



(10) **DE 10 2013 004 681 B4** 2022.08.11

(12)

## Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2013 004 681.5**  
(22) Anmeldetag: **19.03.2013**  
(43) Offenlegungstag: **19.09.2013**  
(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: **11.08.2022**

(51) Int Cl.: **G01D 5/353** (2006.01)  
**G01H 9/00** (2006.01)  
**G01B 11/14** (2006.01)  
**H04J 14/00** (2006.01)  
**G01B 9/02** (2022.01)

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

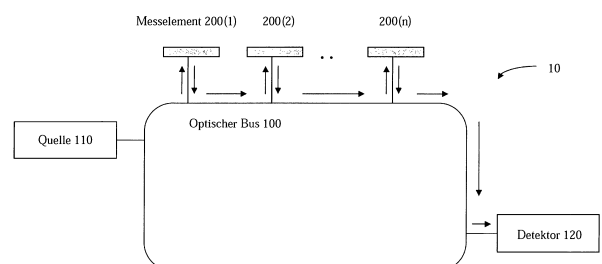
(30) Unionspriorität: <b>61/612,831</b> <b>19.03.2012</b> <b>US</b>	(72) Erfinder: <b>Akkaya, Onur Can, Palo Alto, Calif., US; Kilic, Onur, Mountain View, Calif., US; Digonnet, Michel J. F., Palo Alto, Calif., US; Kino, Gordon, Stanford, Calif., US; Solgaard, Olaf, Stanford, Calif., US</b>
(73) Patentinhaber: <b>The Board of Trustees of the Leland Stanford Junior University, Palo Alto, Calif., US</b>	(56) Ermittelter Stand der Technik: <b>siehe Folgeseiten</b>
(74) Vertreter: <b>LAVOIX MUNICH, 80335 München, DE</b>	

(54) Bezeichnung: **Vorrichtung und Verfahren, die optische Sensoren verwenden, die im Reflexionsmodus arbeiten.**

(57) Hauptanspruch: Optische Vorrichtung (10), umfassend:

mindestens einen optischen Bus (100), der konfiguriert ist, um optisch mit mindestens einer Quelle von optischen Eingangssignalen (110) gekoppelt zu sein, konfiguriert, um optisch mit mindestens einem optischen Detektor (120) gekoppelt zu sein, und konfiguriert, um optisch mit einer Vielzahl von reflektierenden Messelementen (200) gekoppelt zu sein, wobei der mindestens eine optische Bus ein optisches Eingangssignal von der mindestens einen Quelle an die Vielzahl von reflektierenden Messelementen überträgt, so dass mindestens ein reflektierendes Messelement der Vielzahl von reflektierenden Messelementen einen Teil des optischen Eingangssignals empfängt und mindestens einen Teil des empfangenen Teils reflektiert, wobei der mindestens eine optische Bus den reflektierten Teil an den mindestens einen optischen Detektor überträgt, wobei der mindestens eine optische Bus einen Verteilerbus (115) und einen Rückkehrbus (116) umfasst, wobei der Verteilerbus (115) konfiguriert ist, um optisch mit der mindestens einen Quelle gekoppelt zu sein, wobei der Verteilerbus (115) mindestens zwei Verteiler - optische Koppler (130(1)) umfasst, die einen Teil des optischen Eingangssignals in dem Verteilerbus (115) zu mindestens einem reflektierenden Messelement der Vielzahl von reflektierenden Messelementen richten, wobei der Rückkehrbus konfiguriert ist, um optisch mit dem mindestens einen optischen Detektor gekoppelt zu sein, wobei der Rückkehrbus (116) mindestens zwei Rückkehr - optische Koppler (130(2)) umfasst, die die reflektierten Teile von den reflektierenden Messelementen der Vielzahl von

reflektierenden Messelementen (200) zu dem Rückkehrbus richten, und wobei mindestens ein reflektierendes Messelement der Vielzahl von reflektierenden Messelementen mit dem Verteilerbus (115) über mindestens einen Verteiler - optischen Koppler und mit dem Rückkehrbus (116) über den mindestens einen Verteiler - optischen Koppler (130(2)) optisch gekoppelt ist oder mit dem Rückkehrbus (116) über mindestens einen Rückkehr - optischen Koppler (130(2)) und zu dem Verteilerbus (115) über den mindestens einen Rückkehr - optischen Koppler optisch gekoppelt ist.



(56) Ermittelter Stand der Technik:

<b>DE</b>	<b>10 2006 041 865</b>	<b>A1</b>
<b>DE</b>	<b>697 25 145</b>	<b>T2</b>
<b>US</b>	<b>6 252 689</b>	<b>B1</b>
<b>WO</b>	<b>01/ 67 806</b>	<b>A1</b>

**Beschreibung**

## QUERVERWEIS AUF VERWANDTE ANMELDUNGEN

**[0001]** Diese Anmeldung beansprucht den Vorteil der Priorität gegenüber der vorläufigen US-Anmeldung Nr. 61/612,831, eingereicht am 19. März 2012, und die hier in ihrer Gesamtheit durch Bezugnahme eingeschlossen ist.

## HINTERGRUND

## Gebiet

**[0002]** Diese Anmeldung betrifft im Allgemeinen optische Geräte und Verfahren, die Sensoren verwenden, insbesondere Sensoren, die im Reflexionsmodus arbeiten.

## Beschreibung des Standes der Technik

**[0003]** Faseroptische akustische Sensoren wurden umfassend untersucht, seit sie erstmals in den 1970er Jahren vorgestellt wurden. (siehe z.B. J. H. Cole, R. L. Johnson, und P.G. Bhuta, „Fiber-optic detection of sound,“ J. Acoust. Soc. Am. Vol. 62, 1136 (1977); J. A. Bucaro, H.D. Dardy, und E.F. Carome, „Fiber-optic hydrophone,“ J. Acoust. Soc. Am. Vol. 62, 1302 (1977)), zum größten Teil wegen ihrer zahlreichen Vorteile gegenüber herkömmlichen akustischen Sensoren. Diese Vorteile umfassen eine geringe Größe und ein geringes Gewicht, die Fähigkeit, in chemisch und/oder elektrisch rauen Umfeldern zu arbeiten, die Fähigkeit, große Anzahlen von Sensoren zusammen zu multiplexen, und die Kompatibilität mit faseroptischen Netzen zum Transport und zur Verarbeitung von Daten.

**[0004]** Die US 6 252 689 B1 offenbart ein vernetztes photonisches Verteilersystem. Die WO 01/67806 A1 und die DE 697 25 145 T2 offenbaren faseroptische Sensoranordnungen.

**[0005]** Die DE 10 2006 041 865 A1 offenbart eine optische Einrichtung zur Überwachung einer drehbaren Welle mit gerichteter Achse.

**[0006]** Verschiedene faseroptische Sensorsysteme wurden in der Vergangenheit offenbart, die akustische Druckmessungen bereitstellen, basierend auf den relativen Bewegungen der zwei Spiegel eines Fabry-Perot-interferometrischen Hohlraums. Siehe z.B. M. Yu et al., „Acoustic Measurements Using a Fiber Optic Sensor System,“ J. Intelligent Mat'l Systems and Structures, vol. 14, Seiten 409 - 414 (Juli 2003); K. Totsu et al., „Ultra-Miniature Fiber-Optic Pressure Sensor Using White Light Interferometry,“ J. Micromech. Microeng., vol. 15, Seiten 71 - 75 (2005); W.B. Spillman, Jr. et al., „Moving Fiber-Optic Hydrophone,“ Optics Lett., vol. 5, no. 1, Seiten 30 - 31 (Januar 1980); K. Kardirvel et al., „Design and Characterization of MEMS Optical Microphone for Aeroacoustic Measurement,“ 42nd AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit, 5. - 8. Januar 2004, Reno, Nevada; J.A. Bucaro et al., „Miniature, High Performance, Low-Cost Fiber Optic Microphone,“ J. Acoust. Soc. Am., vol. 118, no. 3, part 1, Seiten 1406-1413 (September 2005); T.K. Gangopadhyay et al., „Modeling and Analysis of an Extrinsic Fabry-Perot Interferometer Cavity,“ Appl. Optics, vol. 44, no. 16, Seiten 312-3196 (1 Juni 2005); und P.J. Kuzmenko, „Experimental Performance of a Miniature Fabry-Perot Fiber Optic Hydrophone,“ Proceedings of 8th Optical Fiber Sensors Conference, Monterey, California, 29. -31. Januar 1992, Seiten 354 - 357.

**[0007]** Durch die Verwendung von optischen Geräten oder Verfahren, die Ganzfasersensoren verwenden, ist es möglich, Informationen an einer entfernten Position zu erhalten. Zum Beispiel können akustische Sensoren mit hoher Empfindlichkeit und einem hohen dynamischen Bereich mit diesen Geräten und unter Verwendung dieser Verfahren gemultiplext werden. Anwendungen von Geräten und Verfahren, die optische Sensoren verwenden, umfassen, sind jedoch nicht beschränkt auf, militärische Sonaranordnungen, seismische Überwachungsanordnungen, intelligente Bohrungen (Überwachung der Bohrlochumgebung), Hafen und Flughafen-Überwachung, U-Boot-Bekämpfung, und strukturelle Zustandsverwaltung für Luftfahrzeuge. Geräte und Verfahren, die faseroptische Sensoren verwenden, sind vorteilhaft gegenüber herkömmlichen Sensortechnologien. Zum Beispiel sind sie elektrisch passiv und immun gegen elektromagnetische Störungen. Sie sind leichter, billiger und kleiner. Sie können auch in eine vorhandene Telekommunikations-Infrastruktur für eine Hochgeschwindigkeits-Datenübertragung integriert werden. Außerdem wird es möglich, eine große Anzahl von Sensoren mit einer verbesserten Signal-Rausch-Verhältnis-Leistung und einer verbesserten Rauschmaß-Leistung im Vergleich zu herkömmlichen Technologien zu multiplexen.

## Figurenliste

**Fig. 1A** veranschaulicht schematisch ein Beispiel eines optischen Geräts, das Sensoren verwendet, die im Reflexionsmodus arbeiten, in Übereinstimmung mit bestimmten Ausführungsbeispielen, die hier beschrieben werden.

**Fig. 1B** veranschaulicht schematisch ein reflektives Messelement, darin eingeschlossen mindestens ein Sensor, in Übereinstimmung mit bestimmten Ausführungsbeispielen, die hier beschrieben werden.

**Fig. 2 - Fig. 4** veranschaulichen schematisch Beispiele eines optischen Busses, umfassend einen Verteilerbus und einer Rückkehrbus, der optisch mit einer Vielzahl von reflektiven Messelementen gekoppelt ist, in Übereinstimmung mit bestimmten Ausführungsbeispielen, die hier beschrieben werden.

**Fig. 5** veranschaulicht schematisch ein Beispiel eines optischen Busses, umfassend mindestens einen optischen Zirkulator in Übereinstimmung mit bestimmten Ausführungsbeispielen, die hier beschrieben werden.

**Fig. 6** veranschaulicht schematisch ein reflektives Messelement, umfassend einen Spaltungskoppler und eine Vielzahl von Sensoren in Übereinstimmung mit bestimmten Ausführungsbeispielen, die hier beschrieben werden.

**Fig. 7** veranschaulicht schematisch ein exemplarisches optisches Gerät, wobei ein reflektives Messelement einen Spaltungskoppler umfasst, eine Vielzahl von Sensoren und eine Vielzahl von Verzögerungselementen, in Übereinstimmung mit bestimmten Ausführungsbeispielen, die hier beschrieben werden.

**Fig. 8, Fig. 9, Fig. 10A, und Fig. 10B** veranschaulichen schematisch Beispiele eines optischen Busses, der optisch mit einer Laser-Pumplichtquelle, optischen Verstärkern, optischen Isolatoren oder einer Kombination daraus gekoppelt ist, in Übereinstimmung mit bestimmten Ausführungsbeispielen, die hier beschrieben werden.

**Fig. 11 - Fig. 17** veranschaulichen schematisch verschiedene Beispiele von optischen Geräten, die Sensoren verwenden, die im Reflexionsmodus arbeiten, in Übereinstimmung mit bestimmten Ausführungsbeispielen, die hier beschrieben werden.

**Fig. 18** veranschaulicht schematisch ein Beispiel eines optischen Geräts, das einen einzigen optischen Bus verwendet, in Übereinstimmung mit bestimmten Ausführungsbeispielen, die hier beschrieben werden.

**Fig. 19** ist ein Ablaufdiagramm eines exemplarischen Ausführungsbeispiels eines Verfahrens, um einen optischen Bus zu konfigurieren, um optisch mit einer Vielzahl von reflektiven Messelementen gekoppelt zu sein.

**Fig. 20 - Fig. 25** sind Ablaufdiagramme von anderen exemplarischen Ausführungsbeispielen von Verfahren, um einen optischen Bus zu konfigurieren, um optisch mit einer Vielzahl von reflektiven Messelementen gekoppelt zu sein.

**Fig. 26** zeigt ein Rasterelektronenmikroskop-Bild einer photonischen Kristallmembran und eine schematische Ansicht eines Fabry-Perot (FP) interferometrischen Sensors, der eine derartige photonische Kristallmembran verwendet.

**Fig. 27** veranschaulicht schematisch die Zeitdomänen-Operation des exemplarischen Geräts von **Fig. 10B**.

**Fig. 28** zeigt die gemessene SNR mit einem variierenden Arbeitszyklus eines individuellen Messelements des exemplarischen Geräts von **Fig. 10B**.

**Fig. 29** zeigt die gemessene SNR für die zehn Messelemente des exemplarischen Geräts von **Fig. 10B**.

**Fig. 30** zeigt sieben Rauschanteile, berechnet als Funktionen der Anzahl von Messelementen für das exemplarische Gerät von **Fig. 10B**.

**Fig. 31** zeigt das simulierte MDP als eine Funktion der Anzahl von Messelementen für Bandpass-Filter mit variierenden optischen Linienbreiten für das exemplarische Gerät von **Fig. 10B**.

## DETAILLIERTE BESCHREIBUNG

**[0008]** Optische Sensoren, die vor kurzem entwickelt wurden, arbeiten im Reflexionsmodus, d.h. die gleiche Faser, die das optische Signal an den Sensor liefert, trägt auch das modulierte Signal vom Sensor zum

Detektor. Beispiele umfassen die kleinen Fabry-Perot (FP)-Interferometer, beschrieben in der U.S.-Patentmeldung Nr. 11/414,506, eingereicht am 28. April, 2006, 11/604,673, eingereicht am 27. November 2006, und 11/971,714, eingereicht am 9. Januar 2008, von denen jede in ihrer Gesamtheit durch Bezugnahme hier eingeschlossen ist. Eine Anzahl von Geräten und Verfahren für Sensoren, die Eingangs- und Ausgangssignale auf einer verschiedenen Faser liefern, wurde beschrieben. Siehe z.B. die U.S.-Patentschrift Nr. 6,034,924, die U.S.-Patentschrift Nr. 6,084,233 und die U.S.-Patentschrift Nr. 6,097,486, die in ihrer Gesamtheit durch Bezugnahme hier eingeschlossen sind. Bestimmte Ausführungsbeispiele, die hier beschrieben werden, beschreiben Geräte und Verfahren, die optische Sensoren verwenden, die im Reflexionsmodus arbeiten.

**[0009] Fig. 1A** veranschaulicht schematisch ein exemplarisches optisches Gerät 10, das Sensoren verwendet, die im Reflexionsmodus arbeiten, in Übereinstimmung mit bestimmten Ausführungsbeispielen, die hier beschrieben werden. Das Gerät 10 von bestimmten Ausführungsbeispielen umfasst mindestens einen optischen Bus 100. Der mindestens eine optische Bus 100 ist konfiguriert, um optisch mit mindestens einer Quelle 110 von optischen Eingangssignalen, mit mindestens einem optischen Detektor 120, und mit einer Vielzahl von reflektiven Messelementen 200 gekoppelt zu sein. Der mindestens eine optische Bus 100 überträgt ein optisches Eingangssignal von der mindestens einen Quelle 110 an die Vielzahl von reflektiven Messelementen 200. Mindestens ein reflektives Messelement 200 (1) der Vielzahl von reflektiven Messelementen 200 empfängt einen Abschnitt des optischen Eingangssignals und reflektiert mindestens einen Abschnitt des empfangenen Abschnitts. Der mindestens eine optische Bus 100 überträgt den reflektierten Abschnitt an den mindestens einen optischen Detektor 120.

**[0010]** In bestimmten Ausführungsbeispielen ist das optische Gerät 10 eine optische Sensoranordnung, wovon ein Beispiel in **Fig. 1A** schematisch veranschaulicht ist. Das optische Gerät 10 von bestimmten Ausführungsbeispielen umfasst mindestens eine Quelle 110 von optischen Eingangssignalen, mindestens einen optischen Detektor 120, eine Vielzahl von reflektiven Messelementen 200 und mindestens einen optischen Bus 100. Der mindestens eine optische Bus 100 ist optisch mit der mindestens einen Quelle 110 von optischen Eingangssignalen, mit dem mindestens einen optischen Detektor 120, und mit der Vielzahl von reflektiven Messelementen 200 gekoppelt. Der mindestens eine optische Bus 100 überträgt ein optisches Eingangssignal von der mindestens einen Quelle 110 an die Vielzahl von reflektiven Messelementen 200. Jedes reflektive Messelement 200(1), 200(2),... 200(n) der Vielzahl von reflektiven Messelementen 200 empfängt einen Abschnitt des optischen Eingangssignals und reflektiert mindestens einen Abschnitt des empfangenen Abschnitts. Der mindestens eine optische Bus 100 überträgt dann die reflektierten Abschnitte an den mindestens einen optischen Detektor 120.

**[0011]** Beispiele von Quellen, die mit bestimmten Ausführungsbeispielen kompatibel sind, die hier beschrieben werden, umfassen, sind jedoch nicht beschränkt auf, monochromatische Quellen (z.B. Laser, Laserdiode), Breitbandquellen (z.B. Glühlampe, Leuchtdiode), und abstimmbare Quellen (z.B. abstimmbare Laser). Jedoch kann es sich um jede Quelle handeln, die im Stand der Technik gut bekannt ist, oder die erst noch erfunden werden muss.

**[0012]** In bestimmten Ausführungsbeispielen ist die mindestens einer Quelle 110 von optischen Eingangssignalen eine Lasersignalquelle. Zum Beispiel kann es sich um eine Laserdiode mit einer engen Linienbreite handeln. Außerdem kann es sich um eine gepulste Laserquelle oder eine Dauerstrich-Laserquelle handeln, gefolgt von einem optischen Modulator, um ein gepulstes Eingangssignal zu generieren, um in den mindestens einen optischen Bus 100 eingegeben zu werden.

**[0013]** In bestimmten Ausführungsbeispielen kann der mindestens eine optische Detektor 120 einer von einer Vielzahl von Photodetektoren sein, die im Stand der Technik gut bekannt sind, obwohl auch Detektoren verwendet werden können, die erst noch erfunden werden müssen. In bestimmten Ausführungsbeispielen können optische oder elektrische Gatter genau vor dem mindestens einen optischen Detektor 120 verwendet werden (z.B. am Ausgang der Anordnung), um besondere optische Impulse von der Impulsfolge auszuwählen, die einem bestimmten Messelement 200 entsprechen (z.B. für Demodulationszwecke). Das Gatter kann mit einem Eingangs-Intensitätsmodulator am Eingang zum Gerät 10 synchronisiert werden (z.B. an oder unmittelbar nach der Quelle 110).

**[0014]** Wie in **Fig. 1B** schematisch veranschaulicht, umfasst das mindestens eine reflektive Messelement 200(1) mindestens einen Sensor 300(1). Der mindestens eine Sensor 300(1) kann ein kleiner Fabry-Perot (FP)-Interferometer sein, oder jeder Sensor, der im Reflexionsmodus arbeitet. Der mindestens eine Sensor 300(1) empfängt mindestens einen Abschnitt des optischen Eingangssignals. Der mindestens eine Abschnitt des optischen Eingangssignals wird durch die Messung moduliert, für die der mindestens einen Sensors 300

(1) entworfen ist, u empfindlich zu sein. Der mindestens eine Sensor 300(1) reflektiert mindestens einen Abschnitt des empfangenen Abschnitts, so dass der reflektierte Abschnitt ein informationstragendes Signal ist. Dieser informationstragende reflektierte Abschnitt wird über den mindestens einen optischen Bus 100 in den mindestens einen optischen Detektor 120 eingegeben.

**[0015]** In bestimmten Ausführungsbeispielen umfasst der mindestens eine optische Bus 100 mindestens eine herkömmliche optische Faser (z.B. eine Einmodus-Faser wie die optische Faser SMF-28®, erhältlich von Corning, Inc. aus Corning, NY). In bestimmten Ausführungsbeispielen umfasst der optische Bus 100 mindestens eine optische Luftspulenfaser (z.B. eine Hohlkern-photonische Bandlückenfaser wie die optische Faser HC-1550-02, erhältlich von Crystal Fibre A/S aus Birkerød, Dänemark). In bestimmten Ausführungsbeispielen stellt die optische Luftspulenfaser vorteilhafterweise eine Reduktion eines oder mehrerer des Kerr-Effekts, des Faraday-Effekts und des Shupe (thermalen)-Effekts bereit, verglichen mit herkömmlichen optischen Fasern. Siehe z.B. die U.S.-Patentanmeldungsveröffentlichung Nr. 2008/0030741 A1 und H.K. Kim, V. Dangui, M. Digonnet, und G. Kino, „Fiber-optic gyroscope using an air-core photonic bandgap fiber,“ Proceedings of the SPIE, vol. 5855, no. 1, pp. 198-201 (2005), von denen hier alle in ihrer Gesamtheit durch Bezugnahme eingeschlossen sind.

**[0016]** In bestimmten Ausführungsbeispielen, wie in **Fig. 2** veranschaulicht, umfasst der mindestens eine optische Bus einen Verteilerbus 115 und einen Rückkehrbus 116. Der Verteilerbus 115 ist in bestimmten Ausführungsbeispielen konfiguriert, um optisch mit mindestens einer Quelle 110 und mit einer Vielzahl von reflektiven Messelementen 200 gekoppelt zu sein. Der Rückkehrbus 116 ist in bestimmten Ausführungsbeispielen konfiguriert, um optisch mit mindestens einem optischen Detektor 120 und mit der Vielzahl von reflektiven Messelementen 200 gekoppelt zu sein.

**[0017]** **Fig. 2 - Fig. 4** veranschaulichen schematisch Beispiele von optischen Geräten 10, die Sensoren verwenden, die im Reflexionsmodus arbeiten, in Übereinstimmung mit bestimmten Ausführungsbeispielen, die hier beschrieben werden. Zum Beispiel zeigt **Fig. 2** eine exemplarische passive Anordnung (z.B. mit keinen optischen Verstärkern), und **Fig. 4** zeigt eine exemplarische aktive Anordnung (z.B. mit optischen Verstärkern). In diesen Ausführungsbeispielen umfasst der mindestens eine optische Bus eine Vielzahl von optischen Kopplern 130. In bestimmten Ausführungsbeispielen ist mindestens ein reflektives Messelement 200 (1) der Vielzahl von reflektiven Messelementen 200 „durch mindestens einen optischen Koppler 130 (1) der Vielzahl von optischen Kopplern 130 optisch mit dem Verteilerbus 115 gekoppelt. Das mindestens eine reflektive Messelement 200 (1) der Vielzahl von reflektiven Messelementen 200 ist ebenfalls durch mindestens einen optischen Koppler 130(2) der Vielzahl von optischen Kopplern 130 optisch mit dem Rückkehrbus 116 gekoppelt. In bestimmten Ausführungsbeispielen kann das optische Gerät 10 eine Vielzahl von optischen Verzögerungslinien umfassen, wobei jede optische Verzögerungslinie zwischen aufeinander folgenden optischen Kopplern entlang dem Verteilerbus 115 positioniert ist, (z.B. den aufeinander folgenden optischen Kopplern 130(1)) oder zwischen aufeinander folgenden optischen Kopplern entlang dem Rückkehrbus 116 positioniert ist, (z.B. den aufeinander folgenden optischen Kopplern 130(2)) Zum Beispiel veranschaulicht **Fig. 10B** schematisch ein exemplarisches Gerät 10, das optische Verzögerungslinien entlang dem Verteilerbus 115 umfasst. Diese optischen Verzögerungslinien können konfiguriert sein, um eine Verzögerung auf die optischen Impulse anzuwenden, die sich zwischen den aufeinander folgenden optischen Kopplern fortpflanzen, um eine vorübergehende Überlappung von optischen Impulsen zu vermeiden (z.B. für Zeitdivisionsmultiplexing).

**[0018]** In bestimmten Ausführungsbeispielen, die hier beschrieben werden, wie in **Fig. 2** gezeigt, ist das reflektive Messelement 200 (1) durch einen optischen Koppler 130(1) optisch mit dem Verteilerbus 115 gekoppelt. Das reflektive Messelement 200 (1) ist auch durch zwei optische Koppler 130(1) und 130 (2) optisch mit dem Rückkehrbus 116 gekoppelt. Ein Abschnitt des optischen Eingangssignals im Verteilerbus 115 wird vom optischen Koppler 130(1) an das reflektive Messelement 200(1) gerichtet. Das reflektive Messelement 200 (1) reflektiert mindestens einen Abschnitt des empfangenen Abschnitts. Der reflektierte Abschnitt des empfangenen Abschnitts wird vom optischen Koppler 130(1) über den optischen Koppler 130(2) an den Rückkehrbus 116 gerichtet.

**[0019]** Ein Abschnitt des optischen Eingangssignals im Verteilerbus 115 der nicht an das reflektive Messelement 200(1) gerichtet wird, wird vom optischen Koppler 130(1) an einen anderen optischen Koppler 130(1) gerichtet und wird verwendet, um ein optisches Signal an das zweite reflektive Messelement 200(2) zu liefern. Auf diese Weise werden Abschnitte des optischen Eingangssignals an die Messelemente 200(1), 200 (2),... 200(n) geliefert. Ähnlich werden die reflektierten Signale von den Messelementen 200(1), 200(2),...200

(n) von einem optischen Koppler 130(1) über einen optischen Koppler 130(2) an den Rückkehrbus 116 gerichtet.

