



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 699 33 559 T2 2007.02.08**

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 086 539 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **699 33 559.0**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/SE99/00993**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **99 931 672.2**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 1999/065164**

(86) PCT-Anmeldetag: **08.06.1999**

(87) Veröffentlichungstag

der PCT-Anmeldung: **16.12.1999**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **28.03.2001**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **11.10.2006**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **08.02.2007**

(51) Int Cl.⁸: **H04B 10/213 (2006.01)**
H04J 14/02 (2006.01)

(30) Unionspriorität:

9802070 10.06.1998 SE

(73) Patentinhaber:

**Telefonaktiebolaget LM Ericsson (publ),
Stockholm, SE**

(74) Vertreter:

HOFFMANN & EITLE, 81925 München

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT,
LI, LU, MC, NL, PT, SE**

(72) Erfinder:

**EGNELL, Lars, S-133 37 Saltsjöbaden, SE;
JOHANSSON, Bengt, S-129 38 Hägersten, SE;
BATCHELLOR, Robert, West Sussex BN16 4HS,
GB; WOOD, Nigel, Brackley Northants NN13 6SB,
GB; ÖBERG, Magnus, S-129 40 Hägersten, SE**

(54) Bezeichnung: **OPTISCHES WDM NETZWERK MIT EFFIZIENTEM GEBRAUCH DER WELLENLÄNGE UND KNOTEN DAFÜR VERWENDETER**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

Beschreibung

FACHGEBIET

[0001] Die Erfindung betrifft ein Glasfasernetzwerk, das ein Wellenlängenmultiplexverfahren (WDM) und einen Add- und Drop-Knoten für solch ein Netzwerk benutzt.

ALLGEMEINER STAND DER TECHNIK

[0002] Optische Mehrfachkanalsysteme, welche ein Wellenlängenmultiplexverfahren anwenden, werden sowohl in neuen Netzwerken als auch zur Verbesserung der Übertragungsfähigkeit existierender Glasfasernetzwerke verwendet. Folglich werden Informationskanäle, die früher auf mehreren separaten Faserpaaren übertragen werden mussten, in WDM-Netzwerken auf einem einzigen Faserpaar weitergeleitet. Die Verwendung von optischen Wellenlängenmultiplexkanälen bedeutet, dass mehrere serielle Informationssignale, das heißt, mehrere serielle binäre Signale auf der gleichen Glasfaser übertragen werden, indem solch ein seriell Signal auf einem Lichtsignal, das auch Träger genannt wird, mit einer bestimmten Wellenlänge moduliert wird und dann die modulierten Lichtsignale in einem optischen Koppler oder optischen Multiplexer zu einem zusammengesetzten Lichtsignal auf der bestimmten Glasfaser kombiniert werden. Das Signal, das hauptsächlich auf einem monochromatischen Lichtsignal oder Träger zusammen mit dem Träger moduliert wird, kann ein Kanal oder Verkehrskanal genannt werden.

[0003] Selbstheilende Glasfasernetzwerke mit einer Ringkonfiguration sind in US-Patentschrift 5,442,623 offenbart, sind jedoch nicht besonders an die WDM-Signalgabe angepasst. Ein ähnliches Netzwerk, das für den WDM-Verkehr gestaltet ist, ist in der internationalen Patentanmeldung WO 98/34363 offenbart. Die in diesen Dokumenten beschriebenen Netzwerke benutzen ein zusätzliches schützendes Faserpaar zwischen jedem Knotenpaar. Ein anderes selbstheilendes optisches Netzwerk für WDM-Verkehr ist in der veröffentlichten europäischen Patentanmeldung EP 0 769 859 offenbart. Die Add/Drop-Knoten des Netzwerks umfassen wellenlängenselektive Drop-Koppler zum Abwerfen einzelner Wellenlängen, einen Schalter zum Empfangen aus beiden Richtungen und einen Sender, der die gleichen Signale auf die zwei parallelen Ringe in entgegengesetzte Richtungen überträgt. Eine bidirektionale Kommunikation zwischen Paaren der Knoten wird mit Hilfe des gleichen Wellenlängenbandes für jedes Paar erstellt.

[0004] Das optische Wellenlängenmultiplexen kann im Allgemeinen in unterschiedlichen Glasfaser-Netzwerkkonfigurationen oder -architekturen mit zum Beispiel nur einem einzigen Faserpaar zwischen einem Paar Knoten benutzt werden. Solch eine Architektur ist das FlexBus™-Konzept, das in B.S. Johnson et al., „Flexible bus: A self-restoring optical ADM ring architecture“, Electronics Letters, 5. Dezember 1996, Band 32, Nr. 25, und US-Patentschrift 5,680,235 beschrieben ist; diese Architektur umfasst eine Ringkonfiguration optischer Verknüpfungen, die mehrere Knoten miteinander verbinden. Das FlexBus™-Konzept ist aus der Notwendigkeit zum Schützen von Ringnetzwerken vor Faserschnitten und Ausfällen optischer Verstärker und zum Lösen von Problemen mit zirkulierenden Signalen und Rauschen entstanden, die oft mit Ringnetzwerkarchitekturen in Verbindung gebracht werden. In der FlexBus™-Architektur wird ein Abschnitt des Faserrings mittels optischer Schalter oder Verstärker immer passiv oder inaktiv gemacht. Dieser absichtlich bewirkte Bruch beseitigt wirksam alle Probleme, die mit zirkulierenden Signalen in Verbindung gebracht werden, und ermöglicht folglich, dass weniger Schaltungskomponenten und Schaltungselemente mit einer geringeren Leistung benutzt werden können, während noch immer der kürzeste längstmögliche Pfad beibehalten wird. Im Falle eines echten Betriebsausfalls einer Verknüpfung wird diejenige Verknüpfung, die vorher absichtlich inaktiviert wurde, aktiviert und die ausgefallene Verknüpfung wird nun zu der inaktiven Verknüpfung, was beschrieben werden kann, indem die inaktive Verknüpfung von ihrer früheren Position zu dem ausgefallenen Abschnitt bewegt wird. Diese Vorgehensweise wird „der Bus beugt sich“ genannt, wodurch der Verkehr wiederhergestellt wird.

[0005] In dem FlexBus™ ist eine Kanalblockierung oder Auswahl von Filtern, die in den Leitungen angeordnet sind, nicht notwendig, wodurch das Problem mit der verknüpften Filterung entschärft wird. Das Signal aus einem Sender kann gleichzeitig in beide Richtungen gesendet werden, ohne Störungen zu erzeugen, und die gleiche Wellenlänge kann in beiden Richtungen benutzt werden, wodurch ermöglicht wird, dass die gleiche Anzahl bidirektionaler Verbindungen als die Anzahl von Wellenlängen erstellt werden kann, die in dem Netzwerk benutzt werden.

[0006] Mit der Ausreifung der Filter- und Schalttechnologie wäre es jedoch nützlich, Wellenlängen mehr als einmal wieder verwenden zu können, um mehr Verbindungen erstellen zu können und somit die Netzwerkkapazität für die eingeschränkte Anzahl von Wellenlängen zu erhöhen, die in einem Netzwerk hinsichtlich der ver-

fügbaren Verstärkungsbandbreite des optischen Verstärkers, realistischen Filterbandbreiten und Frequenzstabilität von Filtern und Lichtquellen durchführbar sind. Folglich wurde eine andere Umsetzung einer Knotenarchitektur, die auf dem FlexBus™ basierte, jedoch mehrere Blockierungsfiler und Schalter aufwies, die in Reihe, das heißt, in dem direkten Pfad einer Faser des Netzwerks oder Busses durch den Knoten verbunden waren, erfunden und ist in der veröffentlichten internationalen Patentanmeldung WO 96/31025 offenbart und wird der „Rearrangeable FlexBus™“ genannt. Diese Umsetzung ist zu einer sehr effizienten Benutzung der Wellenlängen fähig. In der veröffentlichten internationalen Patentanmeldung WO 96/24998 ist ein Algorithmusschema zur Wellenlängenzuweisung in Rearrangeable-FlexBus™-Netzwerken offenbart. Ein Add/Drop-Knoten für ein WDM-Netzwerk ist in der veröffentlichten internationalen Patentanmeldung WO 98/49794 offenbart, die eine gewisse Wiederverwendung von Wellenlängen ermöglichen kann.

KURZDARSTELLUNG DER ERFINDUNG

[0007] Es ist eine Aufgabe der Erfindung, einen Add- und Drop-Knoten für ein Netzwerk der Art des oben beschriebenen Rearrangeable FlexBus™ bereitzustellen, der ein Minimum an Reihenkomponenten aufweist und die Verlässlichkeit des Netzwerks verbessert, jedoch noch immer die guten Eigenschaften des FlexBus™ und die effiziente Benutzung von Wellenlängen, wie in dem Konzept des Rearrangeable FlexBus™ definiert, aufweist.

[0008] Das von der Erfindung zu lösende Problem ist, wie eine Knotenkonstruktion für ein Netzwerk der Art des Rearrangeable FlexBus™ erreicht wird, die im Wesentlichen als die Knoten von diesem Bus arbeitet, der eine effiziente Wellenlängenzuweisung in dem Netzwerk ermöglicht und ermöglicht, dass das Netzwerk und die Knoten in einer verlässlichen Weise arbeiten. Insbesondere sollten die Knoten in dem Netzwerk keine Information über Verknüpfungen übertragen, wenn diese nicht notwendig ist oder wenn sie von keinem Stromabwärtsknoten empfangen wird.

[0009] Folglich wird im Allgemeinen ein Add/Drop-Knoten bereitgestellt, der angeordnet ist, um in einem WDM-Glasfasernetzwerk verbunden zu werden. Das Netzwerk weist eine Ringkonfiguration auf, die zwei Fasern aufweist, die Lichtsignale in entgegengesetzte Richtungen tragen.

