



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 600 04 987 T2** 2004.07.15

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 175 744 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **600 04 987.6**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US00/01517**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **00 906 981.6**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 00/70797**

(86) PCT-Anmeldetag: **21.01.2000**

(87) Veröffentlichungstag
der PCT-Anmeldung: **23.11.2000**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **30.01.2002**

(97) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung beim EPA: **03.09.2003**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **15.07.2004**

(51) Int Cl.⁷: **H04B 10/17**

G01D 5/26, G01D 5/353, G08B 13/186

(30) Unionspriorität:

311030 13.05.1999 US

(73) Patentinhaber:

Litton Systems, Inc., Woodland Hills, Calif., US

(74) Vertreter:

derzeit kein Vertreter bestellt

(84) Benannte Vertragsstaaten:

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

(72) Erfinder:

**HODGSON, W., Craig, Thousand Oaks, US;
FREDERICK, A., Donald, Simi Valley, US**

(54) Bezeichnung: **REINE OPTISCHE ENTFERNUNGSMESSUNG FÜR FASEROPTISCHE SENSORSYSTEME MIT
FERNGEPUMPTEM ERBIUM-DOTIERTEN FASERVERSTÄRKERN**

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**HINTERGRUND DER ERFINDUNG****GEBIET DER ERFINDUNG**

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft allgemein Sensorgruppen für akustische Erfassungssysteme.

BESCHREIBUNG DES STANDES DER TECHNIK

[0002] Faseroptische interferometrische Sensoren sind vielversprechend in Anwendungen, in denen Größe, elektrische Interferenz und elektromagnetische Erfassung elektronische Sensoren unpraktisch machen. Solche interferometrischen Sensoren sind in der Lage, einen Parameter (d. h. eine Meßgröße) mit einem sehr hohen dynamischen Bereich (z. B. 120 dB) zu messen und sind bisher beispielsweise in akustischen Erfassungsanwendungen verwendet worden. Faseroptische Sensoren werden von Signalquellen mit einer optischen Signalleistung versorgt, und deren Ausgangsgröße wird von Empfängern ermittelt. In der Praxis ist jedoch die Entfernung, die die Sensoren von den Signalquellen (und von den Empfängern) trennt, durch optische Dämpfung in den Signalwellenlängen und durch nichtlineare optische Effekte im Zusammenhang mit dem Signallicht begrenzt. Es ist also schwierig, eine optische Sensorarchitektur aufzubauen, bei der die Entfernung, die den Sensor (oder die Sensoren) von der optischen Signalquelle trennt, sehr groß ist.

[0003] Die internationale Patentanmeldung WO 98/02 898 offenbart eine Zeitmultiplex-Sensorgruppenarchitektur, die Verstärker verwendet, um das Rückleitungssignal zu verstärken. Die internationale Patentanmeldung WO 98/16 017 offenbart ein System zur Laserabschaltung im Falle eines Faserrisses in einem optischen Wellenlängenmultiplexsystem.

ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

[0004] Unter einem Aspekt stellt die vorliegende Erfindung eine optische Sensorarchitektur nach Anspruch 1 bereit.

[0005] Eine erste vorteilhafte alternative Ausführungsform der Architektur weist einen zweiten optischen Verstärker auf, der in einer zweiten optischen Entfernung vom Empfänger positioniert ist. Die zweite optische Weglänge beträgt mindestens 10 km. Der erste optische Verstärker und der zweite optische Verstärker empfangen und verstärken das gestörte optische Signal. Das verstärkte gestörte optische Signal wird an den Empfänger gesendet. Der erste optische Verstärker befindet sich zwischen dem zweiten optischen Verstärker und dem Sensor auf dem optischen Weg. Zumindest eine Pumpverteilungsfaser ist zum Pumpen des ersten optischen Verstärkers und des zweiten optischen Verstärkers vorhanden. Die mindestens eine Pumpverteilungsfaser ist mit min-

destens einer Pumpquelle gekoppelt.

[0006] Eine zweite vorteilhafte alternative Ausführungsform der Architektur weist einen zweiten optischen Verstärker auf, der entlang einer Signalverteilungsfaser in einer zweiten optischen Entfernung von mindestens 10 km von der Signalquelle positioniert ist, zum Empfangen und Verstärken des optischen Signals. Mindestens eine Pumpverteilungsfaser ist zwischen mindestens einer optischen Pumpquelle und mindestens einem, nämlich dem ersten optischen Verstärker und/oder dem zweiten optischen Verstärker positioniert. In einer besonders vorteilhaften Alternative zu dieser Ausführungsform ist ein dritter optischer Verstärker entlang der Rückleitungsfaser positioniert, und mindestens eine zweite Pumpverteilungsfaser ist zum Verteilen von Pumpenergie an den dritten Verstärker vorhanden.

[0007] Eine dritte vorteilhafte alternative Ausführungsform der Architektur weist einen zweiten optischen Verstärker auf, der entlang der Rückleitungsfaser in einer zweiten optischen Entfernung von mindestens 10 km vom Empfänger positioniert ist. Der erste optische Verstärker befindet sich zwischen dem zweiten Verstärker und dem Sensor auf dem optischen Weg. Ein dritter optischer Verstärker ist entlang der Signalverteilungsfaser in einer optischen Entfernung von mindestens 10 km von der Signalquelle positioniert, zum Empfangen und Verstärken des optischen Signals. Vorzugsweise weist diese Ausführungsform eine erste, zweite und dritte Pumpverteilungsfaser zum Pumpen des ersten, zweiten bzw. dritten Verstärkers auf, und die erste, zweite und dritte Pumpverteilungsfaser sind mit der ersten, zweiten bzw. dritten Pumpquelle gekoppelt.

[0008] Eine weitere Ausführungsform der Erfindung umfaßt ein Verfahren zur Verteilung eines optischen Eingangssignals und zur Rückleitung eines gestörten optischen Signals von einem Sensor, der sich um das Mehrfache von 10 Kilometern von einer optischen Signalquelle, einer optischen Pumpquelle und einem optischen Empfänger entfernt befindet. Das Verfahren umfaßt den Schritt: Ausgeben des optischen Signals von der optischen Signalquelle an eine optische Signalverteilungsfaser. Das optische Signal hat eine Signalwellenlänge und einen Signalleistungspegel. Der Signalleistungspegel ist so gewählt, daß er annähernd an oder unter einer stimulierten Brillouin-Streuungs-(SBS-)Schwelle der optischen Signalverteilungsfaser liegt. Optisches Pumplicht wird von der optischen Pumpquelle an eine optische Pumpverteilungsfaser ausgegeben. Das optische Pumplicht hat eine Pumpwellenlänge und einen Pumpleistungspegel. Der Pumpleistungspegel ist so gewählt, daß er auf oder unter einem stimulierten Raman-Streuungs-(SRS-)Schwellwert der optischen Pumpverteilungsfaser liegt. Das Verfahren weist auch den Schritt auf Koppeln eines Verteilungsverstärkers mit der Signalverteilungsfaser und mit der optischen Pumpverteilungsfaser. Der Verstärker hat eine solche Verstärkung, daß, wenn er mit Pumplicht gepumpt wird, um

das optische Signal zu verstärken, ein verstärktes optisches Signal geliefert wird. Der Verteilungsverstärker ist in einer Entfernung von der optischen Pumpquelle und der optischen Signalquelle positioniert, so daß das Pumplicht und das optische Signal entsprechende Leistungspegel am Verteilungsverstärker haben, so daß der Verteilungsverstärker das verstärkte optische Signal mit einem Leistungspegel annähernd an oder unter der SBS-Schwelle ausgibt. Das verstärkte optische Signal wird in einen Sensor eingekoppelt. Der Sensor stört und verstärkt das optische Signal und erzeugt ein gestörtes optisches Signal in einer Rückleitungsfaser. Das gestörte optische Signal wird an den optischen Empfänger weitergeleitet.

KURZBESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0009] **Fig. 1** ist eine bevorzugte Ausführungsform der Erfindung, bei der ein optisches Signal von einer optischen Signalquelle zu einem Sensor geleitet wird, der mindestens 10 km von der Signalquelle entfernt ist und bei dem ein Verstärker entlang eines Rückleitungsbusses positioniert ist, wobei der Verstärker von einer Pumpe gepumpt wird, die Pumpenergie entlang des Rückleitungsbusses verbreitet.

[0010] **Fig. 1A** zeigt eine Gruppe von Sensoren, die anstelle des einzelnen Sensors verwendet werden kann, der in **Fig. 1** gezeigt ist.

[0011] **Fig. 2A** zeigt eine Ausführungsform, die der Ausführungsform in **Fig. 1** gleicht, außer daß die Pumpenergie für den Verstärker über eine fest zugeordnete Pumpverteilungsfaser geleitet wird.

[0012] **Fig. 2B** stellt bevorzugte Ausführungsformen für die Signalquelle und für einen Empfänger dar.

[0013] **Fig. 3** ist eine Ausführungsform, die der Ausführungsform in **Fig. 1** gleicht, außer daß zwei optische Fasern entlang des Rückleitungsbusses positioniert sind.

[0014] **Fig. 4A** stellt eine weitere bevorzugte Ausführungsform der Erfindung dar, bei der ein optisches Signal von einer optischen Signalquelle zu einem Sensor geleitet wird, der mindestens 10 km von der Signalquelle entfernt ist und bei dem ein Verstärker entlang eines Verteilungsbusses positioniert ist und ein weiterer Verstärker entlang eines Rückleitungsbusses positioniert ist, wobei die Verstärker von mindestens einer Pumpe gepumpt werden, die Pumpenergie entlang mindestens einer Pumpverteilungsfaser verbreitet.

[0015] **Fig. 4B** gleicht der Ausführungsform in **Fig. 4A**, wobei eine einzelne Pumpquelle verwendet wird, um Energie entlang einer Pumpverteilungsfaser zu verbreiten, die Energie an beide optische Verstärker liefert.

[0016] **Fig. 5** ist eine Ausführungsform, die den Ausführungsformen in **Fig. 4A** und **4B** gleicht, außer daß zwei optische Verstärker entlang des Rückleitungsbusses positioniert sind.

[0017] **Fig. 6** stellt eine Fernpumpausführungsform dar, die vorteilhafterweise optische Signalquellen

verwendet, die mit zwei verschiedenen Wellenlängen arbeiten.

