

(19)



österreichisches
patentamt

(10)

AT 508 562 A4 2011-02-15

(12)

Österreichische Patentanmeldung

(21) Anmeldenummer: **A 1382/2009**

(22) Anmeldetag: **02.09.2009**

(43) Veröffentlicht am: **15.02.2011**

(51) Int. Cl.: **G01S 7/481** (2006.01),
G01S 17/89 (2006.01)

(73) Patentinhaber:

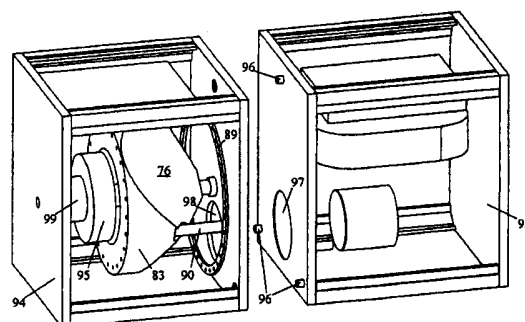
RIEGL LASER MEASUREMENT SYSTEMS
GMBH
A-3580 HORN (AT)

(72) Erfinder:

RIEGL JOHANNES DR.
TRABENREITH (AT)
REICHERT RAINER ING.
HORN (AT)
RIEGER PETER DIPL.ING.
GROSSAU (AT)

(54) 3-D VERMESSUNGSEINRICHTUNG

(57) 3D-Laservermessungseinrichtung, mit einem Laser-Entfernungsmesser, der einen Laser-Sender zum Aussenden eines Sendestrahls auf ein Ziel, eine Laser-Empfangeinrichtung zum Empfangen des vom Ziel reflektierten Empfangsstrahls und eine Auswerteinrichtung zur Strahl-Laufzeitmessung umfasst, um daraus die Zielentfernung zu messen, und einer Ablenkeinrichtung für die Send- und Empfangsstrahlen die eine um eine Achse (75) rotierbare Spiegelpyramide umfasst, mittels welcher ein Raum von Zielen mit zumindest einem Laserstrahlfächer abtastbar ist, um aus den gemessenen Zielentfernungen eine 3D-Punktewolke des Zielraums zu erstellen, wobei die Flächen der Spiegelpyramide mit der Rotationsachse zumindest zwei unterschiedliche Winkel einschließen, wobei die 3D-Laservermessungseinrichtung in ein Basisgerät (93) und einen auswechselbar daran montierten Messkopf (94) unterteilt ist, wobei das Basisgerät (93) den Laser-Entfernungsmesser und der Messkopf (94) die Ablenkeinrichtung enthält.



AT 508 562 A4 2011-02-15

**RIEGL
Laser Measurement Systems GmbH
HORN**

5

ZUSAMMENFASSUNG.

3-D Vermessungseinrichtung mit einem Laser-Entfernungsmesser mit einer
10 Auswerteeinrichtung, durch welche aus der Laufzeit der Laserimpulse die Distanz
zwischen dem Laser-Entfernungsmesser und den Zielen ermittelt wird, weiters mit
einer Ablenkeinrichtung für die Messstrahlen welche eine rotierende
Spiegelpyramide umfasst, mittels welcher der Zielraum mit einem Strahlenfächer
abtabbar ist und die 3-D Vermessungseinrichtung translatorisch bewegbar ist und
15 vom Zielraum ein 3-D-Datensatz erzeugt wird und zu jedem Messpunkt die
Entfernung, der Ablenkwinkel, die geografischen Koordinaten sowie die räumliche
Lage der 3-D Vermessungseinrichtung erfasst und abgespeichert wird, wobei
mindestens zwei Flächen der Spiegelpyramide mit der Rotationsachse
unterschiedliche Winkel einschließen und zumindest zwei Messstrahlenfächer das
20 Zielgebiet aus verschiedenen Winkeln zeilenförmig abtasten und unter
Berücksichtigung des Winkels der Spiegelflächen sowie des Drehwinkels des
Spiegelprismas bzw. der Spiegelpyramide die Lage, Richtung und Länge des
Messstrahles und damit die geografischen Koordinaten der Messpunkte im Zielraum
definiert sind.
25 (Fig. 2)

30 Horn, am 2. September 2009

**RIEGL
Laser Measurement Systems GmbH**

35

**RIEGL
Laser Measurement Systems GmbH
HORN**

5

3-D Vermessungseinrichtung mit einem Laserentfernungsmesser.

- 10 Die Erfindung bezieht sich auf eine 3-D Vermessungseinrichtung mit einem Laser-Entfernungsmesser, der einen Laser-Sender umfasst, der gepulste bzw. modulierte Laser-Strahlung aussendet. Sie umfasst ferner eine Empfangseinrichtung, welche die von Zielen reflektierte Strahlung empfängt. Dem Laser-Sender und der Empfangseinrichtung ist je ein optisches System, insbes. ein Objektiv vorgeschaltet.
- 15 Der Laserentfernungsmesser verfügt über eine Auswerteeinrichtung, durch welche aus der Laufzeit der Laserimpulse, bzw. aus der Phasenlage der modulierten Laser-Strahlung die Distanz zwischen dem Laser-Entfernungsmesser und den Zielen ermittelt wird. Weiters ist eine Ablenkeinrichtung für die Sende- und Empfangsstrahlen vorgesehen, welche mindestens ein, um eine Achse rotierendes
- 20 Spiegelprisma, bzw. eine rotierende Spiegelpyramide umfasst, mittels welchem bzw. welcher der Zielraum mit einem Strahlenfächer abtastbar ist und die gesamte 3-D Vermessungseinrichtung relativ in Bezug auf den Zielraum translatorisch, und im Wesentlichen normal zum Strahlenfächer bewegbar ist, so dass vom Zielraum ein 3-D-Datensatz, bzw. eine entsprechende Punktwolke erzeugt wird und zu jedem
- 25 Messpunkt die Entfernung, der Ablenkwinkel und die geografischen Koordinaten sowie die räumliche Lage der 3-D Vermessungseinrichtung erfasst und in einem Datenspeicher abgelegt wird.

- Solche Bilderfassungssysteme werden beispielsweise in Fluggeräten, wie
- 30 Flächenflugzeugen, Hubschrauber oder auch in unbemannten Drohnen eingesetzt und dienen der Vermessung von mehr oder weniger großen Landstrichen. Als

Ergebnis wird ein 3-D-Datensatz bzw. ein digitales Oberflächenmodell generiert, welcher bzw. welches mit bekannten CAD-Programmen weiter bearbeitet werden kann. Die Ergebnisse dieser Vermessung sind nicht immer einfach zu interpretieren, da alle Elemente, die sich in der Richtung der Messstrahlen erstrecken nicht deutlich
5 wiedergegeben werden. So ist es beispielsweise relativ schwierig in einem solchen Modell Hochspannungsmaste, Schornsteine oder auch Vertiefungen wie Gletscherspalten oder Lawinenabrisse auszumachen.

Um diese Schwierigkeiten zu vermeiden, ist bereits vorgeschlagen worden, mehrere,
10 gleichartige 3-D Vermessungseinrichtungen vorzusehen, die das Terrain unter unterschiedlichen Winkeln erfassen und die jeweiligen 3-D-Datensätze bzw. Punktwolken zu einem einzigen Datensatz bzw. zu einer einzigen Punktwolke zu kombinieren, der bzw. die dann ein weitgehend abschattungsfreies
Oberflächenmodell ergibt.

15 Eine solche Lösung weist aber nicht nur den Nachteil einer wesentlich höheren Investition auf, bei vielen Anwendungen, insbes. bei airborne-Einsätzen stellt auch das wesentlich höhere Gewicht und der deutlich höhere Energieverbrauch ein Problem dar.

20 Um die Nachteile der bekannten Lösungen zu vermeiden, wird erfindungsgemäß vorgeschlagen, dass mindestens eine der Flächen des Spiegelprismas bzw. der Spiegelpyramide sowie eine benachbarte Spiegelfläche mit der Rotationsachse unterschiedliche Winkel einschließen und zumindest zwei Messstrahlenfächer das
25 Zielgebiet aus verschiedenen Winkeln zeilenförmig abtasten, wobei die Zeilen von Messpunkten, die sich aus den verschiedenen Winkeln der Spiegelflächen ergeben in Richtung der translatorischen Bewegung der 3-D Vermessungseinrichtung versetzt sind und unter Berücksichtigung des Winkels der Spiegelflächen und den sich daraus ergebenden unterschiedlichen Aufnahmerichtungen sowie des Drehwinkels des
30 Spiegelprismas bzw. der Spiegelpyramide die Lage, Richtung und Länge des

Messstrahles und damit die geografischen Koordinaten der Messpunkte im Zielraum definiert sind und die Gesamtheit der Messpunkte einen 3-D-Datensatz bzw. eine Punktwolke repräsentieren, in welchem bzw. in welcher durch die verschiedenen Aufnahmerichtungen Abschattungen weitgehend vermieden sind.

