5].

Several measurement techniques have been devised to measure PMD and many have been standardized [6]. The push is now toward PMD measurement of total delays in the order of tens of femtoseconds. An other challenging request regarding PMD is the need for mapping the PMD of a link in order to find bad trunks of old fibers in an effort to upgrade the link to high transmission rates. Active research on Polarization-OTDRs [7], the most promising measurement technology, has yet to confirm such as possibility. Moreover, to refine their fabrication processes, fiber manufacturers are looking for an instrument capable of measuring the coupling length of a fiber possibly through a distributed measurement of its birefringence with centimeter resolution over several 100 meters of fiber. The polarisation-optical frequency domain reflectometer (P-OFDR) has already shown promises for this application [8].

The critical measurements required to assess the performance of TDM links can be summarized in a simple 2-dimensional power versus time representation as shown in Figure 1a) below.

WDM adds wavelength as a new dimension and complicates considerably more the T&M picture as can be seen in Figure 1b).

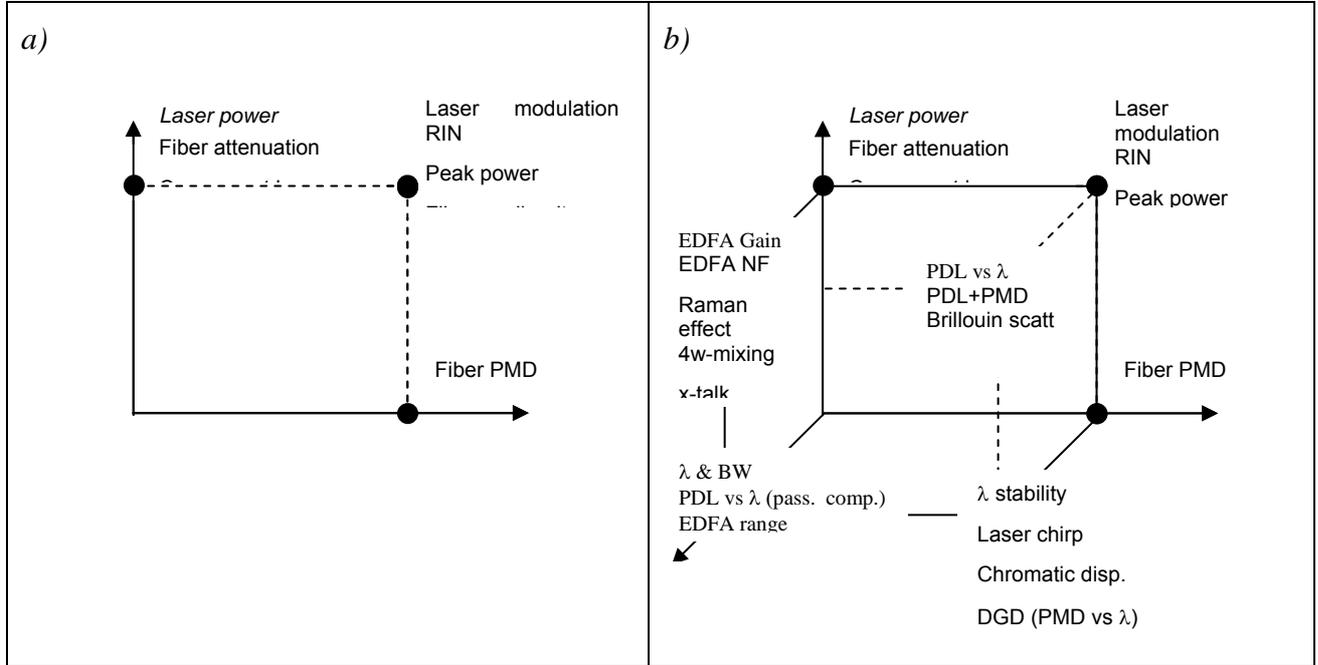
With DWDM systems, we are now faced with measurements as a function of wavelength. These involve the development of stable and frequency agile laser sources in old as well as new wavelength bands (L-band) with wavelength resolution on the order of 1pm.

On the **wavelength axis** we see that we need to perform center wavelength and optical bandwidth measurements in narrow band devices, determine EDFA spectral range, as well as PDL vs  $\lambda$  in passive component devices. PDL measurements with mdB accuracy are now required. This implies the use highly non-polarized source together with very low-PDL polarization state generator and low polarisation-dependent responsivity (PDR) detector. One major challenge with PDL measurement is the ability to characterize PDL in the wings of narrow band filter.

In the **wavelength versus time** plane in Figure 1b) we see that characterization of the wavelength stability in time, laser chirp, chromatic dispersion (CD) in fibers and components, PMD as a function of wavelength (which is really the differential group delay vs  $\lambda$ ) and 2<sup>nd</sup> order PMD effect is required. Phase noises (self-phase modulation and cross-phase modulation) are also generated via refractive index nonlinear effect and need also to be evaluated [9].

Chromatic dispersion introduces delays between different wavelengths and is of prime importance in high-speed DWDM systems [10]. To achieve a good link performance, CD has to be precisely measured and compensated for using (ideally) variable chromatic dispersion compensators with slope adjustment. Keep in mind that some amount of CD is required to alleviate detrimental four-wave mixing effects during most of the propagation but that the overall CD should average to zero for a minimum bit-error-rate. Together with laser chirp generation

and characterization, the management of chromatic dispersion is also critical in dispersion-managed soliton communication [11], a field in which several billions of \$ were invested this year [12]. CD measurement is vital in soliton based transmission which requires also that CD be mapped over the entire link.



**Figure 1:** a) Critical optical measurements for TDM systems; b) Additional critical measurements brought about by WDM technology

The fabrication processes of optical fibers have considerably improved to a level that PMD contributions from passive as well as active (EDFA) components are no longer negligible with respect to that of fibers in the total PMD of a link. Due to the potentially large number of components in today's typical WDM link, PMD measurement in the few femtoseconds range as a function of wavelength is now in high demand. Moreover, until recently, second order PMD was considered of negligible importance, however it has now been shown that it increases considerably the *probability* of occurrences of a pulse broadening significantly larger than the mean broadening produced by first-order PMD [13]. High-order PMD measurements are thus of significant interest for a complete understanding and potential development of active PMD compensators. A PMD analyzer capable of distinguishing true PMD contribution from multi-path interference (MPI) contribution is relevant to the integrated optics market segment (principally arrayed-waveguide devices) where the reduction of MPI is very difficult but a necessity. MPI characterization is also of great value to EDFA manufacturers. In this case it can be done via several techniques including RF-based Noise Figure measurement [14] or possibly by high-resolution OTDR and high-resolution coherent reflectometer (OFDR).

In the **wavelength versus power** plane in Figure 1, we see that EDFA gain and Noise Figure (NF) are important parameters for assessing the power budget required to close a particular link. Other amplifier parameters such as gain slope, gain tilt and gain ripple, spectral and polarization hole burning are also important in the WDM context since the addition or drop of a particular wavelength (signal) at the input of an EDFA may significantly affect its gain characteristics over its wavelength range [15].

Raman amplification is another new important aspect since it has been shown that pre-amplifier based on Raman effect combined with traditional EDFA amplifiers, can improve link margin by few dBs [16]. It is also an important element in ultra-long haul applications where it is used in a remote pumping configuration. New NF measurement techniques need to be devised since

the widespread time-domain extinction (TDE) method [15], which relies on a fundamental physical property of Erbium atoms, can no longer be applied in this case. Raman development also requires the measurement of pump signal power of 36dBm and more. Note that Raman scattering may also be undesirable in high-power, high-channel count systems since through this effect longer wavelengths are amplified at the expense of the shorter ones. Indeed, stimulated Raman scattering creates a broad peak (of about 7THz) downshifted from the pump by about 10 to 15 THz (+100nm) [17].

Four-wave mixing, a refractive index based nonlinear process is also of considerable importance in the DWDM context. The 4-wave mixing process leads to the conversion of energy from a pair of signal channels into sidebands [18]. For a system with many equally spaced channels, the self-generated sidebands will necessarily fall into some signal channels and degradation of the performances follows by creation of cross-talk [19]. Its efficiency is inversely proportional to the chromatic dispersion and the channel spacing. Four-wave mixing can also be potentially put to use in distributed measurement of chromatic dispersion.

Finally, at the **wavelength versus power versus time** corner we have Stimulated Brillouin Scattering and PDL versus  $\lambda$  as a function of time and a new PMD+PDL cocktail effect.

SBS is an other nonlinear effect which converts signal energy into (principally) counter-propagating sideband [20]. The conversion is achieved through the establishment of a counter-travelling acoustic wave by the strong signal laser interacting with the fiber matrix. The acoustic wave in turn modulates the index of refraction, which creates a periodic grating also travelling in the backward direction. Backward scatter is then induced by the grating and shows a Doppler frequency shift of about 10GHz. This stimulated Brillouin scattering (SBS) is significantly larger than Raman scattering. It is always present when a strong (> 5-6dBm) monochromatic source is launched into a fiber. SBS is usually suppressed through rapid dithering of the carrier wavelength.

Finally, a recent publication has shown that the combination of PMD and polarization dependent loss leads to new sources of degradation in FO telecommunication systems not accounted for by PMD or PDL measurements alone [21]. Surprisingly, it is no longer sufficient to analyze PMD and PDL separately. New analyzers taking both effects into account need to be soon launched onto the market.

#### 4) In Summary

Although in the past, FO test equipment has been developed by the same pioneers that brought us fiber-optic technology, enterprises at all levels of the telecommunication industry (manufacturers, installers and service providers) have now to focus on their respective core competency in order to meet the economic expectations and the associated shrinking time-to-deployment requirement. The challenge in following the Internet pace is thus fully shared by fiber-optic T&M equipment suppliers, and as we have seen, the task is far more complex with the recent advent of Dense Wavelength Division Multiplexing than it was only a few years ago.

#### References

- [1] See for example the publications on the HIGHWAY Projects of the European ACTS Programme at [www.intec.rug.ac.be/horizon/searchData/highwayp.htm](http://www.intec.rug.ac.be/horizon/searchData/highwayp.htm)
- [2] See for instance: “*Guide to WDM Technology and Testing: A unique reference guide for the fiberoptic industry*”, 2<sup>nd</sup> Edition, EXFO Electro-Optical Engineering, June 2000 and/or Keiser, G.E., “*Tutorial Paper: A Review of WDM Technology and Applications*”, Opt. Fiber Tech. **5**, 1999, pp 3-39.
- [3] Elberts, J.P. et. al., “*3.2Tbit/s (80x40Gbit/s) Bidirectional DWDM/ETDM Transmission*”, ECOC 1999, post-deadline paper. And more recently, Nielsen T.N. et. al., “*3.28-Tb/s (82x40Gb/s) transmission over 3x100km nonzero-dispersion fiber using dual C- and L-band hybrid Raman/Erbium-doped inline amplifiers*”, OFC 2000 post-deadline paper.

- [4] See the proceedings of the All-Optical Networks ComForum 2000 of the International Engineering Consortium, held in Phoenix Arizona on April 11–13, 2000.
- [5] Noutsios, P. et. al., “*Experimental and Theoretical Investigations of High PMD Impairments on OC-192 Field System*” in the Technical Proceedings of the NFOEC 1999 Conference held in Chicago, Illinois, pp 290-303.
- [6] Telecommunications Industry Association (TIA) publications: FOTP-113 “*Polarization Mode Dispersion Measurement for Single-Mode Optical Fibers by Fixed Analyzer*”; FOTP-122 “*Polarization Mode Dispersion Measurement for Single-Mode Optical Fibers by Jones Matrix Eigenanalysis*”; FOTP-124 “*Polarization Mode Dispersion Measurement for Single-Mode Optical Fibers by Interferometric Method*”. Also Cyr, N., G.W. Schinn, and A. Girard, “*Stokes Parameter Analysis Method, The Consolidated Test Method for PMD Measurements*”, Technical Proceedings of NFOEC 1999 held in Chicago, Illinois, pp 280-289.
- [7] B. Huttner, B. Gisin and N. Gisin, “*Distributed PMD measurement with a Polarization OTDR in optical fibers*”, J. Lightwave Tech. 17, 1999, pp 1843-1848.
- [8] B. Huttner et. al., “*Local Birefringence Measurements in Single Mode Fibers with Coherent Optical Frequency-Domain Reflectometry*”, Photonics Technology Letters 10, 1998, p. 1458. And also M. Wegmuller, J.P. von der Weid, P. Oberson, N. Gisin, “*High resolution fiber distributed measurements with coherent OFDR*”, to appear in the Tech. Digest of ECOC 2000.
- [9] Agarwal, G.P.; “*Nonlinear Fiber Optics*”, 2<sup>nd</sup> Edition, Academic Press, New York, 1995, Chapters 4 and 7.
- [10] Reference [9], Section 1.2.3.
- [11] Grudin et. al., JETP Lett. 46, 1987, pp 221.
- [12] See for instance: The acquisition of Qtera by Nortel, [http://www.qtera.com/sets/set\\_nortel\\_completion.htm](http://www.qtera.com/sets/set_nortel_completion.htm)  
And the acquisition of Agety by Corvis <http://www.wordsun.com/ag10.html>
- [13] Ciprut, Ph. et. al., “*Second order Polarization Mode Dispersion: Impact on analog and digital transmissions*” J. Lightwave Tech. 16, 1998, pp 757-771.
- [14] M. Movassaghi et. al. “*Noise figure of erbium-doped fiber amplifiers in saturated operation*”, J. Lightwave Technol. 16, 1998, pp 812-817.
- [15] “*Fiber optic test and measurement*”, Hewlett-Packard Professional Books, Dennis Derickson ed., Prentice Hall, 1998, Chapter 13.
- [16] Hansen P. et. al., “*Raman applications in optical transmission systems*”, Proceedings of the OAA 2000 Conference held in Quebec, Canada , 9-12 July 2000.
- [17] Reference [9] Chapter 8.
- [18] Reference [9] Chapter 10.
- [19] Shibata, N. et. al.; Electron. Lett. 22, 1986, pp 675.  
Waarts, R.G. and R.P. Braun, Electron. Lett. 22, 1986, pp 873.  
Inoue, K., H. Toba and K. Oda; J. Lightwave Technol. 10, 1992, pp 350.
- [20] Reference [9] Chapter 9.
- [21] Gisin, N., B. Huttner and N. Cyr; “*Influence of polarization dependent loss on birefringent optical fiber networks*”, Technical Proceedings of OFC 2000 held in Baltimore, Maryland on March 2000.

