Qualitätsmessungen bei Lichtwellenleitern

Autor(en): **Friedrich, Giorgio**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin.ch : Fachzeitschrift und Verbandsinformationen von Electrosuisse, VSE = revue spécialisée et informations des associations Electrosuisse, AES**

Band (Jahr): **102 (2011)**

Heft 8

PDF erstellt am: **28.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-856838

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Qualitätsmessungen bei Lichtwellenleitern

Ermittlung der technischen Grenze von Übertragungsraten

Die Ansprüche an Lichtwellenleiternetze steigen kontinuierlich. Wurde vor 5 Jahren noch von Übertragungsraten im Bereich von 1–2,5 Gbit/s gesprochen, können heute Daten mit 40 Gbit/s und mehr übertragen werden. Weitere Steigerungen sind durch das sogenannte «dichte Wellenlängenmultiplex-Verfahren» (DWDM) realisierbar, auch werden neue Modulationstechniken (Mehrstufen-Codierung) in Betracht gezogen. Ein Blick auf die erforderlichen Lichtwellenleiter-Qualitäten.

Giorgio Friedrich

Bei heutigen Übertragungsraten von teilweise sogar über 10 Gbit/s werden nicht nur an die Peripheriegeräte, sondern vor allem auch an die Lichtwellenleiter (LWL) und deren Komponenten (Stecker, Patchcords, Pigtails, KEV-Organisation) hohe Anforderungen gestellt. Zur Qualitätsbeurteilung gewinnen zunehmend Dispersionsmessungen (Messungen der Laufzeiten unterschiedlicher Signale) an Bedeutung.

Polarisationsmoden-Dispersion

Die meist dominante Polarisationsmodendispersion (PMD) ergibt sich aus den Laufzeitdifferenzen zweier orthogonal schwingender Ausbreitungsmoden im LWL (**Bild** und TR IEC 61282-9). Sie führt zu Impulsverbreiterungen und -verflachungen und damit zu einer Zunahme der Bitfehler (Intersymbolfehler). In den meisten schweizerischen Hochleistungsnetzen wurde deshalb für die PMD eine obere Limite von 0,5 ps/√km in 10-Gbit/s-Netzen, für 40-Gbit/s-Netze der Bereich von 0,2 ps/√km angestrebt.

Ursachen

Die Dispersion wird durch die Doppelbrechung (Birefringenz) in einer asymmetrischen Faser verursacht. Zwei Beiträge beeinflussen dies:

- Intrinsic: innerer Beitrag (Symmetrie der Dotierung und Stressfreiheit bei der Produktion der Glasfaser)
- Extrinsic: äusserer Beitrag (durch Torsion, longitudinalen Stress, Querdrücke, Biegungen, Wasserstoff- und Wassereinbrüche usw.).

Letztere Einwirkungen sind durch die Güte der Verseilung (Kabelaufbau), Installation, Montage des LWL in weiten Bereichen stark beeinflussbar und können durch sachkundige Anleitung minimiert werden.

Ebenso wichtig ist die korrekte Verlegung der LWL. In jüngster Zeit konnten im realen Netz mehrfach Abhängigkeiten zwischen mechanischen und technischen Umgebungsbedingungen einerseits und dem PMD-Koeffizienten andererseits festgestellt werden [1, 2].

Typische Messresultate von neuen LWL liegen heute bei 0,2–0,3 ps/√km. «Ausreisser» können auch in qualitativ hochstehenden Netzen Werte über 0,5 ps/√km zeigen. Ältere (über 3 Jahre) und beschädigte/gestresste Kabel besitzen höhere Werte. Die Erfahrung zeigt, dass es bei Strecken mit einer optischen Länge über 4,5 km vorteilhaft ist, die PMD-Werte auf allen Fasern zu ermitteln. Faserhersteller sind heute herausgefordert, durch spezielle Herstellungsverfahren (symmetrische Dotierung) eine starke Kopplung der Ausbreitungsmoden sicherzustellen, um geringe Streuungen in den PMD-Messwerten mit gleichzeitig tiefen Grenzwerten zu erreichen.