5

Vorteilhaft ist das vom Laser-Sendestrahle in den Empfangskanal durch Reflexionen etc. eingestreute Licht des Sendeimpulses von der Auswerteeinrichtung bezüglich der zeitlichen Lage des Impulses verarbeitbar und als Startsignal für die Zeitmessung zwischen Aussenden des Laserimpulses und Empfang der Echo-

10 Impulse nutzbar.

In einer anderen Variante der Erfindung werden die innerhalb einer vorgegebenen minimalen Zeitspanne eintreffenden Echoimpulse bei der Auswertung nicht berücksichtigt, wobei die minimale Zeitspanne so gewählt ist, dass im Bereich der 3-D Vermessungseinrichtung gestreutes Laser-Sendelicht mit Sicherheit bei der Zeitmessung ausgeklammert bleibt.

15

Zur Erzielung einer hohen Scan-Rate rotieren die Spiegelpyramiden mit einer sehr hohen Geschwindigkeit. Durch den unsymmetrischen Aufbau der Spiegelpyramide können Unwuchten entstehen, die im Betrieb zu Vibrationen führen könnten. Im Allgemeinen wird es daher erforderlich sein, die Spiegelpyramide zu wuchten. Zu diesem Zweck wird im Bereich der Basis und der Deckfläche des Pyramidenstumpfes je ein Ring vorgesehen, welche Ringe zur insbes. dynamischen Wuchtung lokal in ihrer Masse veränderbar sind.

20

25

Um Beschneidungen von Sende- bzw. Empfangskanal zu vermeiden, sind die Abstützungen des oben genannten Ringes an den Schnittkanten der Spiegelfacetten angeordnet.

Um die zur Empfangseinrichtung gelangende Energie, der von den Zielen reflektierten Laserstrahlung zu optimieren wird, in einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung, die optische Achse der Empfangseinrichtung in einer Normalebene zur Rotationsachse der Spiegelpyramide in Abhängigkeit von der Scan-Rate und /
5 oder der jeweils gemessenen Entfernung verstellt.

Zu diesem Zweck ist zwischen der Empfangseinrichtung und der Spiegelpyramide ein schwenkbarer Spiegel vorgesehen, dessen Schwenkachse parallel zur Rotationsachse der Spiegelpyramide verläuft und dessen Antrieb den Spiegel in
10 Abhängigkeit von der Scan-Rate und / oder der jeweils gemessenen Entfernung verschwenkt.

In einer anderen Variante der Erfindung ist die Empfangseinrichtung verschiebbar angeordnet, wobei der Verstellantrieb beispielsweise ein Piezo-Element umfasst.

15 Je nach Einsatz der 3-D Vermessungseinrichtung ergeben sich unterschiedliche Auslegungen insbes. der Ablenkeinrichtung. So wird beispielsweise bei einer Vermessung aus geringer Flughöhe ein Strahlenfächer mit einem großen Winkel erforderlich sein, während bei einer Vermessung aus größerer Höhe Strahlenfächer mit einem vergleichsweise kleinen Winkel notwendig sind, um einen optimalen
20 Abstand zwischen den Messpunkten zu erhalten. Um diese Bedingungen zu erfüllen, muss die Spiegelpyramide im ersteren Fall Spiegelflächen aufweisen, die einen großen Winkel überdecken, im Allgemeinen werden zu diesem Zweck 3-seitige Pyramiden eingesetzt, während für Aufnahmen aus größerer Höhe Pyramiden mit
25 einer wesentlich größeren Anzahl von Spiegelflächen zum Einsatz kommen. Parallel hierzu muss auch die Scan-Rate bzw. die Drehzahl der Spiegelpyramide dem jeweiligen Einsatz angepasst werden.

Um zu vermeiden, dass für jede dieser Anwendungen ein spezielles Gerät
30 angeschafft werden muss, wird erfindungsgemäß vorgeschlagen,

die 3-D Vermessungseinrichtung in ein Grundgerät und einen auswechselbaren Messkopf, der die Ablenkeinrichtung, insbes. die Spiegelpyramide enthält, zu teilen.

- Vorzugsweise enthält der Messkopf die Lagerung, einen Antriebsmotor und einen
- 5 Winkeldecoder für die Spiegelpyramide und ist über elektrische Steckverbindungen mit dem Grundgerät verbindbar.

- In einer vorteilhaften Weiterentwicklung der Erfindung weist das Grundgerät und der Messkopf je ein für die Laserstrahlung transparentes Fenster auf, die sich bei am
- 10 Grundgerät montiertem Messkopf gegenüberliegen, so dass die Strahlung des im Grundgerät angeordneten Laser-Senders in den Messkopf eintreten und die von den Zielen reflektierte und im Messkopf abgelenkte Strahlung durch die beiden Fenster auf die im Grundgerät befindliche Empfangseinrichtung gelangen kann.

- 15 In einer zweckmäßigen Ausführung schließen die Fenster das Grundgerät und den Messkopf dicht, insbes. gasdicht ab und weisen eine optische Wirkung auf und wirken beispielsweise als Linsen bzw. Filter.

- Im Interesse einer optimalen Auslegung der einzelnen Spiegelflächen umfasst das
- 20 Spiegelprisma bzw. die Spiegelpyramide einen, insbes. metallischen Grundkörper und daran befestigte Spiegel, wobei der Grundkörper exakt positionierte, gegebenenfalls justierbare Aufnahmen für die einzelnen Spiegel aufweist.

- Weitere Merkmale der Erfindung ergeben sich aus der anschließenden Beschreibung
- 25 einiger Ausführungsbeispiele und unter Bezugnahme auf die Zeichnung. Die Fig. 1 zeigt schematisch eine konventionelle, Flugzeug-gestützte (airborne) 3-D Vermessungseinrichtung im Einsatz. Die Fig. 2 veranschaulicht ebenfalls schematisch die verschiedenen Komponenten dieser Einrichtung. Die Fig. 3 ist eine Prinzipdarstellung der erfindungsgemäßen Ablenkeinrichtung. Die Figuren 4 und 5
- 30 zeigen Spiegelpyramiden, mit unterschiedlichen optischen Systemen. Die Figuren 6

und 7 sind zwei axionometrische Darstellungen einer Spiegelpyramide. Die Figuren 8 und 9 veranschaulichen die konstruktive Ausbildung einer Variante der Erfindung. Die Figuren 10 und 11 stellen Blockschaltbilder der erfindungsgemäßen Einrichtung dar. In den Figuren 12 und 13 wird eine Variante einer Spiegelpyramide in zwei
5 verschiedenen Ansichten gezeigt.

Die Figuren 1 und 2 zeigen als Stand der Technik ein Flächenflugzeug 11 mit einer eingebauten 3-D Vermessungseinrichtung 12. Diese umfasst einen Laser-Entfernungsmesser der aus der Laufzeit (ToF) der ausgesandten Laserstrahlung 19
10 die jeweilige Entfernung ermittelt. Die 3-D Vermessungseinrichtung verfügt ferner über eine Strahlablenkeinrichtung, welche die Laserstrahlen 19 normal zur Flugrichtung ablenkt, so dass das überflogene Terrain 13 mit einem Messstrahlenfächer 18 zeilenförmig abgetastet wird. Die jeweiligen geografischen Koordinaten des Flugzeuges 11 werden mit einem Satelliten-Navigationssystem
15 (GPS) ermittelt. Zur Erzielung einer möglichst hohen Genauigkeit wird ein so genanntes Differential-GPS eingesetzt, bei welchem das Navigationssystem nicht nur Signale von mehreren Satelliten 15a, 15b, . . . sondern auch von einer ortsfesten Station 16 empfängt. Zusätzlich zu den geografischen Koordinaten wird noch die Fluglage (Kurs-, Roll- und Nickwinkel mittels eines Kreiselgerätes 17 gemessen.
20 Alle diese Daten werden für jeden Messpunkt abgespeichert. In Verbindung mit der gemessenen Entfernung und dem Ablenkwinkel der Ablenkeinrichtung werden damit die geografischen Daten der Messpunkte ermittelt. In ihrer Gesamtheit ergeben diese einen 3-D-Datensatz bzw. eine entsprechende Punktwolke des Terrains 13.

