

© 2011 Carl Hanser Verlag, München www.laser-photonik.de Nicht zur Verwendung in Intranet- und Internet-Angeboten sowie elektronischen Verteilern.

Glasfaser ermöglicht Einblicke in Materie, Raum und Zeit

DIE DEUTSCHE FIRMA tde – trans data elektronik HAT ANTEIL AN DER OPTISCHEN VERKABELUNG DES KERNFORSCHUNGSZENTRUMS CERN

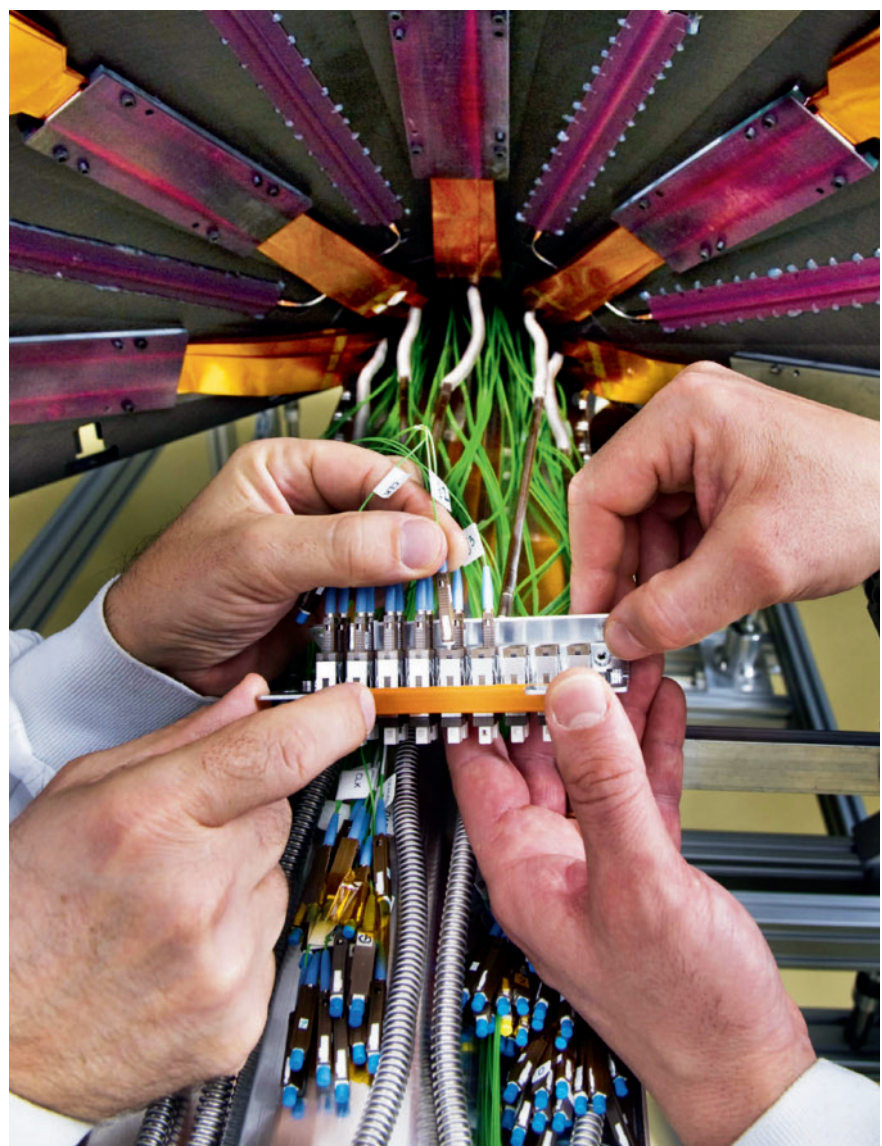
Zum Transport der Daten wurde in dem im Kanton Genf gelegenen Kernforschungszentrum CERN eins der größten Glasfaser-Netzwerke der Welt geschaffen. Das Netzwerk soll 1 TB/s übertragen, wozu die Installation anwendungsspezifischer faseroptischer Spezialanfertigungen nötig war.

WILFRIED SCHNEIDER

Das Forschungszentrum CERN, oder offiziell die Europäische Organisation für Kernforschung, befindet sich im Schweizer Kanton Genf und wurde 1954 als europäisches Gemeinschaftsunternehmen gegründet. Das CERN ist das größte und modernste Teilchenphysik-Forschungszentrum der Welt (**Bild 1**). Aktuell erforschen Wissenschaftler aus aller Welt mithilfe eines gigantischen Teilchenbeschleunigers, wie es zu der Entstehung unseres Universums kam, woraus Materie besteht und durch welche Kräfte sie zusammengehalten wird – weithin bekannt als Urknall-Experiment.