In der **Tabelle** wird der Zusammenhang zwischen PMD-Koeffizient, Streckenlänge und Bitrate bei fest vorgegebenen tolerierten Verzögerungswerten von 8 % der digitalen Pulsbreite aufgezeigt. Hierbei ist ein Anteil von gut 2 % für den Komponenteneinfluss bereits eingerechnet (Splitter, xWDM, Kompensatoren, typische Werte von Steckern liegen im fs-Bereich < 0,05 ps), sodass für die reine Faserstrecke mit 6 % der Pulslänge (einfache Modulation) ein empfohlener Richtwert berechnet werden kann: Für Pulsbreiten im 10-Gbit/s-Netz erhält man eine empfohlene PMD-Verzögerungszeit für die reine Faserstrecke von 6 ps, bezogen auf eine typische Netzlänge von 120 km. Dies entspricht einem Koeffizienten von 0,55 ps/√km, den Fasern zugeordnet! Diese operativen Richtlinien (ehemals diAx) sind deutlich schärfer als in der **Tabelle** mit 8 % gerechnet, beinhalten aber die notwendige Sicherheit.

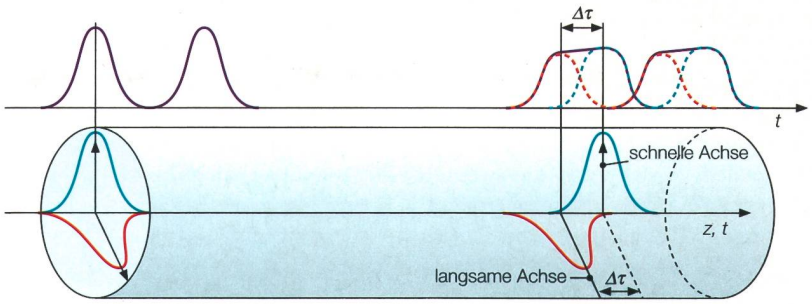
Streng genommen ist der PMD-«Wert» eine statistische Grösse, die einer Verteilung folgt (der Differential Group Delay ist Maxwell-verteilt), welche von der Umwelt beeinflusst wird (Mittelwert, Percentile). Es ist deshalb nie völlig ausgeschlossen, dass Grenzwerte überschritten werden.

Bitrate [Gbit/s]	PMD-Koeffizient [ps/√km]	Strecken-länge [km]
2,5	0,5	4096
	0,2	25 600
	0,08	160 000
10	0,5	256
	0,2	1600
	0,08	10 000
40	0,5	16
	0,2	100
	0,08	625

Tabelle Mit PMD realisierbare Netzlängen bei einer totalen zulässigen Verzögerungszeit von 8 % der Pulslänge, bezüglich der reinen Faserstrecke (ohne Komponenten-Verzögerungszeiten).

Kompatibilität

Unabdingbar ist die Durchsetzung einheitlicher Standards für Strecken, die von mehreren Telekomanbietern genutzt werden. Kompatibilitätsprobleme an Schnittstellen von Netzen unterschiedlicher Qualität verursachen vielerorts bereits heute grosse technische und wirtschaftliche Nachteile, indem ein zukünftiger Ausbau nicht mehr einfach möglich oder nur mit massiven Nachinvestitionen verbunden ist. Eine Notumschaltung ist in solchen Fällen mit einer Leistungseinbusse verbunden.



Friedrich

Bild Auswirkung des PMD-Phänomens auf die Übertragung eines Informationsbit-Impulses in einem Lichtwellenleiter.

Abschätzung

Aus dem Gesagten lässt sich für die Beurteilung der PMD-erfassten Strecken bezüglich der möglichen operativen Signalrate in Gbit/s eine Faustregel ableiten (als Grössengleichung, mit l in km, PMD_{koeff} in ps/√km, Bitrate (Bandbreite in Gbit/s, bezüglich der berechneten Länge l):

$$\text{Bitrate} \geq \frac{60}{PMD_{koeff}\sqrt{l}} \qquad (1)$$

Beispiel

Bei einem gemessenen PMD-Koeffizienten von 0,2 ps/√km und einer optischen Netzlänge von 120 km könnte die Übertragungsrate bei Einfachmodulation bis zu 27,3 Gbit/s betragen (ohne diskrete Komponenten, nur Faserlänge mit Spleissen und Patchcords). Wenn der PMD-Koeffizient hingegen bei 0,5 ps/√km liegt, so käme man nur auf 10,95 Gbit/s! In einem solchen Fall hätte man für Alterung und Ausbau nicht mehr viel Reserve für den Betrieb eines 10-Gbit/s-Netzes.

