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: 66 (1988)

Heft: 8

Artikel: Forschung und Entwicklung in der Telekommunikation

Autor: Leuthold, Peter

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-876256

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: 02.01.2026

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

Forschung und Entwicklung in der Telekommunikation[1]

Peter LEUTHOLD, Zürich[2]

Zusammenfassung. *Die Aufrechterhaltung der Wettbewerbsfähigkeit nachrichtentechnischer Unternehmen am internationalen Markt erfordert angemessene Aufwendungen für Forschung und Entwicklung. Während die Entwicklung konkret auf die Verwirklichung eines Produkts hinsteuert, schafft die Forschung im wesentlichen die Voraussetzungen für eine erfolgreiche Entwicklung. Der Autor legt das Schwergewicht auf die* Forschung. *Zunächst werden die Expansionsräume der Telekommunikation ausgeleuchtet, in denen wirklich neue Dienste bzw. Systeme zu erwarten sind. Es handelt sich dabei vor allem um die hochqualitative Bildübertragung in Verteil- und Dialogdiensten. Die überdurchschnittlich wachsende Nachfrage nach mobiler Kommunikation zwingt zur Erforschung neuer Wege für eine effizientere Ausnützung des Frequenzspektrums. Schliesslich führt die immer leistungsfähigere Computertechnik zu neuen Möglichkeiten in der Signal- und Informationsverarbeitung; vielversprechend sind erste Anwendungen der künstlichen Intelligenz im Bereich des Entwurfs und des Unterhalts komplexer Nachrichtenübertragungssysteme. Die Schwerpunkte der heutigen Entwicklung im Bereich der leitungsgebundenen und der Funknetze sowie der Satellitenverbindungen werden kurz gestreift. Darauf folgt, mit einem Seitenblick auf die europäischen Grossprojekte wie RACE und EUREKA, eine Diskussion innovationsträchtiger Forschungsgebiete im Bereich der faseroptischen Nachrichtenübertragung, der drahtlosen Übertragung und der Signal- und Informationsverarbeitung. Abschliessend wird noch die Frage nach grundsätzlich neuen Technologien und Übertragungsmethoden gestellt, die in fernerer Zukunft aktuell werden könnten.*

Recherche et développement dans les télécommunications

Résumé. *Les entreprises de télécommunication ne resteront concurrentielles sur le marché international que si des mesures appropriées concernant la recherche et le développement sont mises en œuvre. Alors que le développement vise à la réalisation concrète d'un produit, la recherche remplit les conditions préalables à un développement couronné de succès. L'auteur met l'accent sur la* recherche. *Les secteurs en expansion des télécommunications dans lesquels il faut réellement s'attendre à la naissance de nouveaux services ou systèmes sont tout d'abord présentés. Il s'agit avant tout de la transmission haute-qualité d'images par les services de distribution ou de dialogue. La croissance rapide de la demande en matière de communication mobile motive l'effort en faveur d'une utilisation plus efficace du spectre des fréquences. Les techniques informatiques toujours plus performantes ouvrent de nouvelles possibilités dans les domaines de traitement des signaux et de l'information; les premières applications de l'intelligence artificielle pour l'ébauche et l'entretien de systèmes complexes de communication sont d'ores et déjà encourageantes. Les points forts du développement actuel sont brièvement esquissés, en particulier en ce qui concerne les réseaux câblés, les réseaux de stations de radio et les liaisons par satellites. Suit une discussion sur les secteurs de recherche particulièrement innovatifs, de la transmission optique de données, de la transmission sans fil et du traitement des signaux et de l'information, avec mention des grands projets européens (par exemple RACE et EUREKA).*

Ricerca e sviluppo nelle telecomunicazioni

Riassunto. *Le ditte di telecomunicazione, se vogliono restare concorrenziali sul mercato internazionale, devono impegnarsi notevolmente nel settore della ricerca e dello sviluppo. Mentre lo sviluppo deve portare alla realizzazione di un prodotto, la ricerca crea le basi essenziali per uno sviluppo proficuo. L'autore pone l'accento sulla* ricerca. *Dapprima illustra gli spazi evolutivi delle telecomunicazioni, in cui si possono prevedere servizi, risp. sistemi nuovi. Si tratta soprattutto della trasmissione di immagini ad alta qualità nei servizi di distribuzione e di comunicazione. La richiesta superiore alla media di comunicazioni mobili costringe a cercare vie nuove per sfruttare in modo più efficiente lo spettro delle frequenze. La tecnica sempre più efficiente dei computer porta a nuove possibilità nella diffusione di segnali e informazioni; molto promettenti sono le prime applicazioni di intelligenza artificiale per la progettazione e la manutenzione di sistemi complessi di trasmissione di messaggi. L'autore menziona brevemente i punti più importanti dell'attuale sviluppo nel campo delle reti via cavo, delle reti radioelettriche e dei collegamenti per satellite. Dopo uno sguardo ai grandi progetti europei come RACE e EUREKA segue una discussione sui settori più innovativi della ricerca nel campo della trasmissione ottica di messaggi, della trasmissione senza filo e dell'elaborazione di segnali e informazioni. L'autore si chiede infine quali nuove tecnologie e quali nuovi metodi di trasmissione si imporranno in un futuro più lontano.*

1 Einleitung

Die steigende Nachfrage nach immer leistungsfähigeren Telekommunikationssystemen, die heute dank der modernen Technologie mit vertretbarem Aufwand hergestellt werden können, führt zu einer Verkürzung der Zyklenzeit zwischen aufeinanderfolgenden Innovationen. Dies geht sehr deutlich aus *Tabelle I* hervor, die dem Geschäftsbericht eines europäischen Grossunternehmens entnommen wurde [1]. Zusammen mit der wachsenden Komplexität der Systeme (Hard- und Software) ergibt sich damit eine massive Erhöhung des Aufwands für Forschung und Entwicklung. In der Tat zeigt das bereits erwähnte Unternehmen gemäss *Figur 1* seit 1987 eine stetige Zunahme der Kosten für Forschung und Entwicklung, die sich vor allem in den letzten vier Jahren beträchtlich beschleunigt hat [2]. Ganz allgemein lässt sich feststellen, dass der Entwicklungsaufwand in den bedeutenden Telekommunikationsunternehmen, bezogen auf den Gesamtumsatz, von deutlich weniger als

Tabelle I. Verkürzung des Innovationszyklus (Quelle: Siemens)

Entwicklung	Produkteanteil	
	1977/78	1982/83
In den letzten fünf Jahren	45 %	53 %
Vor sechs bis zehn Jahren	30 %	28 %
Vor mehr als zehn Jahren	25 %	19 %

[1] Vortrag, gehalten am asut-Seminar 1988

[2] Der Autor ist Vorsteher des Instituts für Kommunikationstechnik an der Eidg. Technischen Hochschule, Zürich

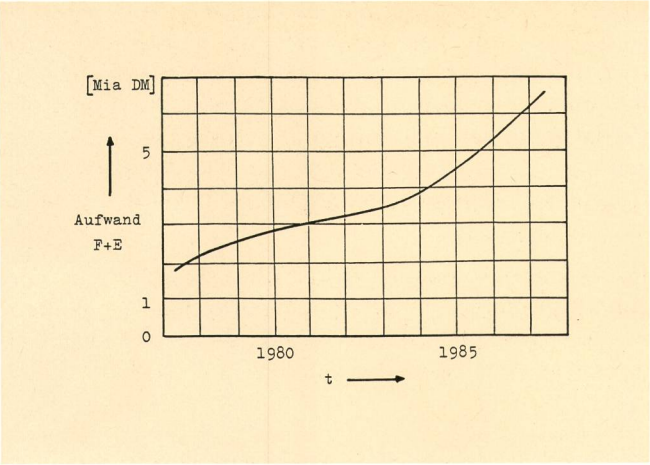

Fig. 1
Kosten für Forschung und Entwicklung (Quelle: Siemens)

10 % in der 70er Jahren heute auf 12 % und mehr angewachsen ist *(Fig. 2)*. Der Anteil der Forschung liegt dabei schätzungsweise nur in der Gegend von 10 % [3].

