

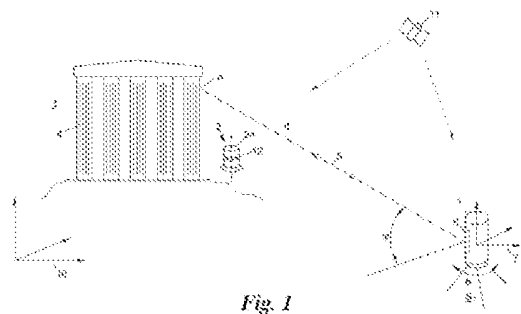
(12) **Österreichische Patentanmeldung**

(21) Anmeldenummer: A 50200/2014 (51) Int. Cl.: **G01S 7/497** (2006.01)
 (22) Anmeldetag: 20.03.2014 **G01C 15/06** (2006.01)
 (43) Veröffentlicht am: 15.08.2015 **G01S 17/10** (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen: KR 20130050691 A CN 201210047 Y PAFFENHOLZ, JENS-ANDRÉ: Direct geo-referencing of 3D point clouds with 3D positioning sensors. Dissertation, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover, Fakultät für Bauingenieurwesen und Geodäsie (2012) ISBN: 978-3-7696-5101-0 <URL: http://dgk.badw.de/fileadmin/docs/c-689.pdf>	(71) Patentanmelder: RIEGL LASER MEASUREMENT SYSTEMS GMBH 3580 HORN (AT) (72) Erfinder: Fowler Ananda 3800 Göpfritz an der Wild (AT) Studnicka Nikolaus Dipl.Ing. 1190 Wien (AT) Ullrich Andreas Dr. 3003 Gablitz (AT) (74) Vertreter: Weiser Andreas Dipl.Ing. Dr. techn. 1130 Wien (AT)
--	--

(54) **Markiereinrichtung, Laserscanner und Verfahren zum Kalibrieren einer Abtastpunktwolke**

(57) Die Erfindung betrifft eine Markiereinrichtung (2) zum Kalibrieren einer von einem Laserscanner (1) erzeugten Abtastpunktwolke (C_i), mit einer Zeitmesseinrichtung (14) zur Erfassung der aktuellen Zeit (t), einem optischen Empfänger (12) zur Detektion eines Laserstrahls (5) des Laserscanners (1) und einem mit der Zeitmesseinrichtung (14) und dem optischen Empfänger (12) in Verbindung stehenden Prozessor (13) mit einer Schnittstelle (15), wobei der Prozessor (13) dafür ausgebildet ist, bei Detektion eines Laserstrahls (5) durch den optischen Empfänger (12) die von der Zeitmesseinrichtung (14) erfasste aktuelle Zeit als Detektionszeitpunkt (t_d) an der Schnittstelle (15) bereitzustellen. Die Erfindung betrifft ferner einen Laserscanner (1) und ein Verfahren zum Kalibrieren einer Abtastpunktwolke (C_i) sowie ein Verfahren zum Laserscannen eines Zielraums (3).



Zusammenfassung:

Die Erfindung betrifft eine Markiereinrichtung (2) zum Kalibrieren einer von einem Laserscanner (1) erzeugten Abtastpunktwolke (C_j), mit einer Zeitmesseinrichtung (14) zur Erfassung der aktuellen Zeit (t), einem optischen Empfänger (12) zur Detektion eines Laserstrahls (5) des Laserscanners (1), und einem mit der Zeitmesseinrichtung (14) und dem optischen Empfänger (12) in Verbindung stehenden Prozessor (13) mit einer Schnittstelle (15), wobei der Prozessor (13) dafür ausgebildet ist, bei Detektion eines Laserstrahls (5) durch den optischen Empfänger (12) die von der Zeitmesseinrichtung (14) erfasste aktuelle Zeit als Detektionszeitpunkt (t_d) an der Schnittstelle (15) bereitzustellen.

Die Erfindung betrifft ferner einen Laserscanner (1) und ein Verfahren zum Kalibrieren einer Abtastpunktwolke (C_j) sowie ein Verfahren zum Laserscannen eines Zielraums (3).

(Fig. 1)

RIEGL Laser Measurement Systems GmbH
A-3580 Horn (AT)

Die vorliegende Erfindung betrifft eine Markiereinrichtung, eine Vorrichtung und ein Verfahren zum Kalibrieren einer von einem Laserscanner erzeugten Abtastpunktwolke sowie ein Verfahren zum Laserscannen eines Zielraums.

Das Laserscannen einer Umgebung basiert auf Laufzeitmessungen von Laserimpulsen, die von einem Laserscanner ausgesendet werden, um den Orten, an denen der Laserimpuls reflektiert wird, Entfernungen relativ zum Laserscanner zuzuordnen. Durch Abtasten der Umgebung mit einer Vielzahl von Laserimpulsen, z.B. mittels eines gepulsten Laserstrahls, kann so eine Abtastpunktwolke erstellt werden, die ein virtuelles Modell der gescannten Umgebung darstellt.

Um beispielsweise mehrere teilüberlappende Modelle einer einzigen Umgebung, die von jeweils unterschiedlichen Standpunkten aus erstellt wurden, gegeneinander zu referenzieren, werden ein oder mehrere Positionen der Umgebung markiert. Dies geschieht derzeit mit hochreflektierenden Markiereinrichtungen („Targets“), die in der abzutastenden Umgebung positioniert werden. Diese Targets können durch ihren hohen Reflexionsgrad und damit hohe Intensität des daran reflektierten Laserimpulses erkannt und so im erstellten Modell markiert werden. Dies benötigt jedoch einen hohen Rechenaufwand beim Auswerten der Messdaten bzw. sogar eine manuelle Auswertung oder Nachbearbeitung, da in der Praxis auch andere Objekte in der Umgebung hochreflektiv sein können, z.B. Autokennzeichen, Verkehrsschilder etc., was zu Fehlern in der automatischen Auswertung der aufgenommenen Intensitäten führt. Wenn zur Reduzierung bzw. zum Ausschließen solcher Fehler ein abermaliges Abtasten mit höherer Auflösung („Feinscan“) für jedes Objekt mit entsprechendem Reflexionsgrad durchgeführt wird, bedeutet dies

auch einen erheblichen zusätzlichen Zeitaufwand. Reflektierende Targets dieser Art sind beispielsweise aus den Schriften KR 2010/0076285 A und CN 2012/10047 Y bekannt, wobei die Targets weiters jeweils eine GNSS-Einrichtung zur Ermittlung ihrer globalen Position für Referenzierungszwecke umfassen.

Die Erfindung setzt sich zum Ziel, die Nachteile des geschilderten Standes der Technik zu beseitigen und Vorrichtungen und Verfahren zum Kalibrieren einer Abtastpunktwolke bzw. zum Laserscannen zu schaffen, welche für ein automatisches und fehlerfreies Kalibrieren und Laserscannen besonders geeignet sind.

Gemäß einem ersten Aspekt der Erfindung wird das Ziel mit einer Markiereinrichtung zum Kalibrieren einer von einem Laserscanner erzeugten Abtastpunktwolke erreicht, umfassend

eine Zeitmesseinrichtung zur Erfassung der aktuellen Zeit,
einen optischen Empfänger zur Detektion eines Laserstrahls des Laserscanners, und

einen mit der Zeitmesseinrichtung und dem optischen Empfänger in Verbindung stehenden Prozessor mit einer Schnittstelle,

wobei der Prozessor dafür ausgebildet ist, bei Detektion eines Laserstrahls durch den optischen Empfänger die von der Zeitmesseinrichtung erfasste aktuelle Zeit als Detektionszeitpunkt an der Schnittstelle bereitzustellen.

