

IMO-VERLUSTARME LWL-VERBINDUNGSTECHNIK

Lajos Bogner, dipl. Elektroning. Geschäftsleiter der *Efoquarz GmbH*, 6038 Gisikon

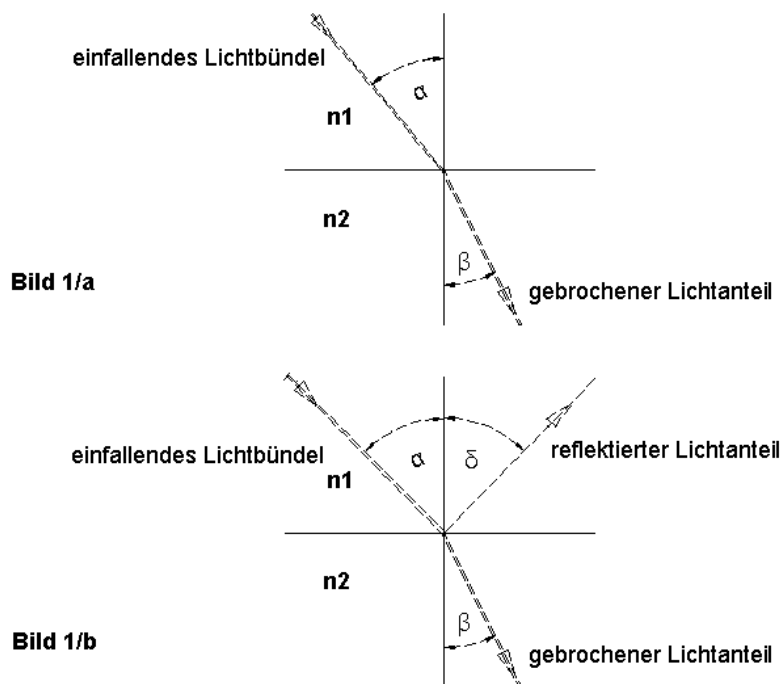
An der Schwelle zur hochintegrierten Licht-Wellen-Leiter Steckerfabrikation

Neben den vielen Varianten optischer Steckverbindungen kommt in neuen Übertragungssystemen der Local Area Network (LAN) zunehmend die Integrated-Micro-Optic (IMO) zum Einsatz. Am Ende jeder haardünnen Glasfaser ist eine Micro-Optik integriert, um die Lichtenergie nahezu parallel ein- bzw. auskoppeln zu können. Damit ist auch die Herstellung von optischen Multipin-LWL-Steckverbindungstechniken aus verlustarmen Quarzglas SiO_2 Realität geworden.

Wenn hier auf die Grundgesetze der LWL bzw. der Optik eingegangen wird, dann deshalb, weil die LWL-Technik und Optik immer noch neue Möglichkeiten eröffnen. LWL-Systeme haben ihre eigenen Gesetze. Glasfasern lassen sich nicht wie Kupferdrähte verzinnen und dann zusammenlöten, um eine Verbindung herzustellen. Keine Informationsübertragung ohne Sender, Empfänger und Koppellemente: das gilt auch bei der Glasfasertechnik.

Funktion eines Lichtleiters

Wenn man sich mit Faseroptik befasst, tauchen einige Grundbegriffe auf. Für den Einstieg werden die wichtigsten optischen Grössen kurz wiederholt.



