



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 603 10 107 T2** 2007.05.03

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 549 974 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **603 10 107.0**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/GB03/04408**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **03 751 049.2**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2004/034084**

(86) PCT-Anmeldetag: **09.10.2003**

(87) Veröffentlichungstag  
der PCT-Anmeldung: **22.04.2004**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **06.07.2005**

(97) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung beim EPA: **29.11.2006**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **03.05.2007**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **G01S 17/46** (2006.01)  
**G01S 7/481** (2006.01)

(30) Unionspriorität:  
**0223512 10.10.2002 GB**

(73) Patentinhaber:  
**QinetiQ Ltd., London, GB**

(74) Vertreter:  
**BEETZ & PARTNER Patentanwälte, 80538 München**

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LI, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR**

(72) Erfinder:  
**Harris, QinetiQ Ltd., Michael, Malvern, Worcestershire WR14 PS, GB; Hill, QinetiQ Ltd, Christopher, Malvern, Worcestershire WR14 3PS, GB; Lewin, QinetiQ Ltd., Andrew Ch., Malvern, Worcestershire WR14 3PS, GB**

(54) Bezeichnung: **BISTATISCHE LASER RADAREINRICHTUNG**

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**

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft Laser-Radareinrichtungen (Lidar-Systeme) und insbesondere bistatische kohärente Laser-Radareinrichtungen (CLR-Einrichtungen).

**[0002]** Lidar-Einrichtungen sind weithin bekannt und sind seit vielen Jahren für verschiedene Zwecke verwendet worden. Das Grundprinzip von Lidar ist es, einen Laserstrahl auf ein entferntes Ziel zu richten und das zurückkommende Signal zu erfassen. Die Modulation der Amplitude des gesendeten Laserstrahls ermöglicht es, eine einfache Entfernungsinformation zu ermitteln. Die Verwendung des kohärenten Laser-Radars (CLR) erlaubt ferner die Messung einer beliebigen Doppler-Verschiebung in der Frequenz des zurückkommenden Signals, wodurch Informationen über die relative Geschwindigkeit des zu messenden Ziels erhalten werden können. Es sind ferner differentielle Absorptions-Lidar-Einrichtungen (DIAL) bekannt, in denen das Laserlicht von zwei Wellenlängen zu einem Ziel gesendet wird und die Absorptionsdifferenz der ersten und der zweiten Wellenlänge als Maß der Molekülkonzentration einer bestimmten Gasspezies verwendet wird.

**[0003]** CLR-Einrichtungen sind in der Geschwindigkeitsmessung sowohl für weiche als auch für harte Ziele weit verbreitet. So wurde beispielsweise die CLR-Vibrationsmessung verwendet, um die Schwingungskennwerte harter Ziele, beispielsweise Maschinengehäusen, zu messen. CLR wurde auch für Doppler-Messungen der Windgeschwindigkeit verwendet. Bei den Windgeschwindigkeitsmessungen entstehen die zurückkommenden Signale dadurch, dass der gesendete Laserstrahl von kleinen Partikeln (Aerosolen), wie z.B. Staub und Wassertröpfchen, zurückgestreut wird. Doppler-Messungen der Windgeschwindigkeit haben sich in einem breiten Anwendungsbereich, d.h. in der Meteorologie, der (Erfassung) der wahren Eigengeschwindigkeit des Flugzeuges gegenüber der Luft und der Erfassung der Nachlaufströmungswirbelschleppen von Flugzeugen, als zweckmäßig erwiesen.

**[0004]** Eine sehr genaue Messung der Dopplerfrequenzverschiebung wird typischerweise in CLR-Einrichtungen durch Auftreffen eines stabilen lokalen Oszillatorstrahls auf das zurückkommende Signal (Überlagern) erreicht, der normalerweise vom gleichen Laser wie der gesendete Strahl erhalten wird. Ein Beispiel für ein CLR-System, das auf einer optischen Faser beruht, ist in Karlsson u.a., Applied Optics, Band 39, Nr. 21, 20. Juli 2000 beschrieben.

**[0005]** Es ist möglich, die Lidar-Systeme grob in monostatische oder bistatische Systeme einzuteilen. Die monostatischen Lidar-Systeme werden so genannt, weil sie eine gemeinsame Sende- und Empfangsoptik aufweisen. Die bistatischen Lidar-Systeme haben demgegenüber separate Sende- und Empfangsoptiken.

**[0006]** In einem monostatischen System wird die räumliche Auflösung durch Fokussierung des kombinierten Sende- und Empfangsstrahls auf das Ziel erreicht. In der Praxis ist festgestellt worden, dass die Strahlenbeugung die monostatischen CLR-Systeme auf einen Betrieb innerhalb von einigen hundert Metern beschränkt. Darüber hinaus kann ein langsamer Abfall der Empfindlichkeit weg vom Fokus zu einem schlecht definierten Sondenvolumen führen. Bei Windgeschwindigkeitsmessungen können vom Sondenvolumen entfernte Wolken, Rauch oder andere Objekte zur Erzeugung störender Reflexionen führen. Bei monostatischen CLR-Systemen ist ferner festgestellt worden, dass interne parasitäre Reflexionen von der gemeinsamen Sende- und Empfangsoptik die Leistung des Systems signifikant verschlechtern und solche Systeme für einige Anwendungen in größerer Entfernung (z.B. die Vibrationsmessung), bei der ein zurückkommendes Signal mit niedriger Intensität erfaßt wird, ungeeignet machen.

