



(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2006 014 546.1**
(22) Anmeldetag: **21.03.2006**
(43) Offenlegungstag: **04.10.2007**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **19.08.2010**

(51) Int Cl.⁸: **G01D 21/00** (2006.01)
G01C 21/00 (2006.01)
G02B 26/10 (2006.01)
B60R 1/00 (2006.01)
G08B 13/194 (2006.01)

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:
Universität Tübingen, 72074 Tübingen, DE

(74) Vertreter:
Patentanwälte Ruff, Wilhelm, Beier, Dauster & Partner, 70174 Stuttgart

(72) Erfinder:
Biber, Peter, 72070 Tübingen, DE; Fleck, Sven, 71063 Sindelfingen, DE

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

DE 101 40 813 A1
US 67 10 711 B2
US 60 18 696 A

Biber, P., et al.: 3D Modeling of Indoor Environments for a Robotic Security Guard. In: Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'05) 2005

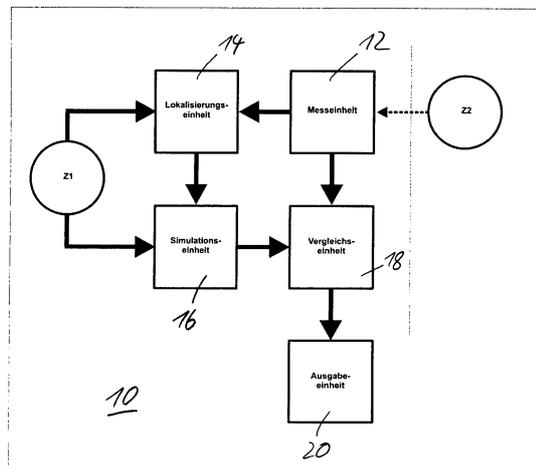
Biber, P., et al.: The Normal Distributions Transform: A New Approach to Laser Scan Matching. Proceedings of the 2003 IEEE/RSJ International Conf. on Intelligent Robots and Systems. 2003

Biber, P., et al.: A Probabilistic Framework for Robust and Accurate Matching of Point Clouds. 26th Pattern Recognition Symposium (DAGM'04). 2004

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Vorrichtung zum sensorbasierten Überwachen einer Umgebung**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zum sensorbasierten Überwachen eines Istzustandes einer Umgebung (Z2) unter Berücksichtigung eines Sollzustandes der Umgebung (Z2) gekennzeichnet durch folgende Schritte:

- Erfassen von Sensormesswerten mit wenigstens einem Sensor (30, 32, 34),
- Lokalisieren des Sensors (30, 32, 34) oder der Sensormesswerte innerhalb der Umgebung (Z2) unter Berücksichtigung eines abgespeicherten Modells (Z1) der Umgebung (Z2) und Erstellen von Lokalisierungsdaten,
- Erstellen von simulierten Messwerten unter Berücksichtigung der Lokalisierungsdaten und des abgespeicherten Modells (Z1), und
- Vergleichen der simulierten Messwerte und der mittels des wenigstens einen Sensors (30, 32, 34) erfassten Sensormesswerte.



Beschreibung

werte.

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zum sensorbasierten Überwachen eines Istzustandes einer Umgebung unter Berücksichtigung eines Sollzustandes der Umgebung.

[0002] Bekannt ist die Überwachung von zu prüfenden Umgebungen, beispielsweise Kernkraftwerken, mit hohem manuellem Aufwand. Es ist darüber hinaus bekannt, die zu prüfenden Umgebungen mit speziellen Markern oder anderen Modifikationen zu präparieren und dann mittels automatisierter Messmethoden das Vorhandensein dieser Marker zu überwachen. Die hierfür erforderliche Präparierung ist sehr teuer, mühsam und auch fehlerträchtig. Gerade im Bereich sicherheitskritischer Umgebungen können solche Nachteile nicht akzeptiert werden, da aufgrund der hohen Kosten die Überprüfungen diese dann teilweise nicht stattfinden, wenn sie nicht zwingend vorgeschrieben sind.

[0003] Aus der Veröffentlichung „Biber, P. et al.: 3D Modeling of Indoor Environments for a Robotic Security Guard. Proceedings of the 2005 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR, 05)“ ist ein zur Umgebungsüberwachung geeignetes Verfahren bekannt, bei welchem Sensormesswerte innerhalb einer Umgebung erfasst werden und ein Modell der Umgebung erstellt und abgespeichert wird.

[0004] Aus der US-Patentschrift US 6,018,696 ist die Lokalisierung eines Sensors in einem Umgebungsmodell unter Berücksichtigung von Sensormesswerten bekannt.

[0005] Mit der Erfindung soll ein Verfahren und eine Vorrichtung zum sensorbasierten Überwachen einer Umgebung bereitgestellt werden, wodurch die Überwachung unpräparierter und insbesondere auch sehr großer, beispielsweise mehrere tausend Quadratmeter großer Umgebungen ermöglicht ist.

[0006] Erfindungsgemäß ist hierzu ein Verfahren zum sensorbasierten Überwachen eines Istzustandes einer Umgebung unter Berücksichtigung eines Sollzustandes der Umgebung bereitgestellt, bei dem folgende Schritte vorgesehen sind:

Erfassen von Sensormesswerten mit wenigstens einem Sensor,
 Lokalisieren des Sensors und/oder der Sensormesswerte innerhalb der Umgebung unter Berücksichtigung eines abgespeicherten Modells der Umgebung und Erstellen von Lokalisierungsdaten,
 Erstellen von simulierten Messwerten unter Berücksichtigung der Lokalisierungsdaten und des abgespeicherten Modells und
 Vergleichen der simulierten Messwerte und der mittels des wenigstens einen Sensors erfassten Mess-

[0007] Erfindungsgemäß wird die gestellte Aufgabe somit dadurch gelöst, dass eine Umgebung mittels Sensoren insbesondere kontinuierlich abgetastet wird und dann der Sensor oder die Sensormesswerte lokalisiert werden. Die Sensormesswerte beschreiben den Istzustand der Umgebung und werden dann simuliert, und zwar unter Berücksichtigung der Lokalisierungsdaten und des abgespeicherten Modells und, falls erforderlich, abgespeicherter Daten über die Sensoren selbst. Man erhält dadurch eine Simulation oder Abbildung der Sensormesswerte, wie diese beschaffen sein müssten, wenn sich die Umgebung im Sollzustand befände. Die simulierten Messwerte und die Sensormesswerte werden dann miteinander verglichen, um eventuelle Veränderungen der Umgebung, entsprechend Abweichungen des Istzustandes vom Sollzustand, zu ermitteln. Durch den Lokalisierungsschritt ist der Vergleich sehr großer und vor allem nicht präparierter Umgebungen möglich, da die Lokalisierung des Sensors oder der Sensormesswerte über das abgespeicherte Modell Z1 der Umgebung, das beispielsweise eine geografische Karte sein kann, erfolgt. Dadurch ist der Vergleich von Sensormessdaten mit simulierten Messdaten an bzw. von einem beliebigen Ort der Umgebung möglich und im Unterschied zum Stand der Technik eben nicht nur ein Vergleich vorher präparierter Stellen der Umgebung. Der Begriff Umgebung schließt aber auch Objekte ein, insbesondere bewegliche Objekte wie Flugzeuge, Schiffe und dergleichen, deren Istzustand überwacht werden soll.

[0008] Indem die Messdaten unter Berücksichtigung der Lokalisierungsdaten und des abgespeicherten Modells simuliert werden, müssen lediglich Kenntnisse über den Sensor und Kenntnisse über den Sollzustand der Umgebung, nämlich das Modell Z1, vorgehalten werden. Es ist aber beispielsweise nicht erforderlich, Sensormesswerte des Sollzustandes abzuspeichern und vorzuhalten. Das Modell Z1 repräsentiert dadurch nicht den Sollzustand der Sensormesswerte, sondern den Sollzustand der Umgebung. Das Modell kann typischerweise räumliche Abmessungen im Sinne einer geographischen Karte oder eines CAD-Modells, eines Netzes oder einer Punktwolke enthalten, beispielsweise aber auch Temperaturen, Gaskonzentrationen oder dergleichen an vorbestimmten räumlichen Orten. Das Modell muss in einer Form vorliegen, dass sich daraus eine simulierte Sensoraufnahme zu einem gegebenen Zeitpunkt errechnen lässt. Das Modell Z1 kann beispielsweise während eines ersten Durchlaufs durch die Umgebung erstellt werden.

[0009] Weitere Vorteile der Erfindung sind, dass keine Kalibrierung von Sensorpositionen und Orientierungen erforderlich ist, wie dies der Fall wäre, wenn Sollwerte für die Sensormesswerte abgespeichert

wären und für den Vergleich herangezogen würden. Die Simulation der Messwerte bringt beispielsweise den Vorteil, dass Sensorrauschen auch in der Simulation berücksichtigt ist. Es ist darüber hinaus möglich, Umgebungen mit lediglich einem einzigen Sensor, beispielsweise einem 2-D- oder 3-D-Scanner abzutasten, die sonst nur mit einer sehr hohen Anzahl von Sensoren vollständig erfasst werden könnten. Darüber hinaus können mit dem erfindungsgemäßen Verfahren nach jedem Vergleichsschritt sofort Unterschiede festgestellt und ausgegeben werden. Es ist dadurch beispielsweise möglich, schon während des Durchlaufs durch eine Umgebung Unterschiede zum Sollzustand auszugeben und auszuwerten. Die Erfindung bietet somit eine kostengünstige, teil- oder vollautomatisierte und schnelle Lösung mit geringer Fehleranfälligkeit. Es kann beispielsweise spezielle Sensorik rein zur Lokalisierung und, je nach Anwendungsfall, verschiedenartigste weitere Sensorik zum Vergleich mit dem Modell Z1 verwendet werden. Alternativ werden Sensordaten sowohl zum Lokalisieren als auch zum Vergleichen verwendet.

[0010] In Weiterbildung der Erfindung werden in einer Vergleichseinheit ermittelte Unterschiede zwischen den simulierten Messwerten und den mittels des wenigstens einen Sensors erfassten Messwerten ausgegeben.

[0011] Beispielsweise können die Unterschiede grafisch ausgegeben werden, beispielsweise durch Einzeichnen der ermittelten Unterschiede in eine Darstellung des Sollzustandes der Umgebung. Ein Bediener kann dadurch unmittelbar erkennen, wo Veränderungen an der Umgebung aufgetreten sind. Darüber hinaus können beispielsweise akustische Signale beim Auftreten von Veränderungen ausgegeben werden.

[0012] In Weiterbildung der Erfindung werden mehrere Sensoren für die Erfassung von Sensormesswerten verwendet, wobei beim Simulieren in der Simulationseinheit für alle Sensoren simulierte Messwerte erstellt werden und beim Vergleichen in der Vergleichseinheit ein Einzelvergleich der von jedem Sensor erfassten Sensormesswerte und der für diesen Sensor simulierten Messwerte und/oder ein Vergleich kombinierter erfasster Sensormesswerte und kombinierter simulierter Messwerte erfolgt.

[0013] Auf diese Weise können bei der Ermittlung von Unterschieden die Korrelationen verschiedener Sensoren untereinander in Form von Gewichtungen verwendet werden.

