



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2005 028 357 A1** 2006.12.21

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2005 028 357.8**

(22) Anmeldetag: **18.06.2005**

(43) Offenlegungstag: **21.12.2006**

(51) Int Cl.⁸: **H04B 10/17 (2006.01)**
H04B 10/18 (2006.01)

(71) Anmelder:
Deutsche Telekom AG, 53113 Bonn, DE

(72) Erfinder:
Gunkel, Matthias, Dr., 64291 Darmstadt, DE;
Leppla, Ralph, Dr., 64285 Darmstadt, DE;
Schneiders, Malte, Dipl.-Ing., 64289 Darmstadt,
DE; Vorbeck, Sascha, Dipl.-Ing., 64289 Darmstadt,
DE; Weiershausen, Werner, Dipl.-Ing., 64859
Eppertshausen, DE; Bousonville, Michael,
Dipl.-Ing., 55118 Mainz, DE

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht zu ziehende Druckschriften:

DE 102 56 215 A1

DE 100 57 659 A1

US2004/01 36 053 A1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Rechercheantrag gemäß § 43 Abs. 1 Satz 1 PatG ist gestellt.

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Ramanverstärkung von optischen Signalen und Übertragungssystem**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Ramanverstärkung von optischen Signalen sowie ein Übertragungssystem im Allgemeinen und ein WDM-Übertragungssystem mit Ramanverstärkung im Speziellen.

Erfindungsgemäß werden

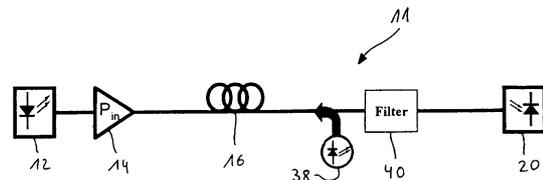
zwischen einem Sender und einem Empfänger optische Signale innerhalb eines Übertragungsbandes über einen optischen Wellenleiter übertragen,

die optischen Signale mittels zumindest einer Pumpe ramanverstärkt,

das Verstärkungsprofil der Ramanverstärkung innerhalb des Übertragungsbandes verzerrt und

das verzerrte Verstärkungsprofil entzerrt, um die Verzerrung zu kompensieren.

Mittels der Erfindung kann die effektive Rauschzahl abgesenkt werden.



Beschreibung

Gebiet der Erfindung

[0001] Die Erfindung betrifft im Allgemeinen ein Verfahren zur Ramanverstärkung von optischen Signalen sowie ein Übertragungssystem und im Besonderen ein WDM-Übertragungssystem mit Ramanverstärkung.

Stand der Technik

Hintergrund der Erfindung

[0002] Die optische Signalübertragung hält seit vielen Jahren in nahezu alle Bereiche der Datenübertragung Einzug. Hierfür werden die Signale typischerweise über optische Fasern, z.B. Glasfasern geleitet. Eine der wesentlichen zu beachtenden Schwierigkeiten ist die Signaldämpfung bei der Übertragung über lange Strecken. Um der Signaldämpfung entgegenzuwirken, werden typischerweise Verstärker in die Übertragungsstrecke eingebaut.

[0003] Die derzeit am häufigsten eingesetzten Verstärker sind Erbium-dotierte Faserverstärker, sogenannte EDFA (Erbium doped fiber amplifier). Ein EDFA ist ein Verstärker bestehend aus einem mit Erbium dotierten Glasfaserabschnitt mit einer typischen Länge von einigen Metern. Der dotierte Glasfaserabschnitt verhält sich im Grunde wie eine Laserdiode und wird durch Pumpen mit einer Wellenlänge von 980 nm bzw. 1480 nm gepumpt.

[0004] Seit kurzem ist noch an ein anderes Verstärkungsverfahren Gegenstand der Entwicklung, nämlich die sogenannte Raman-Verstärkung, basierend auf dem quantenmechanischen Raman-Effekt. Bei der Ramanverstärkung wird typischerweise ein Pumpaser in die Übertragungsfaser, also eine gewöhnliche Glasfaser, eingekoppelt um eine stimulierte Ramanstreuung innerhalb der Glasfaser hervorzurufen.

[0005] Diese aktiven optischen Ramanverstärker weisen einige technische Vorteile im Vergleich zu den EDFA auf. Diese umfassen zumindest Folgendes:
Das Eigenrauschen eines Ramanverstärkers ist deutlich geringer als das eines EDFA. Dadurch kann eine höhere Übertragungreichweite der Kommunikationssysteme erzielt oder ein größerer Verstärkerabstand realisiert werden, was die Beschaffungs- und Betriebskosten senken kann.

[0006] Der Verstärkungsbereich kann durch die Einstellung der Pumpwellenlänge in einem großen Bereich weitgehend frei gewählt werden. Im Gegensatz dazu ist das Verstärkungsverhalten eines EDFA eine inhärente feste Eigenschaft der Erbium-Ionen.

[0007] EDFA werden nach einem Ausfall lichtundurchlässig, was zu einem Totalausfall der gesamten Übertragungsstrecke führen kann. Ramanverstärker hingegen verlieren zwar ihre verstärkenden Eigenschaften, bleiben aber transparent, so dass die Übertragungsstrecke zwar mit reduzierter Verstärkung arbeitet, aber zumindest weiter durchlässig bleibt.

[0008] Ferner fügen Ramanverstärker vergleichsweise wenig Polarisationsmodendispersion (PMD) in die Übertragungsstrecke ein, was besonders bei zukünftigen WDM-Systemen mit einer Datenrate von 40 Gbit/s ein großer Vorteil gegenüber EDFA ist.

[0009] Nichtsdestotrotz sind auch Verfahren zur Ramanverstärkung weiter verbesserungswürdig.

Allgemeine Beschreibung der Erfindung

[0010] Die Erfinder haben daher zunächst folgende Überlegungen zur Ramanverstärkung von optischen Signalen angestellt.

[0011] Ramanverstärker wurden bislang typischerweise auf ein möglichst glattes Verstärkungsprofil hin entworfen, d.h. die Signalverstärkung sollte in einer bestimmten Bandbreite, in der Signale übertragen werden, möglichst frequenzunabhängig sein. Da das Verstärkungsspektrum einer Ramanpumpe stark frequenzabhängig ist, werden zum Teil die Verstärkungsspektren mehrerer Ramanpumpen kombiniert. Es werden folglich zwei oder mehrere Ramanpumpen eingesetzt, die auf unterschiedlichen, sinnvoll zu wählenden Emissionsfrequenzen eine ebenfalls sinnvoll zu wählende optische Pumpleistung emittieren (siehe auch **Fig. 1**). So kann

die Welligkeit der Verstärkung mit wachsender Anzahl von Ramanpumpen zunehmend verringert werden.

[0012] Bei der WDM-Signalübertragung (Wavelength Division Multiplex) mit optischer Verstärkung wird die Übertragungsreichweite durch das Rauschen begrenzt. Eine wesentliche Komponente des Rauschens ist das sogenannte ASE-Rauschen (Amplified Spontaneous Emission/Verstärkte Spontane Emission). Das ASE-Rauschen steigt zwar mit der Verstärkung an, allerdings weniger als proportional. Daher sinkt der durch das ASE-Rauschen verursachte Anteil an der Rauschzahl mit höherer Verstärkung.

[0013] Es ist nun wünschenswert, die Rauschzahl zu reduzieren. Hierzu ist es jedoch nicht möglich, einfach die Verstärkung sehr hoch zu wählen, da bei hoher Verstärkung noch ein anderer Störeffekt – die sogenannte Rayleigh-Streuung – berücksichtigt werden muss. Die Rayleigh-Streuung dominiert ab einem gewissen Punkt und steigt dann mit der Verstärkung stark an, was die Rauscheigenschaften des Ramanverstärkers verschlechtern würde. Folglich existiert ein Minimum für die Rauschzahl bei einer bestimmten Verstärkung. In diesem Rauschzahlminimum über der Verstärkung macht das ASE-Rauschen den größten Anteil am Gesamttrauschen aus.

[0014] Ferner ist bei Ramanverstärkern die Rauschzahl frequenzabhängig. Herkömmlicher Weise werden die Ramanpumpen derart eingestellt, dass in diesem Minimum der Rauschzahl über der Verstärkung operiert wird und die Verstärkung eine möglichst geringe Frequenzabhängigkeit im Übertragungsband aufweist. Bei dieser Einstellung ist die Rauschzahl für Signale, die auf einer Frequenzskala näher an den Pumpfrequenzen liegen, schlechter als für weiter entfernt liegende Signale. Außerdem weist die Rauschzahl über der Frequenz eine Welligkeit auf, die invers zur Verstärkungswelligkeit verläuft.

