



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 601 24 113 T2 2007.06.06**

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 310 807 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **601 24 113.4**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/JP01/05441**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **01 941 243.6**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2002/001261**

(86) PCT-Anmeldetag: **26.06.2001**

(87) Veröffentlichungstag  
der PCT-Anmeldung: **03.01.2002**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **14.05.2003**

(97) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung beim EPA: **25.10.2006**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **06.06.2007**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **G02B 6/00 (2006.01)**  
**G02B 6/036 (2006.01)**

(30) Unionspriorität:

**2000192767 27.06.2000 JP**

(73) Patentinhaber:

**Mitsubishi Rayon Co., Ltd., Tokio/Tokyo, JP**

(74) Vertreter:

**TBK-Patent, 80336 München**

(84) Benannte Vertragsstaaten:

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

(72) Erfinder:

**IRIE, Corporate Research Laboratories, Kikue,  
Otake-shi, Hiroshima 739-0693, JP; SUMI,  
Corporate Research Laboratories, Toshinori,  
Otake-shi, Hiroshima 739-0693, JP; YOSHIMURA,  
Toyohashi Plants, Tomonari, Toyohashi-shi, Aichi  
440-8601, JP; UOZU, Corporate Research  
Laboratories, Yoshihiro, Otake-shi, Hiroshima  
739-0693, JP; KOYAMADA, Departmt. of Media &  
Telecom., Yahei, Hitachi-shi, Ibaraki 316-8511, JP;  
MIYAKE, Departmt. of Media & Telecom., Shiori,  
Hitachi-shi, Ibaraki 316-8511, JP**

(54) Bezeichnung: **KUNSTSTOFF-LICHTWELLENLEITER, LICHTWELLENLEITERKABEL UND OPTISCHE ÜBER-  
TRAGUNGSEINRICHTUNG**

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

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

**Beschreibung**

## TECHNISCHES GEBIET

**[0001]** Die Erfindung bezieht sich auf einen Kunststofflichtwellenleiter und ein Kunststofflichtwellenleiter-Kabel, die durch eine hohe Übertragungsleistung und eine große Bandbreite gekennzeichnet sind und sich gut für optische Kommunikationsmittel eignen, sowie auf eine optische Übertragungsvorrichtung.

## STAND DER TECHNIK

**[0002]** Auf dem Gebiet der Kurzstreckenkommunikation wie einem geräteinternen, geräteübergreifenden Übertragungsweg für Autos oder Audiogeräte werden derzeit als Informationsübertragungsmittel Kunststofflichtwellenleiter (KLWL) der Stufenindex-Bauart (SI-Bauart) verwendet. In den letzten Jahren ist mit dem zunehmenden Informationsgehalt für die Übertragung der Bedarf gewachsen, dass die KLWL der SI-Bauart eine noch größere Bandbreite haben sollten.

**[0003]** Um dieses Erfordernis nach einer größeren Bandbreite zu erfüllen, ist für den Kern darin ein mehrlagiger Aufbau eingeführt worden, bei dem eine Vielzahl von Kernlagen mit verschiedenen Brechzahlen konzentrisch ausgebildet ist.

**[0004]** Die EP 0 844 501 A2 offenbart, dass wenn die Anzahl der Lagen im Kern zur Erleichterung der Fertigung bei bloß zwei gehalten und der Kern nur doppellagig ausgeführt wird, dieser Aufbau für einen KLWL mit geringem Übertragungsverlust sowie einer großen Bandbreite sorgen kann, wenn der Kerndurchmesser und die Brechzahldifferenz zwischen den Kernlagen und dem Mantel jeweils so eingestellt werden, dass sie bestimmte Bedingungen erfüllen. Diese bestimmten Bedingungen werden im Folgenden beschrieben. In einem Kunststofflichtwellenleiter, der einen Mantel, einen innerhalb des Mantels gelegenen ersten Kern und einen innerhalb des ersten Kerns gelegenen zweiten Kern hat, beträgt das Verhältnis ( $X = D2/D1$ ) des zweiten Kerndurchmessers ( $D2$ ) zum ersten Kerndurchmesser ( $D1$ )  $0,3 \leq X \leq 0,95$  und beträgt das Verhältnis ( $Y = \Delta2/\Delta1$ ) der Brechzahldifferenz ( $\Delta2$ ) zwischen dem ersten Kern und dem Mantel zur Brechzahldifferenz ( $\Delta1$ ) zwischen dem zweiten Kern und dem Mantel  $0,4 \leq Y \leq 0,95$ , wobei außerdem die Summe ( $X + Y$ ) der beiden oben genannten Verhältnisse  $X + Y \leq 1,9$  beträgt. Hinsichtlich der Brechzahldifferenz ( $\Delta1$ ) zwischen dem zweiten Kern und dem Mantel ist auch beschrieben, dass ihre Untergrenze größer oder gleich  $0,01$  und ihre Obergrenze kleiner oder gleich  $0,1$  ist.

**[0005]** Andererseits ist es für einen optischen Übertragungsweg wie einen Link unerlässlich, durch diesen hindurch Licht mit einer hohen Übertragungsleistung zu einem Lichtempfänger zu übertragen. Allerdings gelingt es dem in der EP 0 844 501 A2 offenbarten Lichtwellenleiter aufgrund einer unpassenden Einstellung der Lagendicke und der Brechzahlen für die jeweiligen Lagen darin nicht, das Licht mit ausreichend hoher Leistung zu übertragen. Darüber hinaus wird der Lichtwellenleiter durch ein Verfahren angefertigt, das die Schritte umfasst: Bilden einer kreisförmigen Außenlage und danach Einführen des Materials einer kreisförmigen Innenlage in die kreisförmige Außenlage und Durchführen, während diese rotiert werden, einer Polymerisation des Materials der kreisförmigen Innenlage, sodass zwischen den beiden Kernlagen und zwischen einer Kernlage und dem Mantel jeweils eine Lage (eine Mischlage) aus einem Polymergemisch gebildet wird, die eine Dicke von beinahe mehr als  $15 \mu\text{m}$  hat. Wenn so dicke Mischlagen wie oben beschrieben gebildet werden, sind die Lichtstreuverluste recht hoch, was zu dem Problem eines großen Übertragungsverlustes führt. Da die Lichtstreuverluste in der Mischlage auch die Übertragungsbandbreite beeinträchtigen, gibt es Fälle, bei denen das dünner Machen der Mischlage in diesem Lichtwellenleiter zu einer Senkung der Übertragungsbandbreite führt. Wenn außerdem in einer optischen Übertragungsvorrichtung, die diesen Lichtwellenleiter nutzt, die Anregungs-NA (NA: numerische Apertur) der Lichtquelle vergrößert wird, um die in den Lichtwellenleiter eingekoppelte Lichteinfallsmenge und die Übertragungsleistung zu erhöhen, wird die Übertragungsbandbreite des Lichtwellenleiters kleiner, was zu dem Problem führen kann, dass die Signale nicht mit hoher Geschwindigkeit übertragen werden können.

**[0006]** Um diesen Punkt weiter zu untersuchen, wurden die Übertragungsbandbreite und die Übertragungsleistung eines KLWL, der durch das gleiche Rotationspolymerisationsverfahren angefertigt wurde, wie es in der EP 0 844 501 A2 beschrieben ist, mit denen eines KLWL verglichen, der durch das Mehrkomponenten-Spinnverfahren angefertigt wurde. In den beiden Fällen dieser KLWL wurden der Außendurchmesser und die Manteldicke auf  $750 \mu\text{m}$  bzw.  $10 \mu\text{m}$  eingestellt und betrug  $X = 0,837$  und  $Y = 0,7$ . Die Untersuchung der Querschnitte dieser KLWL unter einem Mikroskop ergab jedoch, dass sich, während sich in dem durch das Rotationspolymerisationsverfahren angefertigten KLWL um die Grenzfläche zwischen den Lagen des ersten Kerns

und des zweiten Kerns herum eine 21 µm dicke Mischlage gebildet hatte, in dem durch das Mehrkomponenten-Spinnverfahren angefertigten KLWL keine Mischlage fand. Als die Übertragungsbandbreiten dieser KLWL bei einer Übertragungsstrecke von 50 m unter der Bedingung einer „All Mode“-Anregung gemessen wurden, betrug die Bandbreite für den durch das Rotationspolymerisationsverfahren angefertigten KLWL 710 MHz, während die Bandbreite für den durch das Mehrkomponenten-Spinnverfahren angefertigten KLWL 344 MHz betrug. Darüber hinaus wurde mittels einer Lichtquelle mit einer Anregungs-NA von 0,6 die relative Übertragungsleistung der oben genannten KLWL mit dem ersten Kern und dem zweiten Kern gegenüber einem Referenz-KLWL gemessen, für den ein KLWL der SI-Bauart mit einem einlagigen Kern verwendet wurde, in dem als Kernmaterial und Mantelmaterial jeweils das Innenkernlagenmaterial und das Mantelmaterial des oben genannten KLWL genutzt wurden, dessen Außendurchmesser und Manteldicke auf 750 µm bzw. 10 µm eingestellt wurden und für dessen Übertragungsleistung ein Wert von 1 genommen wurde. Die Übertragungsleistung des durch das Rotationspolymerisationsverfahren angefertigten KLWL betrug dabei 0,65. Im Gegensatz dazu betrug die Übertragungsleistung des durch das Mehrkomponenten-Spinnverfahren angefertigten KLWL 0,81.

