Zeitschrift: Technische Mitteilungen / Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafenbetriebe = Bulletin technique / Entreprise des postes, téléphones et télégraphes suisses = Bollettino tecnico / Azienda delle poste, dei telefoni e dei telegrafi svizzeri

Herausgeber: Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafenbetriebe

Band: 67 (1989)

Heft: 7

Artikel: Spezielle Empfangsarten und Systembetrachtungen der kohärenten optischen Übertragung

Autor: Béguin, Claude

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-874942

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 08.08.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Spezielle Empfangsarten und Systembetrachtungen der kohärenten optischen Übertragung

Claude BÉGUIN, Bern

Zusammenfassung. *Die kohärente optische Übertragung ist eine Technik, die noch am Anfang ihrer Entwicklung steht und in künftigen Lichtleitersystemen eine bedeutende Rolle einnehmen wird. In diesem dritten Beitrag beschreibt der Autor spezielle Empfänger und Modulationstechniken sowie Systemaspekte dieser neuen Glasfaser-Übertragungstechnik.*

Modes de réception spéciaux et considérations concernant le système de la transmission optique cohérente
Résumé. *La transmission optique cohérente est une technique encore jeune qui jouera un rôle important dans les futurs systèmes de guides d'ondes lumineuses. Dans ce troisième article, l'auteur décrit des techniques de modulation ainsi que des récepteurs spéciaux et passe en revue des aspects touchant cette nouvelle technique de transmission sur fibre optique.*

Generi di ricezione speciali e considerazioni sul sistema di trasmissione ottica coerente
Riassunto. *La trasmissione ottica coerente è una tecnica nuova, in via di sviluppo, che svolgerà un ruolo importante nei futuri sistemi a conduttori ottici. Nell'articolo (il terzo della serie) l'autore descrive ricevitori e tecniche di modulazione speciali come pure gli aspetti della nuova tecnica di trasmissione su fibre ottiche.*

1 Einleitung

In zwei vorgängig erschienenen Artikeln mit den Titeln «Kohärente optische Übertragung» (Techn. Mitt. PTT Nr. 5/1989, [7]) und «Komponenten der kohärenten optischen Übertragung» (Techn. Mitt. PTT Nr. 6/1989, [8]) wurden die Funktionsweise und die Vorteile künftiger kohärent-optischer Systeme sowie die dabei verwendeten Komponenten erläutert. In der Folge werden nun die in solchen Systemen eingesetzten speziellen Empfängerarten und Modulationstechniken beschrieben, und es wird auf allgemeine Systemaspekte eingegangen.

Gegenwärtig installierte sogenannte inkohärente faseroptische Systeme arbeiten mit der direkten Intensitätsmodulation, wobei die dort verwendeten Laserdioden verhältnismässig breite Frequenzspektren aufweisen und direkt im EIN/AUS-Strombetrieb getastet werden. Ebenso wird bei inkohärenten Systemen die direkte Empfangstechnik eingesetzt, bei der die ankommenden Lichtimpulse in der Fotodiode direkt in elektrische Impulse umgewandelt werden.

Im Gegensatz dazu steht die kohärente optische Übertragung. Der Hauptunterschied zwischen inkohärenter und kohärenter optischer Übertragung liegt in der Anwendung des Überlagerungsempfangs bei der kohärenten Technik (vgl. [7, 8]).