## Anforderungen an ein Hochleistungsnetz aus Sicht des Betreibers

Dr. Giorgio Friedrich, diAx, Thurgauerstr. 60, 8050 Zürich

Steht man vor der Aufgabe, aus dem Nichts in kurzer Zeit die Grundlagen für ein leistungsfähiges, zukunftsorientiertes Netz bereit zustellen, so sind die folgenden Grundüberlegungen unabdingbar:

- 1) Einkreisen der Grenzen der aktuellen Technologie (techn.-physikalisch).
- 2) Visionen und Szenarien, um hier das notwendige Potential (Bandbreite) abschätzen zu können.
- 3) -> Wie sichere / schöpfe ich das technolog. Potential aus, im Hinblick auf den Investitionsschutz?

Man hat somit die schwierige Aufgabe zu lösen, die Infrastruktur bereit zu legen, um während der Systemlebensdauer der Netzinfrastruktur jederzeit der Schnellebigkeit des Telekommardtes stetig nachkommen zu können.

Die Zahl der Kunden und gleichzeitig die Vielzahl der Anwendungen von Diensten, sowie die hohen Anforderungen einzelner Dienste bezüglich Zuverlässigkeit, Bitrate, Bit Error Rate (BER) und Sicherheit sind somit direkt / indirekt mittels der Netzinfrastruktur zu implementieren. Es sind Lösungen zu entwickeln, die potentielle Probleme bereits im gegenwärtigen Bau antizipieren (vorwegnehmen), um nicht bei gegebener Zeit operative oder gar strategische Engpässe aufkommen zu lassen.

In der gegenwärtigen Situation kommen noch erschwerende Randbedingungen hinzu, die keineswegs ausser Acht gelassen werden dürfen:

- a) Neue Telco-Unternehmungen sind vielfach nicht artreine Unternehmungen.
- b) Hybride Anlagen verlangen nach ungewohnten Lösungen.
- c) Infrastruktur gehört Dritten (Strassen, Bahnen, Elektrizitätswerken).
- d) Diese Investitionen zeichnen sich durch längere Amortisationszeiten aus.
- e) Betriebliche Auflagen werden vom Kerngeschäft stark geprägt (Verkehr-, Energie-transport), Interessenskonflikte denkbar.

Aufgrund des raschen Fortschrittes der verfügbaren, komplexen Technologie lässt sich da und dort ein mangelndes Verständnis für die hohen, meist andersartigen Anforderungen feststellen. Hier gewinnt die Mitarbeiterschulung auf allen Stufen eine nicht zu unterschätzende Bedeutung. Die neue und damit auch zukünftige Technologie muss an der Front, d.h. beim Installateur fehlerfrei greifen, ansonsten Tür und Tor offen stehen für zahlreiche business gefährdende Altlasten.

Der operative Zeitdruck lässt nun genau diesen wichtigen Ausbildungsaspekt in den Hintergrund treten, ja in Vergessenheit bringen. Unwissenheit aber schützt vor Irrtum nicht!

Dies wiegt um so tragischer, als dass gleichzeitig die zu implementierenden Systeme eine wesentlich kleinere Fehlertoleranz aufweisen:

- a) Extrinsic Belastungen der Faser nimmt zu (Bild 1: Vibrationen, Temperaturzyklen-> Mikrorisse, radialer und longitudinaler Stress).
- b) Hohe optische Energie führt an unkontrollierten Sprungstellen zu vorzeitiger Alterung (Hotspots, Erosion, nicht lineare Effekte).
- c) damit steigt das Fehlerpotential aufgrund der hohen Bitrate  $\geq 10$  Gigabit/s rasch an (Bandbreitenbegrenzung).

- d) BER steigt an, Gefährdung des ordentl. Netzbetriebes.
- e) Zahlreiche Dienste und hohe Kundenzahlen sind betroffen.



Bild 1:

220/380-kV-Hochspannungsleitung als Träger der Datenautobahn: hier sind Spleissstellen besonderen Extrinsic-Belastungen ausgesetzt, zudem müssen sie einen möglichst homogenen Übergang (Wellenimpedanz) mit geringsten Verlusten gewährleisten. Die Abspannungen (Schleifen) müssen alle mechanisch sehr gut befestigt werden, um Resonanzerscheinungen bei hoher Windlast zu verhindern (frühzeitiger Bruch auf Grund von Wechselbelastungen der Faser).

Wir treffen die groteske Situation an, die hohen Bandbreiten als Commodity zu erleben, unter gleichzeitiger Ausblendung notwendiger, technisch-organisatorischer Massnahmen im Netzbau bis hin zur Vernachlässigung der Mitarbeiterschulung.

Will man wirklich von der erhofften Wertschöpfung der neuen Telecomdienste profitieren, so ist die oben angedeutete Diskrepanz unbedingt bald möglichst weiträumig zu schliessen. Zweifelsohne ist gerade dieser Aufgabe für nicht artreine Telecomgesellschaften eine hohe Priorität einzuräumen. Gleiches gilt für die Infrastrukturträger, als dessen Partner sie angesehen werden, aber ebenso für Ingenieur- und Planungsunternehmungen.

Man erahnt nun, welche nachhaltige Bedeutung einer umfassenden Qualitätssicherung zukommt; hierbei ist die genaue Kenntnis von Sachverhalten und die Sorgfalt auf allen Stufen eine wichtige Grundvoraussetzung:

- Hybride Anforderungen sind fachgerecht (unter Beizug von anerkannten Spezialisten) zu lösen.
- Dies bedingt eine enge Kooperation zwischen Infrastrukturträger und Telco.
- Mitarbeiter von einer Vielzahl von Unternehmungen müssen informiert/ausgebildet sein.
- Interdisziplinäres Denken und Handeln ist eine Notwendigkeit.
- Anforderungen und Aufwand sind richtig einzuschätzen und sorgfältig zu planen.
- Zwischeninspektion / fachgerechte Begleitung der Projekte ist zwingend.

Aus technischen Gründen (Lebensdauer der Spleisse und aus opt. betrieblichen Gründen) müssen die Strecken geringste Verluste und eine hohe, praktische Bandbreite aufweisen (Bild 2).

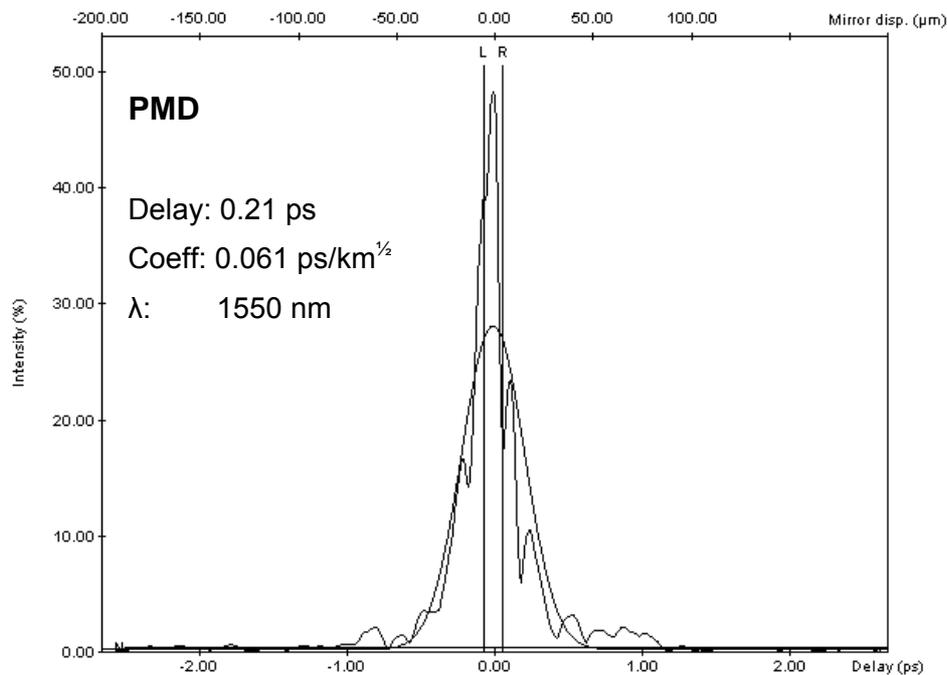


Bild 2:

Beispiel einer PMD – Messung, welche auf eine enge Kopplung der Moden hinweist; der Koeffizient  $0.061 \text{ ps}/\sqrt{\text{km}}$ , als auch der Delay-Wert  $0.21 \text{ ps}$  ist sehr gering. Damit kann auch die hohe Bandbreite ohne Einschränkung genutzt werden. Für Hochleistungsnetze soll die totale Delay – Zeit in Picosekunden (ps) 8% der digitalen Pulsbreite nicht überschreiten, der Koeffizient soll  $\leq 0.5 \text{ ps}/\sqrt{\text{km}}$  sein; BER ist eine Funktion der PMD.

Betriebsintern können die folgenden Massnahmen dazu beitragen, on-line immer über die geforderte Qualität bzw. über Abweichungen (soll-ist) informiert zu sein:

Übergeordnete, operative Qualitätskontrolle:

- Mit der CH-Industrie sind systematische Qualitätskontrollen vereinbart worden.
- E-2000: interner Prozessbeschreibung (Ergänzung der ISO900x) -> ctc 151 (Fall diAx)
- LWL: Preform überprüft
  - Faser PMD, mechan. Screening Test, LWL in Primärröhren werden PMD überprüft.
- Werksabnahmetest OTDR, PMD 100%, Rückverfolgbarkeit.

Im Netz hingegen sollten systematisch die folgenden Kontrollen ernsthaft ausgeführt werden:

- 1) Verlegequalität (Kabelzug, Verdrillung, Biegung)
- 2) Montage, Fixation -> Drehmomente beachten!, Kabelreserve und Biegeradius einhalten (typ. 20 mal D, je nach Hersteller!)
- 3) Bezeichnung der Kabelzüge, Dokumentation



- 4) Einhalten von Montagevorschriften bei KEV-/Muffen-Installation: Spleisskammebelegung, Biegeradien, Führung von Fasern, Farbcodes, beachte Staubfreiheit.
- 5) Messungen der opt. Parameter: OTDR, IL, PMD, optional BOTDR und chromat. Dispersion, OSA-Auswertungen im Falle von DWDM.
- 6) Kritische Beurteilung der integralen Übertragungseigenschaft in Abhängigkeit der verwendeten aktiven Komponenten!
- 7) Bei elektrischer Kollokation von Anlagen (hybride Systeme) ist insbesondere auf korrekte Erdungen und Potentialausgleich zu achten (innere und äussere Überspannungen, siehe auch Referat „EMV-Probleme bei der Integration von SDH-Knoten in Energieanlagen“).

Auf Grund der sich abzeichnenden Eigenschaften von Hochleistungsnetzen muss dem aktiven Schutz der Anlagen und Komponenten sowie dem Schutz des Personals die notwendige Aufmerksamkeit geschenkt werden. In diesem Zusammenhang bedeutet „Hochleistungsnetz“ immer zweierlei:

Signal-Bandbreite:

- a) ultra hohe digitale Bandbreite; TDM: 10 Gigabit/s (bis 40 Gigabit/s)
- b) (D)WDM  $> 50 \lambda$  in einem opt. Fenster.

Eingekoppelte optische Energie:

- a) typ. 1 bis 200mW (500mW); 0.3kW – 64kW /cm<sup>2</sup>! (160kW/cm<sup>2</sup>).

Im ersten Falle der hohen Bandbreiten muss zur Erreichung der hohen Verfügbarkeit alles unternommen werden, um die betrieblichen Zuverlässigkeiten von Netzkomponenten und der operativen Beschaltungen sicher zu machen. Fahrlässigkeit kann im Extremfalle zu hohen Kompensationszahlungen führen (Produktehaftpflicht).

Im zweiten Falle denke ich vor allem an den operativen Unfallschutz des Personals bei Wartung und Reparatur der Anlagen. Die hohen optischen Energien verlangen von den Komponenten selbst als auch von der Betriebsorganisation im Falle von Störungsbehebungen erste techn. Schutzmechanismen bzw. gut durchdachte Prozeduren (Arbeitsanweisungen), die eine fahrlässige, willentliche Fehlmanipulation weitestgehend verhindern sollen.

### **Schlussfolgerung**

Es soll keineswegs am falschen Ort mit vermeintlicher Priorität vordergründig an Qualität und Sorgfalt gespart werden. Wir haben alle die Aufgabe durch unsere Anstrengungen in der Konzepterarbeitung, Planung und Ausführung der Arbeiten ein Telecomnetz für heute aber auch für morgen – für vielfach noch unbekannte Ansprüche - zu bauen und zu warten, das umfassend wirtschaftlichen und gleichzeitig technologischen Kriterien (in Bezug auf die Offenheit der Technologien) zu genügen vermag. Damit sichern wir den Investitionsschutz und gleichzeitig schaffen wir die robuste Grundlage für eine hohe Betriebszuverlässigkeit des Netzes, als wesentlicher betriebswirtschaftlicher Produktionsfaktor des Unternehmens.