[0014] In Weiterbildung der Erfindung werden die Ergebnisse der Vergleichseinheit in mehrere Klassen klassifiziert, insbesondere unverändert, größer als Sollwert oder kleiner als Sollwert, und/oder durch Ausgeben eines Konfidenzwerts klassifiziert, insbe-

sondere einer Wahrscheinlichkeit für die Klassifizierung in eine Klasse.

[0015] Auf diese Weise lässt sich das Vergleichsergebnis differenziert bewerten. Besonders die Ausgabe eines Konfidenzwertes erleichtert die Beurteilung des Vergleichsergebnisses, sei es, dass diese Beurteilung durch einen Bediener oder automatisiert erfolgt, erheblich. Beispielsweise wird ein Konfidenzwert ausgegeben, dass ein Sensormesswert oder eine einen Bereich der Umgebung repräsentierende Menge an Sensormesswerten zu 20% geändert und zu 80% unverändert sind.

[0016] In Weiterbildung der Erfindung erfolgt die Lokalisierung durch Auswerten der Sensormesswerte in der Lokalisierungseinheit.

[0017] Auf diese Weise werden die Sensormesswerte sowohl zur Lokalisierung in Bezug auf den gegebenen Zustand als auch zum Erkennen von Unterschieden verwendet, entsprechend für die Lokalisierung und für den Vergleich mit den simulierten Messwerten. Separate Navigationssensoren sind demgemäß nicht unbedingt erforderlich, da eine Lokalisierung mit für das erfindungsgemäße Verfahren ausreichender Genauigkeit bereits durch die Sensormesswerte erfolgen kann. Beispielsweise werden mittels eines Laserscanners Abstände vom Ort des Scanners zu Zimmerwänden erfasst. Aufgrund der erfassten Abstände kann der Sensor dann unter Zuhilfenahme des abgespeicherten Modells des Zimmers innerhalb des Zimmers lokalisiert werden.

[0018] In Weiterbildung der Erfindung wird beim Erstellen von simulierten Messwerten ein statistisches Modell der zu erwartenden Messwerte, insbesondere eine Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion der zu erwartenden Messwerte, ausgegeben.

[0019] Indem ein statistisches Modell der zu erwartenden Messwerte ausgegeben wird, können Toleranzen ausgeglichen werden, beispielsweise Toleranzen oder Unsicherheiten bei der Lokalisierung des Sensors und/oder der Sensormesswerte oder Toleranzen oder Ungenauigkeiten in der abgespeicherten Karte. Dazu wird das Modell Z1 über die geometrische Beschreibung hinausgehend durch eine Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion repräsentiert, aus der sich ein statistisches Modell für die erwarteten Sensormesswerte ableiten lässt, beispielsweise in Form eines Erwartungswertes und einer Varianz oder aber auch durch eine nichtparametrische Verteilung. Beispielsweise wird diese Verteilung durch ihren Wert an Stützstellen repräsentiert.

[0020] In Weiterbildung der Erfindung werden wenigstens die Schritte des Erfassens von Sensormesswerten, des Lokalisierens der Sensormesswerte, des Simulierens von Messwerten und des Verglei-

chens von Sensormesswerten und simulierten Messwerten fortlaufend automatisiert für unterschiedliche Sensorpositionen in der Umgebung durchgeführt.

[0021] Durch diese Maßnahmen kann der Istzustand einer Umgebung fortlaufend erfasst werden. Durch geeignete Weiterverarbeitung des Vergleichsergebnisses kann beispielsweise auch automatisiert ein Alarm ausgegeben werden, wenn größere Veränderungen aufgetreten sind.

[0022] In Weiterbildung der Erfindung sind die Schritte des Erfassens, des Lokalisierens und des Vergleichens in Abhängigkeit eines Vergleichsergebnisses veränderbar.

[0023] Beispielsweise können bei großen festgestellten Unterschieden Erfassung und Vergleich mehrfach oder mit höherer Präzision oder auch an wenig voneinander beabstandeten Sensorpositionen durchgeführt werden, um eine höhere Sicherheit für das letztendlich ausgegebene Vergleichsergebnis zu erhalten. Darüber hinaus kann beispielsweise auch eine häufigere Messung an kritischen Positionen, insbesondere vordefinierter Gefahrenzonen, Gefahrenzeiten oder in Abhängigkeit sonstiger Prioritäten vorgesehen sein.

[0024] In Weiterbildung der Erfindung erfolgt das Ausgeben von in der Vergleichseinheit ermittelten Unterschieden zwischen den simulierten Messwerten und den mittels des wenigstens einen Sensors erfassten Sensormesswerten durch Projizieren der simulierten Messwerte und/oder der ermittelten Unterschiede in den Raum, insbesondere auf die in der Lokalisierungseinheit ermittelte Position der Sensormesswerte.

[0025] Durch diese Maßnahmen wird die Bewertung von festgestellten Unterschieden durch einen Bediener ganz erheblich erleichtert. Beispielsweise kann die Abbildung eines Gegenstandes, dessen Fehlen in einem Raum mittels des erfindungsgemäßen Verfahrens festgestellt wurde, auf die Stelle im Raum projiziert werden, an der der Gegenstand sich im Sollzustand befindet. Auf diese Weise kann ein Bediener in besonders einfacher Weise feststellen, wo im Raum Unterschiede des Istzustandes zum Sollzustand ermittelt wurden. Eine solche Projektion kann in den Raum hinein, beispielsweise aber auch in eine Brille hinein erfolgen, die ein Bediener während des Überwachungsvorgangs trägt. Für die Projektion kann beispielsweise ein Beamer verwendet werden.

[0026] Das der Erfindung zugrundeliegende Problem wird auch durch eine Vorrichtung zum sensorbasierten Überwachen eines Istzustandes einer Umgebung unter Berücksichtigung eines Sollzustandes der Umgebung, insbesondere zum Durchführen des

erfindungsgemäßen Verfahrens, gelöst, die eine Messeinheit mit wenigstens einem Sensor zum Erfassen von Sensormesswerten, eine Lokalisierungseinheit zum Lokalisieren des Sensors und/oder der Sensormesswerte innerhalb der Umgebung unter Berücksichtigung eines abgespeicherten Modells der Umgebung, eine Simulationseinheit zum Erstellen von simulierten Messwerten unter Berücksichtigung der Lokalisierungsdaten und des abgespeicherten Modells und eine Vergleichseinheit zum Vergleichen der simulierten Messwerte und der Sensormesswerte aufweist. Vorteilhafterweise kann eine Ausgabeinheit zum Ausgeben von in der Vergleichseinheit ermittelten Unterschieden zwischen den simulierten Messwerten und den Sensormesswerten vorgesehen sein.

[0027] Eine solche Vorrichtung ermöglicht es schon mit einem oder nur wenigen Sensoren eine große, nicht präparierte Umgebung auf Abweichungen des Istzustandes vom Sollzustand hin zu überprüfen. Ein erheblicher Vorteil der erfindungsgemäßen Vorrichtung besteht darin, dass lediglich ein Modell, beispielsweise eine Karte, der zu überwachenden Umgebung und gegebenenfalls Eigenschaften des verwendeten Sensors vorgehalten werden müssen, nicht aber detaillierte Sollwerte für mögliche Sensormesswerte. Das Modell muss dabei lediglich so viele Informationen enthalten, dass einerseits eine Lokalisierung des Sensors und/oder der Sensormesswerte und andererseits eine Simulation der Messwerte möglich ist. Insbesondere vorteilhaft ist es, wenn das Modell bei einem ersten Durchlauf der Vorrichtung durch eine zu überwachende Umgebung erstellt wird. Es wird also nicht in einem weiteren Durchlauf eine neue Karte aufgebaut und dann diese Karte mit dem Modell Z1 im Modellraum verglichen, sondern der Vergleich findet im Raum der Sensormesswerte statt.

[0028] In Weiterbildung der Erfindung weist die Vorrichtung eine mobile Basis auf.

[0029] Die mobile Basis kann beispielsweise fahrbar oder tragbar sein und mittels eines Wagens realisiert sein. Es ist aber beispielsweise auch möglich, die erfindungsgemäße Vorrichtung in einem leicht tragbaren Gehäuse, ähnlich einem Mobiltelefon, zu integrieren. Anstatt die mobile Basis zu verfahren, hält man das tragbare Gehäuse in Richtung des zu prüfenden Objektes an der zu prüfenden Stelle. In einer Anzeigeeinheit im tragbaren Gehäuse können dann eventuell ermittelte Unterschiede vom Istzustand zum Sollzustand angezeigt werden.

[0030] In Weiterbildung der Erfindung ist die mobile Basis mit Aktuatoren, insbesondere Antriebsmotoren versehen, die eine selbständige Fortbewegung der Basis ermöglichen.

[0031] Auf diese Weise ist die wenigstens teilauto-

matisierte Überwachung von zu prüfenden Umgebungen möglich, beispielsweise dadurch, dass die Vorrichtung einen selbsttätig fahrenden Wagen aufweist, der sich durch eine zu prüfende Umgebung bewegt. Die mobile Basis kann entweder lediglich die Sensoren zum Erfassen von Sensormesswerten aufweisen oder auch die vollständige erfindungsgemäße Vorrichtung. Je nachdem werden dann lediglich die erfassten Sensormesswerte von der mobilen Basis zu den dann beispielsweise stationären weiteren Einheiten der erfindungsgemäßen Vorrichtung übertragen oder lediglich das ermittelte Vergleichsergebnis wird an eine stationäre Überwachungsstation übertragen.

[0032] In Weiterbildung der Erfindung ist eine Navigationseinheit vorgesehen, die die Aktuatoren ansteuert, wobei die Ansteuerung in Abhängigkeit der Erfassung von Sensormesswerten in der Messeinheit und/oder in Abhängigkeit des Vergleichsergebnisses in der Vergleichseinheit erfolgt.

[0033] Beispielsweise kann die mobile Basis erst dann weiter fahren, wenn alle Sensormesswerte erfasst sind. Auch kann die mobile Basis an kritischen Stellen langsamer fahren oder öfters anhalten, um mehr Messwerte erfassen zu können. Werden beispielsweise Unterschiede des Istzustandes zum Sollzustand ermittelt, kann eine geeignete Sensorposition erneut angefahren werden, um das ermittelte Vergleichsergebnis abzusichern.

[0034] In Weiterbildung der Erfindung ist die zu überwachende Umgebung wenigstens teilweise durch ein in einem Bezugskoordinatensystem bewegliches Objekt gebildet und wenigstens eine erste Messeinheit ist gemeinsam mit dem Objekt beweglich angeordnet und wenigstens eine zweite Messeinheit ist nicht gemeinsam mit dem Objekt beweglich angeordnet.