AUSFÜHRLICHE BESCHREIBUNG DER BEVORZUGTEN AUSFÜHRUNGSFORM

[0018] Eine bevorzugte Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist in **Fig. 1** dargestellt, bei der eine optische Signalquelle **500** ein optisches Eingangssignal **502** in eine Signalverteilungsfaser **504** einkoppelt, die mit einem Sensor **508** optisch gekoppelt ist. Der Sensor **508** empfängt das optische Signal **502** als Eingangssignal und gibt ein gestörtes optisches Signal **510** aus (beispielsweise als Antwort auf akustische Signale), das dann in eine Rückleitungsfaser **512** geleitet wird. Ein optischer Verstärker **516** befindet sich entlang der Rückleitungsfaser **512**. Der optische Verstärker **516** verstärkt das gestörte optische Signal **510**, bevor das verstärkte gestörte optische Signal **518** zu einem Empfänger **520** geleitet wird. Eine optische Pumpquelle **524** kann vorteilhafterweise über einen WDM-Koppler **530** mit der Rückleitungsfaser **512** gekoppelt sein, so daß Pumpenergie **528** von der optischen Pumpquelle **524** zum Verstärker **516** geleitet wird. In der Ausführungsform, die in **Fig. 1** dargestellt ist, breiten sich also das gestörte optische Signal **518** und die Pumpenergie **528** entlang der Rückleitungsfaser **512** gegeneinander aus. Als Alternative kann, wie in **Fig. 2A** gezeigt, die Pumpenergie **528** über eine fest zugeordnete Pumpverteilungsfaser (Faser **540**) geleitet werden, die direkt mit dem optischen Verstärker **516** gekoppelt ist.

[0019] Die optische Pumpquelle **524** weist vorzugsweise einen Laser auf, z. B. einen Laser mit einer Faser von 1480 nm, der eine Ausgangsleistung von bis zu 2 W haben kann. Der Verstärker **516** weist vorzugsweise eine Faser auf, die mit einem Seltenerd-Element, z. B. Erbium oder Praseodym, dotiert ist, oder als Alternative kann der Verstärker **516** ein Raman-Verstärker sein. Der Sensor **508** kann vorteilhafterweise ein interferometrischer Sensor sein, z. B. ein akustischer Hydrophonsensor. In den hier offenbarten Ausführungsformen kann eine Vielzahl von Sensoren **508** anstelle eines einzelnen Sensors verwendet werden, wie in der Nebenfigur **Fig. 1A** dargestellt. Wenn eine Gruppe von Sensoren verwendet wird, kann das optische Eingangssignal **502** innerhalb der Sensorgruppe unter Verwendung mindestens einer aus einer Anzahl von Techniken multiplexiert werden, z. B. Frequenzmultiplexierung, Zeitmultiplexierung und Wellenlängenmultiplexierung.

[0020] In der Ausführungsform in **Fig. 1** sind die optischen Entfernungen relativ groß. Insbesondere ist die optische Entfernung zwischen dem Verstärker **516** und dem Empfänger **520** vorzugsweise zwischen etwa 10 Kilometern (km) und etwa 80 km und besonders bevorzugt zwischen etwa 20 km und etwa 40 km. Die optische Entfernung zwischen dem Sensor **508** und dem Empfänger **520** ist vorzugsweise zwischen etwa 10 km und etwa 150 km und beson-

ders bevorzugt zwischen etwa 40 km und etwa 120 km.

[0021] Eine optische Architektur, bei der ein Sensor mit einer Signalquelle versorgt wird, die sich in einer großen Entfernung vom Sensor befindet, stellt spezielle Konstruktionsprobleme dar. Wenn nämlich diese Entfernung zunimmt, wird die stimulierte Brillouin-Streuung (SBS) des Eingangssignals bei einer gegebenen Eingangssignalleistung beachtlicher. Ebenso wird die SBS beachtlicher, wenn die Eingangssignalleistung zunimmt. Andererseits muß genügend Eingangssignalleistung zu den Sensoren geleitet werden, so daß die Leistung des gestörten optischen Signals hinreichend über dem Rauschpegel bleibt. SBS- und SRS-Effekte in Fasern sind in den Kapiteln 8 und 9 von "Nonlinear Fiber Optics", zweite Auflage, Govind P. Agrawal, Academic Press, 1989, beschrieben.

[0022] Neben der SBS haben die Entwickler außerdem das Problem der Vermeidung der stimulierten Raman-Streuung (SRS) der Pumpquelle, die beachtlich wird, wenn die Pumpquellenleistung über der SRS-Schwelle liegt und wenn sich die Pumpenergie und das optische Signal, das zum Empfänger zurückgeleitet wird, entlang der gleichen Faser ausbreiten. Die Pumpquellenleistung muß jedoch den Verstärker mit genügend Energie versorgen, so daß das gestörte optische Signal so stark verstärkt wird, daß es den Empfänger erreicht, aber nicht so stark, daß das verstärkte gestörte optische Signal die SBS-Schwelle überschreitet. Diese Probleme werden in der vorliegenden Erfindung vermieden, indem die Fasern, die Eingangssignalleistung und die Pumpquellenleistung sorgfältig ausgewählt werden, um sowohl SBS- als auch SRS-Streuungseffekte zu vermeiden. Der Auswahlprozeß wird nachstehend ausführlich beschrieben.

[0023] In Anbetracht der großen optischen Entfernungen, die hier beschrieben sind, und um SBS-Effekte zu reduzieren, können die Signalverteilungsfaser **504** und die Rückleitungsfaser **512** vorteilhafterweise große Durchmesser mit Querschnittsflächen von 30 bis 90 μm^2 haben. Ferner können die Fasern mit Querschnitten von 70 bis 90 μm^2 bis zu 2 W Pumpenergie **528** bewältigen, ohne daß SRS entsteht.

[0024] Die Anordnung der optischen Faser **516** hängt von einer Anzahl von Parametern ab. Beispielsweise erfordert ein stärkeres optisches Eingangssignal **502** eine geringere Verstärkung als ein schwächeres optisches Eingangssignal. Im allgemeinen sollte das optische Eingangssignal **502** so stark wie möglich sein, ohne zu einer bedeutenden SBS zu führen. Bei der gegenwärtigen Fasertechnologie entspricht dies einer oberen Grenze von etwa 10 mW bei der Leistung des optischen Eingangssignals **502**. Die erforderliche Verstärkung hängt auch von den optischen Dämpfungen im System ab, so daß es erwünscht ist, die optischen Dämpfungen zu minimieren, wo immer es möglich ist. Beispielsweise werden die Signalverteilungsfaser **504** und die Rückleitungs-

faser **512** vorzugsweise so gewählt, daß sie eine möglichst geringe optische Dämpfung haben. Bei der gegenwärtigen Fasertechnologie entspricht dies 0,21 dB/km bei einer guten Faser mit 1550 nm und 0,19 dB/km bei einer erstklassigen Faser mit 1550 nm. Die örtlichen Anordnungen des Sensors **508**, des Empfängers **520**, der Pumpe **524** werden im allgemeinen vom Auftrag der optischen Architektur bestimmt. Die Dämpfungsbilanz für die optische Architektur kann dann ohne Berücksichtigung der Verstärkung vom optischen Verstärker **516** berechnet werden. Die Anordnung des Verstärkers **516** kann vorteilhafterweise so gewählt werden, daß das gesamte Eigenrauschen für das System etwa 8 dB unter dem gewünschten minimalen Umgebungsrauschpegel liegt. Ein Rauschpegel, der höher ist als dieser, kann einen wohlüberlegten Sicherheitsspielraum überschreiten, während ein Rauschpegel, der niedriger ist als dieser, ein übermäßig ausgelegtes System bedeuten kann, das mit niedrigeren Kosten neu konstruiert werden könnte. Der Prozeß der Auswahl und Anordnung der Verstärker wird nachstehend ausführlicher beschrieben.

[0025] **Fig. 2A** und **2B** zeigen eine alternative Topologie, die die SRS-Begrenzung der Pumpe dadurch reduziert, daß eine getrennte Pumpverteilungsfaser **540** verwendet wird, um die Pumpleistung **528** an den Rückleitungsverstärker **516** zu liefern. In den Ausführungsformen von **Fig. 2A** und **2B** ist die optische Entfernung, die den Verstärker **516** und den Empfänger **520** trennt, vorzugsweise zwischen etwa 10 km und etwa 130 km und besonders bevorzugt zwischen etwa 20 km und etwa 80 km. Die optische Entfernung zwischen dem Sensor **508** und dem Empfänger **520** ist vorzugsweise zwischen etwa 10 km und etwa 200 km und vorzugsweise zwischen etwa 40 km und etwa 120 km. **Fig. 2B** ist eine bevorzugte Implementierung von **Fig. 2A** und zeigt, daß die Signalquelle **500** vorteilhafterweise einen Laser **501a** aufweist, der mit einem optischen Verstärker **501b** gekoppelt ist, und daß der Empfänger **520** vorteilhafterweise um ein optisches Filter **521a** (z. B. ein verstärktes Spontanemissions-(ASE-)Filter) und einen optischen Verstärker **521b** erweitert werden kann – die Signalquelle **500** und der Empfänger **520** der anderen hier offenbarten Ausführungsformen können auf die gleiche Weise konfiguriert sein.

[0026] Eine weitere Ausführungsform, die die Fernpumpmerkmale der Erfindung darstellt, ist in **Fig. 3** gezeigt. In **Fig. 3** ist der Rückleitungsfaser **512** ein zweiter optischer Verstärker **544** (der dem Verstärker **516** ähnlich ist) hinzugefügt worden, um eine zusätzliche Verstärkung des gestörten optischen Signals **510** zu ermöglichen. Unter Verwendung der beiden optischen Verstärker **516** und **544** in der Rückleitungsfaser **512** kann die Leistung des gestörten optischen Signals **510** zuerst vom optischen Verstärker **544** und dann vom optischen Verstärker **516** verstärkt werden. Der optische Verstärker **544** ist vorzugsweise geeignet, einen mäßigen Verstärkungsbetrag (5

bis 15 dB) für ein schwaches Signal (–55 bis 20 dBm) mit einem guten Rauschverhalten (NF besser als 6 dB) bereitzustellen, wenn er mit einer relativ niedrigen Pumpleistung (2 bis 20 mW) versorgt wird. Der optische Verstärker **516** ist vorzugsweise geeignet, eine hohe Verstärkung (10 bis 35 dB) für ein schwaches Signal (–50 bis etwa –15 dBm) mit gutem Rauschverhalten (NF besser als 7 dB) bereitzustellen, wenn er mit einer niedrigen bis mäßigen Pumpleistung (5 bis 40 mW) versorgt wird.

[0027] Der optische Verstärker **544** wird vorzugsweise mit Pumpenergie **546** von einer optischen Pumpe **548** (ähnlich der optischen Pumpe **524**) gepumpt, die sich über eine Pumpverteilungsfaser **552** ausbreitet. Die optische Pumpe **548** ist vorzugsweise dem Verstärker **544** fest zugeordnet; jedoch können die optischen Verstärker **516** und **544** eine Pumpquelle gemeinsam verwenden und eine Verteilungsfaser (nicht dargestellt) gemeinsam verwenden. Beispielsweise kann die Pumpenergie von einer einzigen Pumpquelle (nicht dargestellt) geteilt werden und entlang getrennter Pumpverteilungsfasern zu den Verstärkern **516** und **544** geleitet werden. Als Alternative kann die Pumpenergie in eine Pumpverteilungsfaser geleitet und von einem Koppler (nicht dargestellt) geteilt werden, der entlang dieser Faser positioniert ist, wobei sich der Koppler hinter der Pumpquelle und nahe einem der Verstärker **516** und **544** befindet. Außerdem kann die gesamte Pumpenergie auch über eine Pumpverteilungsfaser zu einem der Verstärker **516** und **544** geleitet werden, wobei die Pumpenergie in diesem Verstärker geteilt wird (nicht dargestellt) und über eine Rückleitungsfaser **512** an den anderen der Verstärker geleitet wird, so daß beide Verstärker gepumpt werden.