2 Spezielle Empfängerarten der kohärenten optischen Übertragung

21 Balanced Receiver

Um die Empfindlichkeit in Überlagerungsempfängern zu erhöhen, besteht die Möglichkeit, zwei Fotodioden in einer sogenannten Balanced-Receiver-Anordnung einzusetzen *(Fig. 1)*. In diesem Empfänger wird das Lokaloszillatorsignal dem ankommenden Signal in einem Koppler (z. B. 3-dB-Koppler bzw. 1:1-Koppler) überlagert, wobei an den beiden Kopplerausgängen gleichwertige, hälftige Teile an je einer Fotodiode anstehen. Mit Hilfe dieser beiden Fotodioden wird die ganze Leistung für die Detektion genutzt, dies ohne zusätzliche Koppelverluste im Signalpfad. Als weiterer Vorteil hebt sich im Balanced Receiver mögliches Zusatzrauschen des Lokaloszillators (langsame Intensitätsschwankungen ΔE) auf. Allerdings wird es beim Betrieb – vor allem bei hohen Frequenzen – nötig, dass sowohl eine genaue 1:1-Leistungsteilung als auch gleiche Laufzeiten zu den Detektoren eingehalten werden.

22 Homodyne-Empfänger mit «Pilot Carrier PLL», «Costas Loop (PLL)» oder «Carrier Amplification»

Wie aus theoretischen Arbeiten bekannt, bietet der Homodyne-Empfang gegenüber dem Heterodyne-Empfang eine um 3 dB bessere Empfindlichkeit. Diese Empfindlichkeitssteigerung konnte auch tatsächlich in mehreren Versuchsaufbauten bestätigt werden, allerdings nur in sogenannten Self-Homodyningsystemen, in denen senderseitig das Lasersignal aufgeteilt und empfangsseitig wieder zusammengefügt wird. Ein reales, optisches Homodyne-System arbeitet jedoch mit zwei unabhängigen, kohärenten und stabilen Lasern. Die Schwierigkeit liegt dabei hauptsächlich darin, den autonomen Lokaloszillatorlaser optisch phasenstarr an das schwache Eingangssignal anzukoppeln.

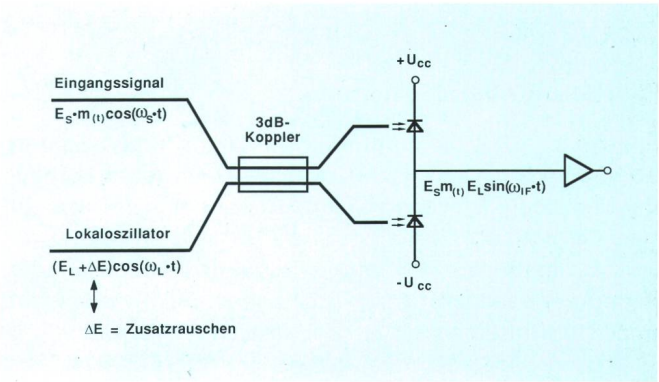

Fig. 1
Balanced Receiver
(Empfänger mit zwei Fotodioden)

Es sind drei Arten von echtem, optischem Homodyning bekannt, die im englischen Sprachgebrauch folgende Bezeichnungen führen: «Pilot Carrier Phase-Locked Loop (PLL)» (Prinzipschaltung siehe *Fig. 2a),* «Costas Loop (PLL)» *(Fig. 2b)* und «Carrier Amplification» *(Fig. 2c).*

Bei der Empfangsart «Pilot Carrier Phase-Locked Loop (PLL)» wird in einem 3-dB-Koppler das Eingangssignal mit dem Lokaloszillator überlagert und anschliessend in einem Balanced Receiver detektiert. Das Ausgangssignal des Differenzverstärkers bildet dabei eine Funktion der Phasendifferenz beider Signale. Liegt eine Phasendifferenz vor, so wird dieses Signal verstärkt, gefiltert und dient dem automatischen Abgleich der optischen Lokaloszillatorfrequenz und -phase. Wenn die Regelschlaufe phasenstarr eingerastet hat, steht im Regelkreis keine Spannung mehr an, und das empfangene Nutzsignal erscheint am Ausgang des Differenzverstärkers direkt im Basisband.