[0015] Daher ist es derzeit das übliche und nach Kenntnis der Erfinder einzig bekannte Verfahren, die Ramanverstärkung so einzustellen, dass dieses Minimum der Rauschzahl über der Verstärkung bei spektral maximaler Verstärkung innerhalb des Übertragungsbandes erreicht wird, um gleichzeitig eine möglichst geringe Rauschzahl und eine möglichst frequenzunabhängige Verstärkung zu erzielen.

[0016] Obwohl diese bekannten Verfahren mit dieser Extremal betrachtung an eine scheinbar unüberwindliche Grenze gestoßen sind, besteht dennoch das Bedürfnis die Rauschzahl weiter zu reduzieren.

Aufgabenstellung

[0017] Die Erfindung hat sich daher die Aufgabe gestellt, ein Verfahren zur Ramanverstärkung von optischen Signalen bzw. ein optisches Kommunikationssystem mit Ramanverstärkung, bereit zu stellen, welches eine geringe, insbesondere gegenüber den bekannten Verfahren/Systemen reduzierte Rauschzahl aufweist.

[0018] Eine weitere Aufgabe der Erfindung ist es, ein derartiges Verfahren bzw. System bereit zu stellen, welches gute, insbesondere gegenüber den bekannten Verfahren/Systemen verbesserte Übertragungseigenschaften gewährleistet.

[0019] Noch eine Aufgabe der Erfindung ist es, ein derartiges Verfahren bzw. System bereit zu stellen, welches einfach und kostengünstig auch in vorhandene Systeme integrierbar ist sowie geringe Betriebskosten verursacht und insbesondere den Einsatz von EDFA-Abschnitten vermeidet.

[0020] Die Aufgabe der Erfindung wird durch den Gegenstand der unabhängigen Ansprüche gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen definiert.

[0021] Erfindungsgemäß wird ein Verfahren zur Ramanverstärkung von optischen Signalen bei der Signalübertragung bereit gestellt, welches sich insbesondere für ein WDM-Übertragungssystem, einschließlich DWDM etc. eignet. Hierbei werden zwischen einem Sender und einem Empfänger optische Signale innerhalb des Signal-Übertragungsbandes über einen optischen Wellenleiter, z.B. eine optische Faser übertragen. Die optischen Signale werden dabei mittels einer oder mehrerer Raman-Pumpen, innerhalb des optischen Wellenleiters ramanverstärkt. Mit anderen Worten findet die Verstärkung innerhalb der gewöhnlichen undotierten Glasfaser statt, so dass im Gegensatz zum EDFA vorzugsweise keine speziell dotierten Verstärkerabschnitte in die Übertragungsstrecke eingesetzt werden müssen. Es ist vielmehr ausreichend, die Raman-Pumpen in die herkömmliche Übertragungs-Glasfaser einzukoppeln.

[0022] Erfindungsgemäß wird nun das Verstärkungsprofil der Ramanverstärkung innerhalb des Übertragungsbandes gezielt verzerrt. Diese Verzerrung oder Vorverzerrung wird insbesondere dadurch realisiert, dass

das Verstärkungsprofil vorangehoben wird. Hierzu wird eine vorbestimmt vorangehobene Zielvorgabe für das Verstärkungsprofil definiert und durch geeignete Wahl und Einstellung der Raman-Pumpen wird ein Verstärkungsprofil eingestellt, welches dieser vorbestimmt vorangehobenen Zielvorgabe (soweit wie möglich) nahe kommt. Mit anderen Worten wird das Verstärkungsprofil gegenüber einer herkömmlichen frequenzunabhängigen Zielvorgabe des Verstärkungsprofils zunächst mit einer Preemphase (preemphasis) versehen. Anschließend wird das verzerrte oder vorangehobene Verstärkungsprofil wieder entzerrt bzw. abgesenkt, um mittels der, vorzugsweise passiven, Entzerrung die gezielte Verzerrung wieder zu kompensieren.

[0023] Dadurch kann überraschender Weise die effektive Rauschzahl im Übertragungsband gegenüber herkömmlichen ramanverstärkten Systemen reduziert werden und dennoch trotz der Preemphase des Verstärkungsprofils der Ramanverstärkung nach der Deemphase ein relativ frequenzunabhängiges Verstärkungsprofil erzielt werden.

[0024] Dies hat enorme Qualitäts- bzw. Kostenvorteile zur Folge, da das Signal-zu-Rausch-Verhältnis verbessert werden kann bzw. die Übertragungstrecken zwischen den Verstärkern länger gewählt werden können.

[0025] Demnach existiert für das Übertragungssystem zunächst ein nicht verzerrtes erstes Verstärkungsprofil, welches an die Signalfrequenzen im Übertragungsband angepasst ist, genauer dessen Maximum oder Maxima an die Signalfrequenzen im Übertragungsband angepasst ist bzw. sind. Vorzugsweise liegt bzw. liegen das Maximum bzw. die Maxima dieses nicht verzerrten ersten Verstärkungsprofils innerhalb des Übertragungsbandes.

[0026] Ferner existiert in Form des verzerrten Verstärkungsprofils ein zweites Verstärkungsprofil, welches gegenüber dem ersten Verstärkungsprofil vorbestimmt vorangehoben ist. Hierbei sind das erste Verstärkungsprofil an eine konstante Zielvorgabe und das zweite Verstärkungsprofil an eine gegenüber der konstanten Zielvorgabe vorangehobene, insbesondere nicht konstante Zielvorgabe angenähert.

[0027] Bevorzugt wird die Verzerrung des zweiten Verstärkungsprofils mittels einer Verschiebung der Pumpfrequenz(en) der Raman-Pumpe(n) gegenüber der Pumpfrequenz(en) bei dem nicht verzerrten ersten Verstärkungsprofil durchgeführt.

[0028] Insbesondere wird/werden die Pumpfrequenz(en) der Raman-Pumpe(n) bei dem verzerrten zweiten Verstärkungsprofil in Bezug auf die Pumpfrequenz(en) bei dem nicht verzerrten ersten Verstärkungsprofil jeweils zu einer höheren Frequenz und/oder weg von dem Übertragungsband verschoben. Dies bewirkt eine Absenkung der effektiven Rauschzahl.

[0029] Besonders bevorzugt wird die Verzerrung des Verstärkungsprofils dergestalt realisiert, dass das Verstärkungsprofil der Ramanverstärkung im oberen Frequenzbereich des Übertragungsbandes vorangehoben wird, so dass das Verstärkungsprofil innerhalb des Übertragungsbandes zu höheren Frequenzen hin durch eine – von lokalen Maxima abgesehen – im Wesentlichen steigende Funktion definiert wird. Weiter bevorzugt ist also die Zielvorgabe (ideale Sollfunktion) für das vorangehobene Verstärkungsprofil eine zu höheren Frequenzen hin innerhalb des Übertragungsbandes, insbesondere stetig, wachsende Funktion.

[0030] Dadurch verschiebt sich der Schwerpunkt des Verstärkungsprofils im Übertragungsband nach der Verzerrung oder Preemphase und vor der Entzerrung bzw. Deemphase vom Zentrum zum oberen Rand des Frequenzbereichs des Übertragungsbandes. Eine lineare Näherung des Verstärkungsprofils innerhalb des Übertragungsbandes nach der Verzerrung oder Preemphase und vor der Entzerrung weist somit eine signifikante Steigung über der Frequenz auf.

[0031] Diese Verschiebung kann insbesondere soweit gewählt sein, dass das Maximum des Verstärkungsprofils nach der Verzerrung und vor der Entzerrung am Rand des Übertragungsbandes liegt. Eine Verschiebung derart, dass das Maximum des Verstärkungsprofils nach der Verzerrung und vor der Entzerrung außerhalb des Übertragungsbandes liegt, ist zwar ggf. mit erhöhten Kosten verbunden, soll aber nicht ausgeschlossen sein.

[0032] Es hat sich als vorteilhaft erwiesen, das Verstärkungsprofil im oberen Frequenzbereich des Übertragungsbandes um mindestens 5 dB, besonders bevorzugt um etwa 8 dB gegenüber dem unteren Frequenzbereich des Übertragungsbandes anzuheben. Dadurch kann eine Reduzierung der effektiven Rauschzahl um etwa 0,7 dB oder mehr bewirkt werden.

[0033] Gemäß einer besonders bevorzugten Ausführungsform der Erfindung werden mehrere Raman-Pumpen mit unterschiedlichen Pumpfrequenzen zur Ramanverstärkung eingesetzt, so dass sich die Verstärkungsprofile der mehreren Raman-Pumpen zu einem Gesamtverstärkungsprofil überlagern und das Gesamtverstärkungsprofil der Ramanverstärkung innerhalb des Übertragungsbandes mittels einer Verschiebung der Pumpfrequenz einer oder der Pumpfrequenzen mehrerer der Raman-Pumpen, vorzugsweise aller Raman-Pumpen, in Bezug auf ein nicht verzerrtes, d.h. im Übertragungsband näherungsweise konstantes Gesamtverstärkungsprofil vorangehoben wird.