**[0007]** Im Gegensatz zu den monostatischen Systemen wurde festgestellt, dass die bistatischen Systeme für Vibrationsmessungen in größerer Entfernung und einige Windgeschwindigkeitsmessungen gut geeignet sind. Der nicht-parallele Sendestrahl und der Empfangsstrahl können für eine Überschneidung in einem bestimmten Punkt angeordnet sein, wodurch ein Sondenvolumen exakt vorgegeben wird (beispielsweise eine Fläche im Raum oder die Oberfläche eines harten Ziels). Obwohl die Einschränkung des Sondenvolumens bei verteilten Zielen zu einer Verringerung der Stärke des zurückkommenden Signals führen kann, wird doch im Vergleich zu den monostatischen Systemen das durch störende Reflexionen erzeugte Rauschen wesentlich reduziert.

**[0008]** Um von den bistatischen Lidar-Systemen eine optimale Leistung zu erhalten, müssen die Fokusse des Sende- und Empfangsstrahls am Ort, wo sich die Strahlen schneiden, zusammentreffen, denn die Sende- und Empfangsoptiken müssen getrennt fokussiert und ferner unter einem Winkel (d.h. "schielend", bzw. mit Winkelfehler) eingestellt werden, damit die Überschneidung des fokussierten Sendestrahls und des Empfangsstrahls in der erwünschten Entfernung gewährleistet wird. Es ist anzumerken, dass hier der Begriff Empfangsstrahl zur Bezeichnung des Bereichs verwendet ist, von dem das zurückgestrahlte Licht zum Detektor gerichtet

wird. Mit anderen Worten, der Empfangsstrahl ist kein Strahl von Photonen, sondern ein Pseudo- oder virtueller Strahl, der die Fläche vorgibt, von dem das System Licht empfängt.

**[0009]** Ein Verfahren zur Ausrichtung einer bistatischen CLR vor der Messung ist in WO 01/35117 beschrieben. Es ist jedoch zu erkennen, daß, wann immer die Entfernung der Ausrüstung geändert wird, es auch erforderlich ist, die Systemausrichtung unter Verwendung des Ausrichtungsverfahrens neu zu kalibrieren. Das Erfordernis, jedesmal, wenn die Systementfernung sich ändert, einen Kalibrierungsschritt vorzunehmen, verringert die Flexibilität und die Benutzerfreundlichkeit des Lidar-Systems wesentlich.

**[0010]** Eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher, zumindest einige Nachteile der oben beschriebenen bistatischen Lidar-Einrichtungen abzumildern.

**[0011]** In Übereinstimmung mit der vorliegenden Erfindung ist eine bistatische Laser-Radareinrichtung angegeben, wie sie in Anspruch 1 vollständig beschrieben ist.

**[0012]** Die vorliegende Erfindung gibt somit eine bistatische Lidar-Einrichtung an, in der das Schielen in einer vorgegebenen Art und Weise eingestellt wird, wenn sich der Fokus des Sendestrahls und des Empfangsstrahls ändert. Dadurch ist gewährleistet, dass sich die Fokusse des Sendestrahls und des Empfangsstrahls im erforderlichen Abstand, in der die Einrichtung arbeitet, überschneiden.

**[0013]** Mit anderen Worten, der Ort der Fokusposition des Sendestrahls folgt über den operativen Abstand der Einrichtung einer ersten Achse. Die Fokusposition des Empfangsstrahls folgt einer zweiten Achse, wenn sie sich innerhalb des operativen Abstands der Einrichtung ändert.

**[0014]** Die vorliegende Erfindung gewährleistet, dass die erste Achse und die zweite Achse innerhalb des operativen Abstands der Einrichtung im wesentlichen übereinstimmen, d.h. die Fokusse des Sendestrahls und des Empfangsstrahls fallen auf eine gemeinsame Achse. Es ist anzumerken, dass die gemeinsame Achse linear von der verwendeten exakten Geometrie abhängen kann oder auch nicht.

**[0015]** Wie oben beschrieben, wird die Leistung der Einrichtung optimiert, wenn die Fokusse des Sendestrahls und des Empfangsstrahls sich im erwünschten entfernten Ziel schneiden. Ein Vorteil der vorliegenden Erfindung über die bistatischen Lidar-Systeme vom Stand der Technik besteht somit darin, daß die Notwendigkeit entfällt, einen separaten Schiel-Einstellschritt vorzunehmen, wann immer sich der Fokus des Sendestrahls und des Empfangsstrahls ändert.

**[0016]** Der Sendekanal umfaßt eine erste optische Anordnung, die so konfiguriert ist, dass sie den fokussierten Sendestrahl bildet und mindestens eine Linse aufweist. Die erste optische Anordnung kann eine einzige Linse oder ein Teleskoplinsensystem sein.