#### KURZDARSTELLUNG DER ERFINDUNG

**[0007]** Aufgabe der Erfindung ist es, einen Kunststofflichtwellenleiter und ein Kunststofflichtwellenleiter-Kabel mit hoher Übertragungsleistung und großer Bandbreite zur Verfügung zu stellen. Eine weitere Aufgabe der Erfindung ist es, eine optische Übertragungsvorrichtung zur Verfügung zu stellen, die Signale mit hoher Geschwindigkeit übertragen kann.

**[0008]** Die obige Aufgabe wird gelöst, indem für einen Kunststofflichtwellenleiter, wie er in Anspruch 1 oder 3 definiert ist, ein Kunststofflichtwellenleiter-Kabel, wie es in Anspruch 5 definiert ist, und eine optische Übertragungsvorrichtung gesorgt wird, wie sie in Anspruch 6 oder 7 definiert ist.

**[0009]** Darüber hinaus wird die Verwendung der oben genannten Produkte zur optischen Übertragung innerhalb einer Länge von 20 m beansprucht. Siehe hierzu die Ansprüche 8 bis 10.

**[0010]** Gemäß der Erfindung kann für einen KLWL mit einem doppellagigen Kern gesorgt werden, der eine hohe Übertragungsleistung und eine große Bandbreite hat. Darüber hinaus kann für eine optische Übertragungsvorrichtung gesorgt werden, die dazu imstande ist, Signale mit hoher Geschwindigkeit zu übertragen.

#### KURZBESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

**[0011]** [Fig. 1](#) ist eine durch Simulation ermittelte Kurve, die die relative Bandbreite im Vergleich zum Kernradiusverhältnis X für ein Brechzahldifferenzverhältnis Y von 0,5 zeigt.

**[0012]** [Fig. 2](#) ist eine durch Simulation ermittelte Kurve, die die relative Bandbreite im Vergleich zum Kernradiusverhältnis X für ein Brechzahldifferenzverhältnis Y von 0,6 zeigt.

**[0013]** [Fig. 3](#) ist eine durch Simulation ermittelte Kurve, die die relative Bandbreite im Vergleich zum Kernradiusverhältnis X für ein Brechzahldifferenzverhältnis Y von 0,4 zeigt.

**[0014]** [Fig. 4](#) zeigt schematisch einen Bereich für das Kernradiusverhältnis X und das Brechzahldifferenzverhältnis Y des KLWL.

**[0015]** [Fig. 5](#) zeigt im Schnitt ein Beispiel einer Mehrkomponenten-Spinndüse, die zur Fertigung eines erfindungsgemäßen Kunststofflichtwellenleiters verwendet wird.

**[0016]** [Fig. 6](#) ist eine durch Simulation ermittelte Kurve, die die relative Bandbreite im Vergleich zum Kernradiusverhältnis X für ein Brechzahldifferenzverhältnis Y von 0,35 zeigt.

**[0017]** [Fig. 7](#) zeigt schematisch einen bevorzugten Bereich für das Kernradiusverhältnis X und das Brechzahldifferenzverhältnis Y des KLWL.

#### BESTE AUSFÜHRUNGSART DER ERFINDUNG

**[0018]** Ein erfindungsgemäßer KLWL hat einen ersten Kern, einen zweiten Kern mit einer vom ersten Kern verschiedenen Brechzahl, der sich konzentrisch auf der Außenseite des ersten Kerns befindet, und einen Mantel, der sich konzentrisch auf der Außenseite des zweiten Kerns befindet. (Ein solcher Kern, der im Aufbau ei-

nen ersten Kern und einen zweiten Kern hat, wird im Folgenden als „doppellagiger Kern“ bezeichnet.)

**[0019]** Um die Streuverluste des KLWL zu verringern, ist es vorzuziehen, dass der erste Kern und der zweite Kern jeweils aus einer Polymerart bestehen, und ist es noch mehr vorzuziehen, dass zusätzlich auch der Mantel aus der einen Polymerart besteht. Bei dieser Gelegenheit kann zu dem Polymer eine geringe Menge einer bekannten niedermolekularen Verbindung hinzugeben werden, um so das Brechzahlprofil ohne übermäßigen Anstieg der Streuverluste zu steuern. Bei dem erfindungsgemäßen KLWL darf sich jeweils zwischen den Lagen des ersten Kerns und des zweiten Kerns und zwischen den Lagen des zweiten Kerns und des Mantels eine Mischlage aus einem Polymergemisch bilden, das aus Polymeren jeweils benachbarter Lagen besteht. Um die Streuverluste des KLWL zu verringern, ist es dennoch um so besser, je dünner die Mischlage ist. Ihre Dicke beträgt nicht mehr als 10  $\mu\text{m}$ , vorzugsweise nicht mehr als 3  $\mu\text{m}$  und besser noch nicht mehr als 1  $\mu\text{m}$ . In Anbetracht der Streuverlustverringerung im KLWL ist es besonders zu bevorzugen, wenn sich überhaupt keine Mischlage bildet.

**[0020]** [Fig. 1](#) bis [Fig. 3](#) zeigen die Simulationsergebnisse für einen KLWL mit einem doppellagigen Kern, die die Abhängigkeiten der relativen Bandbreite von dem Kernradiusverhältnis  $X$  für Brechzahldifferenzverhältnisse  $Y$  von jeweils 0,5, 0,6 und 0,4 darstellen, wobei der Wert der Bandbreite jeweils durch Berechnungen mit unterschiedlichem Kernradiusverhältnis  $X$  und Brechzahldifferenzverhältnis  $Y$  ermittelt wurde. Diese Simulation erfolgte für einen KLWL, in dem sich weder zwischen den Lagen des ersten Kerns und des zweiten Kerns noch zwischen den Lagen des zweiten Kerns und des Mantels eine Mischlage bildete. Die relative Bandbreite in [Fig. 1](#) bis [Fig. 3](#) ist hierbei normalisiert, wobei für den Maximalwert der Bandbreite für  $Y = 0,5$  der Wert 1 genommen wurde. Für die obige Simulation wurde die in „Multimode theory of graded-core fibers“, The Bell System Technical Journal, Bd. 52, Nr. 9, S. 1563-1578 (1973) von D. Gloge und E. A. J. Marcetili beschriebene Technik eingesetzt. Wenn die relative Bandbreite des KLWL nun im Fall eines digitalen Übertragungssystems, das für einen KLWL mit einer relativen Bandbreite von 1 ausgelegt ist, kleiner als 1 wird, kann es zu Impulsverzerrungen und zu Störungen zwischen benachbarten Codes kommen. Wenn die vom KLWL verursachte zulässige Impulsverzerrung (Änderung der Anstiegszeit) in diesem Übertragungssystem bis zum 1,4-fachen reicht, muss die geforderte Bandbreite des KLWL größer oder gleich  $1/1,4$  ( $\approx 0,7$ ) sein. In diesem Fall können daher relative Bandbreiten von 0,7 oder mehr (mit anderen Worten der Bereich, in dem die Bandbreite mindestens 70 % der maximalen Bandbreite beträgt) als geeignete Bandbreite angesehen werden. Wie in [Fig. 1](#) bis [Fig. 3](#) zu erkennen ist, liegt der Bereich  $X$  für  $Y = 0,5$  bei 0,89 oder weniger, für  $Y = 0,6$  bei 0,86 oder weniger und für  $Y = 0,4$  bei nicht mehr als 0,34 und bei nicht weniger als 0,52 und nicht mehr als 0,91.