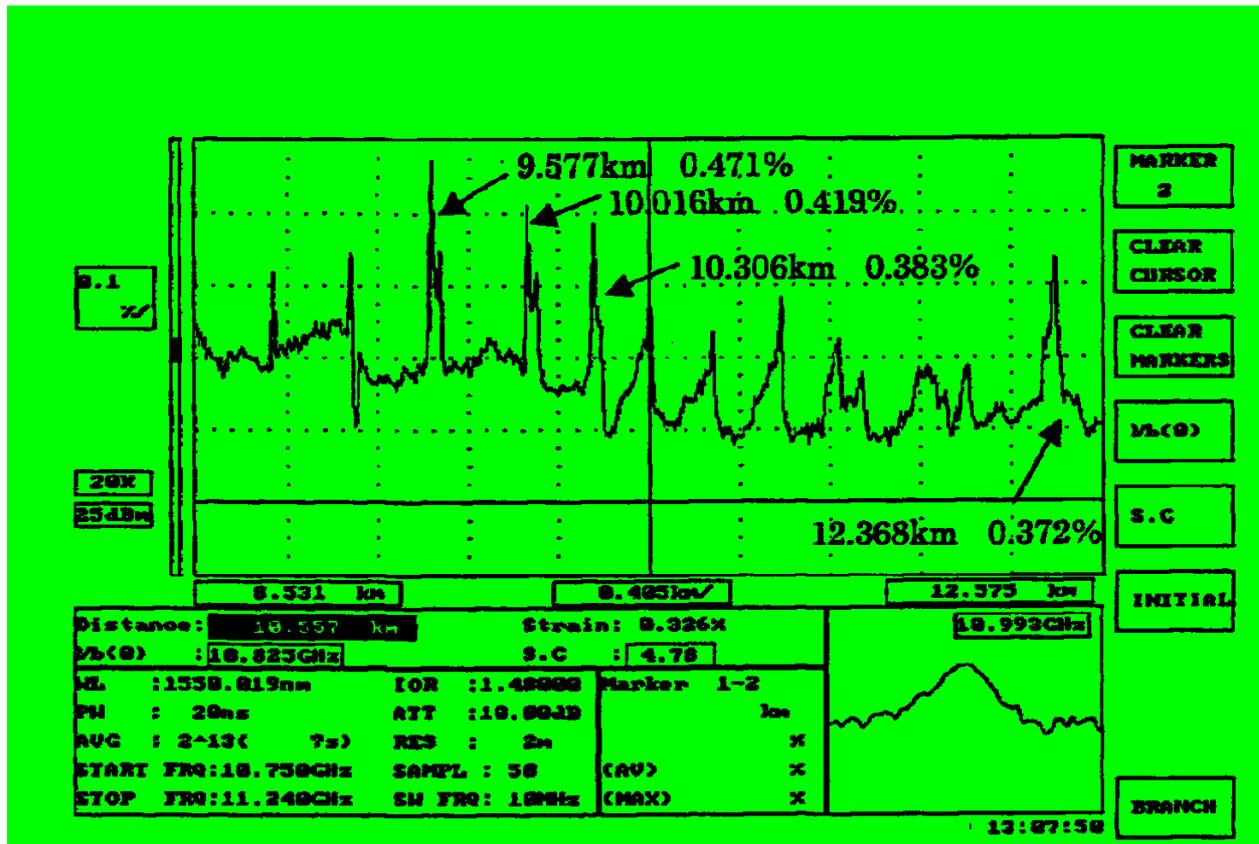


Bild 3:

Beispiel einer Stress-Messung mit Hilfe der Brillouin OTDR [1], wobei die Brillouinfrequenz aufgrund des mechanischen longitudinalen Stresses erhöht wird. Die erhöhten Dehnungen sind als ausserhalb der Toleranz befunden worden, die Erdseilverbindung musste ersetzt werden. 1% Dehnung bedeutet ca. 10N zusätzlicher longitudinaler Stress.

[1] Kamikata, M. et al., „Fiber strain measurements in optical cables employing Brillouin gain analysis“, International Wire & Cable Symposium Proceedings 1992, pp 176 – 181.

Für die allg. Literaturhinweise wird auf den Schluss des Bandes verwiesen.

## Aufbau von Netzinfrastrukturen im Zeitalter des Internets

Dr. Beat Pery, SWISSCOM AG, Ostermündingenstr.93, 3000 Bern

Mit der Einführung der Hypertext Sprache HTML hat sich das Internet zum World Wide Web für Jedermann/frau gewandelt. Was während mehr als 20 Jahren eine Kommunikationsplattform für einige Physiker mit guten Informatikkenntnissen, sowie einem Flair für zeilenorientierte, zungenbrecherische Befehlseingaben war, hat sich seit Mitte der Neunzigerjahre zum Tummelplatz unserer Teenager entwickelt. Noch viel weiter, ohne das heutige Internet würde niemand von e-commerce reden. Die normale Welt hat den Physikern das Internet weggeschnappt. Einzig eine benutzerfreundliche Befehlseingabe hat dies möglich gemacht.

Vor 10 Jahren waren Diskussionen über das Internet bei wahrscheinlich allen traditionellen Netzbetreibern praktisch tabu. Ein dezentral kontrolliertes Paketnetz mit „best effort“ Qualität, wo jeder Benutzer auch gleich Entwickler und Netzmanager war, hatte in der Telekommunikationslandschaft nichts zu suchen.

Die Vergangenheit hat uns etwas anderes gelehrt! Das Internet ist immer noch nicht zusammengebrochen, es wird immer robuster und entwickelt sich zur Universalplattform zum Abwickeln sämtlicher Dienstleistungen in der Telekommunikation. Das Internet kreiert neue Wertschöpfungsketten von denen wir vor 10 Jahren nicht einmal geträumt haben. Das Internet hat die Welt der traditionellen Telekommunikation nicht nur dramatisch verändert, sondern völlig auf den Kopf gestellt. Die traditionellen Telcos sind stark davon betroffen, einerseits wie sie ihre Netze in Zukunft bauen und betreiben werden und mit welchen Dienstleistungen sie in Zukunft noch Geld verdienen werden.

Die Verfügbarkeit von immer neueren, revolutionäreren Technologien in kürzeren Zeitintervallen ist ein Haupttreiber für diesen Wandel. Insbesondere werden die technologischen Möglichkeiten erlauben Sprach-, Daten und Multimediadienste über das Internet abzuwickeln. VoIP wird sich zu VoInternet entwickeln. Der enorme Kapazitätsanstieg sowie der vom Markt verlangte dynamische Betrieb eines Netzes wird nur möglich sein mit neuen optischen Netztechnologien. Während der Wechsel von PDH auf SDH Netze vorwiegend eine Migration von Hardware auf Software war, wird der Wechsel von SDH auf ON (Optical networks) eine Migration von Software auf Intelligente Hardware sein. Während die Motivation zum Bau von optischen Netzen heute weitgehend in der höherer Übertragungskapazität von Punkt-zu-Punkt Verbindungen liegt, werden neue optische Technologien Punkt-zu-Multipunkt Verbindungen erlauben und besonders die Netzfunktionalitäten verbessern. Schlüsseltechnologien dazu sind optische Schalter und add drop multiplexer (OADM), abstimmbare Filter und Laser, optische 3R Verstärker, sowie die Managementmöglichkeiten von Diensten die auf einer Wellenlänge basieren. Mit Sicherheit werden langfristig die von xDSL möglichen Bandbreiten den neuen Anwendungen nicht genügen und ein Bau von optischen Netzen über die Regionalnetze hinaus bis hin zum Kunden ist voraussehbar.

Mit noch höherer Anzahl von Wellenlängen in der WDM-Technik (Wellenlängenmultiplexierung) hat man einen neuen Freiheitsgrad in der Planung von Netzen. Der Bau, Betrieb und die Instandhaltung von solchen Netzen wird mit Sicherheit nicht einfacher. Mit dem Unterbruch einer Glasfaserstrecke werden unter Umständen Millionen von Kunden vom Netz abgeschaltet, wenn nicht entsprechende Schutzmechanismen im Netz eingebaut sind. Die Kombination von vollständig vermaschten und Ringtopologien werden hohe Anforderungen an das Montagepersonal stellen. Die Tatsache, dass infolge der kurzen Lebenszyklen der verschiedenen Technologien, meist proprietäre Lösungen eingesetzt werden, da die Standardisierung zu wenig schnell voranschreitet, wird den Bau und das Zusammenschalten verschiedener Netze auch nicht gerade erleichtern.



Für Swisscom hat die Migration der bestehenden Netzinfrastruktur in Richtung IP-basierte Plattformen höchste Priorität. Hauptmotivation sind Kostensenkungen und die Integrationsfähigkeit für zukünftige Multimediadienste. Da Unsicherheit die einzige sichere Variable der Zukunft ist, wird der wirtschaftlichen, zeitgerechten Skalierbarkeit von Netzen, höchste Priorität zugeordnet.

# Steckverbindungen: aktuelle Entwicklungen und Normen

Silvio Marazzi / Daniel Ernst, Diamond SA, 6616 Losone-Locarno

## 1. Aktuelle Entwicklungen von Steckverbindungen

Die Stecker stellen den kritischsten Teil eines optischen Systems dar.

Vor ca. 20 Jahren wurde mit ihrer Serienkonstruktion begonnen.

Für Telekomwendungen hat sich die Technologie der Ferrule  $\varnothing$  2,5 mm mit einer Faser im Zentrum bestätigt.

Alle exotischen Konstruktionen sind inzwischen verschwunden.

Die Stecker haben eine Entwicklung durchlaufen, die zu der heutigen bemerkenswerten Optimierung und Reife führte.

Das schnelle Blockiersystem durch Entriegelungshebel oder Push-Pull-Mechanismen, die Vorzentrierung und der Ferrulenschutz mittels der integrierten Schutzkappe haben sich in Millionen von Teilen bewährt.

Auch andere Parameter wie Faseranpresskraft, Undercut, Radius- und Apexwerte sowie Schrägschliff wurden optimiert.

Für die aktuellen Anwendungen ist kein neuer Steckertyp notwendig.

Dies bedeutet jedoch nicht, dass in der Steckerrealisierung keine Entwicklung mehr stattfindet. Im Gegenteil, die neuen WDM-Technologien (mehrere Kanäle in der gleichen Faser), die optischen Verstärker (mehr Leistung pro Kanal) und die benötigten grossen Mengen ergeben neue Anforderungen.

## 2. Neue technische Anforderungen auf Grund der neuen kommenden Technologien:

a) bessere und höhere Performance

- präzisere Komponenten
- präzisere Konfektionierung
- zuverlässigere Kontrollen

b) reduzierte Einbaumasse

- Ferrulendurchmesser 1,25 mm

c) hohe Leistung (bis 1000 mW)

- Funktionssicherheit
  - Schmutzproblem als höchst kritischer Punkt
  - nicht immer zuverlässige Reinigungsverfahren
  - Beschädigung der Schutzkappen
- Arbeitssicherheit (Laserschutz)
  - aktiver Schutz nur bei Normalbetrieb, kann während Installations-, Test- und Abnahmephasen nicht vorhanden sein
  - passiver Schutz (Schutzkappen, Filter in den Kontrollmikroskopen)
- Neue Lösungen
  - Erweiterter Strahl mittels Mikrogradientlinsen (Reduktion der Leistungsdichte)

## 3. Neue kaufmännische und verwaltungstechnische Anforderungen auf Grund der verwendeten grossen Mengen

a) zuverlässige und garantierte Qualität

- Automatisierung der Konfektion und der Kontrolle



- b) Lieferung innerhalb geforderten Fristen und in der geforderten Quantität
  - Automatisierung der Herstellung
  - Flexibilität in der Produktion
  - Produktionsverwaltung gemäss modernster Kriterien
- c) Kompatibilität mit anderen Lieferanten und Herstellern
  - effiziente und flexible Normierung
- d) Richtiger Marktpreis
  - Organisation der Verteilerpunkte und des Services nach dem Verkauf

All diese Aspekte setzen grosse Investitionen voraus (technische sowie logistische). Optische Stecker werden immer mehr in wenigen spezialisierten Zentren und immer weniger bei Anwendern und kleinen lokalen Betrieben hergestellt.

#### 4. Langfristige Entwicklungen

Multifasertechnologie um die Packungsdichte der Verbindungen drastisch zu reduzieren. Neue Stecker und Technologien, die bereits in den LAN-Netzen angewendet werden, jedoch noch nicht genügend ausgereift für Telekomwendungen sind (ungenügende optische Leistungen).

#### 5. Standardisierung der Steckverbindungen

Nutzen: Ziel der Standards ist es, marktkompatible Produkte zu haben

*Faser Optik Komitees sind:*

- 86A Faser und Kabel
- 86B Passive Optische Komponente
- 86C Systeme

*Die für Steckverbinder wichtigsten Komitees sind:*

Im IEC (International Electrotechnical Commission) 86B:

- WG 6 = Steckerkomitee
- WG 7 = Reliability
- WG 4 = Messtechnik

Im CECC (Comité Europeen de Normalisation):

- SC BXA = Stecker und andere passive Komponente

Im ETSI (European Telecom Standard Institution):

- TM1 = Passive optische Komponenten

Im TIA (Telecommunication Industry Association):

Komitee 6.3 Fiber optic

ITU = International Telecom User

Der Aufbau der sich ergänzenden Normen steht unter dem Motto "Anwenderfreundliche Normen in kürzerer Zeit publizieren".

