

Dämpfungs- und Dispersionstests

Moderne optische Komponenten erfordern neue Teststrategien

Die enorme Übertragungskapazität von DWDM (Dense Wavelength-Division Multiplexing) hat die optische Datenübertragung entscheidend voran gebracht. Durch die ständige Weiterentwicklung stellen moderne optische DWDM-Komponenten heute sowohl komplexere wie höhere Anforderungen an ihre Herstellung wie ihren Test – steigende Datenübertragungsraten und zunehmend engerer Kanalabstand haben neue Testparameter wie polarisationsabhängige Dämpfung oder Gruppenlaufzeit erforderlich gemacht.

Herzstück eines DWDM-Systems sind Komponenten, die einzelne Wellenlängen (Kanäle) auf eine Faser zusammenführen oder wieder trennen. Angesichts der gestiegenen Anforderungen reicht es nicht mehr aus, diese Komponenten nur auf Dämpfung [1] zu testen; die präzise Charakterisierung von Dispersions- oder Laufzeiteigenschaften optischer Signale [2] ist heute ebenfalls unerlässlich. Diese Notwendigkeit, alle Parameter zu testen, führt zu neuen Herausforderungen bei Test und Herstellung optischer Komponenten.

In einem neuen Ansatz werden optische Komponenten auf Dämpfung (engl.: loss), polarisationsabhängige Dämpfung (polarisation dependent loss, PDL), Gruppenlaufzeit (group delay, GD) und differenzielle Gruppenlaufzeit (differential group delay, DGD) gleichzeitig getestet [3].

Die Notwendigkeit von ‚All-Parameter‘-Testlösungen

DWDM nutzt die Tatsache aus, dass in der Wellenlänge verstimmte Signale durch eine gemeinsame Glasfaser geschickt werden können. Um eine möglichst hohe Bandbreite zu übertragen, bieten sich mehrere Ansätze an. Erstens: durch Bereitstellung zusätzlicher Wellenlängenbänder kann eine höhere Zahl

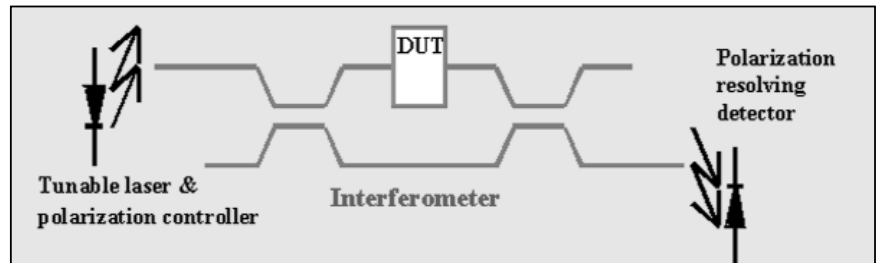


Abb. 1: Prinzipielle Anordnung polarisationsauflösender, swept homodyne interferometry'

signaltragender Wellenlängen genutzt werden. Zweitens können immer mehr Kanäle pro Wellenlängenbereich transportiert werden, was durch eine ständige Verringerung des Kanalabstands möglich wird. Drittens kann jeder Kanal mit immer höherer Geschwindigkeit moduliert werden – Systeme mit 10 Gbit/s oder 40 Gbit/s sind hier die Trends in der Industrie.

Neben der primär wichtigsten Messung einer Leistungsbilanz zeigt sich, dass moderne Komponenten auch auf Gruppenlaufzeit (GD) und differenzielle Gruppenlaufzeit (DGD) getestet werden müssen – je höher die Bitrate pro Kanal wird und je enger der Kanalabstand, desto wichtiger werden neben den reinen Leistungsverlusten an optischen Komponenten auch die Laufzeiteigenschaften eines Signals. Daher ist die Möglichkeit, alle Parameter zu testen, von wachsender Bedeutung für die Entwicklung und die Herstellung moderner DWDM-Module wie Faser-Bragg-Gitter (FBG), planare Wellenleiter (AWG – Arrayed Waveguide Grating) oder Dünnschichtfilter (TFF). Die höchsten Anforderungen an ‚all-parameter‘-Test gelten für spektral

schmalbandige Komponenten mit Kanalabständen unter 1 nm und für Anwendungen in 10 und 40 Gbit/s Netzwerken.