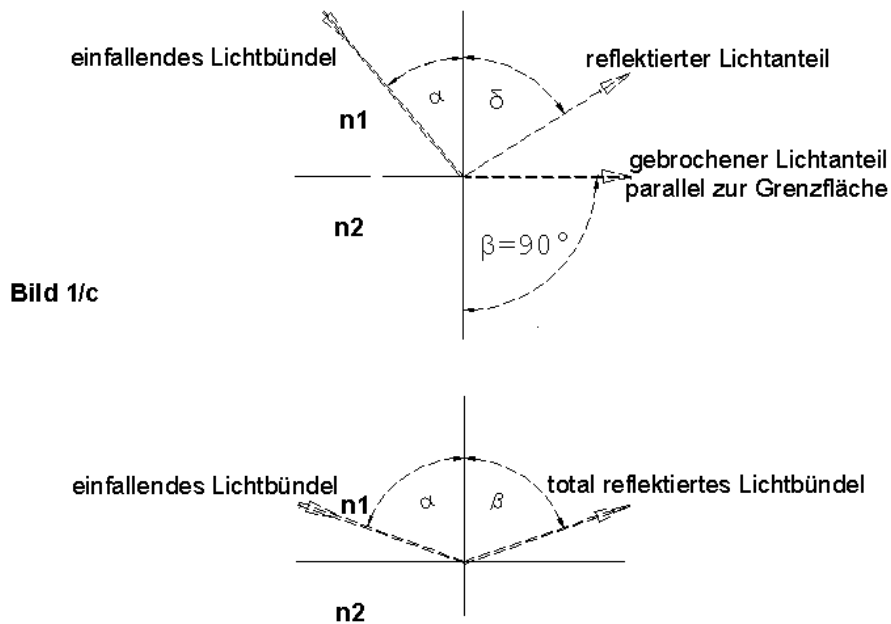


Bild 1/c

Bild 1/d

Abb.1. Brechung des Lichtes

Das *Brechungsgesetz*: Refraktion des Lichtes, eine Erscheinung, dass Licht beim Übergang von einem durchsichtigen Medium in ein anderes seine Richtung ändert. Es gilt das Gesetz nach *Abb.1 a*

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{V_1}{V_2} = n$$

- n** = Brechzahl
- V** = Ausbreitungsgeschwindigkeit des Lichtes in den beiden Medien
- α** = Einfallswinkel
- β** = Brechungswinkel

Die Brechzahl ist definiert als das Verhältnis der Ausbreitungsgeschwindigkeit im Vakuum zu der in einem anderen Medium. Ein kleiner Teil des Lichtes wird aber nicht gebrochen, sondern nach *Abb. 1b* an der Grenzfläche der beiden Medien reflektiert. Der Einfallswinkel α ist so klein, dass ein grosser Teil des Lichtes gebrochen wird (ungünstig, weil der grösste Teil des Lichtes verloren geht).

In *Abb. 1c* ist der kritische Einfallswinkel α eingezeichnet, bei dem der gebrochene Lichtstrahl direkt an der Grenzfläche zwischen zwei Medien verläuft.

Grundvoraussetzung für die Totalreflektion ist nach *Abb. 1d*, dass der Einfallswinkel α grösser sein muss als in *Abb. 1c*.

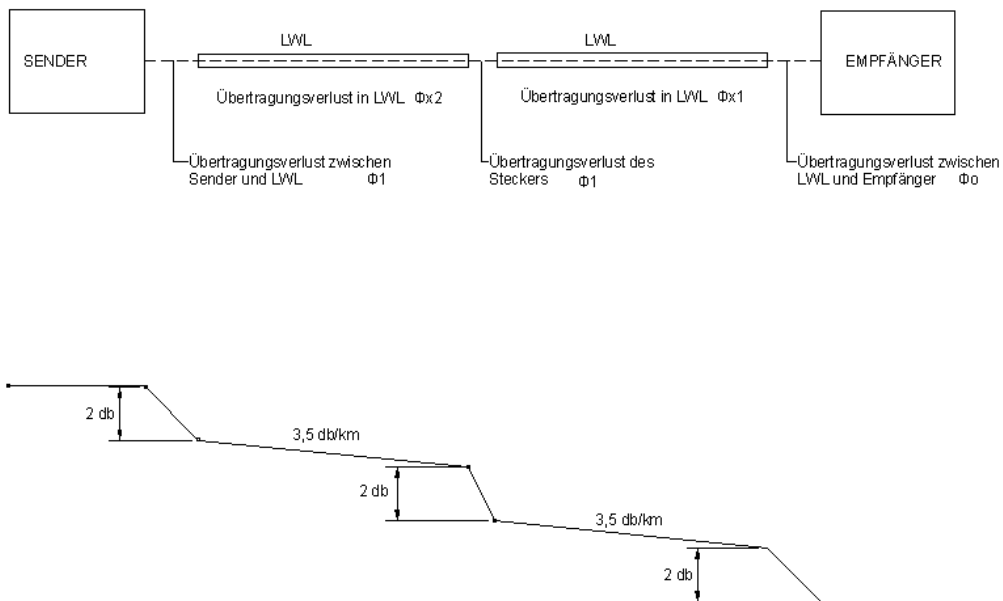


Abb. 2 Verlust in eine LWL-Übertragungsstrecke in db

Die *Numerische Apertur* (NA) ist die beherrschende Grösse beim Zusammenschalten von Lichtleitern und beim Ein- und Auskoppeln des Lichtstrahls für Sender und Empfänger. Die Numerische Apertur gibt den Brechzahlunterschied zwischen den beiden Medien an. Je kleiner die numerische Apertur ist, umso grösser ist die optische Bandbreite des Lichtleiters.

