

(12) **Gebrauchsmusterschrift**

(21) Anmeldenummer: GM 50027/2018
(22) Anmeldetag: 15.02.2018
(24) Beginn der Schutzdauer: 15.01.2021
(45) Veröffentlicht am: 15.01.2021

(51) Int. Cl.: **G01S 17/42** (2006.01)
G01S 5/16 (2006.01)
B64G 3/00 (2006.01)

(30) Priorität:
24.02.2017 DE 202017101069.4 beansprucht.
29.03.2017 DE 202017101831.8 beansprucht.

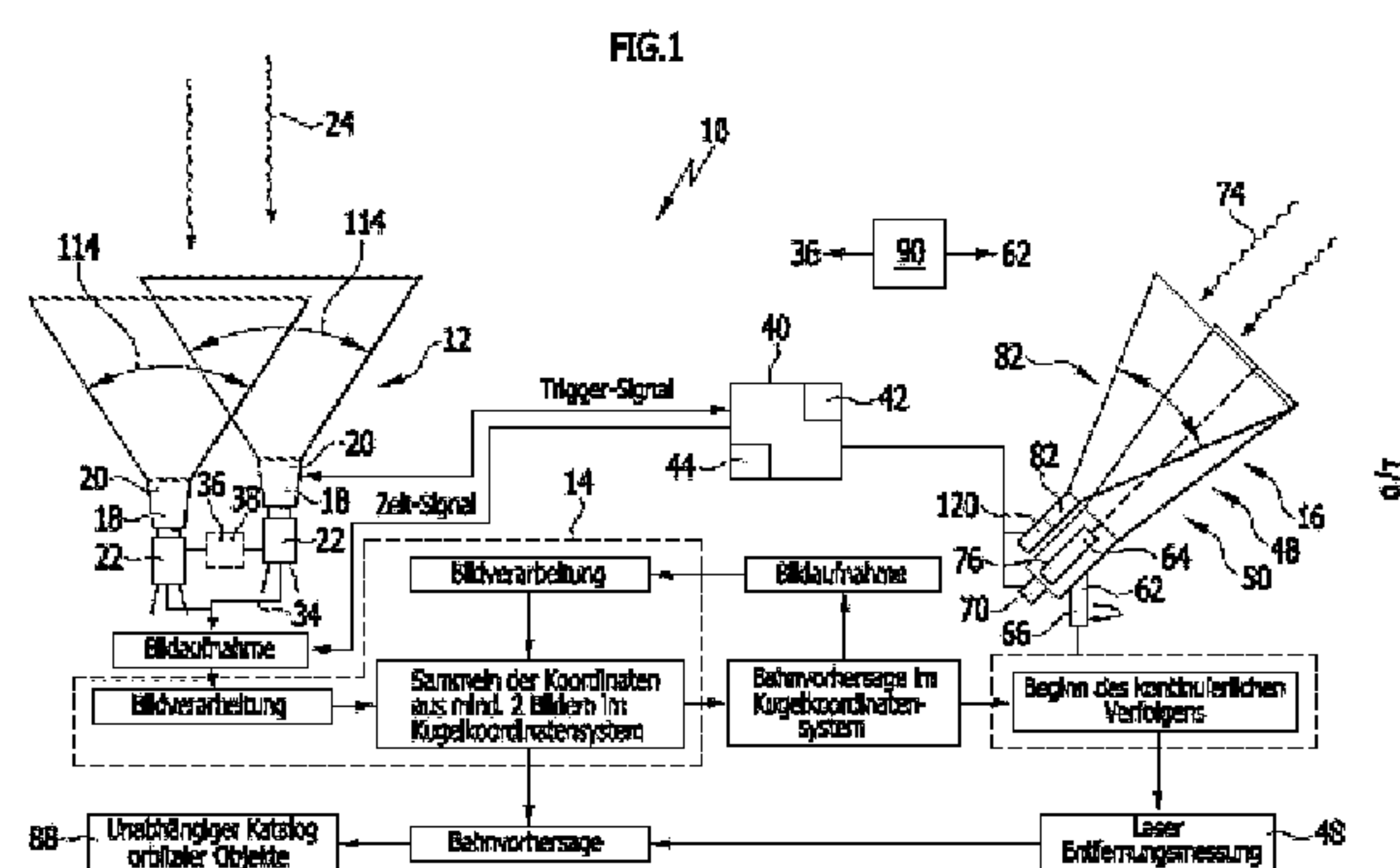
(73) Gebrauchsmusterinhaber:
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.
51147 Köln (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
 US 2013264463 A1
 US 9382020 B1
 WO 2016063923 A1

(74) Vertreter:
Puchberger & Partner Patentanwälte
1010 Wien (AT)

(54) **System zur Bestimmung und/oder Vorhersage einer Position und/oder einer Flugbahn von orbitalen Objekten im Weltraum**

(57) Die Erfindung betrifft ein System (10) zur Bestimmung und/oder Vorhersage einer Position und/oder einer Flugbahn von orbitalen Objekten im Weltraum (122), insbesondere im erdnahen Weltraum (122), umfassend eine erste optische Bildaufnahmevorrichtung (12) zum Aufnehmen von ersten Bildern des Weltraums (122), eine Bildverarbeitungsvorrichtung (14) zum Verarbeiten der mit der ersten Bildaufnahmevorrichtung (12) aufgenommenen ersten Bilder und zum Bestimmen von Positionskoordinaten orbitaler Objekte durch Vergleich von mindestens zwei aufgenommenen ersten Bildern, wobei das System (10) eine zweite optische Bildaufnahmevorrichtung (16) umfasst, welche auf die mit der Bildverarbeitungsvorrichtung (14) bestimmten Positionskoordinaten eines orbitalen Objekts ausrichtbar und zum Verfolgen desselben nachführbar ist.



Beschreibung

SYSTEM ZUR BESTIMMUNG UND/ODER VORHERSAGE EINER POSITION UND/ODER EINER FLUGBAHN VON ORBITALEN OBJEKTEN IM WELTRAUM

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein System zur Bestimmung und/oder Vorhersage einer Position und/oder einer Flugbahn von orbitalen Objekten im Weltraum, insbesondere im erdnahen Weltraum, umfassend eine erste optische Bildaufnahmeverrichtung zum Aufnehmen von ersten Bildern des Weltraums, eine Bildverarbeitungsvorrichtung zum Verarbeiten der mit der ersten Bildaufnahmeverrichtung aufgenommenen ersten Bilder und zum Bestimmen von Positionskoordinaten orbitaler Objekte durch Vergleich von mindestens zwei aufgenommenen ersten Bildern.

[0002] Systeme der eingangs beschriebenen Art werden insbesondere genutzt, um Flug- und/oder Umlaufbahnen orbitaler Objekte zu bestimmen. Werden beispielsweise mit der ersten optischen Bildaufnahmeverrichtung, die in den Himmel gerichtet ist, nachts bei klarem Himmel erste Bilder vom Sternenhimmel aufgenommen, dann können Intensitätsunterschiede in den beiden ersten Bildern durch Vergleich ermittelt werden und so auf einfache Weise bewegte orbitale Objekte detektiert werden.

[0003] Unter orbitalen Objekten sind insbesondere Satelliten, Weltraumschrott, Flugobjekte oder Flugkörper zu verstehen, die sich in der Atmosphäre oder im erdnahen Weltraum, insbesondere in Flughöhen im Bereich von etwa 200 km bis etwa 4000 km bewegen. Ferner kann es sich dabei aber auch um andere fliegende Objekte wie Flugzeuge oder dergleichen mit einer Eigenbeleuchtung handeln, welche bei Nacht oder vor einem blauen Himmel auch tagsüber detektiert werden kann.

[0004] Die genaue Bestimmung von Positionen und/oder Flugbahnen orbitaler Objekte ist von zunehmender Bedeutung, da durch die zunehmende Anzahl von Objekten im Erdorbit eine Anzahl von Weltraumschrottteilen ebenfalls stetig zunimmt. Zudem wird durch die zunehmende Kommerzialisierung der Raumfahrt die Anzahl insbesondere kleiner Satelliten auch zukünftig deutlich steigen. Dadurch erhöht sich die Wahrscheinlichkeit von Zusammenstößen zwischen unkontrollierbaren Weltraumschrottteilen untereinander oder zwischen diesen und Satelliten stetig.

[0005] Um Zusammenstöße zu verhindern, ist es erforderlich, dass sowohl von den Weltraumschrottteilen als auch von den Satelliten die Flugbahnen beziehungsweise deren Umlaufbahnen so genau wie möglich bekannt sind. Dies ermöglicht es dann insbesondere, Ausweichmanöver zu fliegen. Je genauer dabei eine Vorhersage der Flugbahn beziehungsweise des Orbits ist, umso effektiver kann ein Ausweichmanöver durchgeführt werden. Zur Bestimmung der Flugbahn eines orbitalen Objekts muss dessen Position im Raum möglichst oft und genau vermessen werden.

[0006] Von besonderem Interesse ist hierbei der erdnahe Weltraum, auch als niedriger Erdorbit bezeichnet, denn hier steigt die Anzahl an Objekten dramatisch an. Daher werden zunehmend Messsysteme benötigt, um die Position der orbitalen Objekte zu ermitteln und daraus deren Flugbahn zu bestimmen. Da derartige Messsysteme teuer sind, ist es wünschenswert, möglichst kostengünstige und dennoch präzise messende Systeme bereitzustellen.

[0007] Ferner ist es bekannt, Objekte im erdnahen Weltraum durch Einsatz von Radar-Systemen zu vermessen. Derartige Anlagen sind jedoch kompliziert in ihrem Aufbau sowie teuer bei der Erstellung sowie im laufenden Betrieb. Ein Vorteil derartiger Systeme ist es jedoch, Objekte von einer Größe von nur etwa 10 cm detektieren und hinreichend genau vermessen zu können, so dass Prognosen für deren Flugbahnen möglich sind. Zudem können derartige Systeme Tag und Nacht eingesetzt werden.

[0008] Systeme der eingangs beschriebenen Art ermöglichen passive optische Beobachtungen von Objekten im geostationären Orbit. Sie ermöglichen es, diese Objekte zu detektieren und zu vermessen. Allerdings werden dabei ausschließlich Winkelinformationen bestimmt. Ein Nachteil des Einsatzes von passiven optischen Verfahren ist es insbesondere, dass sie nur nachts und

bei klarem Himmel einsetzbar sind. Ein routinemäßiger Einsatz passiver optischer Systeme zur Beobachtung des geostationären Orbits ist bekannt, nicht jedoch zur Beobachtung des erdnahen Orbits.

[0009] Es ist daher eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein System der eingangs beschriebenen Art so zu verbessern, dass Positionen und/oder Flugbahnen orbitaler Projekte im Weltraum auf einfache Weise bestimmt und vorhergesagt werden können.

[0010] Diese Aufgabe wird bei einem System der eingangs beschriebenen Art erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass das System eine zweite optische Bildaufnahmevorrichtung umfasst, welche auf die mit der Bildverarbeitungsvorrichtung bestimmten Positionskoordinaten eines orbitalen Objekts ausrichtbar und zum Verfolgen desselben nachführbar ist.

[0011] Die vorgeschlagene Weiterbildung des eingangs genannten Systems ermöglicht es insbesondere, mit rein optischen Methoden Positionen und/oder Flugbahnen orbitaler Projekte im Weltraum mit relativ großer Genauigkeit zu bestimmen. Die Positionskoordinaten orbitaler Objekte, die durch Einsatz der ersten optischen Bildaufnahmevorrichtung im Zusammenwirken mit der Bildverarbeitungsvorrichtung bestimmt werden, können insbesondere dazu genutzt werden, die zweite optische Bildaufnahmevorrichtung automatisch auf die ermittelten Positionskoordinaten des orbitalen Objekts auszurichten und die zweite optische Bildaufnahmevorrichtung automatisch zum Verfolgen der orbitalen Objekte nachzuführen. Insbesondere das automatische Nachführen der zweiten Bildaufnahmevorrichtung ermöglicht es insbesondere, Positionen und/oder Flugbahnen orbitaler Objekte noch genauer zu ermitteln. So können nachverfolgte orbitale Objekte noch genau vermessen werden, insbesondere hinsichtlich deren Position, und zwar beispielsweise durch Einsatz von Einrichtungen zur Messung einer Entfernung zum orbitalen Objekt. Insbesondere kann die Entfernung mittels Laufzeitmessung mit einer sehr hohen Präzision bestimmt werden, die es ermöglicht, hochgenaue Orbits des neu zu detektierenden Objektes zu erstellen. Da das System keine Vorabinformationen benötigt, ist es grundsätzlich geeignet, Daten von orbitalen Objekten, die nicht veröffentlicht werden, selbst zu bestimmen durch Detektion dieser Objekte mit der ersten optischen Bildaufnahmevorrichtung und genauer Bestimmung der Position und/oder der Flugbahn mit der zweiten optischen Bildaufnahmevorrichtung. So können unabhängig von verfügbaren Datenbanken und Informationen eigene Datenbanken erstellt werden, insbesondere auch für Objekte, deren Positions- und Umlaufbahndaten nicht frei verfügbar sind, wie dies beispielsweise bei Spionagesatelliten, neu entstandenem Weltraumschrott, Fragmentteilen oder dergleichen der Fall ist.