**[0020]** In bestimmten Ausführungsbeispielen, wie in **Fig. 3** und **Fig. 4** gezeigt, ist das reflektive Messelement 200 (1) von einem optischen Koppler 130(2) optisch an den Rückkehrbus 116 gekoppelt.. Es ist auch durch zwei optische Koppler 130(1) und 130(2) an den Verteilerbus 115 gekoppelt. In diesen Ausführungsbeispielen wird ein Abschnitt des optischen Eingangssignals durch die zwei optischen Koppler 130(1) und 130(2) gerichtet, bevor er vom reflektiven Messelement 200(1) reflektiert wird. Nachdem er vom Messelement 200(1) moduliert wurde, wird mindestens ein Abschnitt des empfangenen Abschnitts durch den Durchgang durch einen einzigen optischen Koppler 130(2) in den Rückkehrbus eingegeben.

**[0021]** Ein Abschnitt des optischen Eingangssignals im Verteilerbus 115, der nicht an das reflektive Messelement 200(1) gerichtet wird, wird vom optischen Koppler 130(1) an einen anderen optischen Koppler 130(1) gerichtet und wird verwendet, um über einen optischen Koppler 130(2) ein optisches Signal an das zweite reflektive Messelement 200(2) zu liefern. Auf diese Weise werden Abschnitte des optischen Eingangssignals an die Messelemente 200(1), 200(2),... 200(n) geliefert. Ähnlich werden die reflektierten Signale von den Messelementen 200(1), 200(2),...200(n) über einen optischen Koppler 130(2) an den Rückkehrbus 116 gerichtet.

**[0022]** In **Fig. 3** wird das reflektierte Signal vom Messelement 200(1) von einem einzigen optischen Koppler 130(2) an den optischen Detektor 120 verteilt, während das reflektierte Signal vom Messelement 200(n) von einer Vielzahl von optischen Kopplern 130(2) an den optischen Detektor 120 verteilt wird. Dagegen wird in **Fig. 4** das reflektierte Signal vom Messelement 200(1) von einer Vielzahl von optischen Kopplern 130(2) an den optischen Detektor 120 verteilt, während das reflektierte Signal vom Messelement 200(n) von einem einzigen optischen Koppler 130(2) an den optischen Detektor 120 verteilt wird.

**[0023]** **Fig. 5** veranschaulicht schematisch ein weiteres Beispiel eines Geräts, das Sensoren verwendet, die im Reflexionsmodus arbeiten, in Übereinstimmung mit bestimmten Ausführungsbeispielen, die hier beschrieben werden. In **Fig. 5** umfasst der optische Bus mindestens einen optischen Zirkulator 140. Das reflektive Messelement 200 (1)ist optisch durch den optischen Zirkulator 140 und den optischen Koppler 130(1) mit dem Verteilerbus 115 gekoppelt, und ist optisch durch den optischen Zirkulator 140 und den optischen Koppler 130(2) mit dem Rückkehrbus 116 gekoppelt. In diesem Ausführungsbeispiel ist ein Abschnitt des optischen Eingangssignals von der Quelle110 vom optischen Koppler 130(1) über den optischen Zirkulator 140 an das reflektive Messelement 200(1) gerichtet.. Der reflektierte Abschnitt wird vom optischen Zirkulator 140 an den Rückkehrbus 116 vom optischen Koppler 130(2) gerichtet.

**[0024]** Ein Abschnitt des optischen Eingangssignals im Verteilerbus 115, der nicht an das reflektive Messelement 200(1) gerichtet wird, wird vom optischen Koppler 130(1) an einen anderen optischen Koppler 130(1) gerichtet und wird verwendet, um über einen weiteren optischen Zirkulator 140 ein optisches Signal an das reflektive Messelement 200(2) zu liefern. Somit werden Abschnitte des optischen Eingangssignals an die Messelemente 200(1), 200(2),... 200(n) geliefert. Ähnlich werden die reflektierten Signale von den Messelementen 200(1), 200(2),... 200(n) von entsprechenden optischen Zirkulatoren 140 gerichtet und werden von entsprechenden optischen Kopplern 130(2) an den Rückkehrbus 116 geliefert.

**[0025]** Ein Vorteil dieses Ausführungsbeispiels ist die Reduzierung der Anzahl von Malen, die das Signal durch einen optischen Koppler passiert, wodurch der Verlust reduziert wird. Der Abschnitt des optischen Eingangssignals von der Quelle110, der an das reflektive Messelement 200(1) gerichtet wird, passiert einmal durch den optischen Koppler 130(1), und das reflektierte Signal vom reflektierten Messelement 200(1) passiert einmal durch den optischen Koppler 130(2). Andererseits passiert in **Fig. 2** der Abschnitt des optischen Eingangssignals von der Quelle110 durch den optischen Koppler 130(1), und das reflektierte Signal vom reflektierten Messelement 200(1) passiert auch durch den optischen Koppler 130(1).In **Fig. 3** passiert der Abschnitt des optischen Eingangssignals von der Quelle110 durch den optischen Koppler 130(2), und das reflektierte Signal vom reflektierten Messelement 200(1) passiert auch durch den optischen Koppler 130(2).

**[0026]** Fachleute erkennen jedoch, dass der optische Zirkulator in bestimmten Ausführungsbeispielen z.B. wie in **Fig. 5**, durch einen optischen Koppler ersetzt werden kann.

**[0027]** Wie oben beschrieben und in **Fig. 1B** veranschaulicht, kann das reflektive Messelement 200(1) mindestens einen Sensor 300(1) umfassen. In bestimmten anderen Ausführungsbeispielen, z.B. wie in **Fig. 6** gezeigt, umfasst das reflektive Messelement 200 (1)einen Spaltungskoppler 150 und eine Vielzahl von Sen-

soren 300, die optisch mit dem Spaltungskoppler 150 gekoppelt sind. In bestimmten anderen Ausführungsbeispielen, auch gezeigt in **Fig. 6**, umfasst das mindestens eine reflektive Messelement 200 (1) eine Vielzahl von Verzögerungselementen 160. Die Verzögerungselemente 160 sind optisch mit dem Spaltungskoppler 150 und mit einem entsprechenden Sensor 300 gekoppelt. Zum Beispiel ist in **Fig. 6** das Verzögerungselement 160(1) optisch mit dem Spaltungskoppler 150 und mit dem entsprechenden Sensor 300(1) gekoppelt.

**[0028]** In bestimmten Ausführungsbeispielen, die hier beschrieben werden, ist der Spaltungskoppler 150 ein Sternkoppler, der verwendet wird, um mehrere Sensoren 300(1), 300(2),... 300(n) zu multiplexen. In bestimmten Ausführungsbeispielen können die Verzögerungselemente 160(1), 160(2), ...160(n) verwendet werden oder nicht, je nachdem, ob eine Zeitverzögerung zwischen Antworten gewünscht wird, die von verschiedenen Sensoren stammen, so dass sich die Antworten nicht überlappen. In diesen Ausführungsbeispielen kann der Spaltungskoppler 150 ein Wellenlängendivisionsmultiplexer sein, und das Verzögerungselement 160 kann eine Länge eines Wellenleiters sein. **Fig. 6** zeigt, dass Ausführungsbeispiele, die hier beschrieben werden, wobei das Messelement einen einzigen Sensor umfasst, modifiziert werden können, um einen Spaltungskoppler 150 und zahlreiche Sensoren 300 zu umfassen. **Fig. 7** zeigt ein derartiges exemplarisches Ausführungsbeispiel.

**[0029]** In **Fig. 7** werden der Spaltungskoppler 150 und Verzögerungselemente 160 auf die Konfiguration, gezeigt in **Fig. 2**, angewendet, so dass der Spaltungskoppler 150 durch einen optischen Koppler 130(1) optisch mit dem Verteilerbus 115 gekoppelt ist. Der Spaltungskoppler 150 ist optisch mit den Verzögerungselementen 160(1), 160(2), ...160(n) gekoppelt, die optisch jeweils mit Sensoren 300(1), 300(2), ...300(n) gekoppelt sind. Die Sensoren 300(1), 300(2),...300(n) sind durch die Verzögerungselemente 160(1), 160(2), ...160(n), den Spaltungskoppler 150 und die zwei optischen Koppler (130(1) und 130 (2) optisch mit dem Rückkehrbus 116 gekoppelt. Ein Abschnitt des optischen Eingangssignals im Verteilerbus 115 wird vom optischen Koppler 130(1) an den Spaltungskoppler 150 gerichtet, der Abschnitte des Signals über die Verzögerungselemente 160(1), 160(2),...160(n) an die Sensoren 300(1), 300(2),...300(n) verteilt. Nachdem sie von den Sensoren 300(1), 300(2),...300(n) moduliert wurden, werden Abschnitte der empfangenen Abschnitte in die Verzögerungselemente 160(1), 160(2),...160(n) eingegeben. Die Verzögerungselemente 160(1), 160 (2),...160(n) führen entsprechende Zeitverzögerungen ein, um zu verhindern, dass die reflektierten Abschnitte den optischen Detektor 120 zur gleichen Zeit erreichen. Die reflektierten Abschnitte werden vom Spaltungskoppler 150 und dem optische Koppler 130(1) über den optischen Koppler 130(2) an den Rückkehrbus 116 gerichtet.

**[0030]** Ein Abschnitt des optischen Eingangssignals im Verteilerbus 115, der nicht an den Spaltungskoppler 150 gerichtet wird, wird vom optischen Koppler 130(1) an einen anderen optischen Koppler 130(1) gerichtet und wird verwendet, um ein optisches Signal an den zweiten Spaltungskoppler 150 zu liefern, das optisch mit einer weiteren Gruppe von Verzögerungselementen 160(1), 160(2),... 160(n) und Sensoren 300(1), 300 (2), ...300(n) gekoppelt ist.

**[0031]** In Übereinstimmung mit bestimmten Ausführungsbeispielen, die hier beschrieben werden, z.B. wie in **Fig. 2, Fig. 3, Fig. 5, Fig. 8, Fig. 9** und **Fig. 10** gezeigt, kann der mindestens eine optische Bus optisch mit einer Laser-Pumplichtquelle 170 gekoppelt sein. In bestimmten Ausführungsbeispielen kann die Laser-Pumplichtquelle 170 eine einer Vielzahl von Laser-Pumplichtquellen sein, die im Stand der Technik gut bekannt sind, obwohl auch Quellen verwendet werden können, die erst noch erfunden werden müssen.

**[0032]** In Übereinstimmung mit bestimmten Ausführungsbeispielen, die hier beschrieben werden, z.B. wie in **Fig. 8, Fig. 9** und **Fig. 10** gezeigt, umfasst der mindestens eine optische Bus weiter einen oder mehrere optische Verstärker 180. Zum Beispiel verwenden bestimmte Ausführungsbeispiele, die eine große Anzahl von Sensoren multiplexen, optische Verstärker, z.B. Erbium-dotierte Faserverstärker (EDFAs). In diesen Ausführungsbeispielen können optische Verstärker so konfiguriert sein, dass die Rückkehrsignale von den Sensoren ein angemessenes Signal-Rausch-Verhältnis (SNR) aufweisen. Die Verwendung von optischen Verstärkern kann die Rauschmaß-Leistung wesentlich verbessern. In bestimmten Ausführungsbeispielen werden eines oder mehrere der Eingangssignale, eines oder mehrere der reflektierten Signale, oder eines oder mehrere sowohl der Eingangs- als auch der reflektierten Signale von einem oder von mehreren Verstärkern verstärkt.

**[0033]** Bestimmte Ausführungsbeispiele können auch Isolatoren verwenden, um Laser-Ausgaben und Instabilitäten zu verhindern, siehe z.B. **Fig. 8, Fig. 9** und **Fig. 10**. Das Vorhandensein eines Verteilerbusses und eines Rückkehrbusses ermöglicht die Verwendung von Isolatoren zusammen mit den optischen Verstärkern. Die Verluste im gesamten Gerät, z.B. Spleißverluste, Einfügungsverluste für alle Elemente durch den Signalpfad, und die Spaltungsverluste, können durch die optischen Verstärker kompensiert werden.

**[0034]** In Übereinstimmung mit bestimmten Ausführungsbeispielen, die hier beschrieben werden, zeigt **Fig. 8** die Konfiguration von **Fig. 2** mit einer Vielzahl von optischen Verstärkern 180 die optisch mit dem Verteilerbus 115 gekoppelt sind, mit einer Vielzahl von optischen Verstärkern 180, die optisch mit dem Rückkehrbus 116 gekoppelt sind. Das optische Eingangssignal von der Quelle 110 wird von einem optischen Verstärker 180 verstärkt, bevor es vom optischen Koppler 130(1) an das reflektive Messelement 200(1) gerichtet wird. Das reflektive Messelement 200 (1) reflektiert mindestens einen Abschnitt des empfangenen Abschnitts. Der reflektierte Abschnitt des empfangenen Abschnitts wird vom optischen Koppler 130(1) über den optischen Koppler 130(2) an den Rückkehrbus 116 gerichtet, wo das Signal von mindestens einem anderen optischen Verstärker 180 verstärkt wird, bevor es vom optischen Detektor 120 empfangen wird.

**[0035]** Ein Abschnitt des optischen Eingangssignals im Verteilerbus 115, der nicht an das reflektive Messelement 200(1) gerichtet wird, wird von einem weiteren optischen Verstärker 180 verstärkt, und ein weiterer optischer Koppler 130(1) wird verwendet, um den verstärkten Abschnitt des optischen Signals an das zweite reflektive Messelement 200(2) zu liefern. Das reflektierte Signal vom Messelement 200(2) wird von einem weiteren optischen Verstärker 180 verstärkt, nachdem es von zwei optischen Kopplern 130(1) und 130(2) an den Rückkehrbus 116 gerichtet wurde. Das Signal kann erneut von einem oder von mehreren anderen optischen Verstärkern 180 verstärkt werden, während es durch den Rückkehrbus 116 an den optischen Detektor 120 fortgepflanzt wird. Auf diese Weise werden Abschnitte des optischen Eingangssignals verstärkt, bevor sie von den Messelementen 200(1), 200(2),...200(n) empfangen werden. Ähnlich werden die reflektierten Signale von den Messelementen 200(1), 200(2),...200(n) verstärkt, bevor sie vom optischen Detektor 120 empfangen werden.

**[0036]** In Übereinstimmung mit bestimmten Ausführungsbeispielen, die hier beschrieben werden, zeigt **Fig. 9** die Konfiguration von **Fig. 3** mit einer Vielzahl von optischen Verstärkern 180, die optisch mit dem Verteilerbus 115 gekoppelt sind, und einer Vielzahl von optischen Verstärkern 180, die optisch mit dem Rückkehrbus 116 gekoppelt sind. Das optische Eingangssignal von der Quelle 110 wird von einem optischen Verstärker 180 verstärkt, bevor es von zwei optischen Kopplern 130(1) und 130(2) an das reflektive Messelement 200(1) gerichtet wird. Das reflektive Messelement 200 (1) reflektiert mindestens einen Abschnitt des empfangenen Abschnitts. Der reflektierte Abschnitt des empfangenen Abschnitts wird vom optischen Koppler 130(2) an den Rückkehrbus 116 gerichtet, wo das Signal von mindestens einem anderen optischen Verstärker 180 verstärkt wird, bevor es vom optischen Detektor 120 empfangen wird.

**[0037]** Ein Abschnitt des optischen Eingangssignals im Verteilerbus 115, der nicht an das reflektive Messelement 200(1) gerichtet wird, wird von einem weiteren optischen Verstärker 180 verstärkt, und weitere zwei optische Koppler 130(1) und 130 (2) werden verwendet, um den verstärkten Abschnitt des optischen Signals an das zweite reflektive Messelement 200(2) zu liefern. Das reflektierte Signal vom Messelement 200(2) wird von einem weiteren optischen Verstärker 180 verstärkt, nachdem es vom optischen Koppler 130(2) an den Rückkehrbus 116 gerichtet wurde. Das Signal kann erneut von einem oder von mehreren optischen Verstärkern 180 verstärkt werden, während es durch den Rückkehrbus 116 an den optischen Detektor 120 fortgepflanzt wird. Auf diese Weise werden Abschnitte des optischen Eingangssignals verstärkt, bevor sie von den Messelementen 200(1), 200(2),...200(n) empfangen werden. Ähnlich werden die reflektierten Signale von den Messelementen 200(1), 200(2),... 200(n) verstärkt, bevor sie vom optischen Detektor 120 empfangen werden.

**[0038]** In Übereinstimmung mit bestimmten Ausführungsbeispielen, die hier beschrieben werden, zeigt **Fig. 10A** die Konfiguration von **Fig. 5** mit einer Vielzahl von optischen Verstärkern 180, die optisch mit dem Verteilerbus 115 gekoppelt sind, und einer Vielzahl von optischen Verstärkern 180, die optisch mit dem Rückkehrbus 116 gekoppelt sind. Das optische Eingangssignal von der Quelle 110 wird von einem optischen Verstärker 180 verstärkt, bevor es vom optischen Koppler 130(1) und dem optischen Zirkulator 140 an das reflektive Messelement 200(1) gerichtet wird. Das reflektive Messelement 200 (1) reflektiert mindestens einen Abschnitt des empfangenen Abschnitts. Der reflektierte Abschnitt des empfangenen Abschnitts wird vom optischen Zirkulator 140 über den optischen Koppler 130(2) an den Rückkehrbus 116 gerichtet, wo das Signal von mindestens einem optischen Verstärker 180 verstärkt wird, bevor es vom optischen Detektor 120 empfangen wird. **Fig. 10B** zeigt ein bestimmtes Beispiel der Konfiguration von **Fig. 10A**, mit einer Laserquelle 110, umfassend eine Laserdiode (1550 nm), einer Laser-Pumplichtquelle 170, umfassend ein Paar Pump laser (980 nm), die an den Verteilerbus 115 und den Rückkehrbus 116 durch entsprechende Wellendivisionsmultiplexer gekoppelt sind, wobei ein Detektor 120 einen 1 GHz-Photodetektor umfasst, wobei optische Koppler 130 (60 % 1550 nm; 0 % 980 nm)-Koppler umfassen, und wobei optische Verstärker 180 EDFAs mit einer Verstärkung von 5 dB umfassen.

**[0039]** Ein Abschnitt des optischen Eingangssignals im Verteilerbus 115, der nicht an das reflektive Messelement 200(1) gerichtet wird, wird von einem weiteren optischen Verstärker 180 verstärkt, und ein weiterer optischer Koppler 130(1) und optischer Verstärker werden verwendet, um den verstärkten Abschnitt des optischen Signals an das zweite reflektive Messelement 200(2) zu liefern. Das reflektierte Signal vom Messelement 200(2) wird von einem weiteren optischen Verstärker 180 verstärkt, nachdem es durch den optischen Zirkulator 140 und den optischen Koppler 130(2) an den Rückkehrbus 116 gekoppelt wurde. Dieses Signal kann erneut von einem oder von mehreren optischen Verstärkern 180 verstärkt werden, während es durch den Rückkehrbus 116 an den optischen Detektor 120 fortgepflanzt wird. Somit werden Abschnitte des optischen Eingangssignals verstärkt bevor sie von den Messelementen 200(1), 200(2),... 200(n) empfangen werden. Ähnlich werden die reflektierten Signale von den Messelementen 200(1), 200(2),... 200(n) verstärkt, bevor sie vom optischen Detektor 120 empfangen werden.

**[0040]** Außerdem können die Kopplungsverhältnisse der optischen Koppler 130, optisch gekoppelt an den Verteilerbus 115 und den Rückkehrbus 116, die gleichen oder voneinander verschieden sein. Sie können optimiert werden, um die beste Rauschmaß-Leistung zu erzielen, oder um die rückkehrende Signalleistung von den Sensoren zu maximieren. Zum Beispiel können, unter Bezugnahme auf **Fig. 2**, die Kopplungsverhältnisse der optischen Koppler 130 ausgewählt oder angepasst werden, um den Signal-Rausch-Ausgleich unter den Messelementen 200 zu verbessern.

**[0041]** **Fig. 11 - Fig. 17** veranschaulichen andere Beispiele von optischen Geräten, die Sensoren verwenden, die im Reflexionsmodus arbeiten, in Übereinstimmung mit bestimmten Ausführungsbeispielen, die hier beschrieben werden. Einer oder mehrere der Verstärker 180 können so positioniert werden, dass ein Abschnitt des optischen Eingangssignals verstärkt werden kann, bevor der Abschnitt des optischen Eingangssignals von dem mindestens einen Messelement 200 empfangen wird, z.B. wie in **Fig. 13** und **Fig. 15** zu sehen. Einer oder mehrere der Verstärker 180 können positioniert werden, um den reflektierten Abschnitt zu verstärken, wie in **Fig. 11** und **Fig. 16**. Einer oder mehrere der Verstärker 180 können positioniert werden, um sowohl den Abschnitt des Eingangssignals als auch den reflektierten Abschnitt zu verstärken, wie in **Fig. 12, Fig. 14, und 17**.

**[0042]** In Übereinstimmung mit bestimmten Ausführungsbeispielen, die hier beschrieben werden, zeigt **Fig. 11** die Konfiguration von **Fig. 2**, wobei die optischen Verstärker 180 derart positioniert sind, dass die reflektierten Signale vom reflektiven Messelement 200 von den optischen Verstärkern 180 verstärkt werden, nachdem sie von den optischen Kopplern 130(1) gerichtet wurden, jedoch bevor sie von den optischen Kopplern 130(2) an den Rückkehrbus 116 gerichtet werden. Die optischen Verstärker 180 von **Fig. 11** verstärken die Eingangssignale, die an die Messelemente 200 fortpflanzen, nicht. Dagegen zeigt **Fig. 12** die Konfiguration von **Fig. 2**, wobei die optischen Verstärker 180 derart positioniert sind, dass Abschnitte des optischen Eingangssignals von den optischen Verstärkern 180 verstärkt werden, nachdem sie von den optischen Kopplern 130(1) gerichtet wurden, und die reflektierten Abschnitte von den Messelementen 200 von den optischen Verstärkern 180 verstärkt wurden, bevor sie von den optischen Kopplern 130(1) und 130(2) an den Rückkehrbus 116 gerichtet werden.

**[0043]** In Übereinstimmung mit bestimmten Ausführungsbeispielen, die hier beschrieben werden, zeigt **Fig. 13** die Konfiguration von **Fig. 3**, wobei die optischen Verstärker 180 derart positioniert sind, dass Abschnitte des optischen Eingangssignals von den optischen Verstärkern 180 verstärkt werden, nachdem sie von den optischen Kopplern 130(1) gerichtet wurden, jedoch bevor sie von den optischen Kopplern 130(2) an die reflektiven Messelemente 200 gerichtet werden. Die optischen Verstärker 180 von **Fig. 13** verstärken die reflektierten Abschnitte von den Messelementen 200 nicht. Dagegen zeigt **Fig. 14** die Konfiguration von **Fig. 3**, wobei die optischen Verstärker 180 derart positioniert sind, dass Abschnitte des optischen Eingangssignals von den optischen Verstärkern 180 verstärkt werden, nachdem sie von den optischen Kopplern 130(1) und 130(2) gerichtet wurden, und die reflektierten Abschnitte von den Messelementen 200 von den optischen Verstärkern 180 verstärkt wurden, bevor sie von den optischen Kopplern 130(2) an den Rückkehrbus 116 gerichtet werden.

**[0044]** In Übereinstimmung mit bestimmten Ausführungsbeispielen, die hier beschrieben werden, zeigt **Fig. 15** die Konfiguration von **Fig. 5**, wobei die optischen Verstärker 180 derart positioniert sind, dass Abschnitte des optischen Eingangssignals von den optischen Verstärkern 180 verstärkt werden, nachdem sie von den optischen Kopplern 130(1) gerichtet wurden, jedoch bevor sie von den optischen Zirkulatoren 140 an die reflektiven Messelemente 200 gerichtet werden. Die optischen Verstärker 180 von **Fig. 15** verstärken die reflektierten Abschnitte von den Messelementen 200 nicht. In Übereinstimmung mit bestimmten Ausführungsbeispielen, die hier beschrieben werden, zeigt **Fig. 16** die Konfiguration von **Fig. 5**, wobei die opti-

schen Verstärker 180 derart positioniert sind, dass die reflektierten Signale von den optischen Verstärkern 180 verstärkt werden, nachdem sie von den optischen Zirkulatoren 140 gerichtet wurden, jedoch bevor sie von den optischen Kopplern 130(2) an den Rückkehrbus 116 gerichtet werden. Die optischen Verstärker 180 von **Fig. 16** verstärken die Eingangssignale, die an die Messelemente 200 fortpflanzen werden, nicht.

**[0045]** In Übereinstimmung mit bestimmten Ausführungsbeispielen, die hier beschrieben werden, zeigt **Fig. 17** die Konfiguration von **Fig. 5**, wobei die optischen Verstärker 180 derart positioniert sind, dass Abschnitte des optischen Eingangssignals von den optischen Verstärkern 180 verstärkt werden, nachdem sie von den optischen Kopplern 130(1) und den optischen Zirkulatoren 140 gerichtet wurden, jedoch noch bevor sie von den reflektiven Messelementen 200 empfangen werden, und die reflektierten Abschnitte von den Messelementen 200 werden von den optischen Verstärkern 180 ebenfalls verstärkt, bevor sie von den optischen Zirkulatoren 140 und den optischen Kopplern 130(2) an den Rückkehrbus 116 gerichtet werden.

**[0046]** In bestimmten Ausführungsbeispielen kann ein Gerät mehr als einen Sensor pro Verstärker multiplexen. Ein Beispiel ist in **Fig. 7** zu sehen ist, wo mindestens ein reflektives Messelement 200 einen Spaltungskoppler 150 und eine Vielzahl von Sensoren 300 umfasst, wie oben beschrieben. Somit müssen in bestimmten Ausführungsbeispielen Verstärker nicht vor oder nach jedem Sensor 300 eingeschlossen werden. Die Position und die Verstärkung jedes Verstärkers 180 kann je nach der gewünschten Anwendung und den gewünschten Spezifizierungen ausgewählt werden.