Die Markiereinrichtung der Erfindung verwendet den Umstand, dass ein Laserscanner die einzelnen Messpunkte der Umgebung sequentiell abtastet, so dass jedem Messpunkt der Abtastpunktwolke auch ein Messzeitpunkt zugeordnet werden kann, der mit dem in der Markiereinrichtung erfassten Detektionszeitpunkt abgeglichen werden kann, um die Markiereinrichtung in der Abtastpunktwolke zu identifizieren. Mit Hilfe der erfindungsgemäßen Markiereinrichtung können daher einzelne Messpunkte der Abtastpunktwolke automatisch referenziert und die Abtastpunktwolke dadurch kalibriert werden, ohne dabei zusätzlich aufgenommene Intensitätswerte manuell oder mittels Bild-

verarbeitung auswerten zu müssen; die Auswertung bzw. Messung der Intensität der reflektierten Laserimpulse ist sogar komplett entbehrlich. Auch kann es nicht zu Verwechslungen mit anderen hochreflektierenden Umweltobjekten wie Autokennzeichen oder Verkehrsschildern kommen, die sonst ein automatisches Erkennen der Markiereinrichtungen erschweren bzw. verhindern. Die Markiereinrichtung selbst muss nicht einmal reflektierend sein und kann so beispielsweise unauffällig in der aufzunehmenden Umgebung positioniert werden.

Als Zeitmesseinrichtung in der Markiereinrichtung kann jede beliebige hochgenaue Uhr verwendet werden, welche mit der Zeitbasis des Laserscanners synchronisierbar ist. Bevorzugt ist die Zeitmesseinrichtung durch einen Satellitennavigationsempfänger (global navigation satellite system receiver, GNSS receiver), kurz GNSS-Empfänger, gebildet. Dies hat den Vorteil, dass sowohl der Markiereinrichtung als auch dem Laserscanner auf einfache Weise eine zentrale gemeinsame Zeitbasis mit hoher Genauigkeit zur Verfügung gestellt werden kann.

Ferner eröffnet dies die weitere Möglichkeit, mittels des GNSS-Empfängers auch gleich die jeweils aktuelle Position der Markiereinrichtung zu erfassen, wobei der Prozessor bevorzugt dafür ausgebildet ist, für einen erfassten Detektionszeitpunkt auch die jeweils aktuelle Position an der Schnittstelle bereitzustellen. Dadurch kann einer Markiereinrichtung und somit einem markiertem Messpunkt in der Abtastpunktwolke zusätzlich eine genaue GNSS-Position zugeordnet werden. In weiterer Folge könnte beispielsweise ein scannereigenes Koordinatensystem, in dem die Abtastpunktwolke erstellt wurde, auf ein globales Koordinatensystem mit GNSS-Koordinaten referenziert bzw. umgerechnet werden. Dies ist besonders vorteilhaft, wenn ein Laserscanner ohne eigenen GNSS-Empfänger oder mit einem GNSS-Empfänger, der eine schlechtere Positionierungsgenauigkeit hat als der GNSS-Empfänger der Markiereinrichtung, verwendet wird.

Gemäß einem weiteren bevorzugten Merkmal hat die Markiereinrichtung ein Gehäuse, welches als Reflexionskörper für La-

serstrahlen ausgebildet ist. Dadurch können die Vorteile der Erfindung mit den Eigenschaften eines Targets nach dem Stand der Technik vereint werden. Dadurch ist es z.B. möglich, die Markiereinrichtung mit dem Verfahren der Erfindung zunächst in der Abtastpunktwolke zu orten und daraufhin ihre Lage im Raum beispielsweise mittels Bildverarbeitung auszulesen, was eine noch genauere Referenzierung zulässt.

Besonders günstig ist es dabei, wenn der Reflexionskörper zylindrisch ist. Diese Ausführungsform ermöglicht es, die Lage der Achse des Zylinders in der Abtastpunktwolke zu ermitteln. Wurde die Markiereinrichtung z.B. mittels einer Libelle in einer senkrechten Achslage in der Umgebung positioniert, kann auch die Ausrichtung der Abtastpunktwolke durch die ermittelte Achslage referenziert werden.

In einer bevorzugten Ausführungsform umfasst die Markiereinrichtung dazu einen Gravitationssensor zur Ermittlung einer Orientierung, die an der Schnittstelle bereitstellbar ist. Dadurch kann das manuelle Einrichten der Achslage bzw. Orientierung entfallen, da die Achslage bzw. Orientierung direkt messbar ist und zur Referenzierung der Abtastpunktwolke zur Verfügung steht.

Optional kann der optische Empfänger mehrere über den Umfang des Gehäuses verteilte Lichtsensoren aufweisen. Dadurch wird erreicht, dass eine Markiereinrichtung richtungsunabhängig Laserimpulse erfassen kann und es keine Einschränkungen gibt, wie die Markiereinrichtung in der Umgebung positioniert wird.

Bevorzugt ist die Schnittstelle der Markiereinrichtung eine Funkschnittstelle, insbesondere nach dem WLAN-Standard (wireless local area network standard). Die Markiereinrichtung kann so beispielsweise mit dem Laserscanner über ein WLAN-Netzwerk in Verbindung stehen und noch während des Abtastens Daten an den Laserscanner senden. Alternativ kann die Schnittstelle eine drahtgebundene-Schnittstelle sein, beispielsweise eine USB-Schnittstelle.

In einer weiteren Ausführungsform umfasst die Markiereinrichtung eine Messeinrichtung zur Ermittlung zumindest eines aktuellen Luftmesswerts, welcher an der Schnittstelle bereitstellbar ist, bevorzugt ein Barometer, Thermometer, Hygrometer und/oder Luftverschmutzungsmessgerät. Dadurch können jegliche Eigenschaften der Luft, welche die Ausbreitungsgeschwindigkeit des Laserstrahls zwischen Laserscanner und Markiereinrichtung beeinflussen, gemessen werden, wie Luftdruck, Temperatur, Luftfeuchtigkeit oder Luftverschmutzung (z.B. Staub, Pollen, CO₂-Gehalt usw.), um die Entfernung zu den Messpunkten extrem genau bestimmen zu können. Mittels eines Barometers kann beispielsweise auch ein Höhenunterschied zwischen der Markiereinrichtung und dem Laserscanner ermittelt werden, wodurch ein weiterer Freiheitsgrad der Lage der Markiereinrichtung bestimmt werden kann (Vertikalabstand zu dem Laserscanner).

In einem zweiten Aspekt schafft die Erfindung einen Laserscanner zur Erzeugung einer Abtastpunkt wolke aus einer Vielzahl von Messpunkten, denen jeweils ein auf einer Zeitbasis einer Zeitmesseinrichtung des Laserscanners basierender Messzeitpunkt oder -intervall zugeordnet ist, umfassend eine Schnittstelle zum Empfang eines Detektionszeitpunkts von einer externen Markiereinrichtung, wobei der Laserscanner dafür ausgebildet ist, die Abtastpunkt wolke durch Markieren jenes Messpunkts, dessen zugeordneter Messzeitpunkt oder dessen zugeordnetes Messzeitintervall mit dem über die Schnittstelle empfangenen Detektionszeitpunkt zeitlich zusammenfällt, zu kalibrieren.

Ein solcher Laserscanner, der mit der Markiereinrichtung zeitsynchronisiert ist, ermöglicht eine vollautomatische Erstellung einer referenzierten bzw. kalibrierten Abtastpunkt wolke, wie oben erläutert.

