

# Durchschalten ohne jede Umsetzung

Autor(en): **Aschmoneit, Ernst-Karl**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Comtec : Informations- und Telekommunikationstechnologie = information and telecommunication technology**

Band (Jahr): **81 (2003)**

Heft 1

PDF erstellt am: **21.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-876607>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

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

# Durchschalten ohne jede Umsetzung

In Glasfasernetzen mit optischer Übertragung sind für die Umlenkung der Datenströme in wechselnde Richtungen noch überwiegend elektrische Schaltelemente vorgesehen. Sie erfordern vor und nach jedem Netzknoten eine elektro-optische und opto-elektrische Umsetzung der Signale (OEO-Wandlung).

Um den damit verbundenen Aufwand zu reduzieren und die Schaltgeschwindigkeit zu erhöhen, bemühen sich zahlreiche Forscher, rein optische Schalter zu entwickeln. Sie sollen die Lichtsignale programmgesteuert

ERNST-KARL ASCHMONEIT

von ankommenden auf abgehende Glasfasern direkt ohne jede Umsetzung durchschalten. Mit ihnen liessen sich optische Vermittlungen (Optical Cross Connection, OXC) realisieren, von denen einige Labors bereits erste Versuchssysteme in Betrieb genommen haben.

## Ein Multimilliardenmarkt

Einige Firmen bieten sogar schon industriell hergestellte Elemente an. Immerhin kommen sie im Jahr 2001 auf einen Umsatz von 400 Mio. US-\$, der sich in den nächsten Jahren auf Multimilliarden US-\$

erhöhen dürfte. Die Anforderungen an optische Schalter in Bezug auf Schaltgeschwindigkeit, Einfüge-, Durchlass- und Übersprechdämpfung zu Nachbarkanälen sowie auf den Anteil der Reflexion zurück zur Quelle, aber auch auf die zum Umschalten erforderliche Steuerleistung sind hoch. Einige Konstruktionsbeispiele optischer Schalter sollen die Vielzahl unterschiedlicher Lösungsmöglichkeiten veranschaulichen, von denen sich derzeit noch keine als optimal und universell verwendbar herausgestellt hat. Die zur Auswahl stehenden Vorschläge basieren auf zwei- und dreidimensionalen mikroelektromechanischen Systemen (MEMS), auf Elektro-Holografien, Thermo-Optiken, Flüssigkristallen und Akusto-Optiken.

## Mechanische Schaltfunktion

Für die Konstruktion der Schalter ist entscheidend, wie viele Ein- und Ausgänge sie zu verbinden haben. Im einfachsten Fall müssen sie lediglich Lichtsignale von

einer ankommenden Faser abwechselnd zu einer von zwei abgehenden Fasern überleiten. Dafür kommt ein mechanischer Schalter in Betracht, der das ankommende Lichtsignal elektromagnetisch, piezoelektrisch oder thermisch betätigt zwischen Ausgangsfasern präzise hin und her schwenkt. Zu seinen Vorteilen zählen sehr kleine Einfügedämpfungen von 0,8 bis 2 dB und hohe Übersprechdämpfungen von mehr als 60 dB. Er gestattet einen bistabilen Betrieb, bei dem nur zum Umschalten, nicht jedoch zum Halten Energie aufzuwenden ist. Weil die Fasern Wegstrecken bis zu einigen Millimetern zurücklegen müssen, liegen seine Schaltzeiten im zwei- bis dreistelligen Millisekundenbereich. Auch ein am Lehrstuhl für Hochfrequenztechnik der Universität Dortmund entwickelter Schalter wartet mit mechanisch bewegten Fasern auf. Sie werden von einem Bimetall-Element ohne Winkelverkipfung parallel geführt, was zu einer verlustärmeren Kopplung beiträgt. Die Einfügedämpfung bleibt unter 1 dB, das Übersprechen unter -60 dB. Allerdings nimmt die Umschaltung mit 300 ms verhältnismässig viel Zeit in Anspruch. Die feste mechanische Bindung zwischen den Fasern gewährleistet einen vollkommen gleichzeitigen Schaltvor-

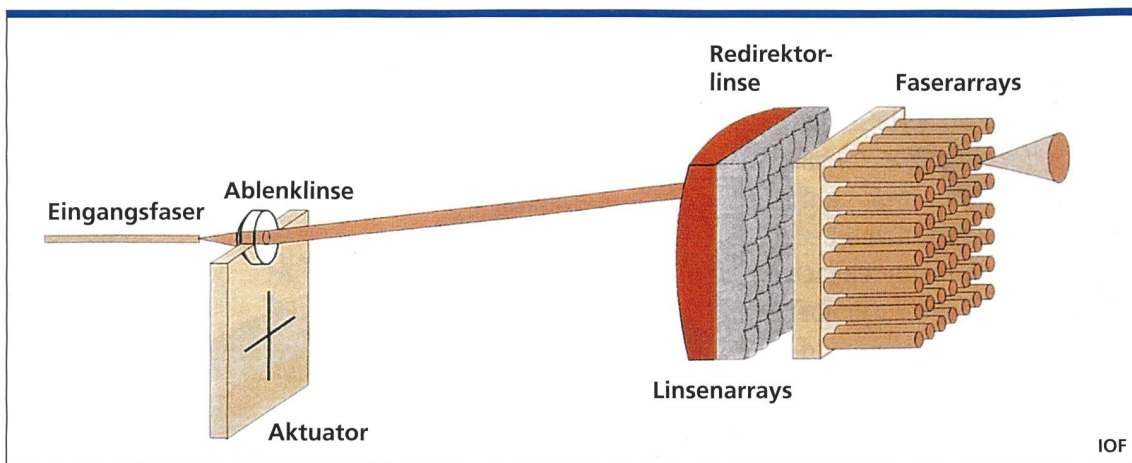


Bild 1. Optischer Schalter  $1 \times N$  mit mechanisch verschiebbarer Mikrolinse.