[0012] Günstig ist es, wenn die Bildverarbeitungsvorrichtung ausgebildet ist zum Verarbeiten von mit der zweiten Bildaufnahmevorrichtung aufgenommenen zweiten Bildern und zum Bestimmen von Positionskoordinaten orbitaler Objekte durch Vergleich von mindestens zwei aufgenommenen zweiten Bildern. Diese Ausgestaltung ermöglicht es insbesondere, Positionskoordinaten und/oder Bahnkoordinaten eines orbitalen Objekts durch Vergleich von mindestens zwei aufgenommenen zweiten Bildern zu verifizieren. Insbesondere dann, wenn die zweite Bildaufnahmevorrichtung ausgebildet ist, zweite Bilder mit höherer Auflösung zu erzeugen als die erste Bildaufnahmevorrichtung, können so Positions- und/oder Bahndaten orbitaler Objekte noch genauer ermittelt werden.

[0013] Vorzugsweise umfasst die erste Bildaufnahmevorrichtung mindestens eine erste optische Abbildungseinrichtung. Mit der ersten optischen Abbildungseinrichtung lässt sich beispielsweise ein Nachthimmel auf eine Abbildungsebene abbilden oder beispielsweise auf einen Detektor. Die erste Bildaufnahmevorrichtung kann auch zwei, drei oder mehrere optische Abbildungseinrichtungen umfassen. Diese ermöglichen es insbesondere, aus unterschiedlichen Winkelpositionen den Weltraum beziehungsweise den Sternenhimmel bei Nacht abzubilden, um so eine möglichst genaue Bestimmung einer Position und/oder einer Flugbahn eines orbitalen Objekts zu ermöglichen.

[0014] Um einen möglichst großen Bereich des Weltraums aufnehmen zu können, ist es günstig, wenn die mindestens eine optische Abbildungseinrichtung in Form einer Weitwinkeloptik ausgebildet ist. Beispielsweise kann sie in Form einer Weitwinkelkamera ausgebildet sein.

[0015] Das System lässt sich besonders kostengünstig ausbilden, wenn die Weitwinkelkamera in Form einer Digitalkamera ausgebildet ist.

[0016] Vorteilhaft ist es, wenn der mindestens einen ersten optischen Abbildungseinrichtung ein erster optischer Detektor zugeordnet ist zum Erzeugen der ersten Bilder durch orts aufgelöstes Messen der Intensität von mit der mindestens einen ersten optischen Abbildungseinrichtung auf den ersten Detektor abgebildeten elektromagnetischen Strahlung. Die ersten Bilder können so mit der ersten optischen Abbildungseinrichtung durch Abbildung des Weltraums auf den ersten Detektor erzeugt werden. Selbstleuchtende oder von der Sonne angestrahlte Objekte senden Strahlung aus, die auf den Detektor abgebildet wird, und zwar derart, dass Intensitätsunterschiede orts aufgelöst auf dem Detektor bestimmbar sind.

[0017] Vorzugsweise ist der Detektor in Form eines ersten Detektorarrays oder eines ersten CCD-Chips oder CMOS-Chips ausgebildet. So lassen sich auf einfache Weise unterschiedliche Intensitäten elektromagnetischer Strahlung messen.

[0018] Damit die Bestimmung einer Position und/oder einer Flugbahn automatisch erfolgen kann, ist es günstig, wenn die erste Bildaufnahmeverrichtung mit der Bildverarbeitungsvorrichtung zusammenwirkend ausgebildet ist. Insbesondere können so Messdaten, beispielsweise vom ersten optischen Detektor automatisch zur Bildbearbeitungsvorrichtung übertragen und von dieser weiterverarbeitet werden.

[0019] Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung kann vorgesehen sein, dass die Bildverarbeitungsvorrichtung ausgebildet ist zum Bestimmen der Positionskoordinaten des orbitalen Objekts in einem ersten Detektorkoordinatensystem und zum Umrechnen der Positionskoordinaten vom ersten Detektorkoordinatensystem in ein Referenzkoordinatensystem. Die von der ersten optischen Bildaufnahmeverrichtung erzeugten Bilder sind insbesondere zweidimensional. Daher hat die vorgeschlagene Weiterbildung den Vorteil, dass insbesondere Positionskoordinaten in einem vom Detektorkoordinatensystem unabhängigen Referenzkoordinatensystem angegeben werden können. Dieses kann insbesondere dreidimensional sein.

[0020] Günstig ist es, wenn das Detektorkoordinatensystem zweidimensional ist. So lassen sich Positionskoordinaten aus zweidimensionalen Bildern auf einfache Weise bestimmen.

[0021] Vorzugsweise ist das Referenzkoordinatensystem dreidimensional. Dies ermöglicht insbesondere die Angabe von Positionskoordinaten orbitaler Objekte im Raum. Günstigerweise ist das Referenzkoordinatensystem ein Kugelkoordinatensystem. Positionskoordinaten in einem solchen Referenzkoordinatensystem anzugeben, ermöglicht es insbesondere, überall auf der Erde orbitale Objekte auf einfache Weise aufzufinden und nachzuverfolgen.

[0022] Vorteilhaft ist es, wenn das Referenzkoordinatensystem durch das Sternenkoordinatensystem gebildet ist. Ein solches Referenzkoordinatensystem ermöglicht eine universelle Anwendung des Systems sowie einen flexiblen Einsatz desselben.

[0023] Vorzugsweise umfasst das System eine erste Nachführeinrichtung zum Nachführen der mindestens einen ersten optischen Abbildungseinrichtung. Eine solche Nachführeinrichtung ermöglicht es insbesondere, Bilder vom immer selben Ausschnitt des Weltalls beziehungsweise des Sternenhimmels aufzunehmen. So lassen sich vor dem Sternenhintergrund bewegende Objekte einfach und sicher detektieren und nachverfolgen.

[0024] Vorteilhaft ist es, wenn aus Winkelmessungen der ersten optischen Abbildungseinrichtung ein initialer Orbit des zu detektierenden Objekts bestimmt wird. Auf Basis des bestimmten initialen Orbits lässt sich dann das Objekt mit der zweiten optischen Abbildungseinrichtung, welche vorzugsweise über ein kleineres Gesichtsfeld verfügt, um das neu detektierte Objekt möglichst genau zu erfassen, nachverfolgen.

[0025] Günstig ist es, wenn das System eine Zeitsynchronisationsvorrichtung umfasst zum Zuordnen einer Aufnahmezeit jedem der mit der ersten Bildaufnahmeverrichtung aufgenommenen ersten Bilder und/oder jedem der mit der zweiten Bildaufnahmeverrichtung aufgenommenen zweiten Bilder. Beispielsweise für eine Berechnung von Positionskoordinaten aus Bilddaten der

aufgenommenen ersten und/oder zweiten Bilder, ermöglicht eine solche Zeitsynchronisation insbesondere einen ortsunabhängigen Einsatz der ersten Bildaufnahmevorrichtung von der zweiten Bildaufnahmevorrichtung. Räumlich getrennt kann insbesondere bedeuten, mehrere Kilometer voneinander getrennt oder an noch weiter voneinander entfernten Orten der Erde.

[0026] Auf einfache Weise ausbilden lässt sich die Zeitsynchronisationsvorrichtung, wenn sie einen GPS-Empfänger umfasst. So kann die Aufnahmezeit der ersten oder zweiten Bilder beispielsweise mit einer Systemzeit des GPS ("Global Positioning System") synchronisiert werden. Insbesondere für die Bestimmung von Bahnbewegungen orbitaler Objekte sowie zur Vorhersage von Positionen und Flugbahnen derselben ist eine Zeitsynchronisation der ersten und/oder zweiten Bilder hilfreich.

[0027] Günstig ist es, wenn die Zeitsynchronisationsvorrichtung mit der ersten Bildaufnahmevorrichtung und/oder mit der Bildverarbeitungsvorrichtung und/oder mit der zweiten Bildaufnahmevorrichtung zusammenwirkend angeordnet oder ausgebildet ist. Beispielsweise kann die Aufnahme eines ersten Bildes mit der ersten Bildaufnahmevorrichtung ein Zeitsignal der Zeitsynchronisationsvorrichtung auslösen, so dass jedem ersten Bild eine genaue Aufnahmezeit zugeordnet werden kann. Aus einer bekannten Ausrichtung, also einer Winkelinformation, der ersten Bildaufnahmevorrichtung unter Berücksichtigung des aufgenommenen Ausschnitts des Weltalls, können so Positionen und/oder Bahnkurven orbitaler Objekte sehr präzise bestimmt werden. Dies gilt entsprechend auch für die zweite Bildaufnahmevorrichtung und die mit dieser erzeugten zweiten Bilder. Die Bildverarbeitungsvorrichtung kann eine Position und/oder Bahnkurve orbitaler Objekte besonders genau ermitteln, wenn eine entsprechende Zeitbasis beziehungsweise eine Zeitinformation, wann die ersten und/oder zweiten Bilder aufgenommen wurden, bekannt ist.

[0028] Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung kann vorgesehen sein, dass das System eine Entfernungsmesseinrichtung zum Messen einer Entfernung zu einem orbitalen Objekt umfasst. Die Entfernungsmesseinrichtung ermöglicht es insbesondere, eine Entfernung zum orbitalen Objekt zu messen. Durch diese zusätzliche Information kann eine Genauigkeit bei der Bestimmung einer Position und/oder einer Bahnkurve eines orbitalen Objekts deutlich verbessert werden.

[0029] Präzise Entfernungsmessungen können insbesondere dadurch erreicht werden, dass die Entfernungsmesseinrichtung in Form einer Laser-Entfernungsmesseinrichtung ausgebildet ist. Mit einer solchen Laser-Entfernungsmesseinrichtung lässt sich eine Entfernung durch eine Laufzeitmessung insbesondere eines elektromagnetischen Strahlungspulses bestimmen, der von der Laser-Entfernungsmesseinrichtung ausgesandt wird. Vom orbitalen Objekt reflektierte oder gestreute Anteile der Strahlungspulse können von der Laser-Entfernungsmesseinrichtung detektiert und dann aus der gemessenen Laufzeit die Entfernung berechnet werden.

[0030] Günstigerweise umfasst die Laser-Entfernungsmesseinrichtung einen Laser zum Erzeugen von Laserpulsen. Mit Lasern lassen sich insbesondere elektromagnetische Strahlungspulse erzeugen, die eine ausreichende Energie aufweisen damit sie im Falle einer Reflexion oder Streuung an einem orbitalen Objekt noch detektiert werden können.

[0031] Vorteilhafterweise ist der Laser in Form eines Puls-Lasers zum Erzeugen von kurzen Laserpulsen ausgebildet. Pulsbreiten im ns-Bereich ermöglichen eine Messgenauigkeit bei der Entfernungsmessung im Sub-Meterbereich. Diese ist für eine reine Bahnbestimmung von unbekannten orbitalen Objekten ausreichend, um insbesondere Ausweichmanöver zur Vermeidung von Kollisionen mit einer Vorlaufzeit von 48 Stunden durchführen zu können. Laser, mit denen Pulse im ns-Bereich erzeugt werden können, weisen deutlich kleinere Spitzenleistungen auf, als dies beispielsweise bei ps-Lasern der Fall ist. So können insbesondere Laserpulse mit Lichtwellenleitern, beispielsweise optischen Fasern, dorthin geführt werden, wo die Laserstrahlung ausgesandt werden soll. Ferner kann so auch eine Sicherheit beim Betrieb des Systems verbessert werden, denn es sind deutlich einfachere Schutzmechanismen erforderlich als bei Hochleistungs-ps-Lasern.

[0032] Vorteilhaft ist es, wenn die Entfernungsmesseinrichtung der zweiten Bildaufnahmevorrich-

tung zugeordnet ist zum Messen der Entfernung zu einem orbitalen Objekt während dessen Nachverfolgung mit der zweiten Bildaufnahmeverrichtung. Wird das orbitale Objekt nachverfolgt, kann somit die Entfernungsmesseinrichtung stets auf das orbitale Objekt ausgerichtet bleiben, wodurch sich eine Entfernungsmessung noch präziser durchführen lässt.