25 In der Fig. 2 ist schematisch der Aufbau eines solchen Flugzeug-gestützten Laser-Scanners gezeigt. Kernstück der Anlage ist ein Zentralrechner 56, der die einzelnen Komponenten ansteuert und die vom Entfernungsmesser gelieferten Entfernungswerte mit den Scan-Winkeln, mit den geografischen Koordinaten und den Fluglage-Winkeln verknüpft und diese Dateien aufzeichnet. Die Ausgabe der
30 Datensätze kann über einen Datenträger 57, z.B. eine DVD erfolgen.

Der Zentralrechner 56 steuert einen Lasertransmitter 30 an, der entsprechende Laser-Impulse aussendet. Die Laser-Strahlung wird durch ein Glasfaserkabel 58 einer Optik 60 zugeführt. Durch die rotierende Spiegelpyramide 62 wird der Laserstrahl

5 nach unten und quer zur Flugrichtung abgelenkt. In ihrer Gesamtheit bilden die Messstrahlen einen Strahlenfächer, der das Gelände 13 zeilenartig abtastet. Angetrieben wird die Spiegelpyramide durch einen Motor 64, der durch den Zentralrechner 56 gesteuert wird. Durch einen auf der Motorwelle angeordneten Winkeldecoder 65 wird die Momentanstellung der Spiegelpyramide 62 an den

10 Rechner 56 zurückgemeldet. Die vom Zielraum reflektierte Laser-Strahlung wird durch die Spiegelpyramide 62 auf ein Objektiv 68 umgelenkt und über ein Glasfaserkabel 70 der Empfangsstufe 72 zugeführt. Die in der Empfangsstufe in elektrische Signale umgewandelten Echoimpulse werden dem Rechner 56 zugeführt. Aus der Laufzeit (ToF) der Impulse werden die entsprechenden Entfernungswerte

15 berechnet. Diese Daten werden mit den vom Winkeldecoder 65, vom DGPS 14 und dem Kreiselgerät 17 gelieferten Daten verknüpft. Durch diese Daten werden die geografischen Koordinaten jedes Messpunktes definiert, so dass aus den entsprechenden Datensätzen 3-D-Geländemodelle berechnet werden können. Wie bereits eingangs erwähnt, weisen solche Bilderfassungssysteme den Nachteil

20 auf, dass es bei der Aufzeichnung zu Abschattungen kommt, so dass vertikal verlaufende Flächen oder auch bestimmte Bauwerke wie Schornsteine, Türme und Hochspannungsmaste sowie Spalten und Klüfte schwer zu interpretieren sind.

Diese Probleme werden erfindungsgemäß dadurch vermieden, dass Messungen in

25 mindestens 2 Richtungen durchgeführt werden, beispielsweise senkrecht nach unten und nach vorne und / oder nach hinten. Zu diesem Zweck wird die Spiegelpyramide mit Spiegelflächen ausgeführt, die mit der Rotationsachse unterschiedliche Winkel einschließen. In Fig. 3 ist dieses Prinzip schematisch gezeigt: die Rotationsachse des Spiegelprismas ist mit 75 bezeichnet, 3 Spiegelflächen mit 76 bis 78. Die

30 Spiegelfläche 76 schließt mit der Rotationsachse einen Winkel von 45° ein, 77 einen

größerem, 78 einen entsprechend kleineren Winkel. Der Laserstrahl 79 wird an der Spiegelfläche 76 um 90° nach unten gelenkt (Pos. 80). Durch die Spiegelfläche 78 wird der Messstrahl 81 nach vorne abgelenkt, durch die Fläche 77 nach hinten (Pos. 82). Bei Einsatz einer 3-seitigen Spiegelpyramide wird bei einer Umdrehung derselben somit ein nach vorne, ein senkrecht nach unten und ein nach hinten gerichteter Strahlenfächer erzeugt.

In Fig. 4 ist eine solche Spiegelpyramide 83 in einer Projektion in Richtung der Rotationsachse 75 dargestellt. Aus fertigungstechnischen Gründen weisen die einzelnen Flächen 76 bis 78 unterschiedliche Umfangswinkel auf. In dieser Figur sind auch die Apertur des Laserstrahles 79 und die des Empfangsstrahles 84 dargestellt. Die optische Achse des Lasersendestrahls weist einen wesentlich größeren radialen Abstand a von der Rotationsachse 75 auf als der radiale Abstand b der optischen Achse des Empfangsstrahles. Durch diese Maßnahme ergibt sich eine deutlich verbesserte Effizienz des Gesamtsystems.

Die Fig. 5 zeigt eine Variante zu der in der Fig. 4 dargestellten Konstruktion. Die Spiegelpyramide 83 ist in beiden Abbildungen gleich. Der Empfangsstrahl ist aber in zwei Strahlen 85 und 86 gesplittet, wodurch sich im Betrieb ein etwas günstigerer Verlauf der Energie der reflektierten Laserstrahlung ergibt, welche die Empfangsstufe trifft.

In den Figuren 6 und 7 wird in 2 verschiedenen Ansichten eine 3-seitige Spiegelpyramide 86 gezeigt. Der Körper der Pyramide besteht aus Metall, beispielsweise aus Aluminium oder Magnesium bzw. aus entsprechenden Legierungen. Durch die unsymmetrische Ausbildung der Pyramide ergibt sich eine ungleiche Massenverteilung, die speziell bei hohen Drehzahlen zu störenden Vibrationen führen kann. Es ist daher erforderlich, die Spiegelpyramide dynamisch zu wuchten. Zu diesem Zweck sind in der Basisfläche 88 der Pyramide 83 eine Vielzahl von Bohrungen 87 vorgesehen, in welche entweder Bleigewichte

eingepresst werden können oder welche zur lokalen Gewichtsreduktion aufgebohrt werden. Da es zur Wuchtung erforderlich ist, Ausgleichsgewichte auch in einer weiteren, im axialen Abstand von der ersten Ebene angeordneten zweiten Ebene, anzubringen, ist ein Ring 89 vorgesehen, der mit Stützen 90 bis 92 an der

5 Spiegelpyramide 83 befestigt ist. Die Stützen sind, um Abschattungen nach Möglichkeit zu reduzieren, in der Verlängerung der Pyramidenkanten angeordnet.

In den Figuren 8 und 9 ist eine 3-D Vermessungseinrichtung gezeigt, bei welcher die Ablenkeinrichtung mit der rotierenden Spiegelpyramide 83 in einem vom Basisgerät

10 93 trennbaren Messkopf 94 angeordnet ist. Der Messkopf 94 umfasst die rotierende Spiegelpyramide 83 mit der Lagerung, dem zugehörigen Antriebsmotor 95, sowie einen Winkeldecoder 99. Der Messkopf 94 ist mit einem nicht dargestellten Vielfachstecker mit dem Basisgerät 93 verbunden und wird von einem im Basisgerät 93 angeordneten Zentralrechner gesteuert. Vom Winkeldecoder 99 im Messkopf

15 wird der jeweilige Drehwinkel an den Rechner zurückgemeldet. Im Basisgerät 93 ist neben dem Zentralrechner auch der Laserentfernungsmesser samt der zugehörigen Auswerteeinrichtung untergebracht.

Mit Passstiften 96 wird der Messkopf 94 am Basisgerät 93 orientiert. Die beiden

20 Komponenten 93 und 94 weisen je ein Fenster 97 und 98 auf, die im montierten Zustand miteinander fluchten. Die Fenster 97 und 98 können eine optische Wirkung aufweisen und eine Filterfunktion und / oder eine entsprechende Brechkraft besitzen. Durch die Teilung der 3-D Vermessungseinrichtung in zwei wechselbaren Komponenten ist es möglich, diese an die unterschiedlichen Anforderungen der

25 verschiedenen Messeinsätze anzupassen. So wird bei Flugzeug-gestützten Anwendungen bei geringen Flughöhen mit Vorteil eine 3- oder 4-seitige Spiegelpyramide eingesetzt, bei größeren Flughöhen hingegen eine 6- oder 8-seitige. Die Motordrehzahl muss ebenfalls dem jeweiligen Einsatzfall angepasst werden. Es können auch Spiegelpyramiden mit anderen Flächenwinkeln eingesetzt werden.

RIEGL Laser Measurement Systems

- RIEGL Laser Measurement Systems**

ist, so dass der Entfernungsmesser mit einer sehr hohen Taktrate betrieben werden kann.

Der μ P 180 kommuniziert mit den anderen Komponenten des Systems über einen
5 Datenbus 191. Die zum Betrieb des μ Ps 180 erforderliche Software ist in dem
Programmspeicher 192 abgelegt.