Bei der Empfangsart «Costas Loop (PLL)» wird das Eingangssignal mit dem Lokaloszillatorsignal in einem sogenannten «90°-Hybrid» überlagert und ergibt zwischen den Ausgangssignalen beider Verstärker eine Phasendifferenz von 90°. Nach dem Mischvorgang wird das so gewonnene Regelsignal (Phasenfehlersignal) gefiltert und dient dem automatischen Abgleich der Lokaloszillatorfrequenz und -phase, ähnlich wie beim vorgenannten Empfänger. Als Vorteil brauchen jedoch hier die empfindlichen Schaltungen vor dem Mischer nicht gleichstromgekoppelt zu sein.

Eine interessante Lösung bildet die «Carrier Amplification» (selektive Trägerverstärkung), wobei der Brillouin-Verstärkungseffekt der Glasfaser ausgenutzt wird: Empfangsseitig pumpt ein Laser Licht rückwärts in die Übertragungsfaser. Der Pumplaser wird dabei in der Frequenz 11 GHz höher eingestellt als die schwach ankommende Signalwelle (entspricht der Verschiebung der Stokeslinie in der Brillouin-Streuung bei $\lambda = 1{,}5\ \mu m$). Liegt die Pumpleistung im Bereich von einigen Milliwatt, entsteht in der Faser – als Folge des nichtlinearen Brillouin-Effektes – ein neues Frequenzband (Stokeslinie), in dem eine optische Verstärkung erzielt werden kann. Die in Richtung Empfänger sich bewegende Signalwelle wird dadurch schon vor dem Fotodiodenmischer selektiv verstärkt. Die Phasen zwischen Pump- und Signalwelle sind gekoppelt: Aufwendige optische PLL-Schaltungen sind bei diesem Carrier Amplificationsystem nicht mehr erforderlich, wie bei den beiden vorgenannten Homodyne-Empfangsarten.

23 Phase Diversity Receiver

Eine weitere Art, die Empfindlichkeit in Homodyne-Empfängern zu erhöhen, ist der «Phase-Diversity»-Empfang, ein Mehrfach-Phasenempfang, der auch die Bezeichnung «Multiport Detection» trägt. Hier arbeitet der Lokaloszillatorlaser auf einer Frequenz, die gleich der ankommenden Lichtfrequenz ist, wobei die Phasen nicht mehr starr miteinander verkoppelt sein müssen. *Figur 3a* zeigt eine Möglichkeit eines optischen «Phase Diversity»-Empfängers, der auch als «*I*n-Phase and *Q*uadrature»-Empfänger (I&Q) bekannt ist. Das Lokaloszillatorsignal und das Eingangssignal werden in einem sogenannten «90°-Hybrid» überlagert, wobei an den beiden Ausgängen zwei Lichtwellen erscheinen, die gegeneinander 90° in ihrer Phase verschieden sind.

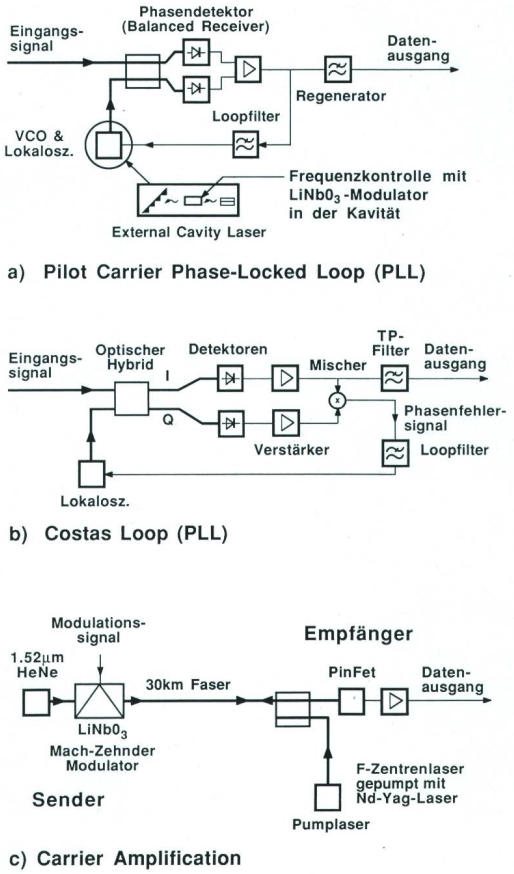

Fig. 2
Verschiedene homodyne Empfangsarten
a) Pilot Carrier Phase-Locked Loop (PLL)
b) Costas Loop (PLL)
c) Carrier Amplification