[0010] Folglich weist das Netzwerk Verknüpfungen auf, welche benachbarten Knoten verbinden. Zum Schutz weist das Netzwerk immer eine inaktive Verknüpfung auf, die keine Lichtsignale trägt, und das Netzwerk ist derart konstruiert, dass die inaktive Verknüpfung aktiviert werden kann und eine andere Verknüpfung inaktiviert wird. Da das Netzwerk der WDM-Art ist, wird Information in dem Netzwerk in mehreren separaten Wellenlängenbändern für die Lichtsignale getragen. Der Add/Drop-Knoten umfasst in der herkömmlichen Weise Drop-Koppler und Add-Koppler für jede Richtung, um jeweils einen Anteil von Signalen bei dem Add/Drop-Knoten zu entnehmen und Signale in dem Add/Drop-Knoten hinzuzufügen. Der Knoten umfasst ferner herkömmliche Empfänger und Sender zum Empfangen von Lichtsignalen in Wellenlängenbändern in dem Add/Drop-Knoten und Sender zum Übertragen von Lichtsignalen in Wellenlängenbändern von dem Add/Drop-Knoten in das Netzwerk. Der Add/Drop-Knoten umfasst ferner einen Bandsperrfilter, der zwischen einem Drop-Koppler und einem Add-Koppler angeordnet ist, um alle Wellenlängen, die in dem Knoten aus dieser Richtung empfangen und/oder abgeschlossen werden, in eine Richtung zu sperren. Vorzugsweise ist der Bandsperrfilter angeordnet, um alle Wellenlängen, die in dem Knoten aus jeder der beiden Richtungen empfangen und in dem Knoten wieder verwendet werden, zu sperren.

[0011] In dem Knoten wird mindestens ein Schalter bereitgestellt, der gemäß einem der folgenden Fälle vorteilhaft verbunden wird:

- mit einem Empfänger und den Drop-Kopplern, um zu ermöglichen, dass der Empfänger aus jeder der zwei entgegengesetzten Richtungen empfängt, oder
- mit einem Sender und den Add-Kopplern, um zu ermöglichen, dass der Sender in jede der zwei entgegengesetzten Richtungen überträgt.

[0012] Vorzugsweise werden zwei separate Schalter bereitgestellt, wobei einer gemäß dem ersten Fall und einer gemäß dem zweiten Fall verbunden wird.

[0013] Weitere Schaltmittel können bereitgestellt werden, um die Lichtsignale einer Wellenlänge in einer ersten Position der Schaltmittel im Wesentlichen unbeeinflusst und in einer ersten Richtung durch den Knoten zu lassen. Danach wird die gleiche Wellenlänge aus einer zweiten Richtung empfangen, die der ersten entgegengesetzt ist. In einer anderen, zweiten Position der Schaltmittel sperren diese die Wellenlänge, wenn sie aus der zweiten Richtung empfangen wird. Die Schaltmittel zum Empfangen in einem Wellenlängenband und in

jedem Fall nur in eine Richtung können einen 2:3-Schalter umfassen, dessen Eingänge mit Banddurchlassfiltern für das Wellenlängenband verbunden sind. Jeder Banddurchlassfilter wird danach mit einem Drop-Koppler verbunden, so dass der Schalter Licht aus entgegengesetzten Richtungen empfängt. Vorzugsweise ist einer der Ausgänge des 2:3-Schalters mit einem Empfänger für das Wellenlängenband verbunden und ein anderer Ausgang mit einem Add-Koppler für Lichtsignale in einer zweiten Richtung, die der ersten entgegengesetzt ist.

[0014] Das WDM-Glasfasernetzwerk, das aus solchen Add/Drop-Knoten und möglicherweise anderen Knoten gebildet wird, welche die gleichen oder entsprechende Schaltmöglichkeiten aufweisen, ermöglichen eine effiziente Benutzung von Wellenlängen. Folglich können die Knoten angeordnet sein, um mindestens ein Wellenlängenband derart zu benutzen, dass das Wellenlängenband von mindestens zwei separaten ersten Knoten zum Übertragen an zweite Knoten, die sich voneinander unterscheiden, in eine ersten Richtung benutzt wird und von nur einem dritten Knoten benutzt wird, um an einen vierten Knoten in einer zweiten Richtung zu übertragen, die der ersten entgegengesetzt ist.

[0015] In dem Netzwerk kann eine Übertragungsspanne als der Teil des Netzwerks zwischen einem Knoten, der Information in einem Wellenlängenband überträgt, und einem anderen Knoten definiert werden, der die Information auf dem gleichen Wellenlängenband empfängt. Folglich sind die Übertragungsspannen der mindestens zwei separaten ersten Knoten für das Wellenlängenband in der ersten Richtung derart angeordnet, dass sie einander nicht überlappen. Die Übertragungsspanne des dritten Knotens für die Wellenlänge in der zweiten Richtung erstreckt sich vorzugsweise über die Spannen der mindestens zwei separaten ersten Knoten für die Wellenlänge in der ersten Richtung.

KURZBESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0016] Die Erfindung wird nun mit Hilfe nicht einschränkender Ausführungsformen mit Bezug auf die beiliegenden Zeichnungen beschrieben, in denen

[0017] [Fig. 1](#) eine allgemeine schematische Ansicht eines Glasfasernetzwerks der WDM-Art des Standes der Technik ist, das die flexible Busarchitektur benutzt,

[0018] [Fig. 2](#) ein Blockdiagramm eines Add- und Drop-Knotens des Standes der Technik mit einer einfachen Konfiguration ist, der in dem Netzwerk aus [Fig. 1](#) benutzt werden soll,

[0019] [Fig. 3](#) ein Blockdiagramm eines Add- und Drop-Knotens ist, der demjenigen aus [Fig. 2](#) ähnelt und eine eingeschränkte Wiederverwendung von Wellenlängen in dem Netzwerk aus [Fig. 1](#) ermöglicht,

[0020] [Fig. 4](#) ein Blockdiagramm eines Add- und Drop-Knotens ist, der eine effiziente Wiederverwendung von Wellenlängen ermöglicht und in dem Netzwerk aus [Fig. 1](#) benutzt werden soll,

[0021] [Fig. 5](#) ein Blockdiagramm eines Add- und Drop-Knotens ist, der demjenigen aus [Fig. 4](#) ähnlich ist, jedoch eine leicht verbesserte Übertragungsleistung aufweist, und

[0022] [Fig. 6](#) ein Schaubild ist, das die Zuordnung von Wellenlängen in einem Netzwerk der Art, die in [Fig. 1](#) dargestellt ist, mit Knoten gemäß [Fig. 3](#), [Fig. 4](#) oder [Fig. 5](#) darstellt.

BESCHREIBUNG DER BEVORZUGTEN AUSFÜHRUNGSFORMEN

[0023] Ein Netzwerk, das die flexible Busgrundstruktur zur WDM-Kommunikation auf Glasfasern benutzt, ist in [Fig. 1](#) dargestellt. Mehrere optische Add- und Drop-Knoten **1** sind miteinander durch Verknüpfungen **3** verbunden, um ein Netzwerk oder einen Bus zu bilden, der eine physikalische Ringstruktur umfasst, die als Grundelemente ein Paar Glasfasern **7e**, **7w** aufweist, welche verbunden sind, um zwei parallele Faserringe zu bilden. Jeder Faserring trägt Licht, das sich in eine bestimmte Richtung verbreitet, wobei die Verbreitungsrichtungen der zwei Ringe voneinander entgegengesetzt sind. Folglich verbreitet sich das Licht in einem der Faserringe, in der Ausführungsform aus [Fig. 1](#) der innere Ring **7e**, immer in die Richtung entgegen dem Uhrzeigersinn, wobei diese Richtung nachstehend die Ostrichtung genannt wird. In dem anderen **7w** der Ringe des Paares Faserringe verbreitet sich das Licht in die entgegengesetzte Richtung, das heißt, in die Richtung im Uhrzeigersinn, wie in [Fig. 1](#) zu sehen ist, wobei diese Richtung die Westrichtung genannt wird. Ein Knoten **1** in der Busstruktur ist folglich physikalisch nur mit zwei benachbarten Knoten verbunden, einem linken Knoten und einem rechten Knoten. Die Verbindungen eines bestimmten Knotens **1** weisen somit eine linke physikalische

Verknüpfung **3l** auf, die ein westliches Leitungskabel **5l** umfasst, und eine rechte physikalische Verknüpfung **3r**, die ein östliches Leitungskabel **5r** umfasst, wobei das andere Ende jeder Verknüpfung **3l**, **3r** jeweils mit dem benachbarten linken und rechten Knoten verbunden ist. Jedes Stück **5l**, **5r** von Leitungskabeln umfasst jeweils ein Paar Glasfasern **7lw**, **7lw** und **7re**, **7re**, wobei sich Licht in einer **7le**, **7re** der Fasern eines Faserpaars in einer Verknüpfung **3l**, **3r** immer in eine Richtung wie die Ostrichtung ausbreitet, wie in [Fig. 1](#) zu sehen ist, und sich Licht in der anderen **7lw**, **7rw** der Fasern des Faserpaars in einer Verknüpfung immer in die entgegengesetzte Richtung, nämlich die Uhrzeigerrichtung oder Westrichtung ausbreitet, wie in [Fig. 1](#) zu sehen ist. Außerdem wird ein Knoten **1** mit Empfängern **11** und Sendern **13** verbunden oder enthält diese, um optische Signale in elektrische Signale und umgekehrt umzuwandeln, wobei die elektrischen Signale von anderen Vorrichtungen, Verknüpfungen oder Netzwerken, die nicht dargestellt sind, jeweils übertragen oder empfangen werden.

[0024] Eine der Verknüpfungen **3** der Ringstruktur ist immer deaktiviert, siehe die Verknüpfung **2** in [Fig. 1](#), so dass zumindest kein Licht, das die nützliche Information trägt, die in dem Netzwerk übertragen werden soll, in keine der beiden Richtungen durchdringen kann. Dies verhindert, dass Lichtsignale und ASE-Rauschen in mehreren Drehungen entlang der Ringstruktur zirkulieren können, wobei das ASE-Rauschen eine verstärkte spontane Emission ist, die in optischen Reihenverstärkern erzeugt wird, die gewöhnlich in den Knoten **1** enthalten sind. Wenn in einer Verknüpfung zwischen benachbarten Knoten ein Ausfall vorliegt, kann das Netzwerk derart neu konfiguriert werden, dass diese Verknüpfung danach die deaktivierte sein wird, wohingegen die vorher deaktivierte Verknüpfung (**2**) nun aktiviert wird und wie die anderen aktiven Verknüpfungen (**3**) in der Ringstruktur arbeitet und Signale in die zwei entgegengesetzten Richtungen weiterleitet.