Simulation des Urknalls

Der CERN-Teilchenbeschleuniger, genannt Large Hadron Collider (LHC), weist einen Gesamtumfang von knapp 27 km auf. Es werden darin Protonen und geladene Atomkerne mithilfe von 1300 supraleiten-



den Elektromagneten auf annähernd Lichtgeschwindigkeit beschleunigt und zum Zusammenstoß gebracht. Das »LHC«-Projekt setzt sich aus den Labors »ATLAS«, »CMS«, »ALICE« und »LHCb« sowie vier anderen Experimenten zusammen, die alle von

internationalen Teams betrieben werden. Die Labors und Experimente befinden sich an der Oberfläche des CERN-Komplexes, sieben in Frankreich und eines in der Schweiz. Unterirdisch in 100 m Tiefe, in den Kavernen entlang des unterirdischen



1 Die Ausmaße des unterirdischen CERN-Teilchenbeschleunigers aus der Vogelperspektive

LHC-Beschleunigerring, sind die vier LHC-Detektoren installiert. Mit ihnen werden die Teilchen sichtbar gemacht und ihre Eigenschaften und Reaktionen untersucht. Seit November 2009 werden wieder Strahlen im Beschleuniger injiziert, die eine Energie von bis zu 7 Teravolt (TeV) erreichen sollen. Die bei dieser Energie resultierenden Teilchenkollisionen von bis zu 14 TeV sollen Aufschlüsse über die Entstehung unseres Universums geben.

Hochkomplexe Infrastruktur

Zur Umsetzung des Projekts wurde in den letzten sieben Jahren ein *high-tech* Kommunikationsnetzwerk entwickelt und aufgebaut. Es besteht aus 2000 km Glasfaserkabel, wobei etwa 20000 Strecken mit rund 25 Millionen Metern Fasern entstanden. Das ist vergleichbar mit der Verkabelungsstruktur einer Großstadt (Bild 2). Das redundant aufgebaute Netz dient in erster Linie dazu, die Teilchenbeschleunigung zu synchronisieren und die Messwerte in Echtzeit zu übertragen. Zentrale Anwendungen des Glasfasernetzwerks sind das CERN-interne GbE-Netzwerk und das der Experimente. Des Weiteren sind verschiedene Steuerungs- und Sicherheitssysteme integriert. Die Core-Switches und Router des technischen Netzwerks befinden sich in Kontrollräumen an der Oberfläche, die Edge-Geräte in den Technikräumen rund um den LHC.

Das »Beam Instrumentation System« verfügt über ein separates Netz. Ungefähr alle 50 m im Tunnel (Bild 3) gibt es einen Beobachtungspunkt, um die Position der losgeschossenen Teilchen im LHC genau bestimmen zu können. Zirka 5000 Geräte rund um den Beschleuniger schicken etwa 600 verschiedene Signale zur Oberfläche

und in den Hauptkontrollraum. Damit keine Laufzeitprobleme auftreten, weisen die Glasfaserverbindungen außerordentlich gute Dämpfungseigenschaften auf und genügen sehr engen Längertoleranzen. Um eine »beam synchronisation« im Bereich von 10 ps zu erreichen, kommen außerdem elektronische Hilfsmittel wie Phasenregelschleifen (*phase-locked loops*) zum Einsatz, mit denen man in den optischen Übertragungsmedien stabile Frequenzen erreicht.

Maßgeschneiderte Lösungen

Bei der Auswahl der optischen Fasern hat man sich weitestgehend auf zwei Typen beschränkt: G.651 50/125 µm *multimode* Gradientenindexfasern für die Oberflächenverkabelung und G.652.B 9/125 µm *singlemode* Fasern. Im Tunnel kamen ausschließlich Letztere zum Einsatz, da *singlemode* Fasern keine Dotierstoffe beinhalten und unter Strahleneinfluss nicht so schnell verdunkeln. Viele davon sind zudem Spezialausführungen mit einem 14-fach verbesserten Temperaturkoeffizienten.