Wichtigste Änderungen:

Bisher wurden im IEC keine Detailspezifikationen geschrieben, die eine Verbindung zwischen mechanischer Kompatibilität und Performance darstellten.

Das bedeutete, dass für jede passive Komponente, bei der sich ein Detail an der Performance oder an der Mechanik änderte, eine komplette, ca. 20-seitige Detailspezifikation, geschrieben werden musste. Für einige Steckertypen existieren z. B. 15 Detailspezifikationen.

Neu wird die Struktur wie folgt aufgeteilt:



Mechanical Interface	⇒	100 %-ige mechanische Kompatibilität ohne Beschädigung
Optical Interface	⇒	optisch 100%-ig funktionierend
Performance Standard	⇒	das Produkt funktioniert unter den im PS festgehaltenen Umweltbedingungen
Reliability	⇒	das Produkt funktioniert während der im Standard festgehaltenen Zeitspanne

## 6. Die Praxis am Beispiel des E-2000 LSH 1754-15 Steckers

Es ist ein publizierter Interface Standard vorhanden.

Wir, als Mitglieder im TK 86 mit Vorsitz, stellen im Meeting vom September 2000 in Stockholm einen neuen Performance Standard für Stecker mit 0.1 dB-Dämpfung vor.

Somit können wir unseren Kunden, die immer höhere Anforderungen an die passiven optischen Komponenten stellen, ein IEC- oder EN-Standardpapier in nützlicher Frist anbieten.

Die Entwicklung in der Standardisierung wird ganz klar vom Markt bestimmt.

1980 waren die Anforderungen an die Dämpfung eines Steckverbinders  $\leq 1$  dB. Der Aufwand zum Stecken war kein Thema.

1990 wurden die Anforderungen an die Dämpfung  $\leq 0.6$  dB. Der Aufwand zum Stecken wurde wichtiger; es folgte der erste „Push-Pull“-Steckverbinder.

Nach 1990 erhöhten sich die Anforderungen, bestimmt durch die Märkte, sprunghaft.

Themen wie High Return Loss (HRL), Dämpfung  $\leq 0.4$  dB und gewisse Sicherheitsaspekte wie Laserschutz/Staubschutz und Verhinderung von ungewollten Steckungen (mechanische Codierung) kamen auf.

Dank der Mitarbeit in den IEC-Gremien und natürlich auch durch das ständige Fühlen am Puls der Märkte war es für uns möglich, ein Steckersystem wie den LSH zu entwickeln, der alle diese Anforderungen erfüllt.

Ab 1999 rückte die Performance wieder in den Vordergrund. Auch hier haben wir mit dem 0.1 dB-Random-Mate-Stecker einen Meilenstein gesetzt.

Weitere wichtige, im Moment sichtbare Tendenzen, sind die Miniaturisierung der Einzelsteckverbinder mit allen Sicherheits- und Performancevorteilen.

Eine zweite Anwendergruppe tendiert in Richtung Bandfaserverbindungen mit Backplaneverbindungen wie unser MF-Stecksystem.

## 7. Wie sind die Normen strukturiert?

IEC	=	International Electrotechnical Committee
NP	=	New Point muss nach der Diskussion in der WG an alle Mitglieder als NWIP verschickt werden. Akzeptanz Kriterien: 5 Nationale Komitees müssen ja stimmen und 5 Nationale Komitees müssen mitarbeiten.
CD	=	Comitee Draft Es kann durch Einsprachen bis zu 5 CD's geben in ca. 2 ½ Jahren.
CDV	=	Comitee Draft for Voting Es müssen 68% der Länder ja stimmen und nicht mehr als 25 Nein stimmen.
Wenn Ja:		
FDIS	=	Final Draft International Standard N.B. Entspricht der Offiziellen ca. 1 Jahr später publizierten Norm.



Cenelec = EN European Norm  
prEN = Es wird eine prEN von einem Mitglied geschrieben und in der WG diskutiert.  
Die prEN wird an alle Europäischen Mitglieder zur Abstimmung zirkuliert.  
Akzeptanz Kriterien: 68% müssen Ja Stimmen sein und nicht mehr  
als 25% dürfen nein Stimmen sein.  
Zeitablauf von prEN bis EN: ca. 3 Jahre.

## 8. Schlusswort

Eine Gewichtung der verschiedenen Gremien, wie ETSI / IEC / Cenelec und TIA, ist nur schwer möglich.

Im wesentlichen sind das IEC und das Cenelec gleichwertig, das IEC involviert jedoch durch die Mitarbeit der USA und Japan zusätzliche Mitarbeiter und weitere 10 Länder mit Stimmabgabe.

Das ETSI legt die minimalen Performances fest und beeinflusst dadurch IEC und Cenelec.

Das TIA ist ausschliesslich für den Markt in den USA bestimmend.

## Kriterien bei der Realisierung von hochqualitativen LWL-Strecken

Heinz Blöchlinger, LightCom AG, Täfernstrasse 18, 5405 Baden-Dättwil

Die sehr kurze Bauzeit von Glasfasernetzen hoher Güte ist eine grosse und anspruchsvolle Herausforderung für den LWL-Netzbau. Das heisst, die LWL-Strecken müssen in sehr kurzer Zeit, mit hoher Qualität und Betriebssicherheit realisiert werden. Um bei der Realisierung von hochqualitativen LWL-Strecken ein positives Ergebnis erhalten zu können, muss bei der Beurteilung von Montagekriterien und der gesamten Montageausführung ein strukturiertes Vorgehen gewählt werden.

Aus Erfahrung sollte nach folgender Struktur vorgegangen werden:

Netzarchitektur- LWL-Zubehör	Netzart	Planung / Schulung	Trasse / Kabelverlegung	LWL-Kabel
		Montageausführung	Projektkontrolle	Dokumentation

Die wichtigsten Kriterien für die Montageausführung werden nachfolgend kurz beschrieben und mit Checklisten und Hinweisen ergänzt.

### Netzarchitektur und Netzart

Beim Bau eines LWL-Netzes müssen das Anwendungsgebiet, die Netztopographie und eventuelle Übergabestellen mit den anderen Netzbetreibern bekannt sein. Anhand der Netzstrategie und der gewählten Netzarchitektur, kann man die richtige Wahl der passiven Elemente (Kabel, Zubehör, Montagetechnik) bestimmen.

Die zu verbindenden Örtlichkeiten und der Verlauf des LWL-Netzes bestimmen die Trassemöglichkeiten, die zur Auswahl in Frage kommen.

→ (Checkliste 1: Netzarchitektur)

### Planung und Schulung

Der Planer ist das Bindeglied beim Bau des LWL-Netzes, zwischen dem Endkunden (Netzbetreiber) zu den Lieferanten, Leitungsbauer und den Montageequipen. Er bildet die notwendige Voraussetzung - das Fundament - für ein positives Ergebnis. Für den Bau des LWL-Netzes sind von der Angebotsphase bis zur Fertigstellung genaue Spezifikationen und Weisungen notwendig; die zu befolgenden Normen sind anzugeben und müssen dementsprechend auch durchgesetzt werden.

Es ist stark darauf zu achten und durchzusetzen, dass vor allem bei der Montageausführung nach den vorgegebenen Spezifikationen und Weisungen gearbeitet wird.

Für die Gewährleistung eines positiven Ergebnisses bei der Verarbeitung von hochqualitativen LWL-Strecken, braucht es gut geschultes und technisch betreutes Personal vom Planer bis zum Ausführenden.

Bei unserem gesamten Schulsystem fehlt jedoch die Ausbildung "LWL-Technik" fast gänzlich und vor allem bei der gesamthaft komplexen Montagetechnik wird keine Schulung abgegeben. Die strukturierte Schulung wird momentan nur durch einzelne private Firmen durchgeführt.

Deshalb ist zu empfehlen, dass projektspezifische Schulungen und Betreuungen für das auszuführende Personal durchgeführt werden.

→ (Checkliste 2: Aufbau Spezifikationen)

### Trasse und Kabelverlegung

Das Kabeltrasse ist ein wichtiges Kriterium für die Wahl der Kabelkonstruktion und der Verlegetechnik. Als Trasse werden verschiedene Infrastrukturen verwendet, wie zum Beispiel:



Hochspannungsmasten, Rohranlagen, Gewässer, Kanalisationen etc.

In den Städten, Gemeinden und diversen Weitverkehrsnetzen wird meistens das LWL-Kabel in Kabelschutzrohre verlegt. Wenn immer möglich wird angestrebt, dass man Kabelschutzrohre für die Kabeleinblastechnik verwendet. Dies hat den grossen Vorteil, dass die Kabel ohne Zugbelastung in das Rohr eingebracht und die Kabelmantel inklusive Rohranlagen nicht beschädigt werden. Die Voraussetzung hierzu ist aber die Kalibrierung der Rohrsysteme, um das Kabel nicht unnötig auf Druck/Zug zu belasten.

Bei der Kabelverlegung müssen immer alle Kabelverlegespezifikationen des Kabellieferanten eingehalten werden und für die Verarbeitung der Kabel genügend Kabelüberlängen vorhanden sein. Es sollten ebenfalls stille Kabelreserven bei den Kabelenden für die Umplatzierung der Kabelendstellen vorgesehen werden. Bei Aussenanlagen wird vielfach vor oder innerhalb des Muffenschachts eine genügende, stille Kabelreserve angelegt.

Es wird sehr häufig festgestellt, dass die Muffenschächte viel zu klein gebaut sind, die Kabel nicht sauber verlegt und somit der geforderte Kabelradius nicht eingehalten werden kann. Der Muffenschacht und Kabelreserveschacht muss nach folgenden Kriterien gebaut sein:

- Grösse Muffe
- Radius Kabel
- kein Druck oder Zug auf Kabel und Muffe
- (Checkliste 3: Uebersicht Kabelverlegearten)
- (Checkliste 4: Bestimmen und Beurteilen von Rohranlagen)
- (Checkliste 5: Zugänglichkeit zur Rohranlage)
- (Checkliste 6: Überlänge Kabel)
- (Checkliste 7: Prüfanweisung Kabel einblasen)

#### Merkblatt zu Verhütung von Beschädigungen an unterirdisch verlegten Kabel- und Rohr- Leitungsanlagen

2037.d - 6.98 „Erst denken - Dann Handeln!“

Zu beziehen bei SUVA, Zentrale Kundendienst, Postfach, 6002 Luzern

#### **LWL- Kabel**

Der Kabelaufbau hat die Funktion des Schutzes der Glasfaser, bezogen auf:

Faserdehnung	Zug, Biegung, Wärme
Faserbiegung	Biegung, Kälte, Querdruck
Feuchtigkeit	Lagerung, Luftfeuchtigkeit, Wärme

Der Aufbau des Kabels wird gewählt anhand der vorhandenen Trassen und der gewählten Netzarchitektur. Vielfach werden in Netzen einzelne Fasern für Kundenabgänge abgespleisst und die restlichen Fasern spleisslos in den Muffen abgelegt. Bei einer solchen Netzarchitektur, sollte für die Stammkabel das geeignete Kabel gewählt werden. Vielfach sind heutige LWL-Kabelkonstruktionen zu flexibel (weich) und ergeben damit einige Nachteile bei der Montage, wie;

bei weichem PE-Mantel: grösserer Reibungskoeffizient bei Verlegearbeiten, kürzere Distanzen beim Einblasen.

bei flexiblen Kabelaufbauten werden, bei Kabelverarbeitung, vielfach die geforderten Kabelradien unterschritten.



Für das richtige Verarbeiten der Kabel muss alles auf das Kabelzubehör (Muffe, KEV) abgestimmt sein und das Montagepersonal muss alle technische Daten und Aufbauten kennen.

Für den Aufbau eines LWL-Netz muss der Glasfasertyp und Lieferant bestimmt werden. Es ist ausserordentlich wichtig, dass eine **homogene Faserstruktur** im Netz erstellt wird. Mischung von verschiedenen Faserlieferanten mit unterschiedlichen Brechungsindex und Herstellungsverfahren ergeben Schwierigkeiten beim Faserspleissen mit sehr unkonstanten Spleissdämpfungswerten. Somit können sich unsaubere Spleissstellen ergeben, mit folgenden Nachteilen:

erhöhte Spleissdämpfung

Verschlechterung der Dispersion

bei Hochleistungslaser: Erwärmung der Spleissstelle und somit auf Langzeit ein möglicher Faserbruch (vorzeitige Alterung)

nicht lineare Effekte

→ (Checkliste 8: LWL-Kabel)

### LWL-Zubehör

Bei einer Glasfaserstrecke sind hauptsächlich folgende Zubehörkomponenten im Einsatz.

LWL-Muffen:	für Bodenkabel und Erdseile Verbinden der Kabelstrecken
LWL-Kabelendverschluss (KEV):	Kabelendstelle Anschlusspunkt zur Glasfaserstrecke LWL- Zugang über Steckersystem
Steckersystem:	reflexionsfreie, mechanisch geschützte Steckersysteme verwenden (Laserschutz!)

Für ein gutes Gelingen der Montagearbeiten muss das richtige Zubehörmaterial für die Kabelverarbeitung gewählt werden. Es muss bei der ganzen Verarbeitung darauf geachtet werden, dass der Glasfaserradius von mindestens 32mm eingehalten wird (typisch 35 - 40mm).