[0025] Eine Grundstruktur eines Knotens **1** in der flexiblen Busgrundstruktur aus [Fig. 1](#) ist in dem Blockdiagramm aus [Fig. 2](#) dargestellt. Der optische WDM-Verkehr, der mehrere WDM-Kanäle umfasst, die bestimmte, separate Wellenlängen aufweisen, wobei jeder Kanal ein Wellenlängenband um die Wellenlänge des Kanals besetzt, betritt den Knoten von links oder in die Ostrichtung und von rechts oder in die Westrichtung jeweils auf den Fasern **7le** und **7rw**. Die hereinkommenden Signale können in jeweiligen optionalen optischen Vorverstärkern **15e**, **15w** verstärkt werden, in denen die Lichtsignale verstärkt werden. Das hereinkommende Licht wird dann in Drop-Kopplern **17e**, **17w** geteilt. Diese Koppler sind optische Leistungsteiler, die einen Teil der Gesamtleistung des Lichts, das sich in eine Richtung in dem Bus verbreitet, durch einen optischen Kombiniertkoppler **19**, der die abgelenkten Leistungsteile aus jeder Richtung addiert, zu einer Bank **21** von Filtern speisen, die auch ein optischer Demultiplexer genannt werden kann, der einen oder mehrere Banddurchlassfilter für Wellenlängen aufweist, die bei der Übertragung in dem Netzwerk benutzt werden. Folglich filtert die Filterbank **21** Kanäle heraus, wobei jeder Kanal Information in einem bestimmten Wellenlängenband trägt. Die herausgefilterten Lichtsignale werden dann an optoelektrische Empfänger **11** weitergeleitet, wobei ein optischer Empfänger für jeden empfangenen Kanal angeordnet ist.

[0026] Der restliche Teil der Lichtleistung, die in den Drop-Kopplern **17e**, **17w** geteilt wird, wird durch den Knoten **1** weitergeleitet und befindet sich in den Add-Kopplern **23e**, **23w** vermischt mit neuem Verkehr, der in dem Knoten hinzugefügt werden soll. Dieser neue Verkehr wird aus elektrooptischen Sendern **13** erhalten, die jeweils optische Signale eines Wellenlängenbandes oder eines Kanals übertragen, der sich von demjenigen der anderen Sender unterscheidet. Die Ausgabesignale der Sender **13** werden in einem optischen Kombiniertkoppler oder optischen Multiplexer **25** hinzugefügt, wobei das resultierende kombinierte Signal dann in einem Teilkoppler **27** in zwei Abschnitte mit gleicher Leistung aufgeteilt wird, wobei einer der beiden Abschnitte an einen der Add-Koppler **23e**, **23w** übertragen wird und der andere Abschnitt an den anderen der Add-Koppler übertragen wird. Die Lichtsignale, die aus den Add-Kopplern **23e**, **23w** für jede Richtung erhalten werden, werden zu den Fasern **7re**, **7lw**, die in den Verknüpfungen **3r**, **3l** enthalten sind, die mit dem Knoten verbunden sind und Licht tragen, das aus dem Knoten kommt, durch die optionalen optischen Leistungsverstärker **29e**, **29w** geleitet.

[0027] In der Knotenausführung in [Fig. 2](#) sollte das Nichtvorhandensein von Reihensperrfiltern und Reihenschaltern und insbesondere die Tatsache beobachtet werden, dass sich Licht im Wesentlichen unbeeinflusst oder ununterbrochen durch den Knoten verbreitet oder dadurch geleitet wird. Außerdem senden die Sender **13** und die Empfänger **11** hören in beide Verkehrsrichtungen gleichzeitig. Die jeweiligen linken oder rechten Verstärker **15e**, **29w** oder **15w**, **29w** können benutzt werden, um die jeweiligen Verknüpfungen oder Segmente **3l**, **3r** zu deaktivieren, die den Knoten mit den zwei benachbarten Knoten verbinden. Dies wird dann durchgeführt, wenn diese Verknüpfung die zu deaktivierende sein soll, wie es bei einem Ausfall dieser Verknüpfung der Fall ist. Solch ein Ausfall kann zum Beispiel dadurch verursacht werden, dass eine der Fasern des Paares der Verknüpfung defekt ist oder einer der optischen Verstärker defekt ist, die mit dieser Verknüpfung verbunden sind.

[0028] Die Busstruktur und Knotengestaltung gemäß [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#) B.S. Johnson et sind in dem oben zitierten Artikel von al. und in der zitierten US-Patentanmeldung 08/421,734 beschrieben. Jedoch ermöglicht diese Struktur nur, dass eine bestimmte Wellenlänge oder ein bestimmter Kanal zum Beispiel zur Kommunikation zwischen zwei Knoten in dem Netzwerk einmal in jeder Richtung benutzt wird. Eine Knotenarchitektur, die eine Wiederverwendung von Wellenlängen ermöglicht, das heißt, dass ein Kanal oder eine Wellenlänge mehr als einmal zum Übertragen von Information in eine Richtung benutzt wird, ist in der zitierten internationalen Patentanmeldung WO 96/31025 offenbart, die zu einer effizienteren Verwendung von verfügbaren Wellenlängen führt. Diese Knotengestaltung des Standes der Technik weist jedoch eine Vielzahl von Demultiplexern und Schaltern auf, die in Reihe verbunden sind, das heißt, in dem direkten Pfad einer Faser des Netzwerks oder Busses durch den Knoten. Dennoch ermöglicht dieser Knoten des Standes der Technik eine effiziente Benutzung des Wellenlängenbereichs oder entsprechend eine sehr effiziente Benutzung von verfügbaren Kanälen.

[0029] Eine Gestaltung eines Add- und Drop-Knotens, die auf der Gestaltung gemäß [Fig. 2](#) basiert und eine gewisse Wiederverwendung von Wellenlängen ermöglicht, ist in [Fig. 3](#) dargestellt. Diese Knotenstruktur unterscheidet sich von der aus [Fig. 2](#) nur dadurch, dass für jede Ausbreitungsrichtung in dem Bus ein Wellenlängensperr- oder Bandsperrfilter **31e**, **31w** zwischen dem Drop-Koppler **17e**, **17w** und dem Add-Koppler **23e**, **23w** verbunden ist, der mit der Faser für die jeweilige Richtung verbunden ist. Die Bandsperrfilter **31e**, **31w** sperren dasjenige oder diejenigen Wellenlängenbänder, die in dem Knoten für die Verkehrsrichtung der Faser abgeschlossen sind, in welcher der jeweilige Sperrfilter verbunden ist. Der Knoten gemäß [Fig. 3](#) weist nur Bandsperrfilter, die in Reihe verbunden sind, und keine Schalter auf, was den Knoten verlässlicher macht als den oben erwähnten Knoten des Standes der Technik und eine Wiederverwendung von Wellenlängen ermöglicht. In diesem Knoten, wie in dem Knoten aus [Fig. 2](#), werden die gleichen Informationssignale gleichzeitig in entgegengesetzte Richtungen auf beiden Verknüpfungen übertragen, die mit dem Knoten verbunden sind, was die mögliche Wiederverwendung von Wellenlängen einschränkt und keine Bewegung des inaktiven Segments ermöglicht, das für das Flexbus-Netzwerk gemäß [Fig. 1](#) notwendig ist. Folglich muss ein Schalten von Kanalrichtungen bereitgestellt werden, wenn ein Knoten der Art, die in [Fig. 3](#) dargestellt ist, in solch einem Netzwerk benutzt werden soll.

[0030] Daher zeigt [Fig. 4](#) ein Blockdiagramm der allgemeinen Architektur eines Knotens für ein Netzwerk der Art, die in [Fig. 1](#) dargestellt ist, wobei dieser Knoten aus dem Knoten aus [Fig. 3](#) erhalten wird, indem Schalter hinzugefügt werden und Filterblöcke und Multiplexer für jede Richtung bereitgestellt werden. Man kann beobachten, dass die Schalter nicht in Reihe geschaltet sind. Die einzigen abschwächenden Reihenelemente neben den immer notwendigen Kopplern sind die Sperrfilter **31e**, **31w**. Die Knotenarchitektur aus [Fig. 4](#) ermöglicht eine Wiederverwendung von Wellenlängen für Netzwerke der Flexbus-Art, wie in [Fig. 1](#) dargestellt, und führt zu einer verbesserten Leistungsfähigkeit des Netzwerksystems, das heißt, dass mehrere Knoten in einem Netzwerk für die gleiche Anzahl von Multiplexwellenlängen benutzt werden können. Die Wiederverwendung von Wellenlängen in dem Knoten ist genauso effizient wie in dem Knoten des Standes der Technik gemäß der zitierten internationalen Patentanmeldung WO 96/31025. Jedoch weist der Knoten in [Fig. 4](#) keine Reihenschalter und ein Minimum an Reihensperrfiltern auf, die ein Minimum an damit in Verbindung stehenden Filtereffekten bewirken, was ihn insgesamt effizienter macht als den Knoten des Standes der Technik.

[0031] Für den Knoten, der in [Fig. 4](#) dargestellt ist, weisen die Lichtsignale, die sich in die Ostrichtung ausbreiten und einen bestimmten Knoten betreten, mindestens alle Wellenlängen λ_{re1} , λ_{re2} , ..., λ_{ren} auf, welche all denjenigen Kanälen entsprechen, die in dieser Richtung ankommen und in dieser Richtung in einem Knoten sowohl abgeschlossen als auch wieder verwendet werden. Dementsprechend weisen die Lichtsignale, die sich in die Westrichtung ausbreiten und den bestimmten Knoten betreten, mindestens alle Wellenlängen λ_{rw1} , λ_{rw2} , ..., λ_{rwn} auf, die all denjenigen Kanälen für sich nach Westen bewegende Signale entsprechen, die in der Westrichtung in einem Knoten sowohl abgeschlossen als auch wieder verwendet werden. Die zwei Sätze $[\lambda_{re1}, \lambda_{re2}, \dots, \lambda_{ren}]$ und $[\lambda_{rw1}, \lambda_{rw2}, \dots, \lambda_{rwn}]$ von Wellenlängen, die in irgendeinem Knoten des Netzwerks abgeschlossen und wieder verwendet werden, können zum Beispiel unterschiedliche Wellenlängen enthalten. Andere Wellenlängenkanäle, die nicht in diesen Sätzen enthalten sind, können ebenfalls existieren und können zum Beispiel zum bidirektionalen Tragen von Information zwischen zwei Knoten benutzt werden. Im Normalfall, wie in [Fig. 6a](#) und [6b](#) dargestellt, weisen die Lichtsignale, die einen inneren Knoten in eine Richtung betreten, mindestens die Vereinigung der erwähnten Wellenlängensätze auf, das heißt, alle Wellenlängen $[\lambda_{re1}, \lambda_{re2}, \dots, \lambda_{ren}, \lambda_{rw1}, \lambda_{rw2}, \dots, \lambda_{rwn}]$.