**[0021]** Als nächstes wird der Bereich für das Kernradiusverhältnis  $X$  und das Brechzahldifferenzverhältnis  $Y$  unter dem Gesichtspunkt der optischen Übertragungsleistung beschrieben. In einer optischen Übertragungsvorrichtung, die an einem Ende eines KLWL eine Lichtquelle und an seinem anderen Ende einen optischen Empfänger umfasst, wird vorzugsweise eine Lichtquelle mit einer großen Anregungs-NA (NA für Emissionslicht) eingesetzt, um die Lichteinfallsmenge auf dem KLWL zu erhöhen. Die Anregungs-NA der Lichtquelle beträgt vorzugsweise 0,3 oder mehr und besser noch 0,4 oder mehr. Als Lichtquelle kann jede bekannte Lichtquelle wie eine Laserdiode (LD) eine Leuchtdiode (LED) oder dergleichen verwendet werden, wobei jedoch vorzugsweise eine kostengünstige, massengefertigte LED verwendet wird. Hat der KLWL eine kleine Querschnittsfläche für den Innenlagenkern, wird dabei die Lichtmenge gering, die eingekoppelt werden kann. Folglich verkürzt sich für den optischen Übertragungsweg entweder die mögliche Übertragungstrecke oder wird, wenn ein KLWL mit der gleichen Länge genutzt wird, eine saubere Erkennung der empfangenen Signale schwierig, sodass in der optischen Übertragungsvorrichtung die übertragbare Signalgeschwindigkeit sinkt. Deswegen wird das Kernradiusverhältnis  $X$  auf nicht weniger als 0,5 und vorzugsweise im Bereich zwischen 0,5 und 0,78 oder nicht weniger als 0,82 eingestellt. Um eine noch höhere Übertragungsleistung zu erzielen, wird das Kernradiusverhältnis  $X$  ferner auf nicht weniger als 0,76 und vorzugsweise nicht weniger als 0,775 eingestellt.

**[0022]** Wenn ein KLWL mit einem doppellagigen Kern einer „All Mode“-Anregung unterzogen wird, enthält das sich innerhalb des Kerns fortpflanzende Licht Strahlen, die nur durch den Innenlagenkern verlaufen, und Strahlen, die sowohl durch den Außenlagenkern und als auch den Innenlagenkern laufen. In Wirklichkeit pflanzen sich die Strahlen innerhalb des Kerns fort, während sie von der Grenzfläche zwischen dem Innenlagenkern und dem Außenlagenkern und der Grenzfläche zwischen dem Außenlagenkern und dem Mantel reflektiert werden. Da als Mantelmaterial aus Kostengründen häufig ein Material mit relativ schlechter Veredelung genutzt wird und das Mantelmaterial daher normalerweise eine geringere Durchlässigkeit als das Kernmaterial hat, erfahren die Strahlen, die von der Grenzfläche zwischen dem Mantel und dem Kern total reflektiert werden, aufgrund der Grenzflächenfehlpassung einen größeren Verlust als die Strahlen, die von der Grenzfläche zwischen dem Innenlagenkern und dem Außenlagenkern total reflektiert werden. Damit sich mehr Strahlen nur

durch den Innenlagenkern bewegen und die Übertragungsleistung gesteigert wird, wird das Brechzahlverhältnis  $Y$  in dem KLWL daher auf nicht mehr als 0,7 und vorzugsweise im Bereich von nicht mehr 0,33 oder zwischen 0,37 und 0,7 eingestellt. Um eine noch höhere Übertragungsleistung zu erzielen, wird das Brechzahlverhältnis  $X$  auf nicht mehr als 0,4 oder weniger als 0,4 eingestellt.

**[0023]** Die Brechzahlendifferenz  $n_1$  zwischen dem ersten Kern und dem Mantel unterliegt keinen besonderen Beschränkungen. Allerdings wird die numerische Apertur des KLWL vorzugsweise auf nicht mehr als 0,4 eingestellt, um eine passende Bandbreitenleistung sicherzustellen, sodass die Brechzahlendifferenz  $n_1$  vorzugsweise im Bereich von nicht mehr als 0,056 eingestellt wird.

**[0024]** [Fig. 4](#) zeigt einen Bereich für das Kernradiusverhältnis  $X$  und das Brechzahlverhältnis  $Y$ . Der in [Fig. 4](#) gezeigte Bereich ist ein Bereich, in dem die folgenden Ausdrücke (1) bis (4) erfüllt sind (mit allein der Ausnahme  $X = 0,8$  und  $Y = 0,35$ ;  $X = 0,8$  und  $Y = 0,45$  sowie  $X = 0,6$  und  $Y = 13/22$ ).

$$Y \geq -1,134 X + 1,0518 \quad (1)$$

$$X \leq -1,4842 Y^2 + 1,1097 Y + 0,7097 \quad (2)$$

$$X \geq 0,5 \quad (3)$$

$$Y \leq 0,7 \quad (4)$$

**[0025]** Wenn die obigen Ausdrücke erfüllt sind, kann auch dann für einen KLWL mit einem doppellagigen Kern gesorgt werden, der eine verhältnismäßig hohe Übertragungsleistung und eine ausreichend große Bandbreite hat, wenn eine optische Übertragungsvorrichtung Anwendung findet, die eine Lichtquelle mit einer Anregungs-NA von immerhin 0,3 oder mehr verwendet. Um eine noch höhere Übertragungsleistung zu erzielen, werden  $X$  und  $Y$  vorzugsweise in einem Bereich eingestellt, in dem die Ausdrücke (1) und (2) erfüllt sind und gleichzeitig  $X \geq 0,76$  oder entweder  $Y \leq 0,4$  oder  $Y < 0,4$  erfüllt ist (mit allein der Ausnahme  $X = 0,8$  und  $Y = 0,35$  sowie  $X = 0,8$  und  $Y = 0,45$ ), mit anderen Worten im schattierten Bereich von [Fig. 4](#).

**[0026]** Ein erfindungsgemäßer KLWL wird wie oben beschrieben auf eine solche Weise gebildet, dass seine -3 dB-Bandbreite bei einer Wellenleiterlänge von 50 m, gemessen unter der Bedingung einer „All Mode“-Anregung, 400 MHz oder mehr beträgt. In den letzten Jahren ist eine kostengünstige LED mit einer Bandbreite von 400 MHz oder so entwickelt worden und ist nach einem kostengünstigen KLWL gesucht worden, der sich mit dieser LED anwenden lässt. Ein erfindungsgemäßer KLWL mit einem doppellagigen Kern kann gerade bei dieser Bandbreite ein hervorragendes Leistungsvermögen zeigen.

**[0027]** Obwohl sich der oben genannte KLWL gut für eine optische Übertragung über eine verhältnismäßig lange Strecke mit einer Wellenleiterlänge von 50 m oder so eignet, wird er in der Praxis sehr oft in einer Länge von 20 m für einen häuslichen optischen Übertragungsweg genutzt. Wenn der oben genannte KLWL bei einer optischen Übertragung innerhalb einer Länge von 20 m Anwendung findet, kann als optische Übertragungsleistung eine noch reichlicher bemessene Leistung sichergestellt werden als im Fall einer 50 m langen optischen Übertragung.

**[0028]** Ferner wird der Bereich der Bandbreite bei dem erfindungsgemäßen KLWL auf einen Bereich eingestellt, in dem die Bandbreite mindestens 95 % der maximalen Bandbreite beträgt. Die in [Fig. 1](#), [Fig. 3](#) und [Fig. 6](#) gezeigten Simulationsergebnisse zeigen, dass sich der Bereich, in dem die Bandbreite größer oder gleich 95 % der maximalen Bandbreite ist, wie folgt sicherstellen lässt: Und zwar liegt der Bereich von  $X$  für  $Y = 0,5$  zwischen 0,62 und 0,78, für  $Y = 0,4$  zwischen 0,69 und 0,81 und für  $Y = 0,35$  zwischen 0,75 und 0,79.

**[0029]** Um eine Bandbreite von 95 % der maximalen Bandbreite sicherzustellen, werden  $X$  und  $Y$  folglich innerhalb eines Bereichs (des durch die äußere Umrandung definierten Bereichs in [Fig. 7](#)) eingestellt, der durch die folgenden Ausdrücke (5) bis (10) definiert ist.

$$Y \leq -3,333 X + 3,1 \quad (5)$$

$$Y \geq 2,5 X - 1,625 \quad (6)$$

$$Y \geq -0,833 X + 0,975 \quad (7)$$

$$Y \geq -1,429 X + 1,386 \quad (8)$$

$$Y \leq 0,5 \quad (9)$$

$$Y \geq 0,35 \quad (10)$$

**[0030]** Auf Grundlage der in [Fig. 1](#) und [Fig. 3](#) gezeigten Simulationsergebnisse schließt dieser Bereich für  $Y = 0,5$  einen Bereich von  $X$  zwischen 0,65 und 0,76 und für  $Y = 0,4$  zwischen 0,72 und 0,80 ein. Um eine Bandbreite von mindestens 98 % der maximalen Bandbreite sicherzustellen, werden  $X$  und  $Y$  folglich innerhalb eines Bereichs (des durch die innere Umrandung definierten Bereichs in [Fig. 7](#)) eingestellt, der durch die folgenden Ausdrücke (11) bis (14) definiert ist.

$$Y \geq -1,429 X + 1,429 \quad (11)$$

$$Y \leq -2,5 X + 2,4 \quad (12)$$

$$Y \leq 0,5 \quad (13)$$

$$Y \geq 0,4 \quad (14)$$

**[0031]** Ferner liegt der Punkt, der die maximale Bandbreite zeigt, für  $Y = 0,5$  bei  $X = 0,707$ , sodass die Bandbreite am höchsten eingestellt werden kann, wenn  $X$  und  $Y$  in die Nähe dieses Punkts gesetzt werden.