[0033] Um das orbitale Objekt mit großer Sicherheit mit der von der Entfernungsmesseinrichtung ausgesandten Strahlung beaufschlagen zu können, ist es vorteilhaft, wenn die Entfernungsmesseinrichtung eine Aufweitungsoptik zum Aufweiten der vom Laser erzeugten Laserstrahlung umfasst. Auf diese Weise lässt sich ein Wirk-Querschnitt der ausgesandten Laserstrahlung vergrößern.

[0034] Zweite Bilder lassen sich auf einfache Weise dadurch erzeugen, dass die zweite Bildaufnahmeverrichtung eine zweite optische Abbildungseinrichtung umfasst.

[0035] Um ein sich bewegendes Objekt hochpräzise vermessen zu können, ist es günstig, wenn die zweite Abbildungseinrichtung in Form eines Teleskops ausgebildet ist. Insbesondere kann es sich dabei um ein Spiegelteleskop handeln. Je lichtstärker die zweite Abbildungseinrichtung ist, umso präziser lassen sich Positions- und/oder Bahnkurven orbitaler Objekte bestimmen. Je größer der Durchmesser des Teleskopes ist, desto kleinere Objekte lassen sich detektieren. Je länger die Brennweite des Teleskopes ist desto präziser ist die Messung.

[0036] Ferner ist es günstig, wenn der zweiten optischen Abbildungseinrichtung ein zweiter optischer Detektor zugeordnet ist zum Erzeugen zweiter Bilder durch orts aufgelöstes Messen der Intensität der mit der zweiten optischen Abbildungseinrichtung auf den zweiten Detektor abgebildeten elektromagnetischen Strahlung. Auf diese Weise lassen sich Bilder des Weltraums einfach und sicher aufnehmen. Ferner können sie automatisch elektronisch weiterverarbeitet werden, beispielsweise mit der Bildverarbeitungsvorrichtung.

[0037] Hochauflösende zweite Bilder können insbesondere dadurch auf einfache Weise erzeugt werden, dass der zweite Detektor in Form eines zweiten Detektorarrays oder eines zweiten CCD-Chips oder CMOS-Chips ausgebildet ist.

[0038] Besonders genau lassen sich Entfernungen mit der Entfernungsmesseinrichtung messen, wenn diese einen Strahlungsdetektor umfasst zum zeitaufgelösten Messen von am orbitalen Objekt reflektierter und/oder gestreuter Strahlungspulse.

[0039] Um insbesondere Positionen und/oder Flugbahnen von besonders lichtschwachen orbitalen Objekten bestimmen zu können, ist es vorteilhaft, wenn der Strahlungsdetektor in Form eines Ein-Photonen-Detektors ausgebildet ist.

[0040] Um eine Ausrichtung der zweiten Abbildungseinrichtung möglichst präzise vornehmen zu können, ist es günstig, wenn der zweiten Abbildungseinrichtung eine dritte optische Abbildungseinrichtung zugeordnet ist.

[0041] Vorteilhaft ist es, wenn die dritte optische Abbildungseinrichtung eine Weitwinkeloptik umfasst. Insbesondere kann es sich bei dieser um ein Weitwinkelteleskop handeln. Auf diese Weise lässt sich insbesondere ein größerer Ausschnitt des Weltraums erfassen als mit der zweiten optischen Abbildungseinrichtung allein.

[0042] Ferner ist es vorteilhaft, wenn das System eine zweite Nachführeinrichtung zum Nachführen der zweiten optischen Abbildungseinrichtung umfasst. Die zweite Nachführeinrichtung ermöglicht es insbesondere, orbitale Objekte automatisch nachzuverfolgen. So kann insbesondere erreicht werden, dass das nachverfolgte orbitale Objekt stets im selben Bereich der aufgenommenen zweiten Bilder angeordnet ist.

[0043] Für noch präzisere Messungen einer Position und/oder ein Flugbahn eines orbitalen Objekts ist es günstig, wenn die zweite Nachführeinrichtung ausgebildet ist zum Nachführen einer dritten optischen Abbildungseinrichtung. Insbesondere kann die dritte optische Abbildungseinrichtung synchron mit der zweiten optischen Abbildungseinrichtung nachgeführt werden, um das orbitale Objekt nachzuverfolgen.

[0044] Ein besonders einfacher und kompakter Aufbau des Systems lässt sich erreichen, wenn der Laser mit einem Lichtwellenleiter gekoppelt ist und wenn der Lichtwellenleiter zur zweiten Abbildungseinrichtung und/oder zur zweiten Nachführeinrichtung geführt ist zum Aussenden von Laserpulsen in Richtung auf das nachverfolgte orbitale Objekt. Diese Ausgestaltung ermöglicht es insbesondere, beim Nachverfolgen des orbitalen Objekts eine Entfernungsmessung durchzuführen. Ein komplizierter Aufbau und insbesondere eine weitere Nachführung für die Entfernungsmesseinrichtung sind dadurch nicht erforderlich. Optional können die Laserpulse auch entlang der Achsen einer astronomischen Montierung des Teleskops geführt werden. Allerdings erhöht sich dadurch die Komplexität der Montierung.

[0045] Vorteilhaft ist es, wenn das System eine Speichereinrichtung zum Speichern von Positions- und Bahninformationsdaten orbitaler Objekte umfasst. Soll lässt sich insbesondere eine Datenbank aufbauen, in der entsprechende Positions- und/oder Bahninformationsdaten gespeichert sind. Insbesondere lässt sich eine Speicherung entsprechender Daten automatisieren. Dies ermöglicht es insbesondere, vollautomatisch orbitale Objekte zu überwachen und deren Positions- und/oder Flugbahndaten kontinuierlich zu aktualisieren. Zur Detektion der bekannten orbitalen Objekte kann dann auf die in der Speichereinrichtung hinterlegten Positions- und/oder Bahninformationsdaten zurückgegriffen werden, beispielsweise um die erste und/oder die zweite Bildaufnahmeverrichtung zur entsprechenden Zeit in die richtige Richtung auf das bewegte orbitale Objekt ausrichten zu können.

[0046] Vorteilhaft ist es, wenn die erste Bildaufnahmeverrichtung einen ersten Erfassungswinkel aufweist, wenn die zweite Bildaufnahmeverrichtung einen zweiten Erfassungswinkel aufweist und wenn der erste Erfassungswinkel größer der zweite Erfassungswinkel ist. So lässt sich mit der ersten Bildaufnahmeverrichtung ein größerer Ausschnitt des Himmels oder des Weltraums erfassen, wogegen mit der zweiten Bildaufnahmeverrichtung eine präzisere Bestimmung von Positions- und/oder Flugbahndaten orbitaler Objekte möglich ist.

[0047] Um präzise Positions- und/oder Flugbahndaten orbitaler Objekte zu erhalten, ist es vorteilhaft, wenn der erste Erfassungswinkel etwa dreimal so groß ist wie der zweite Erfassungswinkel. Vorzugsweise ist der erste Erfassungswinkel mindestens etwa fünf-, besser noch mindestens etwa zehnmal so groß wie der zweite Erfassungswinkel.

[0048] Vorzugsweise liegt der erste Erfassungswinkel in einem Bereich von etwa 5° bis etwa 30° .

[0049] Vorteilhafterweise liegt der zweite Erfassungswinkel in einem Bereich von etwa $0,1^\circ$ bis etwa 3° .

[0050] Um insbesondere vom orbitalen Objekt reflektierte und/oder gestreute Strahlung sicher detektieren zu können, insbesondere für eine präzise Entfernungsmessung, ist es günstig, wenn die dritte Abbildungsoptik einen dritten Erfassungswinkel aufweist und wenn der dritte Erfassungswinkel größer ist als der zweite Erfassungswinkel. So kann insbesondere auch bei einer Abweichung einer Ausrichtung der zweiten Abbildungsoptik und der dritten Abbildungsoptik die Entfernung zum orbitalen Objekt noch hinreichend genau bestimmt werden.

[0051] Die nachfolgende Beschreibung bevorzugter Ausführungsformen der Erfindung dient im Zusammenhang mit den Zeichnungen der näheren Erläuterung. Es zeigen:

[0052] Figur 1: eine schematische Darstellung eines Systems zur Bestimmung und/oder Vorhersage einer Position und/oder einer Flugbahn eines orbitalen Objekts im Weltraum sowie einen schematischen Ablauf zur Bestimmung und/oder Vorhersage einer Position und/oder einer Flugbahn eines orbitalen Objekts im Weltraum;

[0053] Figur 2: eine schematische Darstellung des Ablaufs einer Zeitsynchronisation bei der Aufnahme erster und/oder zweiter Bilder;

[0054] Figur 3: eine schematische Darstellung der Entfernungsmessung zu orbitalen Objekten mit einer Laser-Messeinrichtung;

- [0055]** Figur 4: eine schematische Darstellung eines Aufbaus zur Trennung von von einem orbitalen Objekt reflektierter oder gestreuter Strahlung von vom orbitalen Objekt gestreuter Sonnenstrahlung;
- [0056]** Figur 5: eine schematische Darstellung eines Ablaufs zur Bestimmung von Positions- und/oder Flugbahndaten eines orbitalen Objekts;
- [0057]** Figur 6: eine schematische Darstellung eines Aufbaus eines Teils einer Laser-Entfernungsmesseinrichtung;
- [0058]** Figur 7: eine beispielhafte Darstellung zweier erster Bilder eines SL-16-Raketenkörpers vor dem Gesichtsfeld einer ersten optischen Bildaufnahmeverrichtung im Abstand von 14 Sekunden sowie ein mit einer zweiten Bildaufnahmeverrichtung aufgenommenes zweites Bild des SL-16-Raketenkörpers 16 Sekunden später;
- [0059]** Figur 8: eine beispielhafte Darstellung zweier erster Bilder, die mit einer ersten Bildaufnahmeverrichtung im Abstand von 14 Sekunden aufgenommen wurde einschließlich Ausschnittsvergrößerungen (links) sowie ein zweites Bild einer zweiten Bildaufnahmeverrichtung etwa 17 Sekunden später des Satelliten GLOBAL-STAR M003 in einer Entfernung von etwa 1922 km.
- [0060]** In Figur 1 ist schematisch ein System 10 zur Bestimmung und/oder Vorhersage einer Position und/oder einer Flugbahn eines orbitalen Objekts im Weltraum dargestellt. Es kann insbesondere zur Detektion und Bahnverfolgung orbitaler Objekte im erdnahen Weltraum genutzt werden, beispielsweise in einem Bereich von etwa 200 km bis etwa 4000 km Höhe, in welcher orbitale Objekte noch von der Sonne bestrahlt werden, so dass diese detektierbar sind.
- [0061]** Das System 10 umfasst eine erste optische Bildaufnahmeverrichtung 12 zum Aufnehmen von ersten Bildern 26, 28 des Weltraums 122 beziehungsweise eines Ausschnitts des Himmels.
- [0062]** Das System 10 umfasst ferner eine Bildverarbeitungsvorrichtung 14 zum Verarbeiten der mit der ersten Bildaufnahmeverrichtung 12 aufgenommenen ersten Bilder 26, 28 sowie zum Bestimmen von Positionskoordinaten orbitaler Objekte durch Vergleich von mindestens zwei aufgenommenen ersten Bildern 26, 28.
- [0063]** Des Weiteren umfasst das System 10 eine zweite optische Bildaufnahmeverrichtung 16. Diese ist auf die mit der Bildverarbeitungsvorrichtung 14 ermittelten Positionskoordinaten eines orbitalen Objekts ausrichtbar und zum Verfolgen desselben nachführbar.
- [0064]** Die Bildverarbeitungsvorrichtung 14 ist ferner ausgebildet zum Verarbeiten von mit der zweiten Bildaufnahmeverrichtung 16 aufgenommenen zweiten Bildern 72 und zum Bestimmen von Positionskoordinaten und orbitaler Objekte durch Vergleich von mindestens zwei aufgenommenen zweiten Bildern 72.
- [0065]** Die erste Bildaufnahmeverrichtung 12 umfasst eine oder mehrere erste optische Abbildungseinrichtungen 18. In Figur 1 sind schematisch zwei optische Abbildungseinrichtungen 18 dargestellt.
- [0066]** Die ersten optischen Abbildungseinrichtungen 18 sind in Form von Weitwinkeloptiken 20 ausgebildet. Beispielsweise können sie in Form einer Weitwinkelkamera ausgebildet sein, zum Beispiel in Form einer Digitalkamera.
- [0067]** Jeder der ersten optischen Abbildungseinrichtungen 18 ist ein erster optischer Detektor 22 zugeordnet.
- [0068]** Die ersten optischen Detektoren 22 können beispielsweise in Form von ersten Detektor-Array oder CCD-Chips ausgebildet sein.
- [0069]** Mit dem optischen Detektor 22 werden digitale erste Bilder 26, 28 erzeugt durch ortsaufgelöstes Messen der Intensität von mit den ersten optischen Abbildungseinrichtungen 18 auf den ersten Detektor 22 abgebildeter elektromagnetischer Strahlung 24, die aus dem Weltraum 122 mit den ersten optischen Abbildungseinrichtungen 18 auf die ersten optischen Detektoren 22 ab-

gebildet wird. So entstehen zweidimensionale erste Bilder 26 und 28, wie sie schematisch und beispielhaft in Figur 7 dargestellt sind. Weitere Beispiele erster Bilder 26 und 28 sind zudem in Figur 8 links mit Ausschnittsvergrößerungen dargestellt.