**[0047]** Während z.B. die Konfiguration von **Fig. 7** einen optischen Verstärker 180 zwischen jedem Paar von aufeinander folgenden optischen Kopplern 130 entlang dem Verteilerbus 115 und zwischen jedem Paar von aufeinander folgenden optischen Kopplern 130 entlang dem Rückkehrbus 116 umfasst, weisen bestimmte Ausführungsbeispiele keinen optischen Verstärker 180 zwischen jedem aufeinander folgenden Paar von optischen Kopplern 130 entlang dem Verteilerbus 115 und dem Rückkehrbus 116 auf. Bestimmte derartige Ausführungsbeispiele umfassen einen optischen Verstärker 180 nur zwischen ausgewählten optischen Kopplern 130 (z.B. zwischen jedem zweiten Paar von optischen Kopplern 130, oder nur zwischen den optischen Kopplern 130 eines des Verteilerbusses 115 und des Rückkehrbusses 116).

**[0048]** **Fig. 4** zeigt eine Konfiguration, in der die Signal-Rausch-Verhältnisse der verschiedenen Messelemente 200 im Wesentlichen untereinander gleich sein können. In der Konfiguration von **Fig. 4** pflanzt sich das Licht durch das System fort, so dass die gesamte Menge der Verstärkung für Signale die jedem Messelement 200 entsprechen im Wesentlichen untereinander gleich ist. In bestimmten Ausführungsbeispielen, die hier beschrieben werden, siehe z.B. **Fig. 4**, wird ein erster Abschnitt des optischen Eingangssignals um einen ersten Faktor verstärkt (z.B. auf Grund der Fortpflanzung durch einen Verstärker 180 des Verteilerbusses 115). Der erste Abschnitt des optischen Eingangssignals wird vom Messelement 200(1) empfangen. Der entsprechende reflektierte Abschnitt vom Messelement 200(1) wird um einen zweiten Faktor verstärkt, bevor er vom optischen Detektor 120 empfangen wird (z.B. auf Grund der Fortpflanzung durch eine Vielzahl von Verstärkern 180 des Rückkehrbusses 116). Ein Abschnitt des optischen Eingangssignals der nicht an das Messelement 200(1) gerichtet wird, wird um einen dritten Faktor verstärkt, bevor er vom Messelement 200(2) empfangen wird. (z.B. auf Grund der Fortpflanzung durch zwei Verstärker 180 des Verteilerbusses 115). Der entsprechende reflektierte Abschnitt vom Messelement 200(2) wird um einen vierten Faktor verstärkt, bevor er vom optischen Detektor 120 empfangen wird (z.B. auf Grund der Fortpflanzung durch einen Verstärker weniger 180 des Rückkehrbusses 116). Das Gerät kann so konfiguriert sein, dass die Summe des ersten Faktors und des zweiten Faktors im Wesentlichen gleich der Summe des dritten Faktors und des vierten Faktors ist. In bestimmten derartigen Ausführungsbeispielen ist ein Signal-Rausch-Verhältnis für das reflektierte Signal vom Messelement 200(1) im Wesentlichen gleich dem Signal-Rausch-Verhältnis für das reflektierte Signal vom Messelement 200(2)

**[0049]** Als ein Beispiel wäre in dem Ausführungsbeispiel, veranschaulicht in **Fig. 4**, wenn jeder optische Verstärker 180 durch den gleichen Prozentsatz der Verstärkung verstärkt (z.B. durch eine Verstärkung  $g$ ), der erste Faktor  $g$ , da das optische Eingangssignal durch einen optischen Verstärker 180 des Verteilerbusses 115 verstärkt wird, bevor es vom reflektiven Messelement 200(1) empfangen wird. Der zweite Faktor wäre  $(n \times g)$ , da das reflektierte Signal vom Messelement 200(1) durch  $n$  optische Verstärker 180 des Rückkehrbusses 116 verstärkt wird, bevor es vom optischen Detektor 120 empfangen wird. Der dritte Faktor wäre  $(2 \times g)$ , da der Abschnitt des optischen Eingangssignals durch zwei optische Verstärker 180 des Verteilerbusses 115 verstärkt wird, bevor er vom reflektiven Messelement 200(2) empfangen wird. Der vierte Faktor wäre  $[(n-1) \times g]$ , da das reflektierte Signal vom Messelement 200(2) durch  $(n-1)$  optische Verstärker 180 des Rückkehrbusses 116 verstärkt wird, bevor es vom optischen Detektor 120 empfangen wird. In diesem Ausführungsbeispiel ist die Summe des ersten Faktors und des zweiten Faktors  $[g + (n \times g) = (n+1) \times g]$  gleich der Summe des

dritten Faktors und des vierten Faktors  $[(2 \times g) + (n-1) \times g = (n+1) \times g]$ . In bestimmten Ausführungsbeispielen, in denen es zu Verlusten in jeder Stufe kommt, (z.B. zwischen den und darin eingeschlossen die optischen Koppler(n) 130(1) und 130(2) auf jeder Seite eines Messelements 200), kann jeder optische Verstärker 180 so konfiguriert sein, dass die Verstärkung vom optischen Verstärker 180 dem Verlust auf der entsprechenden Stufe gleicht, und es zu keinem Nettogewinn am Ausgang käme.

**[0050]** In bestimmten Ausführungsbeispielen mit aktiven Anordnungen(wovon ein Beispiel schematisch von **Fig. 4** veranschaulicht wird), können die optischen Koppler 130 auf dem Verteilerbus 115 und dem Rückkehrbus 116 einen Abschnitt der Leistung auf der Signalwellenlänge koppeln (z.B. Kopplungsverhältnis optimiert für Signal-Rausch für ein bestimmtes Eingangsleistungsbudget). In bestimmten Ausführungsbeispielen können die optischen Koppler 130 null Prozent an der Pumpwellenlänge koppeln, und im Wesentlichen kann die gesamte Leistung an der Pumpwellenlänge übertragen werden, um das Pumpleistungsbudget zu minimieren.

**[0051]** Fachleute würden erkennen, dass der Prozentsatz der Verstärkung für jeden optischen Verstärker 180 nicht der gleiche für alle optischen Verstärker 180 sein muss, und dass die Anzahl von optischen Verstärkern 180 für jedes reflektive Messelement 200 nicht gleich für die Summe des ersten Faktors und des zweiten Faktors ein muss, um im Wesentlichen der Summe des dritten Faktors und des vierten Faktors zu gleichen.

**[0052]** Fachleute können die geeignete Anzahl von Verstärkern und Prozentsätze von Verstärkungen der Verstärker wählen, um dieses Ergebnis angesichts der hier bereitgestellten Offenbarung zu erzielen.

**[0053]** **Fig. 18** veranschaulicht schematisch ein Beispiel eines Geräts, das einen einzigen optischen Bus verwendet, in Übereinstimmung mit bestimmten Ausführungsbeispielen, die hier beschrieben werden. Bestimmte derartige Ausführungsbeispiele weisen den Vorteil auf, dass sie nur eine Faser sowohl für die Verteilung des optischen Eingangssignals als auch für die Übertragung des zurückkehrenden optischen Signals verwenden. Diese Ausführungsbeispiele können konfiguriert sein, um mindestens eine optische Quelle 110 und mindestens einen optischen Detektor 120 am vorderen Ende des optischen Busses zu umfassen, wie in **Fig. 18** schematisch veranschaulicht.

**[0054]** In bestimmten Ausführungsbeispielen, z.B. **Fig. 18**, bewegen sich die Pumpe von der Laser-Pumplichtquelle 170 und das nicht modulierte Signal von der Lasersignalquelle 110 durch das Gerät. Sie werden vom optischen Zirkulator 140(1) und dem optischen Koppler 130(1) an das reflektive Messelement 200(1) gerichtet. Das reflektierte Signal vom Messelement 200(1) wird vom optischen Koppler 130(1) und dem optischen Zirkulator 140(1) an den optischen Detektor 120 gerichtet. Ein Abschnitt des optischen Eingangssignals, der nicht an das reflektive Messelement 200(1) gerichtet wird, wird vom optischen Zirkulator 140(2) an den optischen Verstärker 180 und den Reflektor 195 gerichtet. Der Reflektor 195 reflektiert mindestens einen Abschnitt des Signals zurück durch den optischen Verstärker 180 und wird vom optischen Zirkulator 140(2) an den optischen Koppler 130(2) gerichtet, der das Signal an das Messelement 200(2) richtet. Der reflektierte Abschnitt vom Messelement 200(2) wird vom optischen Koppler 130(2) zurück an den optischen Zirkulator 140(2) gerichtet. Der optische Zirkulator 140(2) richtet das reflektierte Signal zurück an den optischen Koppler 130(1). Der optische Koppler 130(1) richtet das reflektierte Signal über den optischen Zirkulator 140(1) an den optischen Detektor 120.

**[0055]** Auf diese Weise werden Abschnitte des optischen Eingangssignals von den optischen Zirkulatoren 140 und den optischen Kopplern 130 an die reflektiven Messelemente 200(1), 200(2),... 200(n) gerichtet. Die optischen Zirkulatoren 140 und die optischen Koppler 130richten auch die Abschnitte des nicht modulierten optischen Eingangssignals an die optischen Verstärker 180 und Reflektoren 195. Signale passieren durch die optischen Verstärker 180 und werden dann durch die Reflektoren 195 reflektiert, die die Signale veranlassen, erneut durch die optischen Verstärker 180 zu passieren. Da die Signale zweimal durch die optischen Verstärker passieren, kann dieses Ausführungsbeispiel die Größe (z.B. die Länge) der optischen Verstärker 180 reduzieren, die verwendet werden, um eine bestimmte Verstärkung zu erzielen. Die nicht modulierten Signale, reflektiert von den Reflektoren 195, werden in den verbleibenden Teil des Geräts als abfragende Signale eingegeben, die die verbleibenden Messelemente 200 im Gerät abtasten. Andererseits können in diesem Ausführungsbeispiel die reflektierten Abschnitte von den Messelementen 200 nur auf das vordere Ende gerichtet werden (d.h. das Ende, an dem die Eingangssignale in das System eingeführt werden), wo sich der optische Detektor 120 und alle anderen empfangenden Elektronikvorrichtungen befinden.

**[0056]** Es ist möglich, den optischen Zirkulator 140 (1), der verwendet wird, um das Antwortsignal vom Gerät an mit dem optischen Detektor 120 am vorderen Ende zu koppeln, durch eine Kombination eines optischen

Isolators und eines optischen Kopplers zu ersetzen. Fachleute würden die Kosten eines zusätzlichen Verlusts, der sich aus dem Spleißverlust des Kopplers ergibt, erkennen. Außerdem ist es möglich, optische Isolatoren in den Abschnitten des Systems zu verwenden, darin eingeschlossen Messelemente, um zu verhindern, dass das Signal an der Pumpwellenlänge das Messelement erreicht.

**[0057]** Fachleute würden erkennen, dass bestimmte Ausführungsbeispiele des Geräts modifiziert werden können, so dass mindestens ein Abschnitt des reflektierten Abschnitts von einem Messelement von einem Reflektor reflektiert werden kann, so dass der Abschnitt des reflektierten Abschnitts zweimal durch einen Verstärker passiert.

**[0058]** In bestimmten Ausführungsbeispielen ist ein optischer Filter auf dem optischen Bus positioniert, so dass der reflektierte Abschnitt durch den Filter passiert, bevor er von einem optischen Detektor empfangen wird. Der Filter kann weißes Rauschen ausfiltern.

**[0059]** **Fig. 19** ist ein Ablaufdiagramm eines exemplarischen Verfahrens 500, um einen optischen Bus zu konfigurieren, um optisch mit einer Vielzahl von reflektiven Messelementen gekoppelt zu sein, in Übereinstimmung mit bestimmten Ausführungsbeispielen, die hier beschrieben werden. Das Verfahren 500 umfasst die Bereitstellung von mindestens einem optischen Bus 100, wie im Betriebsblock 510 von **Fig. 19** gezeigt. Der optische Bus 100 umfasst eine Vielzahl von optischen Kopplern 130. Der mindestens eine optische Bus 100 ist konfiguriert, um optisch mit mindestens einer Quelle 110 von optischen Eingangssignalen an mindestens einen optischen Detektor 120, und an eine Vielzahl von reflektiven Messelementen 200 durch die Vielzahl von optischen Kopplern 130 gekoppelt zu sein. Der mindestens eine optische Bus 100 überträgt ein optisches Eingangssignal von der mindestens einen Quelle 110 an die Vielzahl von reflektiven Messelementen 200, so dass mindestens ein reflektives Messelement 200 (1) der Vielzahl von reflektiven Messelementen 200 einen Abschnitt des optischen Eingangssignals empfängt und mindestens einen Abschnitt des empfangenen Abschnitts reflektiert. Der mindestens eine optische Bus 100 überträgt den reflektierten Abschnitt an den mindestens einen optischen Detektor 120. Das Verfahren 500 umfasst auch die Auswahl von Kopplungsverhältnissen aus der Vielzahl von optischen Kopplern 130, um ein Rauschmaß des mindestens einen reflektiven Messelements 200 (1) zu reduzieren, wie im Betriebsblock 520 von **Fig. 19** gezeigt.

**[0060]** **Fig. 20** ist ein Ablaufdiagramm eines weiteren exemplarischen Ausführungsbeispiels eines Verfahrens 600, um einen optischen Bus zu konfigurieren, um optisch mit einer Vielzahl von reflektiven Messelementen gekoppelt zu sein, in Übereinstimmung mit bestimmten Ausführungsbeispielen, die hier beschrieben werden. Das Verfahren 600 umfasst die Betriebsblöcke 510 und 520, wie hier beschrieben. Das Verfahren 600 umfasst weiter die Verstärkung des Abschnitts des optischen Eingangssignals, um Verluste in dem mindestens einen optischen Bus 100 zu kompensieren, wie im Betriebsblock 610 gezeigt.

**[0061]** **Fig. 21** ist ein Ablaufdiagramm eines weiteren exemplarischen Ausführungsbeispiels eines Verfahrens 650, um einen optischen Bus zu konfigurieren, um optisch mit einer Vielzahl von reflektiven Messelementen gekoppelt zu sein, in Übereinstimmung mit bestimmten Ausführungsbeispielen, die hier beschrieben werden. Das Verfahren 650 umfasst die Betriebsblöcke 510 und 520, wie hier beschrieben. Das Verfahren 650 umfasst weiter die Verstärkung des reflektierten Abschnitts, um Verluste in dem mindestens einen optischen Bus 100 zu kompensieren, wie im Betriebsblock 660 gezeigt.

**[0062]** Ein weiteres exemplarisches Ausführungsbeispiel eines Verfahrens 700, um einen optischen Bus zu konfigurieren, um optisch mit einer Vielzahl von reflektiven Messelementen gekoppelt zu sein, in Übereinstimmung mit bestimmten Ausführungsbeispielen, die hier beschrieben werden, wird im Ablaufdiagramm von **Fig. 22** gezeigt. Das Verfahren 700 umfasst die Betriebsblöcke 510 und 520, wie hier beschrieben. Das Verfahren 700 umfasst weiter die Verstärkung eines ersten Abschnitts des optischen Eingangssignals durch einen ersten Faktor im Betriebsblock 710, den Empfang des ersten Abschnitts des optischen Eingangssignals durch ein erstes Messelement 200(1) im Betriebsblock 720, die Verstärkung des entsprechenden reflektierten Abschnitts vom ersten Messelement 200(1) durch einen zweiten Faktor im Betriebsblock 730, die Verstärkung eines zweiten Abschnitts des optischen Eingangssignals durch einen dritten Faktor im Betriebsblock 740, den Empfang des zweiten Abschnitts des optischen Eingangssignals durch ein zweites Messelement 200(2) im Betriebsblock 750, und die Verstärkung des reflektierten Abschnitts vom zweiten Messelement 200(2) durch einen vierten Faktor im Betriebsblock 760. Die Summe des ersten Faktors und des zweiten Faktors ist im Wesentlichen gleich der Summe des dritten Faktors.

**[0063]** **Fig. 23** ist ein Ablaufdiagramm eines weiteren exemplarischen Ausführungsbeispiels eines Verfahrens 800, um einen optischen Bus zu konfigurieren, um optisch mit einer Vielzahl von reflektiven Messele-

menten gekoppelt zu sein, in Übereinstimmung mit bestimmten Ausführungsbeispielen, die hier beschrieben werden. Das Verfahren 800 umfasst die Betriebsblöcke 510 und 520, wie hier beschrieben. Das Verfahren 800 umfasst weiter die Verstärkung des Abschnitts des optischen Eingangssignals durch einen optischen Verstärker 180 im Betriebsblock 810, die Reflexion mindestens eines Abschnitts des optischen Eingangssignals durch einen optischen Reflektor 195 im Betriebsblock 820, und die Verstärkung des Abschnitts des optischen Eingangssignals, das vom optischen Reflektor 195, vom optischen Verstärker 180 reflektiert wurde, erneut im Betriebsblock 830.

**[0064]** In bestimmten Ausführungsbeispielen wird ein Verfahren 900, um einen optischen Bus zu konfigurieren, um optisch mit einer Vielzahl von reflektiven Messelementen gekoppelt zu sein, im Ablaufdiagramm von **Fig. 24** gezeigt. Das Verfahren 900 umfasst die Betriebsblöcke 510 und 520, wie hier beschrieben. Das Verfahren 900 umfasst weiter die Verstärkung des reflektierten Abschnitts durch einen optischen Verstärker 180 im Betriebsblock 910, die Reflektierung mindestens eines Abschnitts des reflektierten Abschnitts durch einen optischen Reflektor 195 im Betriebsblock 920, und die Verstärkung des reflektierten Abschnitts durch den optischen Verstärker 180, erneut im Betriebsblock 930.

**[0065]** **Fig. 25** ist ein Ablaufdiagramm eines weiteren Ausführungsbeispiels eines Verfahrens 1000, um einen optischen Bus zu konfigurieren, um optisch mit einer Vielzahl von reflektiven Messelementen gekoppelt zu sein, in Übereinstimmung mit bestimmten Ausführungsbeispielen, die hier beschrieben werden. Das Verfahren 1000 umfasst die Betriebsblöcke 510 und 520, wie hier beschrieben. Das Verfahren 1000 umfasst weiter die Ausfilterung von weißem Rauschen, wie im Betriebsblock 1010 gezeigt.

#### Beispiel

**[0066]** **Fig. 10B** veranschaulicht schematisch ein exemplarisches Gerät 10 in Übereinstimmung mit bestimmten Ausführungsbeispielen, die hier beschrieben werden, das Zeitdivisionsmultiplexing (TDM) verwendet. Der Verteilerbus 115 und der Rückkehrbus 116 sind durch eine Reihe von Stufen miteinander gekoppelt (z.B. zwischen dem optischen Koppler 130(1) und dem optischen Koppler 130(2)), von denen jeder ein Messelement 200 umfasst. **Fig. 26** zeigt ein Rasterelektronenmikroskop-Bild einer photonischen Kristallmembran und veranschaulicht schematisch einen Fabry-Perot (FP) interferometrischen Sensor der eine photonische Kristallmembran verwendet, und der als das Messelement 200 für das exemplarische Gerät von **Fig. 10B** verwendet werden kann. Der FP-Sensor umfasst einen ersten Reflektor (z.B. eine 450 nm dicke photonische Kristallmembran aus Einkristallsilizium wobei es sich um einen Breitbandreflektor von ungefähr 1,55 Mikrometer handelt), konfiguriert, um in Antwort auf eine akustische Wellenstörung auf dem Sensor abzulenken, und einen zweiten Reflektor (z.B. einer gespaltenen Spitze einer Einmodus SMF-28-Faser), die etwa 25 Mikrometer vom ersten Reflektor entfernt angeordnet ist. Derartige Messelemente 200 werden in O.C. Akkaya et al., „Modeling and Demonstration of Thermally Stable high-Sensitivity Reproducible Acoustic Sensors,“ J. of Microelectromechanical Systems, vol. 21, no. 6, 2012, beschrieben. Die Lichtsignalquelle 110 umfasst eine rauscharme 1550 nm Laserdiode mit einer Linienbreite von 15 kHz, gefolgt von einem optischen Isolator und einem 2.5-Gb/s LiNbO<sub>3</sub> Intensitätsmodulator, der 200 ns Impulse mit einer Wiederholungsrate von 80 kHz umfasst (z.B. ein Arbeitszyklus von 1,6 %).

**[0067]** Wenn ein Impuls in die Verteilungsfaser 115 eingeführt wird, trifft er auf der ersten Stufe auf den Koppler 130(1), der einen kleinen Abschnitt der Impulsenergie mit dem ersten Messelement 200(1), das sich in dieser Stufe befindet, über einen optischen Zirkulator 140 koppelt. Am Messelement 200(1) wird der Impuls vom akustischen Druck amplitudenmoduliert, der auf das Messelement 200(1) wirkt. Der amplitudenmodulierte Impuls, reflektiert durch das Messelement 200(1) wird durch den gleichen Zirkulator 140(1) auf den Boden der Stufe gerichtet, wo ihn ein zweiter Kuppler 130(2) auf die Rückkehrfaser 116 koppelt. Auf der Verteilungsfaser 115 bewegt sich der Abschnitt des Eingangsimpulses, der vom ersten Koppler 130(1) übertragen wird, an die zweite Stufe, wo eine Fraktion seiner Energie in die zweite Stufe gekoppelt wird, wo er das zweite Messelement 200(2) abtastet. Das Verfahren geht weiter, bis der Eingangsimpuls an das Ende der Anordnung gelangt, und alle Messelemente 200 abgefragt wurden. Bei einem bestimmten Eingangsimpuls generiert die Anordnung daher eine Reihe von N Rückkehrimpulsen, von denen jeder ein bestimmtes Messelement 200 abgetastet hat. Wenn der erste Eingangsimpuls an das Ende der Anordnung gelangt, und zum Detektor 120 zurückkehrt, kann ein zweiter Eingangsimpuls in die Anordnung eingeführt werden, so dass die Messelemente 200 abgefragt werden (z.B. so häufig wie möglich). Die rückkehrenden Impulse werden am vorderen Ende mit einem einzigen Photodetektor 120 nachgewiesen, der am Ende der Rückkehrfaser 116 angeordnet ist.

**[0068]** Die Koppler 130(1) und 130(2) waren nominal identisch mit einem Kopplungsverhältnis von 60 % an der Signalwellenlänge. Die optischen Zirkulatoren ermöglichen die Sendung der Impulse nur in einer Richtung, wodurch verhindert wird, dass die Impulse, die von den Messelementen 200 reflektiert werden, wieder zurück in die Verteilungsfaser 115 gekoppelt werden, wodurch vermieden wird, dass zusätzliche optische Isolatoren verwendet werden, und die Kosten und die Komplexität des Geräts 10 reduziert werden. Optische Verzögerungslinien (d.h. Faserspulen mit einer Länge von 100 Metern) können zwischen jeder Stufe angebracht werden, um eine vorübergehende Überlappung zwischen zurückkehrenden Impulsen mit einer Verzögerung zwischen benachbarten zurückkehrenden Impulsen von 480 ns zu vermeiden,.

**[0069]** Das exemplarische Gerät 10 von **Fig. 10B** wurde entworfen, damit in jedes Messelement 200 eine gleiche optische Leistung eingeführt wird, und um über ein ähnliches Ausgangssignal-Rausch-Verhältnis (SNR) für die Antworten aller Messelemente 200 zu verfügen. In einer passiven Anordnung können unvermeidliche Verluste zu einer Dämpfung der Impulse führen, wenn sie sich durch das exemplarische Gerät 10 bewegen. Zum Beispiel ergeben Spleißverluste an den Kopplern 130 (~ 4 dB), Einführungsverluste der Koppler 130 (~ 0,5 dB), und Spleißverluste (~ 0,01 dB/Spleißung) einen gesamten Verlust von ~ 5dB/Stufe, der die Ausgabe-SNR wesentlich verschlechtern kann, wenn eine große Anzahl von Messelementen 200 gemultipliziert wird. In einer passiven Anordnung mit zehn Sensoren impliziert dieser Verlust, dass das eingeführte Signal am zehnten Sensor ~ 50 dB geringer als am ersten Sensor wäre. Diese signifikante Dämpfung kann die Anzahl von Messelementen 200 begrenzen, die in einem derartigen TDM-System gemultipliziert werden können.

**[0070]** Um diese Verluste zu kompensieren können zahlreiche optische Verstärker 180 mit niedriger Verstärkung (z.B. EDFAs), die sich sowohl entlang der Verteilungsfaser 115 als auch der Rückkehrfaser 116, befinden, vor jedem Faserkoppler 130(1) und 130(2) verwendet werden, wie z.B. in **Fig. 10B** gezeigt. Diese Verstärker 180 können entfernt mit der Laser-Pumplichtquelle 170 gepumpt werden und können eine rein optische Verstärkung der Impulse ermöglichen, wenn sie sich durch das exemplarische Gerät 10 bewegen. Um die Pumpleistung zu bewahren, können die Koppler 130 WDM-Koppler sein, die eine zu vernachlässigende Kopplung an der Pumpwellenlänge (z.B. 980 nm) aufweisen, so dass sie keine Pumpleistung von der Verteilungsfaser 115 oder der Rückkehrfaser 116 ableiten. Der Verstärker 180 kann unter strenger Pumpsättigung betrieben werden, so dass die Pumpleistung, die nicht von einem Verstärker 180 absorbiert wird, weiterhin durch die Faser nach unten läuft und die nachgelagerten Verstärker 180 pumpt.

**[0071]** Für eine gleiche Leistung in den Impulsen, die von allen Stufen zurückkehren, oder gleichwertig eine Fast-Einheit-Übertragung an der Signal-Wellenlänge entlang jeder Faser, wird die Verstärkung jedes Verstärkers 180 eingestellt, um dem Verlust zu gleichen. Zum Beispiel kann die Verstärkung der Folgenden Formel entsprechen:

$$G = \frac{1}{(1-C)\Gamma_{Er}^2\Gamma_{\delta}} \quad (1)$$

wobei  $\Gamma_{Er}$  der Verlust einer Spleißung zwischen einer Einmodus-Faser und einer Erbium-dotierten Faser (EDF) ist,  $\Gamma_{\delta}$  -der überschüssige Leistungsverlust in den Kopplern 130 ist, und C das Kopplungsverhältnis an der Signal-Wellenlänge ist. Eine Verstärkung von ungefähr 5 dB pro Verstärker 180 kann durch die Verwendung einer ~ 45 cm langen kommerziellen EDF erzielt werden. Die Verstärker 180 können mit zwei 980 nm Laserdioden gepumpt werden, die sich am vorderen Ende befinden (z.B. zwei ~ 450-mW Laserdioden, jeweils angetrieben von einer 1-A-Stromquelle), und die Pumpleistung kann ausgewählt werden, um sicherzustellen, dass der letzte Verstärker 180 ausreichend Leistung erhält (z.B. - 100 mW), so dass er ebenfalls pumpgesättigt ist, so dass die Abhängigkeit der Verstärkung von den Variationen der Pumpleistung minimiert ist.