Die Aufrechterhaltung der Wettbewerbsfähigkeit eines Unternehmens am internationalen Markt erfordert angemessene Aufwendungen für Forschung und Entwicklung. Dabei erhebt sich zunächst die Frage, *wodurch sich Forschung und Entwicklung überhaupt unterscheiden.* Die Praxis zeigt, dass hier in breiten Kreisen oft unklare Vorstellungen herrschen. In der *Tabelle II* sind die wichtigsten Merkmale festgehalten. Hervorzuheben ist die Tatsache, dass die *Forschung* die *Voraussetzungen für eine Entwicklung* schafft und dass ihr Ergebnis im Gegensatz zu jenem der Entwicklung nicht oder nur vage vorhergesagt werden kann. Besonders lassen sich Misserfolge auch beim Einsatz hochqualifizierter Wissenschafter und Ingenieure selbst bei sorgfältiger Planung nicht vermeiden, was die Forschung aus der Sicht der Unternehmensführung recht häufig in das Bild eines notwendigen Übels rückt.

Selbstverständlich gibt es zwischen Forschung und Entwicklung eine ausgedehnte Grauzone, die eine *klare Trennung verunmöglicht* und damit einen Zusammenzug der beiden Begriffe nahelegt. Im folgenden soll aber dennoch versucht werden, die Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten auf dem Gebiet der Telekommunikation getrennt zu behandeln, wobei sich natürlich Überlappungen nicht vermeiden lassen. Im Blick auf die eigene Tätigkeit wird dabei das Schwergewicht auf die Forschung gelegt.

Zunächst geht es um eine kurze Auslotung der Expansionsräume der Telekommunikation, wo in absehbarer Zeit Evolutionen auf breiter Basis stattfinden werden. Hernach wird ein Überblick über aktuelle Entwicklungsschwerpunkte gegeben. Mehr Raum erhält die Beschreibung der Forschungsaktivitäten, die sich auf die Breitbandkommunikation, die drahtlose Nachrichtentechnik sowie die Signal- und Informationsverarbeitung konzentrieren. Nach einem Ausblick auf grundsätzlich neue Telekommunikationsformen und -technologien in fernerer Zukunft werden abschliessend einige sich aufdrängende Konsequenzen diskutiert.

Tabelle II. Unterschiede zwischen Forschung und Entwicklung

Aspekte	Forschung	Entwicklung
Motivation Marktbedarf für Produkt bzw. System:	In groben Umrissen vorhanden, eventuell auch nur Neugier	Vorhanden
Voraussetzung Physikalische Grundlage, Systemkonzept und Technologie (Hard- und Software):	Nicht oder nur teilweise vorhanden	Vorhanden
Zielsetzung Schaffung von Voraussetzungen:	Für die Entwicklung (Machbarkeit)	Für die effiziente Realisierung
Durchführung Resultate:	Nicht absehbar	Absehbar
Redundanz:	Gross	Klein
Management:	Nur Planung der Untersuchung möglich	Straffe Planung und Organisation

2 Expansionsräume der Telekommunikation

Wenn man sich heute fragt, wo in näherer Zukunft etwas wirklich Neues in der Telekommunikation passiert, das nicht einfach als konsequente Weiterentwicklung des Bestehenden bezeichnet werden kann, so lassen sich nur wenige Gebiete nennen.

21 Vermittelte Bewegtbildkommunikation

In bezug auf die Dialogdienste hat man sich bis heute auf die Übertragung von Sprache, Text, Daten und stehende Bilder beschränkt. Die menschliche Kapazität zur Aufnahme von Information, die natürlich auch die Basis der Kommunikationsfähigkeit bildet, präsentiert sich aber wie folgt [4]:

Auge 87 %
Ohr 10 %
übrige Sinnesorgane 3 %.

Der Umstand, dass man bis anhin die visuellen Kommunikationsmöglichkeiten nicht ausgeschöpft hat, ist lediglich auf die viel zu aufwendige technische Verwirklichung entsprechender Einrichtungen zurückzuführen.

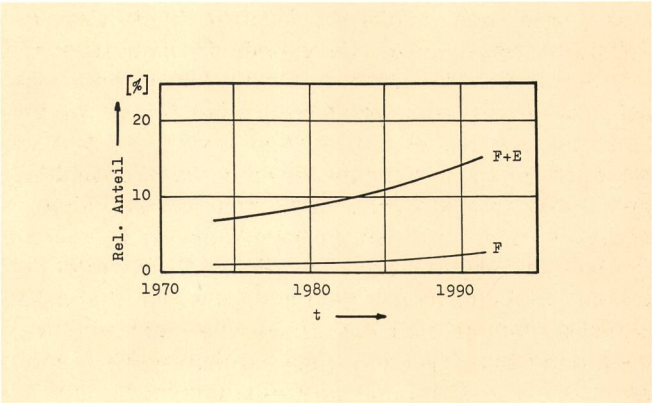

Fig. 2
Prozentualer Anteil der Entwicklungskosten am Gesamtumsatz der Fernmeldeindustrie

Mit der Entwicklung der Glasfaserübertragungssysteme hat sich nun diese Sachlage grundsätzlich verändert, und in einem Bericht über die Fortschritte der europäischen Forschungsprojekte ESPRIT und RACE im «Marché Communautaire» [5] war die treffende Bemerkung zu lesen:

«A tous niveaux semble-t-il, on a en effet pris conscience que la véritable révolution technologique est celle de l'image, de sa numérisation (enregistrement sous forme digitale) et de sa transmission à très grande vitesse».

Von entscheidender Bedeutung ist dabei die hohe Bildqualität, die dem Auge die notwendige Informationsmenge auch tatsächlich anbietet [6]. Trotz grossen Fortschritten bei der Bilddatenkompression wird es nie möglich sein, mit 64 kbit/s auf dem ISDN diesen Ansprüchen auch nur einigermassen gerecht zu werden. Vielmehr sind im Vergleich zur klassischen Fernsehnorm verbesserte Verfahren (EQTV[1], HDTV[2]) und in fernerer Zukunft sogar dreidimensionale Bildübertragungsverfahren einzusetzen.

Die hochqualitative vermittelte Bewegtbildkommunikation, die früher oder später kommen wird, darf wohl als Hauptgrund gelten, warum der Schritt vom ISDN zum Breitband-ISDN vollzogen werden *muss.* Entsprechend konzentriert sich die Forschung auf die Suche nach effizienten, zuverlässigen und kostengünstigen Techniken für die Breitbandkommunikation.