Bei ASK-Modulation kann gezeigt werden, dass das summierte Signal stets konstant bleibt, dies unabhängig von allfälligen Phasenschwankungen zwischen Lokaloszillator- und Eingangssignal. Liegt eine DPSK-Modulation (*D*ifferentielle *PSK*) vor, kann das Signal so zurückgewonnen werden, dass in beiden Demodulatorzweigen eine Verzögerung von einer Bitperiode eingefügt wird (Fig. 3a *mit Zusatz).* In diesem Fall werden nur Phasenänderungen der Bitzeit T detektiert; alle länger dauernden Phasenvariationen fallen weg.

Es sind noch andere Arten von «Phase-Diversity»-Empfängern bekannt, wie z. B. die in *Figur 3b* gezeigte 3-Phasen-Technik, bei der eine optische Hybridkomponente Phasenschiebungen von 120° liefert und drei Empfänger nötig sind.

24 Polarization Diversity Receiver

Die bei «Phase-Diversity»-Empfängern benötigten optischen Hybridkomponenten sind in der geforderten Genauigkeit heute nur schwer herstellbar, so dass eine

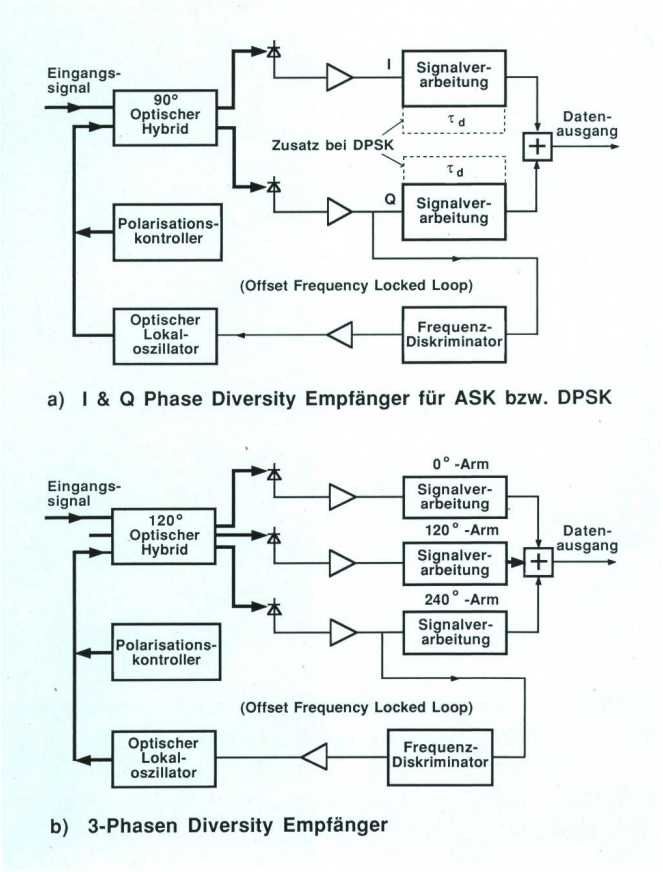

Fig. 3
Verschiedene Phase-Diversity-Empfänger
a) I&Q Phase-Diversity-Empfänger für ASK bzw. DPSK
b) 3-Phasen-Diversity-Empfänger

Umgehung dieser Schwierigkeiten darin bestehen kann, die benötigte Phasenverschiebung gewissermassen direkt ins System einzubeziehen, dies unter Verwendung der Polarisationseigenschaften des Lichtes. *Figur 4* zeigt das Blockschaltbild eines «Polarization-Diversity»-Empfängers. Das hier neu zirkular polarisierte Licht des stark strahlenden Lokaloszillators wird mit dem schwachen, linear polarisierten Eingangssignal überlagert und in einem polarisierenden Strahlteiler in die beiden rechtwinklig zueinander stehenden, praktisch gleich grossen Komponenten zerlegt. Die Summenbildung nach den beiden Demodulatoren liefert ein von der Eingangspolarisation unabhängiges Signal.