**[0072]** Je höher das Kopplungsverhältnis an der Signal-Wellenlänge ist, desto höher ist das Signal, das in jedes Messelement 200 eingeführt wird, und desto höher ist die SNR für alle Messelemente 200. Jedoch erhöht ein höheres Kopplungsverhältnis auch die Spleißverluste, und die höhere Verstärkung, die für jeden Verstärker verwendet wird, um einen derartigen Verlust auszugleichen, kann zu einem höheren Rauschen führen, generiert durch jeden Verstärker, und ein höhere Pumpleistungsbudget. Für das exemplarische Gerät mit zehn Sensoren von **Fig. 10B** war die Erhöhung des Rauschens bei erhöhter Verstärkung vernachlässigbar. Daher war die Pumpleistung eine bedeutende Beschränkung bei der Bestimmung des optimalen Kopplungsverhältnisses. Das Kopplungsverhältnis von 60 % wurde ausgewählt, da es den maximalen Wert für eine Pumpleistung von 450 mW auf jeder Faser darstellte.

**[0073]** Die Zeitdomänen-Operation dieses Beispielgeräts 10 wird in **Fig. 27** veranschaulicht.  $S_{in}(t)$  stellt den Signal-Leistungseingang in das Gerät 10 dar, und  $S_r$  ist die Signalleistung in jedem der Impulse, die an den Empfänger zurückkehren ( $r = 1, 2, \dots, 10$ ). Am empfangenden Ende nimmt das optische Gatter den Impuls aus einem spezifischen Messelement 200, das durch die geeignete Einstellung des RF-Verzögerungsgenerators gewählt werden kann, der durch den RF-Impulsgenerator ausgelöst wird, der den Intensitätsmodulator am Eingang antreibt. Somit generiert das optische Gatter eine Folge von  $\sim 220$  ns Impulsen bei einer Wiederholungsrate von 80 kHz mit einer variablen Verzögerung. Die Auswahl und die Analyse der Antwort jeden individuellen Sensor in  $S_r$ , ein Sensor nach dem anderen, kann durch die Variation der Verzögerung erfolgen, wie z.B. den Impuls, der von  $S_3$  zurückkehrt, gezeigt in **Fig. 27**. Dem optischen Gatter folgt ein EDFA-Modul, um den Impuls vorzuverstärken und den Einführungsverlust des Gatters auszugleichen. Diesem EDFA folgt ein optischer Bandpass-Filter (BPF) mit einer Bandbreite von  $\sim 1$  nm. Dieser Filter weist den Abschnitt der verstärkten spontanen Emission (ASE) zurück, generiert von den EDFAs der aus der Signalbandbreite fällt, der im Wesentlichen den SNR-Impuls verbessert. Der Ausgang des BPF wird von einer 1-GHz InGaAs PIN-Fotodiode nachgewiesen. Das Fotodiodensignal wird von einem Spannungsverstärker verstärkt, mit einer Spannungsverstärkung von 24 dB und einem Rauschmaß von 2,9 dB. Der Spannungsverstärker wird in einen dynamischen Signalanalysator (DSA) eingegeben, um das Signal zu analysieren.

**[0074]** Das exemplarische Gerät 10 von **Fig. 10B** wurde Schritt für Schritt montiert. Vor der Montage des nächsten Schritts wurde der Ausgang der Anordnung überwacht, um sicherzustellen, dass keine Schwankungen aufgrund von Mehrweg-Störungen oder unerwünschten Reflexionen vorlagen. Das Rauschen in den Signalimpulsen, die vom letzten installierten Schritt zurückkehren, und die Pumpleistung, die durch den Schritt passiert, wurde ebenfalls gemessen, um die Leistung des exemplarischen Geräts 10 zu überwachen.

**[0075]** Die akustische Charakterisierung der individuellen Messelemente 200 erfolgte durch die Einführung von  $\sim 0,1$  mW durchschnittlicher optischer Signalleistung in das exemplarische Gerät 10. Während alle 10 Messelemente 200 an das exemplarische Gerät 10 verbunden waren, wurde das zu charakterisierende Messelement 200 in einem akustisch isolierten Raum mit Antireflexionswänden angebracht. Dieser Raum minimierte die Umgebungsgeräusche, die andernfalls insbesondere die Niederfrequenz-Messungen beeinträchtigen würden. Eine akustische Quelle, angeordnet in der Kammer, wurde bei einer festen Frequenz betrieben. Die Antireflexionswände des Raums reduzierten die akustischen Resonanzen aufgrund von Reflexionen von den Wänden und verhinderten die Bildung von stehenden Wellen und ergaben fast einen gleichförmigen akustischen Druck in der Kammer. Durch die Einstellung der Verzögerung auf dem RF-Generator wurde der Ausgangsimpuls des bestimmten Messelements 200, das getestet wurde, ausgewählt, und die SNR der Antwort dieses Messelements 200 wurde mit dem DSA analysiert.

**[0076]** Die Eingangs-Impulsfolge  $S_{in}(t)$  ist eine periodische Aufeinanderfolge von Rechteckimpulsen mit einer vorübergehenden Leistungsverteilung  $\text{Rect}(t/DT)$  mit der Breite  $\xi$  der Wiederholungsperiode  $T$  und dem Arbeitszyklus  $D = \xi/T$ . Er kann mathematisch beschrieben werden als eine Faltung in der Zeitdomäne einer unendlichen periodischen Kette von Diracschen Funktionen,  $\Lambda$ , und einem Rechteckimpuls:

$$S_{in}(t) = 1/T \left\{ \text{Rect}[t/(D.T)] * \lambda(t/T) \right\} \cdot \text{Rect}(t/z) \quad (2)$$

wobei  $z$  die Dauer des Messfensters ist. Durch die Verwendung der Fourier-Transformation von Gleichung 2, kann die Frequenzdomänen-Darstellung dieser Impulsfolge wie folgt berechnet werden:

$$Z_{in}(f) = DTz \left[ \text{sinc}(DTf) \cdot \Lambda(Tf) \right] * \text{sinc}(zf) \quad (3)$$

wobei es sich um eine Folge von Diracschen Deltafunktionen mit einer Hülle, moduliert durch  $\text{sinc}(DTf)$ , handelt. Die Amplitudenmodulation, angewendet auf die Impulse einer derartigen Impulsfolge, führt Seitenbanden im Frequenzspektrum des Signals  $Z_{in}(f)$  ein. Diese Seitenbanden wurden verwendet, um das Ausgangssignal zu demodulieren und das akustische Signal von der Ausgangsimpulssequenz wiederzugewinnen. Die Kalibrierung erfolgte durch die Messung des gegenwärtig einwirkenden akustischen Drucks über ein kalibriertes Referenzmikrofon, das im Raum, ungefähr 1 cm vom Messelement 200, das getestet wird, entfernt angebracht ist. Die SNR der Messelementantwort wurde charakterisiert durch den Vergleich der Amplitude der Seitenbande mit Bezug auf das Grundrauschen bei der Frequenz des akustischen Signals. Der minimale nachweisbare Druck (MDP), in  $\mu\text{Pa}/\sqrt{\text{Hz}}$ , wurde durch die Teilung des akustischen Drucks (gemessen mit dem Referenzmikrofon) durch die SNR erhalten.

**[0077]** Wie von Gleichung 3 dargelegt, passt sich die Amplitude des Signals linear dem Arbeitszyklus an, da die Energie in dem Impuls, der moduliert wird, proportional zur Impulsbreite ist, während die Auswirkung des Arbeitszyklus auf das Rauschen minimal ist, wenn das Rauschen durch das thermische Rauschen des Photodetektors begrenzt ist, wie dies beim exemplarischen Gerät 10 von **Fig. 10B** der Fall ist.. Daher passt sich unter diesen experimentellen Bedingungen die SNR linear an D an. Um diesen Punkt experimentell zu überprüfen, wurde ein bestimmter Sensor (optisch mit dem exemplarischen Gerät 10 verbunden) in den akustischen Raum eingeführt, und alle anderen Messelemente 200 des exemplarischen Geräts 10 wurden optisch abgeschaltet. Die SNR der Antwort wurde gemessen, als die Impulsbreite erhöht wurde (wobei die Wiederholungsperiode konstant bei 80 kHz gehalten wurde). Die Ergebnisse werden in **Fig. 28** gezeigt. Die lineare Regression, gezeigt in der Figur, weist eine Neigung von 0,9 auf. Da der Arbeitszyklus von 0,4 % bis - 100 % variiert wurde, hat sich gezeigt, dass sich die gemessene SNR fast linear mit dem Arbeitszyklus erhöht, mit einer Neigung nahe dem erwarteten Einheitswert.

**[0078]** Die Demodulationstechnik, wie oben mit Bezug auf Gleichung 3 beschrieben, wurde für jedes der 10 Messelemente 200 individuell durchgeführt, während alle Messelemente 200 im exemplarische Gerät 10 verbunden waren, Während dieser Messungen wurde das Messelement 200, das getestet wurde, an die akustische Quelle (100 mPa bei 12,5 kHz) ausgesetzt, während die anderen neun Messelemente 200 vom akustischen Signal isoliert wurden (außerhalb des akustischen Raums). Die Verteilung der gemessenen SNR wird in **Fig. 29** gezeigt. Die durchschnittliche SNR für alle zehn Messelemente 200 bei dieser Frequenz wurde als 43,83 dB Hz<sup>1/2</sup> gemessen mit einer Standardabweichung von 0,67 dB Hz<sup>1/2</sup> und einer maximalen Abweichung von ±0,95 dB Hz<sup>1/2</sup> vom Messelement 200 zum Messelement 200. Diese kleine Abweichung der SNR war hilfreich für das Multiplexing einer großen Anzahl von FP-Inferometer-Messelementen 200 im exemplarischen Gerät 10.

**[0079]** Um die Übersprechungen zwischen Messelementantworten zu charakterisieren, wurde das SNR-Charakterisierungsverfahren, das oben beschrieben wurde, wiederholt, aber das optische Ausgangsgatter zu jedem der verbleibenden neun Impulse benachbart zu demjenigen, der von der akustischen Quelle moduliert wurde, wurden nacheinander geschaltet. Auf diese Weise wurde versucht, jedes unerwünschte Signal bei der akustischen Sequenz, aufgenommen von einem benachbarten Kanal, zu identifizieren, wie dies z.B. als Ergebnis des endlichen Extinktionsverhältnisses der Modulatoren, einer geringfügigen Überlappung zwischen den Pulsen usw. erfolgen kann. Es wurden keine Signale, die das Grundrauschen (-22 dB) überstiegen, auf einem der neun nicht erregten Messelemente 200 beobachtet, was zu der Schlussfolgerung führte, dass die Übersprechungen des exemplarischen Geräts 10 von **Fig. 10B** besser als -22 dB sind. Wie oben beschrieben ermöglicht der Ansatz der Frequenzdomänen-Demodulation die Demodulation des Ausgangssignals, wenn ein Impuls in einem Abtastzeitraum amplitudenmoduliert wird. Um das Ausgangssignal zu demodulieren, während alle Messelemente 200 gleichzeitig erregt werden, z.B. während alle Impulse in einem Zeitraum amplitudenmoduliert werden, können die Extinktionsverhältnisse des Eingangsintensitätsmodulators und des optischen Eingangsgatters so ausgewählt werden, dass sie hoch sind (z.B. > 50 dB). Zum Beispiel kann dieser Zustand beim Extinktionsverhältnis erreicht werden, indem zwei Modulatoren verwendet werden, die in Reihe miteinander verbunden sind und in Synchronisation miteinander angetrieben werden.

**[0080]** Um die Polarisationsunempfindlichkeit des exemplarischen Geräts 10 zu zeigen, wurde eine Polarisationssteuerung auf der fünften Stufe eingeführt, zwischen dem Messelement 200 und dem optischen Zirkulator 140, und die SNR für diese bestimmte Messelementantwort wurde für eine große Anzahl von Einstellungen der Polarisationssteuerung getestet (z.B. im Wesentlichen alle möglichen Eingangszustände der Polarisation (SOPs)). Es wurden keine Variationen der SNR beobachtet, wenn der Polarisationszustand geändert wurde. Bei praktischen Anwendungen fluktuiert der Eingangs-SOP, der auf ein Messelement 200 wirkt, wahrscheinlich zufällig aufgrund der Variationen der Außentemperatur, und dieser Test gibt an, dass das exemplarische Gerät 10 von **Fig. 10B** auf derartige Variationen unempfindlich ist.

**[0081]** Um die dominanten Rauschteile auf den Ausgangsimpulsen der Anordnung und die Parameter, die sich auf diese Anteile auswirken, zu verstehen, kann das Signal, das von jedem Messelement zurückkehrt, und das Rauschen, das damit assoziiert ist, modelliert werden. Mit der Verstärkung, die ausgewählt wird, um eine Einheits-Übertragung bereitzustellen, wie in Gleichung 1 vorgeschrieben, sind die Spitzenleistungen des Impulses P<sub>s</sub>, die von allen Messelementen zurückkehren, gleich und wie folgt:

$$P_s = P_{IN} \frac{C^2 \Gamma^2 L_S}{(1-C)^2} \quad (4)$$

wobei  $P_{IN}$  die Spitzenleistung der Impulseingabe in die Anordnung ist,  $\Gamma_v$  der überschüssige Leistungsverlust in jedem Zirkulator ist, und  $L_s$  der Sensorverlust ist. Wenn die optische Leistung, die auf einen Sensor wirkt,  $P_i$  ist, ist die reflektierte Leistung an der Wellenlänge mit der höchsten Empfindlichkeit  $P_i/4$ . Daher ist der Sensorverlust  $L_s = 6$  dB.

**[0082]** Das gesamte Rauschen im nachgewiesenen Signal weist im Allgemeinen fünf hauptsächliche Quellen auf, nämlich EDFA-Rauschen, Signal-Schrotrauschen, thermisches Rauschen des Photodetektors, relatives Laser-Intensitätsrauschen (RIN), und thermomechanisches Rauschen des Sensors. Das ASE-Signal ist ein Dauerstrich-Signal, somit ist es kumulativ und für alle Messelement-Antworten gleich. Die gesamte ASE-Leistung, nachgewiesen in der Photodiode, ist die Summe der ASE-Leistungen, die von allen EDFAs auf den zwei Fasern generiert werden. Die ASE-Signale folgen dem gleichen Weg wie die Signalimpulse und erfahren keine Nettoverstärkung oder keinen Nettoverlust auf der individuellen Faser. Sie spalten die Verteilungsfaser ab, werden auf dem Messelement reflektiert und werden in die Rückkehrfaser gekoppelt, um an den Detektor übertragen zu werden. Um die kumulierte ASE-Leistung am Detektor zu berechnen, wird die gesamte ASE-Leistung, gekoppelt in einen bestimmten Schritt von allen EDFAs, die nachgeordnet zu diesem Schritt auf der Verteilungsfaser angeordnet sind, berechnet. Jedes dieser ASE-Signale bewegt sich auf dem Schritt nach unten, erfährt einen Leistungsverlust am Messelement und 60 % der verbleibenden ASE-Leistung wird durch den Koppler am Boden der Stufe in die Rückkehrfaser gekoppelt. Diese zehn ASE-Signale können dann zur gesamten ASE-Leistung addiert werden, die von allen EDFAs auf der Rückkehrfaser generiert wird. Die kumulierte ASE, die von diesem Prozess berechnet wurde, kann wie folgt ausgedrückt werden:

$$P_{ASE} = \left[ MN_A \Gamma_{Er} \Gamma_\gamma^2 L_s \frac{C^2}{(1-C)} \Gamma_\delta \frac{N(N+1)}{2} + MN_A \Gamma_{Er} N \right] h\nu \Delta\nu \quad (5)$$

wobei  $N_A = n_{sp} (G-1)$ ,  $n_{sp}$  der spontane Emissionsfaktor ist (1,5) ist,  $M$  die Anzahl von Modi ist (zwei für jede Einmodus-Faser) ist,  $h$  die Boltzmannsche Konstante ist,  $\nu$  die optische Frequenz ist und  $\Delta\nu$  die optische Bandbreite ist.

**[0083]** Am Detektor generiert das ASE-Signal signal-spontanes (s-sp) Schlagrauschen, spontanes-spontanes (sp-sp) Schlagrauschen, und spontanes Schrotrauschen. Die Rauschersatz-Leistungen (NEP) für jeden dieser Ausdrücke, ausgedrückt in  $W/\sqrt{Hz}$ , kann wie folgt geschrieben werden:

$$\begin{aligned} NEP_{s-sp} &= \sqrt{2P_S P_{ASE} D I \Delta\nu} \\ NEP_{s-sp} &= \sqrt{(P_{ASE})^2 I \Delta\nu} \quad (6) \\ NEP_{sp}^{sh} &= \sqrt{2q P_{ASE} I \rho} \end{aligned}$$

wobei  $D = \tau/T$  der Signal-Arbeitszyklus ist,  $q$  die Elektronenladung ist und  $\rho$  die Photodioden-Ansprechempfindlichkeit ist. Das Intensitätsrauschen des Eingangssignals wird als RIN des Lasers dargestellt (gemessen als -140 dB/Hz):

$$NEP_{IN} = DP_{opt} \sqrt{RIN} \quad (7)$$

das Signal-Schrotrauschen ist auf die nachgewiesene optische Leistung wie folgt bezogen:

$$NEP_s^{sh} = \sqrt{2q P_s I \rho} \quad (8)$$

**[0084]** Bei Hochgeschwindigkeitsanwendungen kann das thermische Rauschen des Photodetektors eine bedeutende Fraktion des gesamten Rauschens sein. Die 1-Gbit/s InGaAs Photodiode, verwendet in **Fig. 10B**, wies einen NEP von 20  $pW/\sqrt{Hz}$  auf, wie vom Hersteller spezifiziert. Das thermomechanische Rauschen der Messelemente bei 12,5 kHz betrug 0,36  $pW/\sqrt{Hz}$ . Unter der Annahme, dass jeder dieser Anteile statistisch unkorreliert sind, ist das gesamte Rauschen die Quadratwurzel der Summe des Quadrats dieser Rauschanteile.

**[0085]** **Fig. 30** zeigt diese sieben Rauschanteile berechnet als Funktionen der Anzahl von Messelementen 200 für das exemplarische Gerät 10. Die obere Kurve stellt das gesamte Rauschen dar. **Fig. 30** zeigt, dass den der Eingangsleistung ( $P_{IN} \approx 0.5$  mW) das thermomechanische Rauschen der Messelemente und das Laserintensitätsrauschen vernachlässigbar sind. Ähnlich sind das Signal-Schrotrauschen und das ASE-

Schrotrauschen vernachlässigbar, verglichen mit den signal-spontanen und dem spontanen-spontanen Schlagrausch-Ausdrücken. Für  $N < 30$  dominiert das thermische Rauschen des Detektors das Grundrauschen. Das Rauschen ist dann unabhängig von der Eingangsleistung des Arbeitszyklus. Für  $30 < N < 40$  wird das Signal-ASE-Schlagrauschen dominant.

**[0086]** Für  $N > 40$  beginnt das ASE-ASE-Schlagrauschen, zu dominieren und wird zu einem begrenzenden Faktor der Anzahl von Schritten, die hinzugefügt werden können, bevor das Rauschen zu sehr abgebaut ist. Der Grund, warum das ASE-ASE-Schlagrauschen das Signal-ASE-Schlagrauschen in einem Gerät 10 nach einer bestimmten Anzahl von Messelementen übersteigt, ist, dass jeder zusätzliche Schritt die Anzahl von EDFAs (z.B. ASE-Leistungsquellen) erhöht, während die Signalleistung konstant ist.

**[0087]** Für die zehn Messelemente von **Fig. 10B**, sagt das Modell ein gesamtes Rauschen von  $-108,1$  dBV/√Hz voraus (siehe **Fig. 30**), was in enger Übereinstimmung mit dem experimentell gemessenen Wert von  $-107,5$  dBV/√Hz. steht. Dieses Rauschen wurde experimentell durch die Analyse des Ausgangs der Anordnung, mit der DSA gemessen, während die akustische Quelle abgeschaltet war.

**[0088]** Wenn die akustische Quelle auf einen Druck von  $0,1$  Pa eingeschaltet war, war die durchschnittliche SNR des exemplarischen Geräts 10 von **Fig. 10B** gleich  $43,83$  dB  $\text{Hz}^{1/2}$  bei  $12,5$  kHz. Diese SNR entspricht einem durchschnittlichen MDP bei dieser Frequenz von  $\sim 640$   $\mu\text{Pa}/\sqrt{\text{Hz}}$ , mit einer maximalen Abweichung von nur  $\pm 60$   $\mu\text{Pa}/\sqrt{\text{Hz}}$  für alle zehn Messelemente ( $\text{MDP} = P_{\text{akustisch}}/\text{SNR}$ ). Diese Abweichung ergibt sich aus drei Faktoren: (1) der Abweichung bei den Empfindlichkeiten der individuellen Messelemente von  $\pm 0,3$  dB, wie oben erwähnt, (2) der Abweichung bei der Verstärkung zwischen EDFAs, und (3) Variationen bei den Spezifikationen der Komponenten, insbesondere den Kopplungsverhältnissen, den Einführungsverlusten usw. Der durchschnittliche MDP der zehn Messelemente, außerhalb des exemplarischen Geräts 10 individuell betrieben, wurde zuvor mit einem Wert von  $\sim 6,3$   $\mu\text{Pa}/\sqrt{\text{Hz}}$  bei der gleichen Frequenz gemessen.

**[0089]** Der Unterschied zwischen  $\sim 6,3$   $\mu\text{Pa}/\sqrt{\text{Hz}}$  (individuelle Messelemente) und  $\sim 640$   $\mu\text{Pa}/\sqrt{\text{Hz}}$  (Messelemente im exemplarischen Gerät 10) ergibt sich wahrscheinlich aus drei Anteilen. Der erste und herausragendste ist der Abbau der SNR in Proportion zum Arbeitszyklus ( $1,6$  %, oder  $-18$  dB) des Eingangssignals innerhalb der Grenze des thermalen Rauschens, wie experimentell in **Fig. 28** überprüft. Der zweite Grund ist die optische Leistung mit einem geringeren Eingang (um einen Faktor von  $4$ , oder  $-6$  dB), verwendet im exemplarischen Gerät 10, verglichen mit den Messungen des individuellen Messelements. Der dritte Unterschied ist, dass bei den Messungen der individuellen Messelemente das Rauschen durch den Laser-RIN begrenzt wurde, das um einen Faktor von  $3$  dB höher war, verglichen mit dem thermischen Rauschen des Detektors, verwendet im exemplarischen Gerät 10. Diese kombinierten Anteile belaufen sich auf  $-21$  dB oder eine  $125$ -fache Abnahme des SNR, in Übereinstimmung mit der  $100$ -fachen Erhöhung des MDP. Es muss bei dieser Implementierung beachtet werden, dass aus praktischen Gründen die Verzögerungslinien zwischen jedem Schritt länger als erforderlich waren. Die einfache Verkürzung ihrer Länge um  $50$  %, ohne eine andere Änderungen am System durchzuführen, würde dieses Budget um  $3$  dB verbessern und dadurch den MDP auf  $\sim 320$   $\mu\text{Pa}/\sqrt{\text{Hz}}$  bei  $12,5$  kHz reduzieren. Jedoch verwenden Sensor-Anordnungs-Anwendungen in großem Maßstab im Allgemeinen einen akustisch unempfindlichen Referenzreflektor in jedem Schritt, um die assoziierten Verluste durch die Zuweisung von zweimal der Breite des Impulses zwischen den benachbarten Sensoren zu überwachen.

**[0090]** Um die maximale Anzahl von Messelementen zu quantifizieren, die mit der Konfiguration von **Fig. 10B** gemultiplext werden kann, und den maximal nachweisbaren Druck, kann das Rauschen, hinzugefügt durch das exemplarische Gerät 10, wenn die Messelemente im exemplarischen Gerät 10 betrieben werden, berechnet werden. Insbesondere kann das Rauschmaß des exemplarischen Geräts 10, definiert als das Verhältnis der SNR von Eingangs- und Ausgangssignalen, theoretisch analysiert werden. Um das Rauschmaß zu bestimmen, können die Gleichungen 4 - 8 verwendet werden, um das Ausgangssignal als eine Funktion des Eingangssignals zu berechnen, ebenso wie das Rauschen, sowohl am Eingang als auch am Ausgang des exemplarischen Geräts 10. Dieses Systemgeräusch führt zu einem Abbau der MDP. und erhöht sich mit der Anzahl der Messelemente.

**[0091]** **Fig. 31** zeigt die Abhängigkeit der MDP (auf einer  $10\log_{10}$ -Skala) von der Anzahl von gemultiplexten Messelementen, unter der Annahme eines optimalen Arbeitszyklus. **Fig. 31** zeigt, dass mit einer Filter-Bandbreite von  $1$  nm ein MDP von  $\sim 30$  mPa/√Hz erzielt werden kann, wenn  $350$  Sensoren in der Architektur von **Fig. 10 B** gemultiplext werden. Bei einer höheren Anzahl von Messelementen ist es möglich, WDM zusätzlich zu TDM einzuschließen. Zum Beispiel ist es bei einem bescheidenen System mit  $10$  Kanälen möglich, die Anzahl von gemultiplexten Messelementen bis zu  $\sim 3500$  zu erhöhen, was nahe an den Anforderungen der

Erdölexplorationsindustrie liegt. Dieses Maß quantifiziert auch die Wirkung der Bandbreite der ASE-Leistung auf die erzielte MDP, und zeigt die Vorteile der Verwendung eines optischen BPF am Ausgang des exemplarischen Geräts 10, um die Bandbreite der ASE-Leistung zu reduzieren, die den Detektor erreicht, und um das spontane-spontane Schlagrauschen zu minimieren, insbesondere für Systeme mit großen Anzahlen von Messelementen.