Bevorzugt ist auch die Zeitmesseinrichtung des Laserscanners durch einen GNSS-Empfänger gebildet. Dadurch können die beiden Zeitmesseinrichtungen auf einfache und hochgenaue Weise

synchronisiert werden, nämlich auf die globale Zeitbasis eines GNSS. Es versteht sich, dass die beiden in der Vorrichtung eingesetzten GNSS-Empfänger für dasselbe GNSS ausgebildet sind, z.B. beide entweder für GPS, GLONASS, Galileo, Compass od.dgl.

In einem dritten Aspekt schafft die Erfindung ein Verfahren zum Kalibrieren einer von einem Laserscanner erzeugten Abtastpunktwolke, umfassend:

Positionieren einer Markiereinrichtung, die mit einem optischen Empfänger und einer ersten Zeitmesseinrichtung ausgestattet ist, in einem Zielraum;

Positionieren des genannten Laserscanners, der mit einer zweiten Zeitmesseinrichtung ausgestattet ist, an einem Standpunkt;

Synchronisieren der ersten und der zweiten Zeitmesseinrichtung auf eine gemeinsame Zeitbasis;

Abtasten des Zielraums mit einem gepulsten Laserstrahl des Laserscanners, um eine Vielzahl von Messpunkten des Zielraums, die jeweils einem auf der gemeinsamen Zeitbasis basierenden Messzeitpunkt oder -intervall zugeordnet sind, als Abtastpunkt wolke zu erhalten,

wobei während des Abtastens der Laserstrahl vom optischen Empfänger der Markiereinrichtung detektiert und dabei der Zeitpunkt der Detektion von der ersten Zeitmesseinrichtung gemessen wird; und

Kalibrieren der Abtastpunkt wolke durch Markieren jenes Messpunkts darin, dessen zugeordneter Messzeitpunkt oder dessen zugeordnetes Messzeitintervall mit dem Detektionszeitpunkt zeitlich zusammenfällt.

Bevorzugt wird der Detektionszeitpunkt von der Markiereinrichtung über eine Funkschnittstelle an den Laserscanner gesendet.

Bezüglich der Vorteile des erfindungsgemäßen Verfahrens und seiner Ausführungsformen wird auf die obigen Ausführungen

zu der Markiereinrichtung bzw. der Vorrichtung der Erfindung verwiesen.

Bevorzugt wird mit dem Detektionszeitpunkt auch eine Identifikation der Markiereinrichtung an die Auswerteeinrichtung mitgesendet. Dies ermöglicht auch die Verwendung mehrerer Markiereinrichtungen im Zielbereich, da mittels der Identifikation eine genaue Zuordnung der jeweiligen Markiereinrichtung durchgeführt werden kann.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens wird die erste Zeitmesseinrichtung durch einen GNSS-Empfänger gebildet, welcher die Position der Markiereinrichtung zum Detektionszeitpunkt in einem globalen Koordinatensystem misst, und diese Position dem markierten Messpunkt zugeordnet; und/oder

eine Markiereinrichtung mit einem zylinderförmigen Reflexionskörper verwendet, die Achslage der Zylinderform des Reflexionskörpers in der Markiereinrichtung gemessen, in der Abtastpunktwolke die Zylinderform des Reflexionskörpers detektiert und deren Achslage ermittelt, und die gemessene Achslage mit der ermittelten Achslage verglichen. Wie oben erörtert ermöglicht dies eine Kalibrierung der Abtastpunktwolke auf das Koordinatensystem der Markiereinrichtung bzw. auf ein globales Koordinatensystem.

Anstelle einer zylinderförmigen Markiereinrichtung kann optional auch eine Markiereinrichtung mit einem asymmetrisch geformten Reflexionskörper verwendet werden, wobei die Orientierung des asymmetrischen Reflexionskörpers in der Markiereinrichtung gemessen wird, in der Abtastpunktwolke die Form des Reflexionskörpers detektiert und dessen Orientierung ermittelt wird, und die gemessene Orientierung mit der ermittelten Orientierung verglichen wird, um die Koordinatensysteme von Laserscanner und Markiereinrichtung aufeinander abzustimmen. Die Verwendung eines asymmetrischen Reflexionskörpers hat den zusätzlichen Vorteil, dass die Orientierung des Reflexi-

onskörpers in der Abtastpunktwolke in allen Freiheitsgraden bestimmt werden kann.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens kann nach einem ersten Kalibriervorgang, in dem die Markiereinrichtung in der Abtastpunktwolke detektiert wird, ein weiteres Abtasten über eine lokale Umgebung der detektierten Markiereinrichtung mit einer höheren räumlichen Auflösung als beim ersten Abtasten durchgeführt werden. So kann beispielsweise die Orientierung bzw. Achslage der Markiereinrichtung für einen nachfolgenden zweiten Kalibriervorgang der Abtastpunktwolke noch genauer bestimmt werden.

In einem vierten Aspekt schafft die Erfindung ein Verfahren zum Laserscannen eines Zielraums, umfassend:

Erzeugen einer ersten kalibrierten Abtastpunktwolke mit einem der oben genannten Verfahren, wobei der Laserscanner an einem ersten Standort positioniert wird;

Erzeugen einer zweiten kalibrierten Abtastpunktwolke mit einem der oben genannten Verfahren, wobei derselbe oder ein weiterer, gleichartig ausgebildeter Laserscanner an einem zweiten Standort positioniert wird, und

Vereinen der ersten und der zweiten Abtastpunktwolke, wobei mittels ein und derselben Markiereinrichtung markierte Messpunkte in Deckung gebracht werden.

Dieses Verfahren ermöglicht erstmals das vollautomatische Vereinen zweier Abtastpunktwolken, indem gleiche Markierungen in gleiche Positionen gebracht werden. Dadurch kann z.B. eine vereinte Abtastpunktwolke höherer Auflösung oder - wenn die beiden Abtastpunktwolken nur teilüberlappend sind - eine vereinte Abtastpunktwolke mit größerer räumlicher Abdeckung des Zielraums erzielt werden.

Bevorzugt umfasst bei diesem Verfahren die Markiereinrichtung einen Reflexionskörper, wobei in der ersten und in der zweiten Abtastpunktwolke die Form des Reflexionskörpers detektiert und jeweils dessen Orientierung ermittelt wird, und beim Vereinen der ersten und der zweiten Abtastpunktwolke die bei-

den ermittelten Orientierungen in Übereinstimmung gebracht werden. Unter Verwendung eines asymmetrischen Reflexionskörpers wird so die Vereinigung zweier Abtastpunktvolken mit einer einzigen Markiereinrichtung ohne weitere zu bestimmende Freiheitsgrade ermöglicht.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand von in den beige-schlossenen Zeichnungen dargestellten Ausführungsbeispielen näher erläutert. In den Zeichnungen zeigen:

Fig. 1 eine Markiereinrichtung und einen Laserscanner gemäß der Erfindung in schematischer Perspektivansicht; und

Fig. 2 ein Blockschaltbild der Komponenten von Fig. 1.

Fig. 1 zeigt einen Laserscanner 1 und eine Markiereinrichtung 2, die sich in einem Zielraum 3 mit Scanzielen 4, z.B. Gebäuden, Landschaftsformationen usw., befinden. Der Laserscanner 1 tastet den Zielraum 3 mitsamt den darin befindlichen Scanzielen 4 und der Markiereinrichtung 2 mit einem Laserstrahl 5 ab. Eine Scaneinrichtung 6 des Laserscanners 1 bewegt dabei den Laserstrahl 5 sequentiell, z.B. in Abtastspalten und -zeilen, über einen Elevationswinkel φ und einen Azimutwinkel θ .