Ein «Polarisation Diversity Receiver» bringt damit den Vorteil, dass im Empfängeraufbau kein Polarisationskontroller mehr erforderlich ist. Diesem Vorteil steht allerdings eine Empfindlichkeitseinbusse gegenüber, die je nach Polarisationsgrad des empfangenen Signals und Schaltungsaufwands im Empfänger im Bereich von 1 dB bis 3 dB liegen kann.

3 Spezielle Modulationstechniken

Soll eine leistungsfähige Breitbandübertragung in kohärenter Heterodyne-Technik erstellt werden, stellt sich die grundsätzliche Frage, wie erreicht werden kann, dass bei zunehmender Bitrate die ZF-Bandbreite im Empfänger nicht unnötig erhöht werden muss.

Als eine Möglichkeit bieten sich spezielle Modulationsarten an, die ein kompakteres Frequenzspektrum als die bekannten ASK-, FSK-, PSK-Modulationen aufweisen. Der Einsatz von komplexeren Modulationsarten ist in der Mikrowellentechnik weit verbreitet, so dass aus diesem Bereich viele Möglichkeiten übernommen werden können. So stehen z. B. mit der 4-PSK-Modulation oder der M-Array-Modulation Formate zur Verfügung, die bei gleichbleibender Bitrate eine Verringerung der ZF-Bandbreite erlauben.

Eine attraktive Variante dazu bildet das sogenannte «*M*inimum *S*hift *K*eying» (MSK), eine FSK-Modulation, bei der die Frequenz nur um den Betrag der halben Bitrate verschoben wird. *Figur 5* zeigt die entsprechenden Zwischenfrequenz-Spektren bei 2-PSK, 4-PSK und MSK-Modulation.

Eine weitere Möglichkeit der schmalbandigen Modulation bietet das sogenannte «*C*ontinuous-*P*hase»-*FSK* (CP-FSK). Diese Modulationsart weist keine abrupten Phasensprünge beim Bitübergang auf, womit ebenfalls ein kompaktes Frequenzspektrum ohne die unerwünschten Seitenbänder erreicht wird.

4 Systemaspekte der kohärenten optischen Übertragung

Bei allen bis heute aufgebauten Versuchssystemen für kohärente optische Übertragung bildet die Verringerung der Laserlinienbreite ein zentrales Problem. Viele dieser praktischen Versuche wurden parallel von theoretischen Studien begleitet, die über die erforderlichen Laserlinienbreiten in Kombination mit unterschiedlichen Modulationen und Empfangsarten Auskunft geben. In diesen Betrachtungen stellt das *Verhältnis der Laserlinienbreite zur Bitrate* eine wichtige Kenngrösse dar. Die *Tabelle I* fasst die heute gültigen Erkenntnisse dieses Verhältnisses zusammen. Dabei können hauptsächlich drei Systemkategorien unterschieden werden: Erstens die PSK/Homodyne-Kombination, die bis heute nur mit Extern-Kavitäten-Lasern erreicht wurde. Diese Kategorie erfordert sehr schmale Laserlinienbreiten im Bereich von 10 kHz...100 kHz.