**[0092]** Bestimmte Ausführungsbeispiele, die hier beschrieben wurden, basieren auf einem oder verwenden ein Zeitdivisionsmultiplexing-Schema. Fachleute würden erkennen, dass es auch möglich ist, die Anzahl von Messelementen zu erhöhen, die bei bestimmten Ausführungsbeispielen, die hier beschrieben werden, gemultiplext werden können, indem ein Wellenlängen-Divisionsmultiplexing zusätzlich zum Zeitdivisionsmultiplexing eingeführt wird.

**[0093]** Verschiedene Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung wurden oben beschrieben. Obwohl diese Erfindung unter Bezugnahme auf diese spezifischen Ausführungsbeispiele beschrieben wurde, sind die Beschreibungen dazu vorgesehen, die Erfindung zu veranschaulichen, und sind nicht dazu vorgesehen, einschränkend zu sein. Fachleute können verschiedene Modifikationen und Anwendungen in Betracht ziehen, ohne den wahren Geist und den Schutzzumfang der Erfindung zu verlassen, wie in den beigefügten Ansprüchen definiert.

### Patentansprüche

#### 1. Optische Vorrichtung (10), umfassend:

mindestens einen optischen Bus (100), der konfiguriert ist, um optisch mit mindestens einer Quelle von optischen Eingangssignalen (110) gekoppelt zu sein, konfiguriert, um optisch mit mindestens einem optischen Detektor (120) gekoppelt zu sein, und konfiguriert, um optisch mit einer Vielzahl von reflektierenden Messelementen (200) gekoppelt zu sein, wobei der mindestens eine optische Bus ein optisches Eingangssignal von der mindestens einen Quelle an die Vielzahl von reflektierenden Messelementen überträgt, so dass mindestens ein reflektierendes Messelement der Vielzahl von reflektierenden Messelementen einen Teil des optischen Eingangssignals empfängt und mindestens einen Teil des empfangenen Teils reflektiert, wobei der mindestens eine optische Bus den reflektierten Teil an den mindestens einen optischen Detektor überträgt, wobei der mindestens eine optische Bus einen Verteilerbus (115) und einen Rückkehrbus (116) umfasst, wobei der Verteilerbus (115) konfiguriert ist, um optisch mit der mindestens einen Quelle gekoppelt zu sein, wobei der Verteilerbus (115) mindestens zwei Verteiler - optische Koppler (130(1)) umfasst, die einen Teil des optischen Eingangssignals in dem Verteilerbus (112) zu mindestens einem reflektierenden Messelement der Vielzahl von reflektierenden Messelementen richten, wobei der Rückkehrbus konfiguriert ist, um optisch mit dem mindestens einen optischen Detektor gekoppelt zu sein, wobei der Rückkehrbus (116) mindestens zwei Rückkehr - optische Koppler (130(2)) umfasst, die die reflektierten Teile von den reflektierenden Messelementen der Vielzahl von reflektierenden Messelementen (200) zu dem Rückkehrbus richten, und wobei mindestens ein reflektierendes Messelement der Vielzahl von reflektierenden Messelementen mit dem Verteilerbus (115) über mindestens einen Verteiler - optischen Koppler und mit dem Rückkehrbus (116) über den mindestens einen Verteiler - optischen Koppler (130(2)) optisch gekoppelt ist oder mit dem Rückkehrbus (116) über mindestens einen Rückkehr - optischen Koppler (130(2)) und zu dem Verteilerbus (115) über den mindestens einen Rückkehr - optischen Koppler optisch gekoppelt ist.

2. Optische Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei das mindestens eine reflektierende Messelement der Vielzahl von reflektierenden Messelementen (200) durch den mindestens einen Verteiler - optischen Koppler optisch mit dem Verteilerbus gekoppelt ist und optisch durch mindestens einen Rückkehr - optischen Koppler und den mindestens einen Verteiler - optischen Koppler mit dem Rückkehrbus gekoppelt ist.

3. Optische Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei das mindestens eine reflektierende Messelement der Vielzahl von reflektierenden Messelementen (200) durch den mindestens einen Rückkehr - optischen Koppler optisch mit dem Rückkehrbus gekoppelt ist und optisch durch mindestens einen Verteiler - optischen Koppler und den mindestens einen Rückkehr - optischen Koppler mit dem Verteilerbus gekoppelt ist.

4. Optische Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei der mindestens eine optische Bus einen dritten optischen Koppler umfasst, der das mindestens eine reflektierende Messelement der Vielzahl von reflektierenden Messelementen (200) optisch mit dem Verteilerbus (115) und mit dem Rückkehrbus (116) koppelt.

5. Optische Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei das mindestens eine reflektierende Messelement der Vielzahl von reflektierenden Messelementen (200) mindestens einen Sensor umfasst.

6. Optische Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei das mindestens eine reflektierende Messelement der Vielzahl von reflektierenden Messelementen (200) folgendes umfasst: einen Spaltungskoppler (150); und eine Vielzahl von Sensoren (300), die optisch mit dem Spaltungskoppler gekoppelt sind.

7. Optische Vorrichtung nach Anspruch 6, wobei das mindestens eine reflektierende Messelement der Vielzahl von reflektierenden Messelementen (200) weiter eine Vielzahl von Verzögerungselementen umfasst, die optisch mit dem Spaltungskoppler gekoppelt sind und mit einem entsprechenden Sensor der Vielzahl von Sensoren optisch gekoppelt sind.

8. Optische Vorrichtung nach Anspruch 6 oder 7, wobei der Spaltungskoppler ein Wellenlängenmultiplexer ist.

9. Optische Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei der mindestens eine optische Bus weiter konfiguriert ist, um optisch mit einer Laser-Pumplichtquelle gekoppelt zu sein.

10. Optische Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei der mindestens eine optische Bus (100) mindestens einen optischen Verstärker (180) umfasst, der so angeordnet ist, dass der Abschnitt des optischen Eingangssignals verstärkt wird, bevor der Abschnitt des optischen Eingangssignals von dem mindestens einen reflektierenden Messelement (200) empfangen wird.

11. Optische Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei der mindestens eine optische Bus (100) mindestens einen optischen Verstärker (180) umfasst, der angeordnet ist, um den reflektierten Abschnitt zu verstärken.

12. Optische Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei der mindestens eine optische Bus (100) eine Vielzahl von optischen Verstärkern umfasst, die so angeordnet sind, dass: ein erster Abschnitt des optischen Eingangssignals um einen ersten Faktor verstärkt wird, der erste Abschnitt des optischen Eingangssignals von einem ersten reflektierenden Messelement (200) empfangen wird, der entsprechende reflektierte Abschnitt vom ersten reflektierenden Messelement (200) um einen zweiten Faktor verstärkt wird, ein zweiter Abschnitt des optischen Eingangssignals um einen dritten Faktor verstärkt wird, der zweite Abschnitt des optischen Eingangssignals von einem zweiten reflektierenden Messelement (200) empfangen wird, und der entsprechende reflektierte Abschnitt vom zweiten reflektierenden Messelement (200) um einen vierten Faktor verstärkt wird, wobei die Summe des ersten Faktors und des zweiten Faktors im Wesentlichen gleich der Summe des dritten Faktors und des vierten Faktors ist.

13. Optische Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei der mindestens eine optische Bus (100) mindestens einen optischen Verstärker (180) und mindestens einen optischen Reflektor umfasst, die so konfiguriert sind, dass der Abschnitt des optischen Eingangssignals zweimal durch den mindestens einen optischen Verstärker passiert.

14. Optische Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei der mindestens eine optische Bus (100) mindestens einen optischen Verstärker (180), und mindestens einen optischen Reflektor umfasst, die so konfiguriert sind, dass der reflektierte Abschnitt zweimal durch den mindestens einen optischen Verstärker passiert.

15. Optische Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei der mindestens eine optische Bus (100) mindestens einen optischen Isolator umfasst.

16. Optische Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei der mindestens eine optische Bus (100) mindestens einen optischen Filter umfasst der so angeordnet ist, dass der reflektierte

Abschnitt durch den mindestens einen optischen Filter passiert bevor er vom mindestens einen optischen Detektor empfangen wird.

17. Verfahren zur Konfigurierung eines optischen Busses, um optisch mit einer Vielzahl von reflektierenden Messelementen (200) gekoppelt zu sein, wobei das Verfahren Folgendes umfasst:  
Bereitstellung mindestens eines optischen Busses (100), umfassend eine Vielzahl von optischen Kopplern, wobei der mindestens eine optische Bus (100) konfiguriert ist, um optisch mit mindestens einer Quelle (110) von optischen Eingangssignalen gekoppelt zu sein, konfiguriert, um optisch mit mindestens einem optischen Detektor gekoppelt zu sein, und konfiguriert, um optisch durch die Vielzahl von optischen Kopplern mit einer Vielzahl von reflektierenden Messelementen gekoppelt zu sein;  
wobei der mindestens eine optische Bus ein optisches Eingangssignal von der mindestens einen Quelle an die Vielzahl von reflektierenden Messelementen (200) überträgt, so dass mindestens zwei reflektierende Messelemente der Vielzahl von reflektierenden Messelementen jeweils einen entsprechenden Teil des optischen Eingangssignals empfangen und mindestens einen Teil des empfangenen Teils reflektieren, wobei der mindestens eine optische Bus (100) den reflektierten Teil an den mindestens einen optischen Detektor überträgt; und  
Auswählen von Kopplungsverhältnissen der Vielzahl von optischen Kopplern (130), um ein Rauschmaß der mindestens zwei reflektierenden Messelemente (200) zu reduzieren.

18. Verfahren nach Anspruch 17, weiter umfassend: Verstärkung des Teils des optischen Eingangssignals um Verluste in dem mindestens einen optischen Bus (100) zu kompensieren.

19. Verfahren nach Anspruch 17 oder 18, weiter umfassend: Verstärkung des reflektierten Teils um Verluste in dem mindestens einen optischen Bus zu kompensieren.

20. Verfahren nach einem der Ansprüche 17 bis 19, weiter umfassend:  
Verstärkung eines ersten Teils des optischen Eingangssignals um einen ersten Faktor,  
Empfang des ersten Teils des optischen Eingangssignals durch ein erstes reflektierendes Messelement,  
Verstärkung des entsprechenden reflektierten Teils vom ersten reflektierenden Messelement um einen zweiten Faktor,  
Verstärkung eines zweiten Teils des optischen Eingangssignals um einen dritten Faktor,  
Empfang des zweiten Teils des optischen Eingangssignals durch ein zweites reflektierendes Messelement, und  
Verstärkung des reflektierten Teils vom zweiten reflektierenden Messelement um einen vierten Faktor;  
wobei die Summe des ersten Faktors und des zweiten Faktors im Wesentlichen gleich der Summe des dritten Faktors und des vierten Faktors ist.

21. Verfahren nach einem der Ansprüche 17 bis 20, weiter umfassend:  
Verstärkung des Teils des optischen Eingangssignals durch einen optischen Verstärker,  
Reflektierung mindestens eines Teils des Teils des optischen Eingangssignals durch einen optischen Reflektor, und  
Verstärkung des mindestens einen Teils des Teils erneut durch den optischen Verstärker.

22. Verfahren nach einem der Ansprüche 17 bis 21, weiter umfassend:  
Verstärkung des reflektierten Teils durch einen optischen Verstärker,  
Reflektierung mindestens eines Teils des reflektierten Teils durch einen optischen Reflektor,  
Verstärkung des mindestens einen Teils des reflektierten Teils erneut durch den optischen Verstärker.

23. Verfahren nach einem der Ansprüche 17 bis 22, weiter umfassend die Ausfilterung von weißem Rauschen.

24. Verfahren, um einen optischen Bus zu konfigurieren, um ihn optisch mit einer Vielzahl von reflektierenden Messelementen (200) zu koppeln, wobei das Verfahren umfasst:  
Bereitstellen mindestens eines optischen Bus (100), wobei der mindestens eine optische Bus einen Verteilerbus (115) und einen Rückkehrbus (116) umfasst, wobei der optische Bus konfiguriert ist, um optisch mit mindestens einer Quelle von optischen Eingangssignalen (110) gekoppelt zu sein, konfiguriert, um optisch mit mindestens einem optischen Detektor (120) gekoppelt zu sein, und konfiguriert, um optisch mit einer Vielzahl von reflektierenden Messelementen (200) gekoppelt zu sein,  
wobei der mindestens eine optische Bus ein optisches Eingangssignal von der mindestens einen Quelle an die Vielzahl von reflektierenden Messelementen überträgt,

so dass mindestens ein reflektierendes Messelement der Vielzahl von reflektierenden Messelementen einen Teil des optischen Eingangssignals empfängt und mindestens einen Teil des empfangenen Teils reflektiert, wobei der Verteilerbus (115) konfiguriert ist, um optisch mit der mindestens einen Quelle gekoppelt zu sein, wobei der Verteilerbus (115) mindestens zwei Verteiler - optische Koppler (130(1)) umfasst, die einen Teil des optischen Eingangssignals in dem Verteilerbus (112) zu mindestens einem reflektierenden Messelement der Vielzahl von reflektierenden Messelementen richten, wobei der Rückkehrbus konfiguriert ist, um optisch mit dem mindestens einen optischen Detektor gekoppelt zu sein, wobei der Rückkehrbus (116) mindestens zwei Rückkehr - optische Koppler (130(2)) umfasst, die die reflektierten Teile von den reflektierenden Messelementen der Vielzahl von reflektierenden Messelementen (200) zu dem Rückkehrbus richten, und wobei mindestens ein reflektierendes Messelement der Vielzahl von reflektierenden Messelementen mit dem Verteilerbus (115) über mindestens einen Verteiler - optischen Koppler und mit dem Rückkehrbus (116) über mindestens einen Verteiler - optischen Koppler (130(2)) optisch gekoppelt ist oder mit dem Rückkehrbus (116) über mindestens einen Rückkehr - optischen Koppler (130(2)) und zu dem Verteilerbus (115) über mindestens einen Rückkehr - optischen Koppler optisch gekoppelt ist; wobei der mindestens eine optische Bus den reflektierten Teil an den mindestens einen optischen Detektor überträgt,  
Auswählen von Kopplungsverhältnissen der mindestens zwei Verteiler-optischen Kopplern (130)(1) und der mindestens zwei Rückkehr - optischen Koppler (130(2)), um ein Rauschmaß des mindestens einen reflektierenden Messelements (200) zu reduzieren

Es folgen 33 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG. 1A

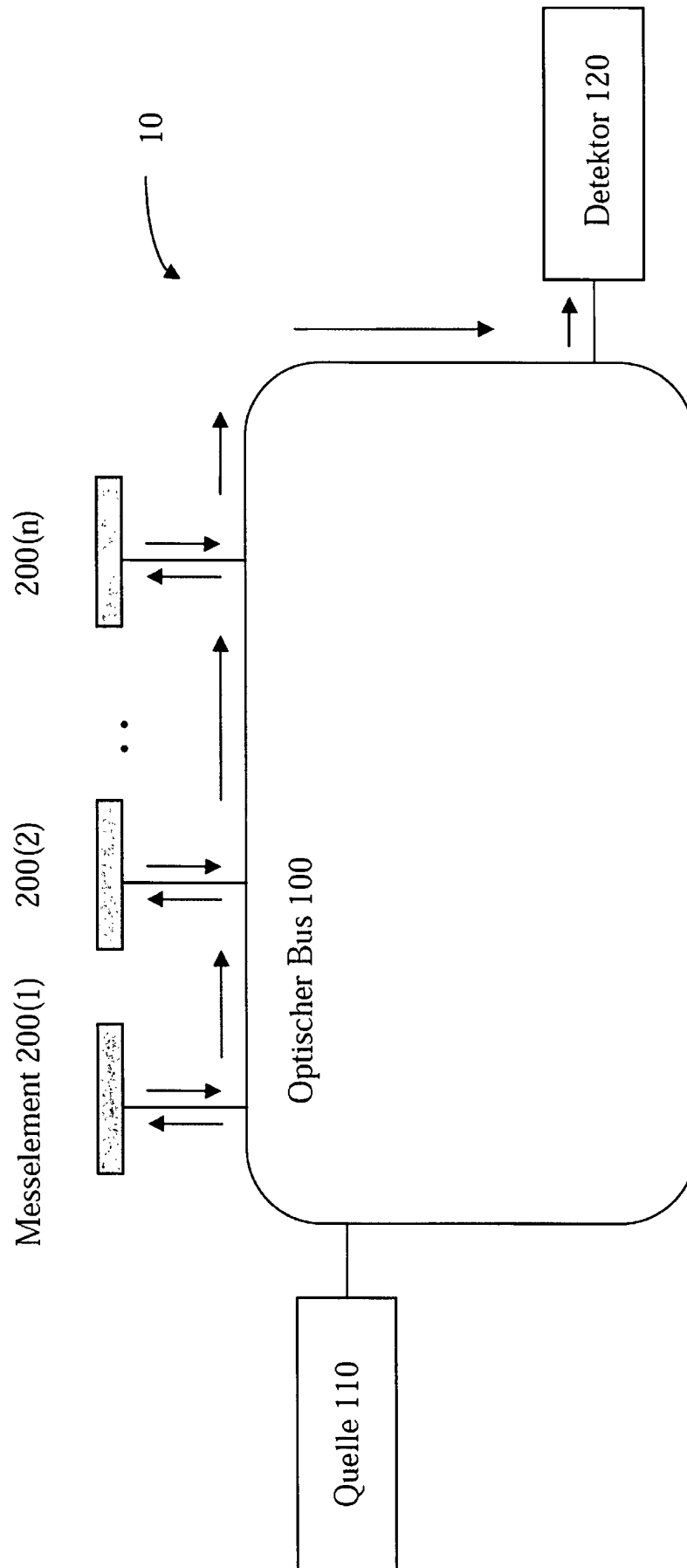


FIG. 1B

Messelement 200 (1)

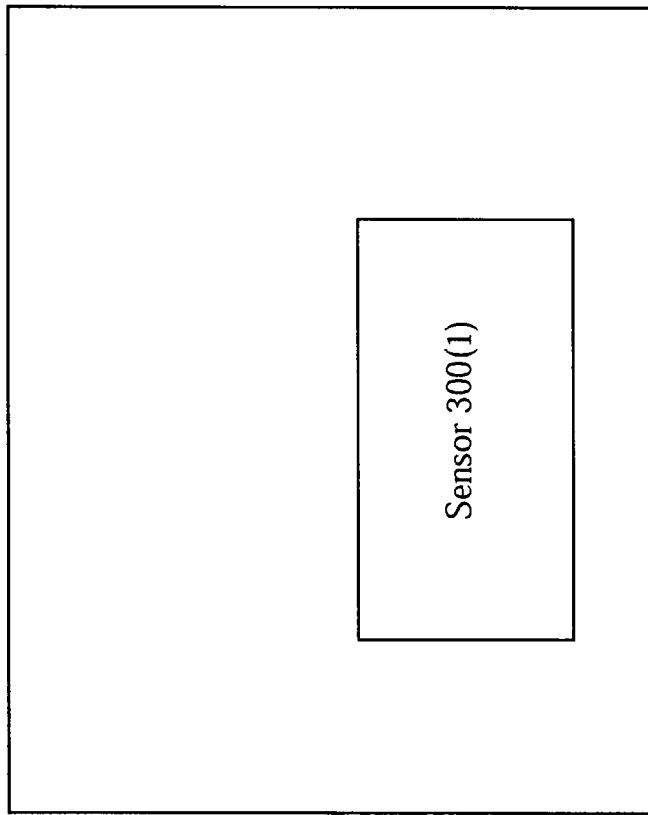




FIG. 3

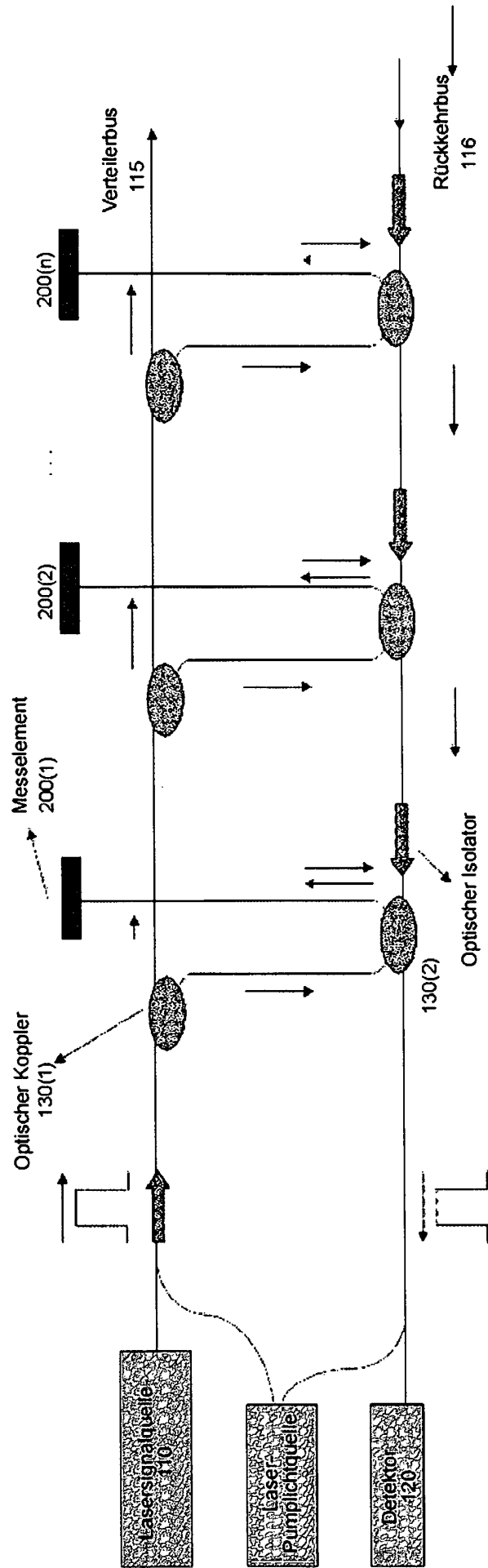


FIG. 4

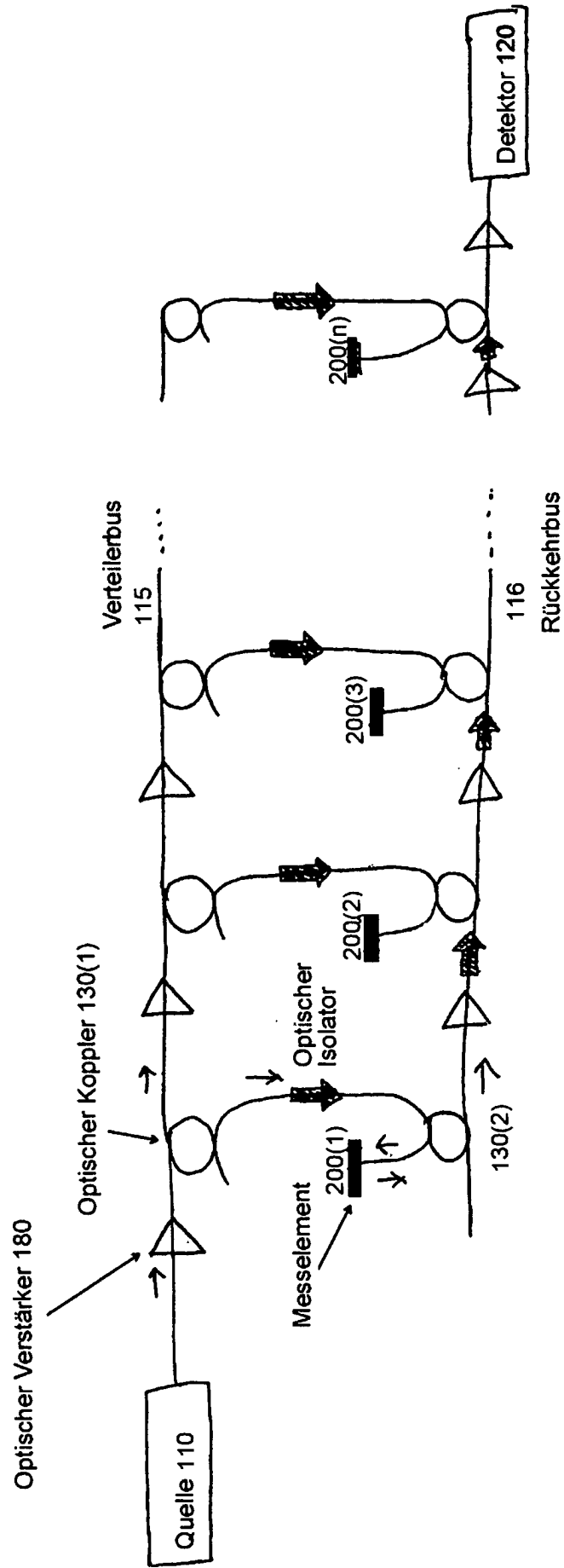


FIG. 5

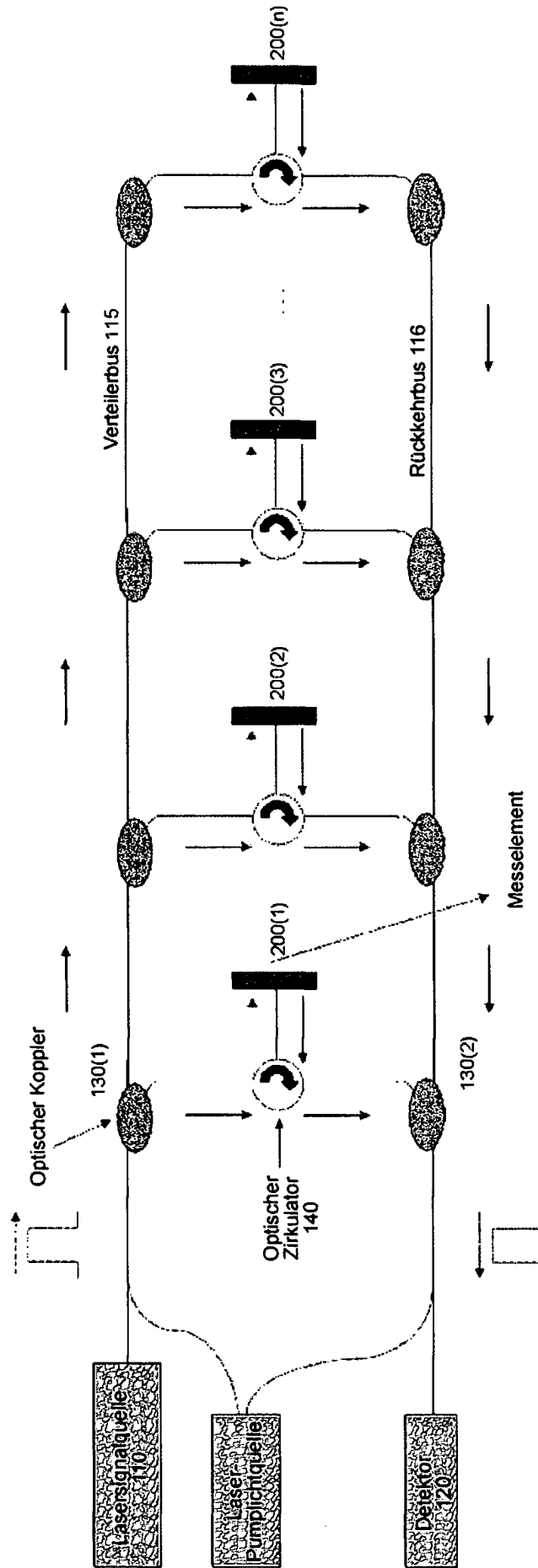


FIG. 6

200(1)