[0070] In den ersten Bildern 26 und 28 sind Bahnsuren eines orbitalen Objekts, nämlich eines SL-16-Raketenkörpers, in einer Entfernung von etwa 759 km durch die Kreise 30 zu den angegebenen Zeitpunkten gekennzeichnet.

[0071] In Figur 8 sind Bahnsuren des Satelliten GLOBALSTAR M003 in einer Entfernung von etwa 1922 km dargestellt und in den Ausschnittsvergrößerungen jeweils durch einen Kreis 32 gekennzeichnet. Auch hier sind wieder die genauen Aufnahmezeiten im jeweiligen ersten Bild 26 beziehungsweise 28 angegeben.

[0072] Die erste Bildaufnahmeverrichtung 12 ist mit der Bildverarbeitungsvorrichtung 14 zusammenwirkend ausgebildet. Die Messsignale der ersten optischen Detektoren 22 werden über eine entsprechende Datenverbindung 34 an die Bildverarbeitungsvorrichtung 14 übertragen. Diese kann insbesondere eine Datenverarbeitungseinrichtung umfassen oder in Form einer solchen ausgebildet sein.

[0073] Die ersten Bilder 26 und 28 sind zweidimensional. Dies ergibt sich typischerweise aufgrund des Aufbaus der ersten optischen Detektoren 22.

[0074] Die Bildverarbeitungsvorrichtung 14 ist zudem derart ausgebildet, dass die Positionskoordinaten des orbitalen Objekts in einem ersten Detektorkoordinatensystem korrespondierend zu den zweidimensionalen ersten Bildern 26 und 28 ermittelt und dann in Positionskoordinaten in einem Referenzkoordinatensystem umgerechnet werden können.

[0075] Das Detektorkoordinatensystem ist im vorliegenden Fall zweidimensional, das Referenzkoordinatensystem dreidimensional. Insbesondere kann es sich dabei um Kugelkoordinatensystem handeln. Für eine universelle Weiterverarbeitung der Positions- und/oder Flugbahndaten kann das Referenzkoordinatensystem beispielsweise durch das Sternkoordinatensystem gebildet werden.

[0076] Optional kann den ersten optischen Abbildungseinrichtungen 18 jeweils eine erste Nachführeinrichtung 36 zugeordnet sein, um die ersten optischen Abbildungseinrichtungen 18 gezielt zu bewegen. So können die ersten optischen Abbildungseinrichtungen 18 stets auf den selben Ausschnitt des Sternenhimmels ausgerichtet werden. Die erste Nachführeinrichtung 36 kann insbesondere in Form einer herkömmlichen astronomischen Montierung 38 ausgebildet sein.

[0077] Das System 10 kann ferner eine Zeitsynchronisationsvorrichtung 40 umfassen, welche jedem der mit der ersten Bildaufnahmeverrichtung 12 aufgenommenen ersten Bilder 26, 28 eine Aufnahmezeit zuordnet. Beispielsweise sind in den Figuren 7 und 8 in den ersten Bilder 26 und 30 die jeweiligen Aufnahmezeiten, die diesen Bildern zugeordnet sind, angegeben.

[0078] Die Zeitsynchronisationsvorrichtung 40 umfasst einen GPS-Empfänger 42, um als Systemzeit eine GPS-Zeit zu empfangen.

[0079] Die Zeitsynchronisationsvorrichtung 40 ist sowohl mit der ersten Bildaufnahmeverrichtung 12 als auch mit der ersten Bildverarbeitungsvorrichtung 14 als auch mit der zweiten Bildaufnahmeverrichtung 16 zusammenwirkend angeordnet beziehungsweise ausgebildet und steuerungs- wirksam verbunden.

[0080] Die Zeitsynchronisationsvorrichtung 40 umfasst ferner einen Mikrocontroller 44. So wird beispielsweise beim Auslösen der ersten optischen Abbildungseinrichtung 18 beim Erzeugen eines ersten Bildes 26 oder 28 ein Triggersignal an die Zeitsynchronisationsvorrichtung 40 übertragen. Die Zeitsynchronisationsvorrichtung 40 überträgt im Gegenzug ein Zeitsignal an die erste optische Bildaufnahmeverrichtung 12, welches dann mit den Bilddaten der ersten Bilder 26 und 28 zusammen an die Bildverarbeitungsvorrichtung 14 übertragen wird. Figur 2 zeigt diesen Ablauf schematisch.

[0081] Die Datenübertragung von der ersten optischen Bildaufnahmeverrichtung 12 zu einer Da-

tenverarbeitungseinrichtung 46, beispielsweise einem PC, kann insbesondere kabelgebunden über USB- oder Ethernet-Schnittstellen erfolgen. In analoger Weise kann eine Datenübertragung vom Mikrocontroller 44 zur Datenverarbeitungseinrichtung 46 kabelgebunden erfolgen.

[0082] Das System 10 umfasst ferner eine Entfernungsmesseinrichtung 48 zum Messen einer Entfernung zu einem orbitalen Objekt.

[0083] Die Entfernungsmesseinrichtung 48 ist in Form einer Laser-Entfernungsmesseinrichtung 50 ausgebildet und umfasst einen Laser 52 zum Erzeugen von Laserstrahlung 60 in Form von Laserpulsen 54. Der Laser 52 kann in Form eines PulsLasers 56 ausgebildet sein. Mit ihm können insbesondere kurze Laserpulse 54, beispielsweise mit Pulsbreiten 58 im ns-Bereich, erzeugt werden.

[0084] Eine Wellenlänge der vom Laser 52 erzeugten Laserstrahlung 60 liegt vorzugsweise im infraroten Spektralbereich.

[0085] Die Entfernungsmesseinrichtung 48 ist der zweiten Bildaufnahmeverrichtung 16 zugeordnet. Dies ermöglicht die Messung einer Entfernung zu einem orbitalen Objekt während dessen Nachverfolgung mit der zweiten Bildaufnahmeverrichtung 16.

[0086] Für die Nachverfolgung ist eine zweite Nachführeinrichtung 62 vorgesehen, mit welcher die zweite Bildaufnahmeverrichtung 16, insbesondere eine von dieser umfasste zweite optische Abbildungseinrichtung 64, positioniert und/oder ausgerichtet werden kann.

[0087] Die zweite Nachführeinrichtung 62 kann insbesondere in Form einer herkömmlichen astronomischen Montierung 66 ausgebildet sein.

[0088] Die zweite Abbildungseinrichtung 64 ist in Form eines Teleskops 68 ausgebildet. Beispielsweise kann es sich dabei um ein Spiegelteleskop handeln.

[0089] Der zweiten optischen Abbildungseinrichtung 64 ist ein zweiter optischer Detektor 70 zugeordnet zum Erzeugen zweiter Bilder 72. Derartige zweite Bilder sind beispielhaft in den Figuren 8 und 9 rechts dargestellt.

[0090] Die zweiten Bilder 72 werden ebenso wie die ersten Bilder 26 und 28 durch orts aufgelöstes Messen der Intensität der mit der zweiten optischen Abbildungseinrichtung 64 auf den zweiten Detektor 70 abgebildeten elektromagnetischen Strahlung 74 erzeugt.

[0091] Der zweite Detektor 70 kann ebenfalls in Form eines zweiten Detektor-Arrays oder eines zweiten CCD-Chips ausgebildet sein.

[0092] Die Entfernungsmesseinrichtung 48 umfasst einen Strahlungsdetektor 76. Dieser ermöglicht es, von am orbitalen Objekt reflektierte und/oder gestreute Strahlungspulse 78 zu detektieren. Um hier überhaupt Signale messen zu können, ist der Strahlungsdetektor 76 vorzugsweise in Form eines Ein-Photonen-Detektors 80 ausgebildet.

[0093] Der zweiten Abbildungseinrichtung 64 kann optional eine dritte optische Abbildungseinrichtung 82 zugeordnet sein, die schematisch in Figur 1 dargestellt ist.

[0094] Insbesondere kann es sich bei dieser um eine Weitwinkeloptik handeln, beispielsweise in Form eines Weitwinkelteleskops.

[0095] Die zweite Nachführeinrichtung 62 ist ausgebildet zum Nachführen der dritten optischen Abbildungseinrichtung 82. Insbesondere kann die dritte optische Abbildungseinrichtung 82 starr mit der zweiten optischen Abbildungseinrichtung 64 gekoppelt sein, so dass diese synchron nachgeführt werden können.

[0096] Der Laser 52 der Entfernungsmesseinrichtung 48 ist über einen Lichtwellenleiter 84 mit der zweiten Abbildungseinrichtung 64 beziehungsweise der zweiten Nachführeinrichtung 82 gekoppelt und zu dieser geführt. Dies ermöglicht es insbesondere, die Laserpulse 54 in Richtung des nachverfolgten orbitalen Objekts auszusenden.

[0097] Um einen Wirkquerschnitt der vom Laser 52 ausgesandten Laserpulse 54 zu vergrößern,

umfasst die Entfernungsmesseinrichtung 58 eine Aufweitungsoptik 86.

[0098] Die ermittelten Positions- und/oder Bahninformationsdaten orbitaler Objekte können insbesondere in einer Speichereinrichtung 88 gespeichert werden. Auf diese Weise lässt sich eine Datenbank für orbitale Objekte anlegen.

[0099] Durch die genaue Vermessung einer Entfernung zum verfolgten orbitalen Objekt ist eine präzise Bahnvorhersage möglich. So können Kollisionen orbitaler Objekte rechtzeitig vermieden werden, indem die Flugbahn eines oder beider orbitaler Objekte rechtzeitig vor einer potentiellen Kollision geändert wird.

[00100] Das System 10 kann ferner einer Steuer- und/oder Regelungseinrichtung 90 umfassen, mit welcher insbesondere die Nachführeinrichtungen 36 und 62, wie schematisch in Figur 1 dargestellt, angesteuert werden können, um die Abbildungseinrichtungen 18 und 64 dem zu detektierenden und zu vermessenden orbitalen Objekts nachzuführen.

[00101] Zur Auftrennung der Infrarotstrahlung des Lasers 52 von der Strahlung 24 und der sichtbaren Strahlung beispielsweise des von der Sonne beleuchteten orbitalen Objekts, kann eine gemeinsame Apertur genutzt werden. In den Strahlengang vor der zweiten optischen Abbildungseinrichtung 64 wird ein selektiver Spiegel 92 eingesetzt, welcher die vom orbitalen Objekt reflektierten oder gestreuten Strahlungspulse 78 über einen Umlenkspiegel 94 auskoppelt und auf den Ein-Photonen-Detektor 80 umlenkt. Um Hintergrundstrahlung, die die zurückgestreute Laserstrahlung überlagert, herauszufiltern, ist vor den Ein-Photonen-Detektors 80 in den Strahlengang ein Filter 96 in Form eines Bandpassfilters eingesetzt, der nur Strahlung der vom Laser 52 ausgesandten Wellenlänge durchlässt.

[00102] Der Ein-Photonen-Detektor 80 kann einfallende Strahlungspulse 78 mit hoher Zeitauflösung aufzeichnen. Zu diesem Zweck müssen die ausgesandten Laserpulse 54 mit den empfangenen Strahlungspulsen 78 mittels geeigneter Datenauswertung in Übereinstimmung gebracht werden. Dies ist ein bei der Laser-Entfernungsmessung für den Fachmann bekanntes Vorgehen und muss daher nicht näher erläutert werden.

[00103] Figur 6 zeigt schematisch die Funktionsweise der Aufweitungsoptik 86. Diese sorgt dafür, dass die Laserpulse 54 geeignet aufgeweitet und in die richtige Richtung gelenkt werden, damit sie das zu vermessende orbitale Objekt auch tatsächlich treffen.

[00104] Die Aufweitungsoptik 86 umfasst zwei optische Linsen 98 und 100, die so justiert sind, dass sie einen gemeinsamen Brennpunkt 102 definieren. So lässt sich ein Strahl 104 der Laserpulse 54 in gewünschter Weise aufweiten.