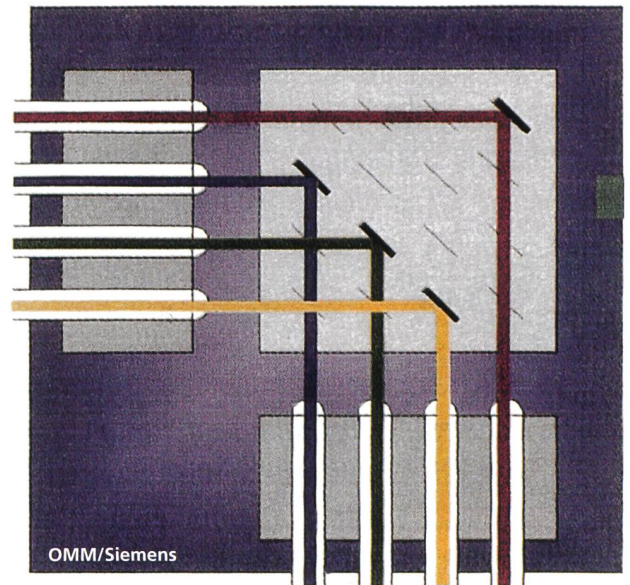
gang. Da die Herstellung nur drei Maskebenen erfordert, ist sie sehr kostengünstig. Der Schalter liegt bisher in Ausführungen mit  $1 \times 2$ ,  $1 \times 4$  und  $2 \times 2$  Fasern vor.

Das Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik (IOF) in Jena konzipierte zusammen mit der Jenaer Firma Piezosystem unter anderem einen Schalter, der das aus der Eingangsfaser kommende Lichtbündel durch mechanische Verschiebung einer Mikrolinse auf die Eingangsfläche einer in andere Richtung führenden Faser lenkt und gleichzeitig kollimiert (Bild 1). Piezo-Stellelemente bewegen Linse – zweidimensional – über lediglich mikrometerlange Wege. Den Ausgangsfasern sind jeweils Einzel-linsen vorgeschaltet. Infolge der zweidimensionalen Faseranordnung bietet der kompakt aufgebaute Schalter eine Vielzahl von Ausgangskanälen, zwischen denen er schnell – immerhin etwa innerhalb von 1 ms – wechseln kann.

### Schalten mit Mikrospiegeln

Eine Variante stellen Schalter dar, bei denen die Fasern unbewegt bleiben und winzige, bei Bedarf in den parallel zur Substrat-Oberfläche durchlaufenden Strahl gehobene Prismen, Spiegel (Bild 2) oder Mikrolinsen die Umlenkung bewirken. Die in Bild 3 gezeigte Matrix der US-Firma Optical Micro-Machines (OMM) verfügt über 64 an dünnen Stegen aufgehängte und elektrostatisch angeregte Spiegel aus monolithischem Silizium. Die Schaltzeiten dieses in MEMS-Technik hergestellten Schalters bleiben unter 1 ms. Nicht nur Texas Instruments nutzte dieses

Bild 2. Matrix  $4 \times 4$  mit in den Lichtstrahl herauszuklappenden Spiegeln.



Prinzip für sein «Digital Mirror Device» (DMD), sondern auch Lucent Technologies, deren Bell Laboratories den «Wave-Star Lambda Router» [1] entwickelten. Er besteht aus einem nur  $6,5 \text{ cm}^2$  grossen Siliziumchip, der eine Matrix von 256 winzigen, nur stecknadelkopfgrossen Spiegeln enthält. Sie hängen in Kardangelenken und sind somit um zwei senkrecht zueinander stehenden Achsen kippbar, sodass sie das aus Fasern auf sie gerichtete Licht gezielt in andere Fasern einspeisen können. Der für Datenraten bis 40 Gbit/s geeignete Chip soll das Basiselement optischer Vermittlungen bilden. Eine nach ähnlichem Prinzip arbeitende, zunächst für die Strahlableitung in optischen Scannern bestimmte, dann aber auch für den Einsatz in optischen Ver-

mittlungen vorgesehene  $128 \times 128$ -MEMS-Schaltmatrix hat im Industrieauftrag das Fraunhofer-Institut für Siliziumtechnologie (ISIT) in Itzehoe entwickelt. Die über Kardangelenke zweiachsig im Neigungswinkel bis zu  $\pm 15^\circ$  beweglichen Mikrospiegel (Bild 4) lassen sich im Analogbetrieb elektrostatisch auf beliebige Zwischenstellungen so stabil einstellen, dass sie die zugeführten Signalströme zuverlässig auf verschiedene Ausgangsfasern lenken. Gegenüber den in den USA aus Polysilizium hergestellten Mikrospiegeln, deren Oberfläche infolge ihrer Rauheit verhältnismässig hohe Übertragungsverluste verursacht, fertigen die ISIT-Forscher ihre Spiegelplatte aus einkristallinem Silizium mit metallisierter Oberfläche, deren Rauheit kleiner als