Die zweite Kategorie verlangt Linienbreiten im Bereich von 100 kHz...1 MHz, wobei es in naher Zukunft möglich sein sollte, diese mit sogenannten «*D*istributed-*B*ragg-*R*eflector»-Laserstrukturen (DBR-Laser) zu verwirklichen. Für die dritte Kategorie können breitere Spektralli-

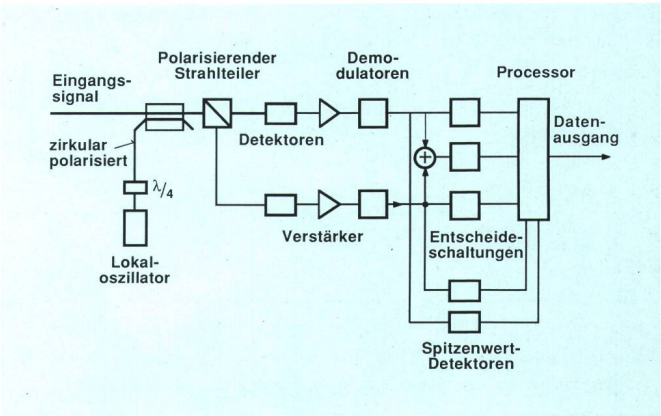

Fig. 4
Polarisation-Diversity-Empfänger

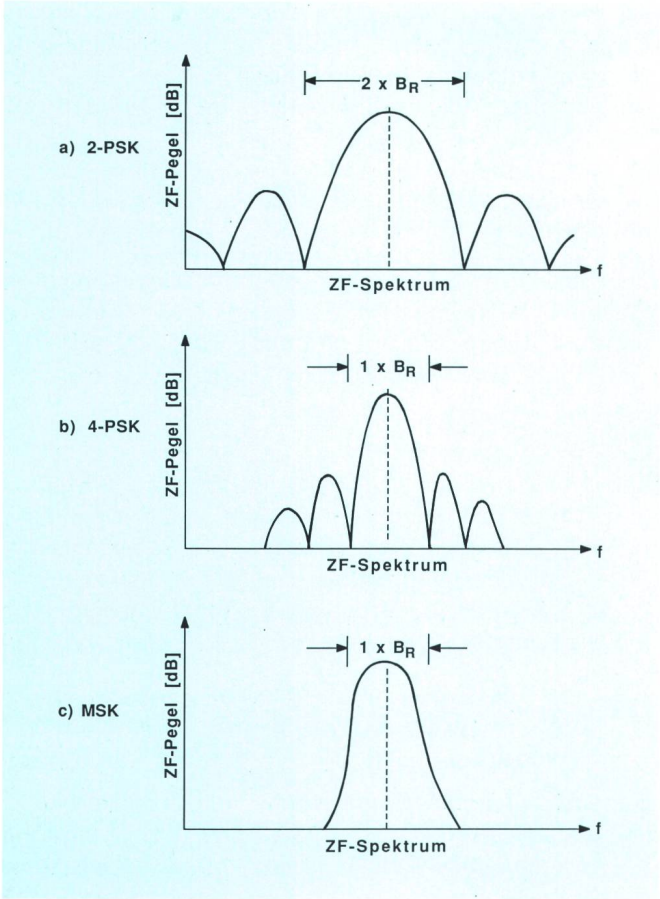

Fig. 5
Zwischenfrequenz-Spektren verschiedener Modulationsarten (B_R = Bitrate)

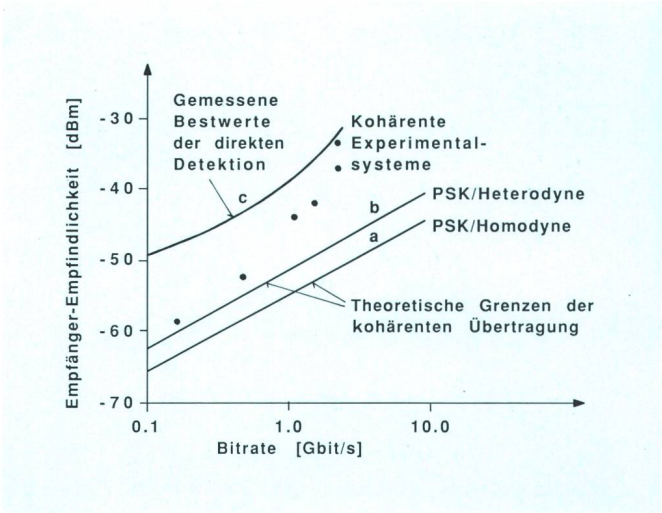

Fig. 6
Vergleich der Empfänger-Empfindlichkeiten verschiedener Experimentalsysteme zu den theoretischen Grenzwerten