Das LWL-Kabel innerhalb Zubehörkomponenten muss sorgfältig verarbeitet sein, ohne Druckstelle, Knickungen und Verletzungen der Glasfaser.

Es ist sehr zu empfehlen, dass das Montagepersonal auf die eingesetzten Produkte geschult wird.

→ (Checkliste 9: LWL-Zubehör)

### LWL Montage und Spleissung

Gut geschultes und dauernd technisch betreutes Montagepersonal ist die Voraussetzung für qualitativ hochstehende und technisch richtig ausgeführte Arbeiten. Ein grosser Anteil der Montage besteht aus Vorbereitungsarbeiten an Kabel und Zubehör, dass auf einem sauber eingerichteten Arbeitsplatz ausgeführt werden muss.

Der Arbeitsplatz wird situativ eingerichtet und muss wenn notwendig gegen Unwettereinflüsse geschützt sein.

Die Glasfaserspleissung muss nach vorgegebenen Farbcodes (von Kunden abhängig) gespleisst werden. Innerhalb einer LWL-Netzarchitektur (Carriers, Betreiber) sollte immer der **gleiche Farbcode** verwendet werden. Wenn dies aus irgendeinem Grunde nicht eingehalten werden kann, ist dies zu dokumentieren.

Der gesamte Spleissvorgang mit der Faservorbereitung wird mit Spezialwerkzeugen ausgeführt.



Spleissgerät mit Kernzentrierung, Brechwinkeleingabe und mit neuester Software (Faserdaten)

Brechgerät für optimale Brechqualität an der Faser

Umweltparameter, wie z.B. Temp. und Feuchte müssen korrekt berücksichtigt werden

Vor allem muss der Faserbrechwinkel kontrolliert sein, weil ansonsten bei unterschiedlichem Brechwinkel, an der Spleissstelle die Faserstruktur eine zu grosse Änderung aufweist (Inhomogenität).

Bei hochqualitativen Faserstrecken werden die Muffenspleissungen und Steckerübergänge inkl. Spleissung mit einem OTDR (Optical Time Domain Reflectometer) überprüft und protokolliert.

- (Checkliste **10**: Farbcodes LWL-Kabel)
- (Checkliste **11**: Farbcodes Erdseile / Diverse)
- (Checkliste **12**: Spleissung)
- (Checkliste **13**: Montageprotokoll Muffe)
- (Checkliste **14**: Montageprotokoll Kabelendverschluss)

### **Projektkontrolle und Dokumentation**

Die Mindestanforderung einer Projektkontrolle besteht aus einer Schlussmessung inkl. Protokollierung der Messdaten. Die gesamte Messtechnik, Kontrollpunkte und Dokumentierung muss geregelt sein.

Hinweise und Vorgehen siehe Checklisten.

- (Checkliste **15**: Kontrolle und Abnahme Glasfaseranlage)
- (Checkliste **16**: Dokumentation Glasfaseranlage)
- (Checkliste **17**: Qualitätskontrolle Glasfaseranlage)

### **Schlusswort**

Aus den Montagekriterien und Zusammenhänge für ein gutes Gelingen einer hochqualitativen LWL-Strecke, konnte ich Ihnen nur einige wenige Beispiele näher bringen.

Selbstverständlich ist der Autor bereit weitere Fragen zu obigem Thema jederzeit zu beantworten.

**Hinweis:** Auf den nächstfolgenden Seiten sind die wichtigsten Checklisten ersichtlich.



















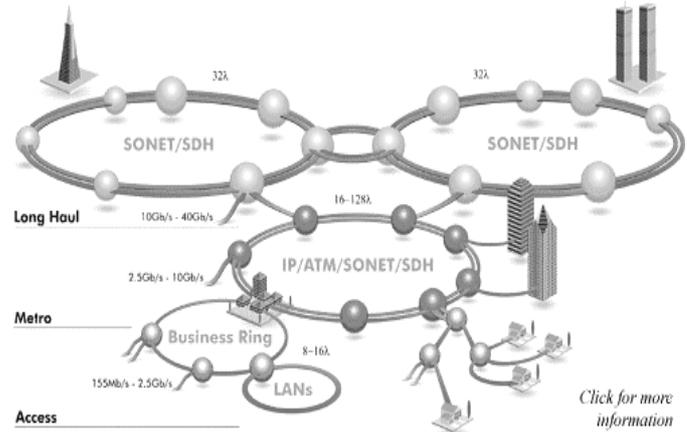
# Physikalische Grenzen von optischen Übertragungssystemen

Roberto Dall'Ara, Opto Speed SA, Via Cantonale, 6805 Mezzovico

Die Forschung in der optischen Kommunikation macht kontinuierlich grosse Fortschritte in Richtung immer grösserer Uebertragungskapazitäten. Wo liegen die Grenzen dieses rasanten Wachstums? Was werden wir in den nächsten Jahren erleben?

Dieser Beitrag befasst sich hauptsächlich mit diesen Fragen für optoelektronische Komponenten bezüglich der verschiedenen Netzteile und deren Anwendungen.

Die Performance der Bauteile wird von dem spezifischen Anwendungsbereich bestimmt. Die höchsten Anforderungen an Zuverlässigkeit und Uebertragungskapazität werden im Long Haul Bereich verlangt, während im Metro- oder Access-Bereich eher die Preise massgebend sind.



Unterteilung der optischen Kommunikationsnetze

## Long Haul

Die fortgeschrittene Langstreckenkommunikation basiert heute auf der DWDM-10 Gb/s-Technologie. Die ersten Versuchssysteme mit 40 Gb/s sind in der Test-Phase, und die Forschung schaut schon 80 oder sogar 160 Gb/s DWDM Varianten an.

Die grössten Probleme sind die absolute Wellenlängenstabilität, die „Chirp“ Eigenschaften und die Bandbreite der optischen Quellen sowie auf der Empfängerseite die Empfindlichkeit und die Langzeitstabilität.

Die verschiedenen Technologien für diese Frequenzbereiche sowie deren Vor- und Nachteile, werden im Referat kommentiert.



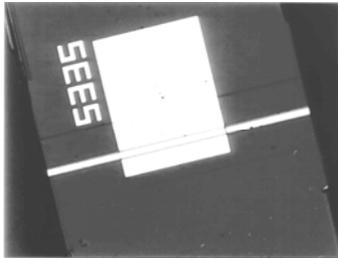
10 Gb/s PIN-Preamp

Frequenz	Sender	Empfänger
10 Gb/s	Direct Mod DFB/DBR Laser Ext. Mod. DFB/DBR Laser	APD-Preamp PIN-Preamp
40-160 Gb/s	Modelocked DFB/DBR +Modulator Gain Switched DFB/DBR +Modulator Soliton Generator+Modulator	PIN-Preamp OA+PIN

Falls Zwischenverstärkung gebraucht wird, kommen in diesem Bereich ausschliesslich Faserverstärker in Frage. Flächere Bandbreiten, gekoppelt mit sehr grossen Verstärkungen und Ausgangssättigungsleistungen, machen diese Sorte von optischen Verstärkern beliebter als optische Halbleiterverstärker.

## Metro

Der Metro-Bereich gewinnt an Wichtigkeit. Um die Preise gegenüber dem Long Haul-Bereich zu senken, werden neue Technologien zur Anwendung kommen. Selbstverständlich kann man in spezifischen Fällen, wo die Preise sekundär sind, die Long Haul Systeme auch auf Metro-Ebene verwenden. Die Frage ist, was man abspecken kann, um trotzdem gute Performance zu niedrigeren Kosten zu bekommen. Die Antwort scheint in Richtung „non cooled“ Bauelemente zu gehen. Die optoelektronischen Chips müssen ohne Temperaturstabilisierung laufen, damit billigere Packages und einfachere Kontrollelektroniken verwendet werden können. Die heutige 2.5 Gb/s werden durch billige 10 Gb/s Lösungen ersetzt und man kann sich schon Varianten bis auf 40 Gb/s vorstellen. DWDM wird in coarse WDM umgewandelt.



Uncooled 10 Gb/s DFB

Frequenz	Sender	Empfänger
10 Gb/s	Uncooled Dir. Mod DFB/DBR Laser	
	Uncooled Dir. Mod FP Laser	PIN-Preamp
40 Gb/s	Modelock. uncool. DFB/DBR +Modulator	PIN-Preamp

Je nach Anwendung in diesem Bereich wird die Möglichkeit überprüft, zusätzlich zu dem Faserverstärkereinsatz, optische Halbleiterverstärker zu verwenden.

## Access

Das Access Netzwerk ist durch die sehr niedrigeren Preise (tiefe spezifische Kosten pro Kundenanschluss) und durch ein steigendes Bedürfnis an direkte Kompatibilität mit dem Metrobereich bestimmt. Auf Komponenten-Ebene wird kaum zwischen Langstrecken-LAN (länger als 300m) und Metro-LAN unterschieden. Kurzstreckenverbindungen unterscheiden sich zu den Metronetzen nur durch die Verwendung von speziellen Lichtquellen wie VCSEL. Die Verteilung von Broad Cast optischen Signalen mittels SLEDs (superluminescent LEDs) ist bei einigen grossen Firmen in Vorbereitung. Die optische Verstärkung wird nur für die Kompensation von Verteilungsverlusten eingesetzt und ist wegen den günstigeren Preisen und Wellenlängen nur auf optische Halbleiterverstärker begrenzt.



Optische Halbleiterverstärker

# EMV-Probleme bei der Integration von SDH-Knoten in Energieanlagen

Dr. Reinhold Bräunlich, FKH, Voltastr. 9, 8044 Zürich

## Einleitung: Nutzung der Infrastruktur von Energieversorgungsanlagen für Kommunikationssysteme

Durch die gemeinsame Nutzung der baulichen Infrastruktur durch verschiedene technische Dienstleistungszweige können erhebliche Kosten gespart werden. Dieser Vorteil wird heute im Zuge des verschärften Wettbewerbs infolge der Marktöffnung in der Kommunikations- und der Energiebranche in zunehmenden Masse umgesetzt. Bahn-Trassen, Freileitungs-Trassen und Nationalstrassen wurden bereits in den vergangenen Jahren für Kommunikationswege intensiv ausgenutzt.

Für längere verkabelte Kommunikationsstrecken werden heute fast ausschliesslich Lichtleiterkabelsysteme (LWL) eingesetzt, die angepasst an die jeweilige Umgebung sehr unterschiedlich konfektioniert werden. Die heutigen Betreiber von neuen LWL-Telekommunikationsnetzen (insbesondere diAx und Sunrise) stützen sich insbesondere bei der Erstellung der Netz-Hauptstränge (Backbone-Netze) im gegenseitigem wirtschaftlichen Vorteil mit den angestammten Betreibern auf die elektrischen Netzinfrastrukturen, d.h. die Bahn- und Freileitungstrassen ab.

Neben der genannten Verlegung von LWL-Netzen auf Bahnstrecken und Energieübertragungsleitungen erwies sich auch eine Integration von Komponenten der drahtlosen Telephonie in die energietechnische Infrastruktur als vorteilhaft: So eignen sich die Masten und Tragwerke bestens für die Installation von GSM-Antennen. Es entstehen dabei nicht nur Kosteneinsparungen durch kurze Anschlusswege zu den verkabelten Netzknoten. Die genannten Antennenstandorte zeichnen sich meist auch durch gute Akzeptanz seitens der Bevölkerung aus. Toleriert werden solche Antennenstandorte sowohl wegen einem geringen visuellen Störfaktor als auch wegen dem meist ausreichenden Abstand zu Orten des Personenaufenthalts über längere Zeiten, wodurch die Besorgnis über mögliche nachteilige Auswirkungen auf die Gesundheit durch elektromagnetische Feldemissionen kaum ins Gewicht fällt.

All diesen Vorteilen der Zusammenlegung energietechnischer und kommunikationstechnischer Einrichtungen stehen aber auch technische Probleme gegenüber. In erster Linie handelt es sich hierbei um Massnahmen zur Gewährleistung der elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV) im weitesten Sinn. Entsprechende EMV-Massnahmen bedeuten einen merklichen Mehraufwand bei Engineering und Realisierung. Dieser Aufwand muss primär durch den Erbauer der Kommunikationsanlagen getragen werden, weshalb das Thema die Betreiber der LWL-Hochleistungsnetze besonders beschäftigt.

Die genannten Probleme fokussieren sich primär auf folgende zwei Berührungspunkte zwischen Kommunikations- und Energieversorgungssystemen (Abb. 1 und 2):

- SDH-Knoten in Hochspannungsschaltanlagen Anlagen
- Sendeantennenstandorte für das GSM-Netz auf Tragwerken der elektrischen Energieübertragungsleitungen.