22 Effiziente Ausnützung des Äthers

Ein überdurchschnittliches Wachstum weist die Nachfrage nach mobiler Kommunikation auf. Im Gegensatz zur leitungsgebundenen Übertragung steht man hier vor dem Problem der begrenzten Bandbreite des elektromagnetischen Frequenzspektrums im Äther, in die sich alle Dienste teilen müssen. Wenn man sich also vorstellt, dass in fernerer Zukunft jedermann mit einem Taschen- oder Armband-Telefon bzw. -Videophon ausgerüstet und damit jederzeit an jedem Ort erreichbar sein will, erheben sich ernsthafte Bedenken, ob dies wegen der zu erwartenden Interferenzeffekte überhaupt möglich sein wird [7]. Hinzu kommen die Navigations- und Ortungsdienste (Antikollisionsradar usw.), die in wachsendem Ausmass der privaten Nutzung zugänglich gemacht werden und damit ebenfalls eine beträchtliche Belastung des Frequenzspektrums darstellen.

Heute setzt sich bereits die Einsicht durch, dass der Äther im wesentlichen für mobile Dienste reserviert werden muss und dass ortsfeste Funkdienste, einschliesslich Rundfunkversorgung, langfristig weitgehend auf Leitungsnetze zu verlegen sind. Diese Aussage gilt auch für die Fernmeldesatelliten, die in absehbarer Zeit durch faseroptische Interkontinentalverbindungen abgelöst werden können. Eine bedeutsame Steigerung der Frequenzökonomie hat die zellulare Struktur der modernen Mobilfunknetze gebracht, die die drahtlosen Strecken minimalisiert und damit eine mehrfache Nutzung derselben Frequenzen auf verhältnismässig geringem Raum gestattet. Weitere Anstrengungen sind nötig, um die Ausnützung der verfügbaren Frequenzen zu verbessern. Als Parameter für die Beurteilung eines Übertragungsverfahrens ist dabei nicht nur die belegte Bandbreite zu betrachten, sondern es muss zudem das Verhalten gegenüber Störungen sowie die Anpassung an das Verkehrsaufkommen berücksichtigt werden. Grosse Bedeutung kommt auch der Konzeption optimaler Antennen zu.

Im erwähnten Bereich sind eine Vielzahl von Forschungsprojekten angesiedelt, die allerdings eine erheblich geringere Publizität geniessen, als sie es hinsichtlich ihrer Tragweite verdienen würden.

23 Informationsaufbereitung mit Methoden der künstlichen Intelligenz

Der Einsatz von Software in Telekommunikationssystemen für die Steuerung von Funktionseinheiten zur Signalverarbeitung, Vermittlung und Regelung hat in den letzten Jahren stark zugenommen, und eine Sättigung steht noch in weiter Ferne. Leider waren die Anstrengungen, mit Software die Benützerfreundlichkeit der Peripheriegeräte zu steigern, nicht so erfolgreich, wie man es sich hätte wünschen können. Dies hängt damit zusammen, dass sich gleichzeitig die Systemkomplexität drastisch vergrössert hat.

Mit der sogenannten «künstlichen Intelligenz» ist nun ein Element ins Spiel gekommen, das die Telekommunikation in bezug auf Informationserkennung und hinsichtlich «man-machine interaction» einen wesentlichen Schritt weiterbringen könnte. Da jedermann mit den Endgeräten eines Nachrichtenübertragungssystems konfrontiert wird, dürfen letztere nicht das Verhalten eines Computers aufweisen und z. B. die Ausführung eines Befehls verweigern, wenn die Eingabe nicht ganz korrekt war. Künftige Telekommunikationssysteme müssen über eine ausreichende Intelligenz verfügen, die in der Lage ist, Informationen zu beschaffen und in ansprechender Weise darzustellen sowie aufgrund von Erfahrungen den Benützer aktiv zu unterstützen. In diesem Zusammenhang kann auch die automatische Sprachübersetzung erwähnt werden, die nicht nur rein formal, sondern auch dem Sinne nach richtig erfolgen sollte. Es ist zu erwarten, dass hier in den nächsten Jahren eine Vielzahl faszinierender Forschungsarbeiten angesiedelt sein werden.

3 Entwicklungsschwerpunkte

Die heutige Entwicklung in der Telekommunikation befasst sich vor allem damit, ausgehend von den bestehenden Systemen durch den Einsatz modernster Komponenten und Funktionseinheiten leistungsfähigere und dennoch kostengünstige Produkte zu verwirklichen. *Tabelle III* zeigt eine Übersicht über wichtige Bausteine moderner Kommunikationssysteme. Die heutige Situation ist dadurch gekennzeichnet, dass das Potential der Anwendungsmöglichkeiten der neuesten Generation von Halbleiter- und Nichthalbleiterkomponenten noch bei weitem nicht ausgeschöpft ist. Die sich im Gange befindliche stürmische Weiterentwicklung der Technologie dürfte in absehbarer Zeit keine Änderung dieses Zustandes mit sich bringen.

---

[1] Enhanced quality television
[2] High definition television

Tabelle III. Wichtige Bausteine moderner Kommunikationssysteme

Bereich Halbleiter – IC (LSI, VLSI, VHS) – CCD (charge coupled devices) – DSP (digitale Signalprozessoren) – µP (Mikroprozessoren) – Computer (inkl. Mikrocomputer) – Optoelektronische Elemente (Laserdioden, LED, Fotodioden)
Bereich Nichthalbleiter – SAW (surface acoustic wave devices) – Integrierte Optik – OSP (optische Signalprozessoren) – Glasfasern – Ferroelektrische Speicher (RAM)

Unverkennbar ist auch der Trend, die Signalaufbereitung und -verarbeitung möglichst weitgehend mit Software in den Griff zu bekommen (µP, DSP, µC). Dadurch erhält man eine enorme Flexibilität, die spätere Anpassungen im Betrieb zulässt. Schnellere ICs, geeignete Prozessorstrukturen und bessere Algorhythmen sorgen zudem dafür, dass Signale mit Grenzfrequenzen bis zu einigen 10 MHz verarbeitet werden können.

Tabelle IV gibt eine grobe Übersicht über Entwicklungsschwerpunkte in der Telekommunikation.

Von zentraler Bedeutung ist sicher die nun anlaufende flächendeckende Einführung des ISDN, und zwar sowohl von der Technik als auch von den Diensten her. Zugleich rückt der Übergang zum Breitband-ISDN in greifbare Nähe, wobei aber die Konzepte für den Einzug der Faseroptik im Ortsnetz noch nicht abschliessend festgelegt sind. Interessante Entwicklungen zeichnen sich auf dem Gebiet der lokalen Netzwerke (LAN) ab, wo höhere Übertragungskapzitäten gefordert werden, die ihrerseits Anpassungen der Struktur, der Kommunikationssoftware und der Übertragungsverfahren zur Folge haben.

Tabelle IV. Entwicklungsschwerpunkte in der Telekommunikation

Bereiche	Teilbereiche	Probleme
Leitungsgebundene Netze	ISDN (Dienste, Technik, Peripherie)	Akzeptanz, Benützerfreundlichkeit, Datenschutz
	Übergang zu B-ISDN (Ortsnetze mit faseroptischer Übertragung)	Strategie, Transfermode, Struktur, Zuverlässigkeit
	Faseroptische interkontinentale Verbindungen	Repeaterdistance, Zuverlässigkeit
	LAN, MAN	Struktur, Protokolle, Standardisierung
Funknetze	Mobilfunk (TDMA, digital, zellular, mikrozellular)	Frequenzmanagement, Verbindungen zu ISDN, Datenschutz
	«wireless-ISDN»	Kompatibilität
	Lokalfunk (inhouse)	EMC
Satelliten	Direktempfang	Leistung, Normen
	Mobiles Satellitensystem	Empfangstechnik
	Navigation GPS	Präzision

Auch hier dürfte die Glasfaser zunehmend Eingang finden, nicht zuletzt wegen der grossen Störfestigkeit.