**[0032]** Es ist demnach besonders vorzuziehen, dass  $X$  und  $Y$  so eingestellt werden, dass sie innerhalb des Bereichs liegen, der den folgenden Ausdruck (15) erfüllt.

$$(X - 0,707)^2 + (Y - 0,5)^2 \leq 0,0004 \quad (15)$$

**[0033]** Entsprechend liegt der Punkt, der die maximale Bandbreite zeigt, für  $Y = 0,4$  bei  $X = 0,775$ , sodass die Bandbreite am höchsten eingestellt werden kann, wenn  $X$  und  $Y$  in die Nähe dieses Punkts eingestellt werden.

**[0034]** Es ist demnach besonders vorzuziehen, dass  $X$  und  $Y$  so eingestellt werden, dass sie innerhalb des Bereichs liegen, der den folgenden Ausdruck (16) erfüllt.

$$(X - 0,775)^2 + (Y - 0,4)^2 \leq 0,0004 \quad (16)$$

**[0035]** Als nächstes werden die Materialien für den erfindungsgemäßen KLWL mit dem doppelagigen Kern beschrieben.

**[0036]** Hinsichtlich der Materialien für den ersten Kern und den zweiten Kern, die bei der Erfindung den doppelagigen Kern bilden, können zum Beispiel Polymere verwendet werden, die entsprechend der beabsichtigten Brechzahl passend aus einer Gruppe gewählt werden, die aus Homopolymeren, die durch Polymerisieren der jeweiligen unten angegebenen gleichförmigen Monomere erzielt werden können, und Copolymeren besteht, die durch Copolymerisation von zwei oder mehr unterschiedlichen Arten dieser Monomere erzielt werden können, besteht. Dabei sollten die Materialien so gewählt werden, dass die Brechzahl des ersten Kerns höher als die des zweiten Kerns ist.

**[0037]** Als Monomere, die verwendet werden, damit sich die Kernmaterialien der Erfindung ergeben, sind unter Berücksichtigung der industriellen Herstellung Monomere zu bevorzugen, die durch Radikalpolymerisation leicht dazu gebracht werden können, große Moleküle zu bilden. Zu den Monomeren dieser Sorte gehören Methylmethacrylat, Benzylmethacrylat, Phenylmethacrylat, Vinylbenzoat, Styrol, 1-Phenylethylmethacrylat, 2-Phenylethylmethacrylat, Diphenylmethylmethacrylat, 1,2-Diphenylethylmethacrylat, 1-Bromethylmethacrylat, Benzylacrylat,  $\alpha, \alpha$ -Dimethylbenzylmethacrylat, 4-Fluorstyrol, 4-Chlorethylmethacrylat, Isobornylmethacrylat, Adamantylmethacrylat, Tricyclodecylmethacrylat, 1-Methylcyclohexylmethacrylat, 2-Chlorcyclohexylmethacrylat, 1,3-Dichlorpropylmethacrylat, 2-Chlor-1-chlormethylethylmethacrylat, Bornylmethacrylat, Cyclohexylmethacrylat, Allylmethacrylat, Tetrahydrofurfurylmethacrylat, Vinylchloracetat, Glycidylmethacrylat, Methyl- $\alpha$ -chloracrylat, 2,2,2-Trifluorethylmethacrylat, 2,2,3,3-Tetrafluorpropylmethacrylat, 2,2,3,3,3-Pentafluorpropylmethacrylat, 2,2,2-Trifluor-1-trifluormethylethylmethacrylat, 2,2,3,4,4,4-Hexafluorbutylmethacrylat, 2,2,3,3,4,4,5,5-Octafluorpentylmethacrylat, 2,2,2-Trifluorethyl- $\alpha$ -fluoracrylat, 2,2,3,3-Tetrafluorpropyl- $\alpha$ -fluoracrylat, 2,2,3,3,3-Pentafluorpropyl- $\alpha$ -fluoracrylat, 2,2,3,3,4,4,5,5-Octafluorpentyl- $\alpha$ -fluoracrylat, 2,4-Difluorsty-

rol, Vinylacetat, tert-Butylmethacrylat, Isopropylmethacrylat, Hexadecylmethacrylat, Isobutylmethacrylat,  $\alpha$ -Trifluormethylacrylat,  $\beta$ -Fluoracrylat,  $\beta,\beta$ -Difluoracrylat,  $\beta$ -Trifluormethylacrylat,  $\beta,\beta$ -Bis(trifluormethyl)acrylat,  $\alpha$ -Chloracrylat und so weiter.

**[0038]** Für den ersten Kern werden vorzugsweise insbesondere Homopolymere aus Methylmethacrylat (im Folgenden mit PMMA abgekürzt) verwendet, da diese für einen KLWL mit verhältnismäßig geringen Verlusten sorgen können. Für den zweiten Kern können dabei Copolymere aus Methylmethacrylat und fluorinierten Alkyl(meta)acrylat eingesetzt werden, wobei aufgrund ihrer geringen Verluste insbesondere Copolymere aus Methylmethacrylat und 2,2,3,3-Tetrafluorpropylmethacrylat eingesetzt werden können. Ein KLWL mit verhältnismäßig geringen Verlusten kann auch erreicht werden, wenn für den ersten Kern Copolymere aus Benzylmethacrylat und Methylmethacrylat genutzt werden und für den zweiten Kern PMMA genutzt wird.

**[0039]** Was die bei der Erfindung verwendeten Mantelmaterialen betrifft, können bekannte Polymere eingesetzt werden. So können zum Beispiel Copolymere, die aus zwei oder mehr verschiedenen Arten der obigen Monomere bestehen, Copolymere auf Vinylidenfluorid-Basis oder dergleichen genutzt werden. Für das Mantelmaterial sollten Polymere gewählt werden, die eine kleinere Brechzahl als der zweite Kern haben.

**[0040]** Bei einem erfindungsgemäßen KLWL mit doppellagigem Kern kann um die Mantellage herum eine Schutzlage vorgesehen werden. Mit dieser zusätzlich vorgesehenen Schutzlage lassen sich die mechanischen Eigenschaften wie die Biegefestigkeit des KLWL verbessern und kann für einen Schutz des Mantelmaterials gegen eine Beschädigung gesorgt werden. Als Material für die Schutzlage wird vorzugsweise ein Material mit einer kleineren Brechzahl als die Mantelschicht verwendet. So können zum Beispiel vorzugsweise Copolymere verwendet werden, die durch Copolymerisation von zwei oder mehr verschiedenen Arten von Monomeren erzielt werden, die aus der aus Vinylidenfluorid, Tetrafluorethylen und Hexafluorpropylen bestehenden Gruppe gewählt werden. Die Dicke der Schutzlage kann passend eingestellt werden, wobei sie jedoch vorzugsweise in einem Bereich von nicht weniger als 10  $\mu\text{m}$  und nicht mehr als 400  $\mu\text{m}$  liegt.

**[0041]** Als nächstes wird ein Verfahren zur Herstellung eines erfindungsgemäßen KLWL beschrieben.

**[0042]** Ein erfindungsgemäßer KLWL lässt sich auf die gleiche Weise wie beim herkömmlichen Herstellungsverfahren eines KLWL herstellen, der einen normalen konzentrischen Mehrlagenaufbau hat.

**[0043]** Bei der Herstellung eines erfindungsgemäßen KLWL wird ein Mehrkomponenten-Spinnverfahren eingesetzt, damit sich eine leichte Steuerung der Mischlagendicke erreichen lässt. Unter den Mehrkomponenten-Spinnverfahren können vorzugsweise das Kolbenstrangpress-Mehrkomponenten-Spinnverfahren, das kontinuierliche Mehrkomponenten-Spinnverfahren oder dergleichen verwendet werden.

**[0044]** Das Kolbenstrangpress-Mehrkomponenten-Spinnverfahren umfasst die Schritte Bilden eines Stabs für jedes Polymer, dass den ersten Kern, den zweiten Kern, den Mantel und falls erforderlich die Schutzlage bilden soll; Einführen jeweils eines Stabs in einen von mehreren Zylindern; Strangpressen von Polymerschmelze jedes Stabs durch Verschieben eines Kolbens an einem Ende des Zylinders, während der Stab am anderen Ende des Zylinders geschmolzen wird; Einspeisen eines Polymers mit jeweils vorgegebener Menge in jeweils einen Einlass **1** für das erste Kernmaterial, einen Einlass **2** für das zweite Kernmaterial, einen Einlass **3** für das Mantelmaterial und einen Einlass **4** für das Schutzlagenmaterial einer Mehrkomponenten-Spinndüse mit dem in [Fig. 5](#) dargestellten Aufbau; Bilden eines mehrlagigen Aufbaus durch nacheinander erfolgreiches Formen einer Lage jedes Polymers mit vorgeschriebener Dicke und danach Ausgeben eines fertigen Filaments aus der Düse. Das ausgegebene Filament wird gekühlt, während es mit konstanter Geschwindigkeit entnommen wird.