[0034] Insbesondere werden die Verzerrung der aktiven Ramanverstärkung und die passive Entzerrung innerhalb der Glasfaser derart aufeinander angepasst, dass das Verstärkungsmaximum nach der Verzerrung des Verstärkungsprofils und nachfolgender Entzerrung im Übertragungsband liegt und die Verstärkung nach der Entzerrung wieder möglichst konstant ist. Mit anderen Worten ist eine lineare Näherung des Verstärkungsprofils im Übertragungsband wieder zumindest nahezu konstant.

[0035] In besonders einfacher Weise kann zur Entzerrung nach der Ramanverstärkung ein optisches Filter verwendet werden, um die Verzerrung zu kompensieren bzw. die Signale invers zu der Verzerrung zu filtern.

[0036] Zweckmäßig werden Pumplaser als Raman-Pumpen verwendet. Ferner werden die Pumplaser entgegen der Signalübertragungsrichtung in den Wellenleiter eingekoppelt, um die Ramanverstärkung innerhalb der Glasfaser zu bewirken.

[0037] Zur Übertragung über längere Strecken wird die Gesamtstrecke in mehrere Übertragungsstrecken unterteilt und jeweils am Ende jeder Übertragungsstrecke wird mittels einer erfindungsgemäßen Pumpen-Entzerrer-Einheit die verzerrende Verstärkung und die kompensierende Entzerrung durchgeführt. Ferner ist innerhalb der Gesamtstrecke hinter dem Sender ein Eingangsverstärker für die zu übertragenden Signale vorgesehen.

[0038] Zum Einrichten des Übertragungssystems kann demnach wie folgt vorgegangen werden: Zunächst wird ein Sollwert für die Ramanverstärkung, z.B. für die mittlere Verstärkung, innerhalb des Übertragungsbandes festgelegt, welches zu einer oder mehreren ersten Pumpfrequenzen für ein an den Sollwert angepasstes nicht verzerrtes erstes Verstärkungsprofil innerhalb des Übertragungsbandes korreliert. Nachfolgend werden eine bzw. mehrere zweite Pumpfrequenzen für ein gegenüber dem ersten Verstärkungsprofil verzerrtes zweites Verstärkungsprofil bestimmt und eine bzw. mehrere Pumpen mit der zweiten Pumpfrequenz bzw. den zweiten Pumpfrequenzen zur Ramanverstärkung der zu übertragenden Signale bereit gestellt, wobei die zweiten Pumpfrequenzen gegenüber den ersten Pumpfrequenzen verschoben sind. Die Pumpleistungen werden vorzugsweise ebenfalls modifiziert, um das zweite verzerrte Verstärkungsprofil zu erzielen. Ferner werden Mittel zur Entzerrung des verzerrten zweiten Verstärkungsprofils in Bezug auf den Sollwert bereit gestellt.

Ausführungsbeispiel

[0039] Im Folgenden wird die Erfindung anhand eines Ausführungsbeispiels und unter Bezugnahme auf die Zeichnungen näher erläutert.

Kurzbeschreibung der Figuren

[0040] Es zeigen:

[0041] [Fig. 1](#) eine schematische Darstellung eines herkömmlichen Ramanverstärkten Glasfaser-Kommunikationssystems,

[0042] [Fig. 2](#) die Superposition zweier Verstärkungsprofile zum einem Gesamtverstärkungsprofil als Funktion der Frequenz,

[0043] [Fig. 3](#) einen Ausschnitt des Gesamtverstärkungsprofils aus [Fig. 2](#) im Übertragungsband,

[0044] [Fig. 4](#) die effektive Rauschzahl im Übertragungsband als Funktion der Frequenz,

[0045] [Fig. 5](#) den spontanen Emissionsfaktor E in Abhängigkeit der Frequenzdifferenz zwischen Signal und Pumpe ($\Delta\nu$),

[0046] [Fig. 6](#) Zielvorgaben für das Verstärkungsprofil im Übertragungsband als Funktion der Frequenz mit

und ohne Preemphase,

[0047] [Fig. 7](#) ein Verstärkungsprofil der Ramanverstärkung im Übertragungsband als Funktion der Frequenz nach der Preemphase und vor der Deemphase,

[0048] [Fig. 8](#) die effektive Rauschzahl im Übertragungsband als Funktion der Frequenz mit und ohne Preemphase,

[0049] [Fig. 9](#) ein Verstärkungsprofil im Übertragungsband als Funktion der Frequenz nach der Preemphase und der Deemphase,

[0050] [Fig. 10](#) eine schematische Darstellung eines ramanverstärkten Glasfaser-WDM-Kommunikationssystems gemäß dem Ausführungsbeispiel der Erfindung und

[0051] [Fig. 11](#) wie [Fig. 10](#), aber mit mehreren Übertragungsstrecken und Verstärker-Filter-Einheiten.

Detaillierte Beschreibung der Erfindung

[0052] [Fig. 1](#) zeigt ein beispielhaftes herkömmliches Übertragungssystem **10** mit Ramanverstärkung. Optische Signale werden von einem Sender **12** von einem Eingangsverstärker **14** vorverstärkt und über eine Glasfaserstrecke **16** von z.B. 80 km Länge übertragen. Am Ende der Übertragungsstrecke **16** werden die optischen Signale mittels Pumplasern **18**, ramanverstärkt um nachfolgend von einem Empfänger **20** empfangen zu werden. Das Prinzip der Ramanverstärkung von optischen Signalen in einer Glasfaser ist dem Fachmann grundsätzlich bekannt.

[0053] Bezug nehmend auf [Fig. 2](#) wird im Folgenden ein Übertragungssystem mit zwei Pumpen 1 und 2, genauer Pumplasern betrachtet. Jede Pumpe 1, 2 erzeugt jeweils ein Verstärkungsprofil (OnOffGain) VP1 bzw. VP2, welche durch die gestrichelte bzw. die strichpunktierte Linie dargestellt sind. Die beiden Einzelverstärkungen der Ramanpumpen 1 und 2 überlagern sich schließlich zu einem Gesamtverstärkungsprofil VP3, dargestellt durch die durchgezogene Linie.

[0054] Das Übertragungsband, d.h. der Bereich, in dem die Signalverstärkung stattfinden soll, liegt in diesem Beispiel zwischen 189,1 und 196,1 THz der relativen Frequenz aufgetragen auf der x-Achse. Es wird eine vorbestimmte mittlere Verstärkung (OnOffGain), in diesem Beispiel von etwa 16,1 dB vorgegeben, welche durch die horizontale Linie **6** dargestellt ist. Die beiden senkrechten Linien **7** und **8** begrenzen das Übertragungsband zwischen 189,1 und 196,1 THz. Die zu verstärkenden Signale sind schematisch als Pfeile **9** dargestellt. Die Pumpfrequenzen der Pumplaser 1, 2 weisen allgemein eine höhere Frequenz als die Signale **9** im Übertragungsband auf (Stokes-Fall). Die Pumpfrequenzen betragen in diesem Beispiel etwa 204 und 209 THz.

[0055] Bezug nehmend auf [Fig. 3](#) ist der für die Signalübertragung wichtige Verstärkungsbereich, nämlich das Übertragungsband vergrößert dargestellt. Das Gesamtverstärkungsprofil ist derart eingestellt, dass die beiden Verstärkungsmaxima innerhalb des Übertragungsbandes bei etwa 190,8 THz und etwa 194,1 THz lokalisiert sind und das Gesamtverstärkungsprofil VP3 innerhalb des gesamten Übertragungsbandes mindestens etwa 15 dB beträgt. Das Gesamtverstärkungsprofil VP3 schwankt innerhalb des Übertragungsbandes um weniger als 2 dB um die Zielvorgabe des mittleren Verstärkungswertes **6** und der Schwerpunkt des Abschnitts des Gesamtverstärkungsprofils VP3 innerhalb des Übertragungsbandes liegt etwa in der Mitte des Übertragungsbandes.

[0056] [Fig. 4](#) zeigt die zu dem in den [Fig. 2](#) und [Fig. 3](#) dargestellten Gesamtverstärkungsprofil VP3 zugehörige effektive Rauschzahl ER als Funktion der relativen Frequenz. Die effektive Rauschzahl ER drückt aus, wie groß die Rauschzahl eines äquivalenten EDFAs sein müsste, der bei gleicher Verstärkung das gleiche Rauschverhalten aufweist. Diesbezüglich wird auf den Artikel "Raman Amplifiers for Telecommunications", 1. Springer 2003 von Islam, M.N. verwiesen, welcher hiermit vollumfänglich mittels Referenz zum Gegenstand dieser Offenbarung gemacht wird. Der in [Fig. 4](#) dargestellte Verlauf ist typisch, wobei die effektive Rauschzahl ER, wie in diesem Beispiel, per Definition durchaus negativ sein kann.