## Gründe und typische Orte für Beeinflussungsprobleme

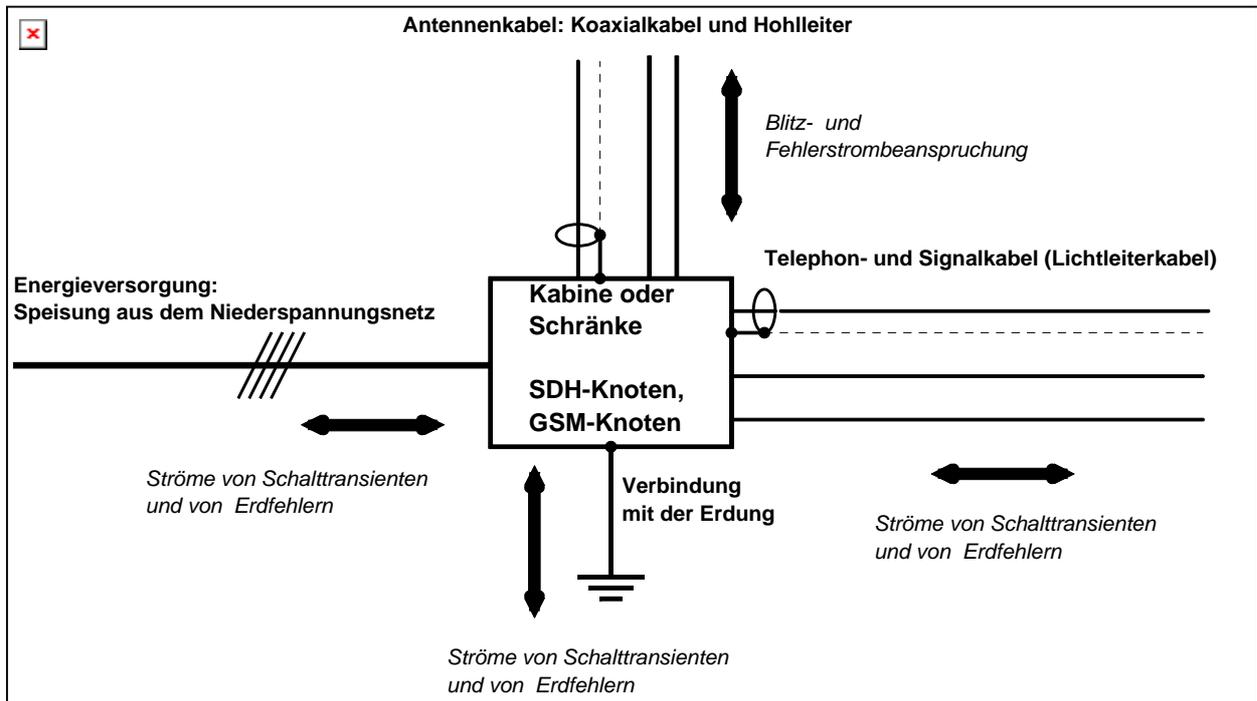
Die Problematik der elektromagnetischen Verträglichkeit zwischen energietechnischen und kommunikationstechnischen Anlagen muss sehr breit gefasst werden. Einerseits ist praktisch der gesamte elektrotechnisch genutzte Frequenz- und Pegelbereich betroffen. Andererseits ist eine Vielzahl an möglichen Beeinflussungsmechanismen zu beherrschen, welche an einem Verknüpfungspunkt auftreten (Abb. 3 und 4). Tabelle 1 stellt die wichtigsten Beeinträchtigungsarten nach Frequenzbereich geordnet dar.



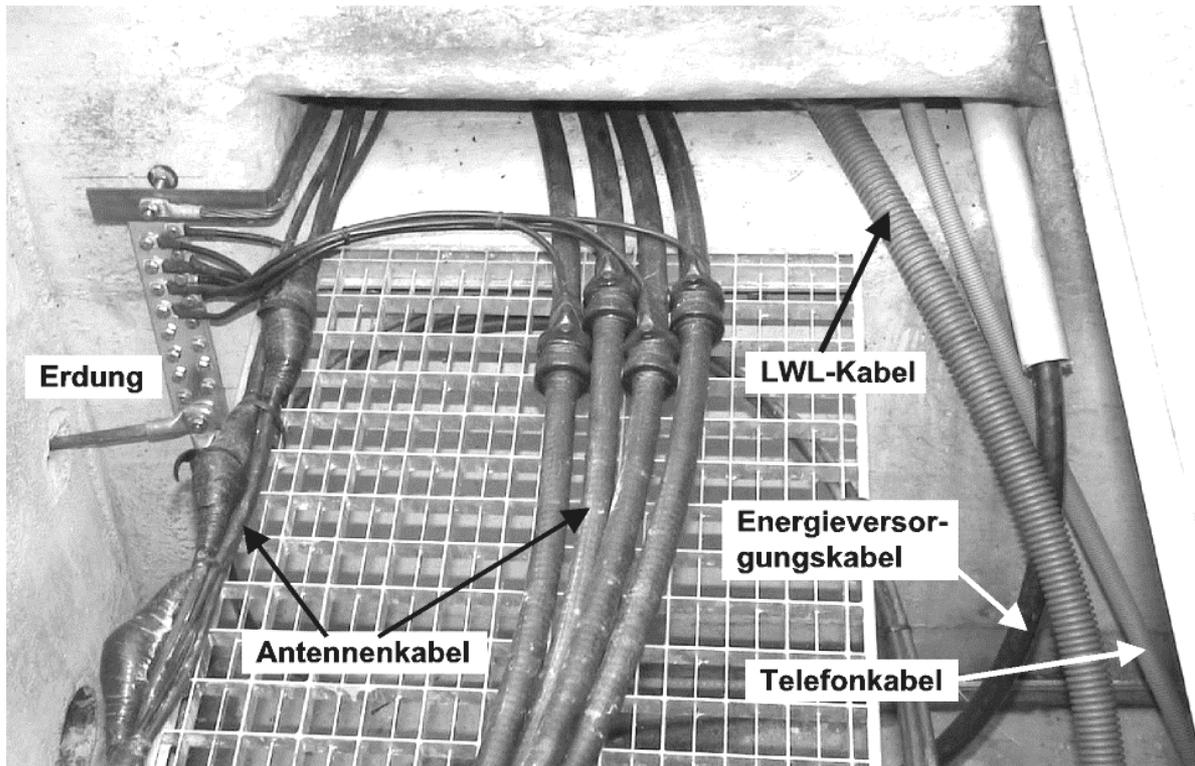
**Abbildung 1** Container mit SDH-Knoten und GSM-Basisstation in einer Hochspannungsfreiluftschaltanlage.



**Abbildung 2** GSM- und Richtstrahlantennen auf einem Freileitungsmast.



**Abbildung 3** Beeinflussungssituation für einen SDH/GSM-Knotenpunkt in einer Hochspannungsschaltanlage.



**Abbildung 4** Typischer Kabelausleitungsschacht an einem Container der als SDH- und GSM-Knotenpunkt dient.

Der Aufwand für die Lösung der EMV-Probleme entsteht nicht bei der Auslegung einzelner Komponenten, sondern resultiert aus der Abstimmung zweier in vielen Punkten unterschiedlicher Systeme mit mehreren Berührungspunkten und dementsprechender Vielfalt an Beeinflussungsmöglichkeiten.

Ein wesentlicher Aspekt betrifft die Erdungsfrage. Telecom-Systeme besitzen ein anderes Erdungskonzept als energietechnische Anlagen. Dieser Sachverhalt ist letztlich auf die unterschiedlichen Zielsetzungen der Erdung sowie auf die Tatsache zurückzuführen, dass sich Erdungsmassnahmen in erster Linie im unteren Frequenzbereich (bis einige kHz) auswirken. Sie liegen damit im Bereich der energietechnisch genutzten Frequenzen, und sind unmittelbar für die fehlerfreie Funktion entscheidend. Im nachrichtentechnischen Bereich bezwecken Erdungsmassnahmen in erster Linie eine Schutzfunktion. Sie wirken sich demnach nicht direkt auf den Betrieb der Anlage aus.

Eine weitere Schwierigkeit erwächst aus der Tatsache, dass Starkstromanlagen zwar meist genau definierte Betriebsfrequenzen besitzen (Energieversorgung: 50 Hz, Bahnversorgung 16.7 Hz); bei Schalthandlungen und Fehlfunktionen, treten jedoch fast beliebige Frequenzanteile und dies bei hohen Amplituden auf [1] – [7].

In Unterwerken können je nach Spannungsebene, Bauart und Ort im Hochspannungsnetz sehr unterschiedliche Beanspruchungen festgestellt werden, über deren Ausmass vor der Einbindung eines SDH-Knotenpunkts zunächst Informationen beschafft werden müssen.

Frequenzbereich	DC 0 Hz	10 Hz bis 400 Hz	100 Hz bis 100 kHz	10 kHz bis 1 GHz
<b>Störquellen</b>	Gleichstrombahnen	Wechselbetriebsströme und Spannungen, hohe Erdfehlerströme	Oberwellen und Leistungselektronische Einrichtungen	Transienten durch Schalt-handlungen, Blitzeinwirkung
<b>Störmecha-nismen</b>	Ohmsche Kopplung			
	Korrosion, thermische Überlastungen, Biasprobleme	Induktive Kopplung		
		Überlastungen durch Fremdströme, Brummspannungen	Kapazitive Kopplung	
			Störüberlagerungen durch kontinuierliche und impulsartige Signale	Strahlungseinkopplung, Isolationsversagen, Störung digitaler Signale
<b>Beeinträchtigte Komponenten</b>	Frequenzbereich der Speisungen		Frequenzbereich der elektronischen Signalverarbeitung	
	Metallische Kabelverbindungen			
	Kontaktstellen, analoge Komponenten.	Verbindungsstellen, diverser Komponenten	Signalstörungen, Audio-Videobereich	Halbleiter, Isolationen, digitale Signalprozessoren
<b>Schutzmassnahmen</b>	Minimierung von Kontaktwiderständen und von Kopplungsschleifen			
	Erdungsmassnahmen, Verbinden / Trennen		Schirmung, Filterung	
	Isolation, Drainagen,	Ausreichende Auslegung des Erdungssystems	Erdungsmassnahmen	Überspannungsableitung

**Tabelle 1** Elektromagnetische Beeinflussungsmechanismen von kommunikationstechnischen Einrichtungen in energietechnischen Anlagen, geordnet nach Frequenzbereichen.

Ohne näher darauf einzugehen werden nachstehend die maximal zu erwartenden elektromagnetischen Einflussgrößen aufgeführt, welche bei der Erstellung von Kommunikationsknotenpunkten in Starkstromanlagen einzeln zu berücksichtigen sind.

- Potentialdifferenzen zwischen Erdungsanlage und neutraler Erde im Erdfehlerfall bis einige 1000 V (Netzfrequenz, Dauer 0.1 s bis 1 s).
- Ströme in beliebigen Erdungsleitern und (Kabelmänteln) im Erdfehlerfall typisch bis ca. 10 % der Erdschlussströme (d.h. maximal einige 1000 A, Dauer 0.1 s bis 1 s).
- Blitzströme in Masten und Tragwerken (z.T. über die Erdseile von Freileitung herangeführt) bis maximal 200 kA (Impulsdauer: bis einige Millisekunden, bei negativen Abwärtsblitzen repetitiv).
- Transiente, meist abklingend oszillierende Impulse in Erdungsleitern und Kabelmäntel bis einige 100 A, (Frequenzen bis ca. 1 MHz).
- Netzfrequente Wechselfelder mit magnetischen Flussdichten in begrenzten Bereichen bis zu einigen 100  $\mu$ T.
- Hochfrequente elektromagnetische Impulse und Bursts: magnetische Flussdichten bis 10  $\mu$ T. In der Umgebung von gasisolierten Schaltanlagen (GIS) treten bei Trennerschaltungen Frequenzen bis zu einigen 100 MHz und typische Steilheiten der magnetischen Flussdichte von bis zu 1000  $\mu$ T/ $\mu$ s auf.

## Grenzwerte, Schutzpegel

Die Gewährleistung der elektromagnetischen Verträglichkeit wird generell durch eine ausreichende elektrische Entkopplung zwischen den Stromkreisen der Kommunikationsanlagen und denjenigen der energietechnischen Anlage erreicht. Eine wichtige Grundlage für die Beurteilung der EMV-Situation ist die Normenliteratur, aus welcher die erwarteten Störpegel und die Immunitätsanforderungen entnommen werden können.

Im Bereich der elektrischen Starkstromanlagen treten besonders hohe Störpegel auf. Werden Kommunikationsknoten innerhalb der Einflusszone von Starkstromanlagen erstellt, so müssen deshalb erweiterte Anforderungen an die Störimmunität, entsprechend den Sekundäranlagen der Hochspannungsschaltanlagen, gestellt werden.

Theoretische Grundlagen wurden hierzu von der CIGRE<sup>1</sup> (SC 36) [1] erarbeitet. In ähnlicher Weise liegen auch Berechnungs- und Auslegungsunterlagen sowie ein umfassendes Datenmaterial in Form eines Handbuchs bestehend aus 9 Bänden als CCITT<sup>2</sup>-Direktiven [N7] vor. Spezifikationen für die Auslegung von elektronischen Systemen in Starkstromanlagen wurden schliesslich in europäischen (CENELEC<sup>3</sup> [N1], [N2]) und internationalen Normen festgelegt (IEC und CISPR<sup>4</sup> [N3]).

Grenzwerte für spezifische Komponenten und Schnittstellen können in den Normen für die Sekundärtechnik elektrischer Schaltanlagen gefunden werden (z.B. IEC 60255-22: Beeinflussung durch Schalthandlungen). Die meisten EN-Publikationen sind auch in Form von deutschen Übersetzungen erhältlich. Sie stammen im wesentlichen von den deutschen Normen-Gruppen DIN-VDE 0228 und DIN-VDE 0800 [N5], [N6].