[00105] Ein Retroreflektor 106 am orbitalen Objekt reflektiert einen Teil der Strahlung in die gleiche Richtung zurück in die Aufweitungsoptik 86. Die rückreflektierte Strahlung trifft auf einen optischen Filter 108, welcher das Laserlicht reflektiert und die übrige Strahlung 24 durchlässt. Diese wird auf den zweiten Detektor 70 abgebildet.

[00106] Die rückreflektierte Laserstrahlung wird durch einen Strahlteiler 110 geführt, so dass die am orbitalen Objekt reflektierten oder gestreuten Strahlungspulse 78 auf den Strahlungsdetektor 76 treffen.

[00107] Um die Strahlungspulse 54 in definierter Weise auf das orbitale Objekt zu senden, ist ein beweglicher Spiegel oder Kollimator 112 mit dem Lichtwellenleiter 84 gekoppelt, welcher eine Richtung der Laserpulse 54 in gewünschter Weise durch entsprechende Ansteuerung automatisch ändern kann.

[00108] Die erste Bildaufnahmeverrichtung 12 definiert einen ersten Erfassungswinkel 114, die zweite Bildaufnahmeverrichtung 16 einen zweiten Erfassungswinkel 116. Der erste Erfassungswinkel 114 ist größer als der zweite Erfassungswinkel 116.

[00109] Der erste Erfassungswinkel 114 liegt vorzugsweise in einem Bereich von etwa 5° bis etwa 30°.

[00110] Der zweite Erfassungswinkel 116 liegt vorzugsweise in einem Bereich von etwa $0,1^\circ$ bis etwa 3° .

[00111] Die dritte Abbildungseinrichtung 82 weist einen dritten Erfassungswinkel 118 auf, welcher größer als der zweite Erfassungswinkel 116, jedoch kleiner als der erste Erfassungswinkel 114 ist.

[00112] Der dritten Abbildungseinrichtung 82 kann ferner ein dritter Detektor 120 zugeordnet sein. Die dritte Abbildungseinrichtung 82 wird vorzugsweise dann eingesetzt, wenn die zweite Abbildungseinrichtung 64 einen Erfassungswinkel von weniger als 1° aufweist.

[00113] Die zweite Abbildungseinrichtung 64 und die dritte Abbildungseinrichtung 82 sind dabei derart ausgerichtet, dass sie dieselbe Blickrichtung aufweisen und insbesondere eine kontinuierliche Nachverfolgung des orbitalen Objekts verbessern.

[00114] Wird die dritte Abbildungseinrichtung 82 eingesetzt, können niedrigere Anforderungen an die erste optische Abbildungseinrichtung 18 gestellt werden. Dies hilft insbesondere Kosten bei der Ausbildung des Systems 10 einzusparen.

[00115] In Figur 6 ist nochmals eine alternative Darstellung eines Systems 10 schematisch dargestellt. Hier sind ebenfalls die bereits oben verwendeten Bezugszeichen für identische Elemente genutzt.

[00116] Mit der ersten Bildaufnahmeverrichtung 12 werden kontinuierlich erste Bilder 26, 28 aufgenommen. Diese werden mit der Bildverarbeitungsvorrichtung 14 weiterverarbeitet. Auf diese Weise werden erste Positions- und/oder Bahndaten 124 ermittelt, die benötigt werden, um die zweite Nachführeinrichtung 62 anzusteuern zum Ausrichten der zweiten Abbildungseinrichtung 64 auf das zu verfolgende orbitale Objekt.

[00117] Mit der zweiten optischen Bildaufnahmeverrichtung 16 wird dann die Nachverfolgung des orbitalen Objekts durchgeführt. Ferner werden zweite Bilder 72 aufgenommen, die dann der Bildverarbeitungsvorrichtung 14 zugeführt werden.

[00118] Abschließend werden präzise Positions- und/oder Bahndaten berechnet und in der Speichereinrichtung 88 abgelegt.

[00119] Die oben beschriebenen Systeme 10 ermöglichen insbesondere auch optische Datenkommunikation auf bewegte Ziele, beispielsweise Flugzeuge oder Satelliten.

[00120] Ferner können die Systeme 10 auch eingesetzt werden zur Katalogisierung von erdnahe Objekten im Weltraum.

[00121] Des Weiteren können durch entsprechende Modifikation auch Flugbahnen anderer Flugobjekte, beispielsweise von Flugzeugen, nachverfolgt werden.

[00122] Ferner können, wie in Figur 1 schematisch dargestellt, zwei - optional auch noch mehr - erste Abbildungseinrichtungen 18 eingesetzt und an räumlich voneinander getrennten Orten betrieben werden. Sie können insbesondere denselben Himmelsausschnitt betrachten beziehungsweise überwachen. Ein Abstand der beiden ersten Abbildungseinrichtungen 18 wird vorzugsweise derart gewählt, dass unter Berücksichtigung dieses Abstands der beiden Abbildungseinrichtungen 18 und den gemessenen Winkelkoordinaten eines orbitalen Objekts eine Entfernung zu diesem bestimmt werden kann. Bei einem derartigen Systemaufbau ist eine zeitliche Synchronisation von beiden Abbildungseinrichtungen 18 erforderlich, damit erste Bilder 26 beziehungsweise 28 zur gleichen Zeit aufgenommen werden können.

BEZUGSZEICHENLISTE

10	System
12	erste optische Bildaufnahmevorrichtung
14	Bildverarbeitungsvorrichtung
16	zweite optische Bildaufnahmevorrichtung
18	erste optische Abbildungseinrichtung
20	Weitwinkeloptik
22	erster optischer Detektor
24	Strahlung
26	erstes Bild
28	zweites Bild
30	Kreis
32	Kreis
34	Datenverbindung
36	erste Nachführeinrichtung
38	Montierung
40	Zeitsynchronisationseinrichtung
42	GPS-Empfänger
44	Mikrocontroller
46	Datenverarbeitungseinrichtung
48	Entfernungsmesseinrichtung
50	Laser-Entfernungsmesseinrichtung
52	Laser
54	Laserpulse
56	Puls-Laser
58	Pulsbreite
60	Laserstrahlung
62	zweite Nachführeinrichtung
64	zweite optische Abbildungseinrichtung
66	Montierung
68	Teleskop
70	zweiter optischer Detektor
72	zweites Bild
74	Strahlung

76	Strahlungsdetektor
78	Strahlungspuls
80	Ein-Photonen-Detektor
82	dritte optische Abbildungseinrichtung
84	Lichtwellenleiter
86	Aufweitungsoptik
88	Speichereinrichtung
90	Steuer- und/oder Regelungseinrichtung
92	Spiegel
94	Umlenkspiegel
96	Filter
98	Linse
100	Linse
102	Brennpunkt
104	Strahl
106	Retroreflektor
108	Filter
110	Strahlteiler
112	Kollimator
114	erster Erfassungswinkel
116	zweiter Erfassungswinkel
118	dritter Erfassungswinkel
120	dritter Detektor
122	Weltraum
124	erste Positions- und/oder Bahndaten

Ansprüche

1. System (10) zur Bestimmung und/oder Vorhersage einer Position und/oder einer Flugbahn von orbitalen Objekten im Weltraum (122), insbesondere im erdnahen Weltraum (122), umfassend eine erste optische Bildaufnahmevorrichtung (12) zum Aufnehmen von ersten Bildern des Weltraums (122), eine Bildverarbeitungsvorrichtung (14) zum Verarbeiten der mit der ersten Bildaufnahmevorrichtung (12) aufgenommenen ersten Bilder und zum Bestimmen von Positionskoordinaten orbitaler Objekte durch Vergleich von mindestens zwei aufgenommenen ersten Bildern, **dadurch gekennzeichnet**, dass das System (10) eine zweite optische Bildaufnahmevorrichtung (16) umfasst, welche auf die mit der Bildverarbeitungsvorrichtung (14) bestimmten Positionskoordinaten eines orbitalen Objekts ausrichtbar und zum Verfolgen desselben nachführbar ist.
2. System nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Bildverarbeitungsvorrichtung (14) ausgebildet ist zum Verarbeiten von mit der zweiten Bildaufnahmevorrichtung (16) aufgenommenen zweiten Bildern (72) und zum Bestimmen von Positionskoordinaten orbitaler Objekte durch Vergleich von mindestens zwei aufgenommenen zweiten Bildern (72).
3. System nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die erste Bildaufnahmevorrichtung (12) mindestens eine erste optische Abbildungseinrichtung (18) umfasst.
4. System nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass die mindestens eine erste optische Abbildungseinrichtung (18) in Form einer Weitwinkeloptik (20), insbesondere in Form einer Weitwinkelkamera, ausgebildet ist.
5. System nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Weitwinkelkamera in Form einer Digitalkamera ausgebildet ist.
6. System nach einem der Ansprüche 3 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass der mindestens einen ersten optischen Abbildungseinrichtung (18) ein erster optischer Detektor (22) zugeordnet ist zum Erzeugen der ersten Bilder (26, 28) durch orts aufgelöstes Messen der Intensität von mit der mindestens einen ersten optischen Abbildungseinrichtung (18) auf den ersten Detektor (22) abgebildeten elektromagnetischen Strahlung (24).
7. System nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass der erste Detektor (22) in Form eines ersten Detektorarrays oder eines ersten CCD-Chips oder CMOS-Chips ausgebildet ist.
8. System nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die erste Bildaufnahmevorrichtung (12) mit der Bildverarbeitungsvorrichtung (14) zusammenwirkend ausgebildet ist.
9. System nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Bildverarbeitungsvorrichtung (14) ausgebildet ist zum Bestimmen der Positionskoordinaten des orbitalen Objekts in einem ersten Detektorkoordinatensystem und zum Umrechnen der Positionskoordinaten vom ersten Detektorkoordinatensystem in ein Referenzkoordinatensystem.
10. System nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Detektorkoordinatensystem zweidimensional ist.
11. System nach Anspruch 9 oder 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Referenzkoordinatensystem dreidimensional ist, insbesondere ein Kugelkoordinatensystem.
12. System nach einem der Ansprüche 9 bis 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Referenzkoordinatensystem durch das Sternenkoordinatensystem gebildet ist.
13. System nach einem der voranstehenden Ansprüche, **gekennzeichnet durch** eine erste Nachführeinrichtung (36) zum Nachführen der mindestens einen ersten optischen Abbildungseinrichtung (18).

14. System nach einem der voranstehenden Ansprüche, **gekennzeichnet durch** eine Zeitsynchronisationsvorrichtung (40) zum Zuordnen einer Aufnahmezeit jedem der mit der ersten Bildaufnahmeverrichtung (12) aufgenommenen ersten Bilder (26, 28) und/oder jedem der mit der zweiten Bildaufnahmeverrichtung aufgenommenen zweiten Bilder (72).
15. System nach Anspruch 14, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Zeitsynchronisationsvorrichtung (40) einen GPS-Empfänger (42) umfasst.
16. System nach Anspruch 14 oder 15, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Zeitsynchronisationsvorrichtung (40) mit der ersten Bildaufnahmeverrichtung (12) und/oder mit der Bildverarbeitungsvorrichtung (14) und/oder mit der zweiten Bildaufnahmeverrichtung (16) zusammenwirkend angeordnet oder ausgebildet ist.
17. System nach einem der voranstehenden Ansprüche, **gekennzeichnet durch** eine Entfernungsmesseinrichtung (48) zum Messen einer Entfernung zu einem orbitalen Objekt.
18. System nach Anspruch 17, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Entfernungsmesseinrichtung (48) in Form einer Laser-Entfernungsmesseinrichtung (50) ausgebildet ist.
19. System nach Anspruch 17 oder 18, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Entfernungsmesseinrichtung (48) einen Laser (52) zum Erzeugen von Laserpulsen (54) umfasst.
20. System nach Anspruch 19, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Laser in Form eines PulsLasers (56) zum Erzeugen von kurzen Laserpulsen, insbesondere mit Pulsbreiten (58) im ns-Bereich, ausgebildet ist.
21. System nach einem der Ansprüche 17 bis 20, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Entfernungsmesseinrichtung (48) der zweiten Bildaufnahmeverrichtung (16) zugeordnet ist zum Messen der Entfernung zu einem orbitalen Objekt während dessen Nachverfolgung mit der zweiten Bildaufnahmeverrichtung (16).
22. System nach einem der Ansprüche 19 bis 20, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Entfernungsmesseinrichtung (48) eine Aufweitungsoptik (86) zum Aufweiten der vom Laser (52) erzeugten Laserstrahlung (54) umfasst.
23. System nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die zweite Bildaufnahmeverrichtung (16) eine zweite optische Abbildungseinrichtung (64) umfasst.
24. System nach Anspruch 23, **dadurch gekennzeichnet**, dass die zweite Abbildungseinrichtung (64) in Form eines Teleskops (68), insbesondere in Form eines Spiegelteleskops, ausgebildet ist.
25. System nach Anspruch 23 oder 24, **dadurch gekennzeichnet**, dass der zweiten optischen Abbildungseinrichtung (64) ein zweiter optischer Detektor (70) zugeordnet ist zum Erzeugen zweiter Bilder (72) durch orts aufgelöstes Messen der Intensität der mit der zweiten optischen Abbildungseinrichtung (64) auf den zweiten Detektor (70) abgebildeten elektromagnetischen Strahlung (74).
26. System nach Anspruch 25, **dadurch gekennzeichnet**, dass der zweite Detektor (70) in Form eines zweiten Detektorarrays oder eines zweiten CCD-Chips oder CMOS-Chips ausgebildet ist.
27. System nach einem der Ansprüche 17 bis 26, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Entfernungsmesseinrichtung (48) einen Strahlungsdetektor (76) umfasst zum zeitaufgelösten Messen von am orbitalen Objekt reflektierter und/oder gestreuter Strahlungspulse (78).
28. System nach Anspruch 27, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Strahlungsdetektor (76) in Form eines Ein-Photonen-Detektors (80) ausgebildet ist.
29. System nach einem der Ansprüche 23 bis 28, **dadurch gekennzeichnet**, dass der zweiten Abbildungseinrichtung (64) eine dritte optische Abbildungseinrichtung (82) zugeordnet ist.