**[0045]** Das kontinuierliche Mehrkomponenten-Spinnverfahren umfasst die Schritte kontinuierliches Schmelzen von Polymeren, von denen jedes eine Lage bilden soll, durch eine Sprangpresse; Durchführen einer Entgasung, wenn es die Umstände erfordern, und danach Einspeisen der Polymere in der gleichen Weise wie oben beschrieben mit jeweils vorgegebener Menge in eine Mehrkomponenten-Spinndüse, wie sie in [Fig. 5](#) gezeigt ist; Bilden eines mehrlagigen Aufbaus durch nacheinander erfolgreiches Formen einer Lage jedes Polymers mit vorgeschriebener Dicke und danach Ausgeben eines fertig ausgebildeten Filaments aus der Düse. Das ausgegebene Filament wird gekühlt, während es mit konstanter Geschwindigkeit entnommen wird.

**[0046]** Wenn ein KLWL durch ein Mehrkomponenten-Spinnverfahren dieser Art angefertigt wird, kann durch eine Anpassung der Schmelzkontaktdauer in der Spinndüse für jedes Polymer, das eine Lage bilden soll, die Durchdringungsdiffusionslänge der Polymere eingestellt werden und lässt sich folglich die Mischlagendicke steuern.

**[0047]** Um die mechanischen Eigenschaften zu verbessern, wird der einmal gebildete KLWL, falls erforderlich, entweder im Anschluss an das Spinnen oder nach dem vollständigen Aufwickeln einer thermischen Zugbehandlung unterzogen.

**[0048]** Als nächstes wird ein erfindungsgemäßes KLWL-Kabel beschrieben.

**[0049]** Bei einem erfindungsgemäßen KLWL-Kabel handelt es sich um einen Gegenstand, bei dem auch auf der Außenfläche eines wie oben beschrieben erzielten KLWL, der aus einem doppellagigen Kern und einem Mantel besteht, oder eines KLWL, bei dem um den Mantel herum außerdem eine Schutzlage ausgebildet wurde, eine Beschichtung aufgebracht ist. Ein unter Aufbringung der Beschichtung ausgebildetes KLWL-Kabel hat insofern Vorteile, als die Handhabung und Unterscheidung der dünnen KLWL leichter fällt und für einen Schutz gegenüber einer mechanischen Beschädigung wie einer durch äußerer Kräfte verursachten Beschädigung sowie für Wärmebeständigkeit und Feuchtigkeitsbeständigkeit gesorgt werden kann und außerdem das Außenlicht daran gehindert werden kann einzudringen.

**[0050]** Die Dicke des Beschichtungsmaterials wird entsprechend dem vorgeschriebenen Durchmesser des KLWL und der vorgeschriebenen Außenabmessung des KLWL-Kabels festgelegt, wobei sie normalerweise innerhalb eines Bereichs von nicht weniger als 0,2 mm und nicht mehr als 1,5 mm gewählt wird.

**[0051]** Als Beschichtungsmaterial kann im Allgemeinen ein thermoplastisches Harz genutzt werden, zu dem ein Vinylchloridharz, ein Polyamidharz und ein Polyolefinharz wie Polyethylen gehört. Außerdem lassen sich als Beschichtungsmaterial vorzugsweise Ethylen-Vinylacetat-Copolymere, ein Polymergemisch aus Ethylen-Vinylacetat-Copolymeren und ein Vinylchloridharz verwenden. Diese Harze sind aufgrund ihrer Weichheit und ihres geringen Widerstands gegen Biegespannung als Beschichtungsmaterialien zu bevorzugen.

**[0052]** Die Aufbringung eines Beschichtungsmaterials auf der Außenfläche des KLWL kann durch ein bekanntes Verfahren zur Herstellung eines KLWL-Kabels erfolgen. So kann zum Beispiel, während ein KLWL durch eine Beschichtungsform geschickt wird, ein geschmolzenes Beschichtungsmaterial aufgebracht werden, damit es um dieses herum mit einer vorbestimmten Dicke aufgebracht wird, sodass dadurch eine KLWL-Kabel hergestellt werden kann.

## BEISPIELE

**[0053]** Es wird darauf hingewiesen, dass einige der folgenden Beispiele außerhalb der beanspruchten Bereiche liegen.

KLWL mit einem Brechzahlverhältnis  $Y = 0,5$

**[0054]** Für einen KLWL mit einem doppellagigen Kern und einem Brechzahlverhältnis  $Y$  von 0,5 wurde für den ersten Kern Polymethylmethacrylat (PMMA), für den zweiten Kern ein binäres Copolymer aus 2,2,3,3-Tetrafluorpropylmethacrylat (4FM) und Methylmethacrylat (MMA) mit einem Gewichtsanteil für 4FM von 20 Gewichts-% und für den Mantel ein Copolymer aus 3, 3, 4, 4, 5, 5, 6, 6, 7, 7, 8, 8, 9, 9, 10,10-Heptadecafluordecylmethacrylat (17FM)/Styrol/Methylmethacrylat = 33/6/61 (Gewichts-%) verwendet und wurde dadurch ein KLWL mit einem Durchmesser von 750  $\mu\text{m}$  hergestellt. Die Dicke des Mantels wurde dabei auf 10  $\mu\text{m}$  eingestellt. Die Brechzahlen der Lagen betragen für den ersten Kern, den zweiten Kern und den Mantel jeweils 1,491, 1,476 und 1,461. Das Brechzahlverhältnis  $Y$  betrug hierbei 0,5. Als der Querschnitt dieses KLWL unter einem Mikroskop untersucht wurde, war weder zwischen den Lagen des ersten Kerns und des zweiten Kerns noch zwischen den Lagen des zweiten Kerns und des Mantels eine Mischlage erkennbar, was zeigt, dass sich im Wesentlichen keine Mischlage gebildet hatte.

**[0055]** Die Fertigung des KLWL erfolgte, indem Polymere, von denen jedes das Material einer Lage bildete, mittels einer Mehrkomponenten-Spinnöse mit einem wie in [Fig. 5](#) gezeigten Aufbau in Verbindung gebracht wurden, um so einen konzentrischen mehrlagigen Aufbau zu bilden, in dem jede Lage ihre eigene vorgeschriebene Dicke hatte, und danach das Filament aus der Düse ausgegeben und gekühlt wurde, während es mit konstanter Geschwindigkeit entnommen wurde, und die Länge anschließend mittels Ziehen bei einer Ziehtemperatur von 145 °C verdoppelt wurde, gefolgt von Aufwickeln.

**[0056]** Mit Hilfe des hier beschriebenen Verfahrens wurden mehrere KLWL mit einem Brechzahlverhältnis  $Y$  von 0,5 und verschiedenen Kernradiusverhältnissen  $X$  hergestellt, wie sie in Tabelle 1 angegeben sind. Die Schichtdicke jeder Lage wurde durch Einstellen des Verhältnisses der aus der Düse abgebenen

Polymermengen, der Abgabegeschwindigkeit, der Spinnengeschwindigkeit und dem Ziehverhältnis gesteuert. Das in Tabelle 1 angegebene Verhältnis der Kernfläche entspricht dem Verhältnis der Querschnittsfläche des ersten Kerns und des zweiten Kerns, wobei 30/70 zum Beispiel angibt, dass das Verhältnis der Querschnittsfläche des ersten Kerns zur Querschnittsfläche des zweiten Kerns 30 zu 70 beträgt.

**[0057]** In Tabelle 1 sind die Bandbreiten und relativen Bandbreiten für verschiedene Kernradiusverhältnisse angegeben. Die Bandbreiten in der Tabelle entsprechen den Bandbreiten, die für die verschiedenen angefertigten KLWL unter der Bedingung einer „All Mode“-Anregung unter Verwendung eines optischen Abtastoszillographen (Detektors), hergestellt von Hamamatsu Photonics Co., Ltd. und einer Lichtquelle mit einer Emissionswellenlänge von 650 nm gemessen wurden. Die in den Messungen verwendeten KLWL waren 50 m lang. Darüber hinaus wurden die relativen Bandbreiten bezüglich der Bandbreite eines KLWL mit einem Kernflächenverhältnis von 50/50 (das Kernradiusverhältnis beträgt 0,707) normalisiert.