**[0017]** Über ein optisches Sendefaserkabel wird Laserstrahlung zur ersten optischen Anordnung gesendet. Daher ist der Fokus des Sendestrahls durch Änderung der relativen Position der ersten optischen Anordnung in Bezug auf die Austrittsöffnung des optischen Sendefaserkabels einstellbar.

**[0018]** Die Austrittsöffnung der Faser ist linear in Bezug auf die erste optische Anordnung verstellbar. Zum Beispiel könnte das Faserkabelende (d.h. die Austrittsöffnung) auf einer Linearverstellung angeordnet sein und, bezogen auf eine festgelegte erste optische Anordnung (beispielsweise eine Linse), bewegt werden.

**[0019]** Der Empfangskanal umfaßt eine zweite optische Anordnung, die so konfiguriert ist, dass sie den fokussierten Empfangsstrahl bildet und mindestens eine Linse aufweist. Die zweite optische Anordnung ist bevorzugt so konfiguriert, dass sie die empfangene Strahlung in ein optisches Empfangsfaserkabel einkoppelt.

**[0020]** Der Fokus des Empfangsstrahls ist durch Änderung der relativen Position der zweiten optischen Anordnung unter Bezug auf die Eintrittsöffnung der optischen Empfangsfaser einstellbar.

**[0021]** Die Eintrittsöffnung der Faser ist linear in Bezug auf die zweite optische Anordnung verstellbar. Das faseroptische Kabelende (d.h. die Eintrittsöffnung) könnte beispielsweise auf einer Linearverstellung angeordnet sein und, bezogen auf eine festgelegte zweite optische Anordnung (z.B. eine Linse), bewegt werden.

**[0022]** Zweckmäßigerweise, ist in dem Fall, wenn eine Einrichtung einen Empfangskanal, in dem ein Faserende linear zur zweiten optischen Anordnung verstellbar ist, und einen Sendekanal aufweist, in dem das Fa-

serende linear zur ersten optischen Anordnung verstellbar ist, die Austrittsöffnung der Sendefaser linear längs der optischen Achse der ersten optischen Anordnung verstellbar, und die Eintrittsöffnung der Empfangsfaser linear längs einer Achse verstellbar ist, die unter einem vorgegeben Winkel zur optischen Achse der zweiten optischen Anordnung verstellbar angeordnet ist.

**[0023]** Die Möglichkeit, die vorliegende Erfindung zu realisieren, indem ein Paar Linearversteller (d.h. eine Stufe, in der der Sendestrahlfokus und eine zweite Stufe, in der der Empfangsstrahlfokus mit einer Winkelfehlerkorrektur versehen sind) verwendet werden, bietet einen Vorteil gegenüber den typischen Vorrichtungen vom Stand der Technik.

**[0024]** Vorteilhafterweise wird der vorgegebene Winkel vom Arcustangens des Trennungsverhältnisses von Sendekanal und Empfangskanal zur Brennweite der optischen Anordnung berechnet. Eine genaue Beschreibung, wie der vorgegebene Winkel berechnet wird, ist unten unter Bezug auf [Fig. 3](#) beschrieben.

**[0025]** Die Einrichtung kann ferner mindestens einen zusätzlichen Empfangskanal enthalten.

**[0026]** Unter bestimmten Umständen ist es wünschenswert, ein Lidar-System anzugeben, welches zwei oder mehrere Empfangskanäle aufweist. So kann zum Beispiel bei von einer harten Reflexionsfläche oder einer lichtstreuenden Oberfläche (z.B. einem Fenster oder einer Wand) durchgeführten Vibrationsmessungen das Laserfleckmuster Reflexionen hervorbringen, welche eine Intensität haben, die sich signifikant mit dem Beobachtungswinkel ändern. Ein einzelner Empfangskanal könnte demnach in einem Nullbereich angeordnet sein und nur ein kleines zurückkommendes Signal erhalten. Durch das Vorsehen zusätzlicher Empfangskanäle wird dieses Problem abgeschwächt, da ein zurückkommendes Signal durch jeden der zwei oder mehreren räumlich getrennten Empfangskanäle erfasst wird. Die zwei oder mehreren zurückkommenden Signale können kombiniert (d.h. in gewisser Weise gemittelt) werden oder das Signal mit der höheren Intensität könnte verwendet werden, um die erforderliche Information anzugeben.

**[0027]** Vorteilhafterweise gibt der mindestens eine zusätzliche Empfangskanal mindestens einen zusätzlichen Empfangsstrahl an und der Fokus des mindestens einen zusätzlichen Empfangsstrahls ist so angeordnet, dass er den Fokus des Sendestrahls innerhalb des operativen Entfernungsbereichs der Einrichtung schneidet.

**[0028]** Die Einrichtung ist bevorzugt so konfiguriert, dass sie mit einem verteilten (weichen) Ziel zusammenwirkt. Das Ziel könnte beispielsweise ein Luftvolumen sein, und von der Einrichtung könnten Windgeschwindigkeitsmessungen erhalten werden.

**[0029]** Alternativ dazu könnte die Einrichtung vorteilhafterweise so konfiguriert sein, dass sie mit einem harten Ziel zusammenwirkt. Sie könnte beispielsweise in der Vibrationsmessung verwendet werden. So könnten beispielsweise Vibrationen von Maschinenanlagen überwacht werden, um den Beginn eines Versagens zu erkennen.