Da durch den Laserentfernungsmesser in Verbindung mit der Ablenkeinrichtung das
Zielgebiet nur 2-dimensional erfasst wird, ist es für die Aufnahme eines 3-D Bildes
10 erforderlich, die 3-D Vermessungseinrichtung translatorisch über das Zielgebiet zu
bewegen. Dazu ist es notwendig, sämtliche Freiheitsgrade des jeweiligen
Messstrahles im Raum mit hoher Genauigkeit zu definieren. Zur Erfassung der
geografischen Koordinaten x , y und z sowie des Kurswinkels ω dient ein Satelliten-
gestütztes Navigationssystem GPS. Wird neben den verschiedenen Satelliten eine
15 ortsfeste, terrestrische Station zur Messung herangezogen, so kann eine extrem hohe
Genauigkeit erzielt werden. (Differential GPS – DGPS, Block 193).

Die 3-D Vermessungseinrichtung kann im Fluggerät beispielsweise auf einer
Kreisel-stabilisierten Plattform angeordnet sein, im Allgemeinen ist es jedoch
20 zweckmäßiger, den Rollwinkel ϕ , den Pitchwinkel Θ und Flugpfadwinkel γ von
einem Kreiselgerät (INS) 194 abzuleiten. Die Lage des Messstrahles wird ferner
durch die Strahlablenkeinrichtung definiert und zwar bei der erfindungsgemäßen
Einrichtung in zwei verschiedenen Richtungen: weist beispielsweise die zur
Strahlablenkung eingesetzte rotierende Spiegelpyramide, wie in Fig. 3 schematisch
25 dargestellt, 3 Flächen auf, die jeweils einen anderen Winkel mit der Rotationsachse
einschließen, so wird je nach dem entsprechenden Winkelsektor ein Abtastfächer
nach hinten, senkrecht nach unten oder nach vorne gerichtet sein. Den Strahlwinkel
innerhalb des Abtastfächers bestimmt der exakte Drehwinkel α der Spiegelpyramide.
Der jeweilige Drehwinkel α wird durch einen auf der Rotationsachse der

Spiegelpyramide angeordneten Winkeldecoder 195 gemessen, durch den μ P 180 werden die Fächerwinkel und die Strahlwinkel innerhalb der Fächer ermittelt.

In der Stufe 196 werden die geografischen Koordinaten der Messeinrichtung und die
5 verschiedenen Winkel mit den gleichzeitig gemessenen Entfernungswerten verknüpft
und daraus die geografischen Koordinaten der einzelnen Messpunkte ermittelt.
Diese Daten werden in einem Datenspeicher 197 abgelegt. Der Speicher 197 kann
mit einem PC verbunden werden, auf dessen Monitor 102 dann on-line das
vermessene Terrain in einer Vorausschau an Bord des Luftfahrzeuges auf
10 Vollständigkeit etc. kontrolliert werden kann.

Der vom A/D-Wandler 187 kommende Strom von Abtastimpulsen wird der Stufe
103 zugeleitet, in welcher jeder Einzelmessung des Entfernungsmessers die
zugehörigen Koordinaten der Messeinrichtung und die entsprechenden Winkeldaten
15 zugeordnet werden. Die auf diese Weise erzeugten Datensätze werden in einem
Speicher 104 abgelegt und können über eine Schnittstelle 105 zu einer off-line
Verarbeitung mit hoher Genauigkeit auf einen externen Datenträger 106 übertragen
werden.

20 Diese off-line Verarbeitung kann mit einer elektronischen Recheneinheit 107
durchgeführt werden, deren Blockschaltbild schematisch in der Fig. 11 dargestellt
ist. Die Recheneinheit 107 umfasst einen ersten Datenspeicher 108, in welchen die
vom Datenträger 106 kommenden Daten abgespeichert werden. In der Stufe 109
wird aus den Abtastimpulsen unter Berücksichtigung der Impuls-Form und –
25 Amplitude die zeitliche Lage des entsprechenden Pulses in Bezug auf den
Abstraster ermittelt. In der Stufe 112 wird aus diesen Daten mit hoher Genauigkeit
die Zeitdifferenz zwischen Start- und Echoimpuls und damit die Entfernung zu dem
betreffenden Ziel berechnet. Aus diesem Entfernungswert, den geografischen
Koordinaten der Messeinrichtung und den zugehörigen Winkelwerten werden die
30 geografischen Koordinaten der Objekte im Zielgebiet definiert. In ihrer Gesamtheit

beschreiben die entsprechenden Messpunkte einen 3-D-Datensatz bzw. eine Punktwolke. Da der Datensatz bzw. die entsprechende Punktwolke auf Messungen aus verschiedenen Richtungen basieren, ist das resultierende Entfernungsbild weitgehend frei von Abschattungen. Die entsprechenden Berechnungen erfolgen
5 durch einen µP 110, dessen Programmspeicher mit 111 bezeichnet ist..

Aus den in der Stufe 112 berechneten Daten kann ein digitales Oberflächenmodell (Digital Surface Model- DSM) 113 generiert werden, welches mit bekannten Programmen weiter bearbeitet werden kann.

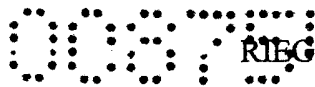
10

Stehen Rechner mit sehr hoher Leistungsfähigkeit und hoher Rechengeschwindigkeit zur Verfügung, kann die hoch-präzise Datenverarbeitung bereits on-line an Bord des Luftfahrzeuges erfolgen, ohne eine reduzierte Messrate in Kauf nehmen zu müssen. In diesem Fall erübrigt es sich, für die Vorschau zur
15 Kontrolle des Messvorganges einen eigenen Datensatz zu generieren.

In den Figuren 12 und 13 wird eine Variante zur Spiegelpyramide 83 gezeigt. Sie besteht aus einer Grundstruktur 100 aus Metall, insbes. Aluminium oder Magnesium, aus Keramik oder faserverstärktem Kunststoff. Auf dieser
20 Grundstruktur 100 werden Planspiegel befestigt. Die Spiegel können aufgeklebt oder mit der Grundstruktur 100 verschraubt sein. Es kann zweckmäßig sein, die Auflagerpunkte der Spiegel justierbar auszuführen. Diese Konstruktion ist besonders geeignet für irreguläre Spiegelpyramiden bzw. Spiegelprismen mit unterschiedlichen Facettenwinkeln und / oder einer großen Facettenzahl.

25

Die Erfindung ist nicht auf die oben beschriebenen Ausführungsbeispiele beschränkt, sondern kann in verschiedener Weise modifiziert werden, ohne den Rahmen der Erfindung zu verlassen. So kann anstelle des oben beschriebenen Entfernungsmessers mit Laserimpulsen ein Entfernungsmesser eingesetzt werden,
30 welcher einen modulierten Laserstrahl aussendet, wobei die Laufzeit aus der Phasenlage zwischen dem ausgesandten und dem Echosignal ermittelt wird. Anstelle



der oben gezeigten Ablenkeinrichtung mit einer Spiegelpyramide kann auch eine solche mit einem Spiegelprisma eingesetzt werden.

In der obigen Beschreibung verschiedener Ausführungsbeispiele wird immer wieder von Flugzeug-gestützten 3-D Vermessungseinrichtungen ausgegangen. Diese Einrichtungen können aber mit den gleichen Vorteilen in Landfahrzeugen, beispielsweise in schienengebundenen Fahrzeugen zur Anwendung kommen. Vorteile ergeben sich auch beim Einsatz auf Schiffen oder Booten, zur Vermessung von Wasserstraßen und Küstenverläufen.