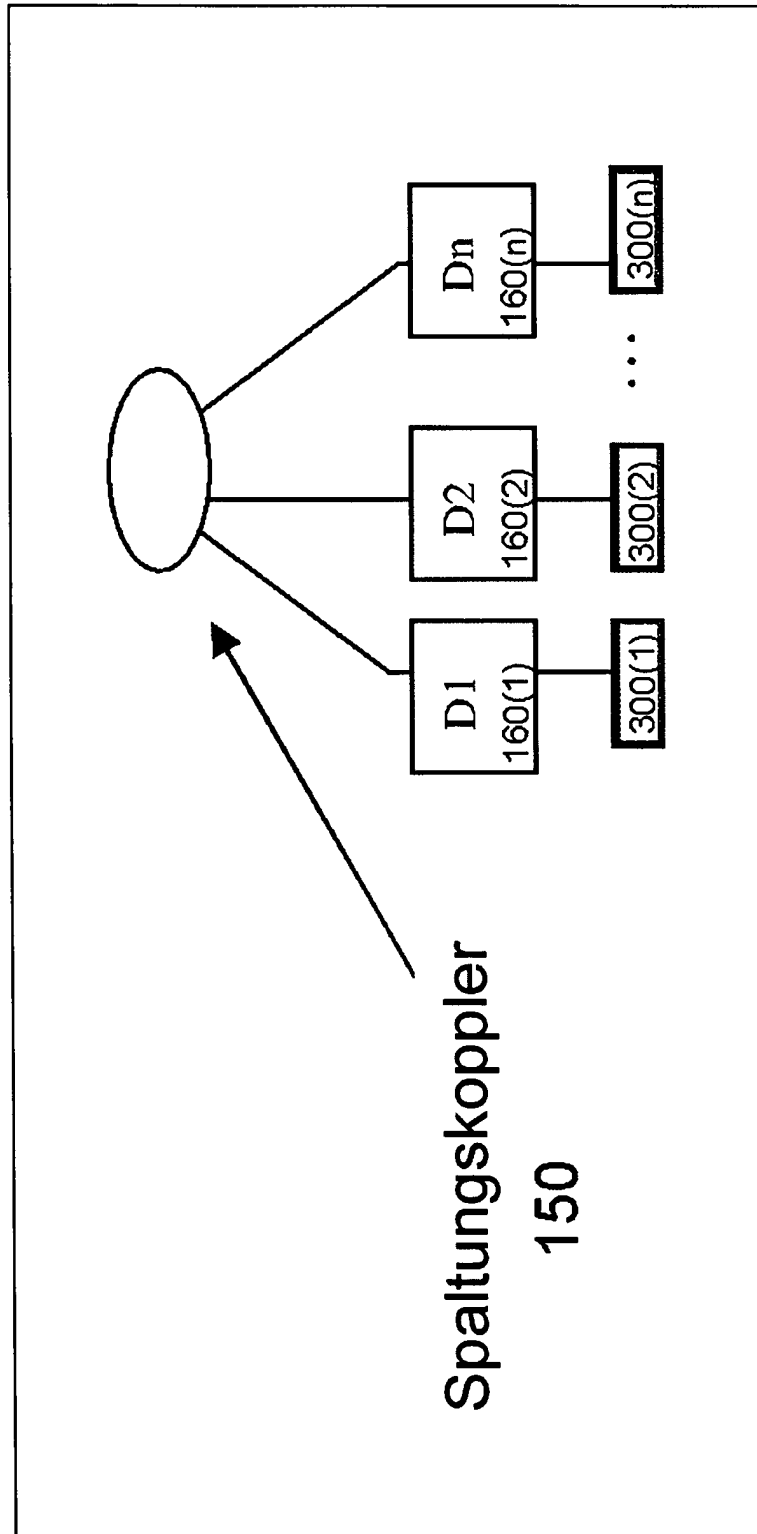


FIG. 7

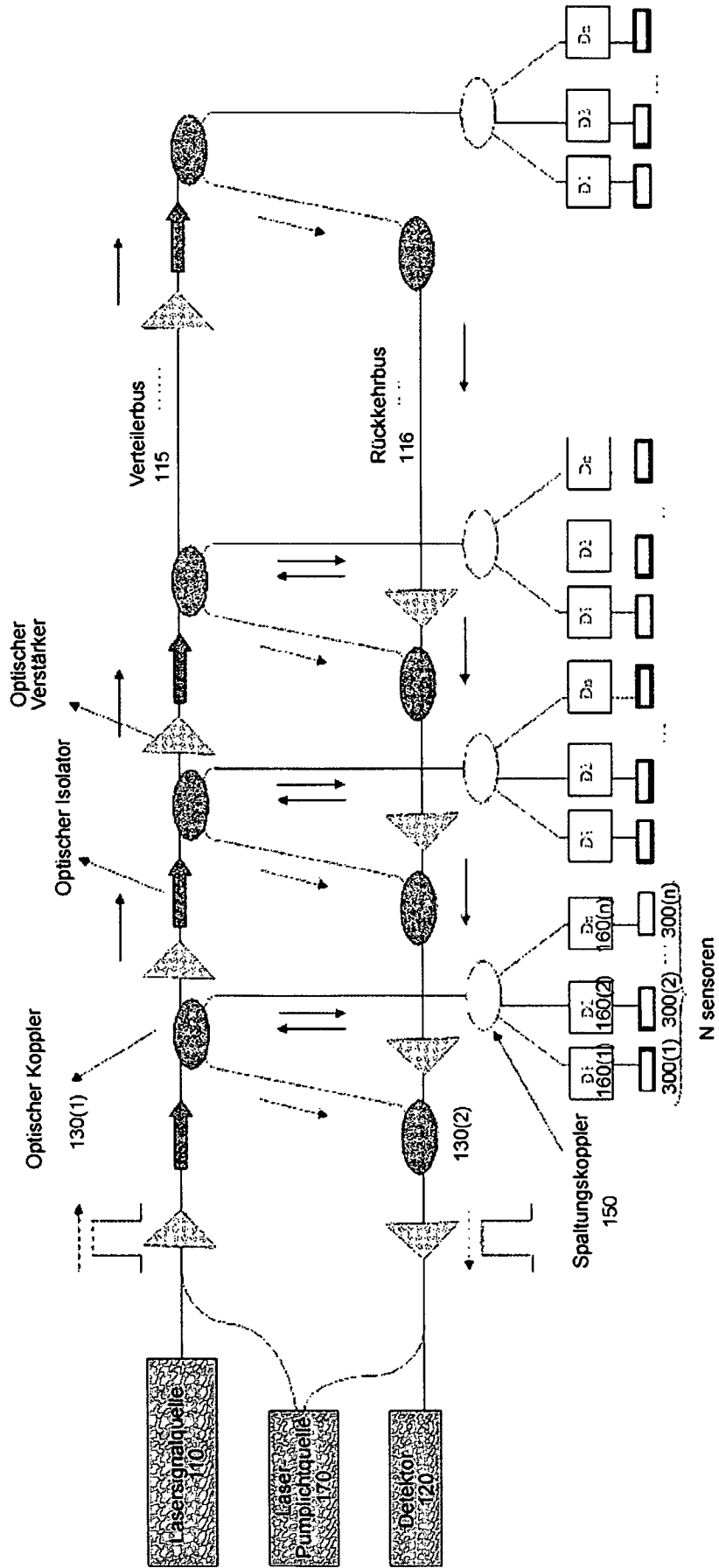


FIG. 8

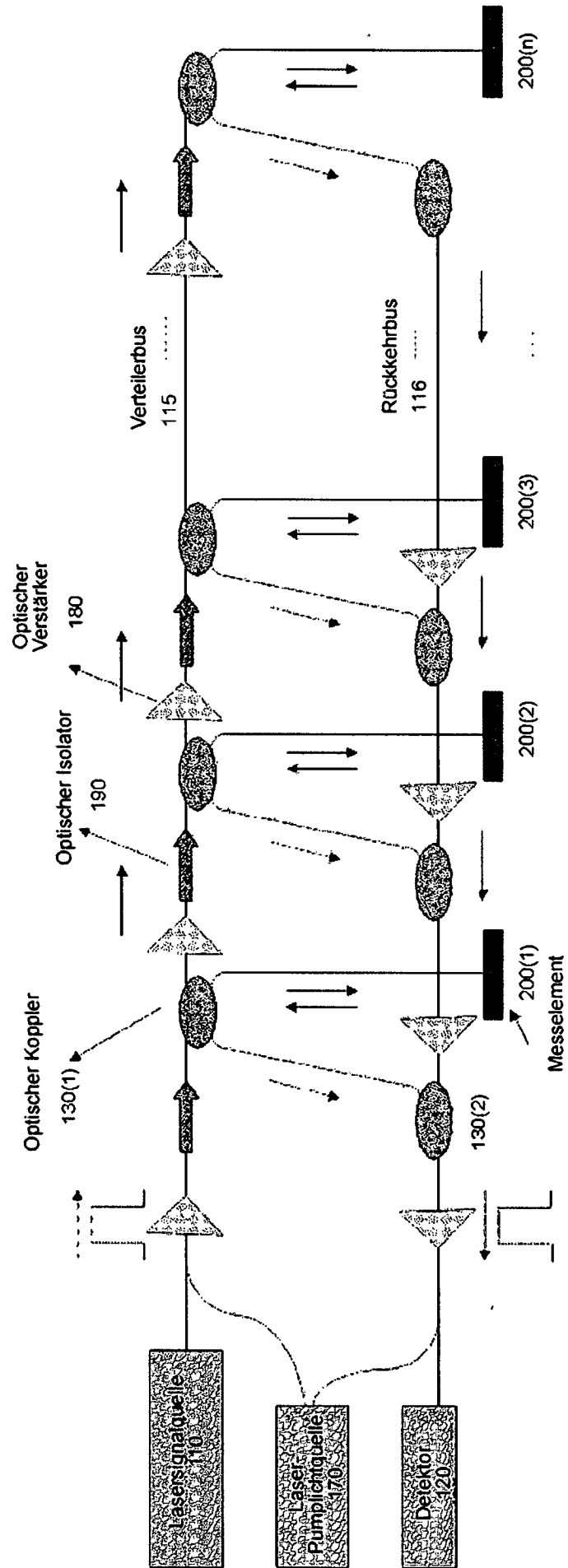


FIG. 9

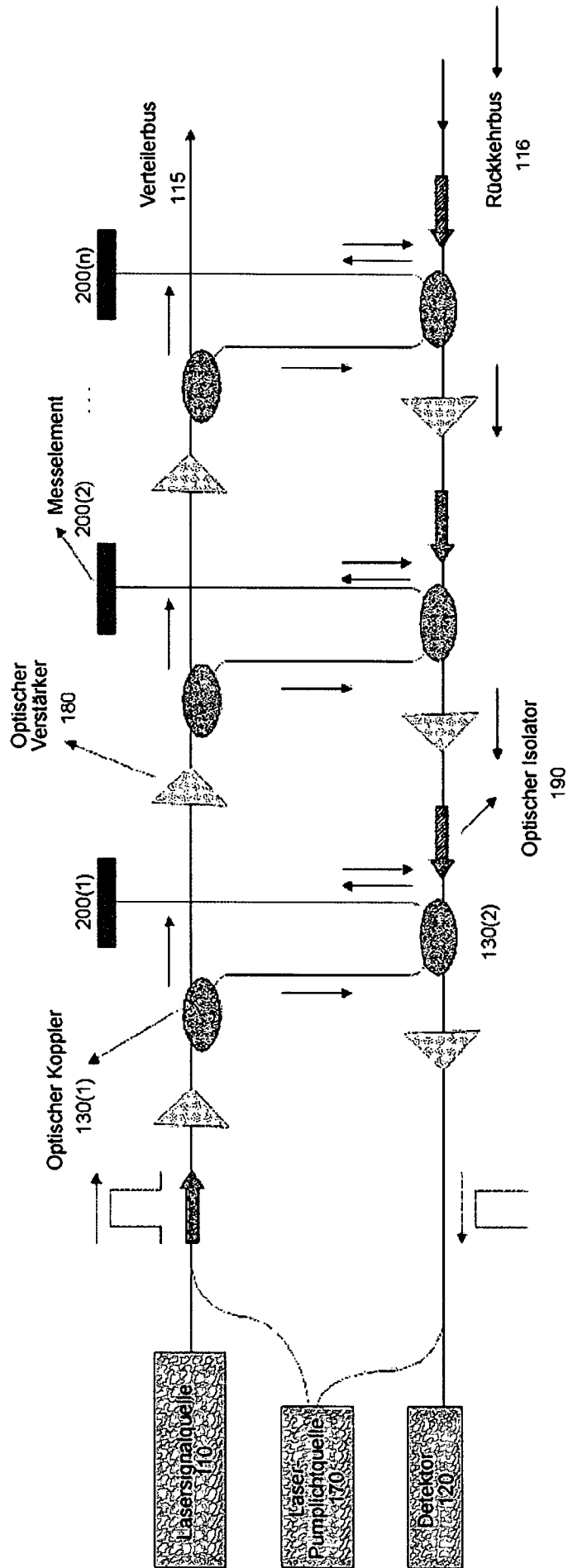


FIG. 10A

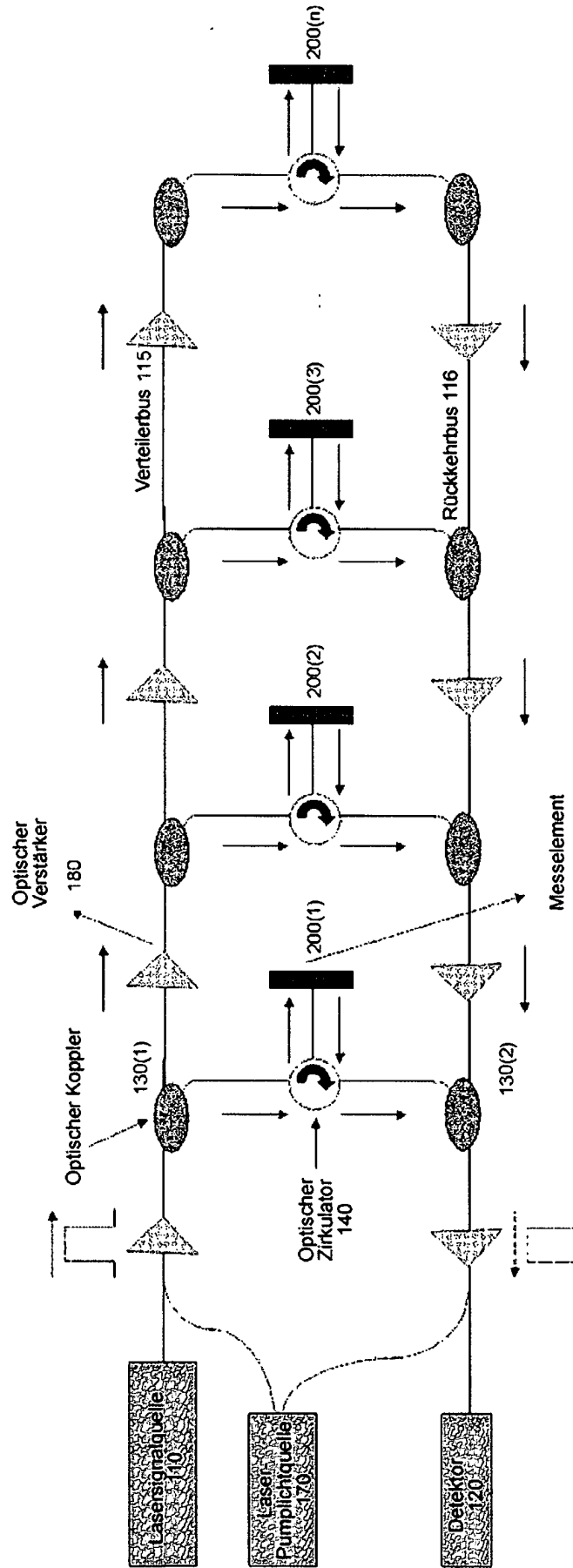


FIG. 10B

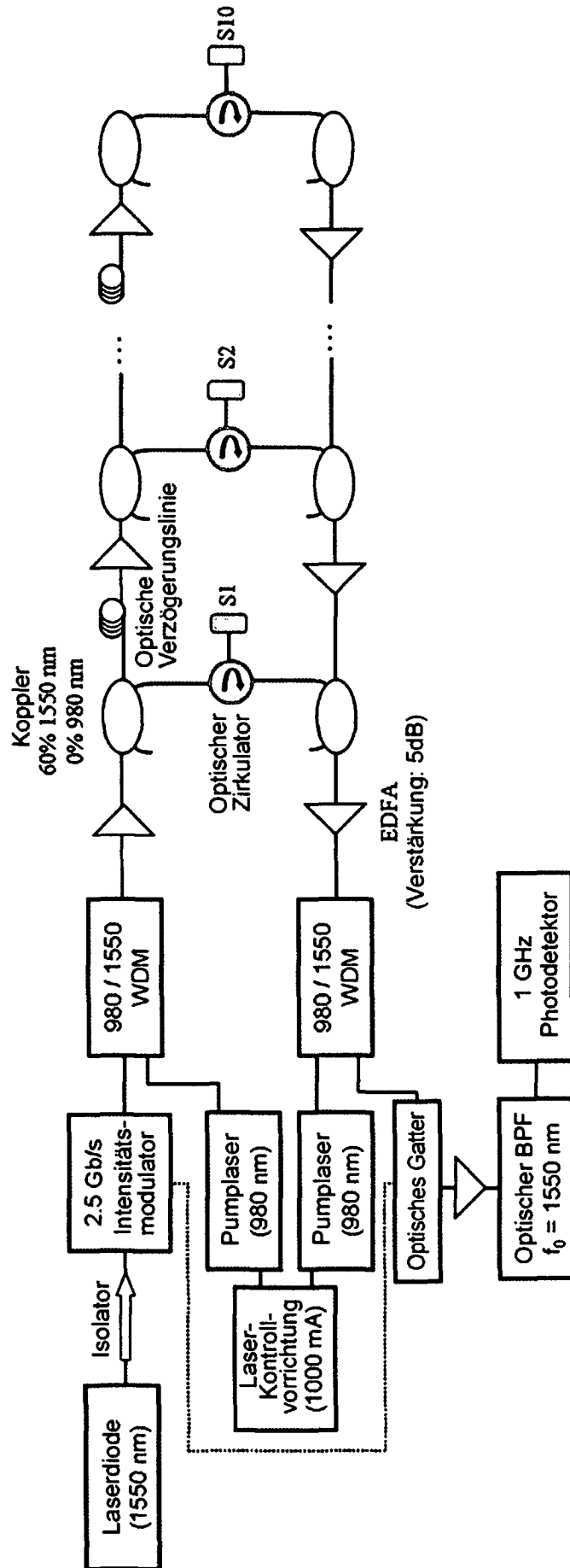


FIG. 11

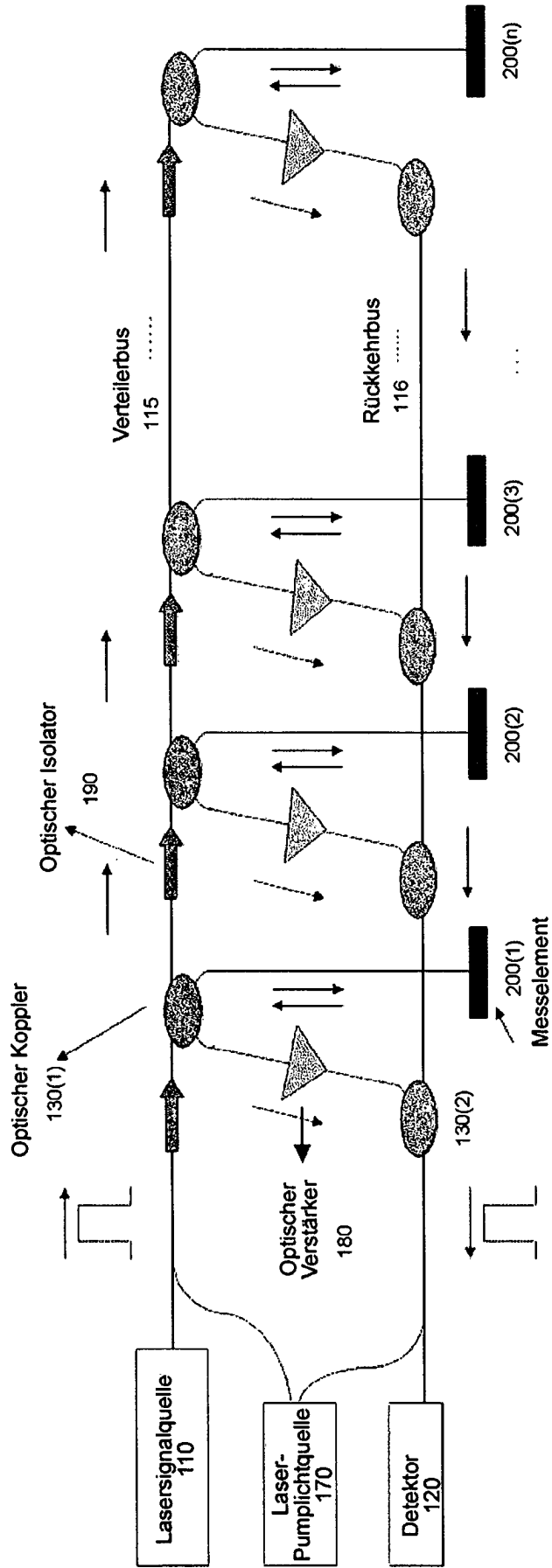


FIG. 12

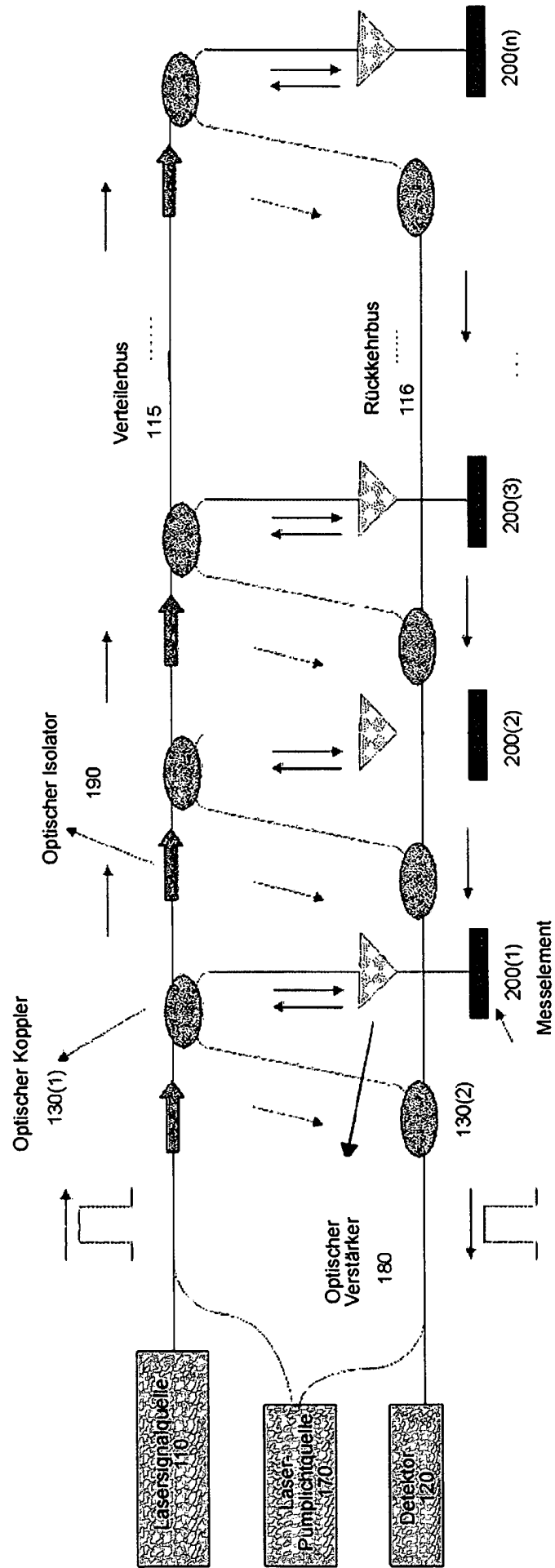




FIG. 14

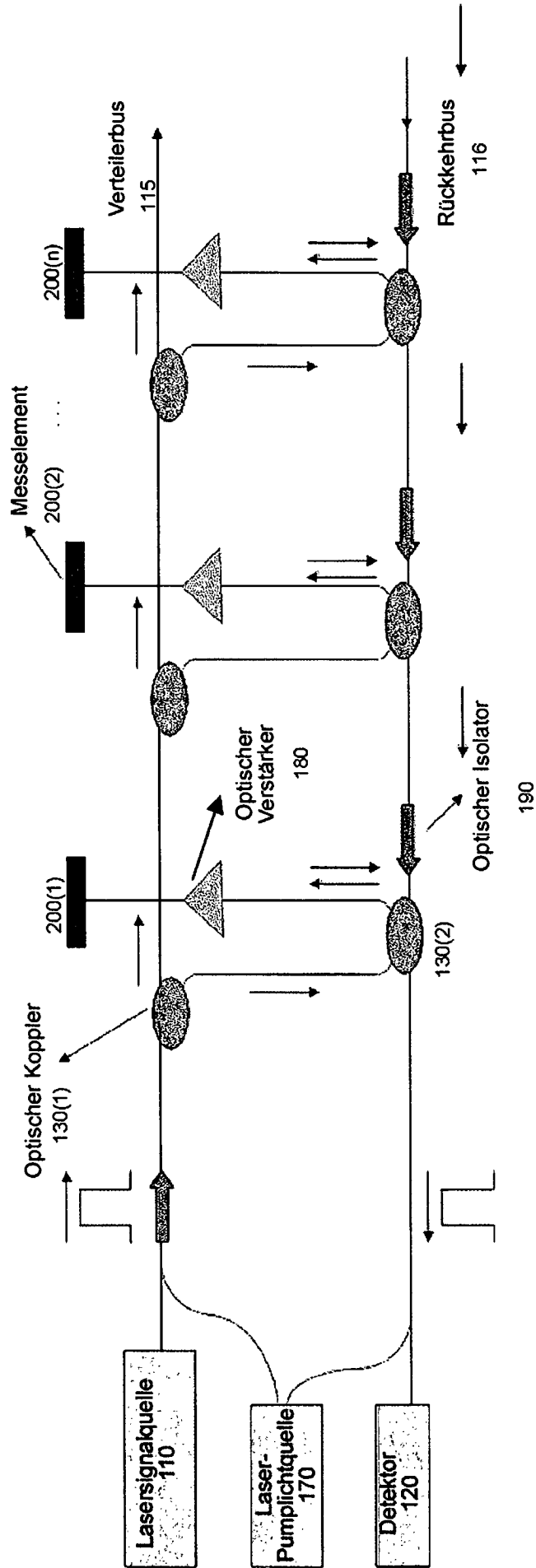