[0028] In der Ausführungsform in **Fig. 3** ist die optische Entfernung, die den Empfänger **520** und den optischen Verstärker **516** trennt, vorzugsweise zwischen etwa 10 km und etwa 100 km und besonders bevorzugt zwischen etwa 20 km und etwa 80 km. Die optische Entfernung, die den Empfänger **520** vom Verstärker **544** trennt, ist vorzugsweise zwischen 10 km und etwa 150 km und besonders bevorzugt zwischen etwa 40 km und etwa 150 km. Die optische Entfernung, die den Empfänger **520** vom Sensor **508** trennt, ist vorzugsweise zwischen etwa 10 km und etwa 200 km und besonders bevorzugt zwischen etwa 40 km und etwa 180 km.

[0029] Die Signalübertragungsdämpfung entlang dieses Abschnitts der Rückleitungsfaser **512** zwischen dem optischen Verstärker **544** und dem optischen Verstärker **516** (der mit dem Bezugszeichen **554** bezeichnet ist) ist vorzugsweise kleiner als die Verstärkung, die der optische Verstärker **544** ermöglicht, so daß die Signalleistung im System auf einem Minimum ist, wenn sie in den optischen Verstärker **544** eintritt. Das heißt, die Signalleistung **556**, die in den optischen Verstärker **516** eintritt, sollte vorzugsweise größer sein als der Leistungspegel des Signals **510**, das in den optischen Verstärker **544** eintritt. Die

Verstärkung des Verstärkers **544** kann unter Berücksichtigung der verfügbaren Pumpleistung und der Entfernung des Verstärkers **544** von der Küste bestimmt werden. Die Dämpfung zwischen den Verstärkern **544** und **516** kann bestimmt werden, indem die Dämpfung des Fasersegments **544** und die Dämpfung irgendwelcher anderer optischer Komponenten zwischen den Verstärker **544** und **516** bestimmt wird. [0030] Eine weitere Ausführungsform ist in **Fig. 4A** dargestellt, in der ein Verstärker **560** entlang der Signalverteilungsfaser **504** positioniert ist. Der optische Verstärker **560** ist vorzugsweise geeignet, eine mäßige Verstärkung (10 bis 23 dB) bei einem hohen Ausgangssignal (5 bis 17 dBm) mit einem mäßigen Rauschverhalten (NF besser als 12 dB) bereitzustellen, wenn er mit einer mäßigen Pumpleistung (10 bis 50 mW) versorgt wird. Durch die Anwendung des Verstärkers **560** kann die Leistung des optischen Eingangssignals **502** kleiner sein, so daß SBS-Effekte vermieden werden. Der Verstärker **560** hat vorzugsweise eine fest zugeordnete Pumpverteilungsfaser **564** (ähnlich der Pumpverteilungsfaser **540**) und kann eine optische Pumpquelle **568** (ähnlich der Pumpquelle **524**) zum Erzeugen von Pumpenergie **570** haben. Die Verstärker **516** und **560** können jedoch eine gemeinsame Pumpquelle verwenden. Das optische Eingangssignal **502** wird vom Verstärker **560** verstärkt, um ein verstärktes optisches Eingangssignal **572** zu erzeugen, das zum Sensor **508** geleitet wird, in dem das optische Eingangssignal **572** vorteilhafterweise direkt unter der SBS-Grenze liegt. Vorzugsweise ist der Signalleistungspegel des Signals **572**, das aus dem optischen Verstärker **560** austritt, nahezu der gleiche wie der Signalleistungspegel des Signals **502**, das aus der Signalquelle **500** austritt. Wenn die Verstärker **560** und **576** die gleiche Entfernung von der Küste haben, können sie vorteilhafterweise in einem gemeinsamen Gehäuse **576** enthalten sein.

[0031] In der Ausführungsform in **Fig. 4A** ist die optische Entfernung, die den Verstärker **560** von der Signalquelle **500** trennt, vorzugsweise zwischen etwa 10 km und etwa 130 km, wie die optische Entfernung, die den Verstärker **516** vom Empfänger **520** trennt. Besonders bevorzugt sind die optischen Entfernungen zwischen etwa 20 km und etwa 80 km. Die optische Entfernung zwischen dem Sensor **508** und dem Empfänger **520** ist vorzugsweise zwischen etwa 10 km und etwa 200 km und besonders bevorzugt zwischen etwa 40 km und etwa 180 km.

[0032] In der Ausführungsform in **Fig. 4A**, wie in anderen Ausführungsformen, die hier offenbart sind, kann eine Vielzahl von Sensoren **508** in einer Gruppe anstelle eines einzelnen Sensors verwendet werden. [0033] Aufgrund des Vorhandenseins des Verstärkers **560** können jedoch zwischen 6 und 12 (oder sogar zwischen 2 und 20) Sensoren **508** anstelle von nur einem einzigen Sensor verwendet werden. Bei einer gegebenen aktuellen Fasertechnologie gibt es jedoch eine entsprechende Faustregel, nämlich daß

eine Verdopplung der Anzahl der Sensoren **508** bei gleichzeitiger Beibehaltung des gleichen Leistungspegels eine Reduzierung des Abstands zwischen der Küste und den Sensoren **508** um annähernd 15 km erfordert. Dagegen können die Sensoren von der Küste weiter entfernt sein, wenn mit weniger Sensoren **508** gearbeitet wird. Es erfolgt also eine Abwägung zwischen der Anzahl der verwendeten Sensoren **508** und ihrem Abstand von der Küste. Wie bereits ausgeführt, kann das optische Eingangssignal **502** in einer solchen Sensorgruppe unter Verwendung einer oder mehrerer aus einer Anzahl von Techniken multiplexiert werden, z. B. durch Frequenzmultiplexierung, Zeitmultiplexierung und Wellenlängenmultiplexierung. **Fig. 4B** zeigt, wie eine einzelne Pumpverteilungsfaser **565** verwendet werden kann, um eine Vielzahl von Verstärkern zu pumpen, ein Prinzip, das in den anderen Ausführungsformen, die hier offenbart sind, genutzt werden kann. In der Ausführungsform in **Fig. 4B** koppelt eine einzelne optische Pumpquelle **569** Pumpenergie **529** in die Pumpverteilungsfaser **565** ein, die dann zu den Verstärkern **560** und **516** geleitet wird.

[0034] Wie in **Fig. 5** dargestellt, kann ein zusätzlicher Verstärker entlang der Rückleitungsfaser hinzugefügt werden. Der Leistungspegel des Signals **502**, das aus der Signalquelle **500** austritt, liegt vorzugsweise direkt unter der SBS-Grenze, ebenso wie der Leistungspegel des Signals **572**, das aus dem optischen Verstärker **560** austritt. Der Leistungspegel des Signals **556**, das in den optischen Verstärker **516** eintritt, ist vorzugsweise größer als der Leistungspegel des Signals **510**, der in den optischen Verstärker **544** eintritt, so daß die Signalleistung im System auf einem Minimum ist, wenn sie in den optischen Verstärker **544** eintritt. Eine zusätzliche Pumpverteilungsfaser zum Verteilen von Pumpenergie zu diesem zusätzlichen Verteiler (wie in **Fig. 3** gezeigt) ist ebenso dargestellt. Der Verstärker **560** und der Verstärker **516** können vorteilhafterweise im gleichen Gehäuse **576** angeordnet sein.

[0035] In der Ausführungsform in **Fig. 5** ist die optische Entfernung zwischen dem ersten Rückleitungsverstärker **544** und dem Empfänger **520** vorzugsweise zwischen etwa 10 km und etwa 150 km und besonders bevorzugt zwischen etwa 40 km und etwa 150 km. Die optische Entfernung zwischen dem zweiten Rückleitungsverstärker **516** und dem Empfänger **520** ist vorzugsweise zwischen etwa 10 km und etwa 100 km und besonders bevorzugt zwischen etwa 10 km und etwa 80 km. Die optische Entfernung zwischen dem Verteilungsverstärker **560** und der Signalquelle **500** ist vorzugsweise zwischen etwa 10 km und etwa 100 km und besonders bevorzugt zwischen etwa 10 km und etwa 80 km. Die optische Entfernung zwischen dem Sensor **508** und dem Empfänger **520** ist vorzugsweise zwischen etwa 10 km und etwa 250 km.

[0036] Die vorliegende Erfindung weist ein Verfahren zum Wählen des Ortes oder der Orte eines oder

mehrerer Verstärker in den oben beschriebenen Systemen auf. Die Orte der Verstärker werden durch eine Anzahl von optischen Parametern bestimmt; aber die Abgabe von Pumpenergie an die Verstärker wird in dem vorliegenden Verfahren verwendet, um den Ort des Verstärkers zu bestimmen.

[0037] Der Energiemenge, die einer bestimmten optischen Faser zugeführt wird, ist durch die Querschnittsfläche des Faserkerns und durch die Qualität der Faser beschränkt. Beispielsweise kann eine handelsübliche Siliziumoxidfaser mit Germaniumoxid-(GeO_2 -)Dotierungselementen und einer typischen Querschnittsfläche mit annähernd 2 W Pumpenergie bei 1480 nm versorgt werden, was die angenäherte stimulierte Raman-Streuung-(SRS-)Schwelle der Faser ist. Wenn versucht wird, eine größere Pumpenergiemenge einzugeben, kann die stimulierte Raman-Streuung in der Faser auftreten, was dann Rauschprobleme verursacht und dazu führt, daß ein Teil der Pumpenergie verlorengeht.

[0038] Außerdem ist die Signalenergiemenge, die einer bestimmten Faser zugeführt werden kann, auch beschränkt. Wenn ein optisches Signal in eine exemplarische GeO_2 -dotierte Siliziumoxidfaser eingegeben wird, kann insbesondere stimulierte Brillouin-Streuung (SBS) auftreten, wenn das optische Signal mehr Energie hat als eine SBS-Schwelle von annähernd 20 mW.

[0039] Die anfängliche Pumpenergie und die Signalenergie, die in die Pumpfaser bzw. in die Signalfaser eingegeben werden, unterliegen Dämpfungen in den jeweiligen Fasern. Eine optische Faser hat bei verschiedenen Wellenlängen verschiedene Dämpfungen. Beispielsweise ist in einer exemplarischen GeO_2 -dotierten Siliziumoxidfaser die Dämpfung der Faser bei einer optischen Signalwellenlänge von annähernd 1550 nm ein Minimum von annähernd 0,21 dB pro Kilometer. Andererseits ist die Pumpenergie bei 1480 nm nicht auf einer minimalen Dämpfungswellenlänge, und die Pumpenergie kann beispielsweise Faserdämpfungen von annähernd 0,23 dB pro Kilometer aufweisen.