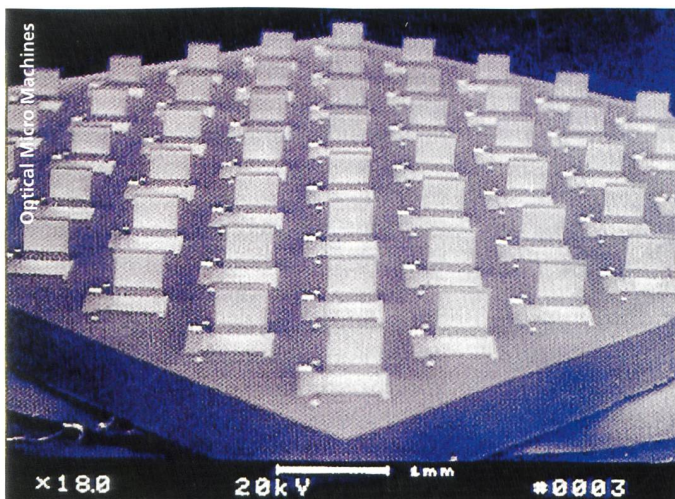


Bild 3. Anordnung von Spiegeln, die parallel zur Chipfläche in den Strahlweg hochspringen können.

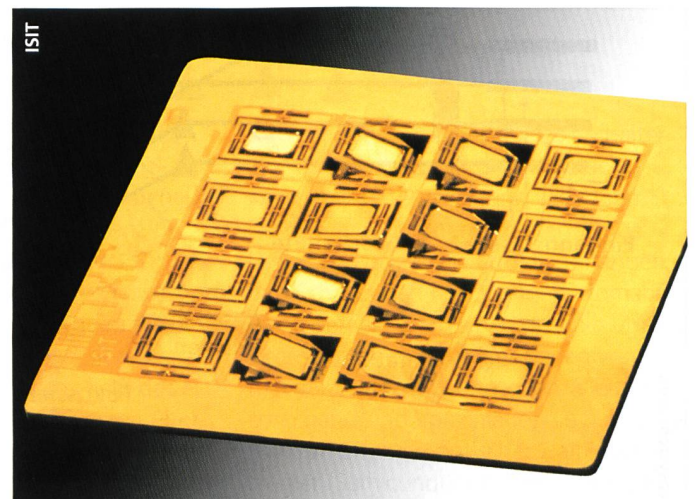


Bild 4. Zweiachsen-Kippspiegel-Matrix.

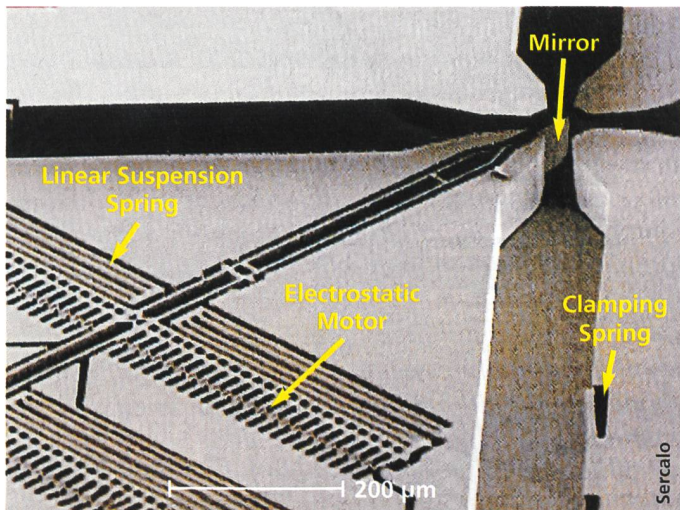


Bild 5. Linear beweglicher Spiegel an elektrostatischem Motor.

120 nm ist. Die an Nickel-Torsionsgelenken aufgehängten Spiegel sichern dem Schalter Robustheit und Zuverlässigkeit bei ausreichender Flexibilität. Durch Variation der Plattendicke lassen sich, ohne deren mechanisches Verhalten zu ändern, alle Anforderungen an die optischen Spezifikationen erfüllen. Die Kan-

ten der Chips sind bis zu 30 mm, die der Spiegel 50 bis 150 μm lang; die Schaltungsgeschwindigkeit beträgt etwa 50 μs. Auf ihnen lassen sich Arrays von 256 × 256 Spiegeln unterbringen. Da die Herstellung keine hohen Temperaturen erfordert, ist die monolithische Integration des Spiegelarrays auf einem mit den

elektronischen Spiegel-Ansteuerschaltungen vorprozessierten Wafer möglich. Ebenfalls mit Mikrosiegeln arbeitet ein Optoschalter der japanischen Firma Plus Corporation. Er ist Bestandteil von Projektoren für den mobilen Einsatz bei anschaulichen Präsentationen durch Handelsvertreter und Vortragsredner. Sie sind gerade mal 178 × 230 × 50 mm gross und wiegen nur noch 2,65 kg, halb so viel wie die Vorläufertypen. Der von Texas Instruments in Dallas entwickelte, 500 000 Spiegel aufweisende Chip hat einen Durchmesser von 18 mm. Das von miniaturisierten Lämpchen emittierte Licht lenkt ein schnell rotierendes Farbrad auf die Mikrospiegel, die es modulieren und derart ein digitales Bild erzeugen, das eine Weitwinkellinse vergrößert und auf die Leinwand projiziert.