30. System nach Anspruch 29, **dadurch gekennzeichnet**, dass die dritte optische Abbildungseinrichtung (82) eine Weitwinkeloptik, insbesondere in Form eines Weitwinkelteleskop, umfasst.
31. System nach einem der Ansprüche 23 bis 30, **gekennzeichnet durch** eine zweite Nachführeinrichtung (62) zum Nachführen der zweiten optischen Abbildungseinrichtung (64).
32. System nach Anspruch 31, **dadurch gekennzeichnet**, dass die zweite Nachführeinrichtung (62) ausgebildet ist zum Nachführen der dritten optischen Abbildungseinrichtung (82).
33. System nach einem der Ansprüche 19 bis 32, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Laser (52) mit einem Lichtwellenleiter (84) gekoppelt ist und dass der Lichtwellenleiter (84) zur zweiten Abbildungseinrichtung (64) und/oder zur zweiten Nachführeinrichtung (62) geführt ist zum Aussenden von Laserpulsen (54) in Richtung auf das nachverfolgte orbitale Objekt.
34. System nach einem der voranstehenden Ansprüche, **gekennzeichnet durch** eine Speichereinrichtung (88) zum Speichern von Positions- und/oder Bahninformationsdaten orbitaler Objekte.
35. System nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die erste Bildaufnahmevorrichtung (12) einen ersten Erfassungswinkel (114) aufweist, dass die zweite Bildaufnahmevorrichtung (16) einen zweiten Erfassungswinkel (116) aufweist und dass der erste Erfassungswinkel (114) größer als der zweite Erfassungswinkel (116) ist.
36. System nach Anspruch 35, **dadurch gekennzeichnet**, dass der erste Erfassungswinkel (114) mindestens etwa dreimal so groß ist wie der zweite Erfassungswinkel.
37. System nach Anspruch 35 oder 36, **dadurch gekennzeichnet**, dass der erste Erfassungswinkel (116) in einem Bereich von etwa 5° bis etwa 30° liegt.
38. System nach einem der Ansprüche bis, **dadurch gekennzeichnet**, dass der zweite Erfassungswinkel in einem Bereich von etwa 0,1° bis etwa 3° liegt.
39. System nach einem der Ansprüche 35 bis 38, **dadurch gekennzeichnet**, dass die dritte Abbildungseinrichtung (82) einen dritten Erfassungswinkel (118) aufweist und dass der dritte Erfassungswinkel (118) größer ist als der zweite Erfassungswinkel (118).