10

15 Horn, am 2. September 2009

20

RIEGL
Laser Measurement Systems GmbH

25

30

35

40



RIEGL
Laser Measurement Systems GmbH
HORN

5

PATENTANSPRÜCHE

10

1. 3-D Vermessungseinrichtung mit einem Laser-Entfernungsmesser, der einen Laser-Sender umfasst, der gepulste bzw. modulierte Laser-Strahlung aussendet, ferner mit einer Empfangseinrichtung, welche die von Zielen reflektierte Strahlung empfängt, wobei dem Laser-Sender und der Empfangseinrichtung je ein
- 15 optisches System, insbes. ein Objektiv vorgeschaltet ist, weiters mit einer Auswerteeinrichtung, durch welche aus der Laufzeit der Laserimpulse, bzw. aus der Phasenlage der modulierten Laser-Strahlung die Distanz zwischen dem Laser-Entfernungsmesser und den Zielen ermittelt wird, weiters mit einer
- 20 Ablenkeinrichtung für die Sende- und Empfangsstrahlen, welche mindestens ein, um eine Achse rotierendes Spiegelprisma, bzw. eine rotierende Spiegelpyramide umfasst, mittels welchem bzw. welcher der Zielraum mit einem Strahlenfächer abtastbar ist und die gesamte 3-D Vermessungseinrichtung relativ in Bezug auf den Zielraum translatorisch, und im Wesentlichen normal zum Strahlenfächer
- 25 bewegbar ist, so dass vom Zielraum ein 3-D-Datensatz, bzw. eine entsprechende Punktwolke erzeugt wird und zu jedem Messpunkt die Entfernung, der Ablenkwinkel und die geografischen Koordinaten sowie die räumliche Lage der 3-D Vermessungseinrichtung erfasst und in einem Datenspeicher abgelegt wird, **dadurch gekennzeichnet, dass**
- 30 die Flächen des Spiegelprismas bzw. der Spiegelpyramide mit der Rotationsachse zumindest zwei unterschiedliche Winkel einschließen und zumindest zwei Messstrahlenfächer das Zielgebiet aus verschiedenen Winkeln zeilenförmig

- abtasten, wobei die Zeilen von Messpunkten, die sich aus den verschiedenen Winkeln der Spiegelflächen ergeben in Richtung der translatorischen Bewegung der 3-D Vermessungseinrichtung versetzt sind und unter Berücksichtigung des Winkels der Spiegelflächen und den sich daraus ergebenden unterschiedlichen
- 5 Aufnahmerichtungen sowie des Drehwinkels des Spiegelprismas bzw. der Spiegelpyramide die Lage, Richtung und Länge des Messstrahles und damit die geografischen Koordinaten der Messpunkte im Zielraum definiert sind und die Gesamtheit der Messpunkte einen 3-D-Datensatz bzw. eine Punktwolke repräsentieren, in welchem bzw. in welcher durch die verschiedenen
- 10 Aufnahmerichtungen Abschattungen weitgehend vermieden sind.
2. 3-D Vermessungseinrichtung nach Patentanspruch 1 mit einer Spiegelpyramide als Strahlableitvorrichtung,
- dadurch gekennzeichnet dass,**
- 15 die optische Achse des Laser-Sendestrahls einen größeren radialen Abstand von der Rotationsachse der Spiegelpyramide aufweist als die optische Achse des Empfangsstrahles
3. 3-D Vermessungseinrichtung nach Patentanspruch 1 oder 2 ,
- 20 **dadurch gekennzeichnet dass,**
- das vom Laser-Sendestrahls in den Empfangskanal durch Reflexionen etc. eingestreuete Licht des Sendeimpulses von der Auswerteeinrichtung bezüglich der zeitlichen Lage des Impulses verarbeitbar und als Startsignal für die Zeitmessung zwischen Aussenden des Laserimpulses und Empfang der Echo-Impulse nutzbar
- 25 ist.
4. 3-D Vermessungseinrichtung nach Patentanspruch 1 oder 2 mit einer mehrzielfähigen Auswerteeinrichtung,
- dadurch gekennzeichnet dass,**

innerhalb einer vorgegebenen minimalen Zeitspanne eintreffende Echoimpulse bei der Auswertung nicht berücksichtigt werden, wobei die minimale Zeitspanne so gewählt ist, dass im Bereich der 3-D Vermessungseinrichtung gestreutes Laser-Sendelicht mit Sicherheit bei der Zeitmessung ausgeklammert bleibt.

5

5. 3-D Vermessungseinrichtung nach einem der Patentansprüche 1 bis 4 mit einem Spiegelpyramidenstumpf als Strahlableitvorrichtung,

dadurch gekennzeichnet dass,

im Bereich der Basis und der Deckfläche des Pyramidenstumpfes je ein Ring

10 vorgesehen ist, welche Ringe zur insbes. dynamischen Wuchtung lokal in ihrer Masse veränderbar sind.

6. 3-D Vermessungseinrichtung nach Patentanspruch 5,

dadurch gekennzeichnet dass,

15 die Abstützungen, des im Bereich der Deckfläche des Pyramidenstumpfes vorgesehenen Ringes an den Schnittkanten der Spiegelfacetten angeordnet sind.

7. 3-D Vermessungseinrichtung nach einem der Patentansprüche 1-6 mit einer Spiegelpyramide als Strahlableitvorrichtung,

20 **dadurch gekennzeichnet, dass**

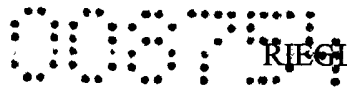
die optische Achse der Empfangseinrichtung im Bereich zwischen der Spiegelpyramide und der Empfangseinrichtung in einer Normalebene zur Rotationsachse in Abhängigkeit von der Scan-Rate und / oder der jeweils gemessenen Entfernung verstellbar ist.

25

8. 3-D Vermessungseinrichtung nach Patentanspruch 7,

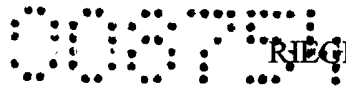
dadurch gekennzeichnet, dass

zwischen der Empfangseinrichtung und der Spiegelpyramide ein schwenkbarer Spiegel vorgesehen ist, dessen Schwenkachse parallel zur Rotationsachse der



Spiegelpyramide verläuft und dessen Antrieb den Spiegel in Abhängigkeit von der Scan-Rate und / oder der jeweils gemessenen Entfernung verschwenkt.

9. 3-D Vermessungseinrichtung nach Patentanspruch 7,
5 **dadurch gekennzeichnet, dass**
die Empfangseinrichtung verschiebbar angeordnet ist und der Verstellantrieb beispielsweise ein Piezo-Element umfasst.
10. 3-D Vermessungseinrichtung nach einem der Patentansprüche 1 bis 9,
10 **dadurch gekennzeichnet, dass**
die 3-D Vermessungseinrichtung ein Grundgerät und einen auswechselbaren Messkopf umfasst, der die Ablenkeinrichtung, insbes. die Spiegelpyramide enthält.
- 15 11. 3-D Vermessungseinrichtung nach Patentanspruch 10,
dadurch gekennzeichnet, dass
der Messkopf die Lagerung, einen Antriebsmotor und vorzugsweise einen Winkeldecoder für die Spiegelpyramide enthält und über elektrische Steckverbindungen mit dem Grundgerät verbindbar ist.
- 20 12. 3-D Vermessungseinrichtung nach Patentanspruch 10 oder 11,
dadurch gekennzeichnet, dass
das Grundgerät und der Messkopf je ein für die Laserstrahlung transparentes Fenster aufweisen, die sich bei am Grundgerät montiertem Messkopf
25 gegenüberliegen, so dass die Strahlung des im Grundgerät angeordneten Laser-Senders in den Messkopf eintreten und die von den Zielen reflektierte und im Messkopf abgelenkte Strahlung durch die beiden Fenster auf die im Grundgerät befindliche Empfangseinrichtung gelangen kann.
- 30 13. 3-D Vermessungseinrichtung nach Patentanspruch 12,

**dadurch gekennzeichnet, dass**

die Fenster das Grundgerät und den Messkopf dicht, insbes. gasdicht abschließen und vorzugsweise eine optische Wirkung aufweisen und beispielsweise als Linsen bzw. Filter wirken.

5

14. 3-D Vermessungseinrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüchen,

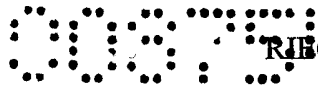
dadurch gekennzeichnet, dass

das Spiegelprisma bzw. die Spiegelpyramide einen, insbes. metallischen Grundkörper und daran befestigte Spiegel umfasst, wobei der Grundkörper exakt positionierte, gegebenenfalls justierbare Aufnahmen für die Spiegel aufweist.

15. 3-D Vermessungseinrichtung nach einem der Patentansprüche 1 bis 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** sie in einem Fluggerät eingebaut bzw. an einem solchen montiert und geeignet ist beim Überfliegen eines Terrains dieses zu vermessen und ein weitgehend schattenfreies Entfernungsbild bzw. entsprechende Punktwolken zu erzeugen.

16. 3-D Vermessungseinrichtung nach einem der Patentansprüche 1 bis 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** sie an einem Landfahrzeug, beispielsweise an einem schienengebundenen Fahrzeug angeordnet und geeignet ist, bei der Fahrt die Streckenverläufe und deren Umgebung sowie allfällige Verkehrszeichen oder dergl. zu vermessen und ein weitgehend schattenfreies Entfernungsbild bzw. entsprechende Punktwolken zu erzeugen.