[0040] Ein exemplarischer optischer Verstärker, z. B. ein erbiumdotierter Faserverstärker (EDFA) liefert eine Verstärkung als Antwort auf die Pumpenergie, die ihm zugeführt wird. Entsprechend dem Verfahren der vorliegenden Erfindung wird ein Verteilungsverstärker (z. B. Verstärker **560**) gewählt, um Pumpenergie in Signalenergie umzuwandeln. Beispielsweise sind EDFAs verfügbar, die eine Quantenausbeute von annähernd 90% bei der Umwandlung von Pumpenergie bei 1480 nm in Signalenergie bei 1550 nm haben. Beispielsweise können annähernd 23,3 mW Pumpenergie 20 mW Signalenergie erzeugen, die den Signalpegel zur SBS-Schwelle zurückbringt ($20 \text{ mW} = [(1480/1550) \times 0,9] \times 23,3 \text{ mW}$). Mit dieser Information wird der Ort des Verteilungsverstärkers **560** dadurch bestimmt, daß die maximale Länge der Pumpfaser berechnet wird, die verwendet werden

kann, so daß die Pumpenergiemenge, die im Verteilungsverstärker **560** verbleibt, mindestens 23,27 mW beträgt. Beispielsweise könnte unter Verwendung einer anfänglichen Pumpeingangsgröße von 2 W und einer Dämpfung von 0,23 dB pro Kilometer eine Länge der optischen Faser von annähernd 90 km verwendet werden. In einer bestimmten Ausführungsform wird jedoch eine Länge der optischen Faser von 73 km verwendet, um zusätzliche Kopplerdämpfungen aufzunehmen und dgl. und auch um zu ermöglichen, daß der Pumpfaser **564** ein niedrigerer anfänglicher Pumpenergiepegel zugeführt wird.

[0041] Es ist nicht vorteilhaft, den Verteilungsverstärker **560** wegen der SBS-Schwelle der optischen Signalfaser **504** vom Verstärker **560** zum Sensor **508** mit Pumpenergie zu überlasten. Die übermäßige Energie geht verloren, und stimulierte Brillouin-Streuung kann optisches Rauschen hervorrufen, das die Systemleistung verschlechtert. Wenn die Pumpleistung, die den Verteilungsverstärker **560** erreicht, über der Pumpleistung liegt, die benötigt wird, um zu bewirken, daß das optische Signal **502** bis zur SBS-Schwelle verstärkt wird, wird bevorzugt, die Pumpleistung, die dem Eingang der Pumpfaser **564** zugeführt wird, zu reduzieren.

[0042] Wenn dagegen die Pumpenergie, die den Verteilungsverstärker **560** erreicht, nicht ausreicht, um das optische Signal **502** auf die SBS-Schwelle zu verstärken, kann die Entfernung, in der der Sensor **508** vom Verteilungsverstärker **560** angeordnet ist, reduziert werden, da möglicherweise keine ausreichende Signalleistung vorhanden ist, die den Sensor **508** erreicht. Wenn in der bevorzugten Ausführungsform das optische Signal **502** durch die Verteilungsfaser **560** auf die SBS-Schwelle verstärkt wird, kann der Sensor **508** bis zu annähernd 152 km vom Verteilungsverstärker **560** oder insgesamt 225 km von der Pumpquelle **568** und der Signalquelle **500** entfernt angeordnet sein.

[0043] Nach der Wahl des Ortes des Verteilungsbustärkers **560** wird dann der Ort (oder die Orte) des Rückleitungsbustärkers **516** (oder der Verstärker **516** und **544**) gewählt. In besonders bevorzugten Ausführungsformen befindet sich, wie oben beschrieben, mindestens ein Rückleitungsbustärker in der gleichen Entfernung von der Küste wie der Verteilungsbustärker **560**, so daß der Rückleitungsbustärker **516** vorteilhafterweise im gleichen Gehäuse **576** wie der Verteilungsbustärker **560** untergebracht sein kann. Dadurch werden die Kosten deutlich reduziert, indem nämlich nur ein gemeinsames Gehäuse **576** für zwei Verstärker **516** und **560** vorhanden sein muß. Wenn mehr als ein Rückleitungsbustärker vorhanden ist, wird der Rückleitungsbustärker **516**, der sich am nächsten zur Küste und somit am nächsten zur Pumpquelle befindet, als proximaler Rückleitungsbustärker bezeichnet, und ein zweiter Rückleitungsbustärker **544**, der sich am weitesten von der Küste entfernt befindet, wird als distaler Rückleitungsbustärker

bezeichnet.

[0044] Vorzugsweise muß der proximale Rückleitungsbustärker **516** nicht so viel Signalausgangsleistung bereitstellen wie der Verteilungsbustärker **560**. Insbesondere kann der proximale Rückleitungsbustärker **516** so gewählt werden, daß er eine mäßige Verstärkung, geringes Rauschen, einen niedrigen bis mittleren Eingangssignalleistungsbedarf und einen niedrigen bis mittleren Pumpleistungsbedarf hat. Beispielsweise ergeben in einem exemplarischen proximalen Verstärker **516** 20 mW Pumpleistung 20 bis 25 dB Verstärkung bei der Signalwellenlänge und haben eine Rauschzahl, die besser ist als 7 dB.

[0045] Der distale (d. h. am weitesten von der Küste entfernte) Rückleitungsbustärker **544** wird so gewählt, daß er eine niedrige Verstärkung, aber eine gute Rauschzahl bei schwachen Signalen hat, da der distale Verstärker **544** mit einem schwachen Pumpsignal **546** arbeitet, wenn man die Entfernung des distalen Verstärkers **544** von seiner Pumpquelle **548** bedenkt. In besonderen Ausführungsformen verwendet der distale Verstärker **544** eine handelsübliche erbidotierte Faser, die annähernd 12 dB Verstärkung aus annähernd 2 mW Pumpleistung erbringt. Der bevorzugte distale Verstärker **544** hat eine Rauschzahl, die besser ist als 6 dB. Die niedrige Verstärkung des distalen Verstärkers **544** ist ausreichend, da der Zweck des distalen Verstärkers **544** darin besteht, daß eine ausreichende Signalleistung geliefert wird, um das Signal zum proximalen Verstärker **516** zu befördern, ohne erhebliches Rauschen hinzuzufügen.

[0046] In den bevorzugten Ausführungsformen ist die Verstärkung des distalen Verstärkers **544** so gewählt, daß sie größer ist als die Verstärkung des proximalen Verstärkers **516**, so daß die Signalleistung **556**, die in den proximalen Verstärker **516** eingegeben wird, größer ist als die Signalleistung **510**, die in den distalen Verstärker **544** eingegeben wird. Bei diesem Auswahlkriterium wird das Systemrauschverhalten bestimmt durch den Pegel der in den distalen Verstärker **544** eingegebenen Signalleistung **510** plus der Rauschzahl des distalen Verstärkers **544**.

[0047] Der distale Verstärker **544** arbeitet mit sehr niedrigen Eingangspegeln des Signals **510**. Beispielsweise kann der minimale Pegel der Signalleistung, die den distalen Verstärker **544** vom Sensor **508** erreicht und dennoch das Rauschverhalten des Systems zufriedenstellt, im Bereich von annähernd -30 dBm bis -60 dBm sein (d. h. in einem Bereich von annähernd 1 Mikrowatt bis annähernd 1 Nanowatt).

[0048] Wenn sich beispielsweise der Sensor **508** annähernd 152 km vom Verteilungsverstärker **560** entfernt befindet, wie oben beschrieben, kann sich der distale Verstärker **544** immerhin annähernd 95 km vom Sensor **508** entfernt befinden und dennoch einen angemessenen Signalpegel empfangen. Wenn die hier beschriebenen Orte verwendet werden, an denen sich der Sensor **508** annähernd 225 km von der Küste entfernt (d. h. von den Pumpquellen **568**,

524, **548** und von der Signalquelle **500** und vom Empfänger **520** entfernt) befindet und an denen sich der proximale Rückleitungsbusverstärker **516** annähernd 73 km von der Küste entfernt befindet, muß der distale Verstärker **544** nur das optische Rückleitungssignal **512** vom Sensor **508** auf den Energiepegel verstärken, der ausreicht, um annähernd 57 km bis zum proximalen Verstärker **516** zu überwinden und am proximalen Verstärker **516** mit so viel Energie einzutreffen, daß sie vom proximalen Verstärker **516** auf einen Pegel verstärkt werden kann, der ausreicht, um vom proximalen Empfänger **516** die Küste (d. h. den Empfänger **520**) zu erreichen. Daher sind, wie oben beschrieben, annähernd 12 dB Verstärkung ausreichend für den distalen Verstärker **544**. Vorzugsweise hat der proximale Verstärker **516** eine ausreichende Verstärkung, um das Signal **556**, das vom distalen Verstärker **544** kommend empfangen wird, auf einen Energiepegel zu verstärken, der ausreicht, um die Küste mit ausreichender Energie zu erreichen, so daß die Energie, die vom Empfänger **520** empfangen wird, größer ist als der Energiepegel des Signals **556** am Eingang des proximalen Verstärkers **516**. Wenn dieses Kriterium erfüllt ist, sind die Dämpfungen vom proximalen Verstärker **516** bis zum Empfänger **520** nicht erheblich für den Systementwurf. Insbesondere wird das Systemrauschen durch das Rauschen des Signals **556** am Eingang des proximalen Verstärkers **516** dominiert, das der Rauschzahl des proximalen Verstärkers **516** hinzugefügt wird. Da, wie oben beschrieben, die Verstärkung des distalen Verstärkers **544** größer ist als die Verstärkung des proximalen Verstärkers **516**, so daß die Signaleingangsleistung **556** des proximalen Verstärkers **516** größer ist als die Signaleingangsleistung **510** des distalen Verstärkers **544**, wird das Systemrauschverhalten durch den Signalleistungspegel **510**, der in den distalen Verstärker **544** eingegeben wird, und durch die Rauschzahl des distalen Verstärkers **544** bestimmt. Wenn also der distale Verstärker **544** so ausgelegt ist, daß er eine befriedigende Rauschzahl hat, wird das Systemrauschverhalten auch innerhalb eines zufriedenstellenden Bereichs gehalten.