Lichtstrahlen, die sich innerhalb des erlaubten Öffnungswinkels ausbreiten, verursachen Laufzeitunterschiede. Diese Unterschiede sind für die Güte bzw. für das Impulsverhalten zwischen Sender und Empfänger verantwortlich.

Erklärtes Ziel ist bei einer LWL-Übertragung nach *Abb. 2*, dass die vom Sender erzeugte Lichtenergie mit möglichst wenig Verlust beim Empfänger ankommt. Die Energieverluste lassen sich analysieren und in der folgenden Gleichung zusammenfassen.

Die zur Verfügung stehende Strahlungsenergie für den Empfänger ergibt sich aus der folgenden Gleichung:

- Φ_t = Energie des Senders
- Φ_r = Energie am Empfänger (verfügbare)
- Φ_m = Energiebedarf des Empfängers (minimal)
- δ_0 = Gesamt-Lichtverlust

$$\Phi_r = \Phi_t - (\delta_l + \delta_{x1} + \delta_l + \delta_0) = \Phi_t - \delta_0$$

Damit das Übertragungssystem einwandfrei arbeiten kann, muss die verfügbare Energie Φ_r grösser sein als die minimale Empfindlichkeit des Empfängers Φ_m . Der gesamte Energieverlust δ_0 des Übertragungssystems wird in dB angegeben und ist ein log. Verhältnis zwischen Eingang und Ausgang:

$$\Phi_{\text{total}} = 10 \log (\Phi_t / \Phi_r)$$

Als optischer Sender wird die Infrarot-Diode eingesetzt. Es gilt in erster Linie, möglichst viel Lichtenergie in die Glasfaser einzukoppeln. Um die durch den Lichtsender erzeugte Energie optimal in der Faser einzukoppeln, benötigt man eine optische Anpassung.

Integrierte optische Mikrostrukturen

Analog zur Mikroelektronik entstehen integrierte optische Mikrostrukturen und passive integrierte optische Komponenten durch Kombinationen auf gemeinsamen Substraten.

Charakteristisch ist für die integrierte Optik mit Lichtwellenleiter, dass es möglich ist, auf die Endoberfläche (Durchmesser von 125 μm *Abb. 3*) als Basissubstrat, Materialien wie SiO_2 in Form von Mikro-Linsen zu dotieren. Für Anwendungen in der Faseroptik sind einige SiO_2 -Modifikationen (β -Quarz) bekannt geworden. Bei der Lamda-Umwandlung (2. Ordnung) lassen sich prozesskontrollierte Additive-Auftragungen erreichen, die in einem bestimmten Druck- und Temperaturbereich stattfinden. Unter hydrothermalen Bedingungen lassen sich sphärische und/oder parabolische Optiksyste me aufbauen.

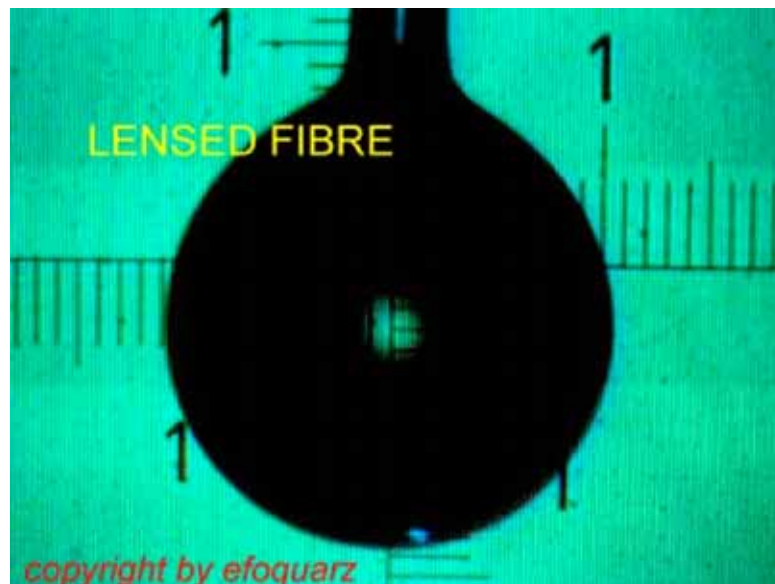


Abb.3 Gradienten-Faserende 125 μm . Die Trennung zwischen Faser und Linsensystem nicht zu erkennen.