Die Sercalo Microtechnology in Schaan, Liechtenstein, entwickelte einen 2-x-2-Kreuzschalter (Crossbar), der wechselseitig zwei Eingänge über Kreuz oder im Winkel mit zwei Ausgängen verbinden kann. Er ist schneller, zuverlässiger und robuster als konventionelle mechanische Schalter, weist Ansprechzeiten unter 1 ms auf, besticht durch eine geringe Einfügedämpfung von 0,5 dB und bleibt selbst nach jahrelanger Inaktivität uneingeschränkt brauchbar. In grosser Anzahl kaskadiert lassen sich mit ihm als Grundelement optische Vermittlungen aufbauen. Das Schaltelement besteht aus einem Silizium-Chip, in dessen Oberfläche vier Gräben als Lager für Glasfasern eingegätzt sind. Ausserdem befindet sich auf seiner Oberfläche ein elektrostatischer Linearmotor, dessen von Federn geführter Arm an der Spitze einen Mikrospiegel trägt (Bild 5). Im Ruhezustand liegt der Spiegel im Kreuzpunkt zwischen den Faserenden, wobei er die optischen Signale zwischen Ch 1 (Channel) und Ch 3 sowie Ch 2 und Ch 4 reflektiert. Unter dem Einfluss einer Treiberspannung von 5 V zieht der Motor den Spiegel aus dem Kreuzpunkt heraus und verbindet nunmehr Ch 1 mit Ch 4 und Ch 2 mit Ch 3 (Bild 6). Um zu vermeiden, dass Trockenreibung die Bewegung des Motorarms und der Federaufhängung behindert, dürfen sie keinen Kontakt mit der Chip-Oberfläche haben. Die ebenfalls aus Silizium herausgeätzte Feder ermüdet nicht im Gegensatz zu solchen aus Metall. Die ersten elf Muster des Kreuzschalters wurden Zuverlässigkeitstests unterzogen. Sie bewiesen ihre Robustheit in 500 Zyklen von Thermalschocks zwischen -40 und +85 °C,

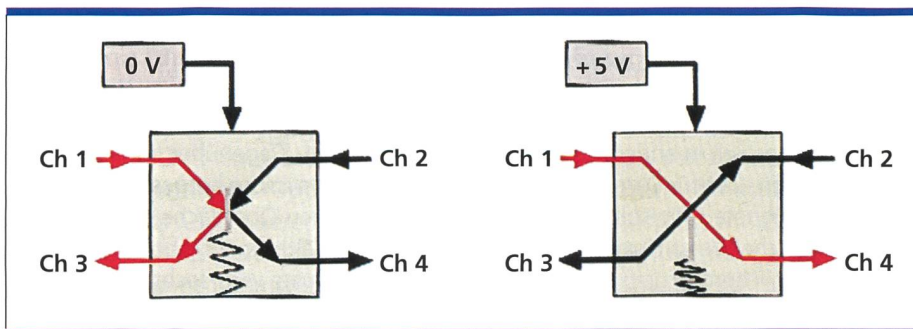


Bild 6. Funktion des optischen Schalters von Sercalo.

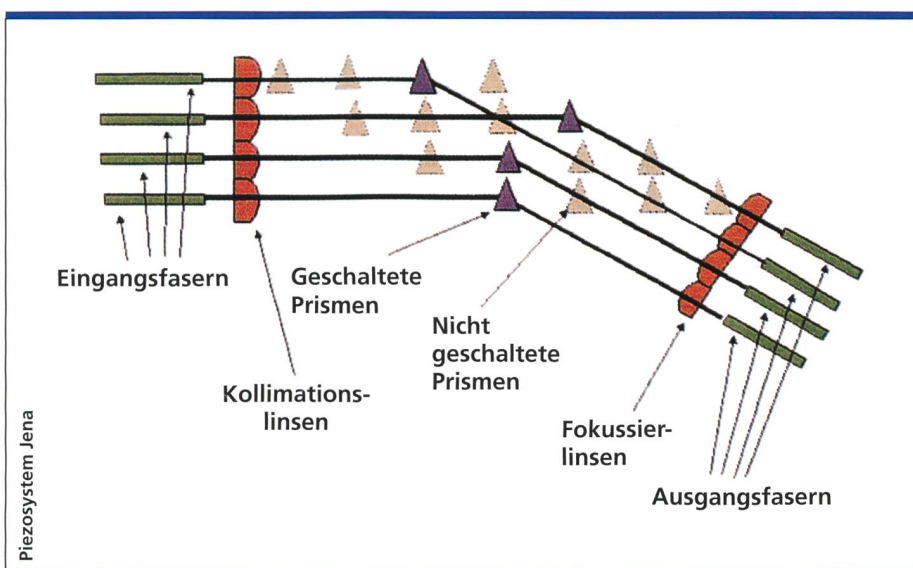


Bild 7. Schalter mit kleinen Prismen zum Umlenken der Lichtstrahlen.