Hierbei werden implizit im Faktor 60 die 6 % Pulslänge und die Einheitenkorrektur berücksichtigt. Je kleiner also der PMD-Wert ist, desto höhere Datenraten sind realisierbar bzw. erhöht sich die Wahrscheinlichkeit einer fehlerfreien Informationsübertragung.

Werden unterschiedliche Faserabschnitte mit jeweils unterschiedlichen PMD-Verzögerungswerten (hier also in ps) zusammengehängt, so kann der resultierende Wert durch eine längengewichtete Summe berechnet werden:

$$PMD = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} (PMD)_i^2} \qquad (2),$$

siehe auch IEC TR61282-3.

Dies bedeutet, dass auch sehr kurze schlechte Leitungsabschnitte längere gute Leitungen völlig aus der Spezifikation bringen können! Daher wird zur Vermeidung von nicht amortisierbaren Infrastruktur-Netzteilen (NAI) dringend empfohlen, auch scheinbar kurze Leitungsstücke (in Städten) mit der notwendigen Diagnostik einer technischen Abnahme zu unterziehen und die Resultate (Pattern, Muster der PMD) vertieft zu analysieren.

Messung des PMD-Koeffizienten

Für die interferometrische Bestimmung der Verzögerungszeiten ist eine breitbandige Quelle erforderlich, die einseitig in das zu vermessende Netz über einwandfreie optische 8°-Stecker/Kupplungen eingekoppelt wird. Da die spezifische Koeffizientenbildung («PMD-Koeffizient») aber die genaue optische Länge als Eingabegrösse verlangt (ohne Vorspann!), ist vorgängig das Netz mit einem OTDR genau zu vermessen, ebenso ist nach abnormen Sprungstellen nachzusehen; allfällige Korrekturen sind durch Reinigungen der Knotenstellen unbedingt vor der Messung vorzunehmen (siehe IEC 62627 TR, Ed. 1).

Da der jeweilige Kopplungsgrad (Pattern des Signals) je nach Typ des PMD-Messgerätes nicht immer für alle Kopplungsgrade korrekt ausgewertet wird, muss bei der Auswertung der Interferogramme ein Korrekturfaktor berücksichtigt werden. Diese Faktoren sind der IEC TR 61282-9 zu entnehmen.

Vereinfacht erhält man bei grösseren PMD-Werten den GINTY-PMD-Wert (General Interferometry), indem man das TINTY-Resultat (Traditional Interferometry; ältere PMD-Geräte) durch den Formfaktor g_s dividiert. Für ideale starke gekoppelte Signale (strong mode coupling) wird das Interferogramm Gauss-förmig; der Korrekturfaktor wird 1 (= g_s).

Wenn dieser Formfaktor nicht berücksichtigt wird, können leicht Fehlerabweichungen von weit über 30 % auftreten – eine genaue technische Aussage ist nicht mehr möglich. Beim Gebrauch von neueren GINTY-Geräten ist keine Korrektur mehr notwendig.

Zudem ist zu berücksichtigen, dass es sich um momentane Werte handelt, der PMD-Prozess aber einen statistischen Hintergrund aufweist (Histogramme).

Die Interpretation bedarf einer grossen Erfahrung. Ein vollständiges Bild erhält man aber erst mit einer Langzeitmessung, mindestens aber durch eine zeitlich gestaffelte Ermittlung typisch nach 5 bis 10 Jahren, wobei diese Fingerprints (Histogramme) verglichen werden müssten [3].

Zusätzlich spielen noch andere Eigenschaften des Übertragungskanals eine wichtige Rolle für die Übertragungssicherheit bzw. die Bestimmung der Nutzbandbreiten. So gesehen, gibt die oben angegebene Faustregel die mögliche Kanalbandbreite B nur aufgrund der PMD-Restriktion wieder, die aber technisch gesehen sehr restriktiv ausfällt und meist in ihrer Wirkung im praktischen Netzbau stark unterschätzt wird.