17. 3-D Vermessungseinrichtung nach einem der Patentansprüche 1 bis 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** sie an einem Wasserfahrzeug angeordnet und geeignet ist bei der Fahrt Ufer- bzw. Küstenverläufe, sowie allfällige Verkehrs- oder Seezeichen und Signale zu



vermessen und ein weitgehend schattenfreies Entfernungsbild bzw. entsprechende Punktwolken zu erzeugen.

5 Horn, am 2. September 2009

RIEGL
Laser Measurement Systems GmbH

10

15

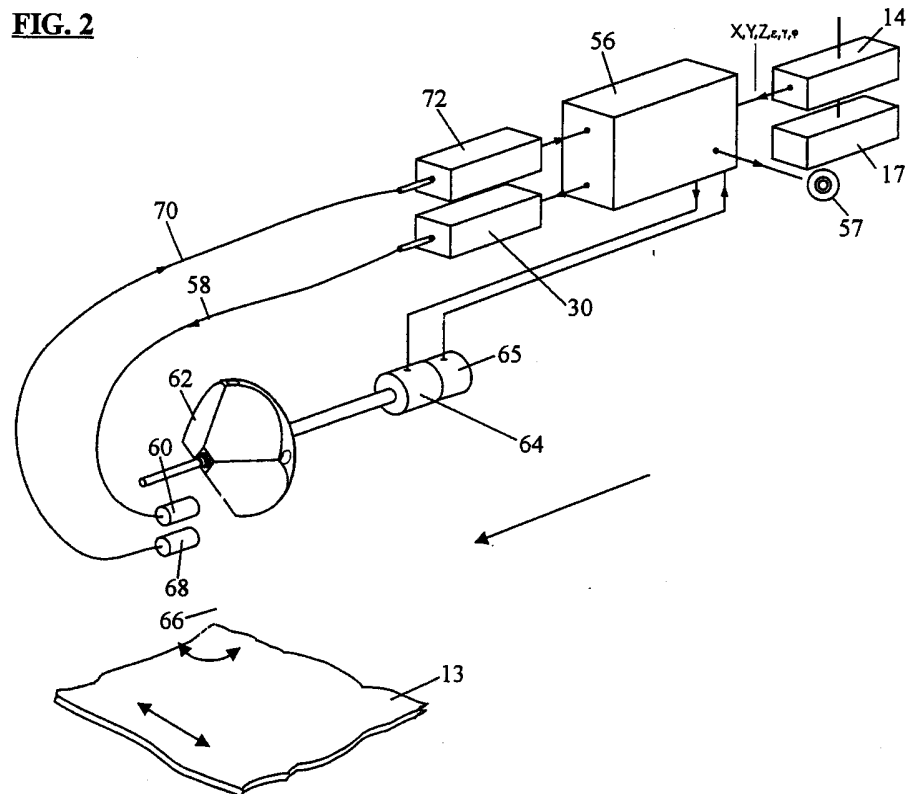
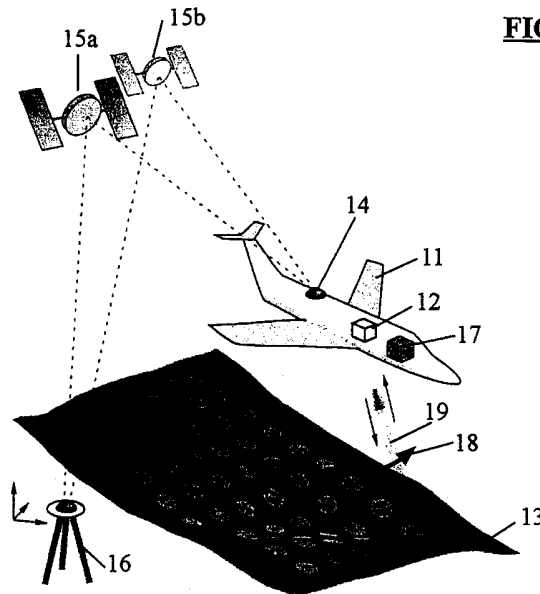
20