ferner über 2000 Stunden unter 85 °C und 85% relativer Feuchte, mechanischen Vibrationen und Stößen. Selbst nach mehr als fünf Milliarden Schaltzyklen bei 85 °C im Verlauf von 17 Monaten war kein Verschleiss zu erkennen. Damit übertrifft das Element, weil ihm keine Abnutzungs- oder Ermüdungsmechanismen innewohnen, die zu erwartende Lebensdauer mechanischer Schalter um den Faktor 100. Um den Schalter vor Umwelteinflüssen wie Feuchtigkeit, Temperatur und Partikeln abzuschirmen, ist er in einem hermetisch abgeschlossenen nicht-toxischen, korrosionsfesten und nicht entflammaren Gehäuse untergebracht. Für rein optische Vermittlungen sind jedoch Schaltmatrizen mit wesentlich zahlreicheren Ein- und Ausgängen (Ports) – etwa Kombinationen  $7 \times 13$  bis  $28 \times 36$  oder  $32 \times 32$  – erforderlich. Angestrebt werden Schaltmatrizen mit wenigstens  $512 \times 512$  Ports. Bald wollen die Hersteller sogar im Stande sein, Systeme mit über 1000 Ein-/Ausgängen zu liefern und diese Anzahl im weiteren Verlauf auf 10 000 zu steigern. Allerdings nimmt mit der Anzahl von Spiegeln auch die Weglänge zu, die das Licht im Schalter zurücklegen muss. Dadurch erhöhen sich die Anforderungen an die Stabilität der Spiegelausrichtung, um wegeabhängige Verluste einzugrenzen. Zu den grössten Problemen gehört der Anschluss jedes drei oder vier Elektroden besitzenden Spiegels an die Steuerelektronik. Bei Vielspiegel-Schaltern kann das schon einmal zu mehreren Tausend auf dem Chip unterzubringenden Leiterbahnen führen. An die Stelle von Spiegeln können auch Prismen zur Strahlumlenkung treten. Ein Beispiel dafür sind die mit winzigen piezoelektrisch um jeweils nur 0,5 mm bewegten Prismen ausgestatteten Schalter von Piezosystem Jena (Bild 7).

### Mechanikfreie Schaltfunktion

Ganz ohne bewegte Teile arbeiten rein optische Schalter. Sie sind meist auf einem Chip aus lichtdurchlässigem Material – Glas, LiNbO<sub>3</sub>, SiON, GaAs, InP oder Kunststoff – mit integrierten Lichtwellenleitern aufgebaut. In ihnen hängt die Wellenausbreitung von deren Brechungsindex ab, den man beispielsweise durch Aufheizen verändern kann (Bild 8). Unbeheizt wirkt er als Leistungsteiler, der an seinen beiden Ausgängen je die Hälfte der Eingangsintensität liefert. Fließt jedoch durch eine der Heizelektroden Strom, dann senkt die Erwärmung den

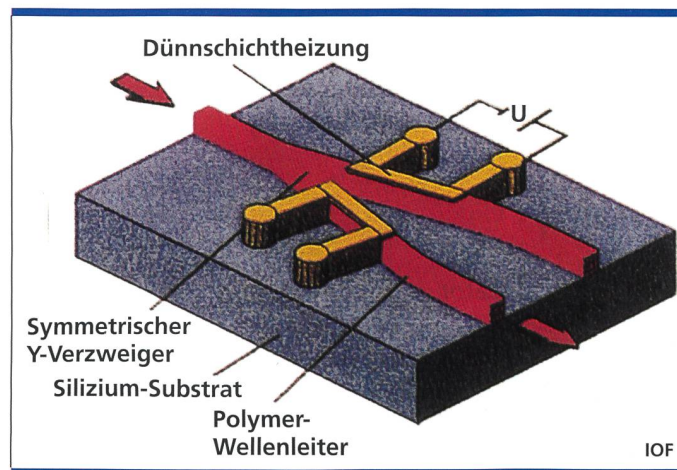


Bild 8. Thermo-optischer Schalter, dessen Heizer den Wechsel des Lichtsignals zwischen den zwei Wellenleitern auslöst.

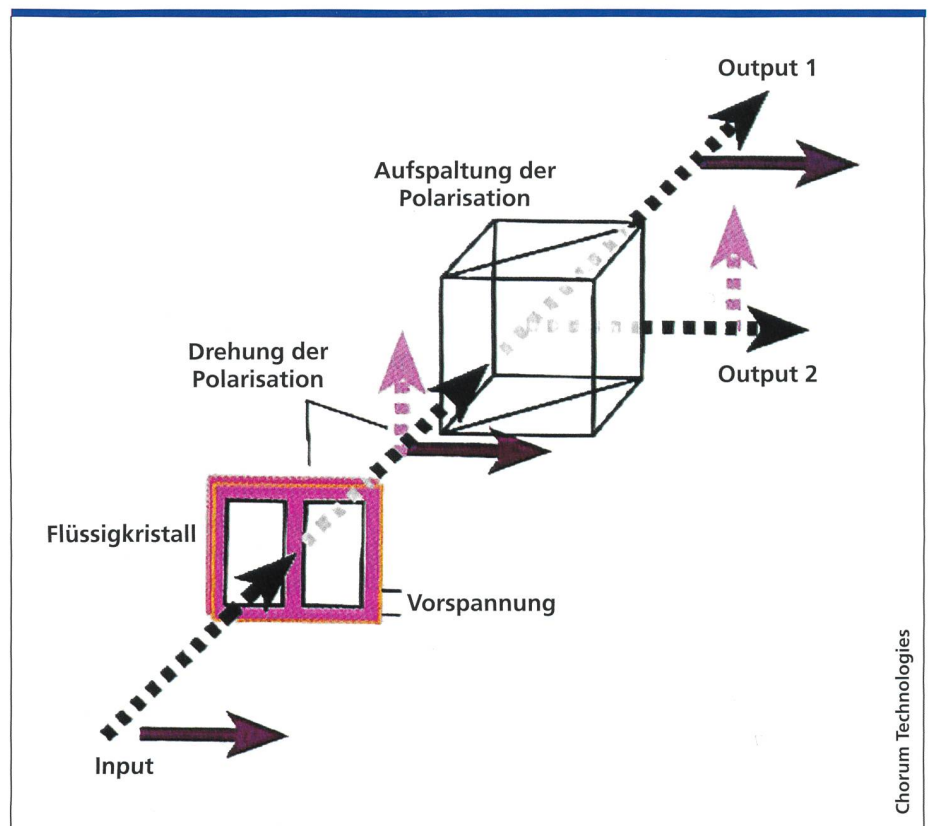


Bild 9. Prinzip der Umlenkung von polarisiertem Licht durch Flüssigkristalle.