[0035] Indem also ein Teil der Sensorik nicht in eine bewegliche Plattform integriert ist und stattdessen das zu untersuchende Objekt auf einer beweglichen Plattform bzw. die Plattform am zu untersuchenden Objekt befestigt ist, lässt sich das erfindungsgemäße Verfahren auch zur Überwachung von Objekten einsetzen, bei denen es gerade in räumlich engen Umgebungen vorteilhaft ist, anstatt der Sensorik das Objekt selbst zu bewegen. Die bewegliche Plattform mit dem Objekt wird mittels der Sensoren der ersten Messeinheit lokalisiert und bewegt sich im Sichtfeld der Sensoren der zweiten Messeinheit. Mittels der Sensoren der ersten Messeinheit kann eine Lokalisierung der beweglichen Plattform mit dem Objekt erfolgen und darüber hinaus können die Daten dieser Sensoren gegebenenfalls zusätzlich für den Vergleich mit dem Sollzustand herangezogen werden. Die Sensoren der zweiten Messeinheit dienen primär zum Erfassen des Istzustandes, der dann mit dem

abgespeicherten Sollzustand des Modells Z1 verglichen wird. In diesem Fall besteht das Modell Z1 aus zwei Teilen, nämlich einerseits dem Modell des zu überwachenden Objektes und andererseits dem Modell der Umgebung, in der die zweite Messeinheit unbeweglich montiert ist und in der sich die bewegliche Plattform mit dem Objekt bewegt. Das Modell der Umgebung kann beispielsweise aus einem zweidimensionalen Grundriss oder einem dreidimensionalen Modell dieser Umgebung bestehen. Die bewegliche Plattform mit dem Objekt bewegt sich dann innerhalb des Sichtbereichs der zweiten Messeinheit. In der Simulationseinheit wird dann das Objekt aus Sicht der Sensoren der zweiten Messeinheit, beispielsweise einer Kamera, gerendert. Hierbei werden sowohl die Lokalisierungsdaten relativ zur Umgebung und von der Umgebung zur Kamera verwendet und mit der aktuellen Sicht, also den aktuell aufgenommenen Sensordaten verglichen. Als Sensoren können eine Kamera oder mehrere Kameras oder auch andere Sensoren installiert werden, die das Objekt wenigstens teilweise gleichzeitig aus verschiedenen Blickwinkeln abtasten. Auf diese Weise kann der Vergleich auch beschleunigt werden.

[0036] In Weiterbildung der Erfindung ist die zweite Messeinheit relativ zu dem Bezugskoordinatensystem unbeweglich angeordnet.

[0037] In Weiterbildung der Erfindung ist die zweite Messeinheit relativ zu dem Bezugskoordinatensystem beweglich angeordnet und weist Sensoren zur Lokalisierung auf.

[0038] Auf diese Weise kann auch die zweite Messeinheit auf einer eigenen beweglichen Plattform angeordnet werden, die eine eigene Lokalisierungseinheit besitzt oder in jedem Fall Sensormesswerte erfasst, die zur Lokalisierung dieser beweglichen Plattform verwendet werden können. Auch die weitere bewegliche Plattform mit der zweiten Messeinheit wird somit zunächst im Modell Z1 lokalisiert, so dass dann, analog zu den bereits beschriebenen Ausführungsbeispielen, eine synthetische Kamera- oder Sensoraufnahme aus Sicht der aktuellen Position der beweglichen Plattform mit der zweiten Messeinheit erstellt und mit der aktuellen Aufnahme des Istzustandes verglichen werden kann.

[0039] Alternativ zur Anordnung von Sensoren auf einer weiteren beweglichen Plattform können beispielsweise Kameras auch beweglich, auf einer Schwenk-Neige-Einrichtung angeordnet werden, wobei sie dann zweckmäßigerweise aufgrund entsprechender Sensorik (Encoder) dennoch immer eine kalibrierte Position aufweisen, da die Sensorik der Schwenk-Neige-Einrichtung immer eine Rückmeldung über die gerade aktuelle Position der Kamera oder der Sensoren liefert. Auf diese Weise können die Vorteile einer beweglichen Sensorik, die eine zu

untersuchende Umgebung oder ein zu untersuchendes Objekt aus verschiedenen Blickwinkeln betrachten kann, genutzt werden, ohne dass ein separater Lokalisierungsschritt zur Lokalisierung der Kamera oder der Sensoren erforderlich wäre.

[0040] Weitere Merkmale und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus den Ansprüchen und der nachfolgenden Beschreibung bevorzugter Ausführungsformen der Erfindung im Zusammenhang mit den Zeichnungen. Einzelmerkmale unterschiedlicher Ausführungsformen lassen sich dabei in beliebiger Weise miteinander kombinieren, ohne den Rahmen der Erfindung zu verlassen. In den Zeichnungen zeigen:

[0041] [Fig. 1](#) ein Blockschaltbild der erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens,

[0042] [Fig. 2](#) eine Draufsicht auf eine erfindungsgemäße Vorrichtung,

[0043] [Fig. 3](#) eine schematische Darstellung einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung und

[0044] [Fig. 4](#) eine schematische Darstellung einer noch weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung.

[0045] Die Darstellung der [Fig. 1](#) zeigt eine Blockdarstellung einer erfindungsgemäßen Vorrichtung, wobei anhand der [Fig. 1](#) auch das erfindungsgemäße Verfahren erläutert wird.

[0046] Gemäß dem Blockschaltbild der [Fig. 1](#) weist die erfindungsgemäße Vorrichtung **10** eine Messeinheit **12**, eine Lokalisierungseinheit **14**, eine Simulationseinheit **16**, eine Vergleichseinheit **18** und eine Ausgabereinheit **20** auf. Die Lokalisierungseinheit **14** und die Simulationseinheit **16** haben Zugriff auf ein abgespeichertes Modell Z1, das Informationen über den Sollzustand der zu überwachenden Umgebung enthält. Mittels der Messeinheit **12** wird ein Istzustand Z2 der zu überwachenden Umgebung erfasst. Dieser Istzustand Z2 der tatsächlichen Umgebung soll mittels des erfindungsgemäßen Verfahrens überwacht werden und es wird angenommen, dass der Zustand Z2 zumindest während des Abtastens annähernd statisch ist. Die Überwachung soll dahingehend erfolgen, dass festgestellt werden kann, ob gegenüber einem Sollzustand der Umgebung Veränderungen eingetreten sind. Der Sollzustand der Umgebung wird durch das Modell Z1 repräsentiert.

[0047] Beispielsweise entspricht das Modell Z1 einer Karte mit räumlichen Informationen eines Gebäudes, das bedeutet die Lage der Wände, Türen, Einbauten, wie Schränke, Wandschilder und dergleichen. Treten nun gegenüber dem Sollzustand beim

Istzustand Veränderungen auf, indem beispielsweise ein Schrank nicht an seinem ursprünglichen Platz steht oder eine Tür geöffnet ist, sollen diese Veränderungen durch das erfindungsgemäße Verfahren ermittelt werden.

[0048] Zu diesem Zweck werden mittels der Messeinheit **12**, die einen oder mehrere Sensoren aufweist, Sensormesswerte an mehreren räumlichen Positionen in der tatsächlichen Umgebung Z2 erfasst. Hierzu werden die Sensoren durch die tatsächliche Umgebung Z2 bewegt, es ist selbstverständlich aber auch möglich, dass sich die zu überwachende Umgebung Z2 bewegt und die Sensoren stillstehen. Die erfassten Sensormesswerte werden zum einen dazu verwendet, um in der Lokalisierungseinheit **14** die räumliche Position oder die räumlichen Positionen zu ermitteln, an denen die Sensormesswerte akquiriert wurden. Mit Lokalisierung ist hier gemeint, dass die Koordinaten für Position und Orientierung im Bezugssystem des Modells Z1 ermittelt werden. Sind die erfassten Sensormesswerte beispielsweise Abstandsdaten, so werden die ermittelten Abstände des Sensors von Begrenzungen des Gebäudes dazu verwendet, den Standort und die Ausrichtung des Sensors in dem Modell Z1 festzustellen.

[0049] Die Lokalisierungseinheit **14** berechnet somit zu jedem Zeitpunkt die aktuelle Position und Orientierung der Sensoren der Messeinheit **12**, die beispielsweise auf einer mobilen Plattform angeordnet sind. Hierzu werden sowohl die Sensormesswerte von der Messeinheit als auch das Modell Z1 verwendet. Die Sensormesswerte werden dabei mit dem Modell Z1 registriert, wobei das Modell Z1 als Approximation des aktuellen Istzustandes der Umgebung Z2 verwendet wird. Die Unterschiede zwischen dem Istzustand und dem Modell Z1 dürfen dabei nicht so groß sein, dass keine Lokalisierung mehr möglich ist.

[0050] Eine bevorzugte Ausführung der Erfindung weist beispielsweise in der Messeinheit **12** Sensoren zur Lokalisierung auf, beispielsweise Sensoren zur Wegstreckenmessung, so dass ausgehend von einer bekannten Anfangsposition der aktuelle Standort der Sensoren bzw. der Messeinheit **12** stets grob bestimmt werden kann. Eine auf diese Weise ermittelte grobe Position wird als Anfangsschätzung für die Registrierung mit dem Modell Z1 verwendet. In diesem speziellen Fall wird mit der Lokalisierungseinheit **14** der Drift dieser Lokalisierungssensoren korrigiert.

[0051] Die Lokalisierung in der Lokalisierungseinheit **14** ist aber auch ohne spezielle Sensoren zur Lokalisierung möglich, indem ausgehend von einer bekannten Anfangsposition fortlaufend Sensormesswerte mittels der Messeinheit **12** erfasst werden, beispielsweise Abstandsdaten, und diese Sensormesswerte dann zur Lokalisierung in der Lokalisierungseinheit **14** verwendet werden. Wie bereits ausgeführt

wurde, wird das Modell Z1 als Approximation des aktuellen Zustandes der Umgebung Z2 verwendet und eventuelle Abweichungen werden in der Lokalisierungseinheit 14 aufgrund der verwendeten robusten Verfahren toleriert. Bekannte Verfahren zur Registrierung von Sensormesswerte in der Lokalisierungseinheit 14 sind in Peter Biber and Wolfgang Straßer, "The Normal Distributions Transform: A New Approach to Laser Scan Matching, IEEE/RJS International Conference on Intelligent Robots and Systems, 2003" und in „Peter Biber, Sven Fleck and Wolfgang Straßer, A Probabilistic Framework for Robust and Accurate Matching of Point Clouds, 26th Pattern Recognition Symposium (DAGM 04), 2004“, beschrieben.