**[0030]** Der Sendestrahls wird bevorzugt aus Strahlung gebildet, die eine Wellenlänge im Bereich von 1,55 Mikrometern hat. Die Einrichtung kann aber natürlich auch unter Verwendung von Strahlung einer beliebigen anderen Wellenlänge betrieben werden (z.B. Infrarotstrahlung, sichtbarer Strahlung, Ultraviolettstrahlung etc.).

**[0031]** Die Erfindung wird im Folgenden lediglich beispielhaft unter Bezug auf die folgenden Zeichnungen beschrieben, in denen zeigen:

**[0032]** [Fig. 1](#) den Fokus und die Schieleigenschaften eines bistatischen Lidar-Systems,

**[0033]** [Fig. 2](#) eine Technik zur Fokussierung und Schieleinstellung eines nur aus Fasern aufgebauten Lidar-Systems,

**[0034]** [Fig. 3](#) die Geometrie eines bistatischen Lidar-Systems und

**[0035]** [Fig. 4](#) ein bistatisches Lidar-System gemäß der vorliegenden Erfindung.

**[0036]** In [Fig. 1a](#) sind Sender **2** und Empfänger **4** einer bistatischen Lidar-Einrichtung gezeigt. Der Sender ist so konfiguriert, dass er einen Laserstrahl **6** sendet, der auf ein Sondenvolumen **8** fokussiert ist. In der gleichen Weise ist der Empfänger **4** so konfiguriert, dass er auf dasselbe Sondenvolumen **8** fokussiert ist. Mit anderen

Worten, der sogenannte Empfangsstrahl **10** des Empfängers ist ebenfalls auf das Sondenvolumen **8** fokussiert. Der Empfänger **4** ist ferner von der Z-Richtung um einen Winkel  $\theta$  weggeneigt, so dass der Fokus des Empfangsstrahls **10** den Fokus des Laserstrahls **6** am Sondenvolumen **8** schneidet.

[0037] Das System von **Fig. 1** zeigt somit ein genau ausgerichtetes bistatisches Lidar. Die Fokusse der Strahlen von Sender und Empfänger fallen am Sondenvolumen **8** zusammen.

[0038] **Fig. 1b** zeigt den Effekt, wenn nur die Fokusse von Sender und Empfänger des Lidar-Systems von **Fig. 1a** geändert werden. Es ist zu sehen, dass das Empfangssignal nur aus dem Bereich der Überschneidung **12** erhalten werden kann, obwohl die Entfernung zum Fokus R von Sender und Empfänger gekürzt ist. Das reduziert die Empfindlichkeit des Systems.

[0039] In **Fig. 1c** ist der Effekt gezeigt, wenn nur der relative Winkel zwischen Sender und Empfänger des Systems von **Fig. 1a** geändert wird. Es ist zu erkennen, dass das zurückkommende Signal tatsächlich aus der Region der Überschneidung **14** erhalten wird, die sich in einer kürzeren Entfernung als der Brennpunkt von Sender und Empfänger befindet. Auch hierdurch wird die Empfindlichkeit des Systems reduziert.

[0040] **Fig. 1** zeigt, warum sowohl der Fokus als auch das Schielen eines bistatischen Systems sorgfältig eingestellt werden müssen, damit sie das erforderliche Sondenvolumen vorgeben können. WO 01/35117 beschreibt eine Technik, die entwickelt wurde, um eine präzise Ausrichtung des Sendestrahl und des Empfangsstrahls auf ein erwünschtes Sondenvolumen zu ermöglichen. Im Verfahren von WO 01/35117 wird das Abziehen eines Teils der Empfangsoptik und das Richten eines Laserstrahls am Empfänger hinab verwendet, so dass ein "reeller" Empfangsstrahl gebildet wird, der genau zum räumlichen Lichtmodus paßt, in dem das Licht gestreut werden muß, damit es vom Empfänger erfaßt werden kann. Der Empfänger und der Sender können dann fokussiert und ein Schielwinkel eingestellt werden, so dass sich der "reelle" Empfangsstrahl und der Sendestrahl schneiden und auf das erwünschte Sondenvolumen eingestellt werden.

[0041] In **Fig. 2** ist ein typisches Verfahren vom Stand der Technik zur Änderung von Fokus und Schielen einer auf Fasern beruhenden bistatischen Lidar-Einrichtung gezeigt.

[0042] **Fig. 2a** zeigt, wie ein Laserlichtstrahl **20**, der von einem Faserende **22** emittiert wird, durch eine Linse **26** auf einen Punkt **24** fokussiert werden kann. **Fig. 2b** zeigt, wie eine axiale Bewegung (d.h. entlang der Z-Achse in **Fig. 2**) der Faser auf die Linse zu die Entfernung, in der der Laserstrahl fokussiert wird, erhöhen kann. **Fig. 2c** zeigt, wie eine laterale Bewegung des Faserendes in Bezug auf die Linse ebenfalls eine laterale Bewegung des Brennpunkts ergibt. Die Steuerung einer derartigen lateralen Bewegung ermöglicht die Einführung der erforderlichen Schielgröße. Die erforderlichen lateralen und axialen Verstellungen können durch getrennte manuelle (z.B. Mikrometer) oder automatisierte (z.B. motorisierte Verstell-) Einrichtungen erfolgen.