FIG. 15

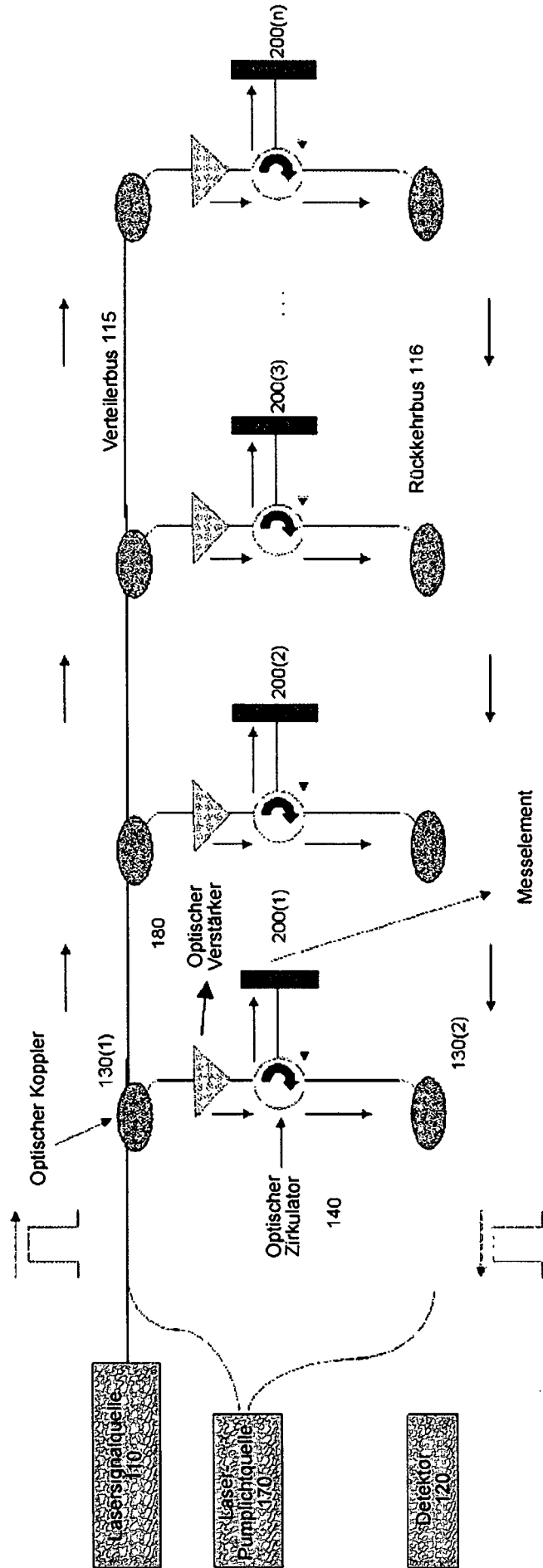


FIG. 16

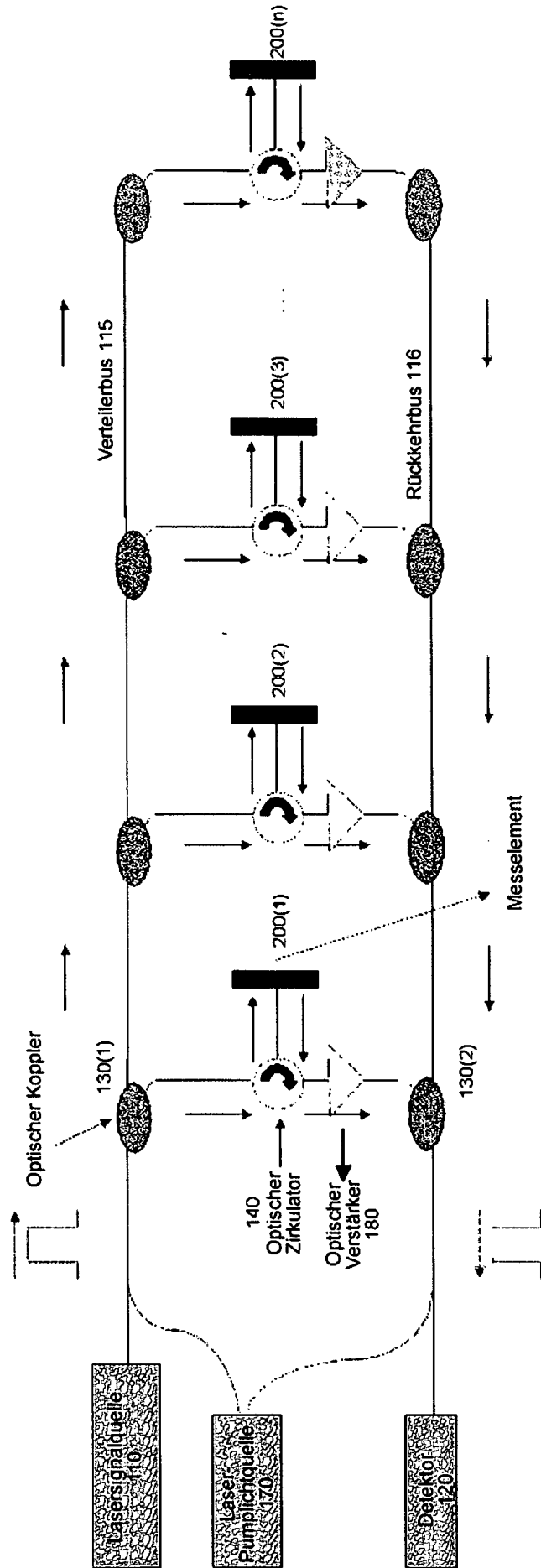


FIG. 17

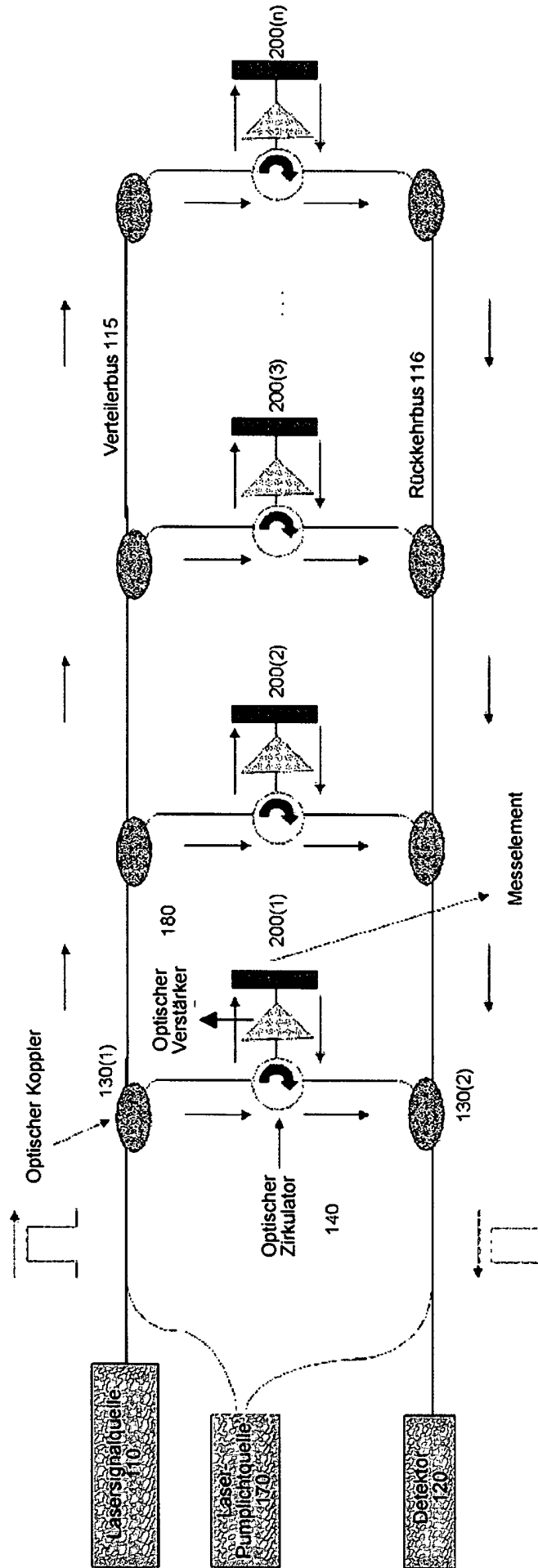


FIG. 18

Optischer Isolator(kann verwendet werden, um nur das zurückkehrende Signal an der Pumpwellenlänge zu blockieren).

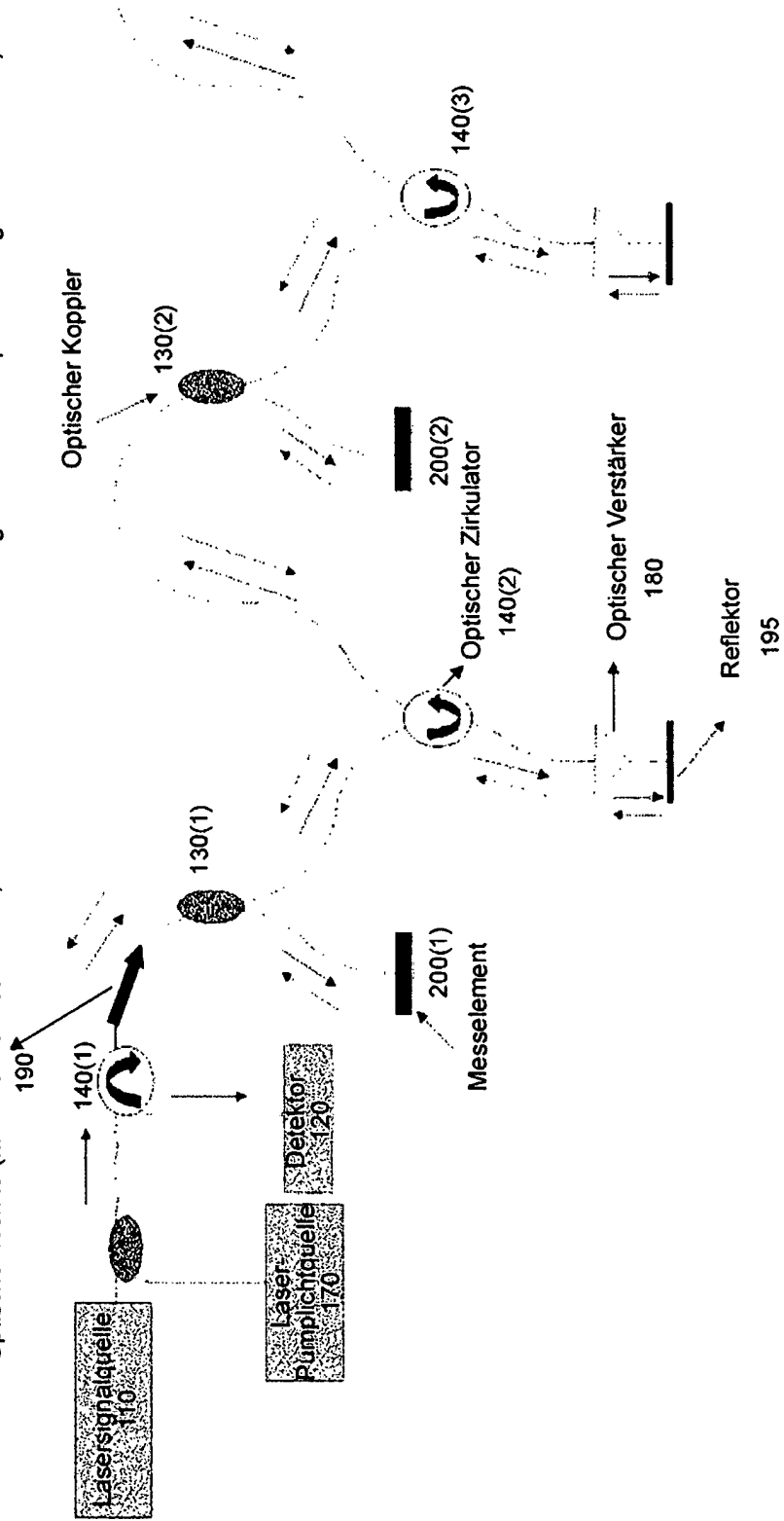


FIG. 19

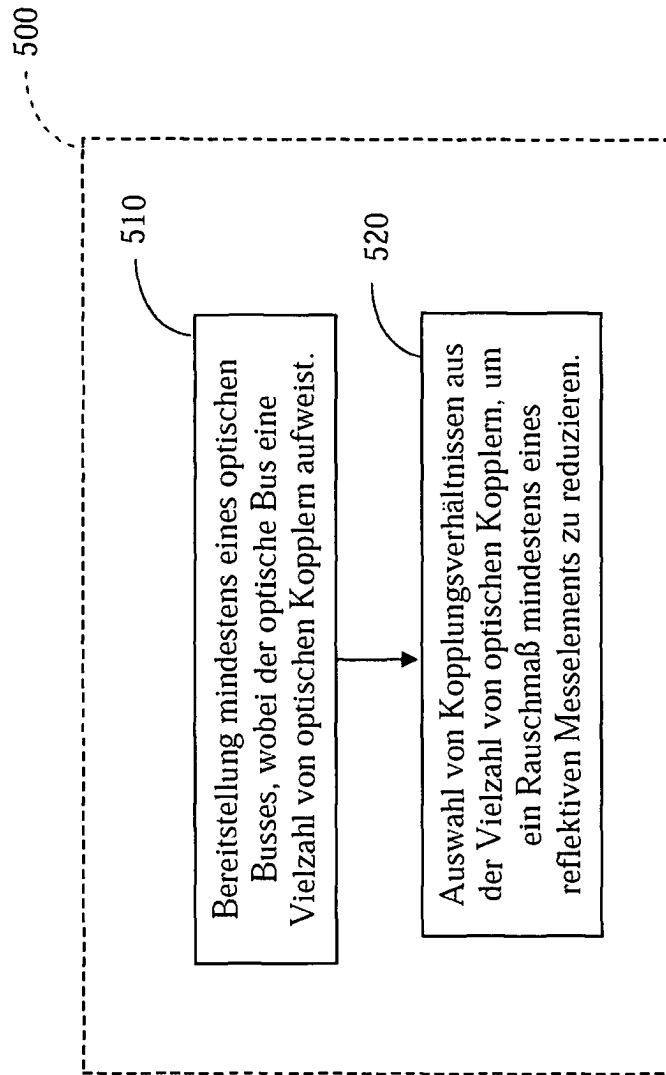


FIG. 20

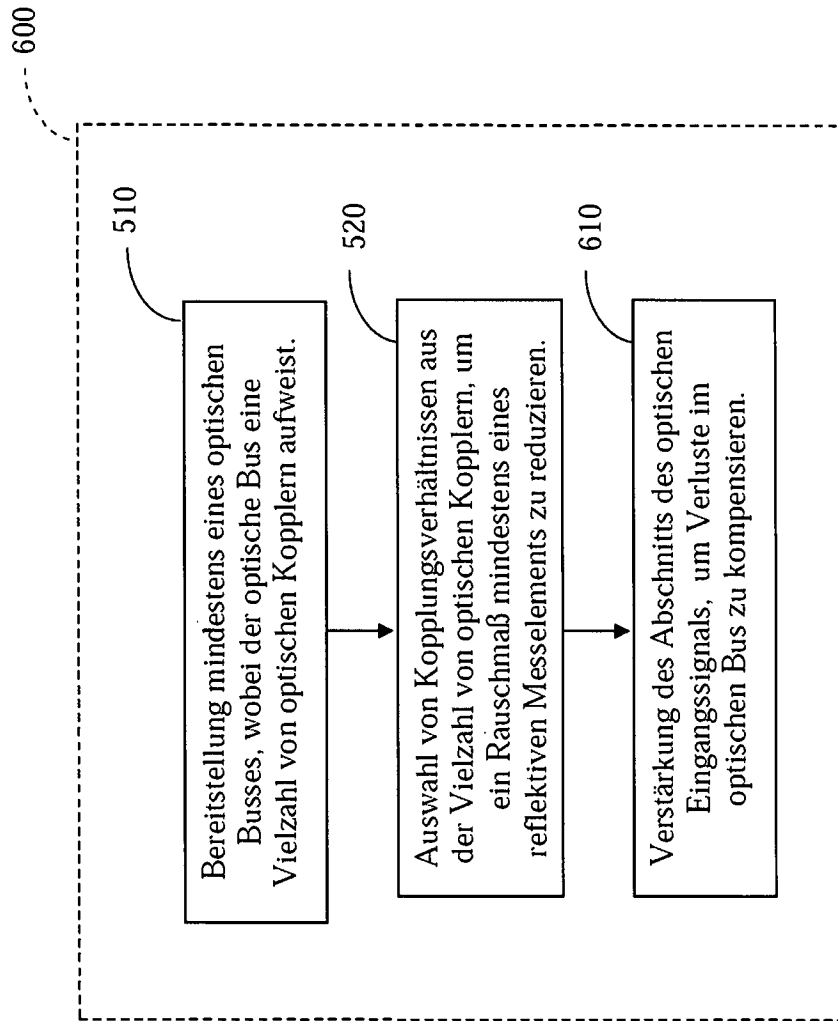
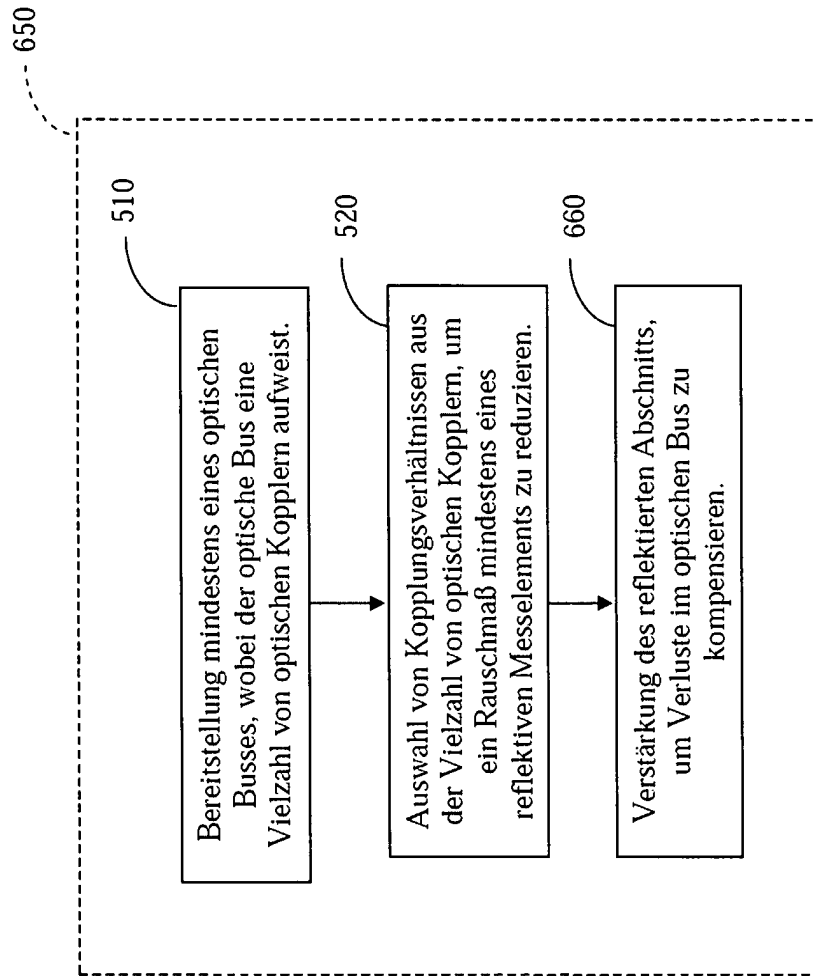