[0052] Nachdem mittels der Lokalisierungseinheit 14 die aktuelle Position und Orientierung der Sensoren der Messeinheit 12 ermittelt wurde, werden diese Lokalisierungsdaten mit der Position und der Orientierung der Sensoren der Messeinheit 12, beispielsweise die Position und Orientierung einer mobilen Plattform, an die Simulationseinheit 16 weitergegeben. Die Simulationseinheit 16 greift weiterhin auf das Modell Z1 zu. Für jeden Zeitpunkt oder für jede neue Position der Sensoren der Messeinheit 12 berechnet die Simulationseinheit 16 aus der aktuellen Position und Orientierung der Sensoren und dem Modell Z1 eine synthetische Sensoraufnahme für einen oder mehrere der in der Messeinheit 12 enthaltenen Sensoren. Am Beispiel eines Gebäudes, dessen Begrenzungen im Modell Z1 abgelegt sind und eines Abstandssensors in der Messeinheit 12 berechnet die Simulationseinheit 16 die Ausgabe eines Abstandssensors, der sich an der mittels der Lokalisierungseinheit 14 ermittelten aktuellen Position und Orientierung befindet. Wird beispielsweise ein zweidimensionaler Scanner mit 360° Erfassungswinkel verwendet, kann für mehrere Winkelstellungen, beispielsweise 360 um jeweils ein Grad verschobene Winkelstellungen, ein Abstand des Sensors von einer Gebäudebegrenzung oder von einem gemäß dem Modell Z1 in dem Gebäude befindlichen Gegenstand ermittelt. Diese mittels des Modells Z1 und den Lokalisierungsdaten ermittelten Abstände werden dann mit den tatsächlichen Abständen des Sensors der Messeinheit 12 von der jeweiligen Gebäudebegrenzung, entsprechend den Sensormessdaten, verglichen, wie sie an dieser Position ermittelt wurden. Im allgemeinen Fall werden die mittels der Simulationseinheit 16 simulierten, synthetischen Messwerte mit den mittels der Sensoren in der Messeinheit 12 erfassten Sensormesswerten verglichen. Sofern keine Änderungen der Umgebung zwischen Istzustand Z2 und Sollzustand Z1 vorliegen, entspricht die synthetische, simulierte Sensoraufnahme der tatsächlichen Sensoraufnahme im Rahmen des Sensorrauschens.

[0053] Der Vergleich zwischen der synthetischen Sensoraufnahme aus der Simulationseinheit 16 und den tatsächlich erfassten Sensordaten aus der Mess-

einheit 12 erfolgt in der Vergleichseinheit 18. Die Vergleichseinheit 18 erhält hierzu sowohl die in der Messeinheit 12 erfassten Sensordaten als auch die von der Simulationseinheit 16 simulierten, synthetischen Sensordaten. Das Ergebnis des Vergleichs wird an die Ausgabereinheit 20 weitergegeben und dort, beispielsweise grafisch, ausgegeben. Die Vergleichseinheit 18 berechnet somit zu jedem Zeitpunkt den Unterschied zwischen der synthetischen Sensoraufnahme und der tatsächlichen Sensoraufnahme von der Messeinheit 12. Sie arbeitet somit in der Repräsentation jedes Sensors. Neben einem reinen Vergleich, entsprechend einem Ergebnis geändert oder nicht geändert, kann das Vergleichsergebnis von der Vergleichseinheit mit zusätzlichen Informationen wie einer Konfidenz oder einer weiter aufgeteilten Klassifizierung versehen werden. Eine solche weitere Klassifizierung wäre beispielsweise ein Vergleichsergebnis mit den Klassifizierungen „nicht geändert“, „weiter entfernt“, „weniger weit entfernt“, entsprechend den Ergebnissen ein Objekt ist „entfernt“ oder „hinzugefügt“ worden“.

[0054] Die Simulationseinheit 16 liefert vorteilhafterweise ein statistisches Modell der zu erwartenden Sensordaten, beispielsweise eine Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion. Das statistische Modell sollte z. B. aus einem Erwartungswert und einer Varianz bestehen oder z. B. aus einer nichtparametrischen Verteilung, die durch ihre Werte an Stützstellen gegeben ist. Durch die Ausgabe eines statistischen Modells mittels der Simulationseinheit 16 ist es dann möglich, in der Vergleichseinheit 18 einen Konfidenzwert für das Vergleichsergebnis anzugeben. Beispielsweise kann das Vergleichsergebnis eine Klassifizierung, entsprechend geändert oder nicht geändert und zusätzlich einen Konfidenzwert für jede Klassifizierung enthalten, beispielsweise zu 80% geändert, zu 20% nicht geändert.

[0055] Indem bei dem erfindungsgemäßen Verfahren die Sensoraufnahme simuliert wird, kann beispielsweise ein Sensorrauschen mit berücksichtigt werden, wenn der Simulationseinheit 16 entsprechende Informationen über die Art der in der Messeinheit 12 verwendeten Sensoren vorliegen. Darüber hinaus ist ohne weiteres ersichtlich, dass das Modell Z1 lediglich so viele Informationen enthalten muss, wie zur Lokalisierung in der Lokalisierungseinheit 14 und zur Simulation in der Simulationseinheit 16 erforderlich sind. Das Modell Z1 muss aber beispielsweise keine Sollwerte für Sensorsignale enthalten, die dann mit Sensorsignalen der Sensoren aus der Messeinheit 12 verglichen werden. Stattdessen werden die Sensorsignale in der Simulationseinheit 16 simuliert, so dass die Sensoren der Messeinheit 12 nicht an vorher bestimmte, exakt definierte Punkte gebracht werden müssen, sondern in beliebiger Weise durch die Umgebung Z2 bewegt werden können.

[0056] Für die Überwachung einer Umgebung Z2 mit dem erfindungsgemäßen Verfahren muss diese Umgebung somit weder mittels Markern präpariert werden, deren Existenz dann abgefragt wird oder die zur Lokalisierung dienen, noch müssen die Überwachungssensoren der Messeinheit **12** an vorher exakt definierte Positionen gebracht werden, um die Überwachung zu ermöglichen.

[0057] Die Ausgabeeinheit **20** bereitet die Ergebnisse der Vergleichseinheit **18** auf, insbesondere textuell oder grafisch, und präsentiert sie dem Benutzer. Vorzugsweise erfolgt dies in Echtzeit während der Abtastung mittels der Messeinheit **12**. Beispielsweise wird eine mobile Plattform mit der Messeinheit **12** durch ein zu überwachendes Gebäude bewegt. Einem Bediener, der mit der beweglichen Plattform mitläuft, kann dann mittels einer grafischen Ausgabe und gegebenenfalls zusätzlichen Audiosignalen signalisiert werden, wenn sich die zu überwachende Umgebung verändert hat. Es ist aber selbstverständlich auch möglich, das Vergleichsergebnis der Vergleichseinheit **18** oder auch die Ausgabe der Ausgabeeinheit **20** von der mobilen Plattform zu einem außerhalb des Gebäudes stationierten Bediener zu übertragen. Bewegt sich ein Bediener mit der mobilen Plattform durch ein Gebäude, so kann die mobile Plattform beispielsweise auch als tragbares Gerät ausgebildet sein.

[0058] Mittels der Ausgabeeinheit **20** kann das Vergleichsergebnis von der Vergleichseinheit **18** in verschiedenster Art und Weise dargestellt werden. Beispielsweise kann eine grafische Visualisierung erfolgen, bei der geschätzte Wahrscheinlichkeiten für eine aufgetretene Veränderung durch unterschiedliche Farben, Intensitäten oder Muster codiert dargestellt werden. Auch können beispielsweise unterschiedliche Klassifizierungen durch unterschiedliche Farben, Intensitäten oder Muster dargestellt werden, beispielsweise in der Art und Weise, dass lediglich als verändert erkannte Teile der Umgebung farblich hinterlegt dargestellt werden. Die Abbildungseinheit **20** kann spezialisierte Hardware, beispielsweise Grafikprozessoren, aufweisen.

[0059] Die Messeinheit **12** enthält einen oder mehrere Sensoren, beispielsweise einen Laserscanner, eine Stereokamera oder Streifenlichtsensoren, um eine Tiefenmessung zu ermöglichen. Die Messeinheit **12** kann darüber hinaus oder alternativ eine oder mehrere Kameras, beispielsweise Rundumkameras, eine oder mehrere Wärmebildkameras, ein oder mehrere Mikrofone, ein oder mehrere chemische Sensoren, insbesondere Gassensoren, und/oder einen oder mehrere X-Ray-Sensoren/Geigerzähler aufweisen. Die Art der verwendeten Sensoren ist prinzipiell unerheblich, solange zumindest ein Teil der erfassten Sensormesswerte im Zusammenspiel mit einem abgespeicherten, den Sollzustand repräsentierenden Modell Z1 eine Lokalisierung der Sensoren in einer zu überwachenden Umgebung Z2 ermöglicht. Wichtig ist weiterhin, dass sich synthetische Messwerte zudem für alle Sensoren erzeugen lassen, die in der Vergleichseinheit **18** verglichen werden.

Es ist ohne weiteres einsichtig, dass dies nicht nur mit Abstandssensoren, sondern beispielsweise auch mit Temperatursensoren möglich ist, wenn ein entsprechendes Modell Z1 Temperaturwerte eines Sollzustandes enthält.

[0060] Die Messeinheit **12**, die Lokalisierungseinheit **14**, die Simulationseinheit **16**, die Vergleichseinheit **18** und die Ausgabeeinheit **20** können in einem Gehäuse integriert sein, beispielsweise in einem tragbaren Gehäuse in der Größe eines Mobiltelefons. Die Ausgabeeinheit **20** kann darüber hinaus Projektionseinrichtungen aufweisen, um das Vergleichsergebnis in den Raum hinein zu projizieren, so dass beispielsweise an die Stelle der Umgebung Z2, an der Veränderungen festgestellt wurden, Leuchtmarkierungen projiziert werden. Auf diese Weise kann einem Bediener unmittelbar angezeigt werden, wo sich in der Umgebung was verändert hat.

[0061] Die Vergleichseinheit **18** kann beispielsweise auch mit zusätzlichen Funktionen ausgestattet sein, so dass in der Vergleichseinheit **18** erkannt werden kann, wenn Gegenstände lediglich von einem Ort zum anderen verschoben sind, beispielsweise in einem Gebäude Rollcontainer oder dergleichen lediglich verschoben und gegenüber dem Sollzustand zwar noch vorhanden aber nicht mehr am vorgesehenen Ort vorhanden sind.

[0062] Die Darstellung der [Fig. 2](#) zeigt eine Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Vorrichtung auf einem Wagen **22**. Anstelle eines Wagens kann auch jede andere mobile Plattform eingesetzt werden. Der Wagen **22** ist mit einer angetriebenen Radachse **24** versehen und mit weiteren, nicht dargestellten Rädern. Die lediglich schematische Darstellung der

[0063] [Fig. 2](#) soll andeuten, dass der Wagen **22** automatisch gelenkt und verfahren werden kann. Die Antriebsachse **24** wird mittels eines Antriebsmotors **26** angetrieben und mittels eines Lenkservos **27** gelenkt, wobei Antriebsmotor **26** und Lenkservo **27** wiederum von einer zentralen Steuereinheit **28** angesteuert wird. Die Steuereinheit **28** steht mit Sensoren in Verbindung, nämlich einer Rundumkamera **30**, einem Horizontalscanner **32** und einem Vertikalscanner **34**. Die Steuereinheit **28** enthält somit mit Ausnahme der Sensoren **30**, **32**, **34** die Messeinheit **12**, die Lokalisierungseinheit **14**, die Simulationseinheit **16**, die Vergleichseinheit **18** und gegebenenfalls sogar die Ausgabeeinheit **20**. Das Modell Z1 ist in einem Speicher der Steuereinheit **28** abgelegt und

kann beispielsweise die Form einer digitalen Karte eines Gebäudes aufweisen. Die von der Rundumkamera **30**, dem Horizontalscanner **32** und dem Vertikalscanner **34** erfassten Messwerte werden somit, wie anhand der [Fig. 1](#) beschrieben, verarbeitet und mit dem abgespeicherten Modell Z1, insbesondere der abgespeicherten Karte, verglichen. Das Vergleichsergebnis kann dann unmittelbar einem Bediener angezeigt werden oder zweckmäßigerweise zu einem Bediener übertragen werden, so dass sich der Wagen **22** beispielsweise durch ein zu überwachendes Gebäude bewegen kann, ohne dass ein Bediener selbst durch das Gebäude laufen muss. Dies ist selbstverständlich insbesondere bei kontaminierten Umgebungen von größter Bedeutung.