nien von 10 MHz...100 MHz toleriert werden, wie dies heutige «*D*istributed *F*eed*b*ack-Laser» (DFB) liefern.

Aus der Tabelle I erkennt man weiter, dass die technisch am schwierigsten herstellbare PSK/Homodyne-Kombination die besten Empfänger-Empfindlichkeiten liefert. Kombinationen mit technisch geringerem Aufwand erbringen entsprechend reduzierte Empfindlichkeiten.

Da weiter in allen Kategorien ein bestimmter Prozentfaktor zwischen Linienbreite und Bitrate besteht, kann gefolgert werden, dass mit dem Übergang zu allgemein höheren Bitraten das Problem der schmalen Laserlinienbreite graduell entschärft wird. Absolut betrachtet erlauben höhere Bitraten den Einsatz von weniger schmalbandigen Lasern. Dieser Trend könnte noch durch die Entwicklung neuer Laser mit höheren Ausgangsleistungen gefördert werden, da im allgemeinen die Linienbreite bei Halbleiterlasern mit zunehmender Lichtleistung schmaler wird. Ein weiteres wichtiges Ziel in Richtung der mehrkanaligen, kohärenten Übertragung wird es auch sein, den Abstimmbereich der Halbleiterlaser zu vergrössern und gleichzeitig einen äusserst stabilen Betrieb derselben zu erreichen.

Um über den Stand der kohärenten optischen Übertragung einen Überblick zu geben, sind in *Figur 6* die Empfängerempfindlichkeiten verschiedener Experimentalsysteme als Punkte eingetragen, dies im Vergleich zu den theoretischen Grenzwerten der kohärenten Übertragung *(Kurven a + b)* und der gemessenen Bestwerte der direkten, inkohärenten Detektion *(Kurve c)*. Man erkennt daraus, dass sich die erreichten Empfindlichkeiten kohärenter Systeme bis ungefähr 1 Gbit/s recht gut an die theoretischen Werte annähern. Bei Bitraten über 1 Gbit/s fallen dagegen die bis heute erreichten Leistungssteigerungen noch bescheiden aus.

Tabelle 1. Erforderliche Laserlinienbreiten der verschiedenen Systemkombinationen — Empfindlichkeitsverhältnisse

Systemkombinationen	Verhältnis der Laserlinienbreite zur Bitrate $\Delta f_T/B_R$	Einbusse der Empfängerempfindlichkeit, bezogen auf PSK/Homodyne-Kombination
PSK/Homodyne (ASK/Homodyne)	0,01 %...0,05 %	0 dB 3 dB
PSK/Heterodyne DPSK/Heterodyne	~0,1 %...0,5 %	3 dB 4 dB
2-FSK/Heterodyne ASK/Heterodyne	~10 %...50 %	~6...7 dB ~6...7 dB

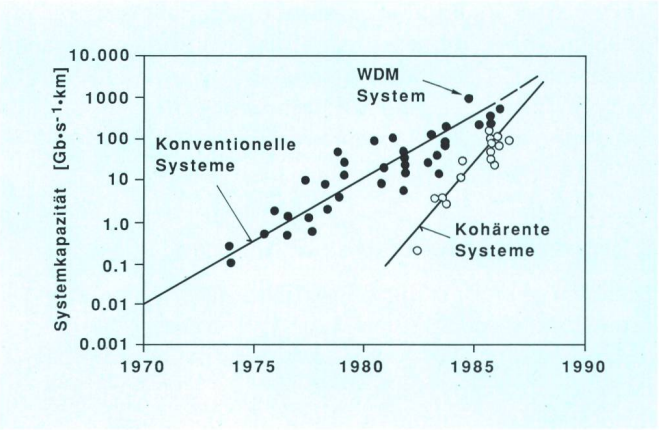

Fig. 7
Entwicklung der Glasfaser-Übertragungstechnik bezüglich der Systemkapazitäten