Deshalb sei zur Ergänzung auch der Einfluss des Signal-Rausch-Verhältnisses auf die Bitfehlerrate (BER) kurz erläutert.

SNR und Bitfehlerrate

Die Zuverlässigkeit der Übertragung bezüglich der Bitfehler wird auch vom Rauschanteil des Kanals bestimmt. Hierbei spielt der Begriff des Signal-Rausch-Verhältnisses (SNR) eine massgebliche Rolle. Es kann gezeigt werden, dass die Bitfehlerrate (Bit Error Rate, BER) stark vom SNR-Koeffizient abhängt.

Neuere, noch unveröffentlichte Untersuchungen in Zusammenarbeit mit einer Taskforce der TC 86B, WG 6 (mit Celestica, Kanada) geben den Hinweis, dass der Steckerübergang wegen der unterschiedlichen «optischen Wellenimpedanzen»

auf die zu erreichende BER einen erheblichen Einfluss ausübt. Man vermutet, dass der Effekt des modalen Rauschens hier einen wesentlichen Einfluss hat.

Es kann auch gezeigt werden, dass streng nach IEC gefertigte Stecker von guter Qualität (Oberfläche, Geometrie) eher bessere BER hervorbringen (zurzeit wird dieser Effekt in Kanada bei Celestica für IEC untersucht). Dieser Einfluss ist bei Multi-Mode-Anwendungen noch viel ausgeprägter, während bei POF-Applikationen die Link-Performances ganz entscheidend abhängig von der Qualität der kaskadierten Stecker sind, da hier die Modenmischung bzw. die Neu-Anregung von Moden zu ernsthaften Übertragungsproblemen (Signalverschleifung) führt (siehe auch [4, 5]).

Schlussfolgerungen

Die theoretische Datenrate lässt sich auf vielfältige Art ermitteln – mit unterschiedlichen Ergebnissen. Die weitaus einschränkendsten Parameter, die zu nennen sind und deshalb in jedem Falle streng überprüft werden müssen, sind: optisches Budget, durch Erfassung der totalen Verluste (Insertion Loss, durch OTDR und/oder IL-Messgerät in dB) – beeinflusst das SNR-Verhältnis – und PMD (Polarisationsmodendispersion in ps bzw. ps/√km). Aufgrund der angedeuteten Diagnostik-Möglichkeit, durch die indirekte Erfassung der operativen Bandbreite durch die Ermittlung der PMD-Koeffizienten in ps/√km und der gleichzeitigen Berücksichtigung des Kopplungsgrades (Patterns des Signals), kann die folgende Empfehlung zum Schutz der Infrastruktur-Investitionen angegeben werden:

Lieferanten

Die Qualitätskontrolle aller relevanten Komponenten, die zu einem fertigen LWL-Kabel führen, umfasst:

- Faserqualität und deren Überprüfung auf die relevanten Parameter: Sprungstellen (OTDR), PMD usw. zur Sicherstellung der guten Intrinsicwerte, Abnahmeprotokolle des Faserlieferanten!
- Überprüfung der Kabeldimensionierung und Grad der Überlängen; Stressfreiheit bei der Verseilung und Extrudierung; Überprüfung der optischen Eigenschaften, inkl. PMD; Abnahmeprotokoll vor Versand an Kunden.

Installateure

- Einhaltung aller Regeln bei Transport und Montage (Kabelzug, Befestigungen der Armaturen) gemäss Angaben des Herstellers.
- Einbau hochwertiger Stecker und Kupplungen nach IEC 61755/61753.
- Anfertigung von guten Spleissen (≤ 0,05 dB).
- Abnahmeprotokoll, Prüfung der technischen Installation, inkl. Erfassung der relevanten optischen Parameter, IL, RL, OTDR, PMD (z. B. wie bei diAx / EWs vorgegeben).
- Falls zusätzliche Parameter erfasst werden, nach Rücksprache mit Hersteller: Spektrumseigenschaft, chromatische Dispersionen und Auslegung von deren Kompensation.
- Bei komplexen Fehlern «nicht lineares OTDR», schlechten PMD-Werten nach Verlegung, Einsatz eines Brioullin-OTDR, um Art des Stresses ortsaufgelöst zu detektieren; zur Interpretation sind Expertenkenntnisse notwendig.
- Durchsetzung der Montage-Korrekturen und Verifikation der Massnahmen durch optische Messungen.