Hierzu 6 Blatt Zeichnungen

FIG. 1

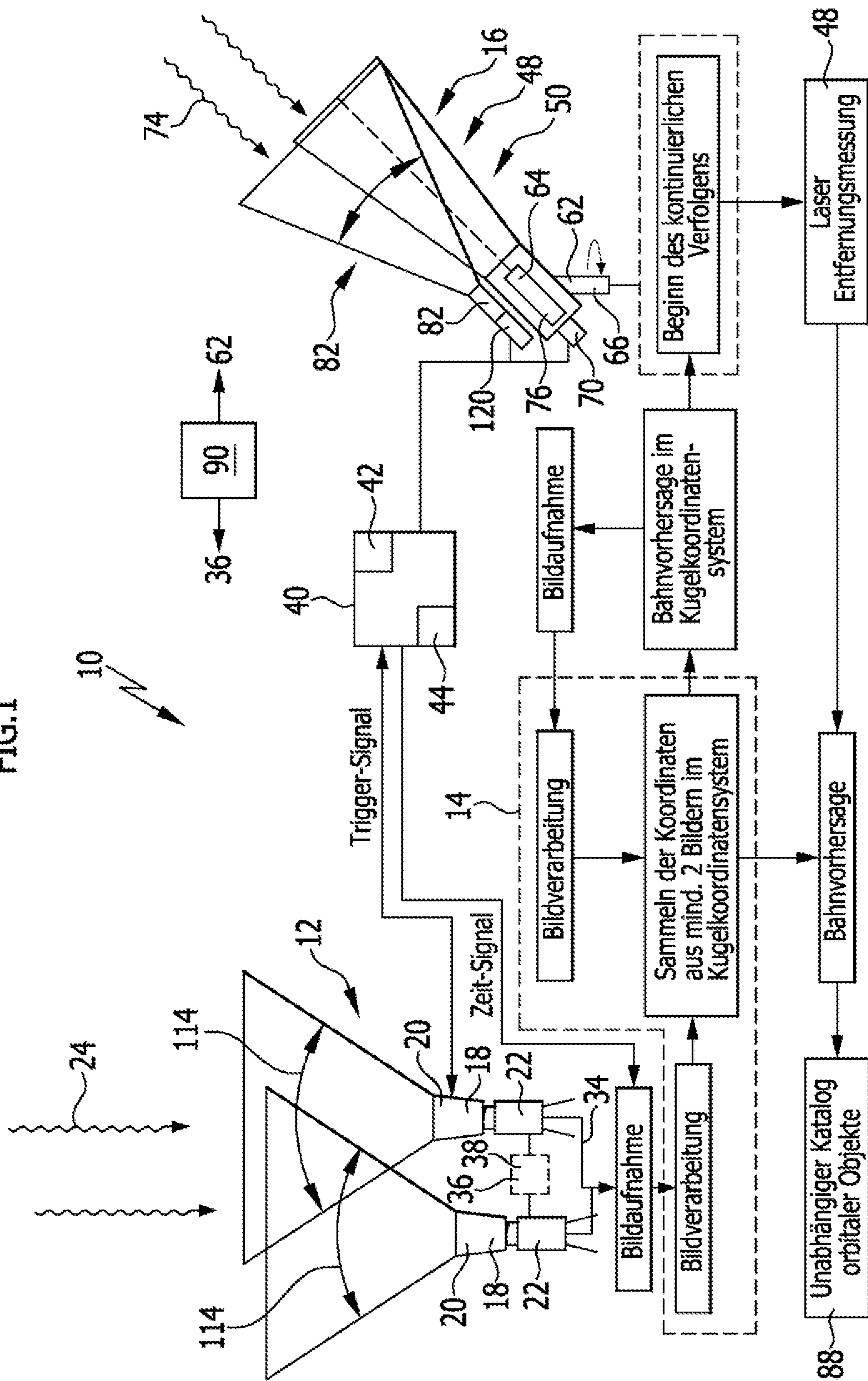


FIG.2

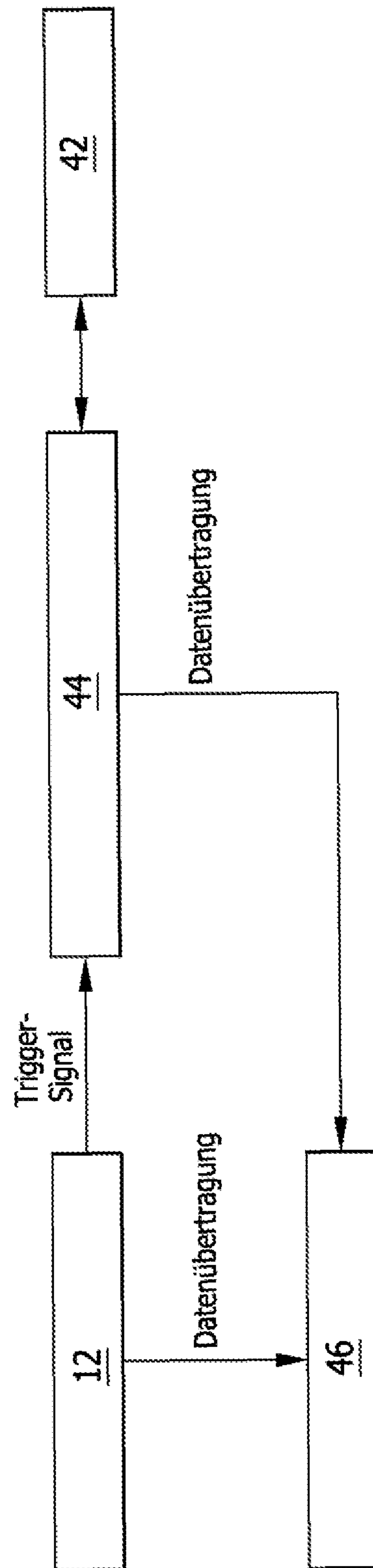


FIG.3

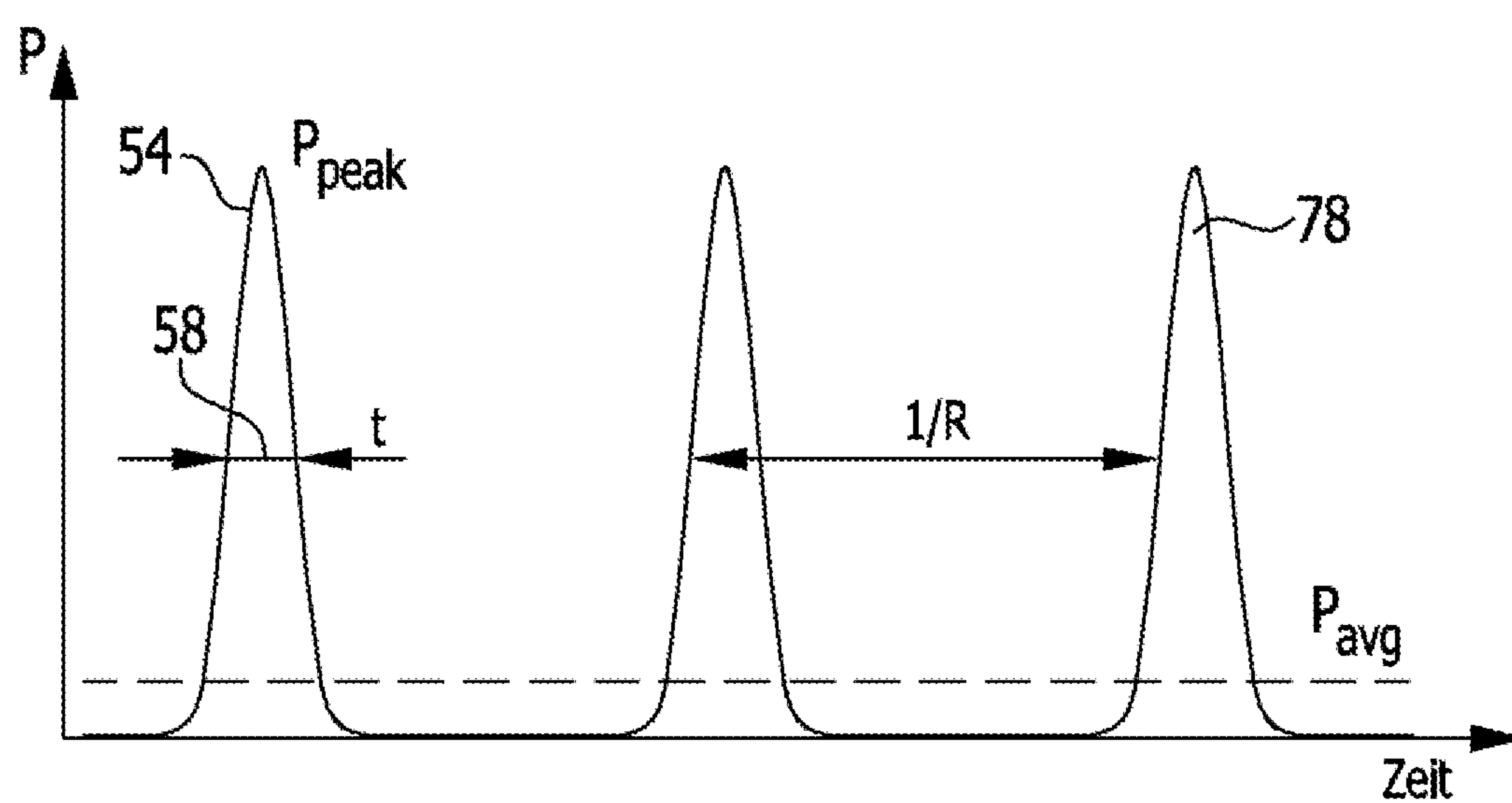
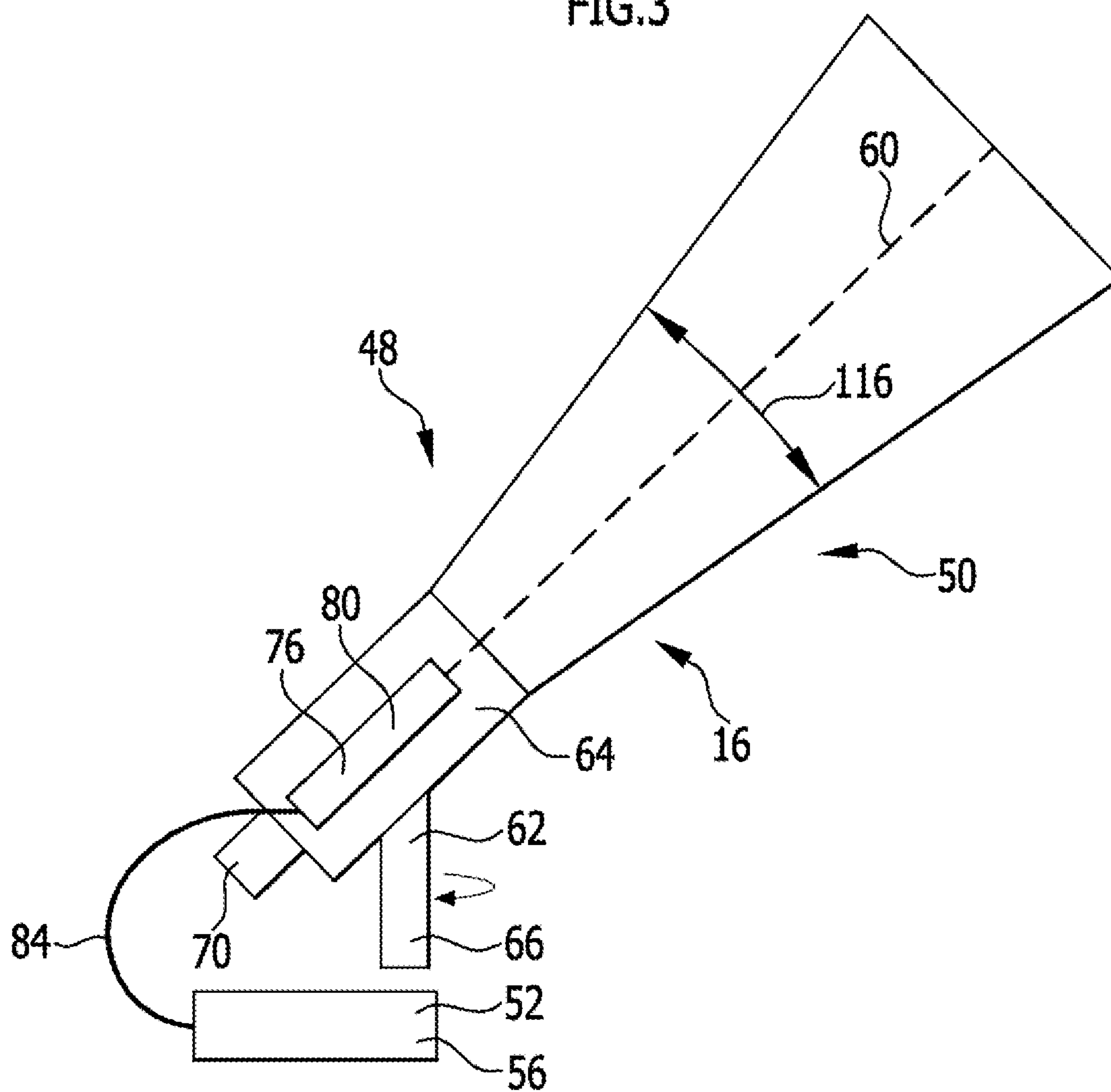