Die umfassenden EMV-Richtlinien IEC Serie 61000 [N3] beziehen sich generell auf EMV-Fragen in elektrischen Installationen und sind in folgende fünf Teile gegliedert:

- 61000-1: Konzepte und Definitionen.
- 61000-2: Interaktionen mit der Umgebung (Beschreibung, Klassifizierung, EMV-Pegel)
- 61000-3: EMV-Grenzwerte (Immunität und Emission)
- 61000-4: Nachweisprüfungen und Messprozeduren
- 61000-5: Richtlinien für die Installation und Massnahmen gegen Beeinflussungen (Einrichtungen und Methoden)

## Vermeidung von EMV-Problemen und Abhilfemassnahmen

Die Hauptschwierigkeit bei der Behandlung der gestellten EMV-Frage besteht darin, dass die kommunikationstechnischen und energietechnischen Anlagen elektrische weitgehend entkoppelt werden sollen, wobei aber gewisse Verbindungen für das Funktionieren der Anlagen nötig sind (Abb. 3). Entsprechende Schnittstellen ergeben sich durch die elektrische Energieversorgung der aktiven elektronischen Systeme sowie durch die sicherheitstechnisch notwendige Erdung. Letztere kann zwar lokal weitgehend separat ausgeführt werden; eine enge elektrische Kopplung zwischen der Starkstromerdung und den Schirmen aller metallischer Kabel lässt sich aber nicht vermeiden. Diese Kopplungen müssen demnach mit entsprechenden Schutzmassnahmen beherrscht werden.

Ein ausreichender Schutz der Stromkreise von Kommunikationsanlagen vor Einwirkungen der energietechnischen Anlagen wird im einzelnen durch folgende Massnahmen erreicht:

- Erdungsmassnahmen

---

1 CIGRE = **C**onference **I**nternational des **G**rand **R**éseau **E**lectrique

2 CCITT = **C**omité **C**onsultatif **I**nternational **T**élégraphique et **T**éléphonique

3 CENELEC = **C**omité **E**uropéen de **N**ormalisation **E**lectrotechnique

4 IEC = **I**nternational **E**lectrotechnical **C**ommission

CISPR = **C**omité **I**nternational **S**pécial des **P**erturbations **R**adioélectriques

- Ausreichende Dimensionierung aller Erdungsleiter und aller Erdungsverbindungen mit Gehäusen und Schirmen von metallischen Kabeln, ggf. Parallelführung von Erdleitern zu den Signalkabeln
- Schaffung eines ausreichenden Potentialausgleichs, wo nötig
- Minimierung von Schleifen zur Begrenzung induzierter Spannungen.
- Schirmung
  - Von Leitungen
  - Von Gehäusen
  - Insbesondere im Querschnitt ausreichende, möglichst kurze niederinduktive Schirmverbindungen.
- Einsatz von Überspannungsableitern für:
  - Energieversorgungskabel
  - Antennenkabel.
- Potentialtrennung mit Trenntransformatoren
  - Telefon- und Signalkabel
- Befolgen der Blitzschutzmassnahmen
  - Äusserer Blitzschutz
  - Innerer Blitzschutz, koordinierte Überspannungsbegrenzung.

Die Wahl der getroffenen Massnahmen muss untereinander abgestimmt und der Situation entsprechend erfolgen. Wichtige Dimensionierungsgrössen sind:

Leiterquerschnitte und Leitergeometrien, Vermaschungsgrad der Erdungen, Überspannungsableiter, Isolationspegel, potentialtrennende Komponenten usw...

Im Zentrum der EMV-Frage steht grundsätzlich die konzeptionelle, topologische und geometrische Auslegung, welche der Detailplanung der Anlage vorangestellt werden muss. Hierbei wird beispielsweise entschieden, ob eine Entkopplung zwischen Störquelle und Senke durch eine niederimpedante Verbindung oder durch eine Potentialtrennung erreicht werden soll. Zum selben Fragenkomplex gehört damit auch die Abwägungen über einen einseitig oder zweiseitig geerdeten Signalkabelschirm.

Spätere Korrekturen betreffend das EMV-Konzept sind später nur noch schwer möglich oder sehr kostspielig.

### Literaturverzeichnis

#### *Monographien und Publikationen in Periodika*

- [1] Guide on EMC in Power Plants and Substations  
CIGRE Working Group 36.04, December 1997
- [2] CIGRE-report 36-09. 1984 Interference problems on electronic control equipment – the influence of recent technical developments.
- [3] CIGRE-report 36-08. 1984 Problems with interference voltage in control equipment for power stations and substations
- [4] Feist Karl-Heinz (Herausgeber), „Starkstrombeeinflussung“, Expert Verlag, Band 203, Kontakt – Studium Elektrotechnik, Expert Verlag, Sindelfingen, 1986.

- [5] FKH - / VSE – Fachtagung, „EMV in elektrischen Energieversorgungsanlagen, Koordination zwischen Primärtechnik, Sekundärtechnik und Kommunikationsanlagen“ 20. Oktober 1999, ETH Zürich.
- [6] Sauvain, H., „Influences électromagnétiques: protection des équipements sensibles dans les postes HT“, La Revue Polytechnique No. 1526, 8/90, 851.
- [7] Rudolph, T., R. Speh, „EMV-Massnahmen in der Schaltanlagenleittechnik“, Elektrie Berlin 46, (1992) 6.

*Internationale Empfehlungen, Normen und Richtlinien*

- [N1] EN 50081-2 Elektromagnetische Verträglichkeit, Fachgrundnorm Störaussendung, Teil 2: Industriebereich (deutsche Übersetzung).
- [N2] EN 50082-2 Elektromagnetische Verträglichkeit, Fachgrundnorm Störfestigkeit, Teil 2: Industriebereich (deutsche Übersetzung).
- [N3] IEC 61000, Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 1 – 5 with subordinated parts.
- [N4] ETS 300 253 "Earthing and bonding of telecommunication equipment in telecommunication centres".
- [N5] DIN VDE 0228 Teil 1, 1982 / 1985. Massnahmen bei Beeinflussung von Fernmeldeanlagen durch Starkstromanlagen - Allgemeine Grundlagen.
- [N6] DIN VDE 0800, Teil 2, Fernmeldetechnik, Erdung und Potentialausgleich.
- [N7] ITU (International Telecommunication Union), CCITT Directives concerning the protection of telecommunication lines against harmful effects from electric power and electrified railway lines, volumes I to IX (Geneva 1989).
- [N8] Technische Empfehlungen Nr. 1 bis 9 der Schiedsstelle für Beeinflussungsfragen der Deutschen Bundesbahn, der Deutschen Bundespost und der Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke; VWEW-Verlag Frankfurt am Main.

## Spezifische Anforderungen an Bodenkabel im Umfeld von Bahnanlagen

Peter Scholl, SBB, Schanzenstr. 5, 3000 Berne 65

### !! Einbauen und vergessen !!

Kabelanlagen bilden das Nervenkostüm der Eisenbahn. Sie sind nicht sichtbar, sollen aber jederzeit zuverlässig funktionieren und die unterschiedlichsten Leistungen und Informationen übertragen. Auf metallischen Kabeln entlang dem Bahntrasse entstehen durch die Rückstromverhältnisse und durch Induktion zeitweise gefährliche Längsspannungen für das Montagepersonal. Durch geeignete Erdung am Arbeitsplatz und gute Schulung des Montagepersonals können sichere Arbeitsbedingungen geschaffen werden.

Glasfaserkabel (LWL-Kabel) nehmen in der Palette aller Kabel eine Sonderstellung ein: Glas ist ein Isolator. Als die SBB 1985 begann, LWL-Kabel zur Datenübertragung einzubauen, sollte der Kabelaufbau vollständig metallfrei werden. Der Aufbau hat den folgenden Anforderungen zu genügen:

- Metallfreiheit (Arbeitssicherheit)
- Zugfestigkeit (Einziehen in Rohre),
- Querdruckfestigkeit (Übereinander liegende Kabel, „Betreten“ der Kabel)
- Nagetierschutz
- Kein Gel im Bündel (Montagefreundlich)
- Umweltfreundliche Materialien (Entsorgung über normalen Kehrriecht)



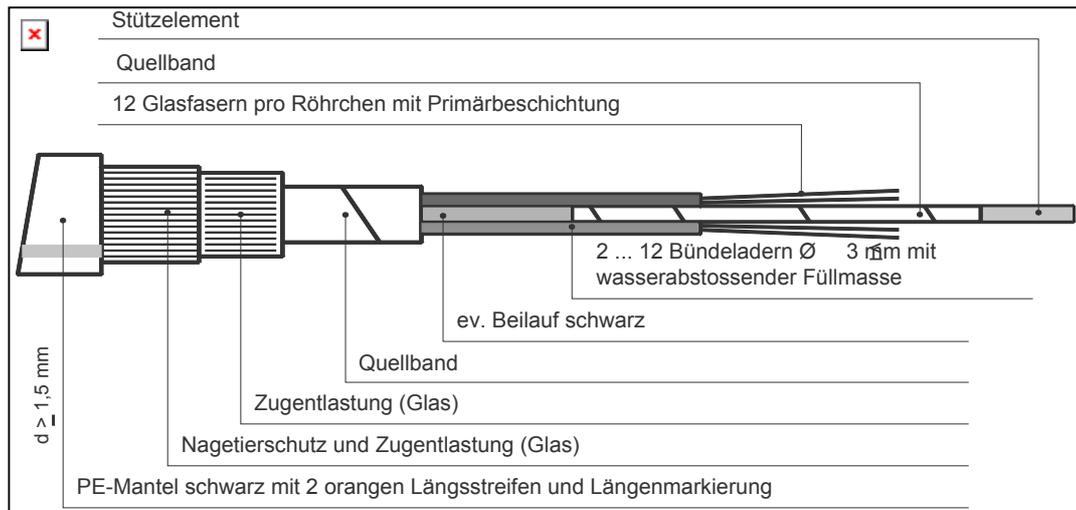
Die Metallfreiheit führt zu leichten Kabeln mit einem spezifischen Kabelgewicht von etwa 300 g/m. Die SBB rollen die Kabel von gleisgebundenen Kabelverlegeeinheiten in den Kabelkanal ab. Die Belastungen auf das LWL-Kabel sind kontrolliert und gering. Das Bruttogewicht (Trommel mit Kabel) ist auf 6.5 t limitiert. Voraussichtlich noch im Jahr 2000 wird die SBB ein 11 km langes LWL-Kabel durch den Simplontunnel abrollen. Das Kabel allein wiegt nur zirka 3.3 t.

Der metallfreie Nagetierschutz wird viel diskutiert. Die SBB geht pragmatisch vor. Der Kabellieferant hat die Nagetierfestigkeit seines Produktes durch einen Versuch in einem unabhängigen Labor nachzuweisen. Da es sich dabei um einen relativen Test handelt - Nager lassen sich nicht normieren - stellt die SBB zugelassene und unkenntlich gemachte Kabelmuster als Vergleichsbasis zur Verfügung.



Das seit 1985 aufgebaute LWL-Kabelnetz auf dem SBB-Trasse ist heute mehrere tausend Kilometer lang. Entsprechend dem Motto: „Einbauen und vergessen“ führen wir keine Fehlerstatistik. Die Anzahl Nagetierschäden mit Durchbiss einer Faser lassen sich an einer Hand abzählen. Erheblich mehr Störungen erleiden wir durch mechanische Beschädigungen, speziell im Bereich von Baustellen. Das Baustellenpersonal muss auf die Empfindlichkeit aller Kabel, auch Kupferkabel, sensibilisiert werden. Zudem ist dem provisorischen Kabelschutz im Baustellenbereich genügende Aufmerksamkeit zu schenken.

Die SBB sieht sich nicht veranlasst vom aktuellen, metallfreien LWL-Kabelaufbau wegzugehen. Die Vorteile der Metallfreiheit (Arbeitssicherheit, Gewicht) überwiegen gegenüber den wenigen Nagetierschäden. Die absolute Zuverlässigkeit gibt es nicht. Für die Störungsbehebung ist ein schnelles, gut ausgebildetes Reparaturteam erforderlich, das den Unterbruch auf ein Minimum reduziert und unter Zeitdruck und teilweise misslichen Wetterbedingungen beste Qualität abliefert.