Bei den drahtlosen Systemen wird nun die Entwicklung einer neuen Generation öffentlicher Mobilfunksysteme vorangetrieben, die ganz Europa (mit Ausnahme der Ostblockstaaten) abdecken sollen. Die bisherige Zellularstruktur wird beibehalten, hingegen soll anstelle einer analogen Übertragung mit Frequenzmultiplex (FDMA) ein digitales Signalformat mit Zeitmultiplex (TDMA) verwendet werden.

Vor allem in Japan beschäftigt man sich schon intensiv mit dem Zusammenschluss terrestrischer, maritimer und aeronautischer Mobilfunksysteme zu einem «wireless-ISDN».

Zunehmende Bedeutung erlangt auch die drahtlose Inhouse-Kommunikation, wo man an den Einsatz von Mikrozellularsystemen denkt.

Neben den klassischen Fernmeldesatelliten werden in zunehmendem Masse Satelliten als Basisstationen grossräumiger Mobilfunknetze verwendet. Die Fortschritte auf dem Gebiet der Empfangstechnik erlauben die Verwirklichung kostengünstiger Bodenstationen. Neben der Befriedigung von Kommunikationsbedürfnissen lassen sich auch Navigationsaufgaben lösen. Die Entwicklung verhältnismässig leistungsstarker Satelliten, die ihre Energie scharf gebündelt zur Erde abstrahlen und damit den Einsatz von Empfängern mit Parabolantennen von nur 60 cm Durchmesser erlauben, ermöglicht eine direkte Verteilung von Fernsehprogrammen an private Haushalte.

4 Forschung

Um Anhaltspunkte zu bekommen, wo heute die Schwerpunkte der Forschung im Bereich der Telekommunikation liegen, lohnt sich ein Blick in die Programme der vier wichtigen europäischen Forschungsvorhaben COST, ESPRIT, RACE und EUREKA. RACE ist ausschliesslich der Integrierten Breitbandkommunikation (IBC) gewidmet und konzentriert sich auf die Konzeption hochleistungsfähiger Glasfaserübertragungssysteme. Der Forschungsschwerpunkt im Telekommunikationsbereich bei COST hat sich in den letzten Jahren von der drahtlosen Übertragung ebenfalls zur Breitbandkommunikation verschoben. ESPRIT befasst sich im Telekommunikationsbereich mit «Verteilten Informationssystemen» für CAD- und CIM-Applikationen; entsprechend sind die Projekte stark Software-orientiert. EUREKA schliesslich hat sich zum Ziel gesetzt, Projekte «in Marktnähe» zu verfolgen. Diese gehören also eher in den Bereich der Entwicklung oder mindestens der angewandten Forschung. Im Sektor Telekommunikation werden ebenfalls Breitbandübertragungssysteme studiert, daneben gilt die Aufmerksamkeit u. a. bestimmten Eigenschaften von Informationssystemen wie der Zugänglichkeit und dem Datenschutz.

41 Breitbandkommunikation

411 Faseroptische Kommunikationssysteme

Aus *Figur 3* [8] geht hervor, wie sich die Leistungsfähigkeit der faseroptischen Kommunikationssysteme in den vergangenen Jahren gesteigert hat. Im folgenden sollen

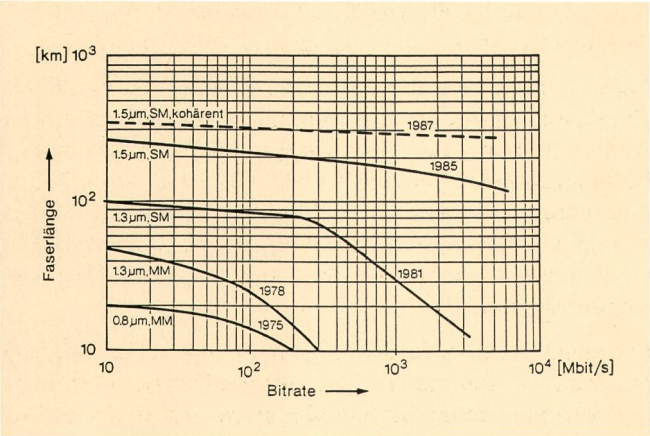

Fig. 3
Übersicht über die Entwicklung der Leistungsfähigkeit faseroptischer Übertragungssysteme
MM Multimode-Fasern SM Singlemode-Fasern

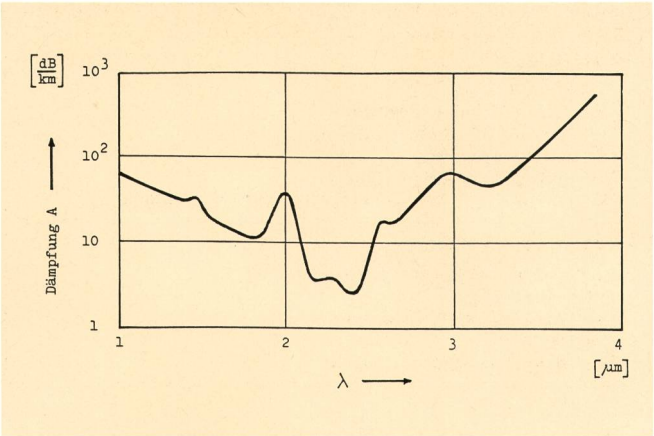

Fig. 5
Dämpfungsverlauf einer Singlemode-Fluoridglasfaser

Potentiale für künftige Verbesserungen beschrieben werden, wobei die kohärente optische Übertragung Gegenstand eines besonderen Abschnitts bildet.

Was die Fasern auf Silikatglasbasis betrifft, hat man heute bereits gewisse physikalische Grenzen erreicht. Wie aus *Figur 4* hervorgeht, kann die Dämpfung zufolge der Rayleighstreuung und der Infrarotabsorption kaum mehr verbessert werden. Für die Übertragung von Impulsen im Gbit/s-Bereich stellt die Dispersion den begrenzenden Faktor dar, da die resultierende Impulsverbreiterung die Detektion im Empfänger beeinträchtigt. Die Dispersion lässt sich durch kompliziertere Brechungsindexprofile der Glasfaser über einen grossen Wellenlängenbereich verringern, man spricht von sogenannten «dispersion flattened» Singlemode-Fasern (DF-SM-Fasern), die aber natürlich teurer sein werden als gewöhnliche Singlemode-Fasern. Bereits untersucht man Fasern auf Fluoridglasbasis, die bei grösseren Wellenlängen erheblich tiefere Dämpfungswerte erwarten lassen [9]. Wie aus *Figur 5* hervorgeht, sind die bisherigen Ergebnisse vielversprechend.