Figur 7 zeigt den Fortschritt der letzten Jahre auf dem Gebiet der Glasfasertechnik. Aufgetragen sind die Systemkapazitäten (Bitrate × verstärkerlose Übertragungsdistanz) im Verlauf der letzten Entwicklungsjahre. Deutlich ist die stetige Weiterentwicklung ersichtlich, und die Überlegenheit der kohärenten über konventionelle Systeme dürfte jedenfalls im Experiment bereits erreicht sein.

5 Schlussbetrachtung

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die kohärente optische Übertragung in künftigen Kommunikationssystemen eine bedeutende Rolle einnehmen wird. So wurden auf dem Gebiet der Weitdistanz-Übertragung bereits Strecken von über 200 km verstärkerlos überbrückt.

Ein weiteres beachtliches Potential liegt jedoch vor allem bei der wesentlich effizienteren Kapazitätsausnutzung der heutigen Monomode-Glasfaser, da die kohärente Übertragung eine kompakte Frequenzmultiplexierung im Lichtbereich erlaubt und damit ein Vielfaches an Kanälen übertragen werden kann. Diese Vielkanaligkeit, kombiniert mit der Möglichkeit, jeden einzelnen Kanal im Empfänger durch einfaches Durchstimmen des Lokaloszillators selektiv auszuwählen, eröffnet der Glasfasertechnik neue Aspekte und Anwendungsgebiete. Denkbar sind Anwendungen im Ortsbereich, die gegenwärtig untersucht werden, mit dem Ziel, dem Kommunikationsteilnehmer robuste und kostengünstige Breitbandsysteme anbieten zu können.

Bibliographie

[1] *Garrett I.* and *Jacobsen G.* The effect of laser linewidth on coherent optical receivers with nonsychronous demodulation. J. of Lightwave Technology, Vol. LT-5, No. 4, April 1987.

[2] *Suematsu Y.* and *Arai S.* Integrated optics approach for advanced semiconductor lasers. Proc. of IEEE, Vol. 75, No. 11, Nov. 1987.

[3] *Smith D.W.* Techniques for multigigabit coherent optical transmission. J. of Lightwave Technology, Vol. LT-5, No. 10, Oct. 1987.

[4] *Davis A.W.* et al. Phase diversity techniques for coherent optical receivers. J. of Lightwave Technology, Vol. LT-5, No. 4, April 1987.

[5] *Stanley I.W.* et al. The application of coherent optical techniques to wide-band networks. J. of Lightwave Technology, Vol. LT-5, No. 4, April 1987.

[6] *Wagner R.E.* et al. Coherent lightwave systems for interoffice and loop-feeder applications. J. of Lightwave Technology, Vol. LT-5, No. 4, April 1987.

[7] *Béguin C.* Kohärente optische Übertragung. Techn. Mitt. PTT, Bern 67 (1989) 5, S. 230.

[8] *Béguin C.* Komponenten der kohärenten optischen Übertragung. Techn. Mitt. PTT, Bern 67 (1989) 6, S. 282.

Die nächste Nummer bringt unter anderem:

Vous pourrez lire dans le prochain numéro:

8/89

Zbinden F. — Conception du RNIS concrétisée en Suisse par Swissnet
L'ISDN e la sua realizzazione in Svizzera con Swissnet

Pitteloud J. — La messagerie électronique X.400 se consolide
Electronic Messaging X.400 konsolidiert sich

Glättli P. — Verarbeitung von Qualitätsdaten am Beispiel einer Telefonstation