25

30

35

40



Horn, am 2. September 2009

RIEGL
Laser Measurement Systems GmbH

FIG. 4

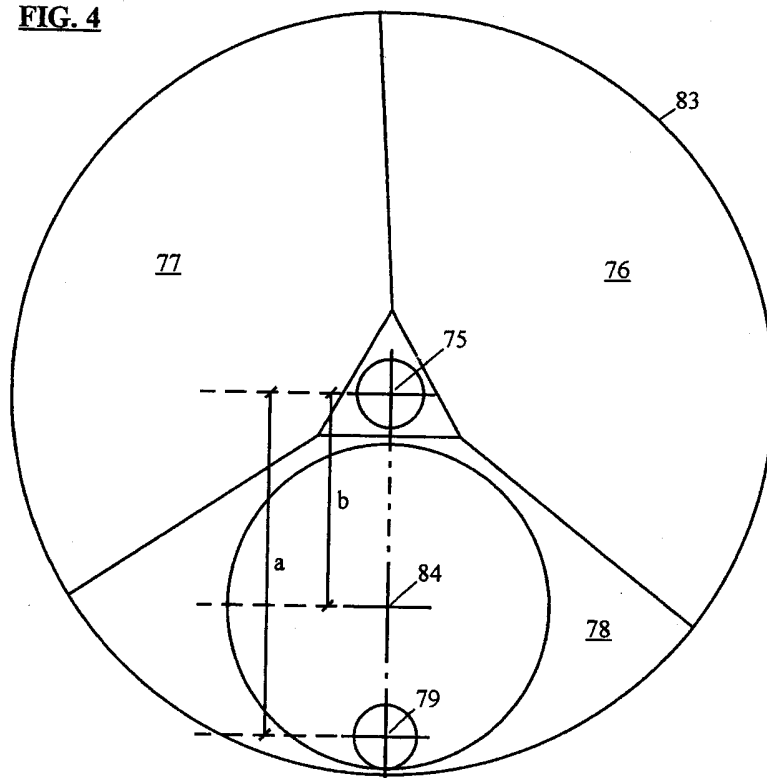


FIG. 5

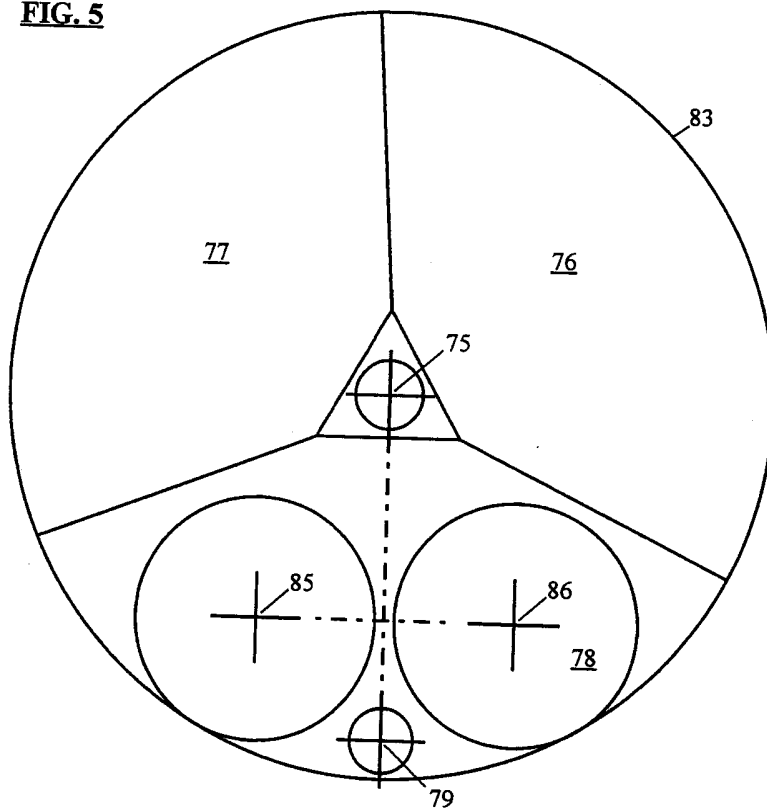


FIG. 6

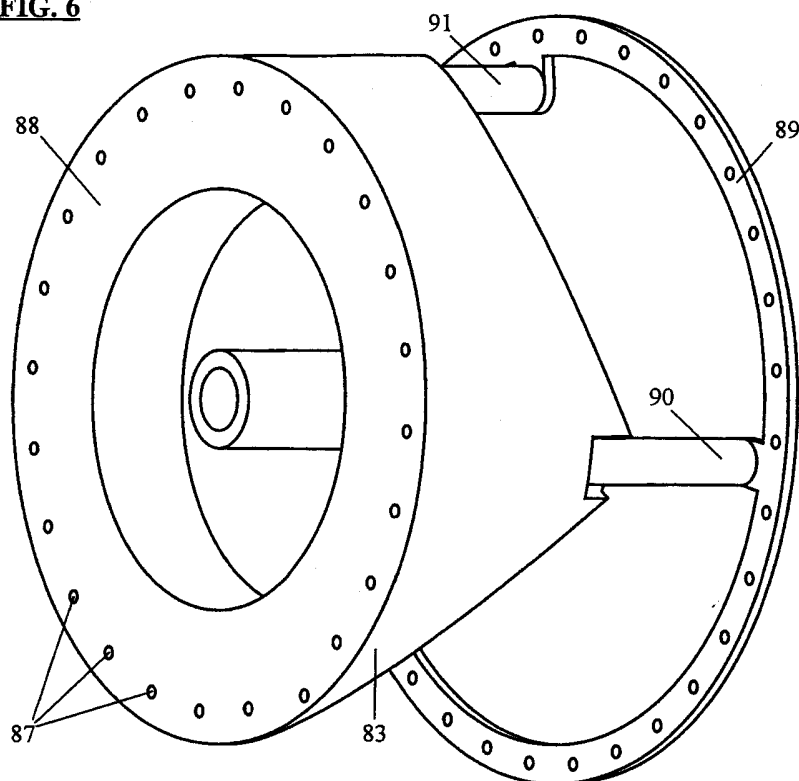
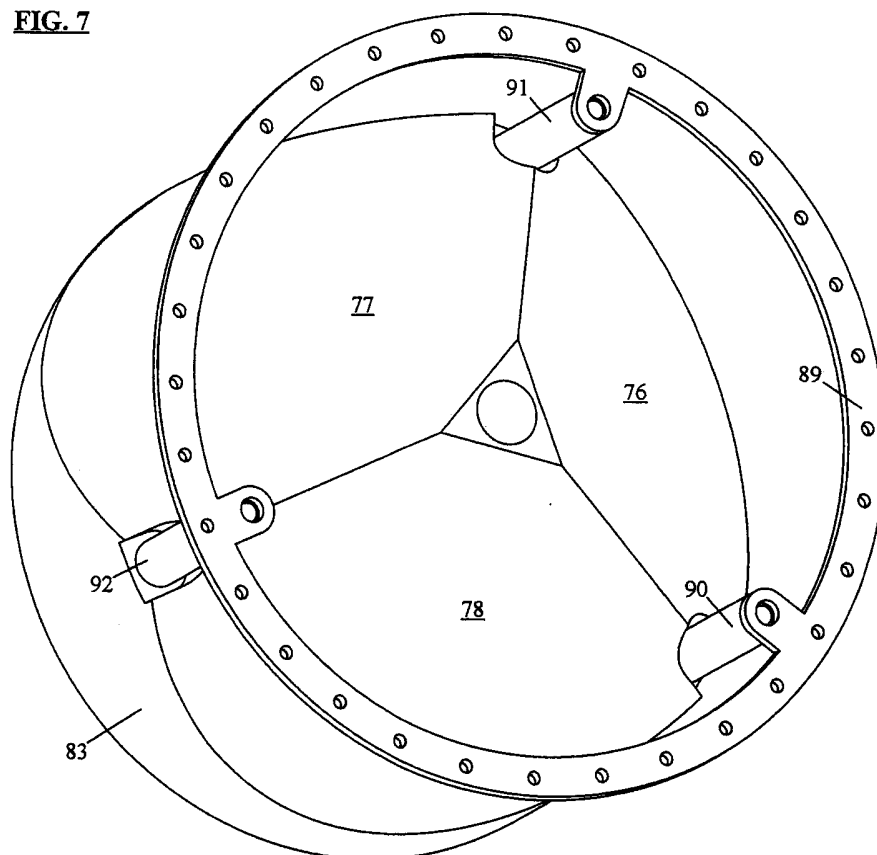


FIG. 7



Horn, am 2. September 2009

FIG. 8

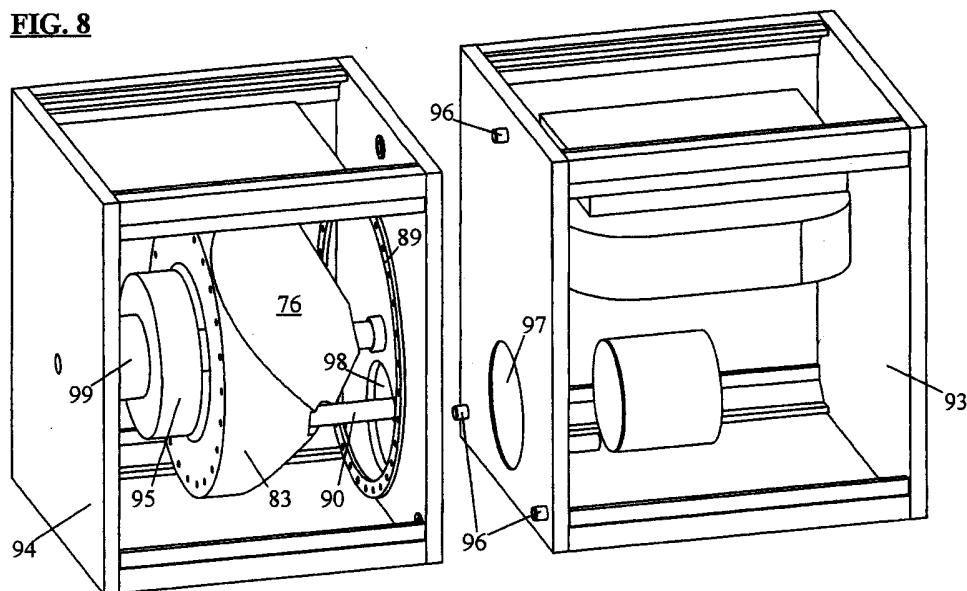
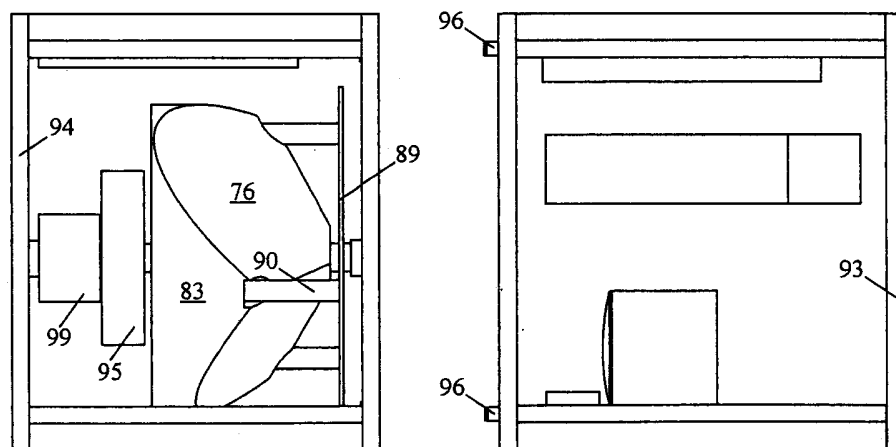