Es war bereits von vornherein klar, dass die Lichtwellenleiter im Tunnel hochenergetischer physikalischer Strahlung ausgesetzt sein würden, was die Dämpfung in den

KONTAKT

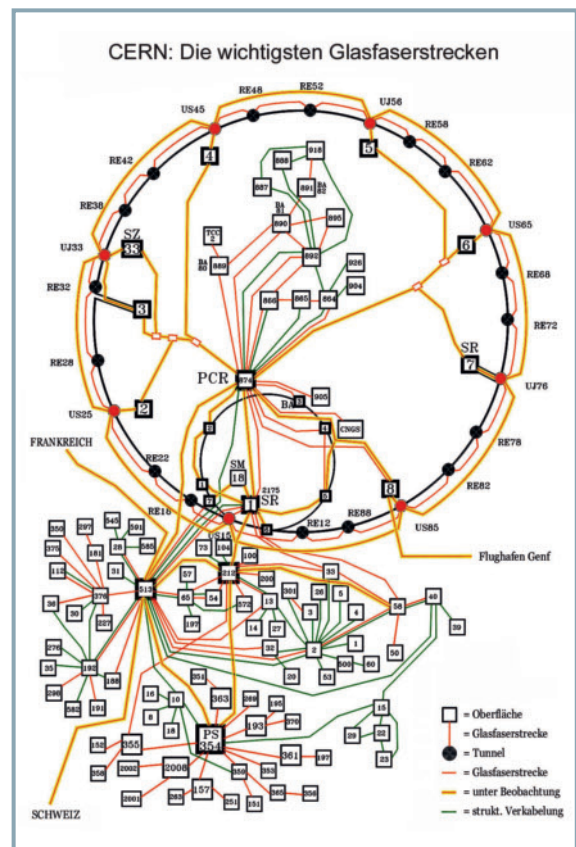
tde - trans data elektronik GmbH
44141 Dortmund, Deutschland
Tel. +49 (0)231 160480
info@tde.de
www.tde.de

Fasern erhöht. Deshalb wurden hier spezielle strahlungsbeständige Kabel des japanischen Glasfaserspezialisten Fujikura installiert.

Um bei der Faserterminierung optimale Einfüge- und Rückfluss-Dämpfungswerte zu erhalten, investierte tde - transdata elektronik erheblich in neue Techniken und entwickelte neue Fertigungsprozesse. Zum Beispiel wurden alle *singlemode* Fasern mit »E2000/APC«-Anschlüssen mit 8° Schrägschliff abgeschlossen, damals zur Zeit der Installation eine völlig neue Technologie.

MPO für High Density Anforderungen

Für den LHC entwickelte tde in den letzten Jahren – teils unter immensem Zeitdruck – immer mehr Spezialanfertigungen. AL- ▶



2 Die wichtigsten Glasfaserstrecken



3 Im Tunnel des Teilchenbeschleunigers

lein für die Experimente mussten viele spezielle optische Installationen fertiggestellt werden. Das ALICE-Experiment benötigte zum Beispiel sehr komplexe Installationen in »High Density«.

Für dieses Projekt hat tde die MPO-Technologie in *singlemode* und *multimode* in der eigenen Fertigung getoolt. »Wir haben spezielle Polierprozesse entwickelt, einen hochpräzisen Kleberoboter angeschafft und mit Kleberdosierungen und Produktionstemperaturen experimentiert, um bei der Faserkonfektionierung die geeigneten Produkte – heute Teil des hauseigenen tML-Systems – liefern zu können«, erklärt André Engel, Geschäftsführer von tde. »Damit es bei den Glasfaser-Trunkkabeln keine Signallaufzeitdifferenzen gibt, bestanden außerdem sehr enge Toleranzen, was die Längen der Einzelkabel betrifft.« So entstanden für ALICE unter anderem zehn 48-fasrige, 96,27 m lange, mit MPO-Steckern vorkonfektionierte *singlemode* Trunkkabel, die Längendifferenzen von nur wenigen Zentimetern aufweisen. Insgesamt sind bei CERN mehr als 4000 MPO-Konfektionen in *singlemode* und *multimode* verbaut.

Mikrorohre und -kabel

Im Laufe der Jahre haben die Installateure am Forschungszentrum über 2000 km metallfreie Mikrorohre mit einem Durchmesser von 7 bis 10 mm in größere Schutzrohre eingeblasen. Für die Minikabel wurde ein Microjet eingesetzt. Mit kaskadierten Geräten konnten sie Einblasstrecken von bis zu 3,4 km realisieren.