[0057] Ein Vergleich mit [Fig. 3](#) zeigt, dass kleinere Einbrüche an den Stellen großer Verstärkung, entsprechend den lokalen Maxima **21** in [Fig. 3](#), auftreten, welche in [Fig. 4](#) mit **22** bezeichnet sind. Es besteht also eine Korrelation zwischen Verstärkungs- und Rauschprofil. Es ist weiterhin klar zu erkennen, dass die effektive Rauschzahl zu höheren Frequenzen hin oder mit kleiner werdendem Abstand zu den Pumpfrequenzen (in der

Fig. 4 rechts) zunimmt. Das Maximum der Rauschzahl in diesem Bereich begrenzt bei herkömmlichen Systemen die Übertragungreichweite.

[0058] Davon ausgehend wurden folgende Überlegungen angestellt:
Von dem dominierenden ASE-Rauschen hängt direkt die Rauschzahl gemäß der Definition

$$F = F_{Schrot} + F_{ASE} + F_{Ray} = \frac{1}{G_{OnOff}} + \frac{\rho_{ASE}^+(L)}{h\nu G_{OnOff}} + \frac{P_{Ray}^+(L)}{h\nu B_F G_{OnOff}}. \quad (1)$$

ab. Das ASE-Rauschen kann demnach folgendermaßen modelliert werden (vgl. "Raman Amplifiers for Telecommunications", 1. Springer 2003 von Islam, M.N):

$$\frac{d\rho_{ASE}^+(z)}{dz} = -\alpha_s \rho_{ASE}^+(z) + \sum_i C_{Ri} P_i(z) (\rho_{ASE}^+(z) + h\nu E_i) + S\alpha_R \rho_{ASE}^-(z) \quad (2)$$

$$-\frac{d\rho_{ASE}^-(z)}{dz} = -\alpha_s \rho_{ASE}^-(z) + \sum_i C_{Ri} P_i(z) (\rho_{ASE}^-(z) + h\nu E_i) + S\alpha_R \rho_{ASE}^+(z) \quad (3)$$

$$E = \frac{1}{1 - e^{-\frac{h\Delta\nu}{kT}}} \quad (4)$$

[0059] Hierin sind:

B_F	Bandbreite des Empfangsfilters
C_{Ri}	Ramanverstärkungskoeffizient (der i-ten Pumpe)
E	Spontaner Emissionsfaktor
F	Gesamtrauschzahl
F_{Schrot}	Rauschzahl verursacht durch Schrot-Rauschen
F_{ASE}	Rauschzahl verursacht durch ASE-Rauschen
F_{Ray}	Rauschzahl verursacht durch Rayleigh-Rauschen
G_{OnOff}	Ramanverstärkung (OnOffGain)
h	Planck'sche Konstante
k	Boltzmann-Konstante
P_i	Leistung (der i-ten Lichtwelle)
P_{Ray}	Rayleigh Rauschleistung
$P_{Ray}^+(L)$	Rayleigh Rauschleistung am Empfänger
S	Rayleigh-Backscattering Koeffizient
z	Position in Längsrichtung der Glasfaser
α_R	Faserdämpfung durch Rayleigh-Backscattering
α_s	Faserdämpfung
$\Delta\nu$	Frequenzdifferenz zwischen Signal und Pumpe
ν	optische Frequenz
ρ_{ASE}	Spektrale Rauschdichte (ASE)
$\rho_{ASE}^+(L)$	Spektrale Rauschdichte am Empfänger.

[0060] Die hochgestellten Plus- und Minus-Zeichen kennzeichnen die Ausbreitungsrichtung des ASE-Rauschens. Plus bedeutet Ausbreitung in Vorwärts- und Minus in Rückwärtsrichtung.

[0061] Der Term

$h\nu E_i$,

in den Summen gemäß Gleichung (2) und (3) steht für die Größe des erzeugten ASE-Rauschens.

[0062] **Fig. 5** zeigt den spontanen Emissionsfaktor E als Funktion der Frequenzdifferenz $\Delta\nu$ zwischen Pumpe und Signal gemäß Gleichung (4). Gemäß Gleichung (4) und wie in **Fig. 5** anschaulich zu sehen ist, fällt der spontane Emissionsfaktor mit größer werdender Frequenzdifferenz $\Delta\nu$ zwischen Pumpe und Signal ab. Um

den spontanen Emissionsfaktor E und damit die ASE-Rausch-Generierung zu minimieren, wird daher vorgeschlagen, die Differenzfrequenz zwischen Pumpe und Signal zu vergrößern.

[0063] Dies läuft jedoch dem Ziel einer möglichst konstanten Verstärkungsfunktion zunächst unmittelbar zuwider, da dann das Verstärkungsmaximum nicht mehr im Übertragungsbereich liegt und die Verstärkung stark frequenzabhängig wird. Dies ist jedoch bei den in Rede stehenden Übertragungssystemen, z.B. bei WDM-Übertragungssystemen in der Regel nicht erwünscht. Daher ergibt sich für den Fachmann an dieser Stelle ein unüberwindbar erscheinendes Hindernis aufgrund der Gegenläufigkeit dieser beiden Zielvorgaben.

[0064] Die Erfinder haben nun aber einen Weg gefunden, diesen Widerspruch wie folgt aufzulösen.

Schritt 1: Gezielte Verzerrung

[0065] Gemäß der vorliegenden Erfindung werden die Pumpfrequenzen nämlich im Vergleich zu dem in [Fig. 2](#) und [Fig. 3](#) dargestellten konventionellen Gesamtverstärkungsprofil weg vom Signal-Übertragungsbereich in Richtung höherer Emissionsfrequenzen verschoben, um das Rauschzahlmaximum (am rechten Rand in [Fig. 4](#)) gezielt zu senken. Die dadurch entstehende, grundsätzlich unerwünschte Verschiebung des Verstärkungsmaximums und die ebenfalls grundsätzlich unerwünschte erhöhte Frequenzabhängigkeit im Übertragungsbereich werden dabei zunächst bewusst in Kauf genommen.

[0066] Es wird also in einem ersten Schritt das Ziel einer frequenzunabhängigen Verstärkung zunächst aufgegeben. Im Rahmen der vorliegenden Erfindung ist es vielmehr beabsichtigt, eine höhere Verstärkung auf derjenigen Seite des Übertragungsbereiches zu bewirken, neben dem sich die Pumpen befinden, also eine bei höheren Frequenzen vorangehobene Zielvorgabe zu definieren. [Fig. 6](#) zeigt ein Beispiel für eine solche vorangehobene Zielvorgabe **24** (strichpunktierte Linie) für die Ramanverstärkung im Vergleich zu einer konventionellen konstanten Zielvorgabe **6** (durchgezogene Linie). Die vorangehobene Zielvorgabe **24** ist am oberen Ende des Übertragungsbereiches, d.h. bei höherer Frequenz und in Richtung der Pumpfrequenzen, um etwa 8 dB gegenüber dem unteren Ende, d.h. bei niedrigerer Frequenz und weg von den Pumpfrequenzen, bzw. gegenüber der konventionellen konstanten Zielvorgabe **6** angehoben. Die vorangehobene Zielvorgabe **24** ist demnach eine zu höheren Frequenzen hin stetig wachsende Funktion. Diese Voranhebung wird als Preemphase (Preemphasis) bezeichnet.

[0067] Dies führt bezogen auf die Erfindung dazu, dass die Pumpfrequenzen und Pumpleistungen anders eingestellt werden müssen, um der vorangehobenen Zielvorgabe oder -funktion **24** nahe zu kommen, als wenn ein frequenzunabhängiges Verstärkungsspektrum der Ramanverstärkung oder eine konstante Zielvorgabe **6** gefordert wird. Da der Gesamtfrequenzgang des Verstärkers eine Superposition der Verstärkungsprofile aller beteiligten Pumpen ist, werden aufgrund der geometrischen Form des Ramanprofils jeder einzelnen Pumpe (in diesem Beispiel Pumpe 1 und 2), die Pumpenfrequenzen weiter vom Signal-Übertragungsbereich **7, 8** entfernt und deren Leistung auf die neue Zielvorgabe **24** hin angepasst bzw. optimiert.

[0068] [Fig. 7](#) zeigt das optimierte tatsächliche Verstärkungsprofil **32** unter Berücksichtigung der Preemphase, das heißt das nach der in [Fig. 6](#) dargestellten vorangehobenen Zielvorgabe **24** eingestellt bzw. erfindungsgemäß an diese angenähert ist.

[0069] Die Verschiebung der Pumpfrequenzen der beiden Pumpen 1 und 2 weg vom Übertragungsbereich zu höheren Frequenzen (in [Fig. 7](#) nach links) ist erkennbar an der ebenfalls zu höheren Frequenzen hin verschobenen Position der Verstärkungmaxima **28, 30** (vergleiche [Fig. 3](#), dort **21**) des vorangehobenen Verstärkungsprofils **32** (durchgezogene Linie in [Fig. 7](#)).