Betreiber

- Der Betreiber sollte sich früh mit den künftigen Netzbelastungen auseinandersetzen und sich auf die notwendigen Standards ITU, IEC, Cenelec für die Wahl/Einspezifizierung der Komponenten abstützen.
- Die optischen Parameter eindeutig eingrenzen, definieren, fordern bzw. durchsetzen.
- Die vollständigen Abnahmeprotokolle von Lieferanten/Installateuren anordnen, die alle gemäss IEC und Stand des Wissens angefertigt werden müssen.
- Die Installationsarbeiten im Trassee auf Sicht überprüfen.
- Diese Protokolle OTDR, PMD-Patterns/Werte dienen als Referenzpattern bei einer späteren Überprüfung zur Beurteilung der Alterung: Abschätzung der Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit.

Durch eine lückenlose Qualitätssicherung, Fachkompetenz und entsprechende Schulung auf allen Stufen wird sichergestellt, dass die hohen Investitionen der passiven Infrastruktur für die Breitbanderschliessung volkswirtschaftlich sinnvoll sind und keine nicht amortisierbaren Investitionen verursacht werden.

Literatur

L. L. Peterson and B. S. Davie, Computer Networks:a systems approach (Morgan Kaufmann), 1996. ISBN: 1-55860-368-9 (Paperback ISBN: 1-55860-404-9) pp. 94–95.

Referenzen

[1] Nellen et. al., «Long Term Monitoring of Polarization Mode Dispersion of Aerial Optical Cables with Respect to Line Availability» Journal of Lightwave Technology, 2003.
[2] Urs Gut, SAK, «An analysis of the behaviour and reliability of high-speed optical networks under consideration of linear fibre effects», August 2005, Masterarbeit.
[3] FKO-Fachtagung 2002, Olten, «Optische Hochleistungsnetze – erste Erfahrungen und die zukünftigen Anstrengungen».
[4] E. Grivas et al., «Influence of Connectors on the Performance of a VCSEL Based Standard Step-Index POF Link», Photonics letters, 2009, p. 1888 ff.
[5] P.K. Pepeljugoski et al., «Design of optical communications data link», IBM J. RES.&DEV. Vol. 47, Nr. 2/3, March/May 2003).

Angaben zum Autor

Dr. **Giorgio Friedrich** ist Fachvorstand/Dozent an der ABB Technikerschule Baden. Von 2001 bis 2010 war er CTO FO bei Reichle-De Massari AG, Wetzikon, und verantwortlich für Standards und Technologien im Bereich Fiber Optics. Davor war er von 1995 bis 2001 massgeblich am Aufbau des optischen Schweizer Hochleistungsnetzes diAx beteiligt. Mitglied des TK 86 und Initiant der Fachkommission für optische Hochleistungsnetze (FKO).

ABB Technikerschule, 5400 Baden, g.friedrich@abbts.ch

Résumé

Mesures de qualité sur les fibres optiques

Calcul de la limite technique des taux de transmission

Le progrès technique et les exigences vis-à-vis des réseaux de transmission par fibres optiques connaissent aujourd'hui une croissance rapide – plus particulièrement en ce qui concerne les possibilités du « lien optique » (= média de transmission), par lequel on entend une connexion en cascade de passages de fiches, d'épissures et de fibres, en vue de la liaison de nœuds haute performance SDH (Go-Ethernet). Alors qu'il y a encore 5 ans on parlait de taux de transmission compris entre 1 et 2,5 Go/s, les moyens ultra modernes déployés aujourd'hui permettent des taux de transmission de 40 Go/s et plus. Le « multiplexage en longueur d'onde » (DWDM) devrait permettre de renforcer ces taux, tandis que de nouvelles techniques de modulation (codage à plusieurs niveaux) sont envisagées afin de réduire l'épuisement de la bande passante. L'influence de la PMD et la bande passante opérationnelle limitée en PMD sont ensuite déduites et comparées à d'autres critères. Des conclusions sont en outre établies afin d'éviter les investissements non amortissables (INA), et des recommandations sont communiquées aux fournisseurs, installateurs et exploitants. No