FIG.4

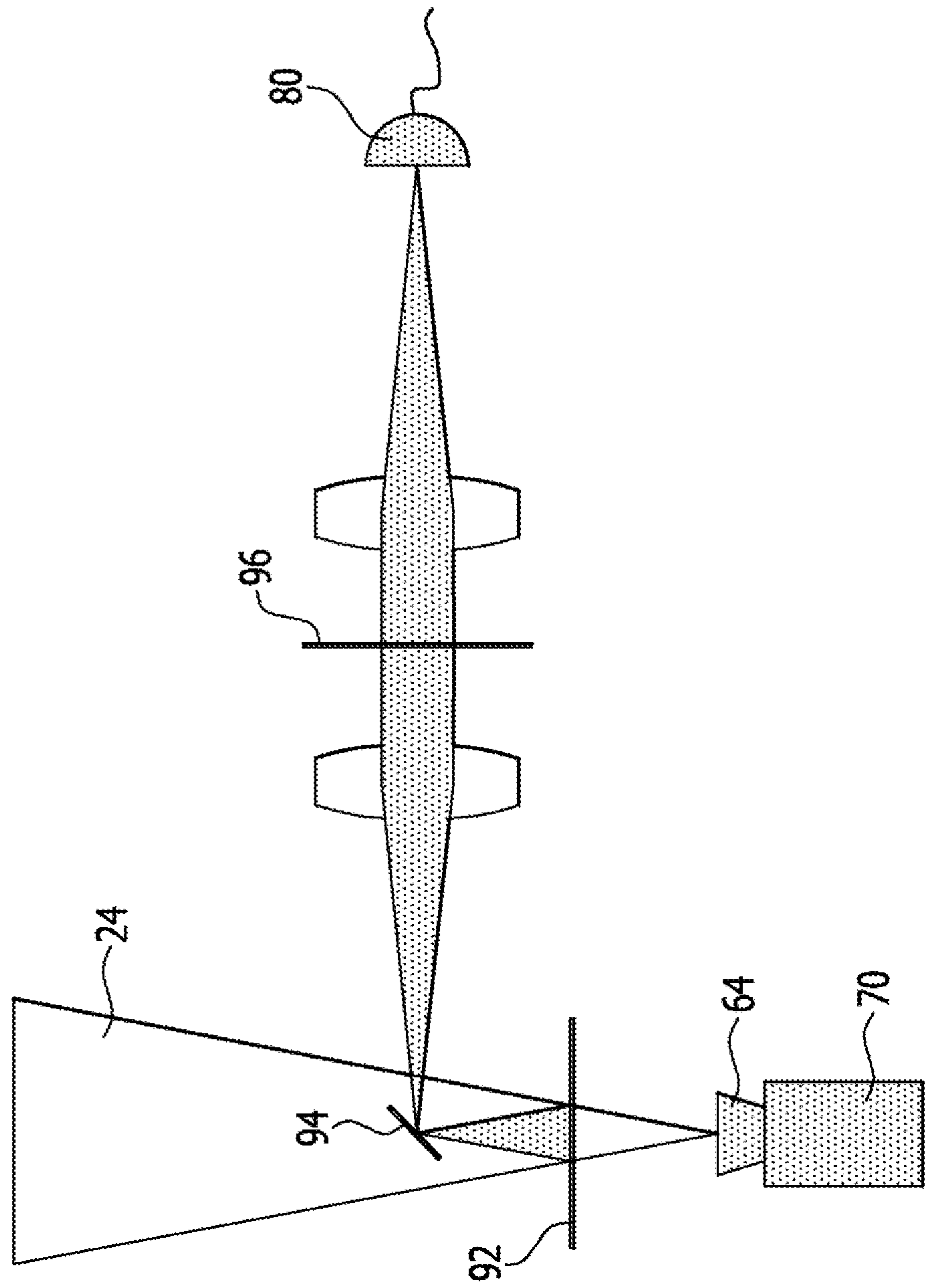


FIG.5

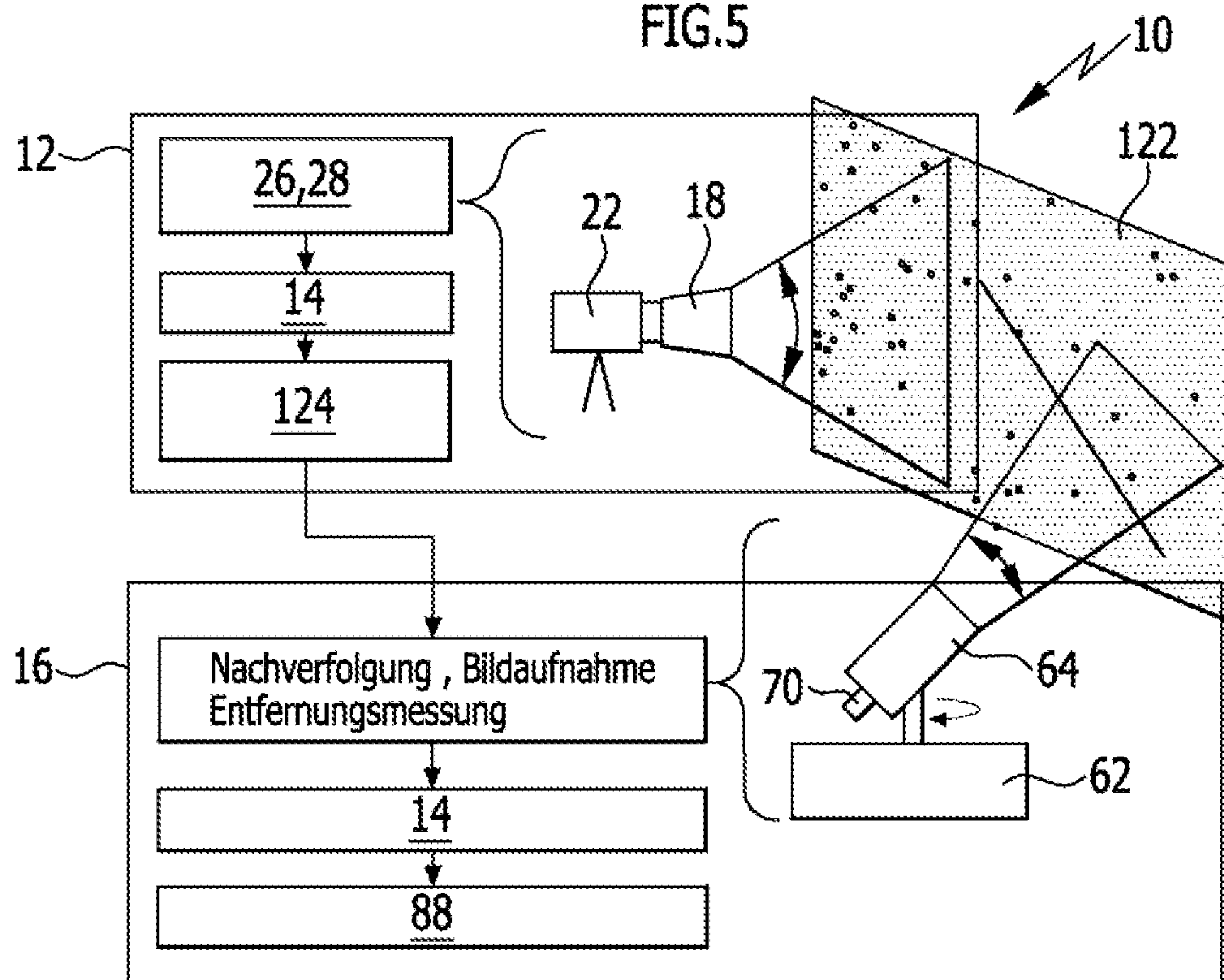


FIG.6

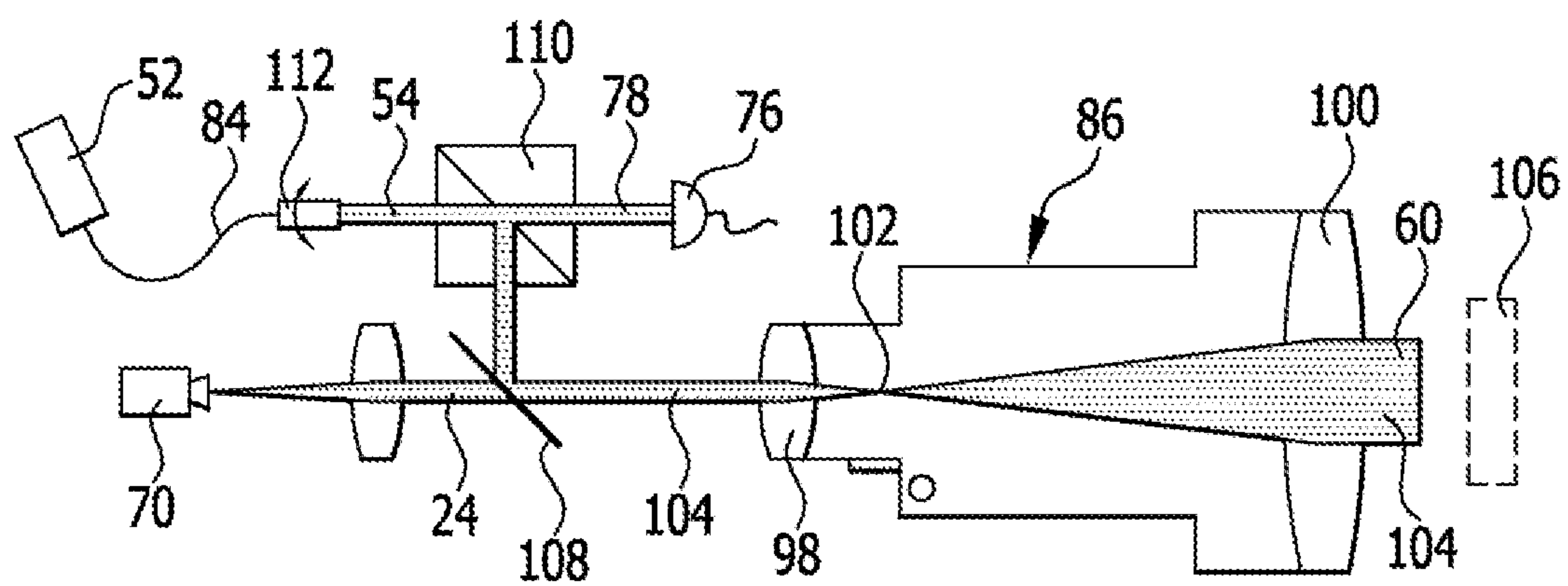


FIG.7

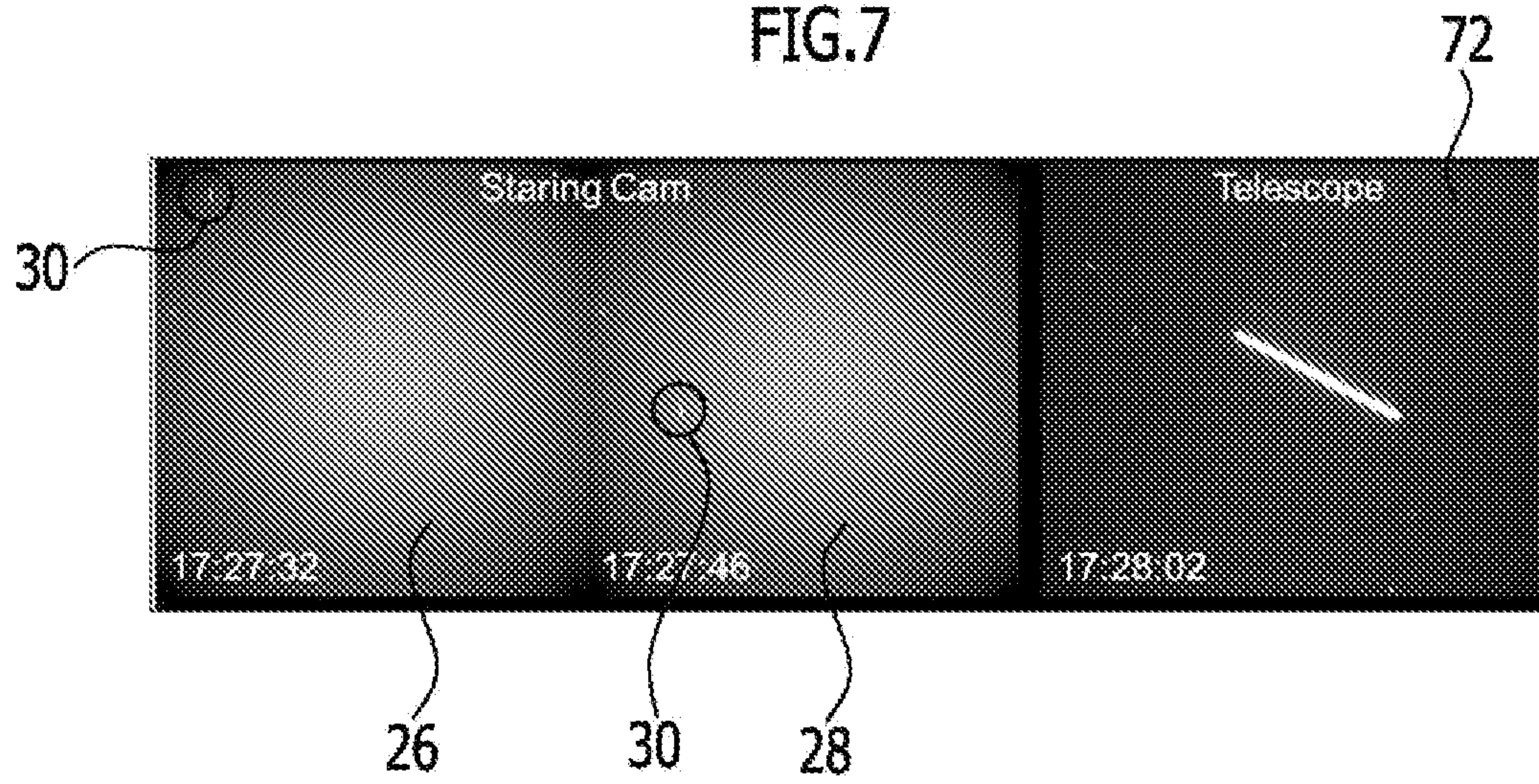
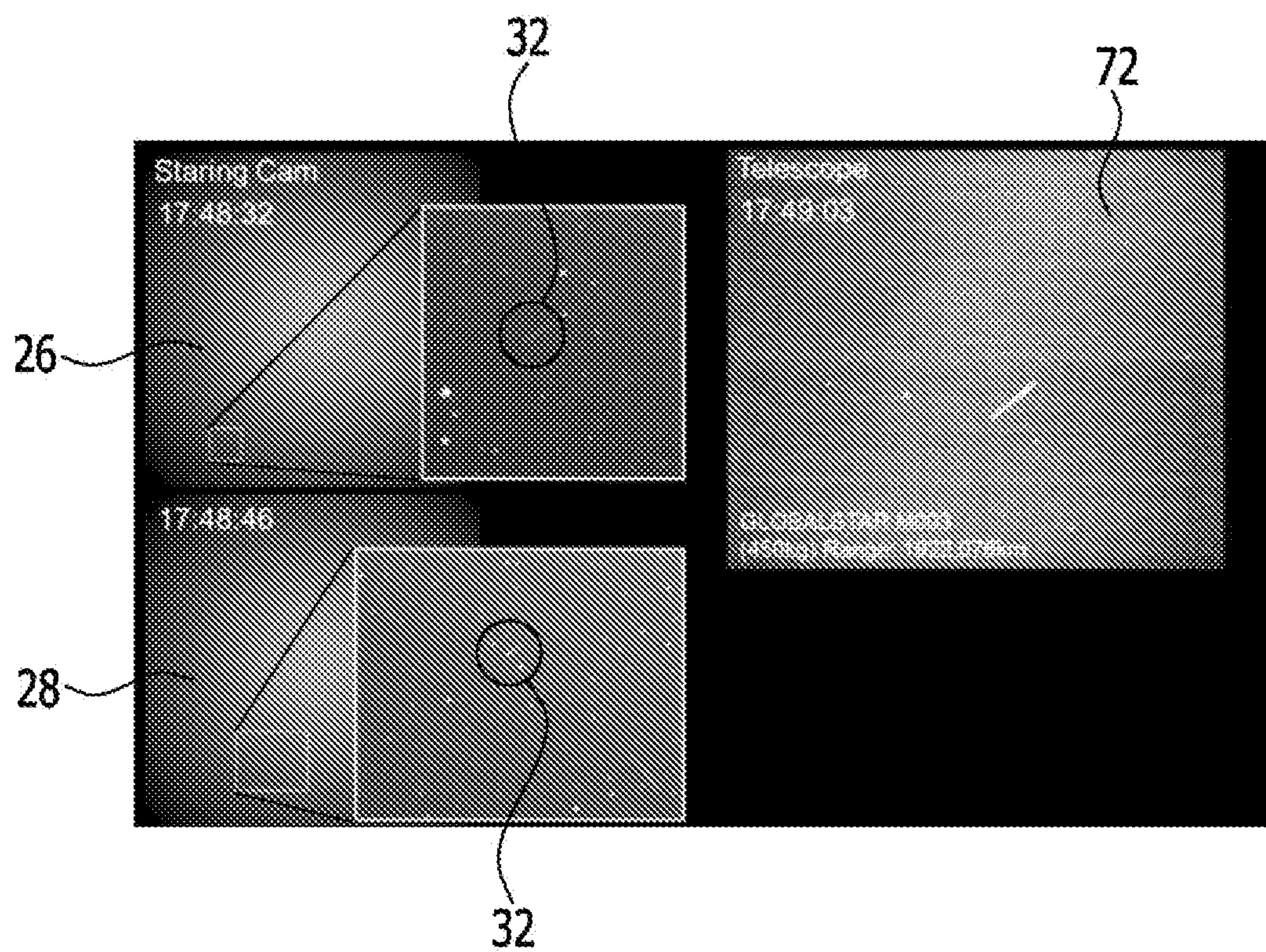


FIG.8



Klassifikation des Anmeldungsgegenstands gemäß IPC: G01S 17/42 (2006.01); G01S 5/16 (2006.01); B64G 3/00 (2006.01)		
Klassifikation des Anmeldungsgegenstands gemäß CPC: G01S 17/42 (2013.01); G01S 5/16 (2013.01); B64G 3/00 (2013.01)		
Recherchierter Prüfstoff (Klassifikation): G01S, B64G		
Konsultierte Online-Datenbank: WPI, EPODOC, TXTG, XESP, XPI3E, XPIEE		
Dieser Recherchenbericht wurde zu den am 15.02.2018 eingereichten Ansprüchen 1-39 erstellt.		
Kategorie*)	Bezeichnung der Veröffentlichung: Ländercode, Veröffentlichungsnummer, Dokumentart (Anmelder), Veröffentlichungs- datum, Textstelle oder Figur soweit erforderlich	Betreffend Anspruch
X	US 2013264463 A1 (MARTIN et al.) 10. Oktober 2013 (10.10.2013) Absätze [0113-115], [131], [0164], [0182-183], [0187]	1-4, 7, 13, 24, 26
A	US 9382020 B1 (VAUGHAN et al.) 05. Juli 2016 (05.07.2016) Ansprüche 1, 8-10	1-5, 21, 23, 24
A	WO 2016063923 A1 (ASTROSCALE JAPAN INC et al.) 28. April 2016 (28.04.2016) Ansprüche 1, 2, 6; Fig. 1, 2	1, 4, 8- 10, 15, 17
Datum der Beendigung der Recherche: 28.02.2020		Seite 1 von 1
		Prüfer(in): FUSSY Siegfried
*) Kategorien der angeführten Dokumente: X Veröffentlichung von besonderer Bedeutung: der Anmeldungsgegenstand kann allein aufgrund dieser Druckschrift nicht als neu bzw. auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden. Y Veröffentlichung von Bedeutung: der Anmeldungsgegenstand kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren weiteren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist. A Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert. P Dokument, das von Bedeutung ist (Kategorien X oder Y), jedoch nach dem Prioritätstag der Anmeldung veröffentlicht wurde. E Dokument, das von besonderer Bedeutung ist (Kategorie X), aus dem ein „älteres Recht“ hervorgehen könnte (früheres Anmeldedatum, jedoch nachveröffentlicht, Schutz ist in Österreich möglich, würde Neuheit in Frage stellen). & Veröffentlichung, die Mitglied der selben Patentfamilie ist.		