Tabelle 1 Y = 0,5

	Kernflächen- verhältnis	Kernradius- verhältnis X	Bandbreite [MHz]	Relative Bandbreite
Beispiel 1	30/70	0,548	488	0,90
Beispiel 2	40/60	0,632	520	0,96
Beispiel 3	50/50	0,707	540	1,00
Beispiel 4	60/40	0,775	511	0,95
Beispiel 5	70/30	0,837	452	0,84
Vergleichsfall 1	80/20	0,949	227	0,42
Vergleichsfall 2	90/10	0,949	227	0,42

KLWL mit einem Brechzahldifferenzverhältnis Y = 0,4

**[0058]** Mit Ausnahme dessen, dass für den zweiten Kern eine binäres Copolymer aus 2,2,3,3-Tetrafluorpropylmethacrylat (4FM) und Methylmethacrylat (MMA) mit einem Gewichtsanteil für 4FM von 24 Gewicht-% verwendet wurde, wurde auf die gleiche Weise wie bei dem oben genannten KLWL mit einem Brechzahldifferenzverhältnis Y von 0,5 ein KLWL mit einem Brechzahldifferenzverhältnis Y von 0,4 hergestellt. Die Brechzahl seines zweiten Kerns betrug 1,473.

**[0059]** Die Messergebnisse für die Bandbreiten und die relativen Bandbreiten sind für verschiedene Kernradiusverhältnisse in Tabelle 2 angegeben.

Tabelle 2 Y = 0,4

	Kernflächen- verhältnis	Kernradius- verhältnis X	Bandbreite [MHz]	Relative Bandbreite
Vergleichsfall 3	30/70	0,548	395	0,69
Beispiel 6	40/60	0,632	467	0,86
Beispiel 7	50/50	0,707	522	0,96
Beispiel 8	60/40	0,775	541	1,00
Beispiel 9	70/30	0,837	480	0,89
Beispiel 10	80/20	0,949	395	0,73
Vergleichsfall 4	90/10	0,949	308	0,57

KLWL mit einem Brechzahlverhältnis Y = 0,25

**[0060]** Mit Ausnahme dessen, dass für den zweiten Kern ein binäres Copolymer aus 2,2,3,3-Tetrafluorpropylmethacrylat (4FM) und Methylmethacrylat (MMA) mit einem Gewichtsanteil für 4FM von 30 Gewicht-% verwendet wurde, wurde auf die gleiche Weise wie bei dem oben genannten KLWL mit dem Brechzahlverhältnis Y von 0,5 ein KLWL mit einem Brechzahlverhältnis X von 0,25 hergestellt. Die Brechzahl seines zweiten Kerns betrug 1,4685.

**[0061]** Die Messergebnisse für die Bandbreiten und relativen Bandbreiten sind für verschiedene Kernradiusverhältnisse in Tabelle 3 angegeben.

Tabelle 3 Y = 0,25

	Kernflächen- verhältnis	Kernradius- verhältnis X	Bandbreite [MHz]	Relative Bandbreite
Beispiel 11	50/50	0,707	389	0,72
Beispiel 12	60/40	0,775	432	0,80
Beispiel 13	70/30	0,837	430	0,80
Beispiel 14	80/20	0,894	388	0,72

**[0062]** Die obigen Ergebnisse bestätigen, dass die erfindungsgemäßen KLWL für große Übertragsbandbreiten sorgen können.

Beurteilung der optischen Übertragungsleistung (relative Emissionsleistung)

**[0063]** Als nächstes wurde in die wie oben genannt angefertigten KLWL mit 50 m Länge von einer LED abgegebenes Licht mit einer numerischen Apertur von 0,6 eingekoppelt und wurden dabei die Emissionslichtmengen gemessen.

**[0064]** Für die Emissionsleistung eines separat hergestellten Referenz-KLWL wurde 1 genommen, wobei die ermittelten Emissionslichtmengen dann als relative Emissionsleistungen ausgedrückt wurden und ein Vergleich dieser Mengen vorgenommen wurde.

**[0065]** Als Referenz-KLWL wurde ein KLWL der SI-Bauart mit einem einlagigen Kern eingesetzt. Für das

Kernmaterial dieses Referenz-KLWL wurde das oben beschriebene Innenlagenkernmaterial (PMMA) genutzt und für das Mantelmaterial wurde ein ähnliches Mantelmaterial wie das Mantelmaterial des obigen KLWL mit dem gut doppellagigen Kern genutzt. Wie bei dem obigen KLWL mit dem doppellagigen Kern wurden der Außendurchmesser und die Manteldicke des KLWL auf 750 µm bzw. 10 µm eingestellt.

**[0066]** Die Messergebnisse für die relative Emissionsleistung der verschiedenen angefertigten KLWL sind in Tabelle 4 angegeben.

**[0067]** Tabelle 4 zeigt, dass die Emissionsleistung für den Fall, das Y 0,4 oder weniger beträgt, bei mindestens 75 % der Emissionsleistung des Referenz-KLWL gehalten werden kann. Wenn das Kernradiusverhältnis X 0,775 oder mehr beträgt, kann die Emissionsleistung ebenfalls ein hohes Niveau halten.

**[0068]** Wie Tabelle 4 klar für den Fall der KLWL zeigt, deren Brechzahlverhältnis Y 0,5 und Kernradiusverhältnis X 0,548 und 0,632 beträgt, bei denen die Emissionsleistungen nur 0,69 oder weniger betragen, können die KLWL außerdem selbst dann, wenn sie große Bandbreiten haben, geringe Emissionsleistungen haben.

Tabelle 4

Kernflächen- verhältnis	Kernradius- verhältnis X	Relative Emissionsleistung		
		Brechzahl- differenz- verhältnis Y = 0,5	Brechzahl- differenz- verhältnis Y = 0,4	Brechzahl- differenz- verhältnis Y = 0,25
30/70	0,548	0,64	-	-
40/60	0,632	0,69	0,75	-
50/50	0,707	0,75	0,79	0,87
60/40	0,775	0,80	0,84	0,90
70/30	0,837	0,85	0,88	0,92
80/20	0,894	0,90	0,91	0,95
90/10	0,949	0,95	-	-

#### Vorhandensein einer Mischlage und Übertragungsbandbreite

**[0069]** Es wurde ein Vergleich vorgenommen zwischen den Bandbreiten eines KLWL, der durch das gleiche Rotationspolymerisationsverfahren hergestellt wurde, wie in der EP 0 844 501 A2 beschrieben ist, und eines KLWL, der durch das kontinuierliche Mehrkomponenten-Spinnverfahren hergestellt wurde. In den beiden Fällen dieser hierbei angefertigten KLWL mit doppellagigem Kern wurden der Außendurchmesser und die Manteldicke auf 750 µm bzw. 10 µm und X = 0,837 und Y = 0,7 eingestellt. Während bei dem durch das Rotationspolymerisationsverfahren hergestellten KLWL unter einem Mikroskop in der Nähe der Grenzfläche zwischen dem ersten Kern und dem zweiten Kern eine 21 µm dicke Mischlage beobachtet wurde, konnte bei dem durch das kontinuierliche Mehrkomponenten-Spinnverfahren hergestellten KLWL keine Mischlage festgestellt werden.

**[0070]** Die Übertragungsbandbreiten und relativen Emissionsleistungen wurden für diese unter den gleichen Bedingungen wie oben beschrieben gemessen. Die Bandbreite und die relative Emissionsleistung für den durch das Rotationspolymerisationsverfahren hergestellten KLWL betragen 210 MHz bzw. 0,71. Dagegen betragen die Bandbreite und die relative Emissionsleistung für den durch das kontinuierliche Mehrkomponenten-Spinnverfahren hergestellten KLWL 480 MHz bzw. 0,89.

**[0071]** Dies zeigt, dass selbst dann, wenn X und Y auf ein und denselben Wert eingestellt werden, ein KLWL, bei dem sich keine Mischlage bildet, eine Übertragungsbandbreite und eine Übertragungsleistung besserer Qualität erreichen kann.

## Bewertung KLWL-Kabel

**[0072]** Darüber hinaus wurde unter Verwendung einer Kreuzkopf-Beschichtungsanlage auf die Außenfläche des obigen KLWL bei einer Temperatur von 150°C geschmolzenes Polyethylen aufgebracht, um für eine Beschichtung zu sorgen, wobei dadurch ein KLWL-Kabel mit einem Außendurchmesser von 2,2 mm erzielt wurde. Das unter Verwendung eines erfindungsgemäßen KLWL erzielte KLWL-Kabel zeigte auf gleiche Weise, dass es eine große Bandbreite und eine hohe Emissionsleistung hat.

## Bewertung optische Übertragungsvorrichtung

**[0073]** Ein wie oben erzieltes KLWL-Kabel wurde nach 50 m abgeschnitten. Indem eine LED mit einer Emissionswellenlänge 650 nm als Lichtquelle verwendet wurde, wurde diese Lichtquelle mit einer Anregungs-NA von 0,3 an einem Ende des KLWL-Kabels angeordnet und wurde an dem anderen Ende als optischer Empfänger eine Fotodiode angeordnet, wobei dann Signale von 400 MHz übertragen wurden. Das erfindungsgemäße KLWL-Kabel bewies erfolgreich seine hervorragenden Fähigkeiten bei der Signalübertragung.