[0032] Jeder der Sperrfilter **31e**, **31w** in einem Knoten gemäß [Fig. 4](#) sperrt jeweils nur die Wellenlängen λ_{terme1} , λ_{terme2} , ... und λ_{termw1} , λ_{termw2} , ... derjenigen Kanäle, die in dem Knoten für die jeweilige Richtung abgeschlossen sind, wobei die gesperrten Wellenlängen bestimmt werden, indem angenommen wird, dass der Knoten als ein innerer Knoten bei einer Standardposition in dem Netzwerk verbunden ist. Ein Endknoten wird

hierin als ein Knoten definiert, der direkt mit der inaktiven Verknüpfung des Busnetzwerks verbunden ist, und ein innerer Knoten wird als ein Knoten definiert, der kein Endknoten ist. Wenn die inaktive Verknüpfung **2** neu angeordnet wird, das heißt, wenn sich „der Bus beugt“, kann ein früherer Endknoten zu einem inneren Knoten werden und umgekehrt, wobei jedoch die gleichen Wellenlängen in dem Knoten gesperrt werden. Alle Wellenlängen, die nicht in dem Satz von Wellenlängen $[\lambda_{\text{terme1}}, \lambda_{\text{terme2}}, \dots]$ von Kanälen enthalten sind, die in der Ostrichtung abgeschlossen sind, werden praktisch unbeeinflusst nur durch den Knoten in die östliche Richtung geleitet. Gleichermaßen werden alle Wellenlängen, die nicht in dem Satz von Wellenlängen $[\lambda_{\text{termw1}}, \lambda_{\text{termw2}}, \dots]$ von Kanälen enthalten sind, die in dem Knoten in der Westrichtung nicht abgeschlossen sind, praktisch ununterbrochen nur durch den Knoten in die westliche Richtung geleitet.

[0033] Das Prinzip der Zuweisung und Wiederverwendung einer Wellenlänge in einem selbstheilenden ringförmigen Netzwerk der Flexbus-Art gemäß [Fig. 1](#) ist durch das Diagramm aus [Fig. 6](#) dargestellt, das einen flexiblen Bus zeigt, welcher acht Knoten **1** aufweist, die in einer Reihenkonfiguration durch einen Bus verbunden sind, der aus Verknüpfungen **3** zwischen benachbarten Knoten besteht, wobei jede zwei Glasfasern umfasst, wobei die äußersten Knoten durch eine inaktive Verknüpfung **2** verbunden sind, die auch zwei Glasfasern umfasst. Über der Reihe von Knoten ist die Kommunikation in die Ostrichtung dargestellt, wobei eine Wellenlänge λ_{re2} wieder verwendet wird und eine andere Wellenlänge λ_{rw2} nicht wieder verwendet wird, sondern zum Übertragen von Information zwischen den zwei Endknoten benutzt wird, und unter der Reihe von Knoten ist eine symmetrische Benutzung der gleichen Wellenlängen dargestellt, wobei für jegliche Kommunikation in die Westrichtung die Wellenlänge λ_{rw2} wieder verwendet wird und die Wellenlänge λ_{re2} zum Übertragen von Information zwischen den zwei Endknoten benutzt wird.

[0034] In [Fig. 6](#) ist zu sehen, dass eine Wellenlänge nur in eine der Richtungen auf dem Bus wieder verwendet werden kann, jedoch in jeder beliebigen zweckmäßigen Verbindung in diese Richtung wieder verwendet werden kann, solange keine der Verbindungen, für welche die Wellenlänge benutzt wird, einander überlappt. In der umgekehrten Richtung, das heißt, auf der anderen Faser des Netzwerkfaserbusses wird nur ermöglicht, dass die gleiche Wellenlänge einmal benutzt wird und eine Spanne aufweisen muss, die mindestens all diejenigen Spannen überdeckt, für welche die Wellenlänge in der ersten Richtung benutzt wird. Dies beinhaltet, dass, wenn eine Wellenlänge in einer beliebigen Richtung wieder verwendet wird, das Empfänger-Sender-Paar auf der Verbindung andere Wellenlängen benutzen muss. Eine Wellenlänge, die in einem Knoten abgeschlossen ist, muss in diesem Knoten nicht wieder verwendet werden, sondern kann zur Übertragung in die gleiche Richtung durch einen Knoten benutzt werden, der von dem bestimmten Knoten in der gleichen Richtung angeordnet ist. Die Verwendung einer Wellenlänge für eine bidirektionale Verbindung ist nur möglich, wenn diese Wellenlänge nicht für irgendeine andere Verbindung in dem Netzwerk benutzt wird, wobei dieser Fall in der Figur nicht dargestellt ist.

[0035] In [Fig. 4](#) werden für identische oder entsprechende Elemente die gleichen Bezugszeichen wie in [Fig. 2](#) und [Fig. 3](#) benutzt. In beide Richtungen in der Mitte des Knotens sind die Sperrfilter **31e**, **31w** zwischen dem Ausgang des Drop-Kopplers **17e**, **17w**, der das durch den Knoten zu leitende Signal trägt, und einem Eingang des entsprechenden Add-Kopplers **23e**, **23w** verbunden. Das Lichtsignal, das in jede Richtung hereinkommt, weist mindestens all diejenigen Wellenlängen auf, die für Signale, die sich in eine bestimmte Richtung verbreiten, all denjenigen Kanälen entsprechen, die in einem Knoten abgeschlossen und in einem Knoten des Systems in dieser Richtung wieder verwendet werden, wobei diese Knoten der gleiche oder unterschiedliche Knoten sind. Ein Wellenlängenkanal wird in einem Knoten als abgeschlossen betrachtet, wenn er in dem Knoten empfangen wird, das heißt, wenn es für diesen Kanal in dem Knoten einen Empfänger **11e** oder **11w** gibt, und er wird in einem bestimmten Knoten als wieder verwendet betrachtet, wenn zwei Bedingungen erfüllt werden, nämlich, wenn er zur Übertragung von dem Knoten benutzt wird, das heißt, wenn es einen Sender **13w**, **13e** für diesen Kanal in dem fraglichen Knoten gibt, und wenn der gleiche Kanal gleichzeitig zum Übertragen von Information in die gleiche Richtung von einem anderen Knoten benutzt wird.

[0036] In dem Diagramm eines Knotens gemäß [Fig. 4](#), der zum Beispiel der Knoten X in [Fig. 6](#) sein kann, sind diejenigen Komponenten dargestellt, die zum Empfangen von einem Knoten auf der linken oder westlichen Seite auf nur einer Wellenlänge λ_{re2} erforderlich sind. Dieses Wellenlängensignal ist somit in dem gesamten Lichtsignal enthalten, das sich in die östliche Richtung bewegt, und diese Wellenlänge wird in die östliche Richtung von dem Knoten wieder verwendet, um Information von dem Knoten in diese Richtung zu tragen. Die Richtungen sind für den Fall angegeben, dass der Knoten aus [Fig. 4](#) als ein innerer Knoten wie der Knoten X in [Fig. 6](#) verbunden wird. Auf ähnliche Weise sind in [Fig. 4](#) diejenigen Komponenten dargestellt, die zum Empfangen von Information auf einer einzigen Wellenlänge λ_{rw2} in der umgekehrten Richtung, nämlich der westlichen Richtung erforderlich sind. Der Kanal dieser Wellenlänge wird auf diese Weise in dem Knoten abgeschlossen und die Wellenlänge wird in der westlichen Richtung zum Tragen von Information von dem Knoten

wieder verwendet. In diesem Fall ist zu sehen, dass die gleiche Wellenlänge zum Empfangen von Signalen von einem anderen Knoten auf einer Seite des bestimmten Knotens und zum Übertragen von Signalen an einen anderen Knoten auf der entgegengesetzten Seite des bestimmten Knotens benutzt wird. Nur die Kanäle, die in einem Knoten wieder verwendet werden, müssen durch die Reihenbandsperrfilter **31e**, **31w** in dem Knoten gesperrt werden, es kann jedoch auch vorteilhaft sein, alle Wellenlängen zu sperren, die in dem Knoten abgeschlossen sind, jedoch nicht in dem Knoten wieder verwendet werden, falls solche Wellenlängen existieren, siehe die Erläuterung bezüglich des dynamischen Bereichs des Lichtsignals in Verbindung mit [Fig. 5](#).

[0037] Um eine effiziente Benutzung von Wellenlängen und somit des dynamischen Bereichs zu ermöglichen, muss ein Signal von dem bestimmten Knoten nur in diejenige Richtung übertragen werden, in der es den Knoten erreicht, mit dem es verbunden werden soll, wobei die Position der inaktiven Verknüpfung **2** berücksichtigt wird. Die Standardverbindung eines Knotens liegt vor, wenn er als ein innerer Knoten verbunden ist und nicht als ein Endknoten, wobei sich der Ausdruck Endknoten hier auf einen Knoten bezieht, der direkt mit der inaktiven Verknüpfung verbunden ist, wie oben angegeben. Bei der Standardverbindung sind die Sender eines Knotens auf natürliche Weise in Sender **13e** zum Senden in die östliche Richtung und Sender **13w** zum Senden in die westliche Richtung aufgeteilt. Die Ausgangsanschlüsse jedes Senders **13e**, **13w** sind mit einem einfachen 1:2-Schalter **33e**, **33w** verbunden. Die Ausgänge dieser Senderschalter **33e**, **33w** sind mit zwei Multiplexerblöcken **35e**, **35w** verbunden, die dem Multiplexer **35** aus [Fig. 2](#) und [Fig. 3](#) entsprechen, nämlich einem Multiplexerblock **35e** für den Verkehr in die Ostrichtung und einem Multiplexerblock **35w** für den Verkehr in die Westrichtung. Der Ausgang des Multiplexers **35w** für die Westrichtung ist mit einem Eingang des Add-Kopplers **23w** für den Faser tragenden Verkehr in die Westrichtung verbunden und der Ausgang des Multiplexers **35e** für die Ostrichtung ist mit einem Eingang des Add-Kopplers **23e** für die östliche Richtung verbunden.