Aus der Reflexion des Laserstrahls 5 an einem Objekt 2, 4 im Zielraum 3 kann in herkömmlicher Art und Weise - z.B. mittels Interferenz- bzw. Phasenmessung zwischen ausgesandtem und reflektiertem Laserstrahl 5 oder mittels Impulslaufzeitmessungen an den Impulsen eines gepulsten Laserstrahls 5 - die Entfernung d zu einem Messpunkt P eines Objekts 2, 4 im Zielraum 3 ermittelt werden. In einer praktischen Ausführungsform hat ein vom Laserscanner 1 ausgesandter Laserstrahl 5 z.B. eine Aufweitung von ca. 0,3 mrad, so dass ein Messpunkt P in einem Abstand d von 100 m einen Durchmesser von etwa 3 cm hat.

Das Überstreichen der Abtastwinkel φ , θ mit dem Laserstrahl 5 liefert eine Folge $\{P_i\}$ von Messpunkten P_i ($i = 1, 2, 3, \dots$) des Zielraums 3 zu jeweils aufeinanderfolgenden Zeitpunkten t_i . Die Messpunkte P_i sind jeweils durch ihre Koordinaten $(d_i, \varphi_i, \theta_i)$ im Koordinatensystem 7 des Laserscanners 1 be-

stimmt und ergeben zusammen eine „Abtastpunktwolke“ C_1 im Koordinatensystem 7, welche den Zielraum 3 aus Sicht des Laserscanners 1 von dessen Standpunkt S_1 aus dreidimensional und punktweise aufgelöst abbildet. Die Abtastpunktwolke C_1 der Umgebung 3 kann z.B. in einer Datenbank 8 (Fig. 2) des Laserscanners 1 gespeichert und daraus beispielsweise mittels 3D-Visualisierungsprogrammen auf einem Bildschirm dargestellt oder auf sonstige Weise weiterverarbeitet werden.

Der Messzeitpunkt t_i jedes Messpunkts P_i wird im Laserscanner 1 in einem Zeitmaßstab t ermittelt, der von einer Zeitmesseinrichtung 9 des Laserscanners 1 bereitgestellt wird. Als Messzeitpunkt t_i eines Messpunkts P_i kann aus Sicht des Laserscanners 9 der Zeitpunkt des Empfangens der Reflexion des Laserstrahls 5 abzüglich der halben Laufzeit des Laserstrahls 5 definiert werden, d.h. der Zeitpunkt des Auftreffens des Laserstrahls 5 auf dem jeweiligen Objekt 2, 4. Ebenso kann man den Messzeitpunkt t_i als Zeitpunkt des Sendens des Laserstrahls 5 zuzüglich der halben Laufzeit des Laserstrahls 5 definieren, was wiederum dem Zeitpunkt des Auftreffens des Laserstrahls 5 auf dem jeweiligen Objekt 2, 4 entspricht.

Anstatt eines Messzeitpunkts t_i kann einem Messpunkt P_i auch ein Messzeitintervall T_i zugeordnet werden. Ein solches Messzeitintervall T_i kann z.B. als Toleranzbereich über den zuvor ermittelten Messzeitpunkt t_i oder bezüglich einer erwarteten Laufzeit, ausgehend von einem Sende- oder Empfangszeitpunkt, gewählt werden. Alternativ kann in jenem Fall, wenn ein Laserimpuls 5 nur jeweils nach dem Empfang des vorhergegangenen Laserimpulses 5 gesendet wird, sich das Messzeitintervall T_i über den gesamten Zeitraum zwischen Senden und Empfangen eines Laserimpulses 5 erstrecken.

Bei einer höheren Senderate der Laserimpulse 5 („multiple time around“- (MTA-) bzw. „multiple pulses in the air“- Situation) bieten sich je nach gewählten Verfahren mehrere Möglichkeiten zur Zuordnung des Messzeitpunkts t_i bzw. Messzeitintervalls T_i an: Wenn die Bestimmung der Distanz d_i mit-

tels automatisch MTA-zonenrichtig zuordnender Impulslaufzeitmessverfahren erfolgt, kann nach einer solchen eindeutigen Bestimmung der Distanz d_i wieder ein Messzeitpunkt t_i in der oben genannten Art und Weise ermittelt werden. Erfolgt die Bestimmung der Distanz d_i hingegen mittels einer Annahme einer (fixen) MTA-Zone, in der sich das Objekt 2, 4 befindet, kann entweder über die solcherart bestimmte Distanz d_i ein Messzeitpunkt t_i ermittelt oder ein Messzeitintervall T_i zugeordnet werden, dessen Länge z.B. dem Impulsabstand der Laserimpulse des Laserstrahls 5 und dessen Abstand vom Sendezeitpunkt der Entfernung der für die Messung ausgewählten MTA-Zone entspricht.

Um die Abtastpunktwolke C_1 auf ein anderes Koordinatensystem 10 als das scannereigene Koordinatensystem 7 zu referenzieren, ist in der Regel die Kenntnis der Position zumindest eines Punktes P_i der Abtastpunktwolke C_1 in dem anderen Koordinatensystem 10 erforderlich. Das andere Koordinatensystem 10 kann z.B. das Koordinatensystem eines globalen Satellitennavigationssystems (global navigation satellite system, GNSS) 11 sein oder aber auch das scannereigene bzw. aufstellungsspezifische Koordinatensystem eines zweiten Laserscanners 1, der z.B. eine zweite Abtastpunktwolke C_2 des Zielraums 3 von einem vom Standpunkt S_1 verschiedenen zweiten Standpunkt S_2 aus erstellt; in letzterem Falle müssen die beiden Koordinatensysteme 7, 10 aufeinander referenziert werden, um die zwei Abtastpunktwolken C_1 , C_2 korrekt vereinen bzw. überlappen zu können.

Wenn der Laserscanner 1 beispielsweise selbst über einen hochgenauen GNSS-Empfänger und eine Nivelliereinrichtung verfügt und ausreichend kalibriert ist, könnte jede Abtastpunktwolke C_j ($j = 1, 2, 3, \dots$) gleich direkt auf ein und dasselbe globale GNSS-Koordinatensystem 11 referenziert werden. Liefert dies hingegen keine ausreichende Präzision oder sind solche Komponenten nicht am Laserscanner 1 verfügbar, kann dazu die Markiereinrichtung 2 im Zielraum 3 eingesetzt werden. Die Markiereinrichtung 2 stellt so einen Referenzpunkt im Zielraum 3

dar, dessen Messpunkt P_i in der jeweiligen Abtastpunktwolke C_j als Referenzpunkt P_i' markiert werden kann. Der markierte Messpunkt bzw. Referenzpunkt P_i' kann dann entweder mit hochgenauen Positionskoordinaten der Markiereinrichtung 2 im Koordinatensystem 10 ausgestattet werden, wenn die Markiereinrichtung 2 z.B. über einen hochgenauen GNSS-Empfänger verfügt, oder auch einfach nur als gemeinsamer Referenzpunkt P_i' zweier oder mehrerer von unterschiedlichen Standpunkten S_j aus erzeugten Abtastpunktwolken C_j dienen, wie später noch ausführlicher erörtert.

Fig. 2 zeigt den Aufbau der Markiereinrichtung 2 im Detail. Die Markiereinrichtung 2 ist mit einem optischen Empfänger 12 ausgestattet, der das Auftreffen eines Laserstrahls 5 detektiert. Ein an den optischen Empfänger 12 angeschlossener Prozessor 13 erfasst den momentanen Zeitpunkt t_d der Detektion in einem Zeitmaßstab t , der von einer Zeitmesseinrichtung 14 gewonnen wird, und stellt den Detektionszeitpunkt t_d an einer Schnittstelle 15 zur Übermittlung an den Laserscanner 1 bereit.