## Patentansprüche

1. Kunststofflichtwellenleiter, der einen ersten Kern, einen konzentrisch auf der Außenseite des ersten Kerns sitzenden zweiten Kern mit einer vom ersten Kern verschiedenen Brechzahl und einen konzentrisch auf der Außenseite des zweiten Kerns sitzenden Mantel hat, wobei sich der erste Kern und der zweite Kern jeweils aus einer Polymerart zusammensetzen,

**dadurch gekennzeichnet**, dass

er durch ein Mehrkomponenten-Spinnverfahren hergestellt ist, um zumindest entweder zwischen den Lagen des ersten Kerns und des zweiten Kerns oder zwischen den Lagen des zweiten Kerns und des Mantels die Bildung einer Mischlage aus einem Polymergemisch zu verhindern, das aus Polymeren jeweils benachbarter Lagen besteht, oder um die Dicke beider Mischlagen auf nicht mehr als 10 µm, vorzugsweise nicht mehr als 1 µm einzuschränken; und

er ein Verhältnis  $X = (r_1/r_2)$  von einem ersten Kernradius  $r_1$  zu einem zweiten Kernradius  $r_2$  und ein Verhältnis  $Y = (n_2/n_1)$  von einer Brechzahldifferenz  $n_2$  zwischen dem zweiten Kern und dem Mantel zu einer Brechzahldifferenz  $n_1$  zwischen dem ersten Kern und dem Mantel hat, das in einem Bereich liegt, in dem die folgenden Ausdrücke erfüllt sind:

$$Y \leq -3,333 X + 3,1$$

$$Y \geq 2,5 X - 1,625$$

$$Y \geq -0,833 X + 0,975$$

$$Y \geq -1,429 X + 1,386$$

$$Y \leq 0,5$$

$$Y \geq 0,35.$$

2. Kunststofflichtwellenleiter nach Anspruch 1, bei dem das Verhältnis  $X = (r_1/r_2)$  und das Verhältnis  $Y = (n_2/n_1)$  in einem Bereich liegen, in dem die folgenden Ausdrücke erfüllt sind:

$$Y \geq -1,429 X + 1,429$$

$$Y \leq -2,5 X + 2,4$$

$$Y \leq 0,5$$

$$Y \geq 0,4.$$

3. Kunststofflichtwellenleiter, der einen ersten Kern, einen konzentrisch auf der Außenseite des ersten Kerns sitzenden zweiten Kern mit einer vom ersten Kern verschiedenen Brechzahl und einen konzentrisch auf der Außenseite des zweiten Kerns sitzenden Mantel hat, wobei sich der erste Kern und der zweite Kern jeweils aus einer Polymerart zusammensetzen,

dadurch gekennzeichnet, dass

er durch ein Mehrkomponenten-Spinnverfahren hergestellt ist, um zumindest entweder zwischen den Lagen des ersten Kerns und des zweiten Kerns oder zwischen den Lagen des zweiten Kerns und des Mantels die Bildung einer Mischlage aus einem Polymergemisch zu verhindern, das aus Polymeren jeweils benachbarter Lagen besteht, oder um die Dicke beider Mischlagen auf nicht mehr als 10  $\mu\text{m}$ , vorzugsweise nicht mehr als 1  $\mu\text{m}$  einzuschränken; und

er ein Verhältnis  $X = (r_1/r_2)$  von einem ersten Kernradius  $r_1$  zu einem zweiten Kernradius  $r_2$  und ein Verhältnis  $Y = (n_2/n_1)$  von einer Brechzahldifferenz  $n_2$  zwischen dem zweiten Kern und dem Mantel zu einer Brechzahldifferenz  $n_1$  zwischen dem ersten Kern und dem Mantel hat, das in einem Bereich liegt, in dem der folgende Ausdruck erfüllt ist:

$$(X - 0,707)^2 + (Y - 0,5)^2 \leq 0,0004.$$

4. Kunststofflichtwellenleiter nach Anspruch 1, bei dem das Verhältnis  $X = (r_1/r_2)$  das Verhältnis  $Y = (n_2/n_1)$  in einem Bereich liegen, in dem der folgende Ausdruck erfüllt ist:

$$(X - 0,775)^2 + (Y - 0,4)^2 \leq 0,0004.$$

5. Kunststofflichtwellenleiter-Kabel mit einem Kunststofflichtwellenleiter gemäß einem der Ansprüche 1 bis 4, dessen Außenfläche mit einem Harz beschichtet ist.

6. Optische Übertragungsvorrichtung, mit:

einem Kunststofflichtwellenleiter gemäß einem der Ansprüche 1 bis 4;

einem an einem Ende des Kunststofflichtwellenleiters sitzenden Lichtabgabeelement mit einer Anregungs-NA von nicht weniger als 0,3; und

einem am anderen Ende des Kunststofflichtwellenleiters sitzenden optischen Empfänger.

7. Optische Übertragungsvorrichtung, mit:

einem Kunststofflichtwellenleiter-Kabel gemäß Anspruch 5;

einem an einem Ende des Kunststofflichtwellenleiter-Kabels sitzenden Lichtabgabeelement mit einer Anregungs-NA von nicht weniger als 0,3; und

einem am anderen Ende des Kunststofflichtwellenleiter-Kabels sitzenden optischen Empfänger.

8. Verwendung eines Kunststofflichtwellenleiters gemäß einem der Ansprüche 1 bis 4 zur optischen Übertragung innerhalb einer Länge von 20 m.

9. Verwendung eines Kunststofflichtwellenleiter-Kabels gemäß Anspruch 5 zur optischen Übertragung innerhalb einer Länge von 20 m.

10. Verwendung einer optischen Übertragungsvorrichtung gemäß Anspruch 6 oder 7 zur optischen Übertragung innerhalb einer Länge von 20 m.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen

Fig. 1

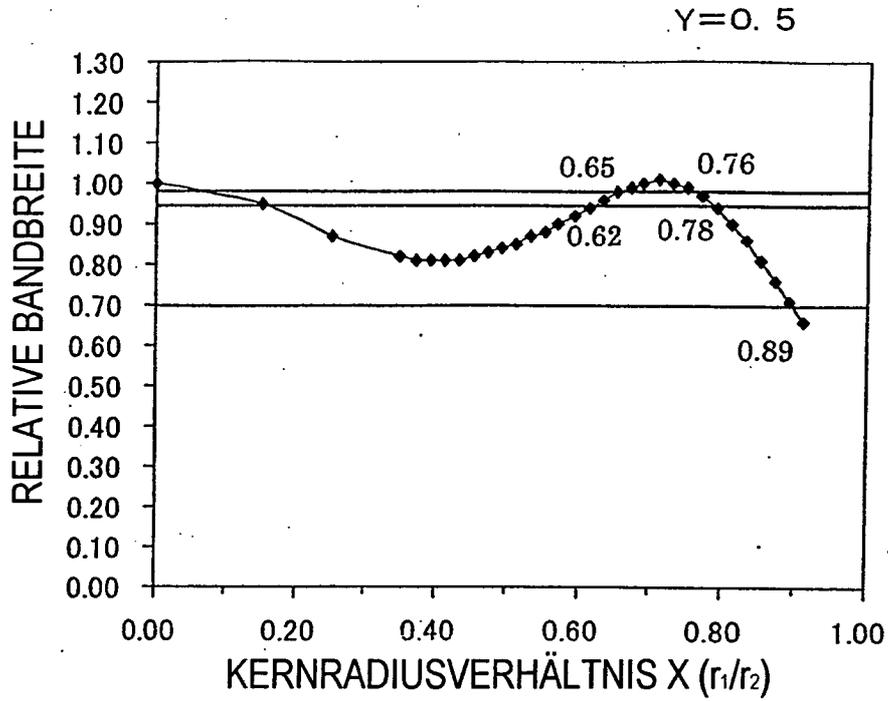


Fig. 2

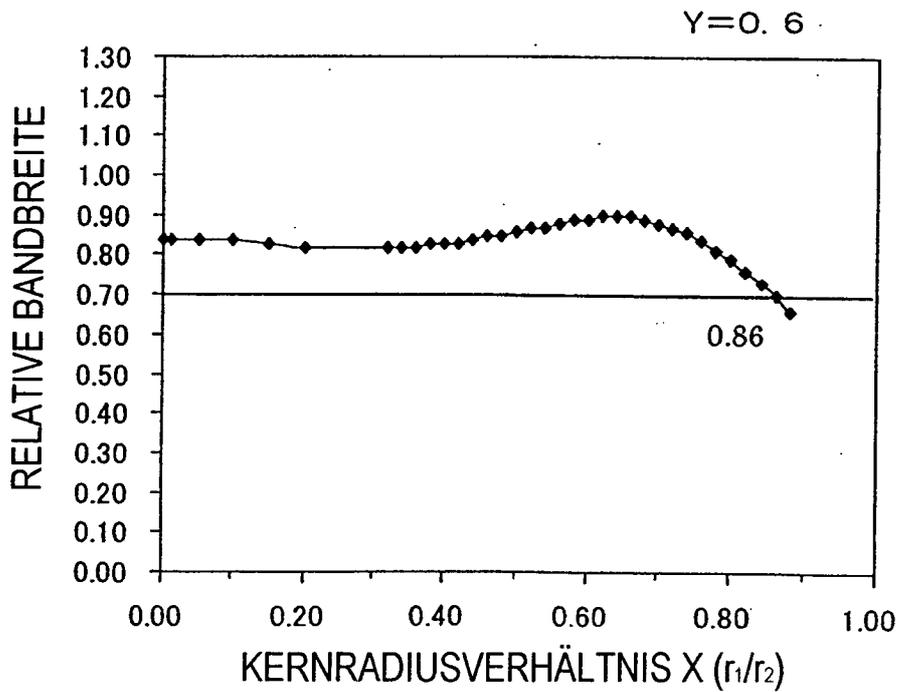


Fig. 3

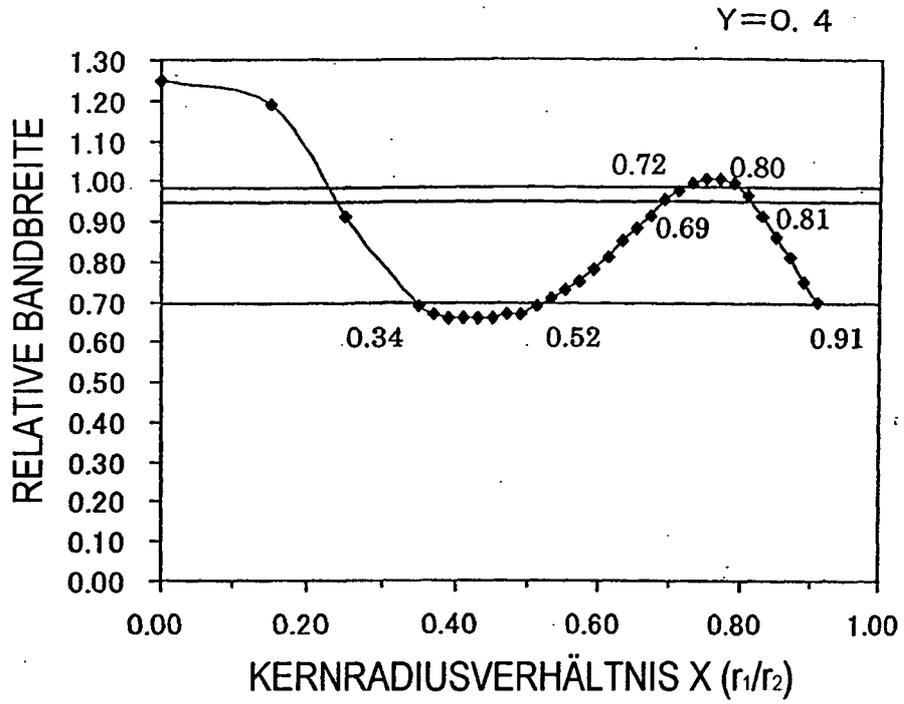


Fig. 4

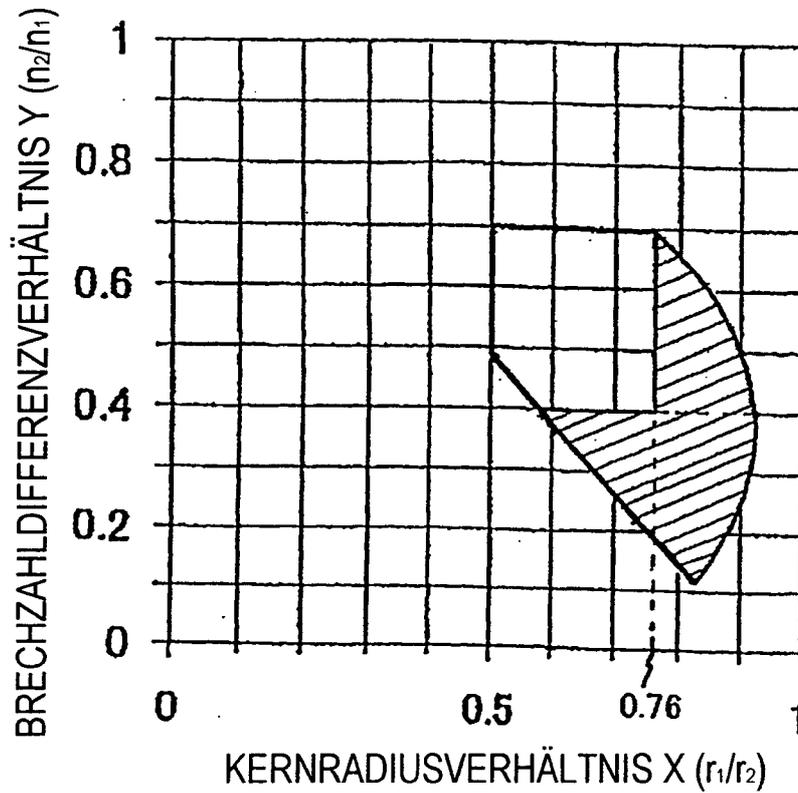


Fig. 5

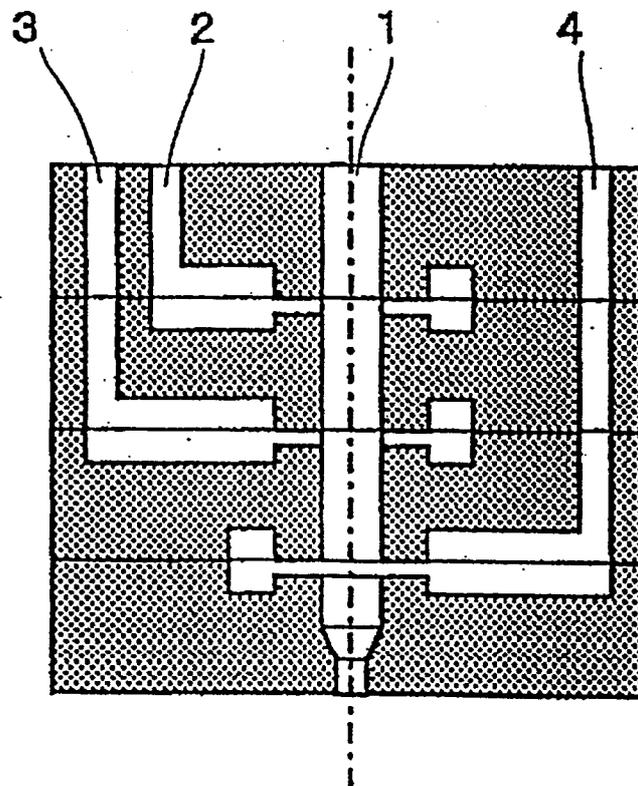


Fig. 6

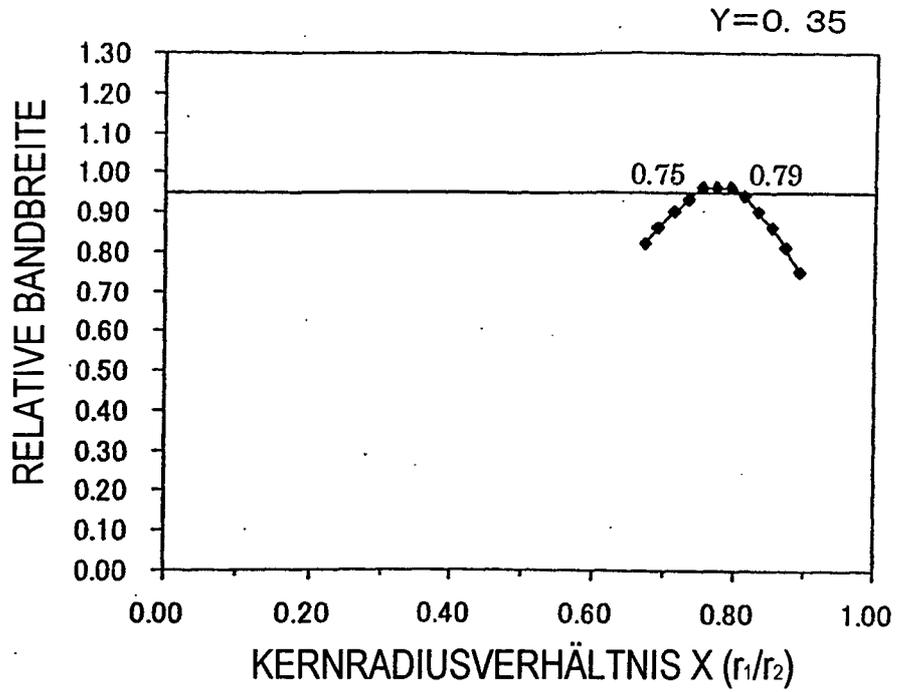


Fig. 7