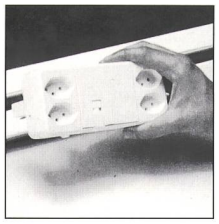
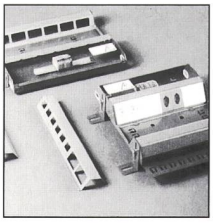
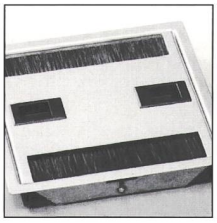
«Der Handliche»

EurotestCOMBO MI3125B

Prüfung allstromsensitiver RCD's Typ B
Gut/schlecht Bewertung mit rot/grüner LED-Anzeige
Intuitiv bedienbarer NIV-Tester neuester Generation
Robustes und ergonomisches Gehäuse
Inkl. Software; optional mit SiNA-Mess-/Prüfprotokoll

ELKO
SYSTEME AG

Messgeräte • Systeme • Anlagen
Zur Kontrolle und Optimierung des Verbrauches elektrischer Energie
Brüelstrasse 47 CH-4312 Magden Telefon 061-845 91 45 Telefax 061-845 91 40
E-Mail: elko@elko.ch Internet: www.elko.ch

Comment brancher les conduites électriques, informatiques et téléphoniques aux lieux de travail dans les laboratoires et ateliers?

- **Avec des canaux d'allège modulaires LANZ:** Spacieux, avantageux, pose masquée des appareils. Revêtement en bois ou en métal. 150×200 – 250×300 mm.
- **Avec des canalisations électriques d'allège:** Alimentation en courant 230V et 400V / 63 A prête au service, avec appareils enfichables. Grands canaux vides pour câbles informatiques / télécommunications.
- **Avec du matériel d'installation sous faux-plancher:** Chemins à grille et multichemins / prises au sol pour courant électrique, informatique, télécommunications compatibles avec tous les systèmes de fiches / traversées de câbles.

Adressez-vous à LANZ. Nous sommes experts! Demandez conseils et offres. lanz oensingen sa CH-4702 Oensingen

☐ Les produits LANZ pour le raccordement des lieux de travail m'intéressent! Veuillez m'envoyer la documentation.

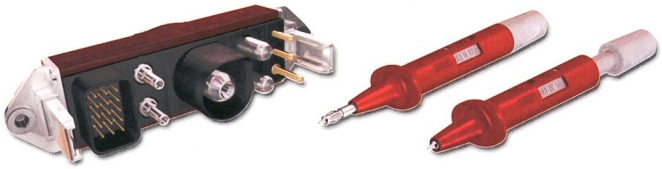
☐ Pourriez-vous nous rendre visite à une date à convenir par téléphone? Nom / adresse / tél. _____

fA1

LANZ
lanz oensingen sa
CH-4702 Oensingen Südringstrasse 2
Téléphone 062 388 21 21 Fax 062 388 24 24
www.lanz-oens.com info@lanz-oens-com

www.multi-contact.com

Product*line*
Programmübersicht



Innovative Kontaktlösungen von Multi-Contact

Die elektrischen Kontakte und Steckverbindersysteme von Multi-Contact basieren auf der einzigartigen, patentierten MC Kontaktlamellentechnik. Wir bieten Ihnen ein breites Sortiment an Steckverbindern für konventionelle und erneuerbare Energien, Bahn- und Automobilindustrie, Robotik und Automation, Medizintechnik sowie Prüf- und Messzubehör. Unsere besondere Stärke liegt in der Entwicklung kundenspezifischer Lösungen für individuelle Anwendungen. Kontaktieren Sie uns!

Besuchen Sie uns an einem der internationalen Top Events:
www.multi-contact.com > News > Exhibitions

Multi-Contact MC
STÄUBLI GROUP