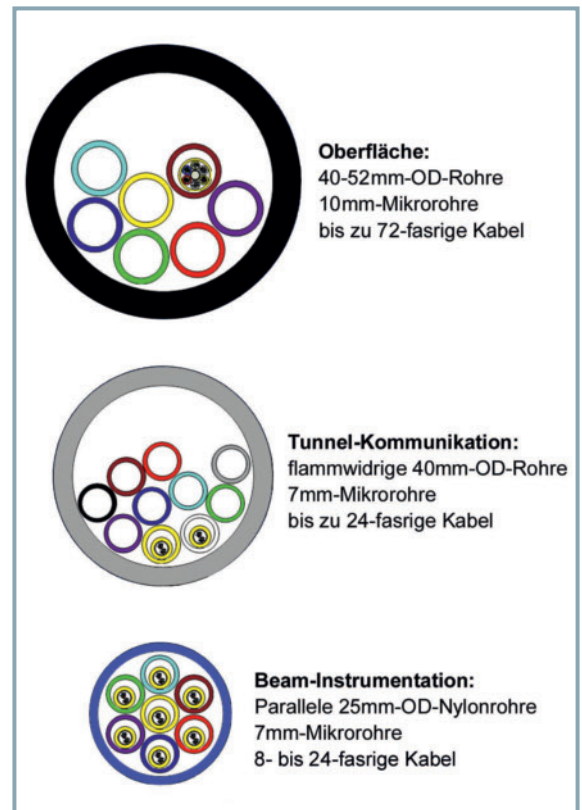
Dieses System bietet neben dem optimalen Blitzschutz gleich mehrere Vorteile: »pay as you grow«, Abzweigungen ohne Spleißen und ein einfaches Ersetzen beschädigter oder älterer Kabel.

In den Schächten zwischen dem LHC und der Oberfläche verlaufen die Kabel in *high-density polyethylen* Rohren parallel zu den Stromkabeln. Zum Teil handelt es sich dabei um spezifizierte »*loose tubes*« Kabel mit bis zu 216 Fasern, zum Teil um bis zu 72-fasrige Minikabel in Mikrorohren. Für das unterirdische LHC-Kommunikations- und Maschinensteuerungsnetzwerk setzt CERN flammwidrige Schutzrohre ein (Bild 4). Rund um den Beschleuniger sind je sieben 7 mm Mikrorohre in vier parallele 25mm Nylonrohre eingeblasen, die sich durch den gesamten Tunnel ziehen. So konnte alle 350 m eine Abzweigung und alle 50 m ein Auslass geschaffen werden, von dem aus je ein Paar der Strahlpositionskontrollen mit sechs bis acht *singlemode* Fasern angefahren wird.

Faserüberwachung

Um die hohen Anforderungen an eine störungsfreie

Übertragung erfüllen zu können, ist weiterhin eine permanente Faserüberwachung notwendig. Das Genfer CERN-Labor benutzt dafür eine automatisierte optische Zeitbereichs-Reflektometrie (*optical time domain-reflectometry*, OTDR) mit einer Wellenlänge von 1550 nm, bei der die Glasfaser selbst als Messsensor fungiert. Wenn physikalische Messgrößen wie Temperatur, Druck- und Zugkräfte auf die Glasfaser einwirken, ändern sich die



4 Verschiedene Faserinstallationen am Forschungszentrum CERN

Eigenschaften der Lichtleitungen in der Faser lokal. Anhand der zunehmenden Streuung, die mit einer höheren Dämpfung einhergeht, kann der Ort der äußeren Einwirkung festgestellt und der Lichtwellenleiter rechtzeitig – in Strahlungsbereichen etwa alle drei bis fünf Jahre – und innerhalb weniger Stunden ersetzt werden.

Vom CERN ins Rechenzentrum

Das während des CERN-Projekts entwickelte Know-how ließ die Firma tde unmittelbar in das eigene modulare Ver-

men, die Einsparungen in der Verkabelung anstreben, ein Baukastenprinzip auf höchstem technischen Niveau bei maximaler Packungsdichte«, erklärt André Engel. Trotz der höheren Funktionalität des Systems gegenüber herkömmlichen Verkabelungssystemen sind die Kosten und Brandlasten erheblich niedriger und die Installation der Komponenten ist durch den modularen Aufbau denkbar einfach.

Durch die Halbierung des Platzbedarfs in Schränken und Kabeltrassen ist tML eine enorm schlanke Lösung. Beispielsweise genügt für die Verbindung zweier »6 Port RJ45« Module ein Kabel mit nur

sich um werkseitig vorkonfektionierte und getestete Systemkomponenten, die eine Vor-Ort *plug&play* Installation innerhalb kürzester Zeit ermöglichen. Durch die Wiederverwendbarkeit der Systemkomponenten sind Änderungen oder Erweiterungen kostengünstig und schnell realisierbar, sodass ein hoher Investitionsschutz gewährleistet ist.