FIG. 21



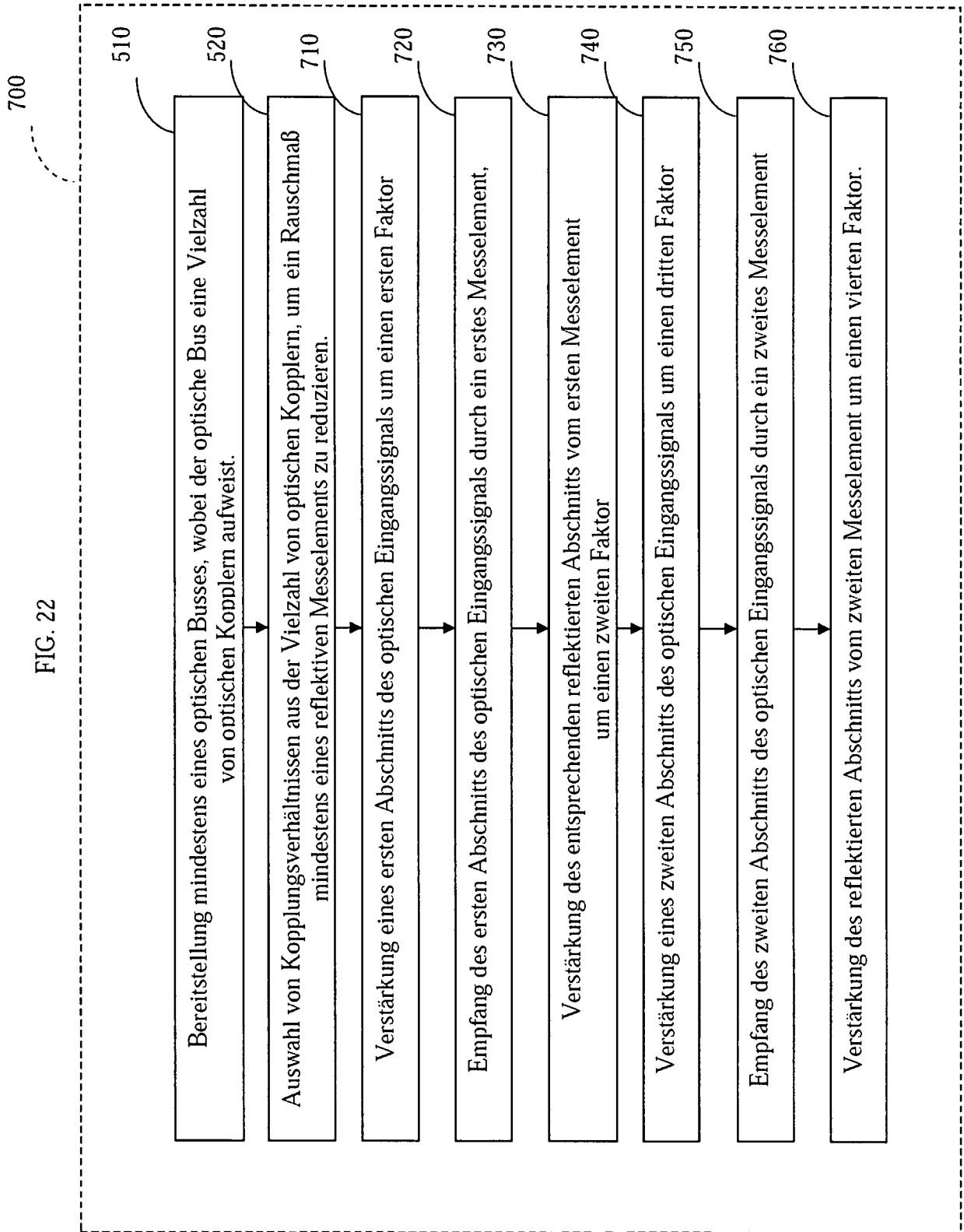


FIG. 23

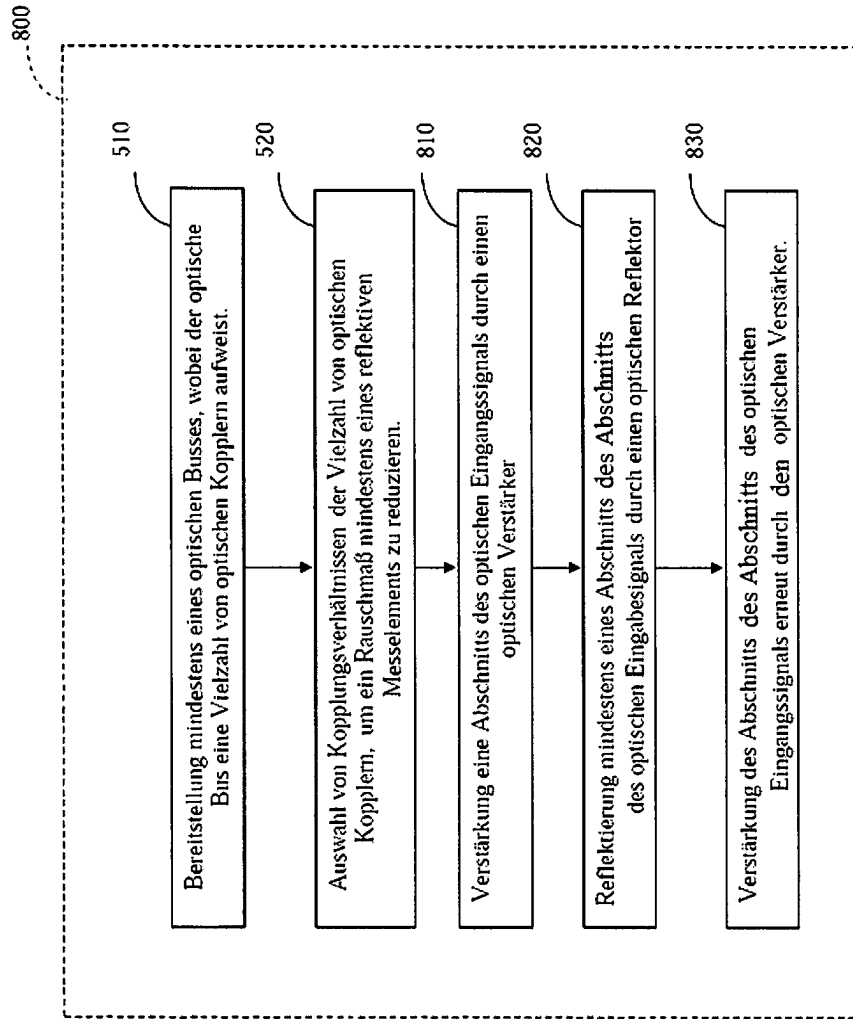


FIG. 24

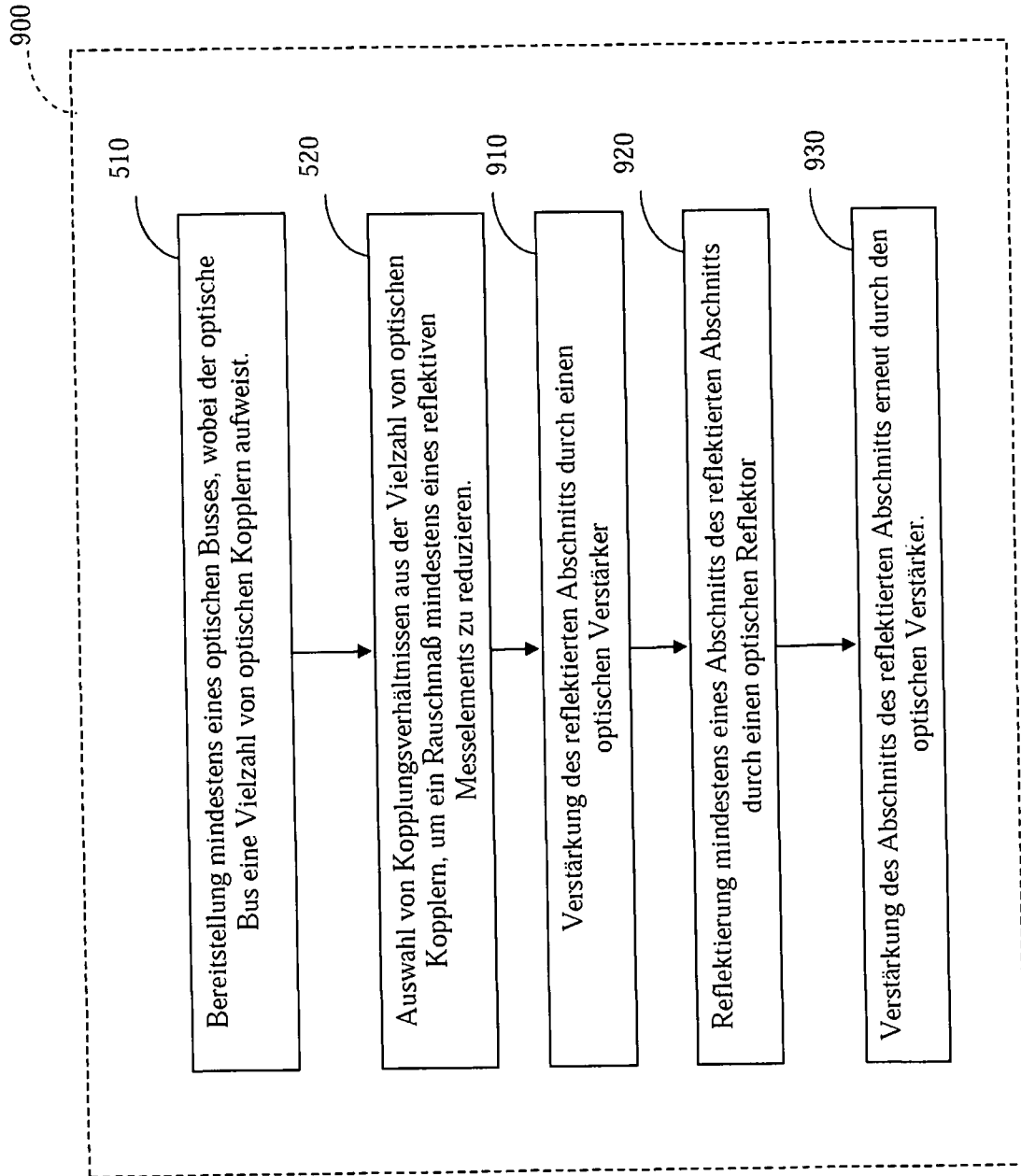
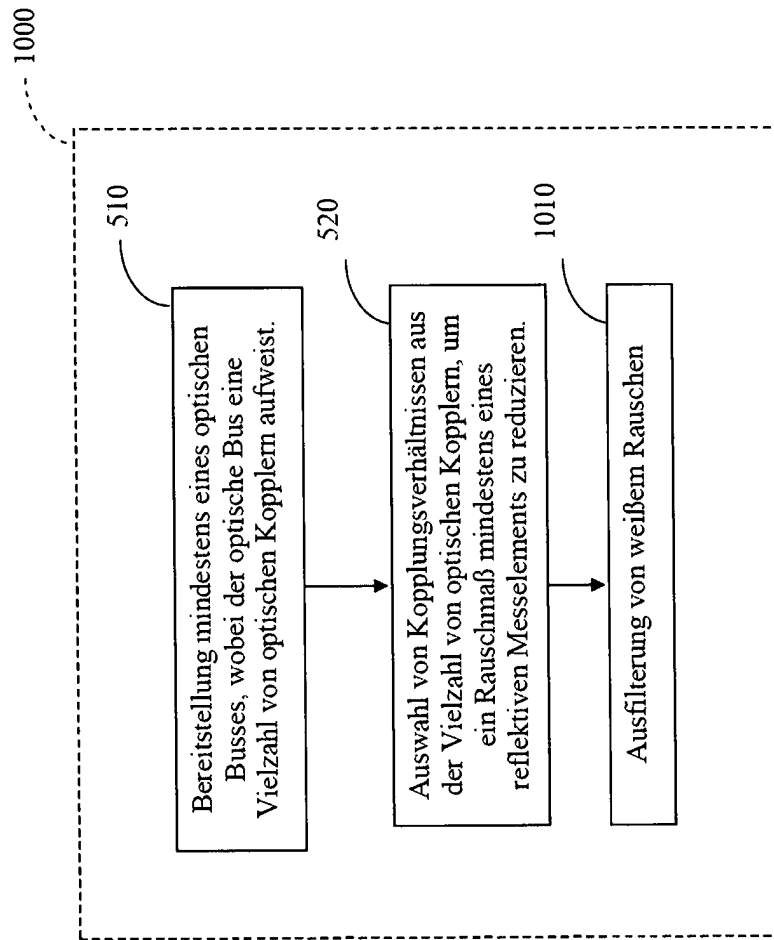


FIG. 25



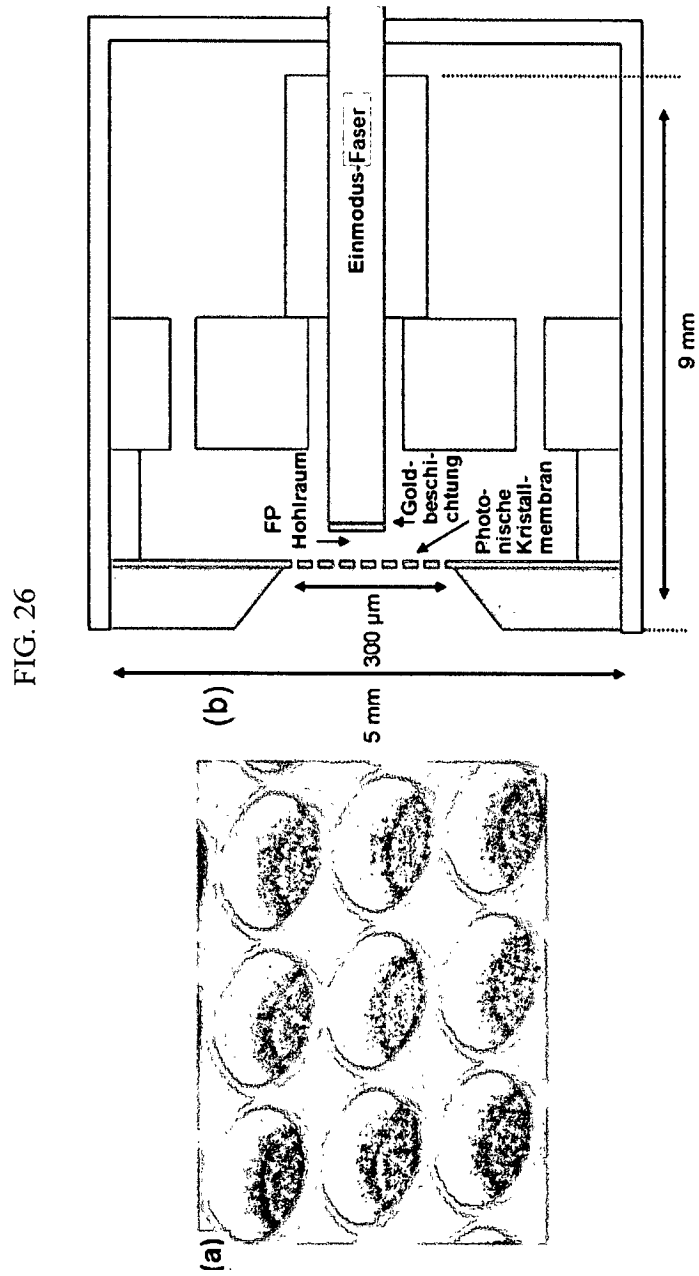


FIG. 27

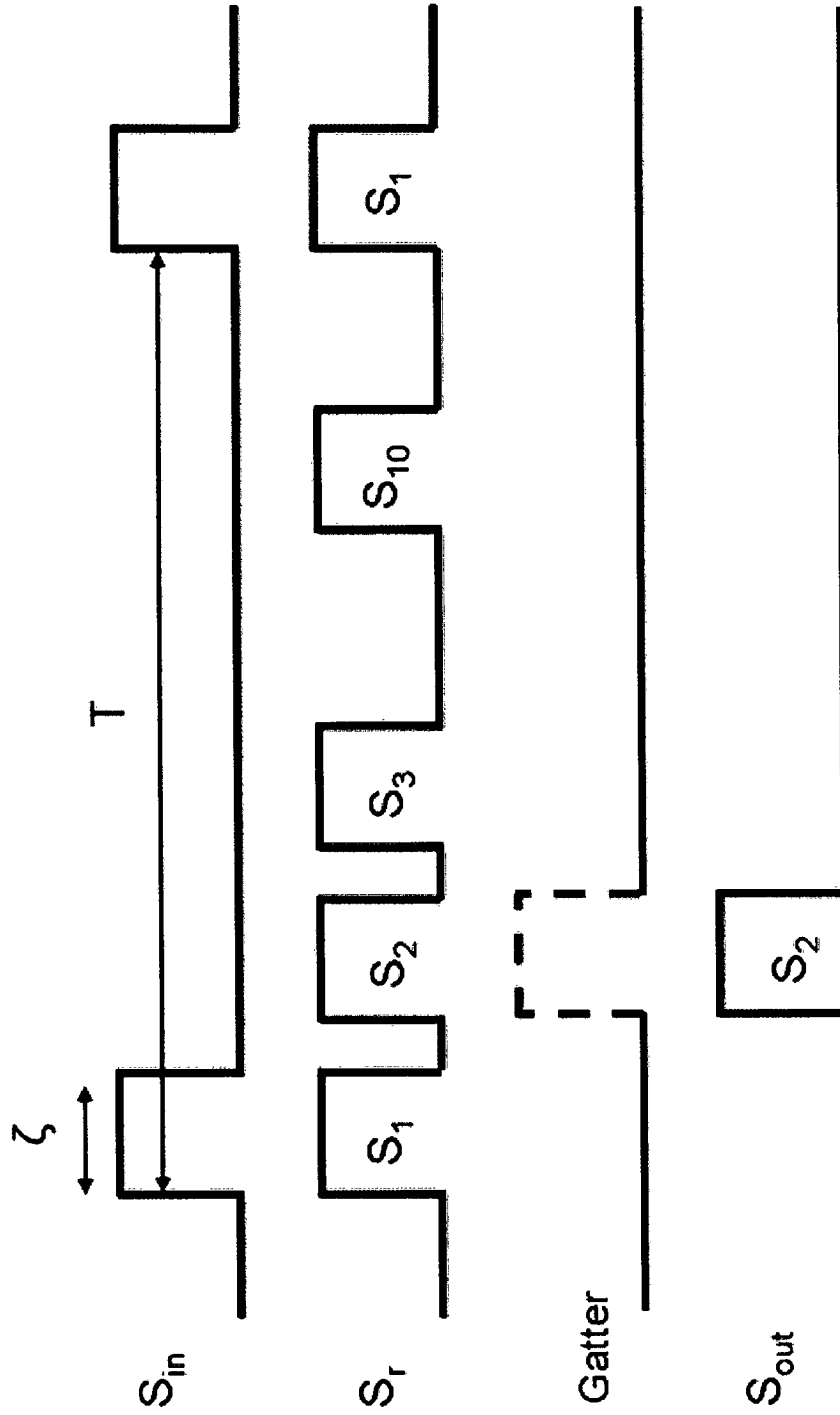


FIG. 28

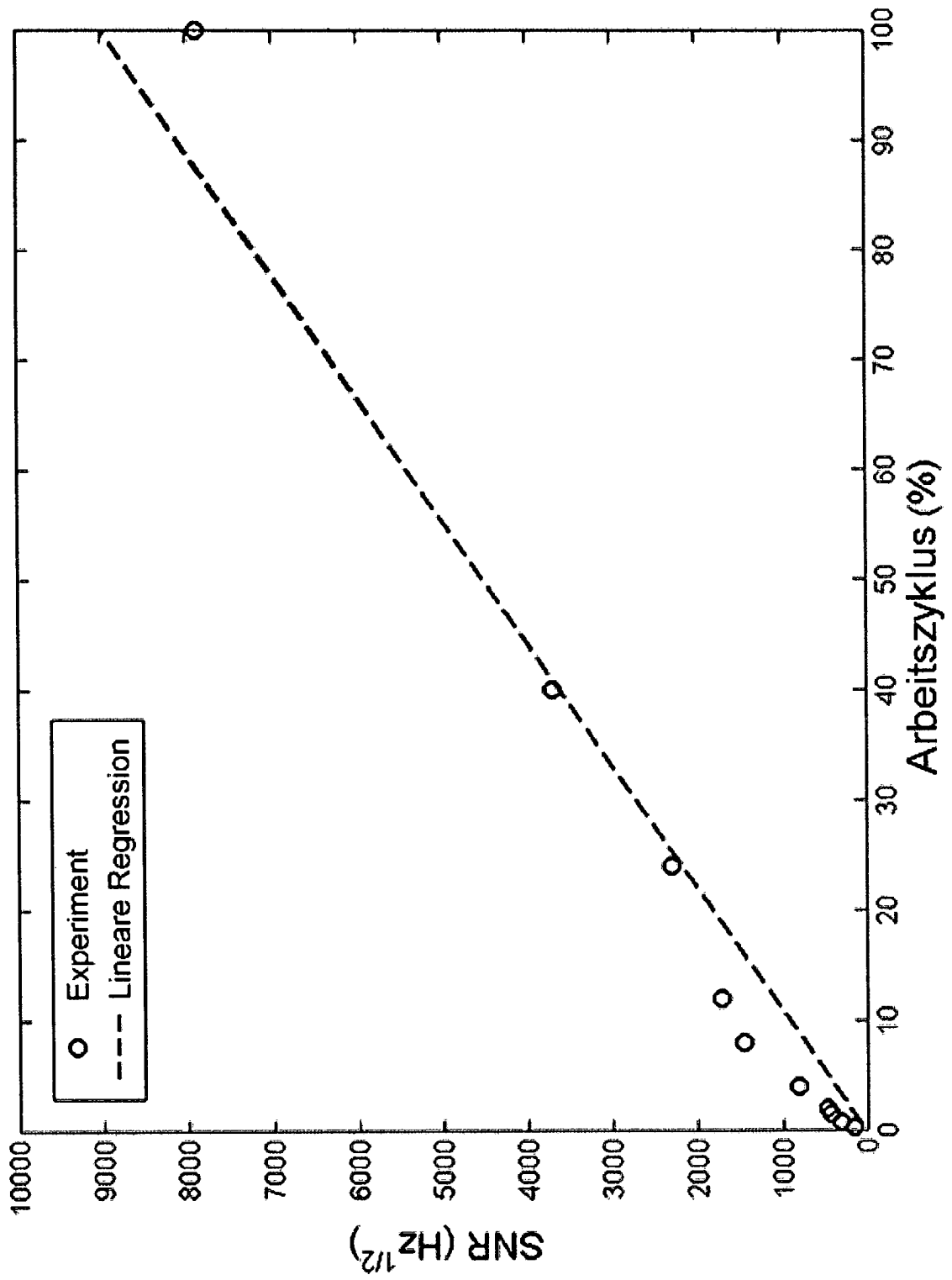


FIG. 29

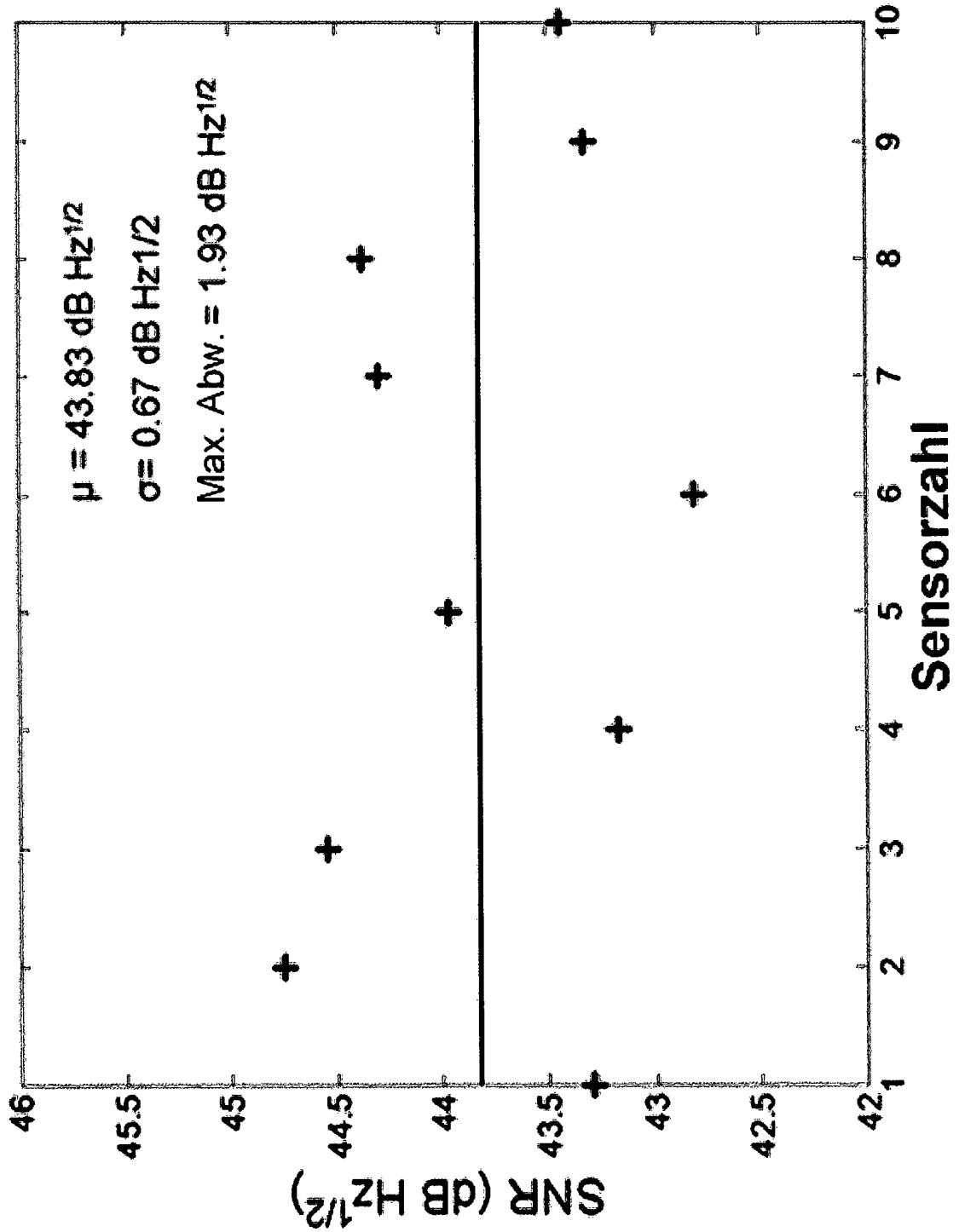


FIG. 30

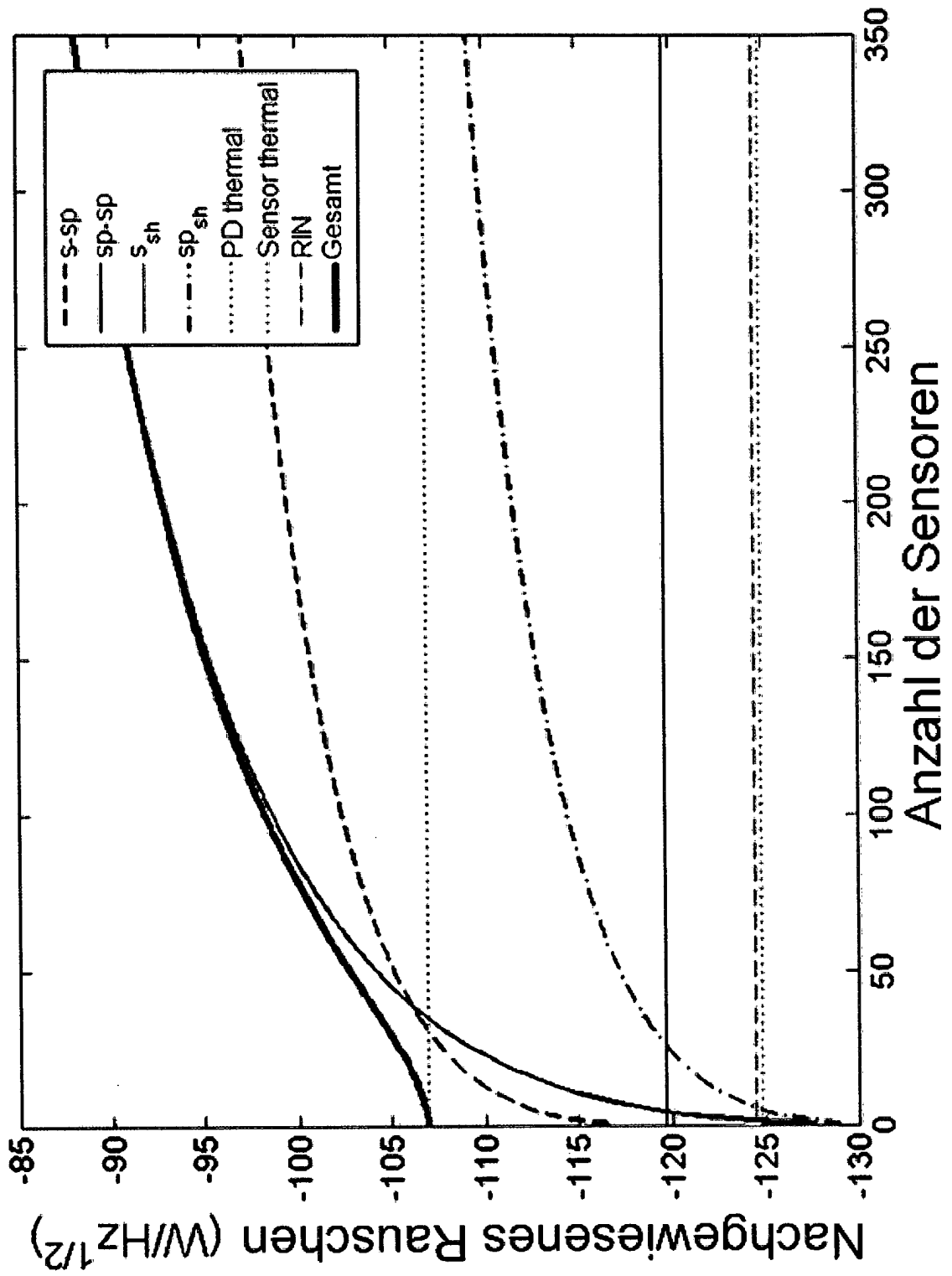


FIG. 31