Ein durchstimmbarer Laser, Leistungsmesser und Interferometrie

Dämpfungs- und Dispersionsmessung wurden traditionell als unterschiedliche Testaufgaben verstanden und mit verschiedenen bzw. jeweils spezifisch für den Test eines einzelnen Parameters optimierten Lösungen adressiert [2]. Um die Anforderungen für einen alle Parameter umfassenden Test zu erfüllen, ist offensichtlich ein Paradigmenwechsel in der Teststrategie erforderlich – anstatt sich nur auf einen Parameter zu konzentrieren, müssen Messgeräte eine Prüfung aller relevanten Komponentenparameter ermöglichen.

Da passive optische Komponenten in erster Linie zum Aus- oder Einkoppeln oder zur Umleitung von einzelnen Wellenlängen eingesetzt werden, muss während der Herstellung immer eine präzise Messung der spektra-

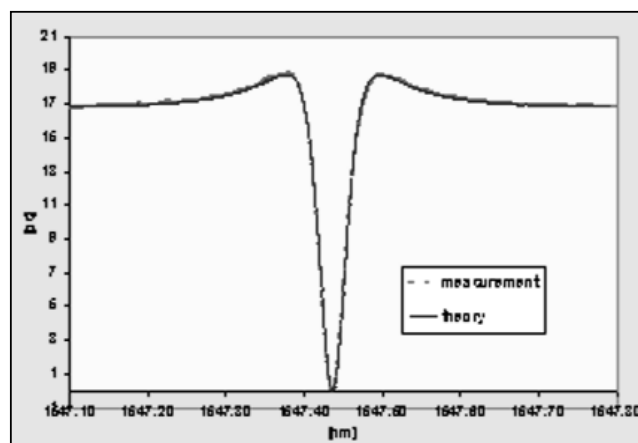


Abb. 2: Group Delay-Messung einer molekularen Absorptionslinie mittels ‚swept homodyne interferometry‘

► Autor

ULRICH WAGEMANN,
Agilent Technologies Deutschland GmbH;
Herrenberger Str. 130, D-71034 Böblingen
Fon: 07031/464-0, Fax: 07031/464-2366
Internet: www.agilent.com

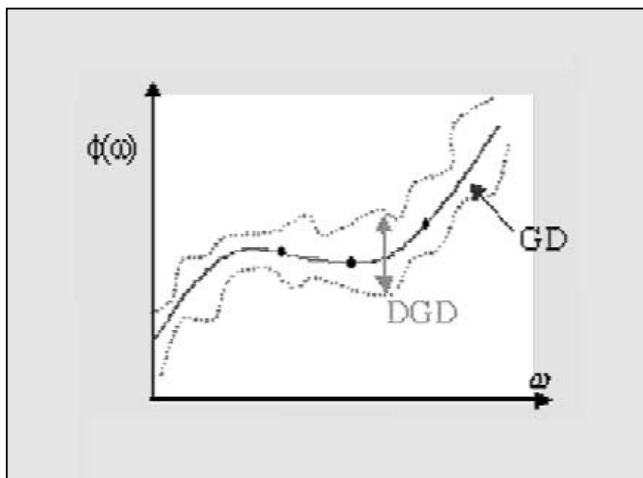


Abb. 3:
Die differenzielle Gruppenlaufzeit ist ein Maß für die Abhängigkeit der Gruppenlaufzeit von der Eingangspolarisation

len Transmission durchgeführt werden. Die Anforderungen an diesen Test sind hohe Genauigkeit sowohl in der Wellenlängen- wie in der Intensitätsmessung, eine hohe Messdynamik sowie eine hohe Auflösung. Für Tests dieser Art wird zumeist eine durchstimmbare Laserquelle in Kombination mit einem Leistungsmessgerät eingesetzt [1, 2, 4]. Darüber hinaus hat sich gezeigt, dass moderne Komponenten für herkömmliche Verfahren zur Bestimmung von Dispersion oft eine Limitation darstellen, da die spektrale Transmissionscharakteristik bei geringen Kanalabständen mit hohen Gradienten der Dispersion über der Wellenlänge einhergehen kann [5].

Die Testanforderungen für moderne Komponenten lassen sich deshalb am besten so zusammenfassen: hohe Präzision, hohe Dynamik und hohe Auflösung – sowohl bei der Dämpfungsmessung wie auch bei der Bestimmung der Dispersion. Um diesen Anforderungen gerecht zu werden, besteht unsere Anordnung aus einer abstimmbaren Laserquelle mit rauscharmem Ausgang und einem Leistungsmesser zur Transmissionsmessung sowie durchstimmbarer Homodyninterferometrie („swept homodyne interferometry“) zur Messung der Dispersionseigenschaften [3].