[0049] Wenn es nach der Optimierung der Orte der Verstärker und der Verstärkungen der Verstärker, wie oben beschrieben, erwünscht ist, den Sensor **508** weiter weg von der Küste (d. h. weiter weg von den Pumpquellen **568**, **524**, **548** und von der Signalquelle **500**) zu positionieren, als es die Systemkomponenten erlauben, dann kann die exemplarische optische Faser durch eine Faser mit geringeren Dämpfungen und höheren SBS- und SRS-Schwellen ersetzt werden. Beispielsweise kann eine Faser mit einem größeren Querschnitt verwendet werden. Als Alternative oder zusätzlich kann eine Faser gewählt werden, die verschiedene Dotierungselemente verwendet. Beispielsweise kann die Siliziumoxidfaser, die mit GeO_2 dotiert ist, durch eine reine Siliziumoxidfaser ohne das GeO_2 -Dotierungselement ersetzt werden. In einem solchen Fall kann es notwendig sein, den Mantel

herunterzudotieren (z. B. ein Fluordotierungsmittel dem Mantel hinzuzufügen), um die Laufgeschwindigkeit im Mantel zu erhöhen, um die Führung des Lichts im Kern beizubehalten. Es ist beispielsweise festgestellt worden, daß eine optimale Faser mit einem reinen Siliziumoxiddkern Dämpfungen von annähernd 0,16 dB pro Kilometer im Vergleich zu Dämpfungen von annähernd 0,19 dB pro Kilometer bei einer erstklassigen herkömmlichen GeO_2 -dotierten Faser haben kann.

[0050] Fig. 6 stellt eine Fernpumpausführungsform dar, die vorteilhafterweise optische Signalquellen **500** und **600** verwendet, die mit Wellenlängen λ_1 bzw. λ_2 arbeiten und bei denen sich die Wellenlängen voneinander unterscheiden. Signale verschiedener Wellenlänge, wie sie hier verwendet werden, sind Signale, die durch optische Einrichtungen getrennt werden können. (Gegenwärtig ist der Industriestandard ein Abstand von 100 GHz zwischen den Wellenlängen, was bei 1550 nm 0,8 nm entspricht. Ein Abstand von 1 GHz, der bei 1550 nm 0,008 nm entspricht, ist jedoch ebenfalls nachgewiesen worden.) Die optischen Signalquellen **500** und **600** geben optische Eingangssignale **502** bzw. **503** aus, die durch entsprechende Verstärker **560** und **560'** verstärkt werden, um verstärkte Ausgangssignale **572** und **572'** zu erzeugen. Die verstärkten optischen Eingangssignale **572** und **572'** werden über Eingangskoppler **620** und **622** zu den Sensoren **508a**, **508b**, **508c**, **508d** in einer Sensorgruppe **610** geleitet. Jeder der Koppler **620** und **622** ist optisch mit entsprechenden Paaren von Sensoren verbunden, nämlich mit **508a** und **508b** bzw. **508c** und **508d**. Die jeweiligen gestörten optischen Signale **510a**, **510b**, **510c**, **510d** von den Sensoren **508a** bis **508d** werden durch Ausgangskoppler **624**, **626** gekoppelt, so daß jeder der Ausgangskoppler ein gestörtes optisches Signal jeweils mit der Wellenlänge λ_1 und λ_2 empfängt. Insbesondere sind die Sensoren **508a** und **508c** mit dem Koppler **624** gekoppelt, und die Sensoren **508b** und **508d** sind mit dem Koppler **626** gekoppelt, so daß das System in den Rückleitungsfasern **512** und **512'** (die mit den Kopplern **624** bzw. **626** gekoppelt sind) wellenlängenmultiplexiert ist. Die gestörten optischen Signale **510a** und **510c** sowie **510b** und **510d** werden durch jeweilige Paare von Verstärkern **544** und **516** bzw. **544'** und **516'** verstärkt und von Empfängern **520** bzw. **520'** erfaßt.

[0051] Die Verstärker **560** und **560'** können durch entsprechende Pumpen **568** bzw. **568'** über entsprechende Pumpverteilungsfasern **564** bzw. **564'** gepumpt werden. Ferner können die Verstärker **544** und **516** durch entsprechende Pumpen **548** bzw. **524** über entsprechende Pumpverteilungsfasern **552** bzw. **540** gepumpt werden. Ebenso können die Verstärker **544'** und **516'** durch entsprechende Pumpen **548'** bzw. **524'** über entsprechende Pumpverteilungsfasern **552'** bzw. **540'** gepumpt werden. Die Verstärker **560**, **560'**, **516** und **516'** können vorteilhafterweise in einem gemeinsamen Gehäuse **576a** enthalten

sein, und die Verstärker **544** und **544'** können in einem gemeinsamen Gehäuse **567b** enthalten sein. Obwohl die Wellenlängenmultiplexierung in **Fig. 6** mit Bezug auf ein System beschrieben worden ist, das einen Verstärker an jeder Signalverteilungsfaser und ein Paar Verstärker an jeder Signaleückleitungsfaser hat, können in Abhängigkeit von der Anwendung mehr oder weniger Verstärker verwendet werden. Die bevorzugten optischen Entfernungen, die die Elemente in **Fig. 6** trennen, entsprechen denen, die in der Ausführungsform in **Fig. 5** angegeben sind.

Patentansprüche

1. Optische Sensorarchitektur, die optische Eingangssignale (**502**, **503**) mit ersten und zweiten Wellenlängen jeweils von einer Signalquelle (**500**, **600**) empfängt und gestörte optische Signale (**510a**, **510b**, **510c**, **510d**) an einen Empfänger (**520**, **520'**) ausgibt, mit:

mindestens einer Sensorgruppe (**610**), die die optischen Eingangssignale empfängt und die gestörten optischen Signale ausgibt;
Signalverteilungsfasern (**572**, **572'**), die zwischen der Sensorgruppe und der Signalquelle angeordnet sind, um die optischen Eingangssignale an die Sensorgruppe zu verteilen;
Rückleitungsfasern (**512**, **512'**), die zwischen der Sensorgruppe und dem Empfänger angeordnet sind, um die gestörten optischen Signale aus der Sensorgruppe in den Empfänger einzukoppeln;
einem ersten optischen Verstärker (**544**, **544'**), der entlang der Rückleitungsfaser in einer ersten optischen Entfernung von mindestens 10 Kilometern vom Empfänger positioniert ist, wobei der erste optische Verstärker die gestörten optischen Signale verstärkt, die sich zum Empfänger ausbreiten;
wobei die Sensorgruppe eine Vielzahl von Sensoren (**508**) umfaßt, die zwischen die Signalverteilungsfasern und die Rückleitungsfasern gekoppelt sind, und so eingerichtet ist, daß die gestörten Ausgangssignale (**510**) über die Rückleitungsfasern wellenlängenmultiplexiert übertragen werden.

2. Architektur nach Anspruch 1, wobei die Sensorgruppe (**610**) zwei Eingangskoppler (**620**, **622**) umfaßt, die mit entsprechenden Signalverteilungsfasern (**572**, **572'**) und mit entsprechenden Paaren der Sensoren (**508a**, **508b** und **508e**, **508d**) gekoppelt sind, wobei die Sensoren mit Ausgangskopplern (**624**, **626**) so gekoppelt sind, daß jeder der Ausgangskoppler ein gestörtes Signal (**510a**, **510c** und **510b**, **510d**) mit jeder Wellenlänge empfängt, wobei die Ausgangskoppler mit entsprechenden Rückleitungsfasern gekoppelt sind.

3. Architektur nach Anspruch 2 mit zwei Signalverteilungsfasern (**572**, **572'**), zwei Rückleitungsfasern (**512**, **512'**), vier Sensoren (**508a**–**508d**), zwei ersten optischen Verstärkern (**544**, **544'**) und ferner

mit:

zwei Eingangssignalverstärkern (**560**, **560'**) zwischen den Signalquellen (**500**, **600**) und der Sensorgruppe (**610**).

4. Architektur nach Anspruch 1, wobei die erste optische Entfernung zwischen dem ersten optischen Verstärker und dem Empfänger zwischen 10 km und 80 km ist.

5. Architektur nach Anspruch 1, wobei die erste optische Entfernung zwischen dem ersten optischen Verstärker und dem Empfänger zwischen 20 km und 40 km ist.

6. Architektur nach Anspruch 1, wobei eine zweite optische Entfernung zwischen über 10 km und 150 km den Sensor und den Empfänger trennt.

7. Architektur nach Anspruch 1, wobei eine zweite optische Entfernung zwischen 40 km und 120 km den Sensor und den Empfänger trennt.

8. Architektur nach Anspruch 1, ferner mit einer optischen Pumpquelle zum Pumpen des ersten optischen Verstärkers, wobei die Pumpquelle Pumpenergie durch die Rückleitungsfaser leitet.

9. Architektur nach Anspruch 6, wobei die Pumpquelle einen Laser aufweist.

10. Architektur nach Anspruch 1, wobei der erste optische Verstärker eine erbiumdotierte Faser aufweist.

11. Architektur nach Anspruch 1, wobei der erste optische Verstärker eine praseodym-dotierte Faser aufweist.

12. Architektur nach Anspruch 1, wobei der erste optische Verstärker ein Raman-Verstärker ist.

13. Architektur nach Anspruch 1, ferner mit einer Pumpverteilungsfaser zwischen dem ersten optischen Verstärker und einer Pumpquelle, wobei die Pumpverteilungsfaser Pumpenergie von der Pumpquelle an den ersten optischen Verstärker verteilt.

14. Architektur nach Anspruch 11, wobei die erste optische Entfernung, die den ersten optischen Verstärker und den Empfänger trennt, zwischen 10 km und 130 km ist.

15. Architektur nach Anspruch 11, wobei die erste optische Entfernung, die den ersten optischen Verstärker und den Empfänger trennt, zwischen 20 km und 80 km ist.

16. Architektur nach Anspruch 11, wobei eine zweite optische Entfernung zwischen 10 km und 200

km den Sensor und den Empfänger trennt.

17. Architektur nach Anspruch 11, wobei eine zweite optische Entfernung zwischen 40 km und 120 km den Sensor und den Empfänger trennt.

18. Architektur nach Anspruch 1, ferner mit: einem zweiten optischen Verstärker, der in einer zweiten optischen Entfernung von dem Empfänger positioniert ist, wobei die zweite optische Entfernung mindestens 10 km ist, wobei der erste optische Verstärker und der zweite optische Verstärker das gestörte optische Signal empfangen und verstärken, wobei das verstärkte gestörte optische Signal an den Empfänger gesendet wird, wobei der erste optische Verstärker zwischen dem zweiten optischen Verstärker und dem Sensor im Lichtweg angeordnet ist; und mindestens einer Pumpverteilungsfaser zum Pumpen des ersten optischen Verstärkers und des zweiten optischen Verstärkers, wobei die mindestens eine Pumpverteilungsfaser mit mindestens einer Pumpquelle gekoppelt ist.

19. Architektur nach Anspruch 16, mit entsprechenden ersten und zweiten Pumpverteilungsfasern zum Pumpen des ersten optischen Verstärkers bzw. des zweiten optischen Verstärkers.

20. Architektur nach Anspruch 16, wobei die zweite optische Entfernung, die den Empfänger von dem zweiten optischen Verstärker trennt, zwischen 10 km und 100 km ist.