[0043] Wie oben beschrieben führt das Erfordernis, Fokus und Schielen des Systems getrennt einzustellen, um die optimale Überlappung des Sendestrahl und des Empfangsstrahls auf dem Ziel zu gewährleisten, zu einem komplexeren System.

[0044] In **Fig. 3** ist gezeigt, wie die vorliegende Erfindung, die für ein Lidar-System auf der Basis von Fasern realisiert wurde, eine kombinierte Winkelverstellung und Fokuseinstellung in einer einzigen Linearverstellung ermöglicht, wodurch auch eine präzise Schielkompensation bei der Einstellung des Fokus gewährleistet wird.

[0045] Es wird ein bistatisches System betrachtet, in dem eine Sendelinse **40** lateral von einer Empfangslinse **42** um einen Abstand S getrennt ist. Die optischen Achsen der Sende- und Empfangslinsen werden beide entlang der Z-Achse ausgerichtet. Jede Linse hat eine Brennweite F, und ein entferntes Ziel T ist in einem Abstand R von den Linsen angegeben.

[0046] Ein erstes Faserende **44** befindet sich in einem Abstand  $F + Z$  von der Sendelinse **40** und ein zweites Faserende **46** befindet sich in einem Abstand  $F + Z$  von der Empfangslinse **42**. Um das Schielen einzustellen, wird das zweite Faserende **46** in einem Abstand X von der optischen Achse der Empfangslinse **42** weg angeordnet.

[0047] Somit läßt sich die Fokusbedingung des Systems unter Verwendung des Ausdrucks

$$\frac{1}{F + Z} + \frac{1}{R} = \frac{1}{F} \quad (1)$$

beschreiben.

[0048] Dieser Ausdruck kann wie folgt umgeschrieben werden:

$$Z = \frac{RF - RF + F^2}{R - F} = \frac{F^2}{R - F} \quad (2) .$$

[0049] In der Annäherung ist zu erkennen:

$$Z \approx \frac{F^2}{R} \quad (3) .$$

[0050] Bei einer axialen Bewegung von  $Z = 15$  mm und unter der Annahme einer Brennweite von 15 cm beträgt die minimale Entfernung des Systems 1,5 m.

[0051] Die erforderliche Schielgröße als Funktion der Entfernung ist durch den Ausdruck gegeben:

$$\frac{S}{R} = \frac{X}{F} \quad (4) .$$

[0052] Es kann also gesehen werden, dass

$$X = \frac{FS}{R} \quad (5) .$$

[0053] Für eine Entfernung von 1,5 m (d.h., der minimalen Entfernung des Systems, wie aus Gleichung 3 oben erhalten), ist eine laterale Bewegung ( $X$ ) von 8 mm erforderlich.

[0054] Die vorliegende Erfindung liegt daher in der Realisierung, dass sowohl  $X$  als auch  $Z$  mit der Umkehr der Entfernung  $R$  variieren. Mit anderen Worten ist also festgestellt worden, dass es möglich ist, Fokus und Schielen mit einer einzigen Linearverstellung des Faserendes der Empfangsoptik zu erzielen. Der Winkel  $\theta$ , unter dem eine Linearverstellung des Faserendes sowohl zum erwünschten Fokus als auch zum Schielen führt, kann wie folgt berechnet werden:

$$\tan \theta = \frac{X}{Z} = \frac{FS}{R} \cdot \frac{R}{F^2} \approx \frac{S}{F} \quad (6) .$$

[0055] So wäre beispielsweise bei  $S = 8$  cm und  $F = 15$  cm ein Winkel  $\theta$  von etwa  $28^\circ$  erforderlich.

[0056] Es ist anzumerken, dass beim Winkel  $\theta$ , der unter Verwendung der Gleichung (6) berechnet ist, die Annahme gilt, dass die Entfernung  $R$  wesentlich größer als die Brennweite  $F$  der Linse ist. Die Gleichung (6) beginnt somit zu versagen (break down), wenn die Entfernung, auf die die Strahlen fokussiert sind, mit der Brennweite vergleichbar wird.

[0057] Bei Licht mit einer Wellenlänge  $\lambda$  und einem Radius  $r$  an der Austrittsöffnung wird der laterale Abstandsfehler ( $\Delta L$ ), der zur Einführung eines Verlustes von 3 dB erforderlich ist, gegeben durch:

$$\Delta L_{3dB} \approx \pm \frac{R^2}{\pi r^2} \lambda \quad (7) .$$

**[0058]** Somit ist die minimale Operationsentfernung des Systems (d.h., die Entfernung, bei der der Verlust größer als 3 dB ist, angegeben durch:

$$R \approx r \sqrt{\frac{\pi \Delta L}{\lambda}} \quad (8) .$$

**[0059]** Ein Strahl mit dem Radius 1,8 cm an der Austrittsöffnung, der eine Wellenlänge von 1,55 Mikrometern hat, würde somit einen Winkelfehler von unter 3 dB für alle Entfernungen angeben, die größer als zehn Meter sind.