Fazit

Am Forschungszentrum CERN wurden seit jeher technologische Entwicklungen auf den Weg gebracht, die das Leben der Menschen langfristig bereichern haben – man denke nur an das World Wide Web. Allen Befürchtungen zum Trotz dreht sich die Welt in gewohnter Manier – und das obwohl am 30. März 2010 im Large Hadron Collider des CERN-Projekts Atome mit nahezu Lichtgeschwindigkeit aufeinanderprallten und so dem Szenario des Urknalls sehr nahe kamen. Dabei konnte eine Fülle aufschlussreicher Messdaten gesammelt werden. Viele während des CERN-Projekts gewonnenen Erkenntnisse konnten in die Verkabelungstechnologie einfließen und haben dazu beigetragen, die passive Infrastruktur von Rechenzentren und die herkömmliche Gebäudeverkabelung entscheidend zu verbessern.

AUTOR

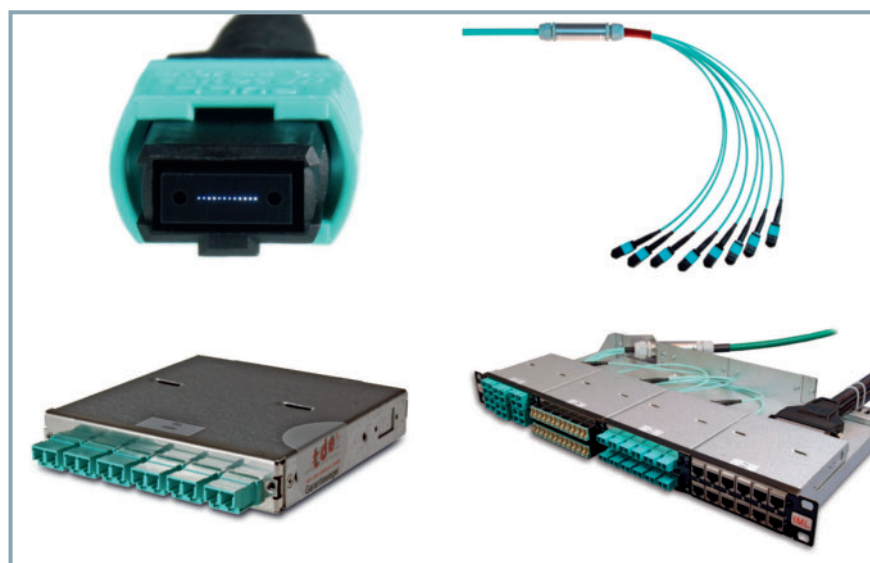
WILFRIED SCHNEIDER ist Chief Technology Officer (CTO) bei tde - trans data elektronik. Im Rahmen seiner Mitgliedschaft im DKE/VDE-Normungsgremium »LWL-Verbindungstechnik und passive optische Komponenten« ist er an der Ausarbeitung der internationalen Normen von IEC und CENELEC beteiligt.

■ www.laser-photonik.de

Diesen Artikel finden Sie online unter der Dokumentennummer **LP110098**

■ www.laser-photonics.eu

You can find this article online by entering the document number **eLP110098**



5 tML MPO-Modul aus dem Hause tde - trans data elektronik

kabelungssystem tML einfließen. Hinter »tML – tde Modular Link« verbirgt sich ein modulares Konzept bestehend aus den Kernkomponenten Modul, Trunkkabel und Modulträger (Bild 5). Dieses flexible und kompakte Verkabelungssystem ist schnell installierbar, ressourcen- und energieschonend und jederzeit auf zukünftige Übertragungsgeschwindigkeiten von bis zu 100 Gigabit Ethernet skalierbar.

»Das tML-System basiert auf unseren Erfahrungen und Entwicklungen für das CERN-Projekt. Wir bieten damit Unterneh-

14 mm Durchmesser. Zum anderen lassen sich die vorkonfektionierten Module und Kabel in einem Bruchteil der bei herkömmlichen Systemen benötigten Zeit installieren – Spleiß- und Auflegearbeiten entfallen komplett, und damit auch mögliche Fehlerquellen. Ein nachhaltiger Spareffekt zeigt sich auch bei Erweiterungen und Modifikationen, die jederzeit mit geringstem Kostenaufwand durchführbar sind.

Bei den drei Kernkomponenten Modul, Trunkkabel und Modulträger handelt es