Die Arbeitsweise von „swept homodyne interferometry“ (SHI) kann an einem Mach-Zehnder-Interferometer geeignet beschrieben werden. Eine Laserquelle wird kontinuierlich über einen Wellenlängenbereich gestimmt, während die Armlängen des Interferometers unverändert bleiben (siehe Abb. 1). Ein Arm des Interferometers enthält die zu charakterisierende Komponente, der zweite dient als Referenz. Die Teilwellen werden kombiniert und ein Interferenzmuster aufgenommen. Kontrolle über die Eingangspolarisation erlaubt Messungen als Funktion der Polarisation.

$$P(\nu) = E_{LO}^2(\nu) + E_{dut}^2(\nu) + 2 E_{LO}(\nu) E_{dut}(\nu) \cdot \cos \phi(\nu)$$

Das aufgezeichnete interferometrisches Muster ist vom Typ – dabei steht E_{LO} für den Oszillator (Referenzarm), E_{dut} steht für die Feldamplitude des Testobjektes (DUT = Device under Test), und ν für die Lichtfrequenz. Die optische Phase des Testobjektes ϕ kann nun leicht gewonnen und in Gruppenlaufzeit übersetzt werden. Interferometrie vergleicht optische Phasen bei einer Wellenlänge – Basis für hohe Empfindlichkeit bei hoher Auf-

lösung. Eine Genauigkeit unter 100 Femtosekunden kann für die Gruppenlaufzeit leicht erreicht werden.

SHI gewinnt Dispersionsdaten mit hoher spektraler Auflösung, da die Phaseninformation des Testobjekts nicht wie gewöhnlich von modulierten Seitenbändern, sondern aus der Information einer einzigen Wellenlänge gewonnen wird [2, 3]. Um das Potenzial von SHI zu verdeutlichen, wurde die Gruppenlaufzeit eines HCN-Gaszellen-Peaks bestimmt. Gaszellen-Peaks basieren auf molekularen Absorptionslinien und werden aufgrund ihrer geringen Spektralbreite oft zur Wellenlängenkalibrierung eingesetzt. Abb. 2 zeigt Experiment und Theorie in bester Übereinstimmung.

Transmission: Das Messprinzip

Ein durchstimmbarer Laser und Leistungsmesser („power meter“) haben sich als beste Lösung zur Bestimmung von Dämpfungseigenschaften erwiesen [1]. Durch das Einfügen von Kopplern in der oben dargestellten Anordnung kann das Signal auf speziell empfindliche Leistungsmesser umgeleitet werden; obwohl auch ein Interferogramm Information über Amplitude liefern kann, bieten sich für höchste Präzision spezialisierte Leistungsmessgeräte an. Zusätzlich kann mit einem Polarisationssteller die polarisationsabhängige Dämpfung nach Mueller ermittelt werden [2]. Um eine eindeutige Bestimmung der Transmission einer optischen Komponente als Funktion der Wellenlänge zu erhalten, sollte die spektrale Dämpfung immer als Durchschnittswert über ihrer Polarisationsabhängigkeit berechnet werden.

Dispersion: Das Messprinzip

Da sich Signale als Gruppe und nicht als einzelne Frequenzen fortpflanzen, ist die Grup-

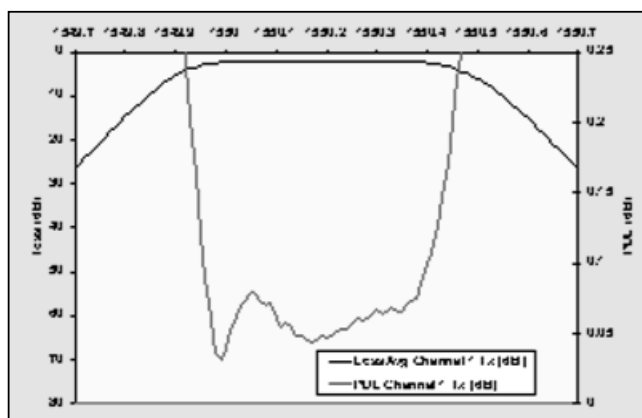
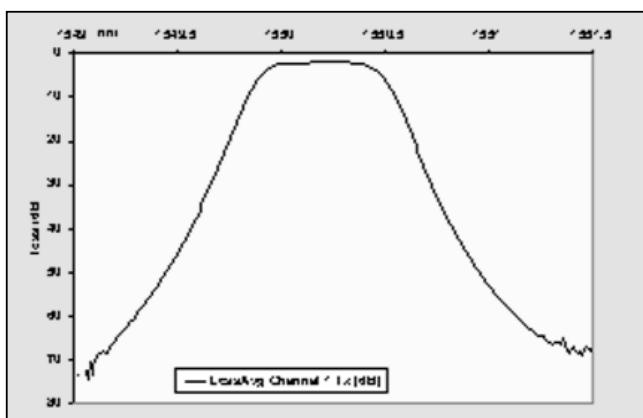