Der Laserscanner 1 verfügt seinerseits über eine Schnittstelle 16, über welche er den Detektionszeitpunkt t_d empfängt. Ein an die Schnittstelle 16, die Scaneinrichtung 6 und die Datenbank 8 angeschlossener Prozessor 17 markiert nach Erhalt des Detektionszeitpunkts t_d denjenigen Messpunkt P_i der Abtastpunktwolke C_j , dessen zugeordneter Messzeitpunkt t_i oder zugeordnetes Messzeitintervall T_i mit dem Detektionszeitpunkt t_d zeitlich zusammenfällt, d.h. wenn der Messzeitpunkt t_i mit dem Detektionszeitpunkt t_d übereinstimmt oder im Messzeitintervall T_i liegt, als markierten Messpunkt (Referenzpunkt) P_i' . Die Abtastpunktwolke C_j ist damit kalibriert, u.zw. auf einen Umgebungspunkt, nämlich den Ort der Markiereinrichtung 2.

Die Zeitmesseinrichtung 14 der Markiereinrichtung 2 ist zu diesem Zweck mit der Zeitmesseinrichtung 9 des Laserscanners 1 synchronisiert, beispielsweise mittels eines Master/Slave-Synchronisationsverfahrens, so dass beide Zeitmesseinrichtungen

9, 14 dieselbe Zeitbasis t haben. Bevorzugt sind die Zeitmess-einrichtungen 9, 14 jedoch als GNSS-Empfänger ausgebildet, welche über ihre jeweiligen Antennen 18, 19 eine jeweils aktuelle, globale GNSS-Zeit t aus dem Satellitennavigationssystem 11 beziehen. Dadurch ist sichergestellt, dass die Zeitmesseinrichtungen 9, 14 zu allen Zeitpunkten dieselbe Zeitbasis t haben.

Die Schnittstellen 15, 16 der Markiereinrichtung 2 und des Laserscanners 1 können für eine Offline- und/oder Online-Übermittlung des Detektionszeitpunkts t_a ausgebildet sein, d.h. für eine zeitversetzte (spätere) oder sofortige Übermittlung, und sowohl drahtgebundenen als auch drahtlos sein oder mittels eines physischen Datenträgers arbeiten, der von den Markiereinrichtung 2 zum Laserscanner 1 transportiert wird. Beispielsweise umfassen die Schnittstellen 15, 16 Leitungsports 20, 21 z.B. nach einem USB- oder Ethernet-Standard für eine drahtgebundene Verbindung bzw. zum Anschluss eines Datenträgers, oder aber Funksender und -empfänger 22, 23 z.B. nach einem WLAN-, IEEE-802.11- Bluetooth-, Infrarot-, NFC- od.dgl. Standard für eine drahtlose Verbindung.

Die Abtastpunkt wolke C_j kann optional auf mehrere Umgebungspunkte referenziert werden, um sie noch besser zu kalibrieren. Zu diesem Zweck können mehrere Markiereinrichtungen 2 an unterschiedlichen Orten im Zielraum 3 positioniert werden. Um in diesem Fall die Übermittlungen der Detektionszeitpunkte t_a der verschiedenen Markiereinrichtungen 2 in Laserscanner 1 voneinander unterscheiden zu können, kann jede Markiereinrichtung 2 mit einer eindeutigen Identifikation ID ausgestattet werden, welche sie mit dem von ihr erfassten Detektionszeitpunkt t_D mitsendet. Der Prozessor 17 kann daraufhin mehrere markierte Messpunkte P_i' in der Abtastpunkt wolke C_j entsprechend den Positionen der verschiedenen Markiereinrichtungen 2 erstellen.

Die Markiereinrichtung 2 kann je nach Ausführungsform einen Reflexionskörper 24 haben, z.B. in Form eines Gehäuses o-

der Gehäuseteils, dessen physische Ausdehnung anhand mehrerer Messpunkte P_i in der Abtastpunktwolke C_j erkennbar ist. Wenn die Markiereinrichtung 2 eine bekannte Lage im Koordinatensystem 10 einnimmt, beispielsweise durch Ausrichtung mittels Kompass und Libelle, kann aus der Form und damit Lage des Reflexionskörpers 24 in der Abtastpunktwolke C_j die Lage des Koordinatensystems 10 der Markiereinrichtung 2 bezüglich der Lage des Koordinatensystems 7 der Abtastpunktwolke C_j ermittelt werden, so dass bereits ein einziger markierter Messpunkt P_i' in der Abtastpunktwolke C_j genügt, um daraus in Verbindung mit dieser Lageinformation die Abtastpunktwolke C_j in allen Raumdimensionen und Rotationen auf das Koordinatensystem 10 zu kalibrieren.

Alternativ oder zusätzlich kann zu demselben Zweck die Markiereinrichtung 2 mit einem Gravitationssensor 25, beispielsweise mit einer Trägheitsmesseinrichtung (inertial measurement unit, IMU), ausgestattet werden, welche/r die Lage der Markiereinrichtung 2 im Koordinatensystem 10 an der Schnittstelle 15 für den Laserscanner 1 bereitstellt. Es ist zu beachten, dass die vollständige Lage der Abtastpunktwolke C_j im Koordinatensystem durch mögliche Symmetrieeigenschaften des Reflexionskörpers 24 nur bedingt ermittelt werden kann. So ist es beispielsweise bei einem zylindrischen Reflexionskörper 24 nicht möglich zu bestimmen, welche Seite des Zylinders nach oben zeigt und welche nach unten. Aus diesem Grund ist es günstig, einen asymmetrischen Körper als Reflexionskörper 24 zu verwenden, da die Lage seiner Form in der Abtastpunktwolke C_j eindeutig bestimmbar ist.

Alternativ oder zusätzlich kann auch der Laserscanner 1 mit einem Gravitationssensor 26 ausgestattet sein, um die Abtastpunktwolke C_j z.B. besser auf ein globales Koordinatensystem 10 referenzieren zu können.

Wenn die Punktauflösung der Abtastpunktwolke C_j zu gering ist, um darin die Lage des Reflexionskörpers 24 der Markiereinrichtung 2 zu bestimmen, kann nach einer ersten Lokalisie-

rung der Position der Markiereinrichtung 2 durch Erstellung des markierten Messpunkts P_i' ein zweiter Laserscan-Abtastvorgang durchgeführt werde, der einen kleinen Bereich des Zielraums 3 um den markierten Messpunkt P_i' herum abermals scannt, jedoch mit einer höheren Auflösung („Feinscan“), um in der feinaufgelösten Detailaufnahme die Form und damit Lage der Markiereinrichtung 2 besser erkennen zu können.

Je nach Form und Ausgestaltung des Reflexionskörpers 24 kann der optische Empfänger 12 auch über den Reflexionskörper 24 verteilt angeordnet werden. So kann beispielsweise der optische Empfänger 12 eine Vielzahl von einzelnen Sensoren (z.B. Photosensoren) umfassen, die über den Umfang des Reflexionskörpers 24 verteilt sind, so dass die Markiereinrichtung 2 Laserstrahlen 5 aus beliebigen Einfallsrichtungen detektieren kann, wie in Fig. 1 schematisch dargestellt. Alternativ kann z.B. auch ein flächiger Sensor verwendet werden, der einen Großteil der Oberfläche des Reflexionskörpers 24 bedeckt. In einer alternativen Ausführungsform (nicht gezeigt) hat die Markiereinrichtung 2 keinen eigenen Reflexionskörper 24 und kann z.B. mitsamt dem optischen Empfänger 12 so klein ausgestaltet werden, dass sie wesentlich kleiner als der Auftreffbereich des Laserstrahls 5 darauf ist. Die Markiereinrichtung 2 kann so beispielsweise direkt auf der Oberfläche eines Objekts 4 im Zielraum 3 angebracht werden kann, welche dann als Reflexionskörper 24 zur Erzeugung des markierten Messpunkts P_i' dient.