Bei den Lasern wünscht man sich eine möglichst schmalbandige Emission, um die Dispersionseffekte zu minimalisieren. Leider ist dies im 1,3-µm- und im 1,5-µm-Bereich wesentlich schwieriger zu erreichen als im 0,8-µm-Bereich. Mit besonderen Mikrostrukturen in der emittierenden Schicht lassen sich beachtliche Verbesserungen erzielen (distributed feedback), leider sind aber solche Laser noch ausserordentlich teuer. Ein weiteres Problem besteht darin, die Kapazität der Sperrschicht eines Lasers möglichst klein zu halten, da sie die maximal mögliche Modulationsfrequenz limitiert. Heute kommt man in den Bereich von 10 GHz und mehr, noch höhere Werte werden mit externen optischen Modulatoren erreicht [10]. Erfolgreiche Versuche liegen auch mit Lasern vor, die gleich in die Faser integriert sind und künftig möglicherweise als Repeater verwendet werden können. Die Empfindlichkeit der Photodioden als Detektor von Lichtsignalen konnte in den letzten Jahren ebenfalls beträchtlich verbessert werden. Besonderen Erfolg verspricht man sich von einer Avalanche-Diode mit neuartiger Geometrie (surface area graded multiplication).

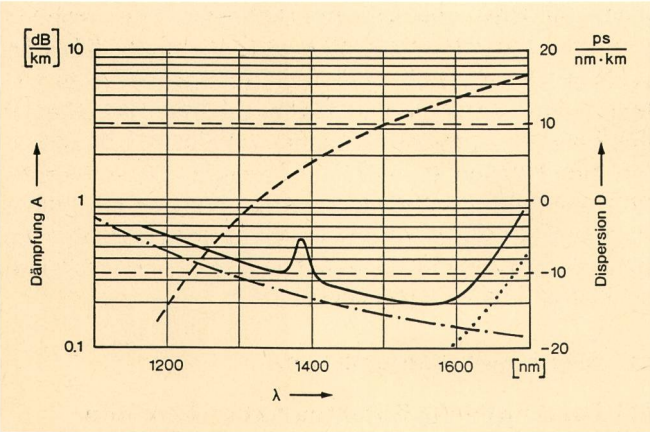

Fig. 4
Dämpfung und Dispersion einer Singlemode-Faser
——— Dämpfung
– – – – Dispersion
–.–.–.– Rayleigh-Streuung
····· Infrarotabsorption

In bezug auf faseroptische Kommunikationssysteme mit höchster Kapazität ergeben sich auch Grenzen bei der elektronischen Signalverarbeitung. So lässt sich beispielsweise die günstige Silizium-Halbleitertechnik nicht über 2 Gbit/s hinaus anwenden. Eine Möglichkeit zur Umgehung dieser Grenze besteht in der Verwendung paralleler Bitströme mit geringeren Raten als 2 Gbit/s, die aber trotzdem mit Wellenlängenmultiplex (WDM) auf einer einzigen Faser übertragen werden können. Multi-Gbit/s-Systeme werden bis Mitte der 90er Jahre einsatzbereit sein, wobei heute noch nicht feststeht, welche Techniken sich durchsetzen werden.

Der Vollständigkeit halber sei auch erwähnt, dass grosse Erwartungen in die integrierte Optik gesetzt werden, die es erlaubt, optische Signale gleich im optischen Bereich zu verarbeiten [11]. In diesem Zusammenhang ist die optische Vermittlung «optical switching» zu nennen. Die physikalischen Prinzipien, die dabei zur Anwendung gelangen sollen, sind hinreichend bekannt; es gibt jedoch noch eine Reihe schwieriger Probleme, wie die Kontrolle der Lichtpolarisation, die einer Lösung harren.

412 Kohärente optische Kommunikation

Die Idee, eine monochromatische Lichtwelle in der Amplitude und/oder Phase bzw. Momentanfrequenz ent-

sprechend einem hochfrequenten Träger in der klassischen Übertragungstechnik zu modulieren und im Empfänger kohärent zu demodulieren, visiert zwei wesentliche Ziele an [12]:

- Ausnützung der gesamten Faserbandbreite von 0,8..1,6 µm (etwa 20 000 GHz!) durch optischen Frequenzmultiplex
- Erhebliche Steigerung der Sensitivität des Detektionsprozesses.

Figur 6 zeigt das Blockschema eines kohärenten optischen Übertragungssystems [8]. Die Laserdiode LD2 im Empfänger hat dieselbe Funktion wie der Lokaloszillator in einem Fernseh- oder Radiogerät. Man kann also Tausende von modulierten optischen Trägern, die in einem engen Kanalraster von beispielsweise 2 GHz angesiedelt sind, über eine einzige Faser dem Empfänger zuführen, der nach dem Heterodyn- oder Homodynprinzip mit Hilfe der lokal erzeugten optischen Frequenz das gewünschte Signal herausholt. Es wäre dabei übrigens durchaus denkbar, dass hier der Einsatz analoger Übertragungsverfahren vorteilhaft wäre. Gelänge es also, die kohärente Technik z. B. in den Glasfaser-Ortsnetzen des Breitband-ISDN anzuwenden, so würden jegliche Schranken bezüglich Bandbreite wegfallen.

Was die Sensitivität der Empfänger in den heutigen faseroptischen Kommunikationssystemen betrifft, zeigt sich, dass je Informationsbit etwa 300...1000 Photonen eintreffen müssen, wenn die Bitfehlerwahrscheinlichkeit 10^{-9} nicht überschritten werden soll. Physikalische Betrachtungen ergeben eine theoretische Grenze von 21 Photonen je Informationsbit für dieselbe Fehlerwahrscheinlichkeit. Die erwähnte Grenze wird als «quantum limit» bezeichnet. Mit kohärenter Übertragungstechnik kann man nun diese Grenze erreichen bzw. sogar unterschreiten, d.h. es resultiert gegenüber der gewöhnlichen Lichtpulsübertragung ein Gewinn von bis zu 20 dB. Im Blick auf die Überbrückung grosser Distanzen, insbesondere bei Interkontinentalverbindungen, wäre ein solcher Gewinn höchst willkommen.

Leider ist die kohärente Übertragungstechnik noch weit von einer praktischen Nutzung entfernt. Die besonderen Probleme liegen einerseits in der Stabilität der Laser bezüglich Mittenfrequenz und Bandbreite, die auf Temperatur- und Stromschwankungen sowie auf andere Einflüsse extrem empfindlich sind, anderseits in der Kontrolle der Polarisation im Blick auf die Mischung im Empfänger. Es dürfte sehr interessant sein zu verfolgen, ob und in welchem Zeitraum ein Durchbruch zur befriedigenden Lösung der anstehenden Probleme gelingen wird.

413 Bilddarstellung

Mit der zunehmenden Bedeutung der Bildübertragung stellt sich die Frage nach einer hochqualitativen Bildwiedergabe. Die gute alte Kathodenstrahlröhre erweist sich dabei nach wie vor als das für die Darstellung mittlerer Bildformate am häufigsten eingesetzte Element, obwohl sie gravierende Nachteile wie grosses Volumen, hohe Betriebsspannungen und eine anspruchsvolle und daher verhältnismässig teure Fertigung aufweist. Heute sind grosse Anstrengungen im Gange, nach anderen physikalischen Prinzipien Flachbildschirme zu entwickeln, die eine gute Auflösung und wenn möglich eine farbige Darstellung erlauben. In Frage kommen Bildpunktmatrizen auf der Basis von

- Leuchtdioden (LED)
- Plasmaentladungen
- Elektrolumineszenz
- Flüssigkristallen (LCD).