Brechungsindex des darunter liegenden Wellenleiters ab, und nahezu die gesamte Leistung gelangt in den unbeheizten Leiterzweig. Nach diesem Prinzip arbeitet der Schalter des Instituts für Mikrotechnik Mainz (IMM). Sein Substrat enthält zwei parallel angeordnete Wellenleiter, die eng benachbart sind, weshalb das elektromagnetische Feld des einen Wellenleiters auf den anderen übergreifen kann. Der Koppelgrad hängt ab vom Brechungsindex der Materialien, der sich durch Erwärmung ändern lässt. Prototypen erreichten Schaltzeiten von 8 ms und Einfügedämpfungen von 0,5 dB. Als

Nachteil thermisch gesteuerter Schalter kann gelten, dass sie eine vergleichsweise hohe Steuerleistung verlangen. Da bei rein optischen Schaltern träge Umladungsvorgänge entfallen, hängen ihre Schaltzeiten nur von inneratomaren Prozessen ab. Sie bleiben deshalb um Größenordnungen unter denen von mechanischen Ausführungen. Viel versprechend sind Vorschläge, die auf nicht-linearen Effekten optischer Halbleiterverstärker (Semiconductor Optical Amplifier, SOA) in einer interferometrischen Anordnung basieren. Ein starker, in den SOA eingestrahelter optischer Steuerpuls ver-

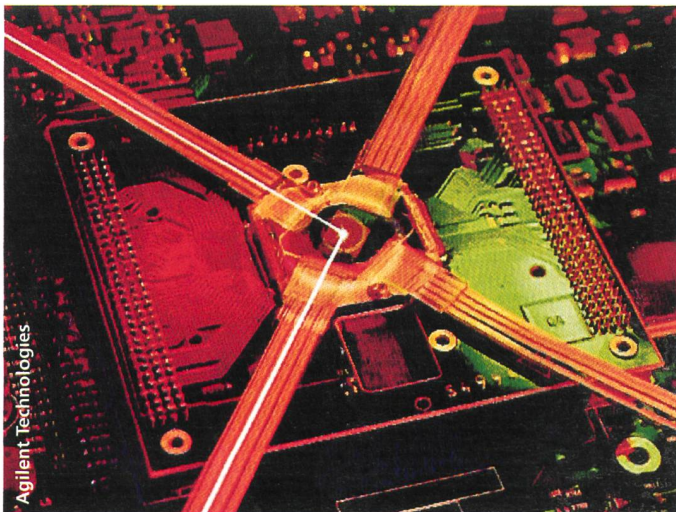


Bild 10. Gasblasen in einer Flüssigkeit als Schaltelemente in einer Matrix.

ringert die Ladungsträgerdichte im Halbleitermaterial, sodass die Verstärkung absinkt. Zugleich ändert sich die effektive Brechzahl und demzufolge die Laufzeit des passierenden Datensignals. Dessen Phase verschiebt sich gegenüber dem im parallelen Zweig des Interferometers unbeeinflusst geführten Signal, was je nach Phasenlage eine Verstärkung oder Auslöschung der Wellen bewirkt. Auch Kristalle mit elektro-optischem Effekt, wie etwa Lithium-Niobat, erlauben es, den Brechungsindex zu steuern, indem man sie einem elektrischen Feld aussetzt. Dadurch verschieben sich die Phasen des beispielsweise in zwei Arme eines Mach-Zehnder-Interferometers auf-

gespaltenen Lichtstrahls gegeneinander, sodass sie sich – wieder am gemeinsamen Ausgang zusammengeführt – entweder auslöschen oder zwischen zwei dicht nebeneinander liegenden Wellenleitern überkoppeln. Allerdings weisen Muster dieser Ausführungen geringe Übersprechdämpfungen von 25 bis 30 dB und vergleichsweise hohe Durchgangsverluste von mehreren Dezibel auf.

**Weitere Schaltprinzipien**

Auch Flüssigkristalle eignen sich für die Verwendung in optischen Schaltern, doch erfüllten erste Muster nicht die Telekom-Standards. Insbesondere kam es bei niedrigen Temperaturen zum Über-

sprechen und ihre Ansprechzeiten lagen im Millisekundenbereich. Dennoch glauben mehrere Firmen, die Probleme lösen zu können. Neben Spectra-Switch in Santa Rosa, Kalifornien, entwickelte auch Chorum Technologies in Richardson, Texas, kleine Flüssigkristall-Schalter (Bild 9) mit 1 x 8 und 2 x 2 Ports. Sie drehen die Polarisation des Strahls, wobei sie das Signal rotationsabhängig zwischen zwei Wegen schwenken können. Die Flüssigkristall-Schalter «WaveWalker» von Spectra-Switch gibt es mit 1 x 2 und 1 x 4 Ports. Sie bestechen durch eine entsprechende Zuverlässigkeit, sie sind gut skalierbar, haben eine niedrige, von der Polarisation unabhängige Dämpfung, sie weisen ein geringes Übersprechen im erforderlichen Temperatur- und Wellenlängenbereich auf und haben eine hohe Schaltgeschwindigkeit.