[0065] Die Steuereinheit weist hierzu eine zusätzliche Navigationseinheit **35** auf, die eine Ansteuerung des Antriebsmotors **26** so ermöglicht, dass sich der Wagen **22** selbsttätig durch eine zu überwachende Umgebung **Z2** bewegt. Wie bereits ausgeführt wurde, stellt diese Navigationseinheit **35** auch Daten zur Ansteuerung des Lenkservos **27** bereit, um eine im Wesentlichen beliebige Bewegung des Wagens **22** zu ermöglichen. Die Navigationseinheit **35** in der Steuereinheit **28** steuert den Antriebsmotor **26** und das Lenkservo **27** dabei in Abhängigkeit eines Vergleichsergebnisses an. Dies erfolgt beispielsweise dahingehend, dass dann, wenn Veränderungen einer zu überwachenden Umgebung erkannt werden, dieser Bereich der Umgebung erneut angefahren und mittels der Sensoren **30**, **32**, **34** abgetastet wird, um die Sicherheit des Vergleichsergebnisses zu erhöhen. Auch kann die Navigationseinheit beispielsweise die Fahrt des Wagens **22** an bekannten, kritischen Stellen verlangsamen, um eine besonders gründliche Überwachung in diesen Bereichen zu ermöglichen.

[0066] Der in [Fig. 2](#) dargestellte Wagen **22** ist mittels des Motors **26**, des Lenkservos **27** und der Antriebsachse **24**, wobei der Motor **26** und das Lenkservo **27** von der Steuereinheit **28** angesteuert werden, als autonomer Roboter einsetzbar. Der Wagen **22** kann autonom die Umgebung ständig auf Änderungen kontrollieren und diese automatisiert protokollieren. Bei Einsatz in einem Kraftwerk können erkannte Änderungen beispielsweise sofort an den Leitstand eines Kraftwerks übertragen werden.

[0067] Die Übertragung des Vergleichsergebnisses von der Steuereinheit **28** kann an einen Bediener, selbstverständlich aber auch an einen weiteren Steuerungsrechner erfolgen, der in Abhängigkeit des Vergleichsergebnisses automatisiert weitere Maßnahmen ergreift, beispielsweise einen Alarm auslöst oder einen überwachten Prozess abschaltet.

[0068] Mittels des mobilen Wagens **22** ist es darüber hinaus möglich, das den Sollzustand repräsentierende Modells Z1 während eines ersten Durchlaufs

durch die zu überwachende Umgebung zu erfassen. Beispielsweise kann ein Gebäude in einem ersten Durchlauf abgetastet und dadurch ein Sollzustand festgestellt und das Modell Z1 erstellt werden. Weitere Durchläufe des Wagens **22** dienen dann der Feststellung von Veränderungen zu dem eingangs ermittelten Sollzustand.

[0069] Eine sinnvolle Überwachung einer Umgebung ist im Übrigen bereits alleine mit dem Horizontalscanner **32** möglich, der, wie in [Fig. 2](#) schematisch angedeutet ist, einen Erfassungsbereich **32a** von etwa 180° hat und innerhalb dieses Erfassungsbereichs Abstandsdaten ermittelt. Wenn der Wagen **22** somit durch ein Gebäude fährt, lassen sich auf einer vorbestimmten Höhe, entsprechend der Anordnung des Horizontalscanners **32**, fortlaufend Abstandsdaten ermitteln. Diese Abstandsdaten werden dann, wie beschrieben, lokalisiert, mit dem Modell Z1 verglichen und das Ergebnis des Vergleichs wird dann ausgegeben.

[0070] Das Modell oder die Karte Z1 besteht in diesem Fall aus dem Grundriss eines Gebäudes oder eines Gebäudekomplexes. Alle relevanten, zu erkennenden Änderungen müssen sich in diesem Fall auf einer Ebene mit konstanter Höhe parallel zum Boden feststellen lassen, wobei diese konstante Höhe, beispielsweise 50 cm, der Höhe des Horizontalscanners **32** über der Fahrbahn des Wagens **22** entspricht. In einer Werkhalle lassen sich in einer konstanten Höhe aber beispielsweise bereits die Position und das Vorhandensein von Maschinen und sonstigen Fertigungseinrichtungen feststellen.

[0071] Der Horizontalscanner **32** misst also Tiefenwerte oder Abstandswerte in einer Ebene mit konstanter Höhe parallel zum Boden. Die Karte Z1 bezeichnet dann ein zweidimensionales Modell der zu vergleichenden Umgebung, das Wände und Objekte auf einer festen Höhe enthält. Dieses Modell oder die Karte Z1 kann manuell erzeugt werden, z. B. aus dem Grundriss des Gebäudes oder anderen Plänen, oder automatisch in einem Durchlauf mit dem Wagen **22** aufgenommen werden. Die Karte Z1 ist dabei durch eine Menge von Linien und/oder Punkten repräsentiert.

[0072] In der Steuereinheit **28** werden die erfassten Messwerte des Horizontalscanners **32** dazu verwendet, die aktuelle Position und Orientierung des Horizontalscanners **32** und damit des mobilen Wagens **22** im Bezug auf Z1 festzustellen. Dazu wird der aktuelle zweidimensionale Laserscan zu jedem Zeitpunkt mit dem Modell Z1 registriert, indem er in eine Punktwolke transformiert wird und bekannte Lokalisierungsalgorithmen angewendet werden. Das Ergebnis der Registrierung sind Lokalisierungsdaten, nämlich die Position und die Orientierung des Horizontalscanners **32** in Bezug auf das Modell Z1.

[0073] In der Simulationseinheit der Steuereinheit **28** wird eine synthetische Sensoraufnahme durch Projektion der Punktwolke, die das Modell Z1 repräsentiert, auf eine synthetische zweidimensionale Laserscanneraufnahme abgebildet. Die zweidimensionale Laserscanneraufnahme lässt sich durch Umrechnung von kartesischen auf Polarkoordinaten und anschließende Diskretisierung erzeugen. Fallen dabei mehrere Distanzwerte auf einen Winkel, so wird die kleinste Distanz genommen.

[0074] Eine Vergleichseinheit in der Steuereinheit **28** berechnet zu jedem Zeitpunkt den Unterschied zwischen der synthetischen zweidimensionalen Laserscanneraufnahme, die von der Simulationseinheit erzeugt wurde, und der tatsächlichen zweidimensionalen Laserscanneraufnahme, die vom Horizontalscanner **32** erzeugt wurde. Die Vergleichseinheit arbeitet also in der Repräsentation des zweidimensionalen Laserscanners. Der Vergleich erfolgt punktweise durch Subtraktion der synthetischen Messung von der tatsächlichen Messung. Ist der Betrag der Differenz größer als ein Schwellwert, der abhängig vom gemessenen Sensorrauschen gewählt wird, wird die zugehörige Tiefenmessung als geändert klassifiziert. Unterschieden wird hierbei, ob die als geändert klassifizierte Tiefenmessung größer oder kleiner als die durch das Modell Z1 vorgegebene ist. Insgesamt stehen also pro Sensordatum drei Klassifizierungen zur Verfügung, nämlich „unverändert“, „näher“ oder „ferner“. Die Klassifizierung „näher“ entspricht dabei dem Ergebnis „Objekt wurde hinzugefügt“, die Klassifizierung „ferner“ entspricht dem Ergebnis „Objekt wurde entfernt“.

[0075] Die in der Steuereinheit **28** enthaltene Ausgabeinheit zeigt das Modell Z1, in die zusätzlich als abweichend klassifizierte Sensordaten als farblich abgesetzte Punkte eingetragen sind, wobei je nachdem, ob gegenüber Z1 ein Sensordatum zu fern oder zu nahe klassifiziert wurde, eine andere Farbe verwendet wird.

[0076] Wird zusätzlich zum Horizontalscanner **32** der Vertikalscanner **34** eingesetzt, kann eine dreidimensionale Erfassung einer zu überwachenden Umgebung ermöglicht werden. Bei Hinzunahme des Vertikalsensors **34** ist das Modell Z1 durch ein dreidimensionales Modell repräsentiert, das das Rendern von synthetischen zweidimensionalen Laserscanneraufnahmen erlaubt. In der Abbildungseinheit werden nun synthetische zweidimensionale Laserscanneraufnahmen aus dem Blickpunkt des vertikal angebrachten Vertikalscanners **34** erzeugt. In der Ausgabeinheit erfolgt eine dreidimensionale Ausgabe, indem das dreidimensionale Modell Z1 durch die als geändert klassifizierten Sensordaten ergänzt und mittels bekannter Technologien auf einem Ausgabe-medium dargestellt wird. Die als geändert klassifizierten Sensordaten werden hierzu in das dreidimensio-

nale Modell hinein projiziert.

[0077] Anstatt lediglich eines Vertikalscanners **34** können zwei an gegenüberliegenden Seiten des Wagens **22** angeordnete Vertikalscanner verwendet werden. Zu jedem Zeitpunkt kann dann eine komplette 360°-Scheibe gemessen werden. Alternativ zur Verwendung der Scanner **32**, **34** kann ein dreidimensionaler Laserscanner verwendet werden, der bei jeder Messung eine Tiefenkarte fast der gesamten Hemisphäre erzeugt.

[0078] Bei heutigen dreidimensionalen Laserscannern dauern solche Messungen jedoch vergleichsweise lange und in der Größenordnung ab etwa einer Minute, so dass der mobile Wagen **22** für jede Messung anhalten muss. Die Simulationseinheit in der Steuereinheit **28** muss dann entsprechend Tiefenkarten synthetisieren, die mit den Messwerten des 3D-Laserscanners vergleichbar sind. Die Vergleichseinheit arbeitet in entsprechender Weise wie bereits beschrieben wurde.

[0079] Zusätzlich kann die Kamera **30** eingesetzt werden. Verwendet werden kann eine Zeilenkamera, eine Flächenkamera, eine 360°-Kamera, die beispielsweise durch eine Flächenkamera mit Panoramaspiegelaufsatz ausgeführt ist oder eine Flächenkamera mit Fischaugenoptik. Durch Verwendung einer Kamera können auch visuelle Änderungen der Umgebung erkannt werden, bei denen sich die Tiefe nicht ändert, beispielsweise entfernte Warnhinweise, Verkehrsschilder oder dergleichen. Das Modell Z1 ist in diesem Fall als texturiertes dreidimensionales Modell aufgebaut, so dass ein Vergleich simulierter Farbbilder mit Kamerabildern durchgeführt werden kann. Entsprechend erzeugt die Simulationseinheit dann eine synthetische Aufnahme aus Sicht der Farbkamera. In der Vergleichseinheit werden zusätzlich zum Vergleich von synthetischen und realen zweidimensionalen Laserscanneraufnahmen die synthetische Farbkameraaufnahme und die reale Farbkameraaufnahme pro Pixel verglichen. Als Maß wird hierbei die quadrierte Differenz der Intensitäten der einzelnen Farbkanäle summiert über die Farbkanäle verwendet. Auch andere Vergleichsmaße, wie etwa histogrammbasierte Verfahren und Bhattacharyya-Differenz sind hier möglich.