Abb. 3 zeigt eine Faser mit integrierter Optik. Diese Optik hat den Durchmesser $d = 125 \mu\text{m}$ und fokussiert den Lichtstrahl auf den Brennpunkt $\langle f \rangle$ mit der von der Optik abhängigen Brennweite. Der sich in der Faser befindliche Mittelstrahl geht ungebeugt durch die Optik zum Brennpunkt hin. Die reflektierten Lichtstrahlen werden je nach Einfallswinkel zum Brennpunkt gebeugt.

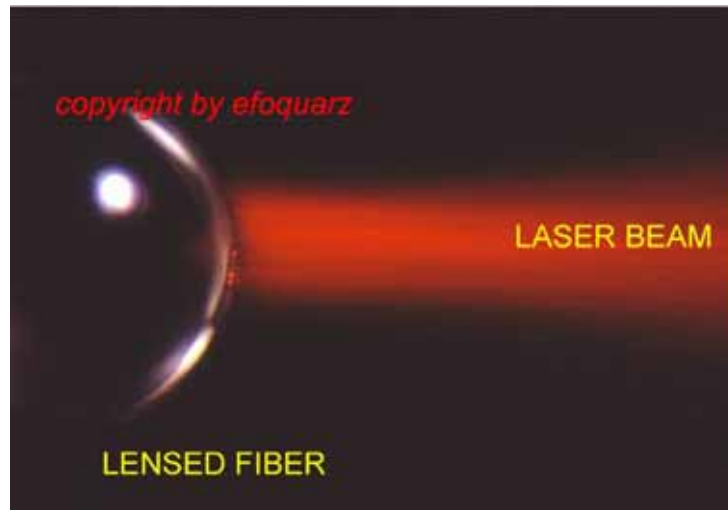


Abb.4 Laserstrahl (durch Rauch sichtbar gemacht) verlässt die integrierte Mikro-Optik

Abb. 4 zeigt eine Intensitätsverteilung, welche diese Verhältnisse wiedergibt. Für die Aufnahme wurde die Integrierte-Mikro-Optik (IMO) an beiden Enden abgeschlossen. Das Licht wurde aus einer Laser-Lichtquelle eingekoppelt, der austretende parallele Strahlengang wurde durch Rauch unter dem Mikroskop sichtbar gemacht.

Symmetrische Lichtverteilung

Oberhalb und unterhalb des Mittelstrahls der optischen Achse nimmt die Intensität ab. Die Lichtverteilung verläuft symmetrisch, dieses Phänomen ist einfach zu erklären. Nicht alle Lichtstrahlen werden zum Brennpunkt gebeugt. Teilstrahlen, die aus der Faser (durch Mehrfach-Reflexion) unter dem Winkel α° zum Mittelstrahl gebeugt werden, erzeugen Nebenmaxima. Diese Nebenmaxima bilden aber nur einen geringen Anteil der Intensität des Hauptmaximums.

Um den Brennpunkt zu definieren, stellt man im Abstand $\langle a \rangle$ eine Lichtquelle (z.B. eine GaAs-Infrarot-Diode) auf, die monochromatisches Licht in einem Strahlungswinkel von α° aussendet. Man betrachtet nur einen einzigen Lichtstrahl und verfolgt ihn, indem die bereits erwähnten optischen Gesetze angewendet werden.

EFOQUARZ

Das Brechungsgesetz beschreibt, wie dieser Lichtstrahl gebrochen wird. Dieses Gesetz sagt jedoch nichts darüber aus, wo der Lichtstrahl nicht mehr in die sphärische Linsenfläche eintritt, sondern an der Oberfläche reflektiert wird (Totalreflexion).

Berechnung des optischen Systems

Massgebend für die Berechnung nach Abb. 5 in Punkt P_a ist der Winkel δ_1 zwischen Lot in Punkt P_a und dem Strahl.