[0070] Bezug nehmend auf [Fig. 8](#) ist das mit dem erfindungsgemäßen Verfahren erzielte Rauschzahlprofil **34** (durchgezogene Linie) über der Frequenz angegeben. Ferner dargestellt ist das konventionelle Rauschzahlprofil ER (punktierter Linie) ohne die erfindungsgemäße Voranhebung des Verstärkungsprofils. Da die Rauschzahl zum einen von der Verstärkung und zum anderen in stärkerem Maße vom Frequenzabstand zwischen Signal- und Pumpwellen abhängig ist ergibt sich eine Absenkung des Rauschzahlprofils **34** gegenüber dem Rauschzahlprofil ER. Es ist bereits in diesem einfachen Beispiel mit lediglich zwei Ramanpumpen 1, 2 eine deutliche Verringerung des Rauschzahlmaximums im Rauschzahlprofil **34** um etwa 0,7 dB gegenüber dem konventionellen Rauschzahlprofil ER im Übertragungsbereich festzustellen. Wenn mehr Aufwand für die Preemphase verwendet wird, lässt sich nach Einschätzung der Erfinder eine Reduktion um 1 dB oder sogar mehr realisieren. Dies entspricht einer vergrößerten Systemreichweite von etwa 25 %, so dass bei gleicher Performance die Kosten für die Verstärker um ein Viertel verringert werden können.

Schritt 2: Entzerrung

[0071] Bis zu diesem Punkt weist das Übertragungssystem noch ein unerwünscht verzerrtes Verstärkungsprofil **32** auf. Dieses wird nun in einem zweiten Schritt wieder entzerrt. Durch die Entzerrung oder Deemphase wird der Einfluss der Preemphase auf den Verstärkungsfrequenzgang – vorzugsweise soweit wie möglich – wieder kompensiert. [Fig. 9](#) zeigt das resultierende Verstärkungsprofil **32'** nach der Verzerrung und nachfolgender Entzerrung.

[0072] Somit ist der Frequenzgang im Übertragungsbereich unter den gegebenen Randbedingungen wieder möglichst konstant bzw. ist einer konstanten mittleren Verstärkung **35** angenähert und schwankt um diese. Demgemäß liegen auch die Verstärkungsmaxima **28'**, **30'** wieder im Übertragungsbereich, während jedoch die reduzierte Rauschzahl gemäß Bezugsziffer **34** in [Fig. 8](#) erhalten bleibt.

[0073] [Fig. 10](#) zeigt den prinzipiellen Aufbau eines ramanverstärkten WDM-Systems **11** gemäß der vorliegenden Erfindung, also mit frequenzverschobenen Ramanpumpen und einem Deemphase-Filter **40** zur Rauschzahlverbesserung. Optische Signale werden von dem Sender **12** emittiert und von einem Eingangsverstärker **14** vorverstärkt. Anschließend werden die Signale über die Glasfaserstrecke **16** übertragen. Am Ende der Übertragungsstrecke **16** werden die optischen Signale mittels zwei frequenzverschobenen Pumplasern, welche in der [Fig. 10](#) gemeinsam mittels des Symbols **38** dargestellt sind, ramanverstärkt. Die mehreren Pumplaser **38** werden hierzu entgegen der Übertragungsrichtung in die konventionelle Glasfaserstrecke **16** eingekoppelt. Direkt hinter den Pumplasern **38** ist der Entzerrer oder Deemphase-Filter **40** angeordnet. Der Deemphase-Filter **40** ist in einfacher Weise als optischer Filter, d.h. als passives Bauelement ausgebildet. Anschließend können die Signale von dem Empfänger **20** empfangen werden.

[0074] Alternativ können mehrere Glasfaserstrecken **16** und Verstärker-Filter-Einheiten **38**, **40** hintereinander geschaltet werden, wie in [Fig. 11](#) mit den Klammern a bis n dargestellt ist.

[0075] Es ist dem Fachmann ersichtlich, dass die vorstehend beschriebenen Ausführungsformen beispielhaft zu verstehen sind, und die Erfindung nicht auf diese beschränkt ist, sondern in vielfältiger Weise variiert werden kann, ohne den Geist der Erfindung zu verlassen.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Ramanverstärkung von optischen Signalen (**9**) in einem optischen Übertragungssystem (**11**), insbesondere einem WDM-Übertragungssystem, wobei zwischen einem Sender (**12**) und einem Empfänger (**20**) optische Signale (**9**) innerhalb eines Übertragungsbandes (**7**, **8**) über einen optischen Wellenleiter (**16**) übertragen werden, die optischen Signale (**9**) mittels zumindest einer Pumpe (**38**) ramanverstärkt werden, das Verstärkungsprofil der Ramanverstärkung innerhalb des Übertragungsbandes (**7**, **8**) verzerrt wird und das verzerrte Verstärkungsprofil (**32**) entzerrt wird, um die Verzerrung zu kompensieren.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei für das Übertragungssystem (**11**) ein nicht verzerrtes erstes Verstärkungsprofil (VP3) existiert, welches an die Signalfrequenzen im Übertragungsband (**7**, **8**) angepasst ist und das verzerrte Verstärkungsprofil (**32**) ein zweites Verstärkungsprofil ist, welches gegenüber dem ersten Verstärkungsprofil (VP3) vorangehoben ist.

3. Verfahren nach Anspruch 2, wobei die Verzerrung des zweiten Verstärkungsprofils (**32**) mittels einer Verschiebung der Pumpfrequenz der Pumpe (**38**) gegenüber der Pumpfrequenz bei dem nicht verzerrten ersten Verstärkungsprofil (VP3) durchgeführt wird.

4. Verfahren nach Anspruch 3, wobei die Pumpfrequenz der Pumpe (**38**) bei dem verzerrten zweiten Verstärkungsprofil (**32**) in Bezug auf die Pumpfrequenz bei dem nicht verzerrten ersten Verstärkungsprofil (VP3) zu einer höheren Frequenz oder weg vom Übertragungsband (**7**, **8**) verschoben wird.

5. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die Verzerrung des Verstärkungsprofils dergestalt realisiert wird, dass das Verstärkungsprofil im oberen Frequenzbereich des Übertragungsbandes (**7**, **8**) vorangehoben wird.

6. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei der Schwerpunkt des Verstärkungsprofils im

Übertragungsband (7, 8) nach der Verzerrung und vor der Entzerrung am oberen Rand des Frequenzbereichs des Übertragungsbandes liegt.

7. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei das Maximum des Verstärkungsprofils nach der Verzerrung und vor der Entzerrung am Rand oder außerhalb des Übertragungsbandes (7, 8) liegt.

8. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei das Verstärkungsprofil im oberen Frequenzbereich des Übertragungsbandes um mindestens 5 dB (10 dB) gegenüber dem unteren Frequenzbereich des Übertragungsbandes (7, 8) angehoben wird.

9. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei mehrere Pumpen (38, Pumpe 1, Pumpe 2) mit unterschiedlichen Pumpfrequenzen zur Ramanverstärkung verwendet werden, und wobei sich die Verstärkungsprofile der mehreren Pumpen (38, Pumpe 1, Pumpe 2) zu einem Gesamtverstärkungsprofil überlagern und das Gesamtverstärkungsprofil der Ramanverstärkung innerhalb des Übertragungsbandes mittels einer Verschiebung der Pumpfrequenz einer oder der Pumpfrequenzen mehrerer der Pumpen in Bezug auf ein nicht verzerrtes Gesamtverstärkungsprofil (VP3) verzerrt wird.

10. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die Verzerrung und die Entzerrung derart aufeinander angepasst sind, dass das Verstärkungsmaximum nach der Verzerrung des Verstärkungsprofils und nachfolgender Entzerrung im Übertragungsband (7, 8) liegt.

11. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die optischen Signale (9) vor der Ramanverstärkung mittels eines Eingangsverstärkers (14) verstärkt werden.

12. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die Entzerrung mittels eines optischen Filters (40) nach der Ramanverstärkung durchgeführt wird.

13. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei Laser als Pumpen (38, Pumpe 1, Pumpe 2) verwendet werden und die Laser entgegen der Signalübertragungsrichtung in den Wellenleiter (16) eingekoppelt werden.

14. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei das Übertragungssystem (11) mehrere Übertragungsstrecken (16) umfasst und jeweils am Ende jeder Übertragungsstrecke (16) mittels einer Pumpen-Entzerrer-Einheit (38, 40) die verzerrende Verstärkung und die kompensierende Entzerrung durchgeführt werden.