[0038] Wie bei den Ausführungsformen gemäß [Fig. 2](#) und [Fig. 3](#) werden die optionalen Vorverstärker **15e**, **15w** jeweils von einem Drop-Koppler **17e**, **17w** gefolgt. Die Drop-Koppler verbinden einen geeigneten Teil der Leistung des empfangenen Lichts mit separaten Blöcken oder Bänken **37e**, **37w** von Banddurchlassfiltern, wobei ein Block **37e** Banddurchlassfilter für jede der Wellenlängen $\lambda_{\text{terme}1}$, $\lambda_{\text{terme}2}$, ... enthält, die Kanäle in die östliche Richtung entsprechen und in dem Knoten abgeschlossen sind, und wobei ein anderer Block **37w** Banddurchlassfilter für jede der Wellenlängen $\lambda_{\text{termw}1}$, $\lambda_{\text{termw}2}$, ... enthält, die Kanäle entsprechen, die Verkehr in die westliche Richtung tragen, und in dem Knoten abgeschlossen sind. Der Ausgang jedes der Filter in solch einem Filterblock **37e**, **37w**, der folglich ein Lichtsignal einer spezifischen Wellenlänge oder eines spezifischen schmalen Wellenlängenintervalls trägt, ist mit einem 2:1-Schalter **39e**, **39w** verbunden, wobei somit einer dieser Schalter **39e**, **39w** pro Wellenlänge oder Kanal, der in dem Knoten abgeschlossen ist, angeordnet ist. Mittels jedes dieser Schalter **39e**, **39w** wird die Richtung gewählt, aus der die jeweilige Wellenlänge empfangen werden soll, das heißt, ob sie von der Ostseite oder von der Westseite hinsichtlich des bestimmten Knotens empfangen werden soll. Die Ausgangsanschlüsse der zwei Banddurchlassfilter, welche die gleiche Wellenlänge herausfiltern und in den zwei Filterbänken **37e**, **37w** enthalten sind, sind folglich mit dem gleichen 2:1-Schalter **39e**, **39w** verbunden. Der Empfänger **11e**, **11w** für eine spezifische Wellenlänge $\lambda_{\text{re}2}$ oder $\lambda_{\text{rw}2}$ wird mit dem Ausgangsanschluss solch eines 2:1-Schalters **39e**, **39w** verbunden, wobei der Schalter in der angemessenen Position je nach der Position der Informationsquelle angeordnet ist, das heißt, östlich oder westlich des bestimmten Knotens, und im Allgemeinen auch je nach der Position des deaktivierten Verknüpfungssegments **2**. Alle Schalter **33e**, **33w**, **39e**, **39w** können von einer Steuereinheit **41** gesteuert werden, die programmiert ist, um die Schalter je nach dem Netzwerkstatus, das heißt, je nach der Position des Knotens bezüglich der gegenwärtig inaktiven Verknüpfung **2** in korrekten Positionen anzuordnen.

[0039] Die Filter in den Filterblöcken **37e**, **37w** können auch direkt in oder bei dem jeweiligen Empfänger **11e**, **11w** angeordnet werden, wobei die Filterblöcke danach durch nicht dargestellte Leistungsteiler ersetzt werden, welche die Lichtleistung in gleiche Teile teilen, nämlich einen Teil für jeden Empfänger **11e**, **11w** in die bestimmte Richtung.

[0040] Wenn in dem Knoten aus [Fig. 3](#) eine bestimmte Wellenlänge λ_{termek} oder λ_{termwk} aus einer Richtung empfangen und in die gleiche Richtung wieder verwendet werden soll, dann muss die gleiche Wellenlänge dazu fähig sein, sich durch den Knoten auf der anderen Faser in die entgegengesetzte Richtung zu verbreiten, wenn eine maximale Wiederverwendung der verfügbaren Wellenlängen erreicht werden soll, siehe [Fig. 6](#) der oben zitierten internationalen Patentanmeldung WO 96/24998, welche eine effiziente Wellenlängenzuweisung beschreibt. In [Fig. 4](#) sind die Positionen der Schalter **33e**, **33w** und **39e**, **39w** für einen Knoten dargestellt, der kein Endknoten ist, das heißt, in dem Fall, in dem er auf einer seiner Seiten nicht mit der inaktiven Verknüpfung **2** verbunden ist. Wenn sich „der Bus beugen“ muss, das heißt, wenn die inaktive Verknüpfung aktiv werden muss und eine andere Verknüpfung aufgrund eines Ausfalls in dieser anderen Verknüpfung inaktiv werden muss und der bestimmte Knoten dann direkt mit der inaktiven Verknüpfung verbunden wird, dann muss einer

der Empfängerschalter **39e**, **39w** seine Position ändern und derjenige der Schalter **33e**, **33w**, der mit einem Sender **13e**, **13w** verbunden ist, der an den gleichen Knoten sendet, muss auch seine Position ändern. Die Empfänger- und Senderschalter **39e**, **39w** und **33e**, **33w** zum Ändern des Pfades für eine korrekte Verbindung mit einem anderen Knoten, das heißt, zum korrekten Empfangen von und Senden an den anderen Knoten, können somit mit dem gleichen Auslöschungspunkt verknüpft werden, wodurch die Verfahrensweise vereinfacht wird, die von der Steuereinheit **41** ausgeführt werden muss. Man kann beobachten, dass die Wellenlängen, die von den Sperrfiltern **31e**, **31w** in jede Richtung gesperrt werden, aufgrund der spezifischen Zuweisung von Wellenlängen für eine Beugesituation nicht geändert werden müssen.

[0041] Es kann sein, dass einige Kanäle in einer der Richtungen nicht wieder verwendet werden, wobei solche Knoten-zu-Knoten-Verbindungen zwei eigene Wellenlängen benutzen, die zweckmäßigerweise die gleiche Wellenlänge sein kann. Für diese Kanäle ist es nicht notwendig, duplizierte Demultiplex-Banddurchlassfilter zu haben, die in den Filterblöcken **37e**, **37w** enthalten sind, und deshalb werden die entsprechenden 2:1-Schalter **33e**, **33w** für die Sender **13e**, **13w** für diese Wellenlängen nicht benötigt. Die 1:2-Schalter **33e**, **33w** für die Sender **13e**, **13w** werden für diese Wellenlängen ebenfalls nicht benötigt. Diese Reduzierung der Komponenten kann die Verlässlichkeit verbessern und Kosten reduzieren.

[0042] Die Knotengestaltung gemäß [Fig. 4](#) macht es möglich, eine maximale Wiederverwendung von Wellenlängen und somit eine maximale Wellenlängeneffizienz zu erreichen und gleichzeitig eine minimale Menge von Reihenfiltern und keine Reihenschalter zu benutzen. Eine bestimmte Wellenlänge wird jedoch nicht in der umgekehrten Richtung in dem empfangenden Knoten gesperrt. Dies impliziert, dass sich der Wellenlängengang weiterhin den ganzen Weg bis zum Endknoten verbreiten wird und folglich unnötigerweise einen Teil des verfügbaren dynamischen Bereichs auf demjenigen Teil des Busses aufnehmen wird, was einen potenziellen Abbau des Übertragungspotenzials auf diesem Teil bedeutet. Die alternative Knotenarchitektur, die durch das Blockdiagramm von [Fig. 5](#) dargestellt ist, kann benutzt werden, um dieses Problem zu mildern. Für identische oder entsprechende Elemente werden in [Fig. 5](#) die gleichen Bezugszeichen wie in [Fig. 4](#) benutzt. In dieser Knotenausführung sind die Sperrfilter **31e**, **31w** für den östlichen und westlichen Verkehr jeweils wie die Sperrfilter **31e**, **31w** aus [Fig. 3](#) verbunden und sind jeweils angeordnet, um alle Kanäle, die in dem Knoten abgeschlossen sind, sowohl in die östliche als auch die westliche Richtung zu sperren, so dass der Satz $[\lambda_{\text{terme1}}, \lambda_{\text{terme2}}, \dots]$ von Wellenlängen, die von den Bandsperrfiltern **31e** in dem Knoten in die östliche Richtung gesperrt sind, die gleichen Wellenlängen enthält wie der Satz $[\lambda_{\text{termw1}}, \lambda_{\text{termw2}}, \dots]$ von Wellenlängen, die in dem Knoten durch die Bandsperrfilter **31w** in die westliche Richtung gesperrt sind.