Dieser Einfallswinkel δ_1 rechnet sich zu

$$\delta_1 = \alpha_0 + \arctan(P_{ay} / P_{ax})$$

Da ein Übergang von einem optisch dünnen zu einem dichteren Medium besteht, wird der Lichtstrahl zum Lot hin gebrochen:

$$\delta_2 = \arcsin[(n_{\text{air}} / n_{\text{quartz}}) \sin \delta_1]$$

Damit nun der Punkt P_b gefunden werden kann, wo der gebrochene Lichtstrahl auf die Faserkernoberfläche auftritt, berechnet man zuerst den absoluten Winkel zwischen Strahl und der optischen Achse.

$$\beta_1 = \delta_2 - \arctan(P_{ay} / P_{ax})$$

Analog dazu können die Ausfallswinkel δ_3 in Punkt P_b berechnet werden. Von dieser Stelle an kann man mit Symmetriebetrachtungen weiterarbeiten.

Damit wäre der Anfang für die Berechnung des optischen Systems getan. Man weiss aus den vorangegangenen Berechnungen, dass sich die Strahlen offensichtlich nicht in einem Brennpunkt schneiden, sondern verschiedene Brennweiten haben. Dies ergibt sich eindeutig aus der Erkenntnis, dass nur parabolisch gekrümmte optische Systeme fehlerfrei Lichtstrahlen sammeln können. In kleinen optischen Systemen ist die sphärische Linsenform im Gegensatz zu einer parabolischen Linsenform nicht einfach herzustellen. In der Praxis verursachen sie nur sehr kleine Abbildungsfehler.

Damit wäre das Problem gelöst – bis auf eine Kleinigkeit, nämlich: bei einem LWL mit Gradientenfaser ist die Brechzahlverteilung parabolisch, und der Strahl wird nach Abb. 5 umgelenkt, so dass keine Reflexion an einer Grenzfläche auftritt. Der Gradient der Brechzahl ist massgeblich für die verlustfreie und verzerrungsfreie Lichtausbreitung verantwortlich.

Zudem ergeben sich für ein IMO-System zwei weitere wichtige Konsequenzen:

Die Wellenlänge des Laser IR-Diode ist monochromatisch, sie ist für den Durchmesser der Hauptkeule nach Abb. 4 verantwortlich. Die zweite Konsequenz betrifft die direkten Auswirkungen auf die zukünftige Preisentwicklung von LWL-Übergängen und –Steckerverbindungen. Diese Überlegungen haben auch bei der optischen Sensortechnik Gültigkeit.

IMO-Verbindungs- und Übertragungsprogramm

Diese Integrierte Mikro-Optik wurde von Efoquarz entwickelt, Optik und LWL-Faserende sind hermetisch in einem Metallstift justiert eingeklebt. IMO-Übergänge können in beliebiger Zahl in lösbare Steckverbindungen eingebaut werden.