[0080] Zusätzlich kann auf dem mobilen Wagen **22** ein Neigungssensor **36** angeordnet sein, der zu jedem Zeitpunkt die absolute 3D-Orientierung des Wagens **22** und somit auch aller montierten Sensoren liefert. Damit wird das Einsatzfeld der Erfindung auf Szenarien erweitert, in denen die Oberfläche der zu kontrollierenden Umgebung, auf der der Wagen **22** sich bewegt, nicht durch eine Ebene angenommen werden kann. Auf diese Weise kann der Wagen **22** auch im Gelände eingesetzt werden. Die Lokalisierungseinheit in der Steuereinheit **28** verwendet in die-

sem Fall zusätzlich die Sensordaten des Neigungssensors, um eine robuste, globale Position und Orientierung des Wagens **22** zu liefern. Dies ermöglicht es, eine Invarianz gegenüber Orientierungsänderungen des Wagens **22** zu erreichen, indem die Daten der anderen Sensoren **30**, **32**, **34** in eine Referenzorientierung überführt werden.

[0081] Die Steuereinheit auf dem Wagen **22** der **Fig. 2** kann darüber hinaus einen Projektor **38** ansteuern, der seine Ausgabe direkt in die zu überwachende Umgebung hinein projiziert. Neben den erkannten Änderungen kann dabei auch projiziert werden, was sich laut dem in der Steuereinheit **28** abgelegten Modell Z1 dort im Sollzustand befinden müsste. Ist in einem Gebäude beispielsweise ein Bild von einer Wand entfernt worden, so kann dem Bediener dadurch angezeigt werden, welche Abmessungen das Bild hatte, gegebenenfalls sogar wie das Bild im Einzelnen ausgesehen hat.

[0082] **Fig. 3** zeigt eine weitere Ausführungsform der Erfindung. Die Messeinheit, Lokalisierungseinheit, Simulationseinheit, Vergleichseinheit und Ausgabereinheit sind in einem Gehäuse **40** untergebracht, in dem in einem geeigneten Speicher auch ein Modell Z1 der zu überwachenden Umgebung abgelegt ist. Das Gehäuse **40** weist etwa die Größe eines Mobiltelefons auf und die Ausgabereinheit zeigt Änderungen auf einem Bildschirm **42** an. Das Gehäuse **40** wird nun in einer zu überwachenden Umgebung in Richtung des zu prüfenden Objekts an der zu prüfenden Stelle gehalten. Das Gehäuse **40** enthält dazu geeignete Sensoren der Messeinheit, insbesondere Farbkameras, Neigungssensoren, Wärmebildkameras, Mikrofone und dergleichen. Alternativ zur Anzeige der Vergleichsergebnisse auf dem Bildschirm **42** können die Vergleichsergebnisse auch in eine Brille **44** eingeblendet werden, so dass ein Bediener, der die Brille **44** trägt, in besonders bequemer Weise erkennen kann, an welchen Stellen der zu überwachenden Umgebung Veränderungen gegenüber dem Sollzustand aufgetreten sind.

[0083] Auf dem Bildschirm **42** oder im Gesichtsfeld der Brille **44** können mittels Augmented-Reality-Techniken auch Veränderungen in einer Abbildung der tatsächlichen Umgebung angezeigt werden. Hierzu wird anstatt des Modells Z1 der Originalbildstrom einer Kamera im Gehäuse **40** angezeigt und als geändert klassifizierte Pixel werden mittels Augmented-Reality-Techniken mit diesem Originalbildstrom gemischt. Das Gehäuse **40** kann dann auf die zu prüfende Umgebung gezeigt werden und auf dem Bildschirm **42** wird der Bildstrom der Kamera im Gehäuse **40** angezeigt und darüber hinaus werden die erkannten Änderungen mit eingeblendet. Alternativ ist das Gehäuse **40** starr mit der Brille **44** verbunden oder in der Brille **44** integriert, derart, dass die Kamera im Gehäuse **40** dem Blickfeld der Augen des Be-

dieners, der die Brille **44** trägt, entspricht. Änderungen werden dann mittels Augmented-Reality-Techniken direkt in der Brille **44** eingeblendet.

[0084] Neben der reinen Anzeige von Veränderungen kann in der Vergleichseinheit einer erfindungsgemäßen Vorrichtung durch Verwendung geeigneter Algorithmen auch eine Korrespondenz zwischen erkannten Änderungen ermittelt und gegebenenfalls angezeigt werden. Beispielsweise kann auf diese Weise festgestellt werden, ob Maschinen an einen anderen Ort verschoben wurden. Hierzu werden nahe beieinanderliegende und als geändert klassifizierte Messwerte zu Objekten zusammengefasst, entsprechend einer Segmentierung. Mittels algorithmischer Suchtechniken wird im Modell Z1 dann nach solchen Objekten an allen Stellen gesucht. Wird eine Übereinstimmung zwischen einem als fehlend oder zusätzlich klassifizierten Objekt und einem Objekt im Modell Z1 gefunden, so kann die Ausgabereinheit diese Korrespondenz, beispielsweise als Verschiebungsvektor, anzeigen.

[0085] Die Erfindung kann unter anderem zum Erkennen von Änderungen der tatsächlichen Umgebung zu elektronischen zweidimensionalen Straßenkarten oder dreidimensionalen Umgebungsmodellen verwendet werden. Zweidimensionale elektronische Straßenkarten werden bereits in großem Umfang für die Fahrzeugnavigation eingesetzt. Änderungen im tatsächlichen Straßennetz, beispielsweise im Straßenverlauf, müssen zunächst einmal festgestellt werden und dann in den elektronischen Karten berücksichtigt werden. Hierzu ist eine große Anzahl an Personen erforderlich, die das Straßennetz abfährt und Änderungen meldet. Gemäß der Erfindung können Änderungen automatisch erkannt werden und direkt zum Hersteller der zweidimensionalen Straßenkarte oder dem dreidimensionalen Umgebungsmodell übertragen werden. Eventuell kann die Karte oder das Modell direkt an die Änderungen angepasst werden. Besonders vorteilhaft kann die Erfindung eingesetzt werden, wenn eine erfindungsgemäße Vorrichtung in zahlreichen Fahrzeugen eingebaut ist, so dass eine große Wahrscheinlichkeit dafür besteht, dass innerhalb eines vorgegebenen Zeitraums im Wesentlichen alle Teile des Straßennetzes von wenigstens einem dieser Fahrzeuge befahren werden. Auf diese Weise kann eine flächendeckende und zeitnahe Erkennung von Änderungen der zweidimensionalen Straßenkarten oder dreidimensionalen Modelle erfolgen und eventuell nötige Anpassungen können ebenfalls zeitnah vorgenommen werden.

[0086] Die Erfindung kann beispielsweise aber auch in der chemischen Industrie eingesetzt werden, wobei in diesem Fall die Vorrichtung der **Fig. 3** besonders vorteilhaft einsetzbar ist. In einer Anlage der chemischen Industrie existieren eine Vielzahl von Rohrleitungen, die alle verschiedene Temperaturen

besitzen und deren Temperaturen kontrolliert und mit Solltemperaturen, die in einem Plan notiert sind, verglichen werden müssen. Dies geschieht derzeit manuell durch einen Benutzer: Er muss zuerst zu jeder Leitung die zugeordnete Leitung im Plan herausfinden, den darin notierten Solltemperaturbereich ablesen, da pro Leitung und Position eine andere Temperatur gelten kann. Mit diesem abgelesenen Solltemperaturbereich muss dann eine vom Benutzer gemessene Temperatur verglichen werden. Entsprechend der [Fig. 3](#) kann das Gehäuse **40** mit darin angeordneten Wärmebildkameras auf die Rohrleitungen gerichtet werden und das Modell Z1 enthält in diesem Fall auch Solltemperaturen der Rohrleitungen. Tritt dann eine Abweichung zwischen der aktuell gemessenen Temperatur und der Solltemperatur im Modell **11** auf, so kann dies im Bildschirm **42** angezeigt werden. Die Anzeige kann differenziert beispielsweise erst bei Toleranzüberschreitungen erfolgen. Auf diese Weise können alle Leitungen individuell überprüft werden und es kann automatisiert ein objektives Protokoll erstellt werden. Defekte Leitungen können automatisch erkannt werden und beim Vorsehen eines Projektors im Gehäuse **40** können diese Änderungen direkt in den Raum hinein projiziert und auf die betroffene Leitung abgebildet werden.

[0087] Das Modell Z1 schließt in diesem Fall alle Rohrleitungen incl. deren Solltemperaturen oder Solltemperaturbereiche ein. Die Messeinheit weist in diesem Fall zusätzlich eine Wärmebildkamera auf. In der Simulationseinheit wird eine synthetische Aufnahme aus Sicht der Wärmebildkamera erzeugt. Die erzeugte synthetische Wärmebildkameraaufnahme wird mit der realen Wärmebildkameraaufnahme pro Pixel verglichen. Als Maß wird hierbei die Differenz der Temperaturintensitäten verwendet. In der Ausgabeinheit werden als geänderte klassifizierte Pixel der Wärmebildkamera visuell abgesetzt dargestellt, speziell wird auch der Unterschied zur Solltemperatur farblich codiert dargestellt. Klassifizierungen können in diesem Fall nach den Kriterien „unverändert“, „zu kalt“, „zu heiß“ vorgenommen werden.

[0088] Eine weitere Anwendungsmöglichkeit für das erfindungsgemäße Verfahren und die erfindungsgemäße Vorrichtung ist die Flugzeugwartung. Dabei wird der mobile Wagen **22** dazu verwendet, Flugzeugtriebwerke zu prüfen. Als Sensoren sind in diesem Fall zusätzlich oder alternativ wenigstens eine Wärmebildkamera sowie wenigstens ein Mikrofon möglich. Der Wagen **22** wird zur Überwachung um ein zu prüfendes Triebwerk eines Flugzeugs herum bewegt. Dies ist selbst auf dem Flughafen im aktuellen Flugbetrieb möglich, das Flugzeug muss hierzu keine spezielle Position anfahren. Der Wagen **22** lokalisiert sich anhand der statischen Teile der Umgebung und des Flugzeugs. Beim Herumfahren um das Triebwerk wird die Wärmebildsignatur und das

Audio-Spektrum mit den Soll-Daten des Herstellers oder einer vorherigen Aufnahme verglichen. So können Abweichungen erkannt und dokumentiert werden. Ebenso kann eine neue Aufnahme der Signatur vorgenommen werden.