Die Ansteuerung solcher Matrizen ist ziemlich aufwendig und muss sehr rasch erfolgen, um Bewegtbilder einwandfrei wiedergeben zu können. Dank der integrierten Schaltungstechnik lässt sich dies mindestens für Bildformate mit einer nicht allzu grossen Elementzahl schon recht gut verwirklichen. Allgemein herrscht jedoch die Meinung vor, dass die Bildröhre noch lange im Einsatz bleiben wird [13].

Auf die Grossprojektion von Bildern soll hier nicht näher eingetreten werden. Hingegen sei erwähnt, dass man sich auch mit dreidimensionalen Displays beschäftigt. Problemlos ist natürlich die Erzeugung eines stereoskopischen Seheffektes mit Hilfe von Brillen. Erheblich aufwendiger erweist sich die dreidimensionale Bilddarstellung auf holographischer Basis, insbesondere dann, wenn sie auch noch in Farbe möglich sein soll.

42 Drahtlose Nachrichtentechnik

Wie schon erwähnt, weist der öffentliche und nichtöffentliche Mobilfunk ein überdurchschnittliches Wachstum auf. Die nächste Generation Funkgeräte für ein paneuropäisches öffentliches Mobilfunknetz liegt als Konzept vor und wird sich der digitalen Übertragung mit Zeitmultiplextechnik bedienen [14]. Gegenstand der Forschung ist die übernächste Generation, deren Einsatz aber erst nach dem Jahr 2000 in Frage kommt. Ernst zu nehmende Vorschläge sehen unter anderem die Anwendung der Bandspreiztechnik («spread spectrum»-Technik) vor [15], die trotz ihrer Komplexität dank den Fortschritten der Halbleiter- und SAW-Technologie in den Bereich des Machbaren gerückt ist.

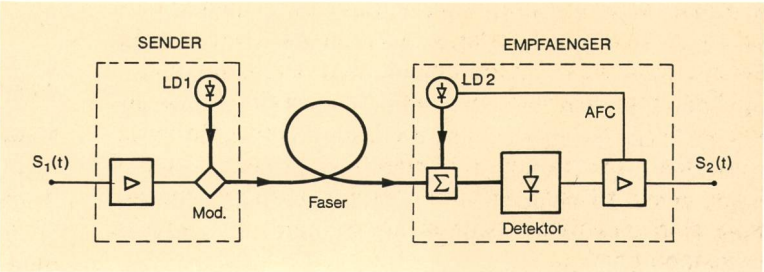

Fig. 6
Blockschema eines Systems mit kohärenter faseroptischer Übertragung
LD1 Laserdiode im Sender
LD2 Laserdiode im Empfänger (optischer Lokaloszillator)
AFC Automatische Frequenzregelung

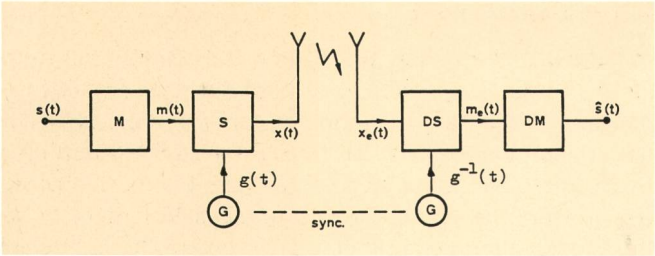

Fig. 7
Blockschema eines Spread-spectrum-Systems
M Modulator
S Bandspreizstufe
DS Rückspreizstufe
DM Demodulator
g(t) Hilfsfunktion

Figur 7 zeigt das Blockschema eines Spread-spectrum-Systems. Im Gegensatz zur klassischen Breitbandtechnik, z. B. Frequenzmodulation (FM), wo das modulierende Nachrichtensignal direkt einen entsprechenden Frequenzhub erzeugt und damit eine Spreizung der Signalbandbreite bewirkt, erfolgt hier die Spreizung mit einer breitbandigen Hilfsfunktion, die im Empfänger bereits bekannt ist und nur noch synchronisiert werden muss. Der Spreizfaktor liegt dabei üblicherweise im Bereich zwischen 100 und 10 000, d. h. ein Sprachsignal mit 4 kHz Bandbreite kann nachher ein Frequenzband von bis zu einigen 10 MHz belegen. Die Bandspreiztechnik schneidet also eher schlecht ab, wenn man nur gerade den Bandbreitebedarf betrachtet; dieser Nachteil wird aber wieder wettgemacht durch eine Reihe von interessanten Eigenschaften, wie die Zugriffsmöglichkeit durch Code-Multiplex (CDMA), hohe Immunität gegenüber selektiven Störern, Kombinationsmöglichkeit Kommunikation/Ortung (Telemetrie, Navigation), elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) mit anderen Informationsübertragungssystemen usw. In diesem Zusammenhang können auch die Untersuchungen auf dem Gebiet der sogenannten Burst-Übertragung erwähnt werden, wo Informationspakete in pseudo-statistisch verteilten Zeitschlitzen zur Ausstrahlung gelangen. Anwendungen der Bandspreiztechnik kommen nicht nur im öffentlichen Mobilfunk, sondern gleichermassen im nichtöffentlichen Funk sowie in der Inhouse-Kommunikation in Frage [16].

Interessante Forschungsarbeiten sind auf dem Gebiet der Satellitenkommunikation im Gange. Ganz allgemein besteht die Tendenz, mehr «Intelligenz» in die Satelliten zu verpacken. So läuft beispielsweise zurzeit eine Studie der Europäischen Raumfahrtsorganisation ESA zum Thema «Telecommunication satellite-switching-system», an der ein internationales Firmenkonsortium beteiligt ist. Ebenfalls interessante Aspekte sind von den Möglichkeiten des SDMA-Verfahrens «space division multiple access» zu erwarten, das auf der Schwenkbarkeit des Sendestrahls eines Satelliten mit «phased-array»-Antennen beruht. Anspruchsvollere Operationen erfordert auch die store- and forward-Satellitenkommunikation, bei der Satelliten in erdnaher Umlaufbahn Nachrichten von einem bestimmten Ort aufnehmen, speichern und hernach an einem anderen Ort wieder absetzen [17]. Der Vorteil dieses Verfahrens besteht darin, dass man am Boden mit Handfunkgeräten arbeiten kann, weil die Distanzen zum Satelliten verhältnismässig kurz sind und damit geringe Leistungen und einfache Antennen genügen.

Die Kommunikation im Weltraum, d. h. zwischen verschiedenen Satelliten, Raumstationen und Raumfahrzeugen, erhält zunehmende Bedeutung. Als Medien lassen sich hier, im Gegensatz zu Verbindungen, die durch die Atmosphäre gehen, Millimeterwellen und Laserstrahlen im sichtbaren und unsichtbaren Bereich verwenden. Beachtlich sind die Fortschritte, die in den letzten Jahren in der Millimeterwellentechnik gemacht wurden [18]. Dank der scharfen Strahlbündelung, die mit Antennensystemen kleinster Abmessungen erreicht werden kann, sind solche Verbindungen äusserst störfest. Diese Aussage gilt natürlich in besonderem Masse auch für Laserstrahlverbindungen.