15. Optisches Kommunikationssystem (11) mit Ramanverstärkung, insbesondere WDM-Kommunikationssystem, umfassend einen Sender (12), einen Empfänger (20) und einen optischen Wellenleiter (16), welcher den Empfänger (12) und den Sender (20) miteinander verbindet, derart dass optische Signale (9) innerhalb eines Übertragungsbandes (7, 8) zwischen dem Sender (12) und dem Empfänger (20) über den Wellenleiter (16) übertragbar sind, zumindest eine Ramanpumpe (38) mit einer vorbestimmten Pumpfrequenz an dem Wellenleiter (16) zur Ramanverstärkung der optischen Signale (9), wobei die vorbestimmte Pumpfrequenz derart ausgewählt ist, dass das Verstärkungsprofil der Ramanverstärkung innerhalb des Übertragungsbandes (7, 8) verzerrt ist und Mittel zur Entzerrung (40) des verzerrten Verstärkungsprofils (32).

16. Kommunikationssystem nach Anspruch 15, wobei für das Übertragungssystem (11) ein nicht verzerrtes erstes Verstärkungsprofil (VP3) existiert, welches an die Signalfrequenzen im Übertragungsband (7, 8) angepasst ist und das verzerrte Verstärkungsprofil (32) ein zweites Verstärkungsprofil ist, welches gegenüber dem ersten Verstärkungsprofil (VP3) vorangehoben ist.

17. Kommunikationssystem (11) nach Anspruch 16, wobei das erste Verstärkungsprofil (VP3) durch zumindest eine erste Pumpfrequenz definiert ist und die vorbestimmte Pumpfrequenz der Pumpe (38) eine zweite Pumpfrequenz ist und die zweite Pumpfrequenz gegenüber der ersten Pumpfrequenz verschoben ist, um die Verzerrung des Verstärkungsprofils zu bewirken.

18. Kommunikationssystem (11) nach Anspruch 17, wobei die zweite Pumpfrequenz der Pumpe bei dem verzerrten zweiten Verstärkungsprofil im Vergleich zu der ersten Pumpfrequenz bei dem nicht verzerrten ers-

ten Verstärkungsprofil zu einer höheren Frequenz oder weg vom Übertragungsband verschoben ist.

19. Kommunikationssystem (11) nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die Verzerrung des Verstärkungsprofils dergestalt realisiert ist, dass das Verstärkungsprofil im oberen Frequenzbereich des Übertragungsbandes (7, 8) vorangehoben ist.

20. Kommunikationssystem (11) nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei der Schwerpunkt des Verstärkungsprofils im Übertragungsband nach der Verzerrung und vor der Entzerrung am oberen Rand des Frequenzbereichs des Übertragungsbandes (7, 8) liegt.

21. Kommunikationssystem (11) nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei das Maximum des Verstärkungsprofils nach der Verzerrung und vor der Entzerrung am Rand oder außerhalb des Übertragungsbandes (7, 8) liegt.

22. Kommunikationssystem (11) nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei das Verstärkungsprofil im oberen Frequenzbereich des Übertragungsbandes (7, 8) um mindestens 5 dB gegenüber dem unteren Frequenzbereich des Übertragungsbandes angehoben ist.

23. Kommunikationssystem (11) nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei mehrere Pumpen (38) mit unterschiedlichen Pumpfrequenzen zur Ramanverstärkung umfasst sind, und wobei die Verstärkungsprofile der mehreren Pumpen (38) zu einem Gesamtverstärkungsprofil überlagert sind und das Gesamtverstärkungsprofil der Ramanverstärkung innerhalb des Übertragungsbandes (7, 8) mittels einer Verschiebung der Pumpfrequenz einer der Pumpen (38) oder der Pumpfrequenzen mehrerer der Pumpen (38) in Bezug auf ein nicht verzerrtes Gesamtverstärkungsprofil (VP3) verzerrt ist.

24. Kommunikationssystem (11) nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei ein Eingangsverstärker (14) vor dem Wellenleiter (16) umfasst ist.

25. Kommunikationssystem (11) nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei das Mittel zur Entzerrung (40) des verzerrten Verstärkungsprofils ein optisches Filter umfasst, welcher die Voranhebung des verzerrten Verstärkungsprofils (32) zumindest teilweise kompensiert.

26. Kommunikationssystem (11) nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei das verzerrte Verstärkungsprofil (32) und die Mittel zur Entzerrung des verzerrten Verstärkungsprofils (32) derart aufeinander angepasst sind, dass das Verstärkungsmaximum nach der Verzerrung des Verstärkungsprofils und nachfolgender Entzerrung im Übertragungsband (7, 8) liegt.

27. Kommunikationssystem (11) nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die Pumpen (38) Laser umfassen und die Laser entgegen der Signalübertragungsrichtung in den Wellenleiter (16) eingekoppelt sind.

28. Kommunikationssystem (11) nach einem der vorstehenden Ansprüche, umfassend mehrere Übertragungsstrecken (16), wobei jeweils am Ende jeder Übertragungsstrecke (16) eine Pumpen-Entzerrer-Einheit (38, 40) vorhanden ist, wobei jede Pumpen-Entzerrer-Einheit (38, 40) jeweils eine Pumpe (38) zur verzerrten Verstärkung und jeweils ein Mittel zur kompensierenden Entzerrung (40) aufweist.

29. Verfahren zur Einrichtung eines WDM-Übertragungssystems (11) mit Ramanverstärkung, insbesondere nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei welchem zwischen einem Sender (12) und einem Empfänger (20) optische Signale (9) innerhalb eines Übertragungsbandes (7, 8) über einen optischen Wellenleiter (16) übertragbar sind,

Festlegen einer Zielvorgabe (6) für eine mittlere Verstärkung der Ramanverstärkung innerhalb des Übertragungsbandes (7, 8), wobei die Zielvorgabe (6) zu einer oder mehreren ersten Pumpfrequenzen korreliert ist und mittels der einen oder der mehreren ersten Pumpfrequenzen ein nicht verzerrtes erstes Verstärkungsprofil (VP3) definiert ist,

Bestimmen einer bzw. mehrerer zweiter Pumpfrequenzen für ein gegenüber dem ersten Verstärkungsprofil (VP3) verzerrtes zweites Verstärkungsprofil (32),

Bereitstellen einer oder mehrerer Pumpen (38) mit der zweiten Pumpfrequenz bzw. den zweiten Pumpfrequenzen zur Ramanverstärkung der zu übertragenden Signale (9),

Bereitstellen von Mitteln zur Entzerrung (40) des verzerrten zweiten Verstärkungsprofils (32), um ein entzerrtes Verstärkungsprofil (32') zu erzeugen, mittels welchem das Übertragungssystem (11) nachfolgend betrieben

wird.