**[0060]** Es zeigt sich somit, dass die Ausrichtung gemäß der vorliegenden Erfindung auch bei Anwendungen, wie z.B. Vibrationsmessungen, mit größeren Entfernungen (d.h. über etwa 20 m) nahe am Optimum bleibt. Eine gewisse Verschlechterung der Empfindlichkeit ergibt sich jedoch bei einer kurzen Entfernung (d.h. weniger als etwa 10 m) infolge der gesteigerten Bedeutung höherer Bedingungen bei der Fokusberechnung.

**[0061]** Das System wird normalerweise mit Null-Schielen am Sendestrahl realisiert, wobei die Empfangsfaser auf einer Verstellung angeordnet ist, die diagonal zur optischen Achse der Empfangslinse ausgerichtet ist. Alternativ dazu können die T- und R-Moden in entgegengesetzten Richtungen dieselbe Schielgröße haben, die Hälfte der vorhergehenden Version. In jedem dieser Verfahren ist die Anzahl der Verstellungen von drei (zwei Fokusse und ein Schielwinkel) auf zwei reduziert (ein Fokus und ein Fokus/Schielwinkel oder zwei Fokusse/Schielwinkel).

**[0062]** Der Nutzen der vorliegenden Erfindung wird gesteigert, wenn mehr als eine Eintrittsöffnung eingesetzt wird, zum Beispiel in einem Dual-Empfangs- oder Mehrfach-Empfangssystem.

**[0063]** In **Fig. 4** ist ein auf Fasern beruhendes Lidar-System der vorliegenden Erfindung gezeigt. Das bistatische Lidar-System umfaßt einen Sendekanal **60** und einen Empfangskanal **62**. Der Sendekanal **60** hat ein erstes Faserende **64**, das auf einer ersten Linearverstellung **66** angeordnet ist. Eine erste Linse **68** ist vorgesehen, um das aus dem Faserende **64** austretende Licht auf ein entferntes Ziel **70** zu fokussieren. Der Empfangskanal **62** hat ein zweites Faserende **72**, das auf einer zweiten Linearverstellung **74** angeordnet ist. Die Achse der zweiten Linearverstellung **74** ist unter einem Winkel  $\theta$  zur optischen Achse einer zweiten Linse **76** orientiert, die zur Sammlung des vom entfernten Ziel **70** gestreuten Lichtes vorgesehen ist.

**[0064]** **Fig. 4a** zeigt das Lidar-System, das konfiguriert ist, ein erstes Zielvolumen **78** abzufragen, und **Fig. 4b** zeigt das Lidar-System, das konfiguriert ist, ein zweites Zielvolumen **80** abzufragen. Der Winkel  $\theta$  ist so gewählt, dass er die Kriterien verwendet, die in **Fig. 3** oben verwendet wurden, und zwar dergestalt, dass die Linearverstellung, die verwendet wird, um den Fokus des Sendekanals und des Empfangskanals inhärent zu ändern, eine Änderung des Schielens des Systems verursacht. Dadurch wird gewährleistet, dass für einen vorgegebenen Bereich von Zielabständen sowohl der Sendestrahl, als auch der Empfangsstrahl fokussiert und so angeordnet werden, dass sie sich am erforderlichen entfernten Ziel schneiden.

**[0065]** Wie oben beschrieben ist die Befähigung, eine einzige Einstellung jedes Empfangs- und Sendekanals vorzunehmen, um sowohl den Fokus als auch das Schielen des Systems zu ändern, sehr vorteilhaft. Die vorliegende Erfindung erlaubt es, die Reichweite des Systems zu ändern und die weitere Überschneidung von Empfangsstrahl und Sendestrahl zu gewährleisten. Somit wird das Erfordernis der Vorrichtungen vom Stand der Technik zur Kalibrierung der Fokusse der Strahlen und der Überschneidung bei jeder Entfernung, in der das Lidar-System verwendet werden soll, überflüssig.

**[0066]** Bei Lidar-Systemen, die nicht mit Fasern arbeiten, kann der Fokussiereffekt durch die Bewegung einer Linse entlang der optischen Achse des Sendeteleskops und Empfangsteleskops erzielt werden. Die Verstellung einer Linse weg von der optischen Achse des Teleskops kann auch für die Einstellung des Schielens des von diesem Teleskop erzeugten Strahls verwendet werden. Ein Fachmann wird erkennen, dass die vorliegende Erfindung auch bei Systemen verwendet werden könnte, die auf Optiken beruhen, die im freien Raum (also nicht mit Fasern) arbeiten. Mit anderen Worten, eine Linearverstellung einer Teleskoplinse entlang einer Bahn um einen vorgegebenen Winkel zur optischen Achse des Teleskops könnte eine integrierte Schiel- und Fokuskorrektur in einer ähnlichen Art und Weise angeben, wie sie oben für Einrichtungen beschrieben ist, bei denen Fasern verwendet sind.