[0043] In [Fig. 5](#) ist der Knoten dargestellt, um Information auf einer Wellenlänge λ_{re2} nur zu empfangen, die für den Fall, dass der Knoten standardgemäß als ein innere Knoten verbunden ist, in dem Licht enthalten ist, das sich in die östliche Richtung bewegt, und diese Wellenlänge wieder zu verwenden. Der Sender **13e** und der Empfänger **11w** sind gestaltet, um auf dieser Wellenlänge zu übertragen und zu empfangen. Da eine Wellenlänge, die aus einer Richtung empfangen oder in eine Richtung wieder verwendet wird, dazu fähig sein muss, den Knoten auf der anderen Faser in der umgekehrten Richtung durchzulassen, ist es notwendig, den Sperrfilter **31e** in dem Knoten für diese Richtung zu umgehen. Dies wird durch die Einführung des 2:3-Schalters **43e** statt des einfacheren 2:1-Empfängerschalters **39e** gemäß [Fig. 4](#) ermöglicht, wobei dieser 2:3-Schalter **43e** angeordnet ist, um den Durchlasskanal mit dem Multiplexer **35w** zu verbinden. Die zwei Eingänge des 2:3-Schalters **43e** sind mit den Banddurchlassfiltern für diese Wellenlänge λ_{re2} verbunden, die in jedem der Filterblöcke **37e**, **37w** enthalten ist. Der mittlere Ausgangsanschluss des 2:3-Schalters **43e** ist mit dem Empfänger **11e** verbunden und einer der zwei Ausgangsanschlüsse des Schalters ist mit einem Eingang des Multiplexers **35e**, **35w** verbunden, dessen Ausgangsanschluss mit dem Add-Koppler **23w** für den Verkehr in der im Vergleich zu derjenigen der wieder verwendeten Wellenlänge entgegengesetzten Richtung verbunden ist. Der andere Ausgangsanschluss des 2:3-Schalters **43e** kann mit einer Überwachungsvorrichtung **46** verbunden sein. Falls der bestimmte Knoten Information auf der Wellenlänge λ_{re2} in Licht empfängt, das sich in die Ostrichtung ausbreitet, wie es der Standardfall für den bestimmten Knoten ist, wird der Schalter **43e** eingestellt, um das Ausgangssignal des Filters für λ_{re2} in dem Block **37e** von Filtern für östlichen Verkehr mit dem Empfänger **11e** zu verbinden und das Ausgangssignal des Filters für λ_{re2} in dem Block **37w** von Filtern für westlichen Verkehr mit dem Eingang des Multiplexers **35w** für westlichen Verkehr zu verbinden. Wenn die inaktive Verknüpfung **2** verändert werden muss, so dass stattdessen die gleiche Wellenlänge λ_{re2} aus der entgegengesetzten Richtung empfangen werden muss, das heißt, in dem westlichen Verkehr enthalten ist, muss der Schalter **43e** seine Position verändern. Danach wird das Ausgangssignal des Filters für λ_{re2} in dem Block **37w** von Filtern für westlichen Verkehr mit dem Empfänger **11e** verbunden, wohingegen das Ausgangssignal des Filters für λ_{re2} in dem Block **37e** von Filtern für östlichen Verkehr mit der Überwachungsvorrichtung **45** verbunden ist.

[0044] Der Sender **13e** wird durch einen 1:2-Schalter **33e** mit einem der Multiplexer **35e**, **35w** wie in [Fig. 4](#) verbunden, wobei sich der Schalter in seinem Standardzustand befindet, in dem er Information auf dem Wellenlängenband um λ_{re2} in dem östlichen Verkehr empfängt und mit dem Multiplexer **35e** für den Verkehr in die gleiche, östliche Richtung verbunden ist. Die Schalter **33e**, **43e** werden durch eine gemeinsame Steuereinheit **41** gesteuert.

[0045] Für jede Wellenlänge, die in dem Knoten empfangen und wieder verwendet wird, werden Komponenten angeordnet, die denjenigen entsprechen, die in dem unteren Abschnitt von [Fig. 5](#) dargestellt sind. In einem Knoten, der sich in seinem Standardzustand befindet, weisen einige der Komponenten für Verkehr, der normalerweise in die westliche Richtung geht, im Vergleich zu der Darstellung eine gespiegelte Konstruktion und eine gespiegelte Verbindung auf und die Schalter werden im Vergleich zu denjenigen aus [Fig. 5](#) in entgegengesetzten Positionen angeordnet.

[0046] Die effiziente Zuweisung von Wellenlängen für ein selbstheilendes Netzwerk ist oben in Verbindung mit [Fig. 6](#) erläutert worden. Im Allgemeinen kann für eine bestimmte Verkehrsanforderung oft eine Anzahl unterschiedlicher Lösungen für die Zuweisung von Wellenlängen gefunden werden, die eine minimale Gesamtanzahl von Wellenlängen erfordert. Bei der Suche nach einer guten Lösung kann es oft hilfreich sein, die Grundsymmetrie der zwei Richtungen zu benutzen, die aus der Bidirektionalität der Verbindungen resultiert.

[0047] Erreichbare Netzwerkkapazitäten und eine erreichbare Wellenlängeneffizienz können wie folgt beschrieben werden. Es wird eine Situation angenommen, in der es N Knoten gibt und die verfügbare Anzahl von Wellenlängen in dem Netzwerk N_λ ist. Für die flexible Ringstruktur mit einfachen Knoten, wie in [Fig. 2](#) dargestellt, ist die maximale Anzahl von Verbindungen gleich N_λ , unabhängig von der Art des Verkehrs, das heißt, ob dieser eine genabte, maschige oder benachbarte Verkehrsanforderung ist. Die erforderliche Anzahl von Wellenlängen, die eine Kommunikation zwischen allen N Knoten (die „vollständig vermaschte“ Verkehrssituation) ermöglicht, wird durch $N(N - 1)/2$ gegeben.

[0048] Für Knoten mit der komplexen Architektur, die in [Fig. 4](#) oder [Fig. 5](#) angegeben ist, hängt die mögliche Anzahl von Verbindungen N_c von den Verkehrsanforderungen wie folgt ab:

$N_c = N_\lambda$	für genabten Verkehr (bei dem zum Beispiel ein Knoten die "Nabe" ist)
$N_c \approx 2 N_\lambda$	für vollständig vermaschten Verkehr (Verkehr zwischen allen Knoten)
$N_c = N \cdot N_\lambda / 2$	für reinbenachbarte Verkehrsanforderungen (Verkehr nur zwischen benachbarten Knoten)

[0049] Die notwendige Anzahl von Wellenlängen für eine vollständige Vermaschung von N Knoten wird gegeben durch:

$N_\lambda = N/2$	wenn N gerade ist
$N_\lambda = (N - 1)/2$	wenn N ungerade ist

[0050] Auf diese Weise ist ein Add/Drop-Knoten beschrieben worden, der eine effiziente Wellenlängenzuweisung und eine effiziente Benutzung des dynamischen Bereichs ermöglicht, wenn er in einem selbstheilenden ringförmigen Netzwerk benutzt wird. Er weist eine minimale Anzahl von Reihenkomponenten auf, die anderenfalls Signale verschlechtern können, die ununterbrochen durch den Knoten gehen.

Patentansprüche

1. Add/Drop-Knoten (**1**), der angeordnet ist, um in einem WDM-Glasfasernetzwerk verbunden zu werden, wobei das Netzwerk eine Ringkonfiguration von zwei Glasfasern (**71e**, **71w**; **71e**, **71w**) aufweist, welche in Lichtsignale in entgegengesetzte Richtungen tragen, wobei das Netzwerk Verknüpfungen (**3**; **31**, **3r**) umfasst, welche die benachbarten Knoten verbinden, wobei das Netzwerk immer eine inaktive Verknüpfung (**2**) aufweist, die keine Lichtsignale trägt, und angeordnet ist, um zu ermöglichen, dass die inaktive Verknüpfung aktiviert wird und eine andere Verknüpfung inaktiviert wird, und wobei das Netzwerk Lichtsignale in mehreren separaten Wellenlängenbändern trägt, wobei der Add/Drop-Knoten Folgendes umfasst
 – optische Leistungsteiler (**17e**; **17w**) für jede Richtung, welche in dem jeweiligen Ring der Glasfasern (**71e**, **71w**, **71e**, **71w**) verbunden sind, wobei jeder der optischen Leistungsteiler einen Teil der Gesamtleistung des Lichts

entnehmen, welches sich in dem jeweiligen Ring verbreitet, und

- Add-Koppler (**23e**; **23w**) für jede Richtung, die in dem jeweiligen Ring der Glasfasern (**7le**, **7re**; **7rw**, **7lw**) verbunden sind, um Signale von dem Add/Drop-Knoten zu den Lichtsignalen hinzuzufügen, welche sich in dem Ring verbreiten,
- Empfänger (**11e**, **11w**) zum Empfangen von Lichtsignalen in Wellenlängenbändern in dem Add/Drop-Knoten,
- Sender (**13w**; **13e**) zum Übertragen von Lichtsignalen in Wellenlängenbändern von dem Add/Drop-Knoten in das WDM-Glasfasernetzwerk, und
- Bandsperrfilter (**31e**; **31w**), von denen jeder zwischen einem optischen Leistungsteiler (**17e**; **17w**) und einem Add-Koppler (**23e**; **23w**) angeordnet ist, die in dem gleichen Ring von Glasfasern verbunden sind, um alle Wellenlängen, die in dem Add/Drop-Knoten aus der einen Richtung empfangen und/oder abgeschlossen werden, in eine Richtung zu sperren,
- mindestens einen Schalter (**39w**, **39e**; **33w**, **33e**), **dadurch gekennzeichnet**, dass der mindestens eine Schalter gemäß einem der folgenden Fälle verbunden wird:
 - mit einem Empfänger (**11e**; **11w**) und den optischen Leistungsteilern (**17e**; **17w**), um zu ermöglichen, dass der Empfänger aus beiden der zwei entgegengesetzten Richtungen empfängt, oder
 - mit einem Sender (**13w**; **13e**) und den Add-Kopplern (**23e**; **23w**), um zu ermöglichen, dass der Sender in beide der zwei entgegengesetzten Richtungen überträgt.

2. Add/Drop-Knoten nach Anspruch 1 für den Fall, dass ein Schalter (**39w**; **39e**) zwischen einem Empfänger (**11e**; **11w**) und den optischen Leistungsteilern (**17e**; **17w**) verbunden wird, wobei ein Block oder eine Bank (**37e**; **37w**) von Banddurchlassfiltern zwischen einem optischen Leistungsteiler (**17e**; **17w**) und einem Empfänger (**11e**; **11w**) verbunden wird.

3. Add/Drop-Knoten nach Anspruch 2, wobei einer (**37e**) der Blöcke oder Banken Banddurchlassfilter für jede der Wellenlängen ($\lambda_{\text{terme}1}$, $\lambda_{\text{terme}2}$, ...) enthält, welche Kanälen in einer der entgegengesetzten Richtungen entsprechen, die in dem Add-/Drop-Knoten abgeschlossen sind, und wobei ein anderer (**37w**) der Blöcke oder Banken Bandpassfilter für jede der Wellenlängen ($\lambda_{\text{termw}1}$, $\lambda_{\text{termw}2}$, ...) enthält, die Kanälen entsprechen, welche den Verkehr in andere der entgegengesetzten Richtungen tragen, welche in dem Add/Drop-Knoten abgeschlossen sind.