Es folgen 5 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

Fig. 1

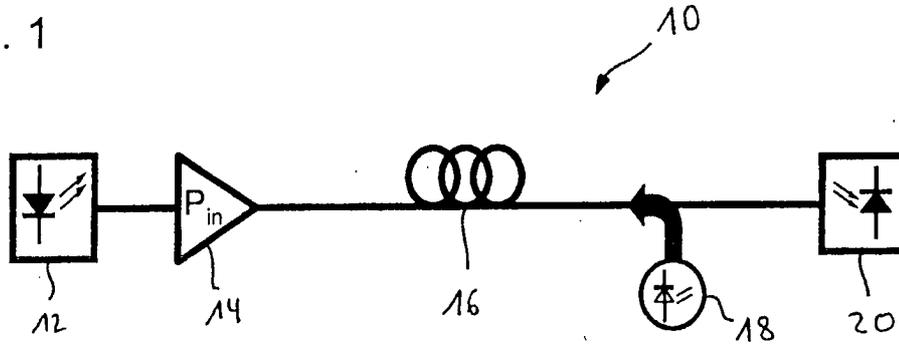


Fig. 2

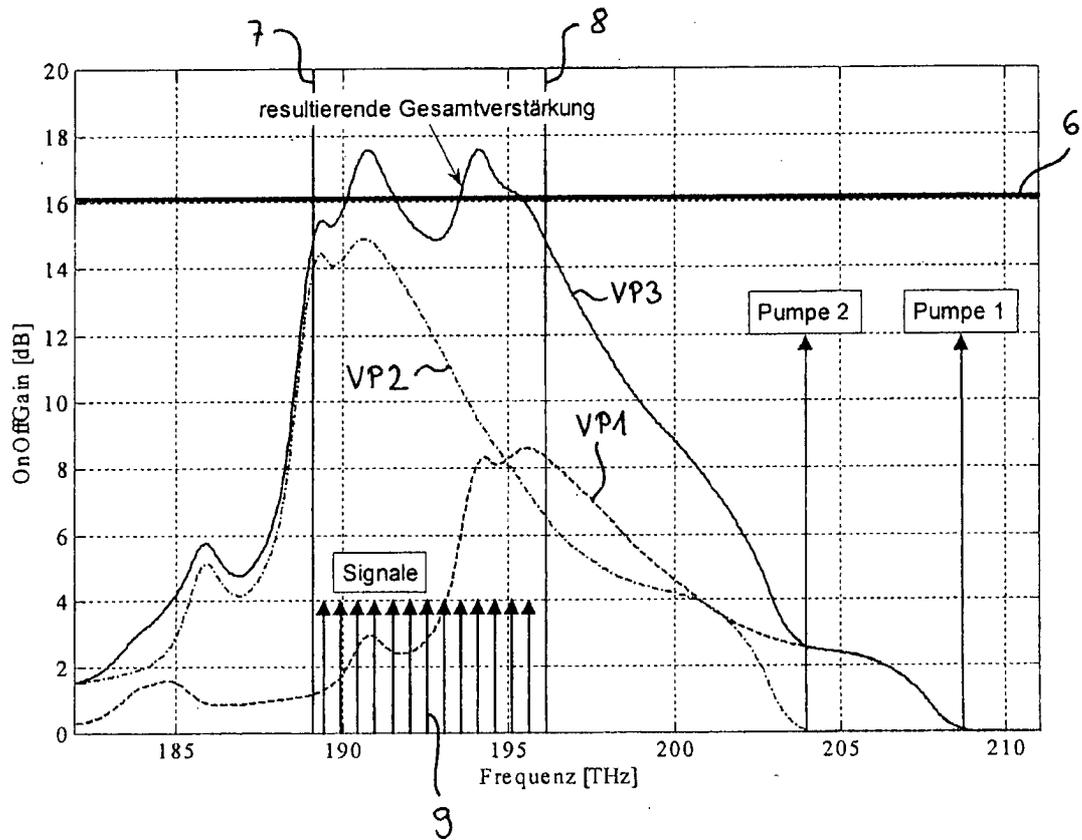


Fig. 3

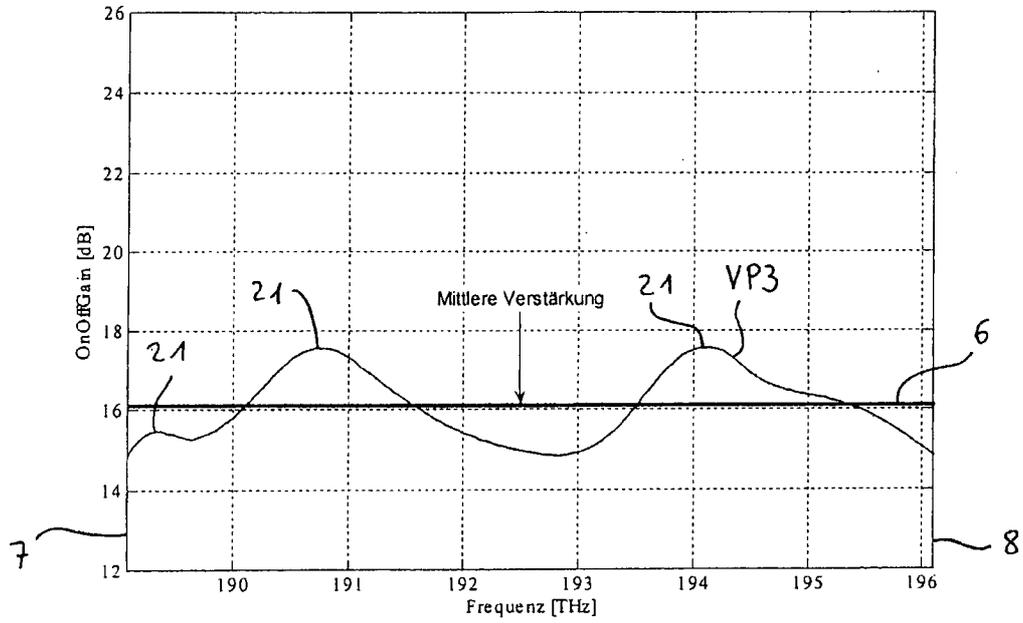


Fig. 4

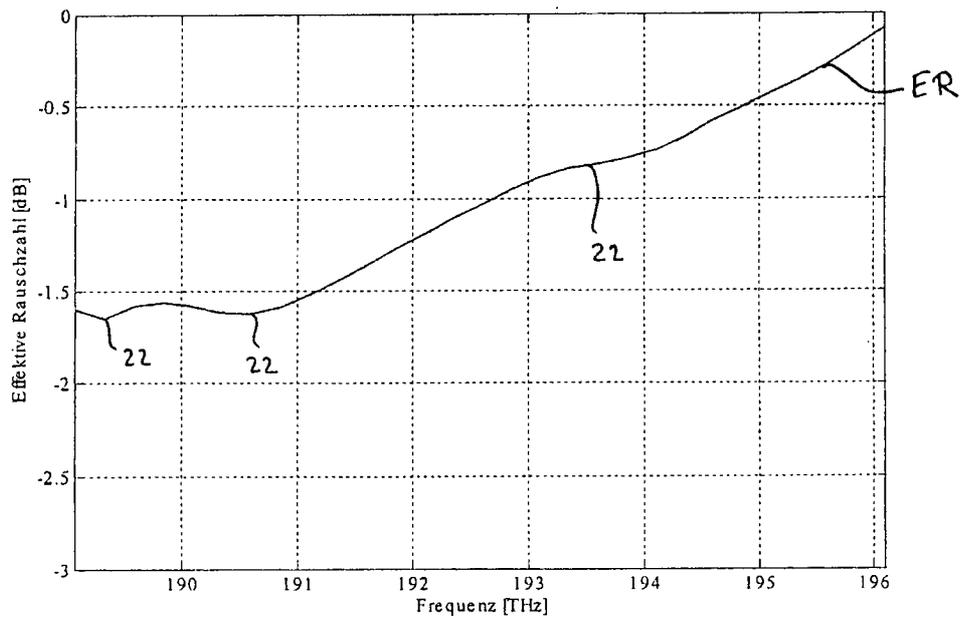


Fig. 5