21. Architektur nach Anspruch 16, wobei die zweite optische Entfernung, die den Empfänger von dem zweiten optischen Verstärker trennt, zwischen 20 km und 80 km ist.

22. Architektur nach Anspruch 16, wobei die erste optische Entfernung, die den Empfänger von dem ersten optischen Verstärker trennt, zwischen 10 km und 150 km ist.

23. Architektur nach Anspruch 16, wobei die erste optische Entfernung, die den Empfänger von dem ersten optischen Verstärker trennt, zwischen 40 km und 150 km ist.

24. Architektur nach Anspruch 16, wobei eine dritte optische Entfernung, die den Empfänger von dem mindestens einen Sensor trennt, zwischen 10 km und 200 km ist.

25. Architektur nach Anspruch 16, wobei eine dritte optische Entfernung, die den Empfänger von dem mindestens einen Sensor trennt, zwischen 40 km und 180 km ist.

26. Architektur nach Anspruch 16, wobei die Leistung des optischen Signals, das in den zweiten

optischen Verstärker eintritt, größer ist als die Leistung des optischen Signals, das in den ersten optischen Verstärker eintritt.

27. Architektur nach Anspruch 16, wobei der erste optische Verstärker und der zweite optische Verstärker mit einer ersten Pumpquelle bzw. einer zweiten Pumpquelle gekoppelt sind.

28. Architektur nach Anspruch 16, ferner mit der mindestens einen optischen Pumpquelle.

29. Architektur nach Anspruch 26, wobei die mindestens eine Pumpquelle einen Laser aufweist.

30. Architektur nach Anspruch 16, wobei der erste optische Verstärker und der zweite optische Verstärker eine Faser aufweisen, die mit Erbium oder Praseodym dotiert ist.

31. Architektur nach Anspruch 16, wobei der erste optische Verstärker und der zweite optische Verstärker Raman-Verstärker sind.

32. Architektur nach Anspruch 1, ferner mit: einem zweiten optischen Verstärker, der entlang der Signalverteilungsfaser in einer zweiten optischen Entfernung von mindestens 10 km von der Signalquelle positioniert ist, zum Empfangen und Verstärken des optischen Signals; mindestens einer Pumpverteilungsfaser zwischen mindestens einer optischen Pumpquelle und mindestens einem, nämlich dem ersten optischen Verstärker und/oder dem zweiten optischen Verstärker.

33. Architektur nach Anspruch 30 mit: einer ersten Pumpverteilungsfaser zwischen dem ersten optischen Verstärker und einer ersten optischen Pumpquelle; und einer zweiten Pumpverteilungsfaser zwischen dem zweiten optischen Verstärker und einer zweiten optischen Pumpquelle.

34. Architektur nach Anspruch 30, wobei der erste optische Verstärker und der zweite optische Verstärker in einem gemeinsamen Gehäuse enthalten sind.

35. Architektur nach Anspruch 30, wobei mindestens eine, nämlich die erste und/oder die zweite optische Entfernung zwischen 10 km und 130 km ist.

36. Architektur nach Anspruch 30, wobei mindestens eine, nämlich die erste und/oder die zweite optische Entfernung zwischen 20 km und 80 km ist.

37. Architektur nach Anspruch 30, wobei eine dritte optische Entfernung zwischen 10 km und 200 km den Sensor und den Empfänger trennt.

38. Architektur nach Anspruch 30, wobei eine dritte optische Entfernung zwischen 40 km und 180 km den Sensor und den Empfänger trennt.

39. Architektur nach Anspruch 30, ferner mit der mindestens einen optischen Pumpquelle.

40. Architektur nach Anspruch 30, wobei die mindestens eine optische Pumpquelle einen Laser aufweist.

41. Architektur nach Anspruch 30, wobei der erste optische Verstärker und der zweite optische Verstärker eine Faser aufweisen, die mit Erbium oder Praseodym dotiert ist.

42. Architektur nach Anspruch 30, wobei der erste optische Verstärker und der zweite optische Verstärker einen Raman-Verstärker aufweisen.

43. Architektur nach Anspruch 30, ferner mit: einem dritten optischen Verstärker entlang der Rückleitungsfaser; und mindestens einer zweiten Pumpverteilungsfaser zum Verteilen von Pumpenergie an den dritten Verstärker.

44. Architektur nach Anspruch 1, ferner mit: einem zweiten optischen Verstärker, der entlang der Rückleitungsfaser in einer zweiten optischen Entfernung von mindestens 10 km vom Empfänger positioniert ist, wobei der erste optische Verstärker zwischen dem zweiten Verstärker und dem Sensor im Lichtweg angeordnet ist; und einem dritten optischen Verstärker, der entlang der Signalverteilungsfaser in einer optischen Entfernung von mindestens 10 km von der Signalquelle positioniert ist, zum Empfangen und Verstärken des optischen Signals.

45. Architektur nach Anspruch 42, mit einer ersten, zweiten bzw. dritten Pumpverteilungsfaser zum Pumpen des ersten, zweiten bzw. dritten Verstärkers, wobei die erste, zweite und dritte Pumpverteilungsfaser mit einer ersten, zweiten bzw. dritten Pumpquellen gekoppelt sind.

46. Architektur nach Anspruch 42, wobei der dritte optische Verstärker und der zweite optische Verstärker in einem gemeinsamen Gehäuse enthalten sind.

47. Architektur nach Anspruch 42, wobei der erste optische Verstärker und der Empfänger um eine optische Entfernung zwischen 10 km und 150 km getrennt sind.

48. Architektur nach Anspruch 42, wobei der erste optische Verstärker und der Empfänger um eine optische Entfernung zwischen 40 km und 150 km getrennt sind.

49. Architektur nach Anspruch 42, wobei der zweite optische Verstärker und der Empfänger um eine optische Entfernung zwischen 10 km und 100 km getrennt sind.

50. Architektur nach Anspruch 42, wobei der zweite optische Verstärker und der Empfänger um eine optische Entfernung zwischen 10 km und 80 km getrennt sind.

51. Architektur nach Anspruch 42, wobei der dritte Verstärker und die Signalquelle um eine optische Entfernung zwischen 10 km und 100 km getrennt sind.

52. Architektur nach Anspruch 42, wobei der dritte optische Verstärker und die Signalquelle um eine optische Entfernung zwischen 10 km und 80 km getrennt sind.

53. Architektur nach Anspruch 42, wobei der Sensor und der Empfänger um eine optische Entfernung zwischen 10 km und 250 km getrennt sind.

54. Architektur nach Anspruch 42, wobei die Leistung des optischen Signals, das in den zweiten optischen Verstärker eintritt, größer ist als die Leistung des optischen Signals, das in den ersten optischen Verstärker eintritt.

55. Architektur nach Anspruch 42, wobei der erste, zweite und dritte Verstärker eine Faser aufweisen, die mit Erbium oder Praseodym dotiert ist.

56. Architektur nach Anspruch 42, wobei der erste, zweite und dritte Verstärker einen Raman-Verstärker aufweisen.

57. Architektur nach Anspruch 1, 16, 30 oder 42, ferner mit dem Empfänger zum Empfangen des verstärkten gestörten optischen Signals.

58. Architektur nach einem der Ansprüche 1, 16, 30 oder 42, wobei der Sensor ein interferometrischer Sensor ist.

59. Architektur nach Anspruch 56, wobei der Sensor ein akustischer Sensor ist.

60. Architektur nach Anspruch 1, 16, 30 oder 42, wobei der mindestens eine Sensor eine Gruppe von Sensoren umfaßt.

61. Architektur nach Anspruch 58, wobei die Gruppe zwischen 6 und 12 Sensoren umfaßt.

62. Architektur nach Anspruch 58, wobei die Gruppe zwischen 2 und 20 Sensoren umfaßt.

63. Architektur nach Anspruch 58, wobei das op-

tische Eingangssignal in der Gruppe nach mindestens einer Anordnung multiplexiert ist, die aus der Gruppe gewählt ist, die aus Frequenzmultiplexierung, Zeitmultiplexierung und Wellenlängenmultiplexierung besteht.

64. Verfahren zur Verteilung von optischen Eingangssignalen (**502**, **503**) an eine Sensorgruppe (**610**) und Zurückleiten von gestörten optischen Signalen (**510a**, **510b**, **510c**, **510d**) von diesem über einen ersten optischen Verstärker (**516**, **516'**), der mindestens 10 km von einem Empfänger (**520**, **520'**) angeordnet ist, wobei das Verfahren umfaßt:

Empfangen der optischen Eingangssignale über entsprechende Signalverteilungsfasern (**572**, **572'**) von der optischen Signalquelle in der Sensorgruppe, wobei das erste und zweite optische Eingangssignal eine erste bzw. zweite Wellenlänge aufweisen;

Stören der optischen Eingangssignale unter Verwendung einer Vielzahl von Sensoren (**508**) der Gruppe, um die gestörten optischen Ausgangssignale zu erzeugen;

Ausgeben der gestörten optischen Ausgangssignale über Rückleitungsfasern (**512**, **512'**) an den Empfänger, wobei die Ausgangssignale über die Rückleitungsfasern wellenlängenmultiplexiert übertragen werden.

65. Verfahren nach Anspruch 64 mit dem Schritt: Anordnen des Verteilungsverstärkers und des Rückleitungsverstärkers in einem gemeinsamen Gehäuse.

66. Verfahren nach Anspruch 64 mit dem Schritt: Positionieren eines zweiten Rückleitungsverstärkers entlang der Rückleitungsfaser zum Verstärken des gestörten optischen Signals.

67. Verfahren nach Anspruch 66, wobei der zweite Rückleitungsverstärker entlang der Rückleitungsfaser zwischen dem ersten Rückleitungsverstärker und dem Sensor positioniert ist.

68. Verfahren nach Anspruch 67, wobei der Leistungspegel des gestörten optischen Signals, das in den ersten Rückleitungsverstärker eintritt, größer ist als der Leistungspegel des gestörten optischen Signals, das in den zweiten Rückleitungsverstärker eintritt.