Um die Laufzeit des Laserstrahls 5 vom Laserscanner 1 zu den Messpunkten P_i (und somit die Entfernungen d_i) noch genauer bestimmen zu können, kann die Markiereinrichtung 2 optional auch eine Messeinrichtung (air measurement unit, AMU) 27 zur Erfassung eines oder mehrerer Luftmesswerte aufweisen und diese(n) an der Schnittstelle 15 bereitstellen. Die Messeinrichtung 27 kann beispielsweise ein Thermometer, ein Hygrometer, ein Barometer und/oder ein Luftverschmutzungsmessgerät zur Ermittlung von z.B. Staub-, Pollen-, CO_2 -Gehalt usw. der Umge-

bungsluft der Markiereinrichtung 2 sein. Die an der Schnittstelle 15 bereitgestellten Luftmesswerte können in der Folge zur Ermittlung des Brechungsindex der Umgebungsluft dienen, um die Laufzeitmessung des Laserstrahls daran anzupassen.

Bevorzugt kann auch der Laserscanner 1 seinerseits mit einer Messeinrichtung 28 dieser Art ausgestattet sein, um beispielsweise einen Gradienten des Brechungsindex der Luft zwischen Laserscanner 1 und Markiereinrichtung 2 zu ermitteln.

Messeinrichtungen 27, 28 mit Barometern können ferner auch dazu verwendet werden, um einen Höhenunterschied zwischen Laserscanner 1 und Markiereinrichtung 2 festzustellen, wodurch die Abtastpunktvolke C_j mit weiteren georeferenzierenden Informationen ausgestattet werden kann. Dadurch kann beispielsweise auf den Gravitationssensor verzichtet oder dessen Messergebnisse verifiziert werden.

Der GNSS-Empfänger 14 in der Markiereinrichtung 2 kann wie erörtert dazu genutzt werden, dem markierten Messpunkt P_1' globale GNSS-Koordinaten der Markiereinrichtung 2 zuzuordnen. Dazu werden die vom GNSS-Empfänger 14 ermittelten aktuellen Koordinaten der Markiereinrichtung 2 im Koordinatensystem 10 an der Schnittstelle 15 für den Laserscanner 2 bereitgestellt. Die Abtastpunktvolke C_j kann so vom Koordinatensystem 7 des Laserscanners 1 auf das globale Koordinatensystem 10 referenziert bzw. umgerechnet werden.

Um ein möglichst vollständiges 3D-Modell des Zielraums 3 erstellen zu können, d.h. um Abschattungen des Zielraums 3 zu reduzieren, kann in einer weiteren Ausführungsform, wie bereits angesprochen, eine erste kalibrierte Abtastpunktvolke C_1 von einem ersten Standpunkt S_1 des Laserscanners 1 und eine zweite kalibrierte Abtastpunktvolke C_2 von einem zweiten Standpunkt S_2 desselben (oder eines gleichartigen) Laserscanners 1 erstellt werden, während sich die Markiereinrichtung 2 in unveränderter Position befindet. Jede Abtastpunktvolke C_1 , C_2 enthält damit einen in der genannten Weise markierten Messpunkt P_1' , welcher auf denselben Ort im Zielraum 3 verweist.

Aus den beiden kalibrierten Abtastpunktvolken C_1 , C_2 kann nun eine „vereinigte“ Abtastpunktvolke

$$C_u = \{ C_1 \cup C_2 \}$$

erstellt werden. Zu diesem Zweck werden die Abtastpunktvolken C_1 , C_2 so übereinander gelegt, dass die jeweils markierten Messpunkte $P_j'(C_1)$ und $P_i'(C_2)$ zusammenfallen.

Es ist ersichtlich, dass sich dann eine eindeutige Überlagerung der Abtastpunktvolken C_1 , C_2 ergibt, wenn jede Abtastpunktvolke C_1 , C_2 zumindest drei verschiedene, von unterschiedlich positionierten Markiereinrichtungen 2 herrührende markierte Punkte P_i' enthält. Alternativ ergibt sich eine eindeutige Überlagerung zweier Abtastpunktvolken C_1 , C_2 auch bei Verwendung einer „punktförmigen“ Markiereinrichtung 2 und einer weiteren „zylindrischen“ Markiereinrichtung 2 oder bei Verwendung einer einzigen „asymmetrischen“ Markiereinrichtung 2, vorausgesetzt, die oben erläuterten Lagebestimmungen werden durchgeführt.

Dieser Vorgang ist mit einer beliebigen Anzahl von Abtastpunktvolken C_j wiederholbar, um eine noch größere vereinigte Abtastpunktvolke

$$C_u = \{ C_1 \cup C_2 \cup \dots C_j \dots \}$$

zu erhalten.

Alternativ ist es möglich, dass die Position einer einzigen Markiereinrichtung 2 zwischen aufeinanderfolgenden Scanvorgängen eines feststehenden Laserscanners 1 verändert wird, so dass in einer anschließend vereinigten Abtastpunktvolke C_u eine Bewegung (Trajektorie) der Markiereinrichtung 2 festgehalten werden kann. Dazu erstellt der Laserscanner 1 z.B. eine Sequenz von Abtastpunktvolken C_j , wobei sich die Markiereinrichtung 2 in jeder Abtastpunktvolke C_j an einer anderen Position befindet, wodurch nach Vereinigen aller Abtastpunktvolken C_j die Sequenz von darin markierten Messpunkten P_i' die Trajektorie der Markiereinrichtung 2 abbildet.

Wird dieselbe Trajektorie mittels (desselben oder eines weiteren) Laserscanners 1, der sich an einem anderen Standpunkt befindet, in einer weiteren vereinigten Abtastpunktwolke C_u' aufgezeichnet, können sogar die beiden Abtastpunktwolken C_u , C_u' mittels In-Deckung-Bringen der beiden darin aufgezeichneten Trajektorien vereinigt werden. Dadurch ist auch eine Vereinigung zweier solcher Abtastpunktwolken C_u , C_u' mittels einer einzigen Markiereinrichtung 2 ohne besondere Symmetrieeigenschaften möglich.

Die Erfindung ist nicht auf die dargestellten Ausführungsformen beschränkt, sondern umfasst alle Varianten und Modifikationen, die in den Rahmen der angeschlossenen Ansprüche fallen. So können beispielsweise die Komponenten des Laserscanners 1 auch örtlich verteilt sein, beispielsweise der Prozessor 17, der Empfänger 23 und/oder die Datenbank 8 in einem oder mehreren externen Geräten untergebracht und über Online- oder Offline-Datenverbindungen angebunden sein. Auch versteht es sich, dass die beschriebenen Komponenten der Markiereinrichtung 2 und/oder des Laserscanners 1 sowohl als Hardware- als auch als Software-Module, soweit möglich, realisiert werden können.

Patentansprüche:

1. Markiereinrichtung zum Kalibrieren einer von einem Laserscanner erzeugten Abtastpunktwolke, gekennzeichnet durch eine Zeitmesseinrichtung (14) zur Erfassung der aktuellen Zeit (t),

einen optischen Empfänger (12) zur Detektion eines Laserstrahls (5) des Laserscanners (1), und

einen mit der Zeitmesseinrichtung (14) und dem optischen Empfänger (12) in Verbindung stehenden Prozessor (13) mit einer Schnittstelle (15),

wobei der Prozessor (13) dafür ausgebildet ist, bei Detektion eines Laserstrahls (5) durch den optischen Empfänger (12) die von der Zeitmesseinrichtung (14) erfasste aktuelle Zeit als Detektionszeitpunkt (t_d) an der Schnittstelle (15) bereitzustellen.

2. Markiereinrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Zeitmesseinrichtung (14) durch einen GNSS-Empfänger gebildet ist.

3. Markiereinrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass mittels des GNSS-Empfängers die jeweils aktuelle Position der Markiereinrichtung (2) erfassbar und der Prozessor (13) dafür ausgebildet ist, für einen erfassten Detektionszeitpunkt (t_d) auch die jeweils aktuelle Position an der Schnittstelle (15) bereitzustellen.

4. Markiereinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass sie ein Gehäuse hat, welches als Reflexionskörper (24) für Laserstrahlen (5) ausgebildet ist.

5. Markiereinrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass der Reflexionskörper (24) zylindrisch ist.

6. Markiereinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass sie einen Gravitationssensor (25) zur Ermittlung einer Orientierung umfasst, die an der Schnittstelle (15) bereitstellbar ist.

7. Markiereinrichtung nach Anspruch 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, dass der optische Empfänger (12) mehrere über den Umfang des Gehäuses (24) verteilte Lichtsensoren aufweist.

8. Markiereinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Schnittstelle (15) eine Funk-schnittstelle (22) ist, bevorzugt nach dem WLAN-Standard.

9. Markiereinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass sie eine Messeinrichtung (27) zur Ermittlung zumindest eines aktuellen Luftmesswerts umfasst, welcher an der Schnittstelle (15) bereitstellbar ist, bevorzugt ein Barometer, Thermometer, Hygrometer und/oder Luftverschmutzungsmessgerät.

10. Laserscanner zur Erzeugung einer Abtastpunktwolke aus einer Vielzahl von Messpunkten, denen jeweils ein Messzeitpunkt oder -intervall einer Zeitmesseinrichtung des Laserscanners zugeordnet ist, gekennzeichnet durch

eine Schnittstelle (15) zum Empfang eines Detektionszeitpunkts (t_d) von einer externen Markiereinrichtung (2),

wobei der Laserscanner (1) dafür ausgebildet ist, die Abtastpunktwolke (C_j) durch Markieren jenes Messpunkts (P_i), dessen zugeordneter Messzeitpunkt (t_i) oder dessen zugeordnetes Messzeitintervall (T_i) mit dem über die Schnittstelle (16) empfangenen Detektionszeitpunkt (t_d) zeitlich zusammenfällt, zu kalibrieren.

11. Laserscanner nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Zeitmesseinrichtung (9) des Laserscanners (1) durch einen GNSS-Empfänger gebildet ist.

12. Verfahren zum Kalibrieren einer von einem Laserscanner erzeugten Abtastpunktwolke, umfassend:

Positionieren einer Markiereinrichtung (2), die mit einem optischen Empfänger (12) und einer ersten Zeitmesseinrichtung (14) ausgestattet ist, in einem Zielraum (3);

Positionieren des genannten Laserscanners (1), der mit einer zweiten Zeitmesseinrichtung (9) ausgestattet ist, an einem Standpunkt (S_1);

Synchronisieren der ersten und der zweiten Zeitmesseinrichtung (14, 9) auf eine gemeinsame Zeitbasis (t);

Abtasten des Zielraums (3) mit einem gepulsten Laserstrahl (5) des Laserscanners (1), um eine Vielzahl von Messpunkten (P_i) des Zielraums (3), die jeweils einem auf der gemeinsamen Zeitbasis (t) basierenden Messzeitpunkt (t_i) oder -intervall (T_i) zugeordnet sind, als Abtastpunktwolke (C_j) zu erhalten,

wobei während des Abtastens der Laserstrahl (5) vom optischen Empfänger (12) der Markiereinrichtung (2) detektiert und dabei der Zeitpunkt (t_d) der Detektion von der ersten Zeitmesseinrichtung (14) gemessen wird; und

Kalibrieren der Abtastpunktwolke (C_j) durch Markieren jenes Messpunkts (P_i) darin, dessen zugeordneter Messzeitpunkt (t_i) oder dessen zugeordnetes Messzeitintervall (T_i) mit dem Detektionszeitpunkt (t_d) zeitlich zusammenfällt.

13. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass der Detektionszeitpunkt (t_d) von der Markiereinrichtung (2) über eine Funkschnittstelle (22) an den Laserscanner (1) gesendet wird.

14. Verfahren nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass mit dem Detektionszeitpunkt (t_d) auch eine Identifikation (ID) der Markiereinrichtung (2) mitgesendet wird.

15. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass die erste Zeitmesseinrichtung (14) durch einen GNSS-Empfänger gebildet wird, welcher die Position der Markiereinrichtung (2) zum Detektionszeitpunkt (t_d) in einem globalem Koordinatensystem (10) misst, und dass diese Position dem markierten Messpunkt (P_i') zugeordnet wird.

16. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 bis 15, dadurch gekennzeichnet,

dass eine Markiereinrichtung (2) mit einem zylinderförmigen Reflexionskörper (24) verwendet wird,

dass die Achslage der Zylinderform des Reflexionskörpers (24) in der Markiereinrichtung (2) gemessen wird,

dass in der Abtastpunktvolke (C_j) die Zylinderform des Reflexionskörpers (24) detektiert und deren Achslage ermittelt wird, und

dass die gemessene Achslage mit der ermittelten Achslage verglichen wird.

17. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass

eine Markiereinrichtung (2) mit einem asymmetrisch geformten Reflexionskörper (24) verwendet wird,

dass die Orientierung des asymmetrischen Reflexionskörpers (24) in der Markiereinrichtung (2) gemessen wird,

dass in der Abtastpunktvolke (C_j) die Form des Reflexionskörpers (2) detektiert und dessen Orientierung ermittelt wird, und

dass die gemessene Orientierung mit der ermittelten Orientierung verglichen wird.

18. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 bis 17, dadurch gekennzeichnet, dass nach dem Kalibrieren ein weiteres Abtasten über eine lokale Umgebung der detektierten Markiereinrichtung (2) mit einer höheren räumlichen Auflösung als beim ersten Abtasten durchgeführt wird.

19. Verfahren zum Laserscannen eines Zielraums, umfassend:

Erzeugen einer ersten kalibrierten Abtastpunktvolke (C_1) mit einem Verfahren nach einem der Ansprüche 12 bis 18, wobei der Laserscanner (1) an einem ersten Standort (S_1) positioniert wird;

Erzeugen einer zweiten kalibrierten Abtastpunktvolke (C_2) mit einem Verfahren nach einem der Ansprüche 12 bis 18, wobei derselbe oder ein weiterer, gleichartig ausgebildeter Laserscanner (1) an einem zweiten Standort (S_2) positioniert wird, und

Vereinen der ersten und der zweiten Abtastpunktvolke (C_1 , C_2), wobei mittels ein und derselben Markiereinrichtung (2) markierte Messpunkte (P_i') in Deckung gebracht werden.

20. Verfahren nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, dass die Markiereinrichtung (2) einen Reflexionskörper (24) umfasst,

dass in der ersten und in der zweiten Abtastpunkt wolke (C_1 , C_2) die Form des Reflexionskörpers (24) detektiert und jeweils dessen Orientierung ermittelt wird, und

dass beim Vereinen der ersten und der zweiten Abtastpunkt wolke (C_1 , C_2) die beiden ermittelten Orientierungen in Übereinstimmung gebracht werden.