4. Add/Drop-Knoten nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei der Bandsperrfilter (**31e**; **31w**) angeordnet ist, um alle Wellenlängen ($\lambda_{\text{terme}1}$, $\lambda_{\text{terme}2}$, ...; ($\lambda_{\text{termw}1}$, $\lambda_{\text{termw}2}$, ...)) zu sperren, die in dem Add/Drop-Knoten aus jeder Richtung empfangen und in dem Add/Drop-Knoten erneut benutzt werden.

5. Add/Drop-Knoten nach einem der Ansprüche 1 bis 4, ferner umfassend Schaltmittel (**43e**) zum im Wesentlichen unbeeinflussten Durchlassen, in einer Position des Schaltmittels, einer Wellenlänge durch den Add/Drop-Knoten in einer ersten der entgegengesetzten Richtungen, wobei die gleiche Wellenlänge aus einer zweiten Richtung empfangen wird, die der ersten entgegengesetzt ist, wobei das Schaltmittel in einer anderen Position die Wellenlänge sperrt, wenn sie aus der zweiten Richtung empfangen wird.

6. Add/Drop-Knoten nach Anspruch 5, wobei das Schaltmittel (**43e**) zum Empfangen in einem Wellenlängenband in einer Richtung einen 2:3-Schalter umfasst, dessen Eingänge mit den Banddurchlassfiltern (**37e**; **37w**) für das Wellenlängenband verbunden sind, wobei jeder Banddurchlassfilter mit jeweils einem der optischen Leistungsteiler (**17e**; **17w**) verbunden ist, so dass sie Licht aus entgegengesetzten Richtungen empfangen.

7. Add/Drop-Knoten nach einem der Ansprüche 5 bis 6, wobei das Schaltmittel (**43e**) zum Empfangen auf einem Wellenlängenband in einer ersten Richtung einen 2:3-Schalter umfasst, wobei einer seiner Ausgänge mit einem Empfänger (**11e**) für das Wellenlängenband verbunden ist und wobei ein anderer Ausgang mit einem Add-Koppler (**23w**) für Lichtsignale in einer zweiten Richtung verbunden ist, die der ersten entgegengesetzt ist.

8. WDM-Glasfasernetzwerk mit einer Ringkonfiguration von zwei Fasern (**7le**, **7re**; **7rw**, **7lw**), welche Lichtsignale in entgegengesetzte Richtungen tragen und Information auf der Ringkonfiguration von zwei Fasern in mehreren separaten Wellenlängenbändern übertragen wird, wobei das Netzwerk Folgendes aufweist

- mehrere Add/Drop-Knoten (**1**) nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei jeder der Add/Drop-Knoten Folgendes umfasst
 - optische Leistungsteiler (**17e**; **17w**) und Add-Koppler (**23e**; **23w**) für jede der entgegengesetzten Richtungen, um jeweils einen Teil der Gesamtleistung des Lichts an dem Add/Drop-Knoten zu entnehmen und Signale aus dem Add/Drop-Knoten hinzuzufügen,
 - Empfänger (**11e**; **11w**) zum Empfangen von Lichtsignalen in Wellenlängenbändern von der Ringkonfiguration

von zwei Fasern in dem Add/Drop-Knoten, und

- Sender (**13w**; **13e**) zum Übertragen von Lichtsignalen in Wellenlängenbändern von dem Add/Drop-Knoten auf die Ringkonfiguration von zwei Fasern, und

- Verknüpfungen (**3**; **3l**, **3r**), welche benachbarte Add/Drop-Knoten verbinden, wobei das Netzwerk angeordnet ist

- um immer eine (**2**) der Verknüpfungen inaktiv zu haben, welche keine Lichtsignale tragen, und um zu ermöglichen, dass die inaktive Verknüpfung aktiviert wird, um Lichtsignale zu tragen, und eine andere Verknüpfung inaktiviert wird, und

- um mindestens eines der separaten Wellenlängenbänder derart zu benutzen, dass das Wellenlängenband von mindestens zwei separaten ersten Add/Drop-Knoten zum Übertragen an zweite Add/Drop-Knoten, die sich voneinander unterscheiden, in einer ersten der entgegengesetzten Richtungen benutzt wird und von nur einem dritten Add/Drop-Knoten benutzt wird, um an einen vierten Add/Drop-Knoten in einer zweiten der entgegengesetzten Richtungen zu übertragen, wobei die zweite der ersten entgegengesetzt ist.

9. WDM-Glasfasernetzwerk nach Anspruch 8, wobei eine Übertragungsspanne der Teil des Netzwerkes zwischen einem Knoten, welcher Information in einem Wellenlängenband überträgt, und einem anderen Knoten ist, der die Information in dem gleichen Wellenlängenband empfängt, und wobei die Übertragungsspannen der mindestens zwei separaten ersten Knoten für das Wellenlängenband in der ersten Richtung nicht überlappen.

10. WDM-Glasfasernetzwerk nach einem der Ansprüche 8 bis 9, wobei eine Übertragungsspanne der Teil des Netzwerkes zwischen einem Knoten, welcher Information in einem Wellenlängenband überträgt, und einem anderen Knoten ist, der die Information in dem gleichen Wellenlängenband empfängt, und wobei sich die Übertragungsspanne des dritten Knotens für das Wellenlängenband in der zweiten Richtung über die Spannen der mindestens zwei separaten ersten Knoten für das Wellenlängenband in der ersten Richtung erstreckt.