Abb. 4a, Abb. 4b: Spektrale Dämpfung und polarisationsabhängige Dämpfung (PDL) eines TFF-Filters

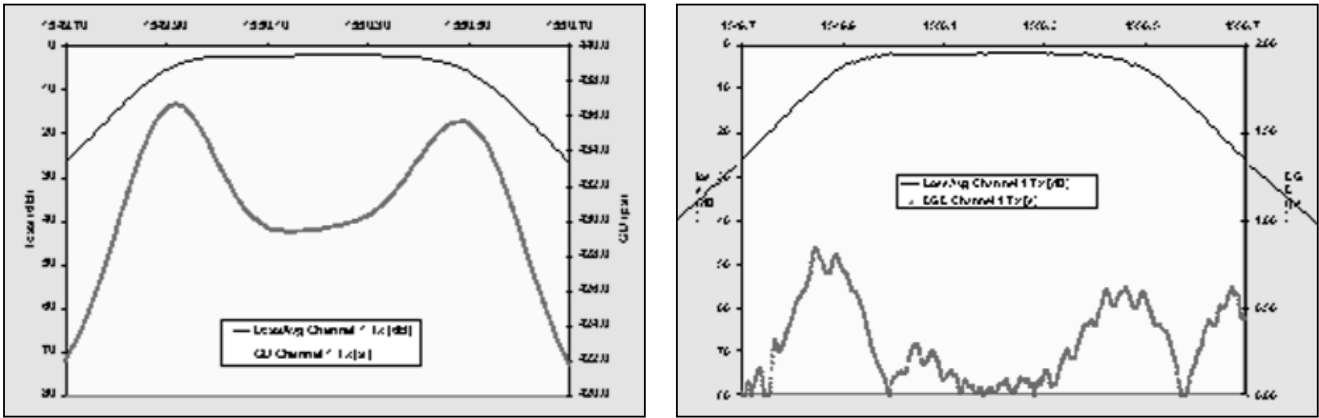


Abb. 5a, Abb. 5b: Gruppenlaufzeit (GD) und Polarisationsabhängige Gruppenlaufzeit (DGD) eines TFF – Filters

penlaufzeit (τ) ein entscheidender Parameter zur Charakterisierung optischer Komponenten. Die Gruppenlaufzeit (Group Delay, GD) ist ein Maß dafür, ob und wie sich ein Datenbit während der Transmission zeitlich dehnt. Gruppenlaufzeit wird in der Regel in Pikosekunden (ps) gemessen und kann mit Hilfe der Gleichung 1 aus der Phasenlaufzeit bestimmt werden:

$$\tau(v) = \frac{1}{2\pi} \frac{\partial \phi(v)}{\partial v} \quad (1)$$

Oft wird auch der Begriff ‚chromatischer Dispersion‘ (CD) verwendet – chromatische Dispersion stellt die Änderung der Gruppenlaufzeit über der Wellenlänge dar und wird in ps/nm gemessen. Die differentielle Gruppenlaufzeit (DGD) schließlich ist ein Maß für die Abhängigkeit der Gruppenlaufzeit von der Eingangspolarisation – damit besteht eine

gute Analogie zum Zusammenhang zwischen spektraler Transmission und PDL (bei statistischer Fluktuation wird oft auch der Begriff ‚Polarisationsmodendispersion‘ anstelle von DGD benutzt).