[0089] Das Modell Z1, das in der Steuereinheit **28** abgelegt ist, schließt in diesem Fall die Wärme- und Geräuschsignatur der Triebwerke ein. Außerdem enthält das Modell Z1 ein CAD-Modell des Flugzeuges, um die Lokalisierung des Wagens **22** zu ermöglichen. Die Messeinheit enthält, wie bereits ausgeführt wurde, zusätzlich wenigstens eine Wärmebildkamera und wenigstens ein Mikrofon. Die Lokalisierungseinheit in der Steuereinheit **28** nimmt eine Lokalisierung anhand des abgelegten Flugzeugmodells und gegebenenfalls weiterer statischer Teile der Umgebung vor, die dann natürlich auch in dem Modell Z1 enthalten sein müssen. Die Abbildungseinheit in der Steuereinheit **28** liefert in diesem Fall eine synthetische Aufnahme aus Sicht der Wärmebildkamera und eine synthetische Aufnahme der Mikrofone. In der Vergleichseinheit werden die synthetische Wärmebildkameraaufnahme und die reale Wärmebildkameraaufnahme pro Pixel verglichen. Als Maß wird hierbei die Differenz der Temperaturen verwendet. Außerdem wird die synthetische Audiosignatur mit der real aufgenommenen Audiosignatur verglichen. Die Ausgabeinheit stellt dann als geändert klassifizierte Pixel der Wärmebildkamera und als geändert klassifizierte Audiosignale visuell abgesetzt dar.

[0090] Die schematische Darstellung der [Fig. 4](#) zeigt eine weitere erfindungsgemäße Vorrichtung, wobei hier, im Unterschied zu den bisher beschriebenen Ausführungsbeispielen, ein zu überwachendes Objekt Z2 selbst auf einer beweglichen Plattform angeordnet ist. In der Darstellung der [Fig. 4](#) ist ein zu untersuchendes Objekt Z2, beispielsweise ein Flugzeug, auf einer beweglichen Plattform **50** angeordnet. Alternativ kann das zu überwachende Objekt selbstverständlich selbst beweglich sein, wie beispielsweise auch im Falle eines Flugzeugs. Auf der beweglichen Plattform **50** mit dem Objekt Z2 ist ein 2D-Scanner **52** angeordnet, der Abstandsdaten liefert und speziell Abstandsdaten zu einer Umgebung, die in der schematischen Darstellung der [Fig. 4](#) als rechteckiger Messraum **54** angedeutet ist. Die Daten des Scanners **52** werden zu einer Steuereinheit **56**, beispielsweise drahtlos, übertragen, und in der Steuereinheit **56** wird anhand der Abstandsdaten des Scanners **52** die bewegliche Plattform **50** mit dem Objekt Z2 innerhalb des Messraums **54** lokalisiert. Die Steuereinheit **56** erhält weiterhin Eingangssignale von einer ersten Kamera **58** und einer zweiten Kamera **60**, wobei diese Kameras **58**, **60** zur Überwachung des Istzustandes des Objekts Z2 vorgesehen sind.

[0091] Die Lokalisierung der Sensormesswerte, d.

h. der Signale des Scanners **52** und der Kameras **58**, **60** erfolgt mittels eines in der Steuereinheit **56** abgespeicherten Modells Z1, wobei in diesem Fall das Modell Z1 aus zwei Teilen besteht. Zum einen besteht Z1 aus dem Modell des Objektes Z2, das Informationen über den Sollzustand des Objekts Z2 enthält.

[0092] Zum anderen besteht Z1 aus einem, beispielsweise zweidimensionalen Grundriss des Messraumes **54**. Wenn sich also die Plattform **50** innerhalb des Messraumes **54** bewegt, kann mittels des Modells Z1 die Position und Orientierung des Objekts Z2 im Messraum **54** festgestellt werden. In der Simulationseinheit der Steuereinheit **56** wird das Objekt Z2 dann aus Sicht der Kameras **58**, **60** gerendert, und zwar unter Verwendung der Lokalisierungsdaten. Die auf diese Weise simulierten synthetischen Kameraaufnahmen aus Sicht der Kameras **58**, **60** werden dann in der Vergleichseinheit mit den aktuellen Bildern der Kameras **58**, **60** verglichen und, analog zu den bereits beschriebenen Ausführungsformen, werden Veränderungen am Objekt Z2 angezeigt.

[0093] Der Vorteil der in [Fig. 4](#) schematisch dargestellten Ausführungsform der Erfindung besteht darin, dass das Objekt Z2 relativ zu den Kameras **58**, **60** bewegt werden kann statt umgekehrt, so dass auch in räumlich engen Umgebungen eine Überwachung durchgeführt werden kann.

[0094] Die Kamera **60** ist, wie der Darstellung der [Fig. 4](#) zu entnehmen ist, an einem Schwenkarm **62** angeordnet, so dass die Position der Kamera **60** relativ zum Messraum **54** geändert werden kann. Der Schwenkarm **62** ist aber mit einer geeigneten Sensorik ausgestattet, die eine exakte Rückmeldung über die gerade aktuelle Position der Kamera **60** liefert. Diese Informationen über die gerade aktuelle Position der Kamera **60** werden ebenfalls an die Steuereinheit **56** übertragen, so dass, trotz der Möglichkeit, mit der Kamera **60** das Objekt Z2 aus verschiedenen Blickwinkeln zu betrachten, die Position der Kamera **60** immer kalibriert ist.

[0095] Eine weitere bevorzugte Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zeigt die schematische Darstellung der [Fig. 5](#). Im Unterschied zur Ausführungsform der [Fig. 4](#) ist hier die zweite Kamera **60** auf einer weiteren mobilen Plattform **64** angeordnet und die weitere Plattform **64** ist mit einem Laserscanner **66** zum Erfassen von Abstandswerten versehen. Die Sensormesswerte des Scanners **64** werden zur Steuereinheit **56** übertragen, und in der Steuereinheit **56** wird anhand der Sensormesswerte des Scanners **64** eine Lokalisierung der weiteren mobilen Plattform **64** vorgenommen. Wie der [Fig. 5](#) zu entnehmen ist, ist die Kamera **60** auf der weiteren mobilen Plattform **64** mit der Schwenk-Neige-Einrichtung **62** montiert, wobei, wie anhand der [Fig. 4](#) be-

schrieben wurde, die Schwenk-Neige-Einrichtung **62** Signale über ihre aktuelle Stellung direkt an die Steuereinheit **56** überträgt, so dass die Kamera **60** relativ zur Plattform **64** immer eine kalibrierte Stellung einnimmt.

[0096] Ersichtlich bietet die Ausführungsform der [Fig. 5](#) eine noch größere Flexibilität, um ein zu überwachendes Objekt Z2 mittels der auf der beweglichen Plattform **64** angeordneten Kamera **60** aus verschiedensten Blickwinkeln zu betrachten und gemäß dem erfindungsgemäßen Verfahren die dadurch erstellten Aufnahmen des Istzustandes mit dem Sollzustand des Objekts Z2 zu vergleichen.

Patentansprüche

1. Verfahren zum sensorbasierten Überwachen eines Istzustandes einer Umgebung (Z2) unter Berücksichtigung eines Sollzustandes der Umgebung (Z2) gekennzeichnet durch folgende Schritte:

- Erfassen von Sensormesswerten mit wenigstens einem Sensor (**30**, **32**, **34**),
- Lokalisieren des Sensors (**30**, **32**, **34**) oder der Sensormesswerte innerhalb der Umgebung (Z2) unter Berücksichtigung eines abgespeicherten Modells (Z1) der Umgebung (Z2) und Erstellen von Lokalisierungsdaten,
- Erstellen von simulierten Messwerten unter Berücksichtigung der Lokalisierungsdaten und des abgespeicherten Modells (Z1), und
- Vergleichen der simulierten Messwerte und der mittels des wenigstens einen Sensors (**30**, **32**, **34**) erfassten Sensormesswerte.

2. Verfahren nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch Ausgeben von beim Vergleichen ermittelten Unterschieden zwischen den simulierten Messwerten und den mittels des wenigstens einen Sensors (**30**, **32**, **34**) erfassten Messwerten.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, gekennzeichnet durch Verwenden mehrerer Sensoren (**30**, **32**, **34**) für die Erfassung von Sensormesswerten, wobei beim Simulieren für alle Sensoren (**30**, **32**, **34**) simulierte Messwerte erstellt werden und beim Vergleichen ein Einzelvergleich der von jedem Sensor (**30**, **32**, **34**) erfassten Sensormesswerte und der für diesen Sensor (**30**, **32**, **34**) simulierten Messwerte und/oder ein Vergleich kombinierter erfasster Sensormesswerte und kombinierter simulierter Messwerte erfolgt.

4. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch Klassifizieren der Ergebnisse des Vergleichens in mehrere Klassen, insbesondere unverändert, größer als Sollwert oder kleiner als Sollwert, und/oder durch Ausgeben eines Konfidenzwerts, insbesondere einer Wahrscheinlichkeit für die Klassifizierung in eine Klasse.

5. Verfahren nach wenigstens einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Lokalisieren durch Auswerten der Sensormesswerte erfolgt.

6. Verfahren nach wenigstens einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass beim Erstellen von simulierten Messwerten ein statistisches Modell der zu erwartenden Messwerte, insbesondere eine Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion, ausgegeben wird.

7. Verfahren nach wenigstens einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens die Schritte des Erfassens von Sensormesswerten, des Lokalisierens der Sensormesswerte, des Simulierens von Messwerten und des Vergleichens von Sensormesswerten und simulierten Messwerten fortlaufend automatisiert für unterschiedliche Sensorpositionen in der Umgebung durchgeführt werden.

8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Schritte des Erfassens, des Lokalisierens und des Vergleichens in Abhängigkeit eines Vergleichsergebnisses veränderbar sind.

9. Verfahren nach Anspruch 1 und 2 und wenigstens einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Ausgeben von beim Vergleichen ermittelten Unterschieden zwischen den simulierten Messwerten und den mittels des wenigstens einen Sensors (**30, 32, 34**) erfassten Sensormesswerten durch Projizieren der simulierten Messwerte und/oder der ermittelten Unterschiede in den Raum, insbesondere auf die beim Lokalisieren ermittelten Positionen der Sensormesswerte erfolgt.

10. Vorrichtung zum sensorbasierten Überwachen eines Istzustandes einer Umgebung (Z2) unter Berücksichtigung eines Sollzustandes der Umgebung (Z2), insbesondere zum Durchführen des Verfahrens nach wenigstens einem der vorstehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch eine Messeinheit (**12**) mit wenigstens einem Sensor (**30, 32, 34**) zum Erfassen von Sensormesswerten, eine Lokalisierungseinheit (**14**) zum Lokalisieren des Sensors (**30, 32, 34**) und/oder der Sensormesswerte innerhalb der Umgebung (Z2) unter Berücksichtigung eines abgespeicherten Modells (Z1) der Umgebung (Z2), eine Simulationseinheit (**16**) zum Erstellen von simulierten Messwerten unter Berücksichtigung der Lokalisierungsdaten und des abgespeicherten Modells (Z1) und eine Vergleichseinheit (**18**) zum Vergleichen der simulierten Messwerte und der Sensormesswerte.