Der optische Schalter von Digilens in Sunnyvale, Kalifornien, nutzt eine holografische Schreibechnik aus, um als Bragg-Gitter ausgebildete Flüssigkristalle in einem Polymer-Substrat zu verteilen. Eine anliegende Spannung veranlasst den Kristall zur Umorientierung und steuert damit die Wellenlänge und Dämpfung des Lichts, und zwar deren Intensität direkt proportional zur Spannung. Italienische und schwedische Forscher entwickelten gemeinsam einen Schalter, der einen isotropischen, photochemisch hergestellten Polymer-Wellenleiter über Kreuz mit einem ferroelektrischen Flüssigkristall in einem integrierten elektro-optischen Modulator kombiniert. Sein aus drei Schichten bestehender Wellenleiter hat einen passiven Polymerkern, in dem sich ein aktiver ferroelektrischer Flüssigkristall befindet. Das Lichtsignal wird über Prismen ein- und ausgekoppelt. Derartige, auf Polymeren basierende Wellenleiter erlauben es, die optischen Parameter wie Brechungsindex und optischen Verlust chemisch den Erfordernissen anzupassen. Muster des Schalters hatten Schaltzeiten im Mikrosekundenbereich, gute thermische Eigenschaften und Ausgangsleistungen von etwa 1 µW bei Eingangswerten von wenigen Milliwatt.

Eine mechano-opto-elektrische Kombination stellen die Schaltmatrizen von Agilent Technologies in Palo Alto, Kalifornien, dar, deren Tintenstrahl-Drucktechnik bei dieser thermo-optischen «Photonic Switching Platform» Pate stand. Ihr Substrat trägt eine Schicht mit integrierten Wellenleitern. Sie sind in

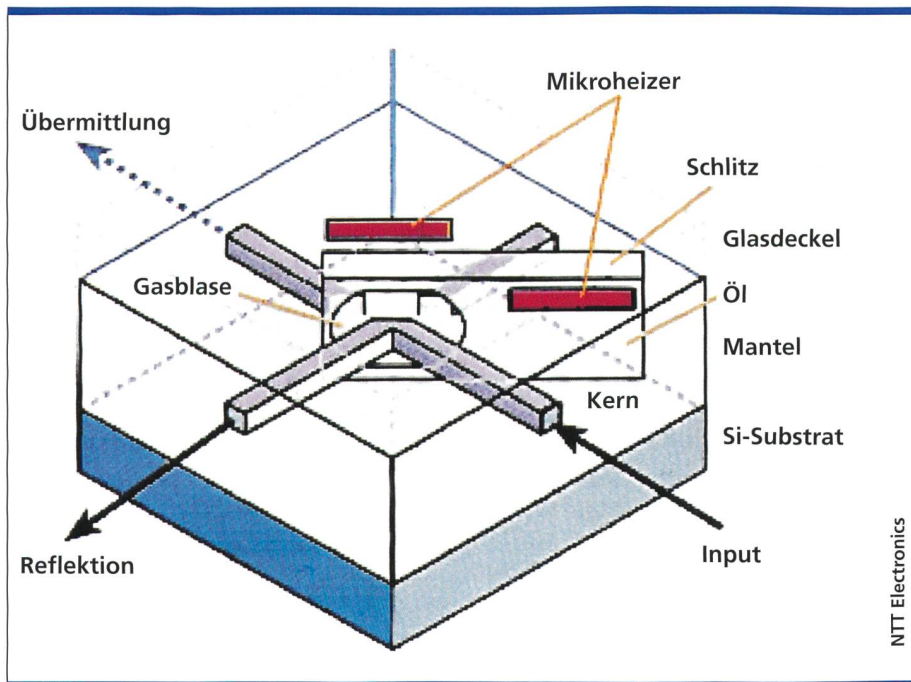


Bild 11. In Thermo-Kapillar-Schaltern erzeugen Heizer im Kreuzpunkt der Glasfasern in einer Flüssigkeit Blasen, die ein optisches Tor bilden.

zwei parallel ausgerichtete Gruppen angeordnet, die gegenseitig im Winkel von 120° verlaufen. An den Kreuzungspunkten befinden sich winzige Hohlräume, die eine Flüssigkeit enthalten, deren Brechungsindex dem der Wellenleiter entspricht, sodass sie das Lichtsignal geradeaus passieren lässt. Bei Anlegen einer Spannung an die Elektroden der Hohlräume erhitzt sich die Flüssigkeit und es bilden sich – wie in Tintenstrahl-Druckern – kleine Blasen, die das Licht reflektieren und in den kreuzenden Wellenleiter umlenken (Bild 10). Die mit 32 × 16 oder 32 × 32 Wellenleitern ausgerüsteten Matrizen gestatten mehrere Hundert Schaltvorgänge pro Sekunde. Die Dämpfung des durchlaufenden Strahls beträgt etwa 5,5 dB. Auch die Schalter von NTT Electronics in Tokai, Japan, nutzen den Thermokapillar-Effekt (Bild 11). An jedem Kreuzpunkt der Wellenleiter befinden sich kleine, teilweise mit Öl gefüllte Kapillaren. Sie weisen an ihren Enden Heizer auf. Sie drücken durch ihre Wärme die Flüssigkeit von Wand zu Wand und beeinflussen derart den optischen Weg. Der verhältnismässig hohe Energiebedarf und die optischen Verluste begrenzen den Schalter auf 16 × 16 Ports. Ebenfalls thermo-optische, den Mach-Zehnder-Effekt nutzende 8-x-8-Schalter bietet Lynx Photonic Networks in Calabasas, Kalifornien, an. Sie verfügen über paarweise parallel angeordnete Wellenleiter. Wenn einer von ihnen erwärmt wird, ändert sich dessen optische Weglänge, worauf die beide Wege passierenden Strahlen aus der Phase geraten und sich am Ausgang löschen. Ohne Erwärmung bestehen gleiche Weglängen und deshalb auch Phasengleichheit, sodass der Schalter offen ist.