Ein Polarisationssteller und ein polarisationsauflösender Empfänger (Abb. 1) ermöglichen eine polarisationsaufgelöste Messung der Gruppenlaufzeit. Die mittlere Gruppenlaufzeit wird dann (über eine Jones-Matrix) als Durchschnittswert der maximalen und minimalen Werte für GD berechnet – die Differenz ergibt dann die differentielle Gruppenlaufzeit DGD, siehe Abb. 3.

Beispielmessungen

Als beispielhafte Komponenten werden Messungen an einen Dünnschichtfilter (TFF: Thin Film Filter) und einem Faser-Bragg-

Gitter (FBG) beschrieben. Die Komponenten sind ausgelegt für einen möglichst gleichmäßigen Verlauf der optischen Eigenschaften über der vom modulierten Signal eingenommenen Bandbreite. Dieses sogenannte ‚passband‘ ist im Fall des TFFs etwa 400 pm breit und um 1550.2 nm zentriert, siehe Abb. 4 und 5.

Interferometrie ermöglicht auch noch bei einer Dämpfung von 30 dB rauscharme Dispersionsmessungen. Abb. 5a und Abb. 5b zeigen den Verlauf der Gruppenlaufzeit (TFF zeigen hier eine typische Höckerstruktur) und der differentiellen Gruppenlaufzeit. Eine genauere Untersuchung im Passband zeigt eine verbleibende Welligkeit der Gruppenlaufzeit von etwa 20 fs. Die Werte im Passband für DGD bleiben unter 1 ps, sodass die Gruppenlaufzeit nur eine schwache Funktion der Polarisation ist – diese Komponente kann durchaus in

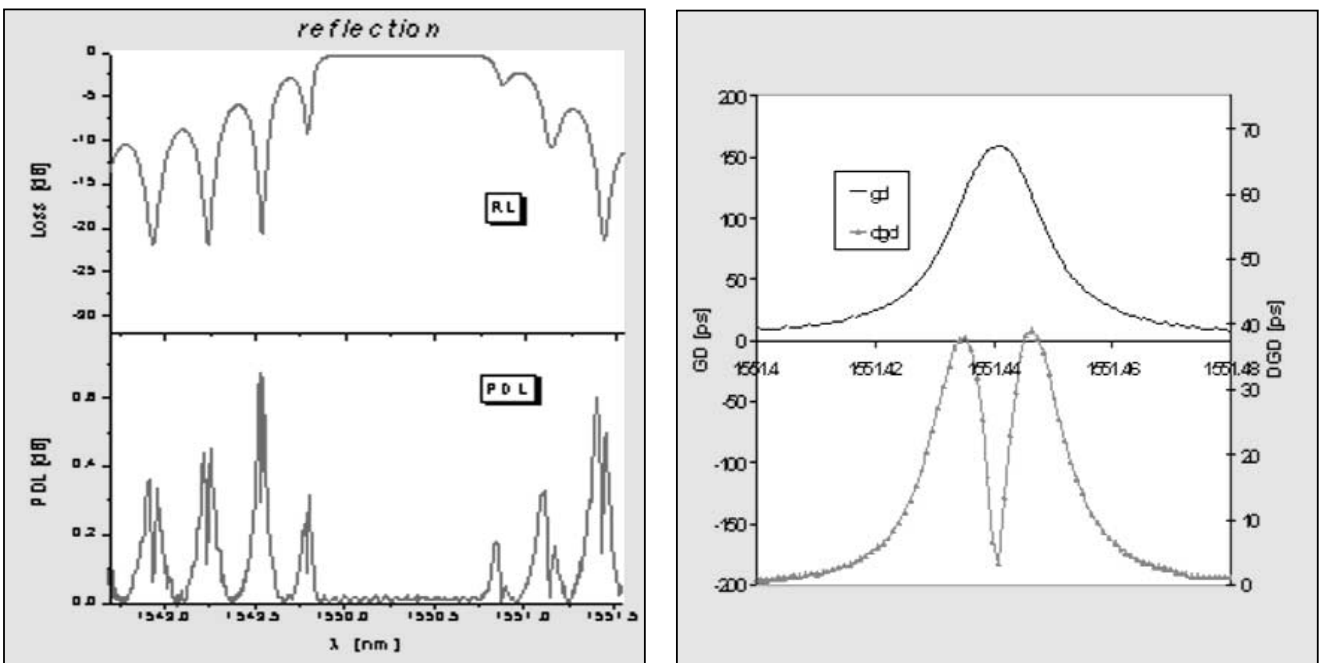


Abb. 6: Doppelbrechung resultiert bei polarisationsabhängiger Dämpfung und differentieller Gruppenlaufzeit in doppelzahnähnlichen Strukturen

einem modernen optischen Netz eingesetzt werden.