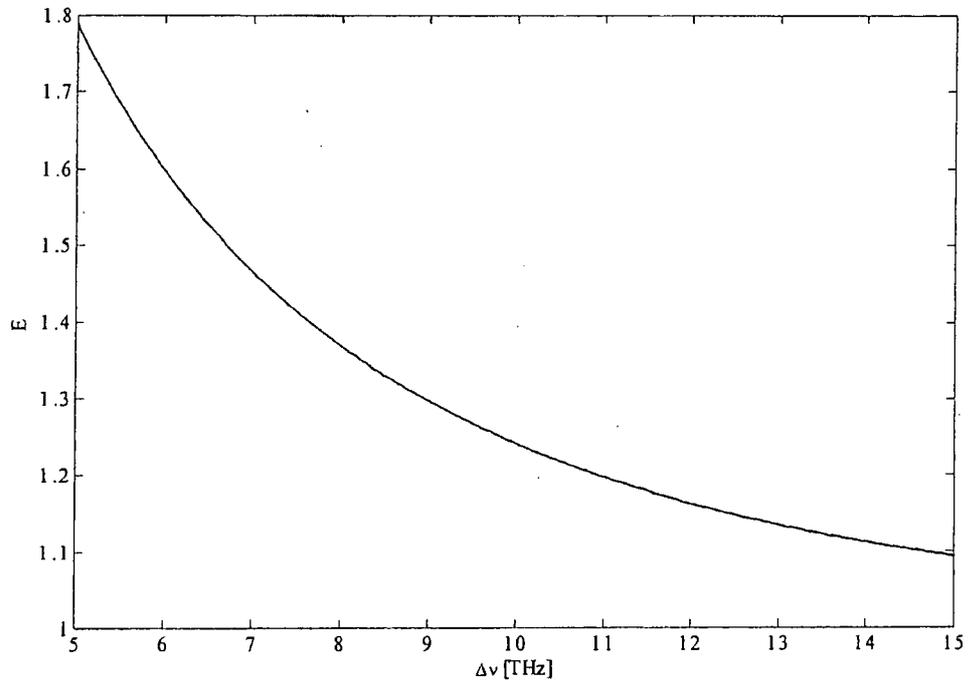


Fig. 6

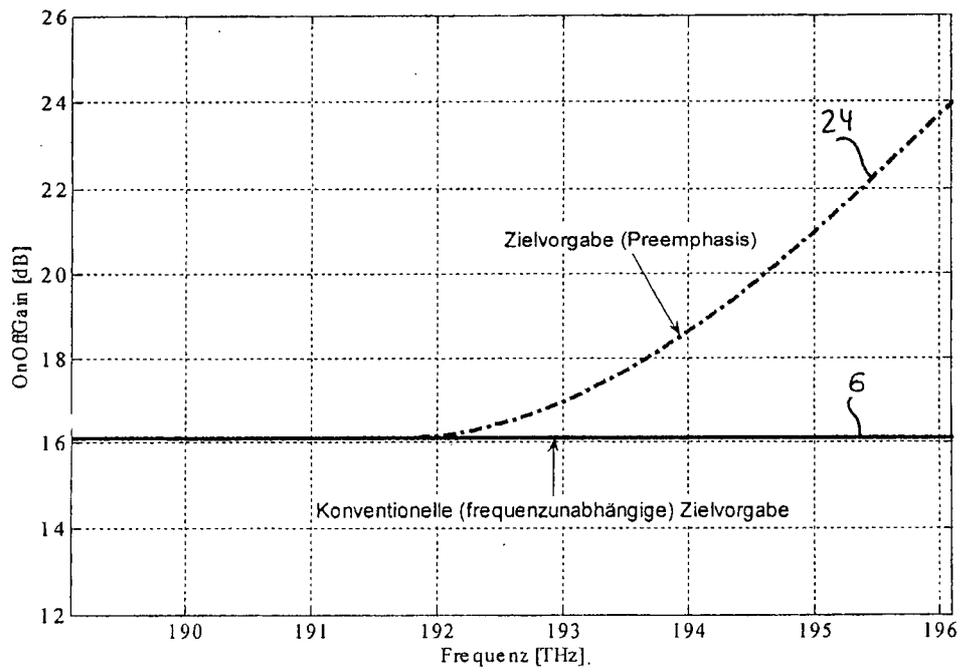


Fig. 7

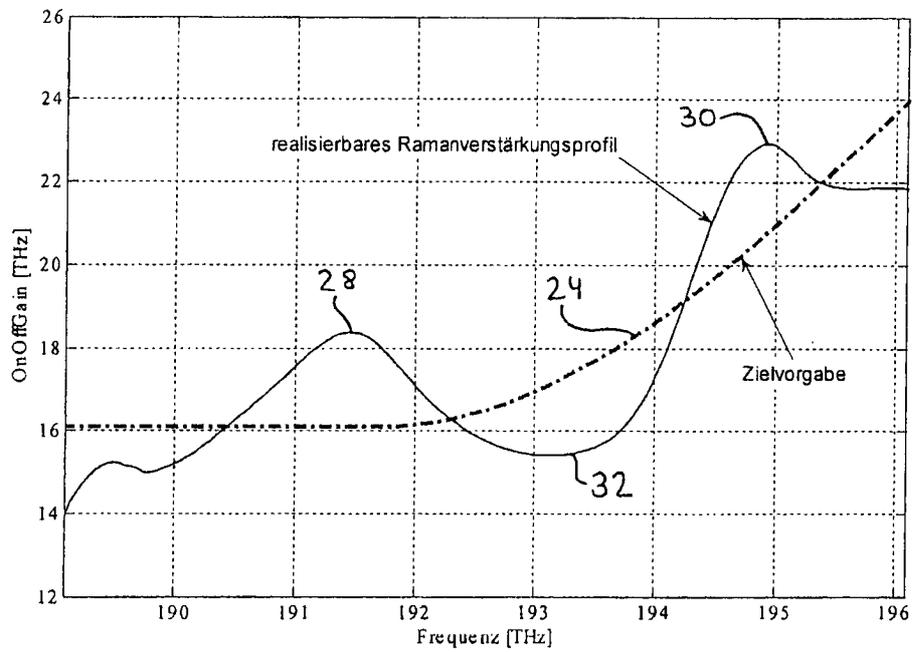


Fig. 8

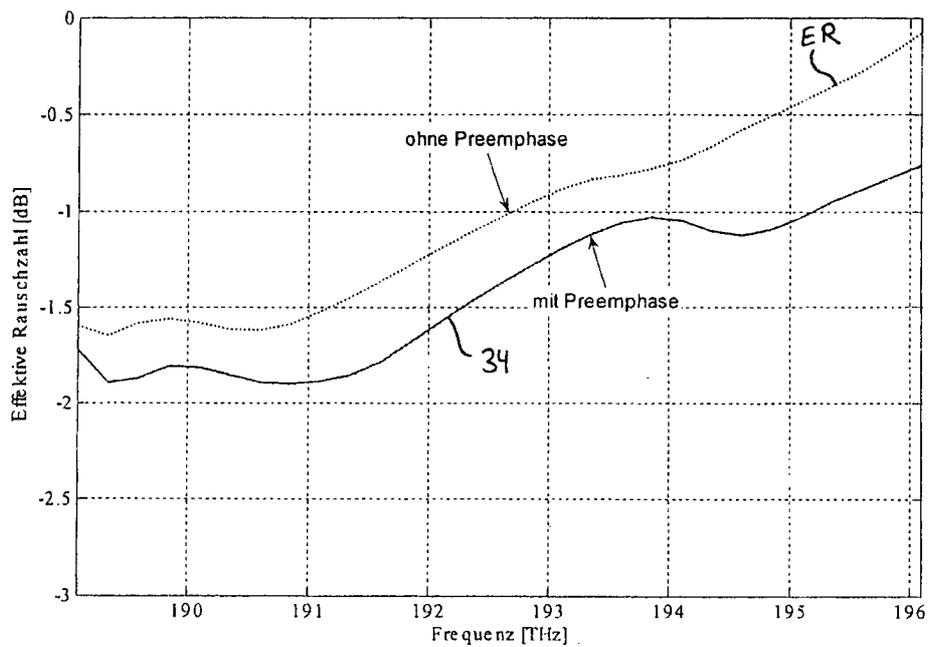


Fig. 9

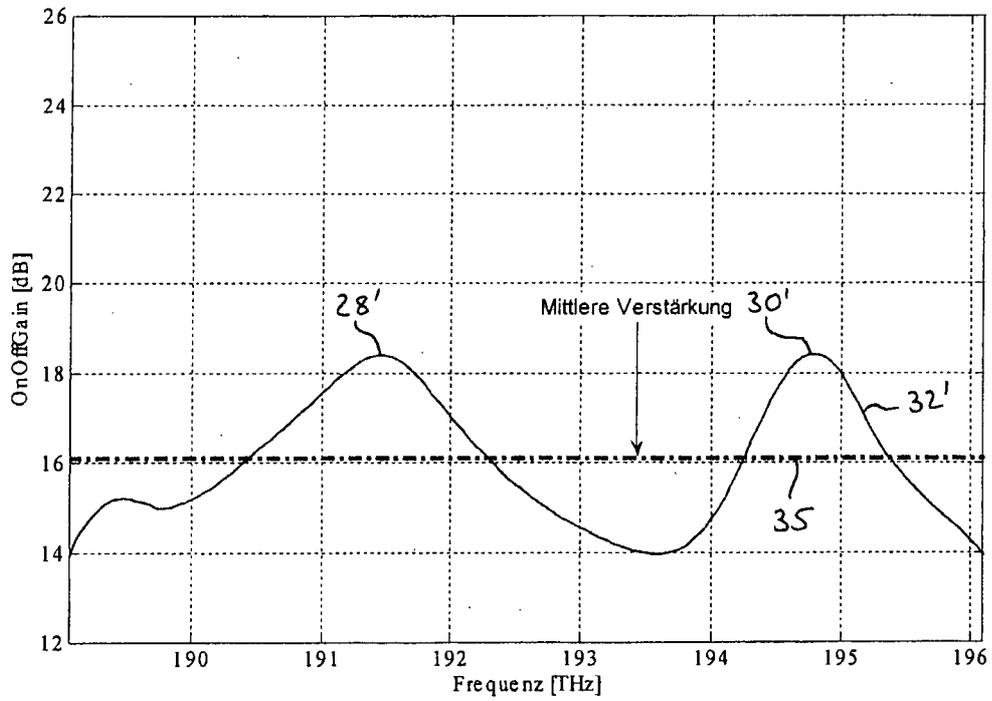


Fig. 10

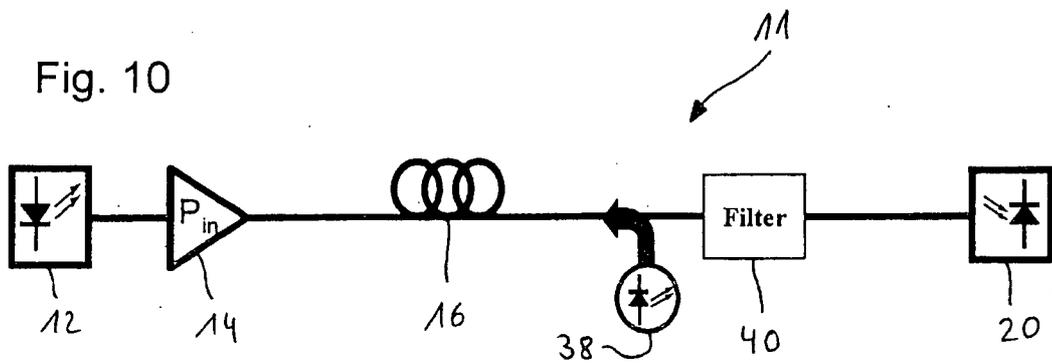


Fig. 11