Auch Wissenschaftler des Heinrich-Hertz-Instituts (HHI) in Berlin haben verschiedene optische Schalter untersucht. Das schnellste Modell ist ein für den Einsatz in optischen Zeitmultiplex-Systemen (Optical Time Division Multiplex, OTDM) geeigneter, als Interferometer ausgelegter Demultiplexer. Er nutzt nichtlineare Effekte in optischen Halbleiterverstärkern und schaltet nicht nur Lichtsignalströme, sondern löst den Schaltvorgang auch mit Licht aus: Wenn dieser optische Steuerpuls in den Halbleiter eindringt, dann verringert sich in ihm die Ladungsträgerdichte und demzufolge die Verstärkung, zugleich ändert sich die effektive Brechzahl und damit die Laufzeit des passierenden Lichtsignals. Mit 1 ps Schaltzeit –

in der Licht gerade einmal 0,3 mm Wegstrecke zurücklegt – übertrifft das Element seine Konkurrenten.

Aussergewöhnlich ist der von Trellis Photonics in Columbia, Maryland, unternommene Versuch, optische Schalter auf elektro-holografischer Basis zu entwickeln. Sie enthalten aufgereiht Kalium-Lithium-Tantal-Niobat-Kristalle, die jeweils individuell auf die Wellenlänge des über die Eingangsfasern zugeführten Lichts abgestimmt sind. In jedem Kristall ist ein holografisches Bragg-Gitter integriert, das beim Anlegen genau bemessener Spannungen den Strahl zu entsprechenden Ausgangsfasern lenkt. Fehlt die Steuerungsspannung, dann können die Strahlen auf direktem Weg in die gegenüberstehenden Fasern passieren. Mit 10 ns Schaltgeschwindigkeit übertreffen elektro-holografische Schalter selbst MEMS-Elemente. Das könnte sich für künftige Pakete transportierende Netze als vorteilhaft erweisen, die in ihren Knoten Schaltfunktionen im Nanosekundenbereich verlangen. Die Optical Networking Division von Agilent in Santa Clara, Kalifornien, hat Prototypen von Matrizen mit 512 Ein- und Ausgängen durch Kombination von 64 ihrer 32-x-32-Module hergestellt. Darüber hinaus wollen zwei Firmen akusto-optische Schalter auf den Markt bringen. Sie können Lichtquanten an Phononen, also an akustischen Gitterschwingungen streuen und somit deren Richtung umschwenken. Das Muster von Gooch & Housego in London weist zwei optische, in Form eines X verschmolzene Fasern auf. Deren Kerne tauschen unter

der Einwirkung von Schallwellen spezielle Wellenlängen untereinander aus. Und das Element der Light Management Group of Burlington in Ontario, Kanada, steuert Licht, indem es durch Schallwellen zwei Kristalle in Vibration versetzt. Abhängig von deren Frequenz lenken die Kristalle das Licht in einem bestimmten Winkel ab, und zwar steuert ein Kristall die horizontale, der andere die vertikale Koordinate, sodass es in eine der matrixartig gegenüberstehenden Ausgangsfasern gelangt. Dieser Schalter kann über 1000 Port-Paare verfügen. Seine Einfügedämpfung beträgt 8 dB und die Schaltgeschwindigkeit liegt bei nur etwa 5 µs. Zu seinen weiteren Vorteilen gehört eine geringe thermisch induzierte Drift. Allerdings ist die Vibrationsfrequenz der Kristalle auf einen engen Bereich begrenzt, weshalb der Schalter nur eine Bandbreite von etwa 20 nm bietet, was seine Verwendung in Wellenlängenmultiplex-Systemen einschränkt. 7

*Ernst-Karl Aschmoneit, Oberingenieur i. R., Fachjournalist VDE-NTG, Mölln, Deutschland*

#### Literaturhinweis

[1] Mikrospiegel-Schaltmatrix: schneller und mit grösserer Kapazität. STZ 12/00, S. 15.

## Summary

### Switching elements for optical networks: transmission without the need for conversion each time

In fibre-optic networks with optical transmission, electrical switching elements are still primarily used for rerouting data streams. Electrical-optical-electrical (OEO) conversion of the signals is required before and after each network node. In an attempt to reduce the associated costs and increase switching speeds, researchers are busy developing purely optical switches which will allow program-controlled switching of the light signals from the incoming to the outgoing optical fibres without the need for conversion each time. The switches also enable implementation of Optical Cross Connections (OXC); pilot systems are already in operation in a number of laboratories.