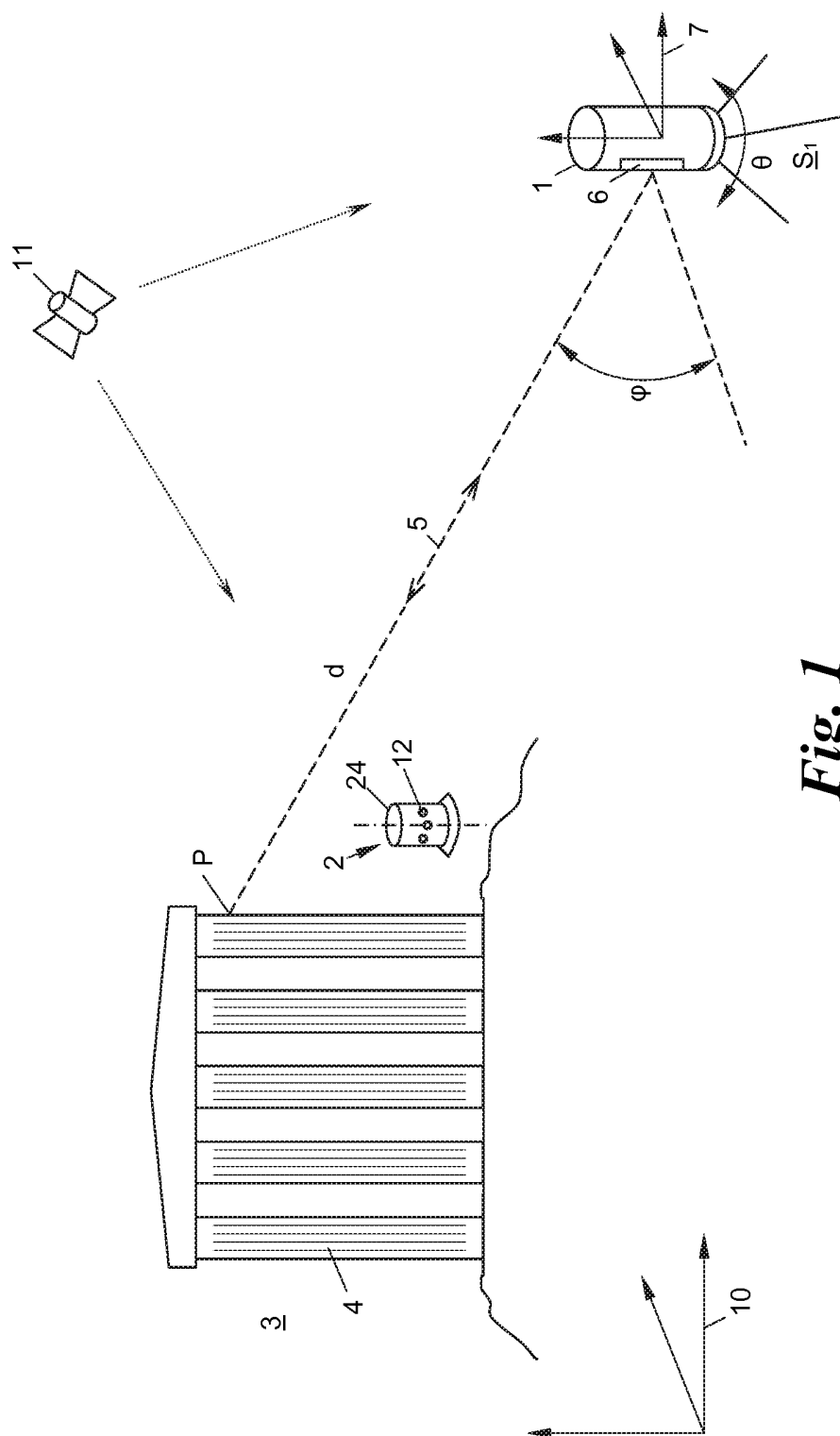
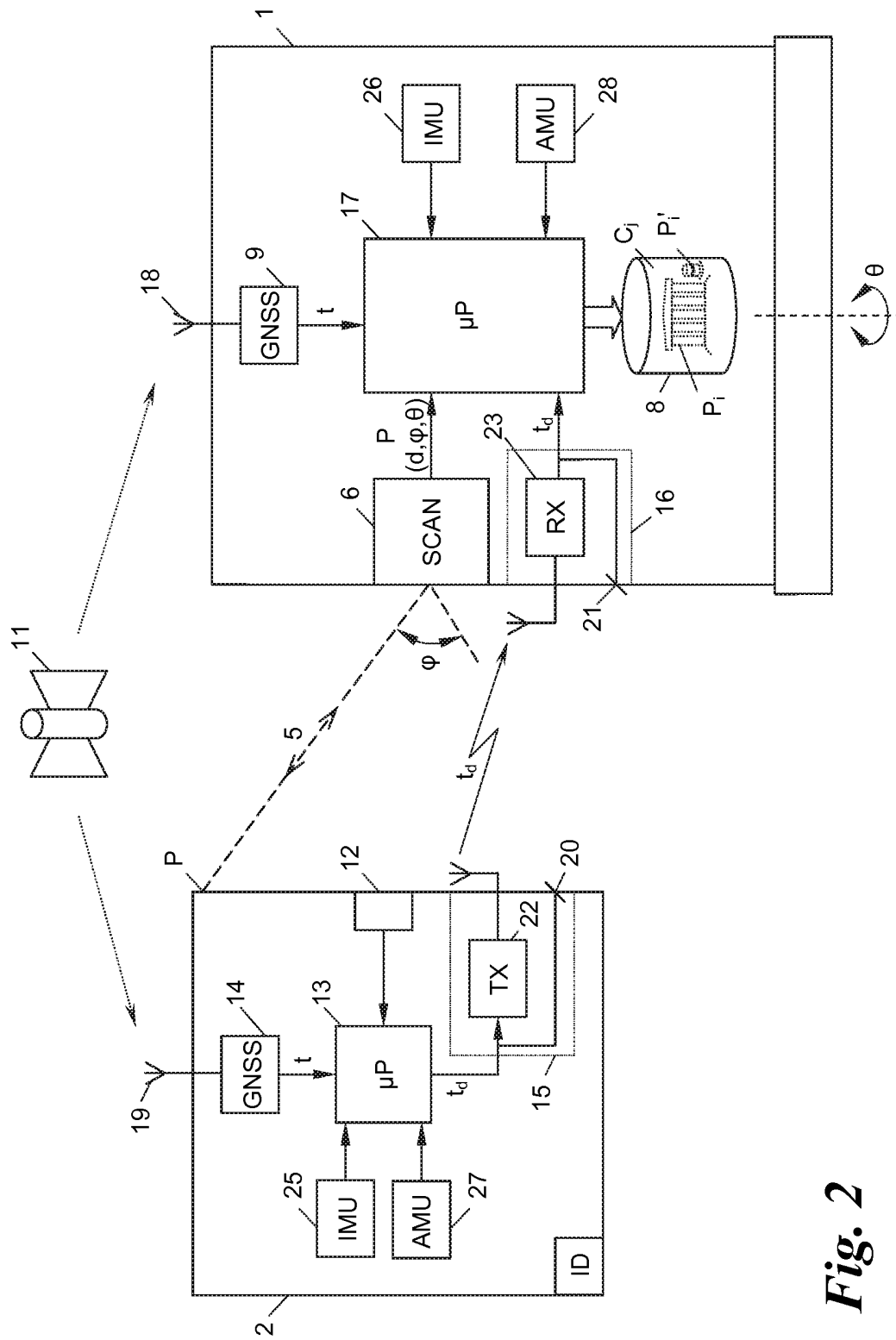


Fig. 1

**Fig. 2**