69. Verfahren nach Anspruch 66 mit dem Schritt: Koppeln einer optischen Pumpverteilungsfaser mit jedem der Verstärker.

70. Verfahren nach Anspruch 64, wobei der Sensor eine Gruppe von Sensoren umfaßt.

Es folgen 8 Blatt Zeichnungen

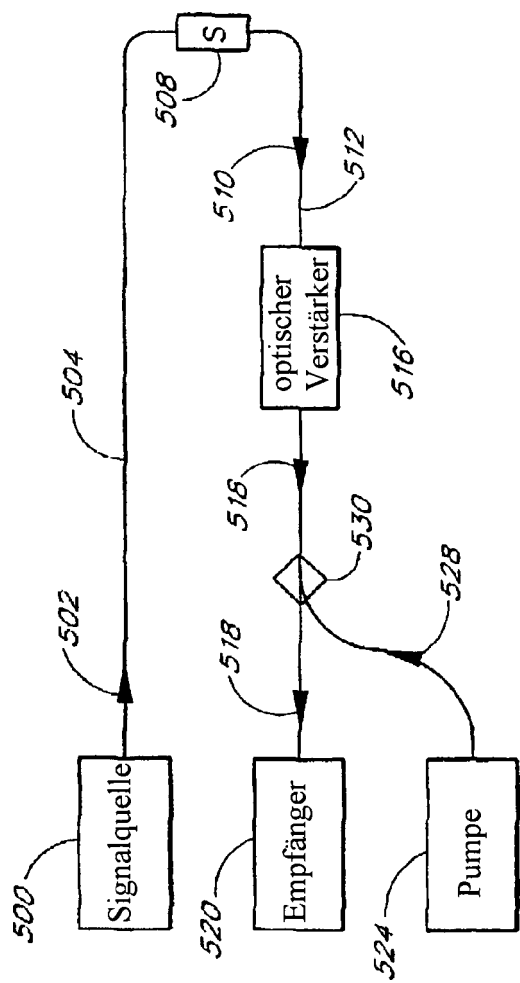


FIG. 1

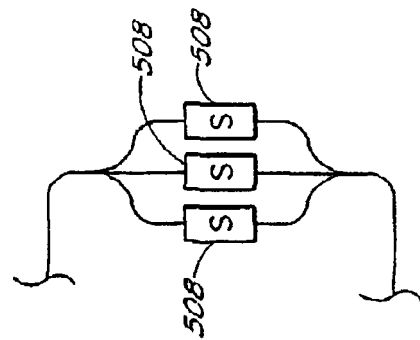


FIG. 1A