43 Signal- und Informationsverarbeitung

431 Codierung

Bekanntlich verfolgt die Codierung drei Zwecke: Datenkompression «source encoding», Fehlerdetektion und -korrektur «channel encoding» sowie Schutz der Daten vor unbefugtem Zugriff (Kryptographie).

Die Technologie der digitalen Signalverarbeitung macht die Codierung äusserst attraktiv und hat dem Übergang von der analogen zur digitalen Übertragung zusätzliche Impulse verliehen. Die ausgedehnten Anwendungsmöglichkeiten der Codierung gaben zu theoretischen Untersuchungen Anlass, die noch keinesfalls abgeschlossen sind und laufend zu effizienteren Verfahren führen.

Zunehmende Bedeutung kommt dem Schutz elektronischer Daten bei der Übertragung und bei der Speicherung zu. Die heute zur Verfügung stehenden Verfahren versprechen eine sehr hohe Sicherheit, wobei diese aber nur schwer quantifizierbar ist [19]. Obwohl Ansätze vorhanden sind, ein Mass für die Sicherheit zu definieren, besteht dennoch eine Ungewissheit bezüglich der Existenz genialer «Tricks», um ein bestimmtes Verfahren zu entschlüsseln. Hier hat die Codierungstheorie noch einige Lücken zu schliessen. Grosse Probleme bei den heute angewendeten Verfahren bildet auch das Schlüsselmanagement. Interessante Lösungsansätze liefern die sogenannten «public key»-Verfahren [20], bei denen der Schlüssel frei zugänglich ist und nur die Entschlüsselung geheime Informationen benötigt.

Auf dem Gebiet der Datenkompression kann zurzeit eine recht stürmische Entwicklung beobachtet werden, und zwar vor allem im Zusammenhang mit der Bildübertragung [21]. Einerseits werden immer komplexere und damit aufwendigere Codierverfahren entwickelt, um sogar mit 64 kbit/s auf dem ISDN einen halbwegs brauchbaren Videophondienst anzubieten, anderseits steht mit der Einführung des Breitband-ISDN die Möglichkeit der schnellen Datenübertragung mit 140 Mbit/s bis zum Teilnehmer bevor, die natürlich keine oder nur noch eine bescheidene Datenkompression erfordert. Man darf gespannt sein, zu verfolgen, in welchem Zeitraum und mit welchem Resultat dieser Wettlauf enden wird.

Natürlich führt die Datenkompression auch zu einer Einsparung an Speicherplatz. Da aber die Kapazität der Speicher dank neuer Technologien immer noch drastisch wächst, ist der Anreiz doch nicht so gross, wie man auf den ersten Blick glauben könnte.

Auf dem Gebiet der Kanalcodierung (Fehlerdetektion und -korrektur) sind in den nächsten Jahren keine umwälzenden Neuerungen zu erwarten.

432 Software in der Telekommunikation

Sowohl im industriellen Bereich als auch in vielen Forschungsinstitutionen läuft eine Vielzahl von Studien, die eine effizientere Softwareapplikation in der Signalaufbereitung, -verarbeitung und -vermittlung zum Ziele haben. Dabei spielt natürlich auch die adaptive Anpassung der Telekommunikationssysteme an ihre Umwelt (Egalisation, Kanalwahl, Konfiguration usw.) eine bedeutsame Rolle. Diese Entwicklung wird von der zunehmenden Leistungsfähigkeit der Computer und Prozessoren getragen.

Kopfzerbrechen bereitet die Frage der Kommunikationsprotokolle bei hohen Übertragungsgeschwindigkeiten, wie sie im Breitband-ISDN vorgesehen sind. Hier genügen die üblichen Protokolle in vielen Fällen den Anforderungen nicht mehr. Es gibt Fachleute, die bezweifeln, dass sich das heutige Konzept der totalen Integration softwaremässig überhaupt in den Griff bekommen lässt.

Grundsätzlich neue Perspektiven eröffnet – wie bereits erwähnt – die «künstliche Intelligenz» [22]. Viele der in der Telekommunikation anfallenden Probleme, z. B. «Routing» in komplizierten Netzen, Lokalisierung von Defekten oder «pattern recognition» sind derart komplex, dass eine Überprüfung aller Möglichkeiten gar nicht mehr in Frage kommt. Mit Hilfe von gespeichertem «Wissen» bzw. Erfahrungen und geeigneten Faustregeln lässt sich dann eine Auswahl treffen, die wieder überblickbar ist.

Die Anwendung der künstlichen Intelligenz und besonders von Expertensystemen in der Telekommunikation befindet sich erst in den Anfängen. Forschungsprojekte sind angelaufen, z. B. im Rahmen von RACE «application in telecommunication network configuration, maintenance, operation and message processing» und von ESPRIT «in distributed systems».

5 Potentielle Forschungsgebiete?

Im folgenden soll noch kurz die Frage angeschnitten werden, ob in der Telekommunikation in fernerer Zukunft grundsätzlich neue Technologien und Übertragungsmethoden zu erwarten sind. Die nachstehend angeschnittenen Themen weisen eine grössere oder kleinere Wahrscheinlichkeit auf, dass sie je zum Tragen kommen werden.

51 Supraleitung in der Telekommunikation

In der Tagespresse [23] war kürzlich zu lesen, dass in England Übertragungsversuche mit Hochtemperatur-Superleitern durchgeführt worden seien. Dabei habe man die Möglichkeit erkannt, Nachrichtenkabel mit einer Kapazität bis etwa 1000 Gbit/s zu realisieren, womit natürlich den Lichtwellenleitern grosse Konkurrenz erwüchse. Solche Informationen sind mit Vorsicht aufzunehmen, da eine Leiterstruktur auch im supraleitenden Zustand ihre Induktivität und Kapazität nicht verliert und demzufolge nach wie vor einen verzerrenden Frequenzgang aufweist. Die Bedeutung der Supraleitung für die Telekommunikation dürfte wohl eher in der zu erwartenden Steigerung der Signalverarbeitungsgeschwindigkeit liegen.

52 Neutrinokommunikation

Neutrinos sind ungeladene Elementarteilchen mit der Ruhemasse null und dem Spin $^1/_2$. Sie bewegen sich mit Lichtgeschwindigkeit und durchdringen die Materie fast ungehindert. Die letztere Eigenschaft legt nahe, einen Neutrinostrahl als Träger für Information einzusetzen und damit beispielsweise durch die Erde hindurch zu kommunizieren [24]. Dieselben Eigenschaften machen es aber ausserordentlich schwierig, eine Modulation zu bewerkstelligen sowie eine zuverlässige Detektion durchzuführen. Die Chance, hier zu einem brauchbaren Verbindungsmittel zu kommen, dürfte eher klein sein.

53 Gedankenübertragung

Die Gedankenübertragung gehört aus wissenschaftlich-technischer Sicht in den Bereich der Paraphysik. Trotzdem hat man von ernstzunehmender Seite her versucht, den Nachweis zu erbringen, dass sich dahinter ein reproduzierbarer Übertragungskanal unbekannter Natur verbirgt, dessen Transinformationsfluss zwar klein ist, aber nicht ganz verschwindet. Aufsehen erregte 1976 eine Publikation in der renommierten Zeitschrift «Proceedings of the IEEE» [25], die über den Stand der Forschung berichtete und die der Hoffnung Ausdruck gab, mit Hilfe geeigneter fehlerkorrigierender Codes möglicherweise doch zu einer zuverlässigen Übertragung gelangen zu können. Inzwischen ist es allerdings wieder still geworden. Ein erster Grund ergibt sich aus dem Umstand, dass – wenn überhaupt – offenbar nur sensible Menschen für eine Gedankenübertragung befähigt sind. Ferner wächst der Aufwand für die Codierung in bezug auf die zu schützende Informationsmenge sehr rasch an, wenn die Übertragungsfehlerrate grosse Werte annimmt. Da die menschliche Informationsverarbeitung bekanntlich nur mit wenigen bit/s abläuft, bestehen leider kaum Chancen für eine nutzbare Nachrichtenübertragung.