**Datenblatt LWL-Kabel Typ ... – GGT**


**Typenbezeichnung:** nach Pflichtenheft SBB Nr 3001.92.1000.

E-.DZ-GGT-..FG/50	mit Multimode-Faser	(G.651)	50/125 µm	λ = 850/1310 nm
E-.DZ-GGT-..FS/A	mit Monomode-Faser	(G.652)	dispersionsnormal	λ = 1300 nm
E-.DZ-GGT-..FS/G	mit Monomode-Faser	(G.653)	dispersionsgeschoben	λ = 1550 nm
E-.DZ-GGT-..FS/NZD	mit Monomode-Faser	(G.655)	non-zero-dispersion-shifted	λ = 1550 nm

**Mechanische Eigenschaften:**

Aussendurchmesser	:	13 ... 19 mm
Gewicht	:	280 kg/km
Min. Biegeradius		
• ohne Zugbelastung	:	300 mm
• mit Zugbelastung	:	400 mm
Max. Zugbelastung		
• kurzzeitig (1 min)	:	≥ 600 daN
• dauernd (24h)	:	≥ 100 daN
Querdruckfestigkeit		
• kurzzeitig (1 min)	:	80 N/mm
• dauernd (24h)	:	30 N/mm
Betriebstemperatur	:	- 20 ... + 60° C
Nagetierschutz	:	≥ 43'000 Tex

**Typische Eigenschaften:**

- Gelfreies, längswasserdichtes Bündel
- Nagetierschutz und Zugentlastung kombiniert (längswasserdicht)
- Gute Querdruckfestigkeit

**Anwendungsbereich:**

- Komplexe Kabeltrasse, zB als Streckenkabel

## Literatur LWL-Netze

### Literaturhinweise

- Bajenescio, Titu I., 1994. Synchronous Digital Hierarchy- SDH. Bulletin SEV/VSE 9/94, S. 17-22.
- Bajenescio, Titu I., 1996. Der Markt verlangt nach SDH und ATM. Bulletin SEV/VSE 3/96, S. 23-28.
- Cop, Richard, 1993. Im Netz gefangen. Chronos Verlag Zürich.
- Decotignie, Jean-Dominique, 1994. Die Feldbusse - der grosse Basar. Bulletin SEV/VSE 3/94, S. 27- 34.
- Dupraz, Jaques, 1996, 1996. Die Warteschlange, das Herzstück der ATM-Technik. ComTec 2/1996, S. 22-27.
- Koopmann, Günther, 1995. ATM revolutioniert die öffentlichen Netze. SEV/VSE-Bulletin 25/95.
- Lubich, Hannes P., 1996. Sicherheitsaspekte im Internet. Bulletin SEV/VSE 3/96, S. 11-14. NetEdge.ATM Connect, Product Introduction, 1996.
- Jäger,H., aktuelles Forschungsprojekt an der ETH Zürich in Anlehnung an das COST239 Projekt der EU.
- Huber, N., 1993 Networks, B-ISDN. In the electrical Engineering Handbook, CDR Press, page 1441-1447.
- Kündig, Albert, 1994. Multimedia-Schlagwort oder Chance für die Telekommunikation? Bulletin SEV/VSE 25/94, S.11-20.
- LEXIKON der „Netzwerke und Kommunikation“, von Edith Sollfrank und Axel Mario Tietz, AWI Aktuelles Wissen Verlagsgesellschaft mbH, 2. Auflage 1995.
- Leuthold, Peter, 1994. Megatrends der Telekommunikation- Chancen für Gross und Kleinunternehmen. Bulletin SEV/VSE 21/94, S. 11-15.
- Mahlke,G., P. Gössing 1995. Lichtwellenleiterkabel. Siemens, Publicis MCD Verlag.
- Ochsner, Heinz, 1994. Mobilkommunikation: Dienste für jedermann Teil 2: Übersicht über die Sprachdienste. Bulletin SEV/VSE 19/94, S. 41-45.
- Ochsner, Heinz, 1994. Mobilkommunikation: Dienste für jedermann, Teil 1. Sprachkommunikation. Bulletin SEV/VSE 17/94, S. 11-15.
- Théry, Gerhard, Les autoroutes de l'information. Rapport au Premier ministre. La Documentation Française, 1994.
- Perny, Beat, Christian Zimmer, Nicolas Gisin, „Die Monomodefaser ist doch nicht monomode“, ComTec 5/1997, S. 46 – 56.

**Empfehlenswerte technisch-wissenschaftliche Bücher:**

- Badach, Anatol, E. Hoffmann, O. Knauer, 1995. „High Speed Internetworking: Grundlagen und Konzepte für den Einsatz von FDDI und ATM“. Addison-Wesley Verlag.
- Lindberg, C.Bertil, 1995. „Digital Broadband Networks & Services“, McGraw-Hill Series on Computer Communications.
- Hein, Mathias und Theo Vollmer, 1996. „Bay Networks Connectivity Guide 1996“, Fossil Edition Netze, Köln.
- Freeman, Roger L., 1999. „Fundamentals of Telecommunications“, John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Fontolliet, Pierre-Gérard, 1996. „Traité d'électricité de l'EPF-Lausanne, Vol. XVIII; Système de Télécommunications“, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes.
- Surmely, Philippe, 1995. „La Fibre Optique; Technologies et applications“, Masson, Paris.
- Kiefer, Roland, 1997. „Messtechnik in digitalen Netzen“ (Troubleshooting für PDH, SDH, ISDN und ATM), Hüthig Verlag Heidelberg.



## Teilnehmerverzeichnis

Albrecht	Hansjörg	Baudir.Kt.ZH	Urdorf
Altermatt	Patrick	Diamond	Volketswil
Ammon	Roman	Baumann Koelliker	Zürich
Bär	Beat	EA	Schaffhausen
Bärtschi	Roland	EWB	Bern
Barrer	René	WDC	Schönenwerd
Benort	Francis	diAx	Wallisellen
Bieg	Sandra	Hunger AG	Chur
Bieli	Roland	Elektra Thal	Matzendorf
Bischofberger Dr.	Toni	Reichle & De-Massari	Wetzikon
Bissig	Alois	ABL	Altdorf
Blöchlinger	Heinz	LigtCom	Baden-Dättwil
Bölle	Peter	Huber + Monsch	St. Gallen
Böni	René	ETG Salzmann	Visp
Bräunlich Dr.	Reinhold	FKH	Zürich
Brendel	Jürgen	LUCIOL	Nyon
Brunold	Hans-Peter	CUREA	Chur
Brunold	Renzo	CUREA	Chur
Büttiker	Jörg	diAx	Wallisellen
Burgert	Andreas	FKH	Zürich
Cavelti	Giusep	SW Luzern	Luzern
Cejka	Toralf	Brugg Telecom	Brugg
Coretti	Remo	BKW	Nidau
Dahinden	Eric	Licht- und Kraftwerk Glattfelden	Glattfelden
Dall'Ara	Roberto	Opto Speed	Mezzovico
Degen	Andreas	IWB	Basel
Dentzer	Willi	SASAG	Schaffhausen
De Steffani	Thomas	Colt Telecom	Zürich
Dorn	Andreas	GAP Optique SA	Genève
Eichmann	Konrad	WICAB AG	Kronbühl
Eng	Martin	Computer Controls AG	Zürich
Erni	Josef	protelecom	Bern
Erni	Xaver	sunrise	Rümlang
Ernst	Daniel	DIAMOND	Losone
Fankhauser	Armin	BKW	Nidau
Federli	Andreas	SASAG	Schaffhausen
Fehlbaum	Jean	Alcatel	Cortailod
Felix	Bartholomä	Optonet	Oberbüren
Filipowicz Dr.	Frank	diAx	Wallisellen
Fischler	Walter	SW Luzern	Luzern
Flury	Christian	Onyx	Langenthal
Föllmi	Beat	Elektron	Au
Fougères Dr.	André	GAP Optique SA	Genève
Freudiger	Thomas	BKW	Bern 25
Friedrich Dr.	Giorgio	diAx	Zürich
Füger	Alex	diAx	Wallisellen
Galluccio	Claudio	Huber + Suhner	Herisau
Gaus	René	EKT	Arbon



## FKH Fachtagung 2000 „Lichtwellenleiter-Hochleistungsnetze“

Gerber	Werner	Onyx	Langenthal
Glauser	Urs	diAx	Wallisellen
Gretener	Alex	Colt Telecom	Zürich
Grieder	Roger	Schweiz. TF	Winterthur
Hagg	Markus	Colt Telecom	Zürich
Hähni	René	Swisscom	Bern
Hänni	Siomon	sunrise	Rümlang
Hässig	Martin	FKH	Zürich
Hammer	Dirk	diAx	Wallisellen
Haumüller	Markus	Commcare	Schlieren
Heller	Kurt	Baumann Koelliker	Zürich
Higuera	Lorenzo	CUREA	Chur
Hochreutiner	François	diAx	Wallisellen
Hönel	Dieter	GasLINE	Essen
Horat	David	Diamond	Losone
Huber	Christof	StWW	Winterthur
Huber	Walter	Swisscom	Bernhardzell
Hunger	Beat	Hunger AG	Chur
Imhof	Silvan	W&G	Bern
Imholz	Urs	Dätwyler	Altdorf
Indermühle	Edwin	Huber + Suhner	Herisau
Ineichen	Franz	Swisscom	Luzern
Janka	Alfred	Swisscom	Zürich
Jauch	André	diAx	Wallisellen
Jauch	Daniel	Dätwyler	Altdorf
Jermini	Mauro	Swisscom	Bern
Jung	Hans-Peter	WSP	Hinwil
Kast	Manfred	Swisscom	Staad
Kern	Peter	EBM	Münchenstein
Kobel	René	Swisscom	Luzern
König	Jürg	sunrise	Rümlang
Kohler	Otto	Bär AG	Fehraltorf
Kohler	Roland	Reichle & De-Massari	Wetzikon
Kolb	Markus	Reichle & De-Massari	Wetzikon
Kolleger	Andy	EWA	Arosa
Küng	Markus	IWB	Basel
Kunz	Dieter	Reichle & De-Massari	Wetzikon
Leibundgut Dr.	Hansjürg	Amstein & Walthert AG	Zürich
Lingwood	Stephen	Amstein & Walthert AG	Zürich
Lüthi	Thomas	EWZ	Zürich
Lustenberger	Pirmin	SW Luzern	Luzern
Maag	Rolf	Commcare	Schlieren
Marazzi Dir.	Silvio	Diamond	Losone-Locarno
Marti	Roland	FKH	Zürich
Martinez	Pedro	sunrise	Rümlang
Meerkamper	Marco	MK	Zürich
Mele	Adamo	FKH	Zürich
Messmann	Peter	EWZ	Zürich
Meier	Marcel	Optonet	Oberbüren
Meyer	Carel	FKH	Zürich
Mullis	Jules	Mullis + Cavegn	Chur
Murbach	Heinz	Cablecom	Yverdon-les-Bains



## FKH Fachtagung 2000 „Lichtwellenleiter-Hochleistungsnetze“

Nellen Dr. Neuhold Novak	Philipp Stefan Ivan	EMPA FKH sbo	Dübendorf Zürich Olten
Ott	Raphael	diAx	Wallisellen
Parisot Perny Dr. Poletti	Bernard Beat Hans	Bauamt OW Swisscom Dätwyler AG	Sarnen Bern Altdorf
Rogentin Rütschi Salzmann Saudan	Marcel Heidi Stefan Thierry	CUREA FKH ETG Salzmann diAx	Chur Zürich Visp Wallisellen
Schärer Schlatter Schlup Schmid Dr. Schmutz Schneider Prof. Schnyder Scholl Schöni Schüpbach	Oskar Andreas Markus Roland Thomas Martin Bruno Peter Fritz Simon	Schärer Cosit ZHW EnBW Telekommunikation Rechsteiner AG ZHW ATEL SBB BKW HESO	Finstersee Zürich Winterthur Stuttgart Liestal Winterthur Olten Bern Bern 25 Aesch
Siriu Socchi	Tomaso Diego	Baumann Koelliker EA	Zürich Schaffhausen
Steinegger Stempfel Storf Stracquadanio Strimer Strub Studer Sutter	Egon Jacques Günther Graziano Andrea Helmut Kurt Ernst	Elektron Swisscom FKH diAx Weisse Arena NOK Optonet EKT	Au Fribourg Zürich Wallisellen Laax Baden Oberbüren Arbon
Untersander	Marcel	Computer Controls AG	Zürich
Tresch	Rolf	EWZ	Zürich
Vogel Vogt von Deschwanden	Daniel René Toni	diAx LTN FKH	Wallisellen Vaduz Zürich
Wächter Weber Weber Wicky Widmer Wildi Wirth Wirz	Roland Hansruedi Martin Phillip Johann Peter Urs Rolf	SEV IBA EGL Reichle & De-Massari Cosit Tiefbau. GR ABB ATEL	Fehraltorf Aarau Laufenburg Wetzikon Zürich Chur Zürich Olten
Zimmermann Zimmermann Zollinger Züllig	Markus Philippe Rolf Lars	SW Luzern EOS Reichle & De-Massari Reichle & De-Massari	Luzern Lausanne Wetzikon Wetzikon



FKH Fachtagung 2000 „Lichtwellenleiter-Hochleistungsnetze“

Züllig  
Zurbuchen  
Zurfluh

Marc  
Ruedi  
Erich

Huber + Suhner  
Wavetek  
Dätwyler

Herisau  
Bern  
Altdorf



## Referentenadressen

Blöchlinger	Heinz	LightCom Täferstrasse 18 5405 Baden-Dättwil	lightcom@access.ch Tel 056 470 33 00 Fax 056 470 33 01
Bräunlich Dr.	Reinhold	FKH Voltastrasse 9 8044 Zürich	braeunlich@fkh.ch Tel 01 253 62 62 Fax 01 253 62 60
Dall'Ara	Roberto	Opto Speed SA Via Cantonale 6805 Mezzovico	rdallara@optospeed.com Tel 091 935 52 52 Fax 091 935 52 62
Ernst	Daniel	DIAMOND SA Via dei Patrizi 5 6616 Losone	pt@diamond-fo.com Tel 091 785 45 45 Fax 091 785 45 41
Fehlbaum	Jean	ALCATEL CABLE SUISSE SA Product Line Installation Avenue François Borel 1 2016 Cortaillod	fehlbaum@alcatel-cable.ch Tel 032 843 53 69 Fax 032 843 51 28
Fougères Dr.	André	GAP Optique SA Ecole-Médecine 20 1211 Genève 4	afougeres@exfo.com Tel 022 702 68 41 Fax 022 781 09 80
Friedrich Dr.	Giorgio	diAx Network Planning Department Thurgauerstrasse 60 8050 Zürich	friedrich@diAx.ch Tel 01 300 43 10 Fax 01 300 42 12
Marazzi Dir.	Silvio	DIAMOND SA Via dei Patrizi 5 6616 Losone-Locarno	pt@diamond-fo.com Tel 091 785 45 45 Fax 091 785 45 41
Perny Dr.	Beat	Corporate Technology Access Transport and Switching Zentweg 27 3050 Bern	beat.perny@swisscom.com Tel 031 342 73 33 Fax 031 342 99 03
Scholl	Peter	Schweiz. Bundesbahnen SBB Anlagen-Management Eng. Bahnsystem – Signalanl., Automation, Kabel Schanzenstrasse 5 3000 Bern 65	peter.scholl@sbb.ch Tel 051 220 40 40 Fax 051 220 50 14