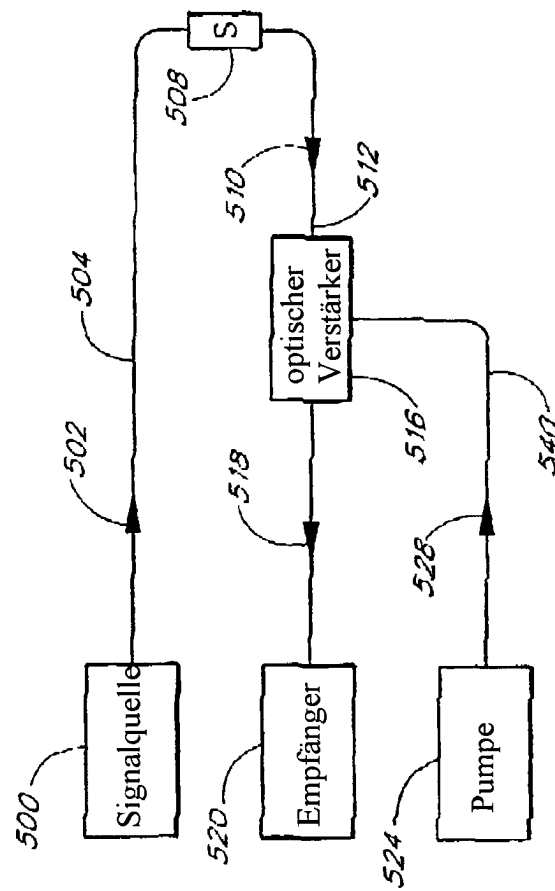


FIG. 2A

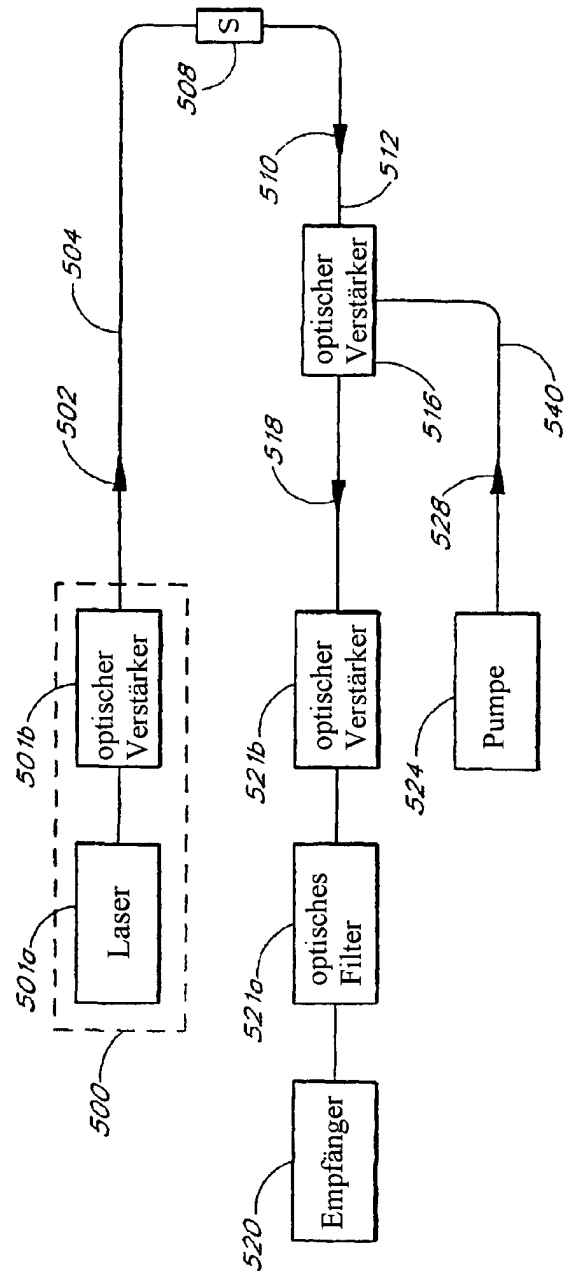


FIG. 2B

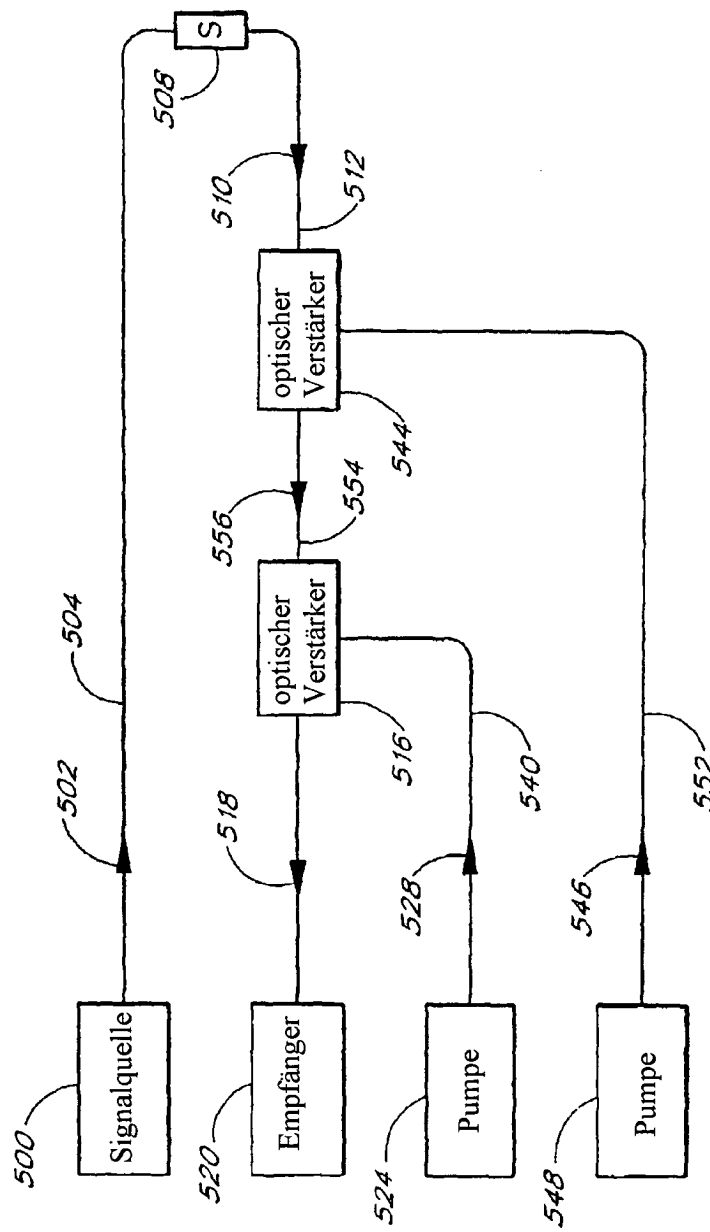


FIG. 3

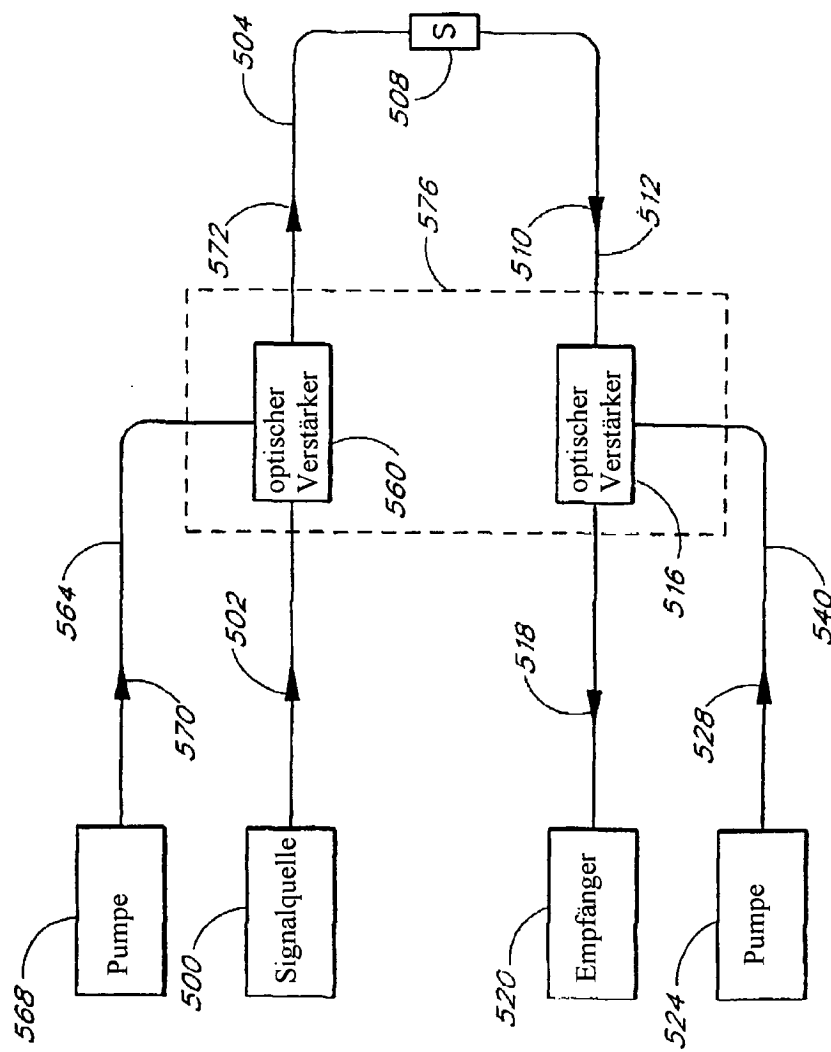


FIG. 4A

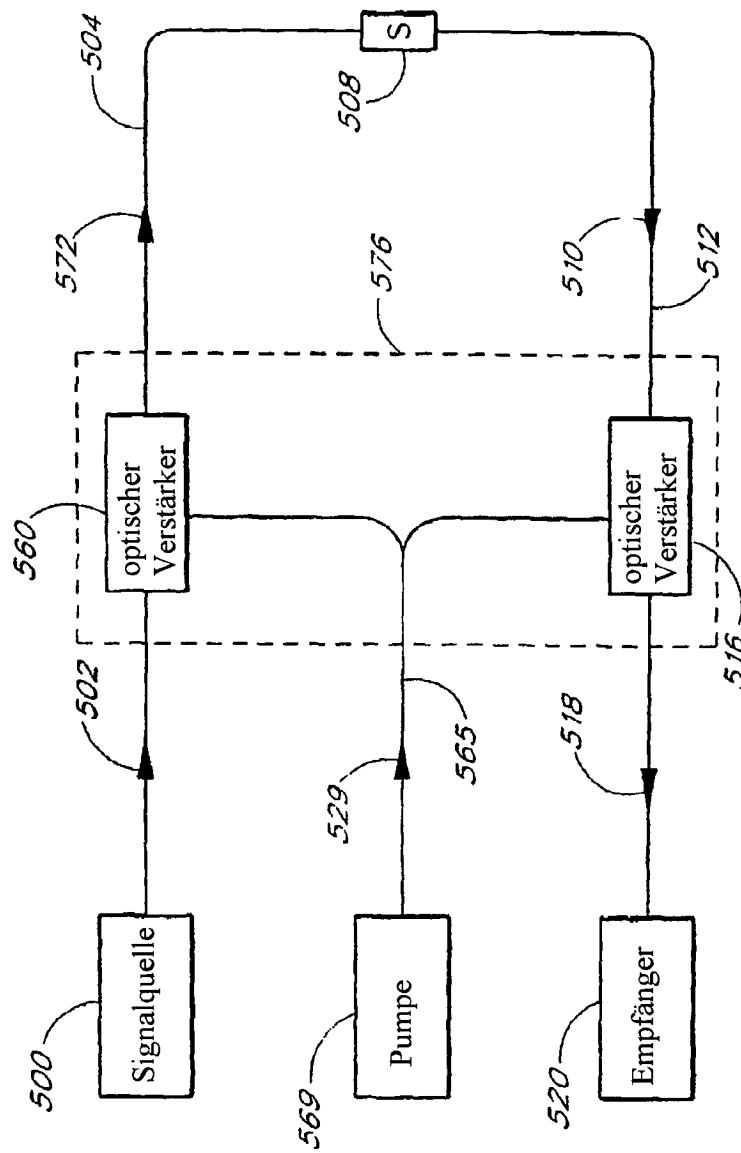


FIG. 4B

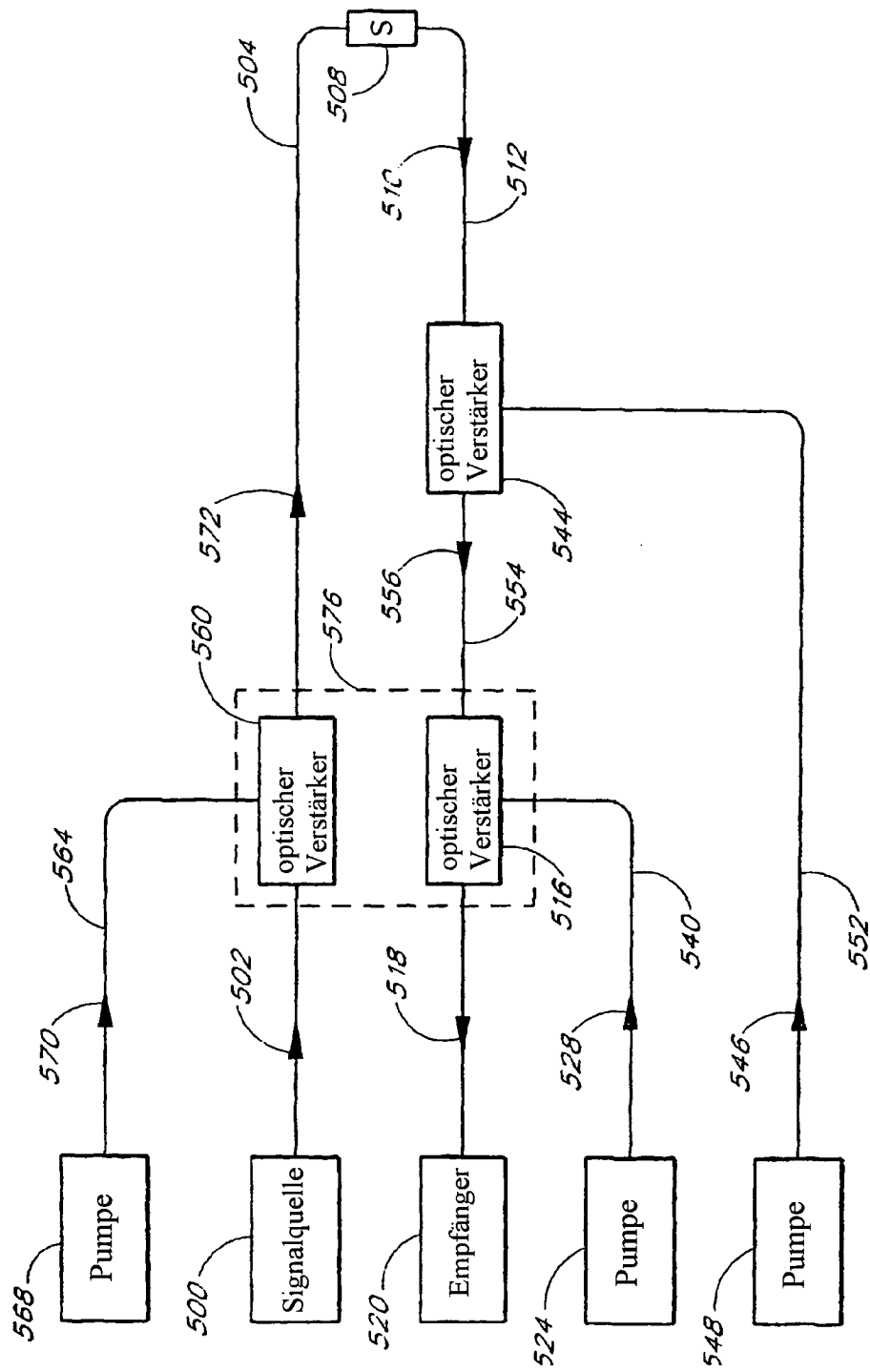


FIG. 5

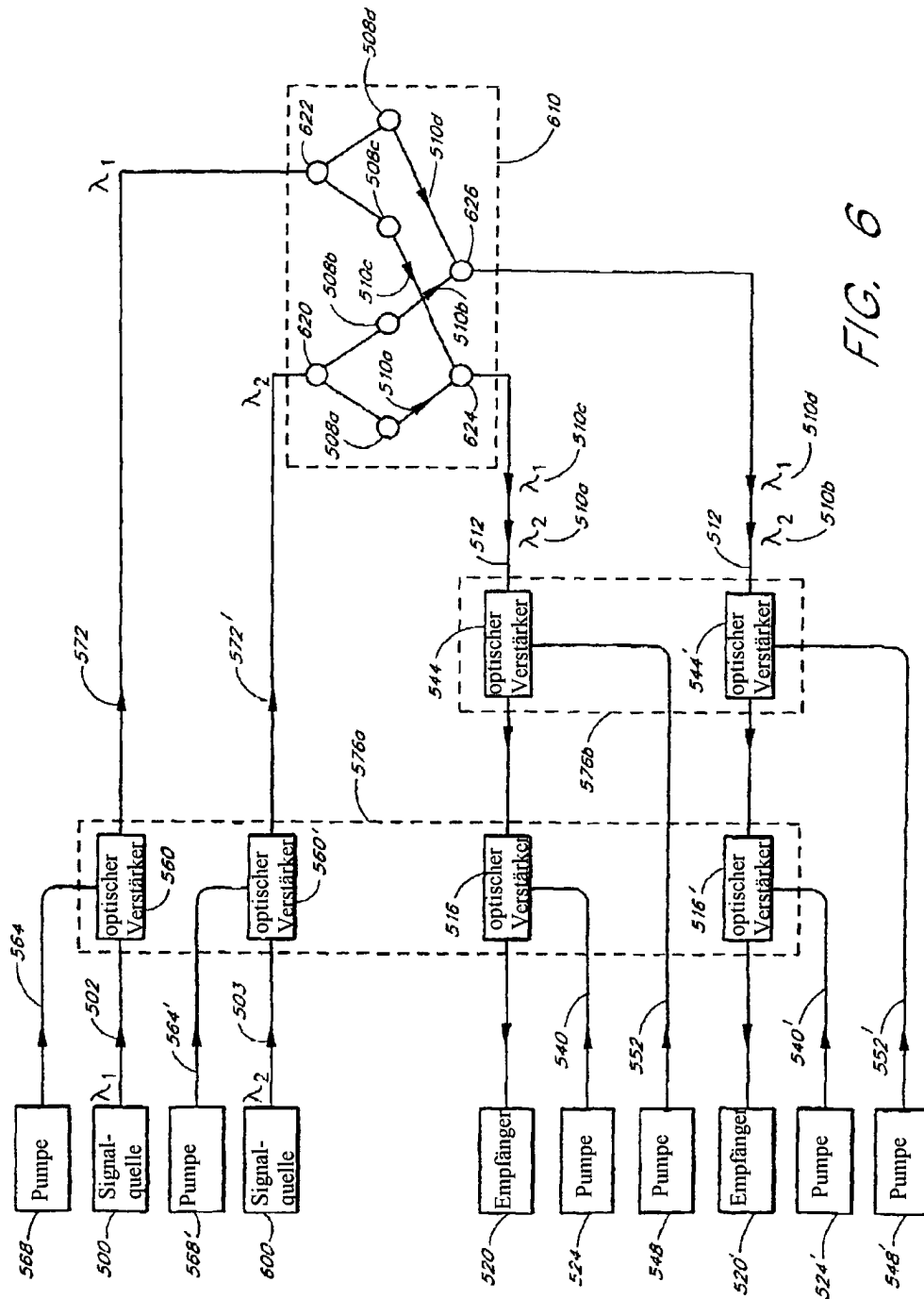


FIG. 6