FIG. 9



Horn, am 2. September 2009

RIEGL
Laser Measurement Systems GmbH



FIG. 12

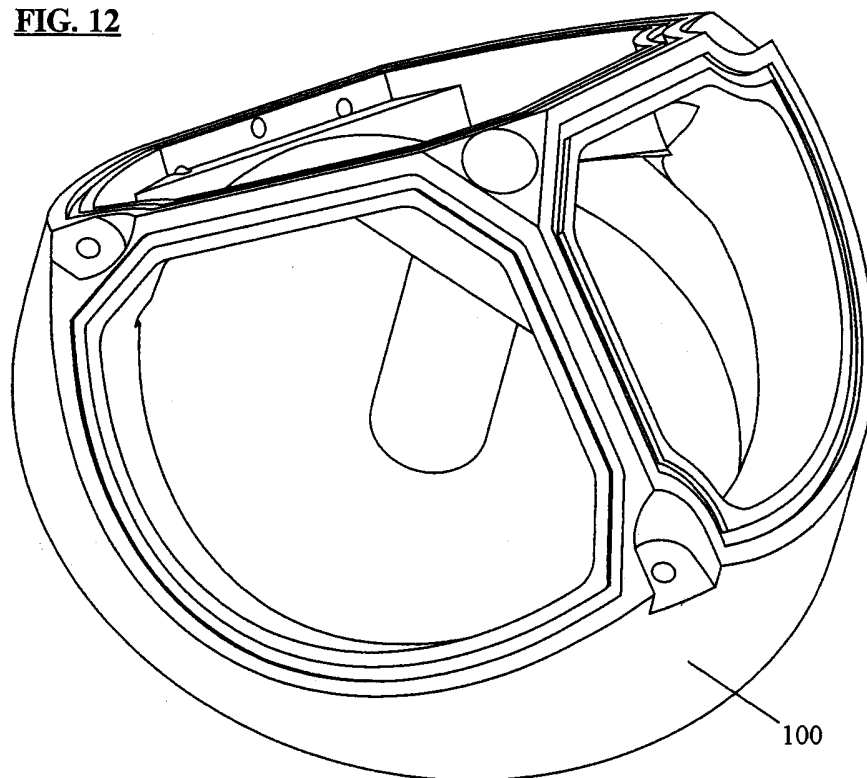
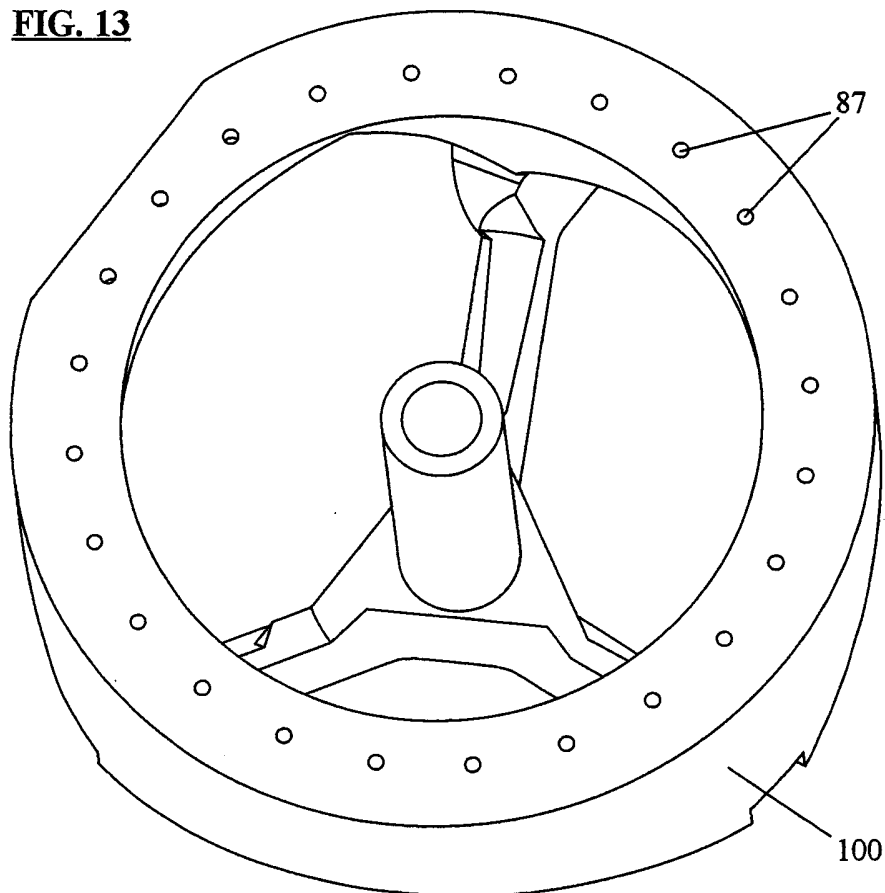


FIG. 13



Horn, am 2. September 2009

RIEGL
Laser Measurement Systems GmbH

Aktenzeichen: A 1382/2009

RIEGL Laser Measurement Systems GmbH

Neue Patentansprüche

1. 3D-Laservermessungseinrichtung (12), mit
einem Laser-Entfernungsmesser, der einen Laser-Sender (30, 181) zum Aussenden eines Sendestrahls (19, 66) auf ein Ziel (13), eine Laser-Empfangseinrichtung (72, 184) zum Empfangen des vom Ziel reflektierten Empfangsstrahls (19, 66) und eine Auswerteeinrichtung (56, 107, 180) zur Strahl-Laufzeitmessung umfaßt, um daraus die Zielentfernung zu messen, und

einer Ablenkeinrichtung (62, 83, 100) für die Sende- und Empfangsstrahlen (19, 66), die eine um eine Achse (75) rotierbare Spiegelpyramide (62, 83, 100) umfaßt, mittels welcher ein Raum von Zielen (13) mit zumindest einem Laserstrahlfächer (18) abtastbar ist, um aus den gemessenen Zielentfernungen eine 3D-Punktewolke (113) des Zielraums zu erstellen, wobei die Flächen (76-78) der Spiegelpyramide (62, 83, 100) mit der Rotationsachse (75) zumindest zwei unterschiedliche Winkel einschließen,

dadurch gekennzeichnet, daß die 3D-Laservermessungseinrichtung (12) in ein Basisgerät (93) und einen auswechselbar daran montierten Messkopf (94) unterteilt ist, wobei das Basisgerät (93) den Laser-Entfernungsmesser (30, 181; 72, 184; 56, 107, 180) und der Meßkopf (94) die Ablenkeinrichtung (62, 83, 100) enthält.

2. 3D-Laservermessungseinrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Meßkopf (94) ferner einen Antriebsmotor (95) und einen Winkeldecoder (99) für die Spiegelpyramide (62, 83, 100) enthält.

3. 3D-Laservermessungseinrichtung nach Anspruch 1 oder 2, daß das Basisgerät (93) und der Messkopf (94) je ein für

NACHGEREICHT

die Laserstrahlen (19, 66) transparentes Fenster (97, 98) aufweisen, die im montierten Zustand miteinander fluchten und das Basisgerät (93) und den Meßkopf (94) jeweils dicht abschließen, bevorzugt gasdicht.

4. 3D-Laservermessungseinrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Fenster (97, 98) eine optische Wirkung aufweisen, bevorzugt als Linsen oder Filter.

5. 3D-Laservermessungseinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Spiegelpyramide (62, 83, 100) in einem axialen Abstand von ihrer Basis (88) über Stützen (90-92) zumindest einen Ring (89) zur Wuchtung trägt.

6. 3D-Laservermessungseinrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Stützen (90-92) von den Pyramidenkanten ausgehen.

7. 3D-Laservermessungseinrichtung nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, daß der Ring (89) mit einer Vielzahl von Bohrungen (87) versehen ist, welche zur Wuchtung individuell aufbohrbar oder mit Gewichten füllbar sind.

8. 3D-Laservermessungseinrichtung nach einem der Ansprüche 5 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Basis (88) der Spiegelpyramide (62, 83, 100) mit einer Vielzahl von Bohrungen (87) versehen ist, welche zur Wuchtung individuell aufbohrbar oder mit Gewichten füllbar sind.

9. 3D-Laservermessungseinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Spiegelpyramide (62, 83, 100) einen metallischen Grundkörper (100) mit Aussparungen aufweist, welche von Planspiegeln (76-78) überspannt sind.

10. 3D-Laservermessungseinrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß der Grundkörper (100) justierbare Aufnahmen für die Planspiegel (76-78) aufweist.

11. 3D-Laservermessungseinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß die optische Achse (79) des Laser-Sendestrahls (19, 66) einen größeren radialen

NACHGEREICHT

Abstand (a, b) von der Rotationsachse (75) der Spiegelpyramide (62, 83, 100) aufweist als die optische Achse (84; 85, 86) des Empfangsstrahles (19, 66).

12. 3D-Laservermessungseinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß der Empfangsstrahl (19, 66) beim Auftreffen auf die Spiegelpyramide (62, 83, 100) in zwei Strahlen (85, 86) gesplittet ist.

13. 3D-Laservermessungseinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß die optische Achse der Empfangseinrichtung im Bereich zwischen der Spiegelpyramide und der Empfangseinrichtung in einer Normalebene zur Rotationsachse in Abhängigkeit von der Scan-Rate und/oder der jeweils gemessenen Zielentfernung verstellbar ist.

14. 3D-Laservermessungseinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen der Empfangseinrichtung und der Spiegelpyramide ein schwenkbarer Spiegel vorgesehen ist, dessen Schwenkachse parallel zur Rotationsachse der Spiegelpyramide verläuft, wobei ein Antrieb ihn in Abhängigkeit von der Scan-Rate und/oder der jeweils gemessenen Zielentfernung verschwenkt.

15. 3D-Laservermessungseinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß die Empfangseinrichtung verstellbar angeordnet ist und der Verstellantrieb bevorzugt ein Piezo-Element umfasst.