Es folgen 6 Blatt Zeichnungen

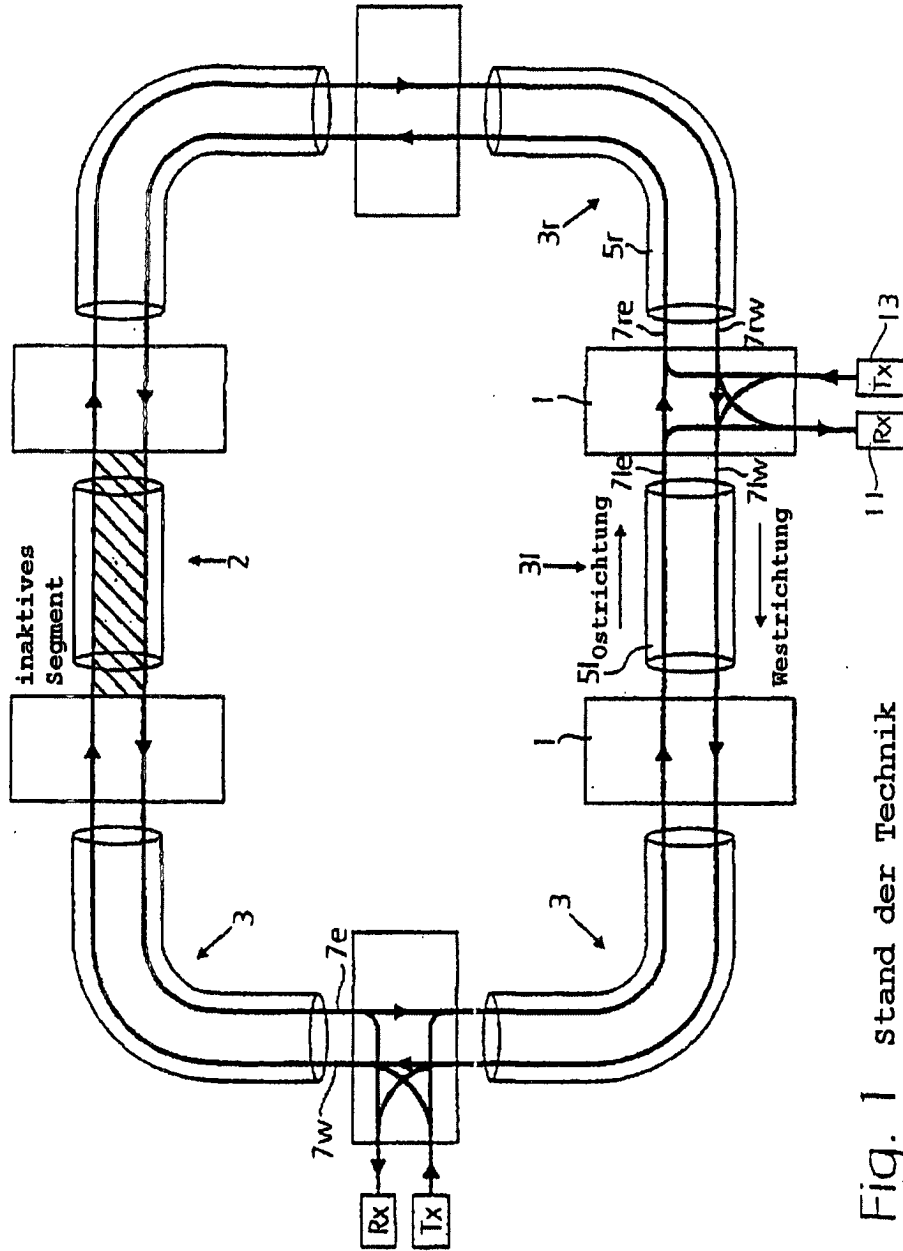


Fig. 1 stand der Technik

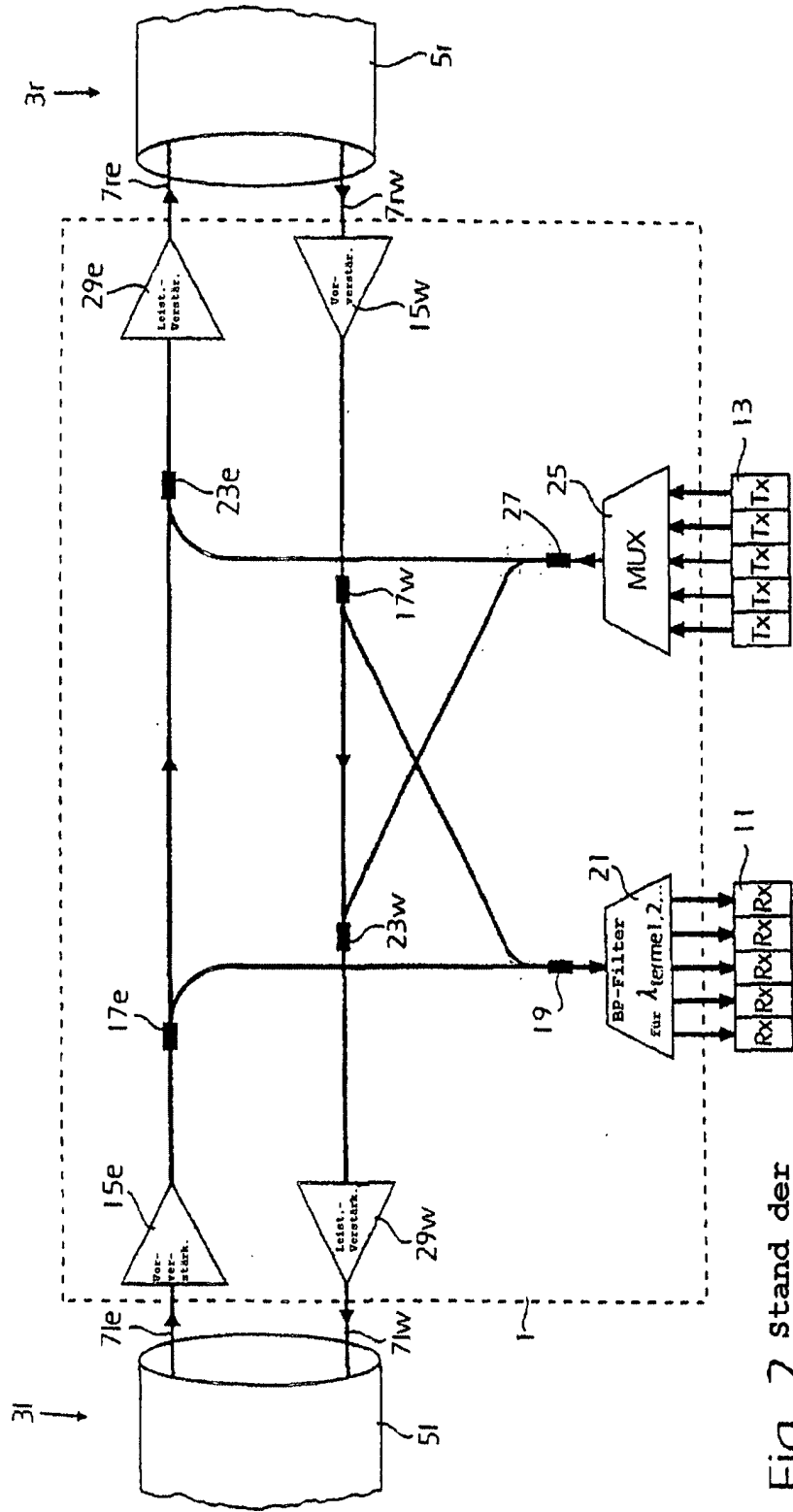


Fig. 2 Stand der Technik

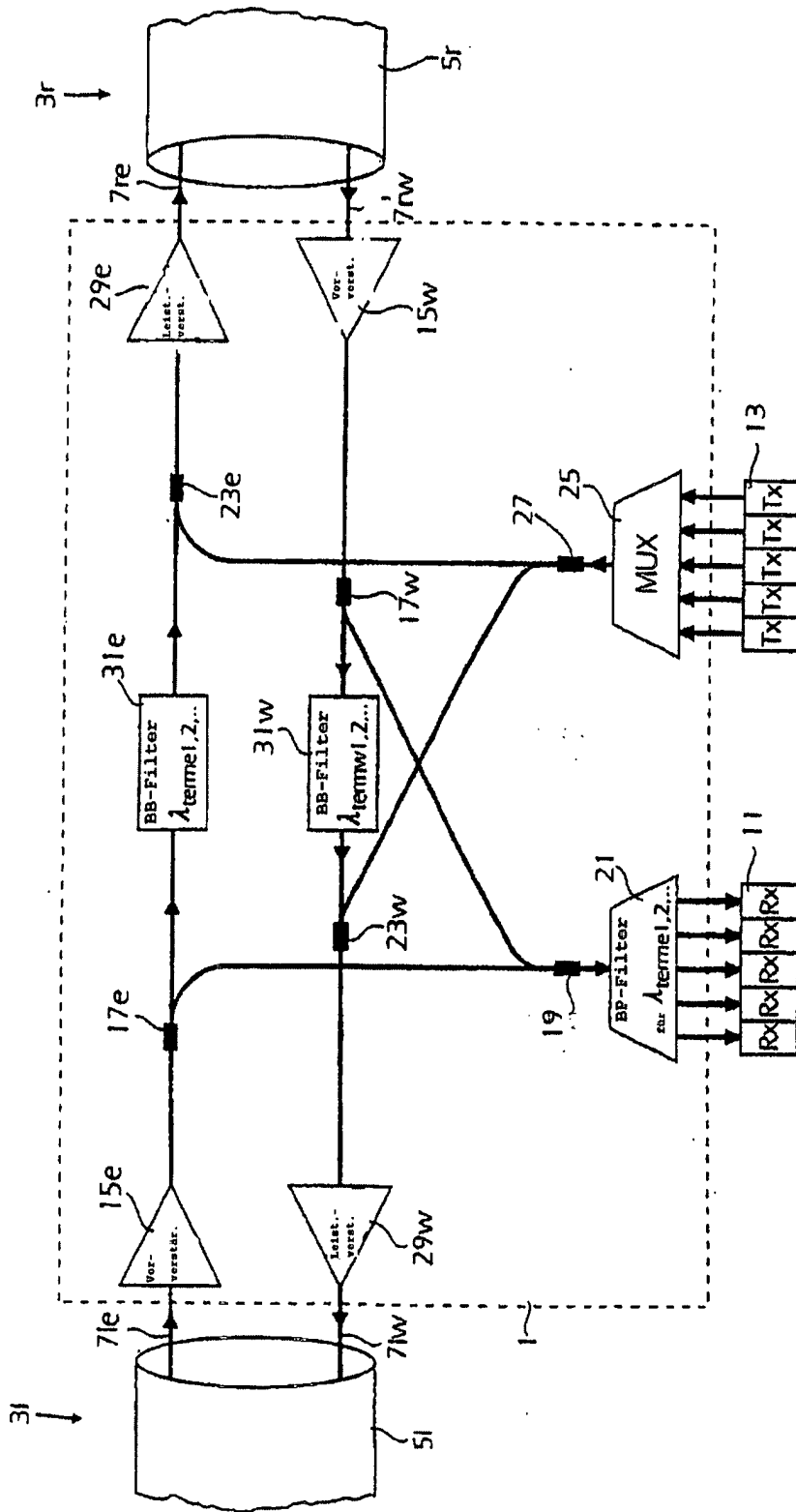


Fig. 3

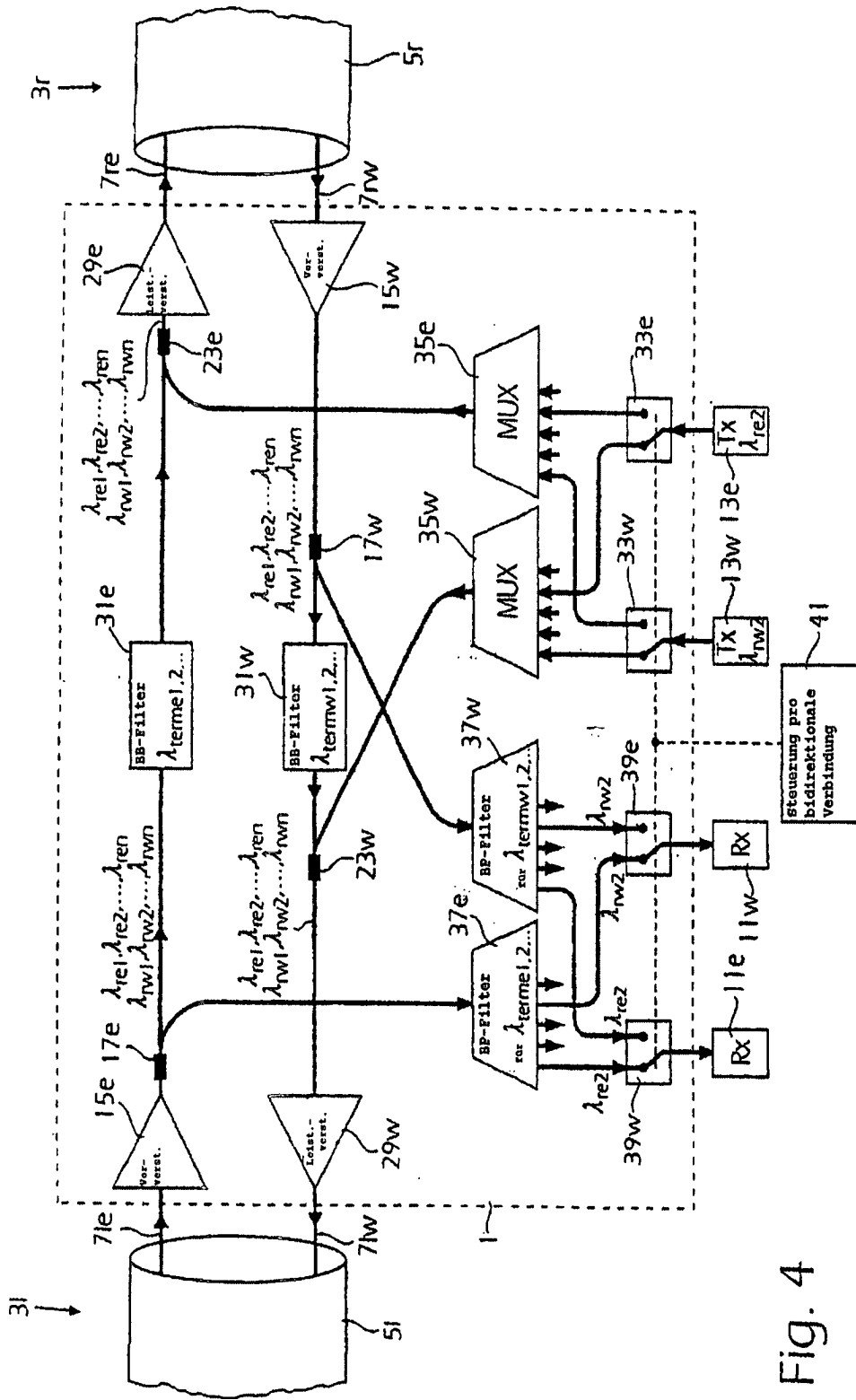


Fig. 4