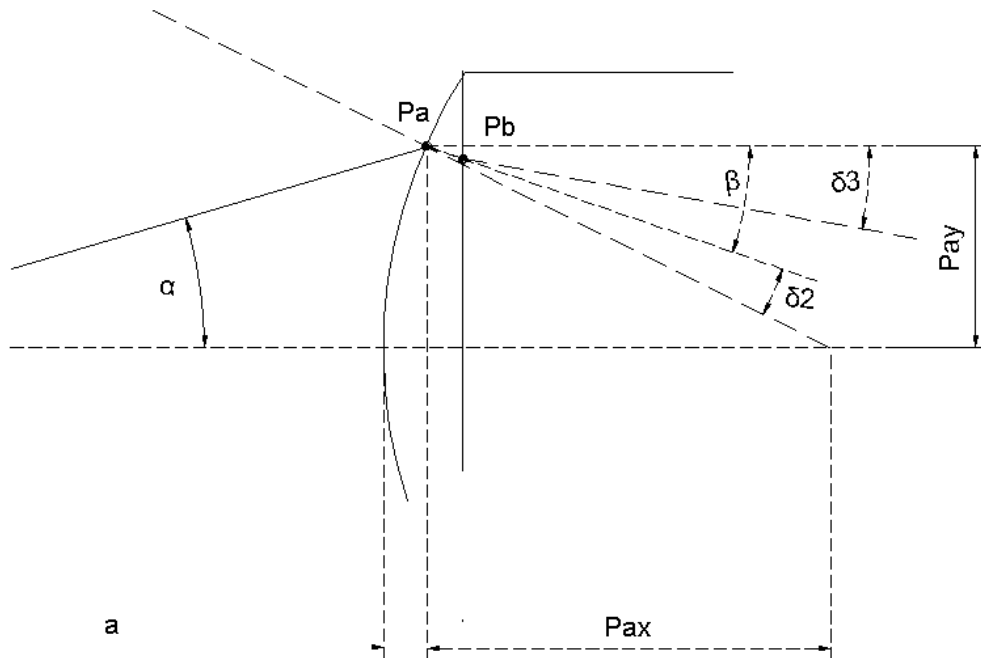


Abb. 5 Strahlengang im IMO-Faserende.

IMO-Enden mit konfektionierter LWL Gradientenfaser erhalten eine Schlüsselposition, sie haben den kleinsten Energieverlust innerhalb einer Datenübertragung zwischen aktivem Sender und Empfänger. Die IMO-Enden haben bei Übergängen keinen physikalischen Kontakt zueinander.

Das IMO-Verbindungs- und Übertragungsprogramm besteht noch Abb. 6 aus:

Stecker (LWL 50/125 μm Faser mit IMO am Ende),
Verbindungseinheit (Stecker zu Stecker),
Sendeeinheit (Stecker mit \rightarrow IR-Diode mit Lötstiften bzw. SMD-Ausführungen) sowie
Empfangseinheit (Stecker mit PIN-Diode mit Lötstiften bzw. SMD-Ausführung).

Anwendungsgebiete

Für Laser-Anwendungen haben Monomode-Lichtwellenleiter (Gradientenfaser) folgende Vorteile:
Übertragung des Laserstrahls ohne Verschlechterung der kohärenten Eigenschaften,
Eingangs- und Ausgangsseitig stabile Intensitätsverteilung auch bei Veränderung z.B. bei Biegung der Faser,
Optimale Fokussiermöglichkeit, sowie
Keine Modendispersion

EFOQUARZ

Dies alles bedeutet, dass ein IMO-LWL ideal zusammen mit einem Halbleiter-Laser eingesetzt werden kann. Gradientenfasern spielen immer mehr eine Schlüsselrolle bei optischen Datenübertragungssystemen. In LAN-Datennetzwerken wird üblicherweise simultan gearbeitet, um so eine hohe Dichte der zu übertragenden Daten zu erreichen.

Die Zukunft liegt in der Parallelverarbeitung

Mit dem Steckverbinder lassen sich Daten zwischen leistungsfähigen Einzelprozessoren in Systemen mit verteiltem Speicher übertragen. Mit der IMO und LWL durch Parallelverarbeitung wird der Datenverarbeitung und –Übertragung ein wirkungsvolles Bauteil in die Hand gegeben, um komplexe Problemstellungen aus Mathematik, Physik, Chemie und Medizin neu in Angriff zu nehmen.

Im Bereich der Automaten und Industrieroboter verzeichnet man eine steigende Zahl von Informationskanälen zwischen Maschinen und Steuerungen. Zunehmender Sensorikaufwand und komplexere Überwachung von Werkzeugen benötigen eine sichere Datenübertragung. Zuverlässiger Datenaustausch unter elektromagnetischen Störeinflüssen, Potentialtrennung zwischen Sende- und Empfangsgeräten, minimaler Leiterquerschnitt, hoher Übertragungskapazität, minimales Gewicht und Montagefreundlichkeit sind hier die Hauptgründe für den Einsatz der IMO-Steckverbinder.



Abb. 6 IMO Komponenten, Verbindungseinheit und Sender/Empfänger

Konfektionierte LWL mit IMO steckfertig an beiden Enden, werden in Standard-Ausführungen geliefert. Wahlweise können sie mit einer Verbindungseinheit als Verlängerungsstecker oder mit einer Abschlusseinheit LED (Sender) bzw. PIN (Empfänger) geliefert werden. Sie zeichnen sich aus durch Präzision, hohe mechanische und optische Stabilität, geringen Platzbedarf und einfache Montage. IMO in Mehrfachausführung eignet sich für parallele Datenübertragung zwischen statischen (Si) Harddisks und Prozessoren auch als Memory-Card-Stecker.