## Patentansprüche

1. Bistatische Laser-Radareinrichtung, die umfaßt:

- einen Sendekanal (60), welcher aufweist: eine erste optische Anordnung, die mindestens eine Linse (68), und ein optisches Sendefaserkabel (64) zum Durchlassen von Strahlung zur ersten optischen Anordnung hat, wobei die Austrittsöffnung des optischen Sendefaserkabels (64) linear in Bezug auf die erste optische Anordnung entlang einer ersten Achse derart verstellbar ist, dass der Fokus des Sendestrahls einstellbar ist, und
- einen Empfangskanal (62), der aufweist: eine zweite optische Anordnung, die mindestens eine Linse (76) und ein optisches Empfangsfaserkabel (72) zum Einkoppeln von Strahlung von der zweiten optischen Anordnung hat, wobei die Eintrittsöffnung des optischen Empfangsfaserkabels linear in Bezug auf die zweite optische Anordnung entlang einer zweiten Achse derart verstellbar ist, dass der Fokus des Empfangsstrahls einstellbar ist,

**dadurch gekennzeichnet**, dass

die Einrichtung derart angeordnet ist, dass die Brennpunkte des Sendestrahls und die Brennpunkte des Empfangsstrahls nur

- durch Linearverstellungen der Austrittsöffnung des optischen Sendefaserkabels, bezogen auf die erste optische Anordnung entlang der ersten Achse, und
  - Linearverstellungen der Eintrittsöffnung des optischen Empfangsfaserkabels, bezogen auf die zweite optische Anordnung entlang der zweiten Achse,
- auf eine gemeinsame Achse innerhalb des operativen Abstandsbereichs der Einrichtung fallen.

2. Einrichtung nach Anspruch 1, in welcher

- die Austrittsöffnung des optischen Sendefaserkabels (64) linear entlang der optischen Achse der ersten optischen Anordnung verstellbar ist und
- die Eintrittsöffnung des optischen Empfangsfaserkabels (72) linear entlang einer Achse verstellbar ist, die unter einem vorgegebenen Winkel zur optischen Achse der zweiten optischen Anordnung angeordnet ist.

3. Einrichtung nach Anspruch 2, bei der der vorgegebene Winkel vom Arcustangens des Trennungsverhältnisses von Sendekanal und Empfangskanal zur Brennweite der optischen Anordnung berechnet wird.

4. Einrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, welche ferner mindestens einen zusätzlichen Empfangskanal umfaßt.

5. Einrichtung nach Anspruch 4, welche mindestens einen zusätzlichen Empfangskanal zum Vorsehen von mindestens einem zusätzlichen Empfangsstrahl umfaßt, wobei der Fokus des mindestens einen zusätzlichen Empfangsstrahls so angeordnet ist, dass er den Fokus des Sendestrahls im operativen Abstandsbereich der Einrichtung schneidet.

6. Einrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, die so konfiguriert ist, dass sie mit einem weichen Ziel zusammenwirkt.

7. Einrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, die so konfiguriert ist, dass sie mit einem verteilten Ziel zusammenwirkt.

8. Einrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der der Sendestahl aus Strahlung besteht, die eine Wellenlänge im Bereich von 1,55 Mikrometern aufweist.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen



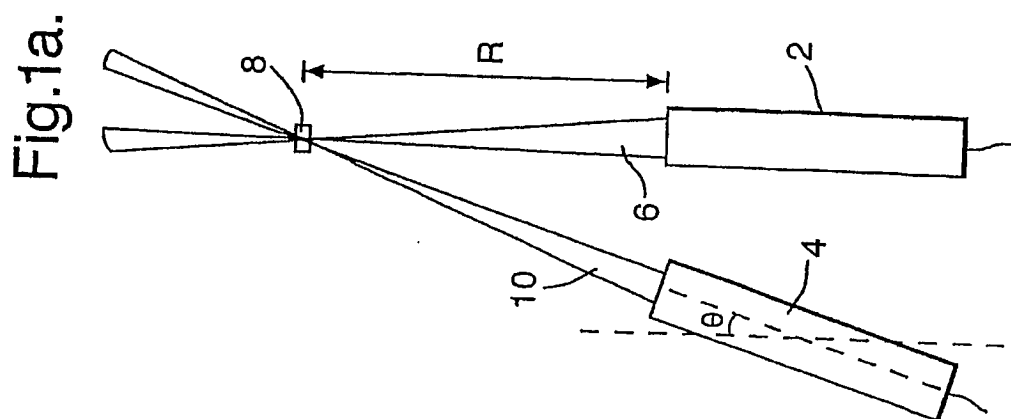
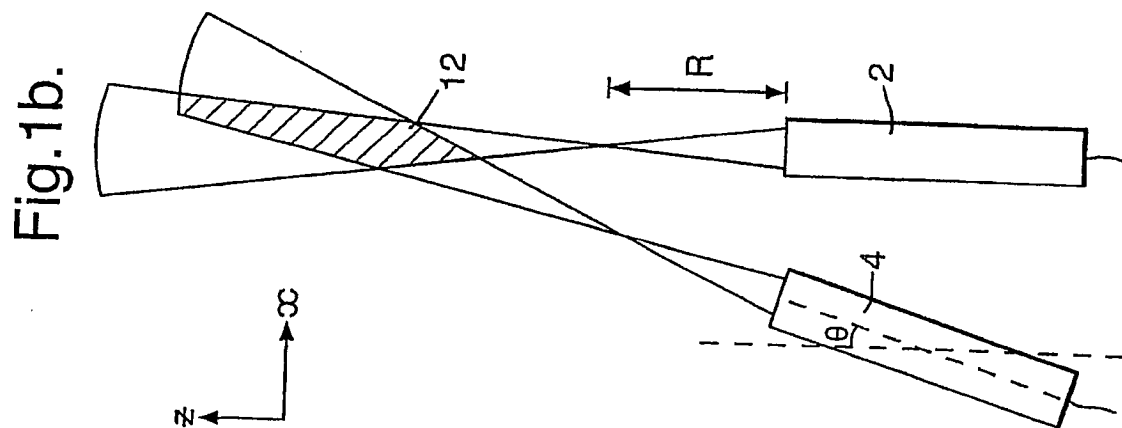
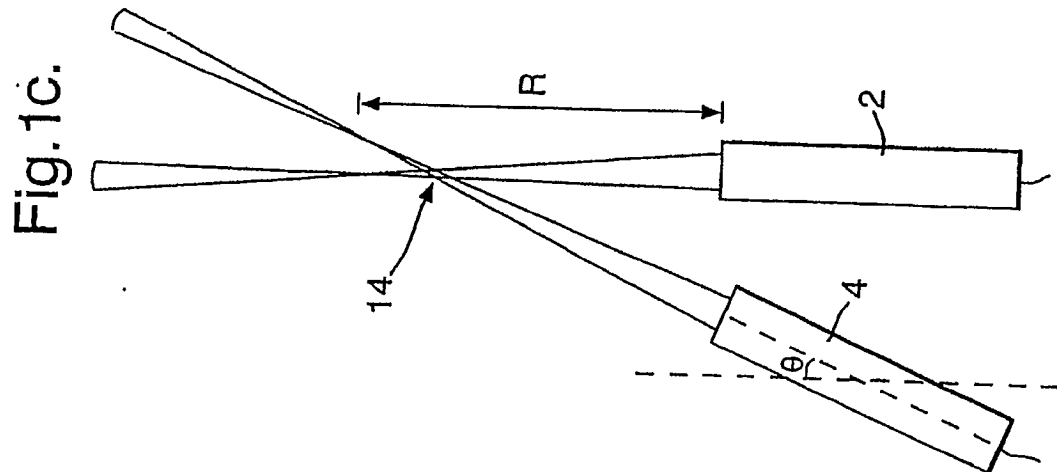


Fig.2a.

Stand der Technik

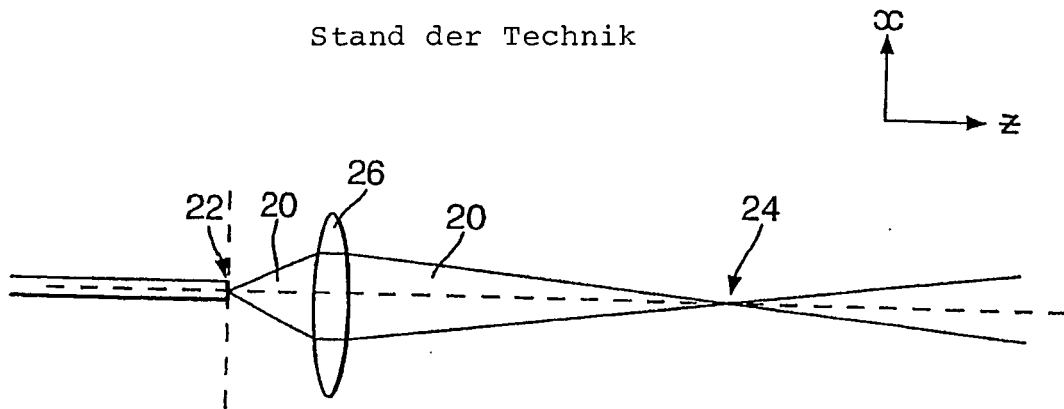


Fig.2b.

Stand der Technik

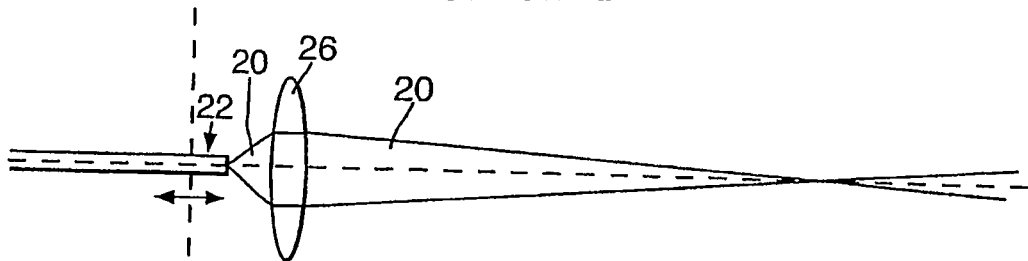


Fig.2c.

Stand der Technik