6 Schlussfolgerungen

Die vorangehenden Ausführungen erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Hingegen dürfte deutlich geworden sein, wo heute die Schwerpunkte der Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der Telekommunikation liegen.

Bedingt durch die Fortschritte in der faseroptischen Kommunikation werden in zunehmendem Masse hochqualifizierte Bildverteildienste und insbesondere die vermittelte Bewegtbildkommunikation die Zukunft prägen. Zur Befriedigung der mobilen Kommunikationsbedürfnisse sind grosse Anstrengungen nötig, um mit neuartigen Übertragungsverfahren, verfeinerten Systemstrukturen und mit Einbezug der Satellitentechnik das elektromagnetische Frequenzspektrum des Äthers noch erheblich besser auszunutzen. Ganz allgemein geht es ferner darum, alle Kommunikationssysteme unter Ver-

wendung modernster Technologien und umfassendem Einsatz von Software, einschliesslich der künstlichen Intelligenz, flexibel und benützerfreundlich zu gestalten, aber auch kostengünstig anzubieten.

Eine wesentliche Voraussetzung der erfolgreichen Entwicklung marktgängiger Produkte ist die Forschung, und zwar auch die grundlegende Forschung mit Zeithorizonten von zehn und mehr Jahren. Deren Risiken müssen in Kauf genommen werden, wenn am Weltmarkt längerfristig ein Erfolg erzielt werden soll. Die in den 70er Jahren bei den europäischen Grossunternehmen im Telekommunikationssektor erfolgte Schwenkung zur vorwiegend produktorientierten Forschung wurde denn auch zu einem grossen Teil wieder korrigiert, wobei sich hier die staatliche Hilfe im Rahmen der internationalen Forschungsprogramme sehr positiv auswirkt.

Von der technischen Seite her sind den Möglichkeiten der Telekommunikation fast keine Grenzen mehr gesetzt. Die grosse Unbekannte stellt der Mensch selber dar. Die Frage der Akzeptanz von gewissen Übertragungsdiensten wird letzten Endes darüber entscheiden, ob und wie schnell ein neues System zum Tragen kommt. Dabei spielt der Schwelleneffekt, d. h. das Erreichen einer minimalen Teilnehmerzahl, die einen Dienst und/oder ein System attraktiv werden lassen, eine bedeutsame Rolle. Jene Anbieter werden sich durchsetzen, die neben einem hohen Innovationspotential und einer guten Einschätzung der Marktbedürfnisse auch über einen genügend langen Atem verfügen.

Bibliographie

[1] Siemens AG, München. Geschäftsbericht 1983.

[2] Siemens AG, München, Geschäftsbericht 1984 und *Kaske K.* Fünf bis sechs Systeme haben Zukunft. Schweizerische Handels Zeitung, Zürich, (1987) 46, S. 65.

[3] Schweiz. Handels- und Industrie-Verein: Forschung und Entwicklung in der schweizerischen Privatwirtschaft 1986. Bericht zur sechsten Erhebung des Vororts in Zusammenarbeit mit dem Bundesamt für Statistik. Zürich 1987.

[4] *Martin H. E.* Auswirkungen neuer Kommunikationstechnologien auf Wirtschaft und Gesellschaft. Vortrag im Rahmen der Reihe «Kommunikation und Computer», ETH Zürich, WS 1987/88.

[5] ESPRIT, RACE ... ce n'est qu'un début: Le mouvement devrait s'accélérer en 1986. Marché communautaire (1986) 1202, p. 8.

[6] *Leuthold P.* Perspektiven der vermittelten Bewegtbildkommunikation. Bulletin SEV/VSE, Zürich 77 (1986) 17, S. 1084.

[7] *Dvorak T. J.* Elektromagnetische Verträglichkeit: Eine Wachstumgrenze der Funktechnik? Bulletin SEV/VSE, Zürich 73 (1982) 17, S. 928.

[8] *Leuthold P.* und *Heinzmann P.* Digitale faseroptische Kommunikation. Bulletin SEV/VSE, Zürich 78 (1987) 15, S. 884.

[9] *Sakaguchi S.* and *Takahashi S.* Low-loss fluoride optical fibers for midinfrared optical communication. Journal of lightwave technology, New York LT-5 (1987) 9, p. 1219.

[10] *Rogalski J. E.* Evolution of gigabit-lightwave transmission systems. AT&T Technical Journal, New York 66 (1987) 3, p. 32.

[11] *Murphy K. W.* Integrated optics on glass. Photonics Spectra, Pittsfield, Mass. (1987) 11, p. 101.

[12] *Stanley I. W.* A tutorial review of techniques for coherent optical fiber transmission systems. IEEE Communications magazine, New York 23 (1985) 8, p. 37.

[13] *Perry T. S. u. a.* Display technologies. IEEE Spectrum, New York 22 (1985) 7, p. 52.

[14] *Hoff J.* and *Swerup J.* Mobile telephony in the next decade. 5th World Telecommunication Forum. Part 2 Technical symposium «Telecommunication services for a world of nations». Vol. III, p. 73, Geneva 1987.

[15] *Ochsner H.* Bandspreiztechnik. Bulletin SEV/VSE, Zürich 77 (1986) 3, S. 119.

[16] *Potter A. R.* The development of cordless telecommunications. 5th World Telecommunication Forum. Part 2 Technical symposium «Telecommunication services for a world of nations». Vol. III, p. 83, Geneva 1987.

[17] *Ward J. W.* Satellitenkommunikation mit portablen Bodenterminals. Mikrowellen Magazin, Coburg 13 (1987) 6, S. 731.

[18] *Menzel W.* Millimeter wave technology for satellite communication applications. 5th World Telecommunication Forum. Part 2 Technical symposium «Telecommunication services for a world of nations». Vol. I, p. 225, Geneva 1987.

[19] *Attewell R.* Secure voice. Communications International, London 14 (1987) 8, p. 35.

[20] *Berkovits S., Kowalchuk J.* and *Schanning B.* Implementing public key scheme. IEEE Communications Magazine, New York 17 (1979) 3, p. 2.

[21] *Möhrmann K. H.* Codierung von Videosignalen für die digitale Übertragung. Telcom report, München 10 (1987) 6, S. 340.

[22] *Markus M.* Künstliche Intelligenz simuliert menschliche Intelligenz. Kommunikation, Schlieren (1985) 6, S. 51.

[23] Supraleiter für die Datenübertragung. Neue Zürcher Zeitung, Zürich 209 (1988) 21, S. 78.

[24] *Asimov I.* Communicating through the earth. IEEE Communication Magazine, New York 17 (1979) 5, p. 9.

[25] *Puthoff H. E.* and *Targ R.* A perceptual channel for information transfer over kilometer distances: Historical perspective and recent research. Proceedings of the IEEE, New York 64 (1976) 3, p. 329.