„Faser-Bragg“-Gitter sind ebenfalls ein zentraler Bestandteil moderner optischer Netzwerke. Eine leichte Doppelbrechung und damit eine Polarisationsabhängigkeit bewirkt, dass die Spektren für die Eigenmoden um wenige Pikometer spektral verschoben sind (Abb. 6). Dieses tritt in polarisationsabhängigen Messungen (PDL, DGD) als typische Charakteristik mit scharfen, doppelzahnähnlichen Strukturen in Erscheinung. Der Verlauf der DGD zeigt ein zentriertes Minimum – die Gruppenlaufzeit für die Eigenmoden ist hier identisch.

Messungen wie diese geben dem Ingenieur einen tiefen Einblick in Design und Materialeigenschaften seiner Komponente. Die vorgestellten Ergebnisse geben ein gutes Beispiel über das Leistungsvermögen einer interferometrischen Methode zur Bestimmung von Dispersionseigenschaften.

Zusammenfassung

„Swept homodyne interferometry“ (SHI) kann feinste Details in Dispersionseigenschaften wie der Gruppenlaufzeit und differentiellen Gruppenlaufzeit bei optischen DWDM Komponenten auflösen und präzise bestimmen. SHI liefert rauscharme Messungen und kann auch bei hoher Dämpfung der Komponente präzise die Dispersion als Funktion der Wellenlänge messen. Daneben bietet das Verfahren Vorteile durch das auf einem durchgestimmten Laser basierenden Prinzip, welches zu kurzen Messzeiten und einer kontinuierlichen Auflösung über der Wellenlänge führt. Es empfiehlt sich, SHI für die Bestimmung der Dispersion zu benutzen und mit spezialisierten Leistungsmessgeräten für die Messung der Transmission zu kombinieren – Agilent hat dies mittlerweile kommerziell verfügbar gemacht (Agilent 81910A). Dieses Verfahren ermöglicht das präziseste Testen hoch entwickel-

ter Komponenten auf dem Weg zur Realisierung von 40-Gbit-Netzwerken. **TEST**

Literatur

- [1] Ulrich Wagemann: „Test moderner DWDM – Komponenten“, Test Kompendium 2002, ISBN 3-934698-03-4, pp 131
- [2] D. Derickson (Hg.): „Fiber Optic Test and Measurement“, Prentice Hall 1998
- [3] Thomas Jensen, Eckart Witzel, Alexandre Paduch, Patrick Ziegler, E.U. Wagemann, and Oliver Funke »A new method to determine Loss, PDL, GD, and DGD of passive optical components«, 18th National Fiber Optic Engineers Conference, Dallas, September 2002
- [4] Edgar Leckel, Jürgen Sang, E.U. Wagemann und Emmerich Müller: „Impact of source spontaneous emission (SSE) on the measurement of DWDM components“, Paper WB 4, Optical Fiber Conference, Baltimore, März 2000
- [5] G. Lenz et al, »Dispersive Properties of Optical Filters for WDM Systems,« IEEE J. Quantum Electron. 34, 1390 (1998)

www.publish-industry.net

more @ click TK3B0604

LESERTIPP

Sie interessieren sich für das

Themengebiet der EMV und CE-Kennzeichnung?

Das EMC KOMPENIDUM ist das jährlich erscheinende Referenzbuch für angewandte EMV und die CE-Kennzeichnung.

Es dient der schnellen Informationsgewinnung.

In kompetenten Beiträgen wird relevantes Fachwissen zu Basisthemen,

neue Trends, Produkte, Technologien,

Verfahren & Werkzeuge.

EMV-Lösungen & Fallbeispiele systematisch geordnet und praxisnah

zusammengestellt. Umfangreiche Anbieterverzeichnisse

ergänzen das umfassende Standardnachschlagewerk!

Sichern Sie sich Ihre kostenfreie Leseprobe im

Internet unter www.publish-industry.net!

publish industry
TECHNIK KOMMUNIZIEREN

Gollierstraße 23 · D-80339 München · Fon. +49/89/500383-0 · Fax. +49/89/500383-10 · info@publish-industry.net · www.publish-industry.net