11. Vorrichtung nach Anspruch 10, gekennzeichnet durch eine Ausgabeeinheit (**20**) zum Ausgeben von in der Vergleichseinheit (**18**) ermittelten Unterschieden zwischen den simulierten Messwerten und

den Sensormesswerten.

12. Vorrichtung nach Anspruch 10 oder 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Vorrichtung eine mobile Basis (**22**) aufweist.

13. Vorrichtung nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass die mobile Basis (**22**) mit Aktuatoren, insbesondere Antriebsmotoren, (**26**) versehen ist, die eine selbstständige Fortbewegung der Basis (**22**) ermöglichen.

14. Vorrichtung nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass eine Navigationseinheit vorgesehen ist, die die Aktuatoren (**26**) ansteuert, wobei die Ansteuerung in Abhängigkeit der Erfassung von Sensormesswerten in der Messeinheit (**12**) und/oder in Abhängigkeit des Vergleichsergebnisses in der Vergleichseinheit (**18**) erfolgt.

15. Vorrichtung nach wenigstens einem der Ansprüche 10 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass die zu überwachende Umgebung durch ein in einem Bewegungskoordinatensystem bewegliches Objekt (Z2) gebildet ist und wenigstens eine erste Messeinheit (**52**) gemeinsam mit dem Objekt (Z2) beweglich angeordnet ist und wenigstens eine zweite Messeinheit (**58, 60**) nicht gemeinsam mit dem Objekt (Z2) beweglich angeordnet ist.

16. Vorrichtung nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass die zweite Messeinheit relativ zu dem Bezugskoordinatensystem unbeweglich angeordnet ist.

17. Vorrichtung nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass die zweite Messeinheit relativ zu dem Bezugskoordinatensystem beweglich angeordnet ist und Sensoren zur Lokalisierung aufweist.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

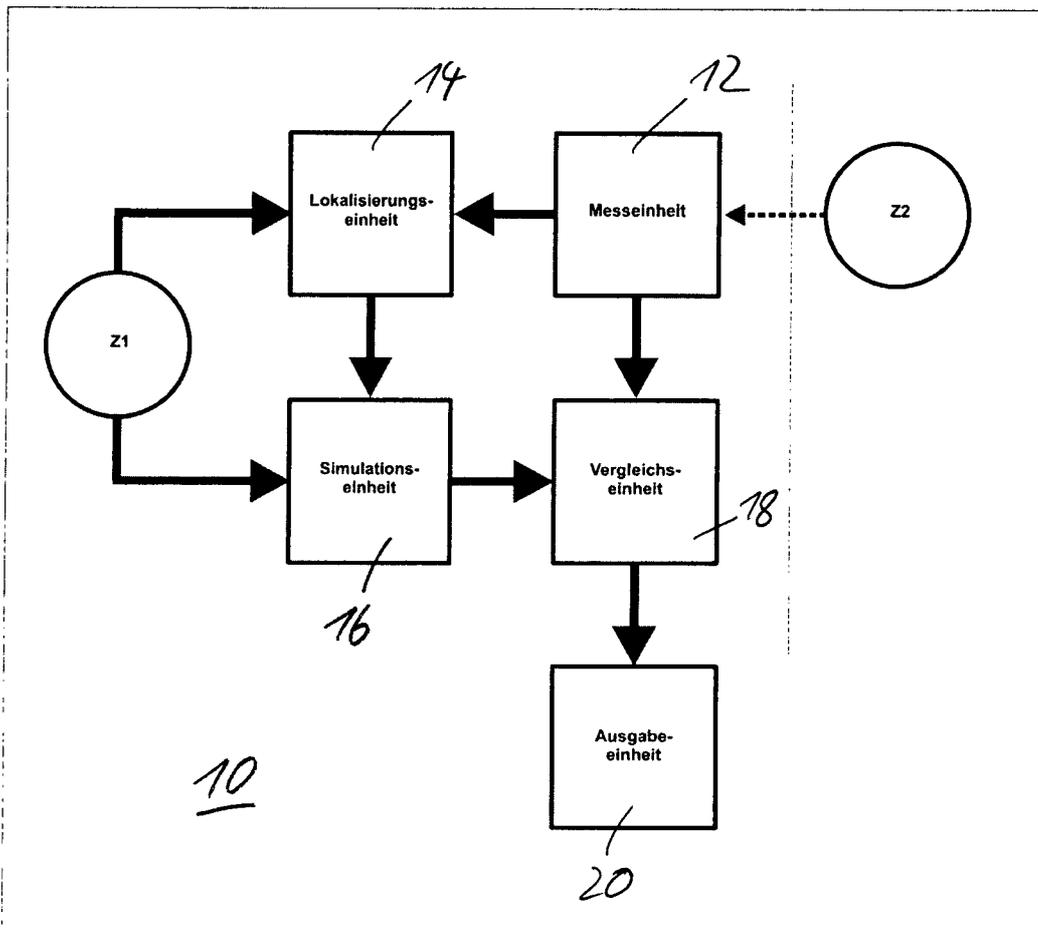


Fig. 1

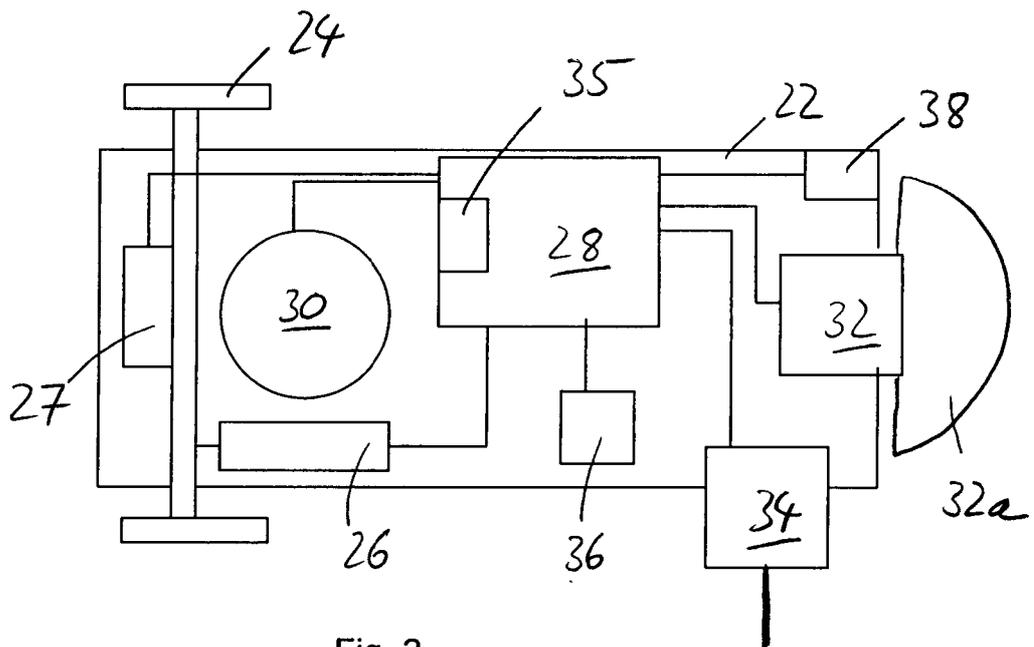


Fig. 2

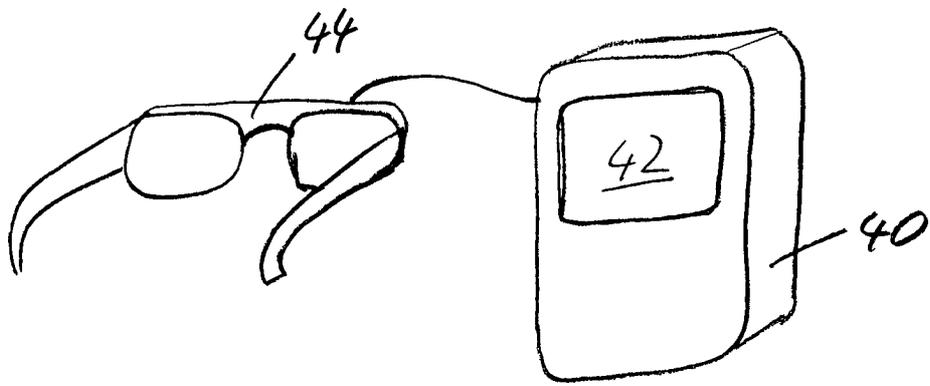


Fig. 3

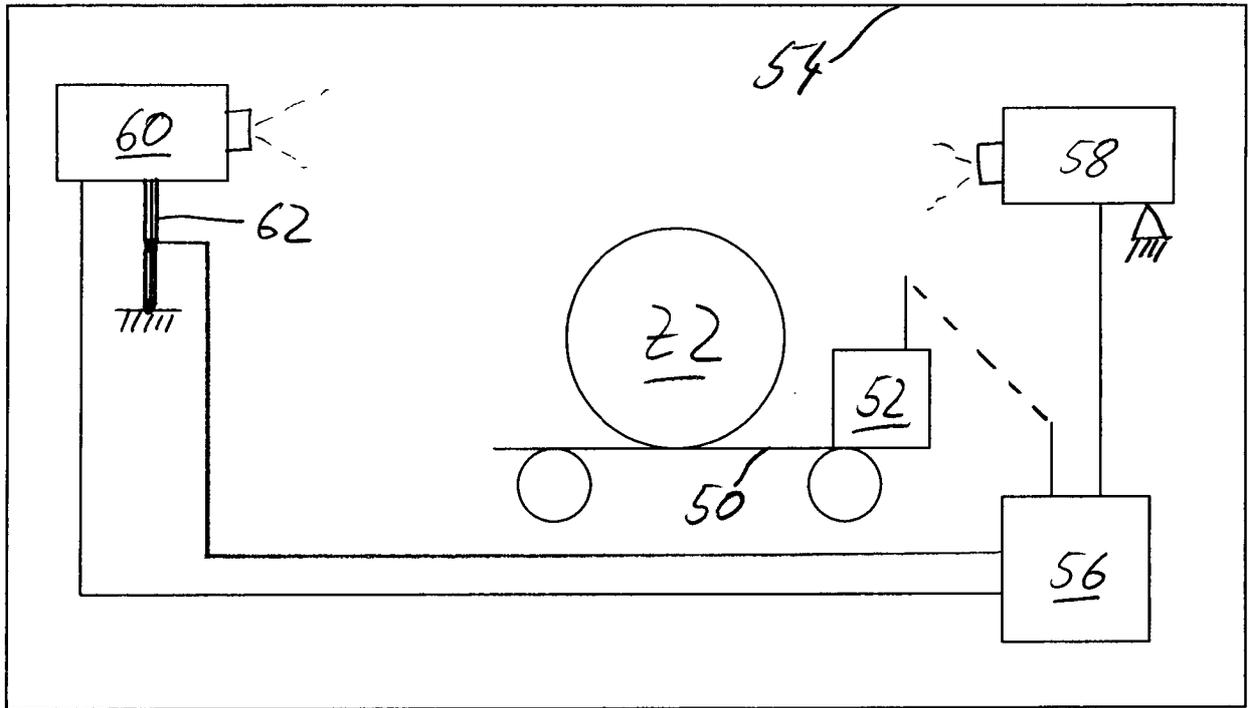


Fig. 4

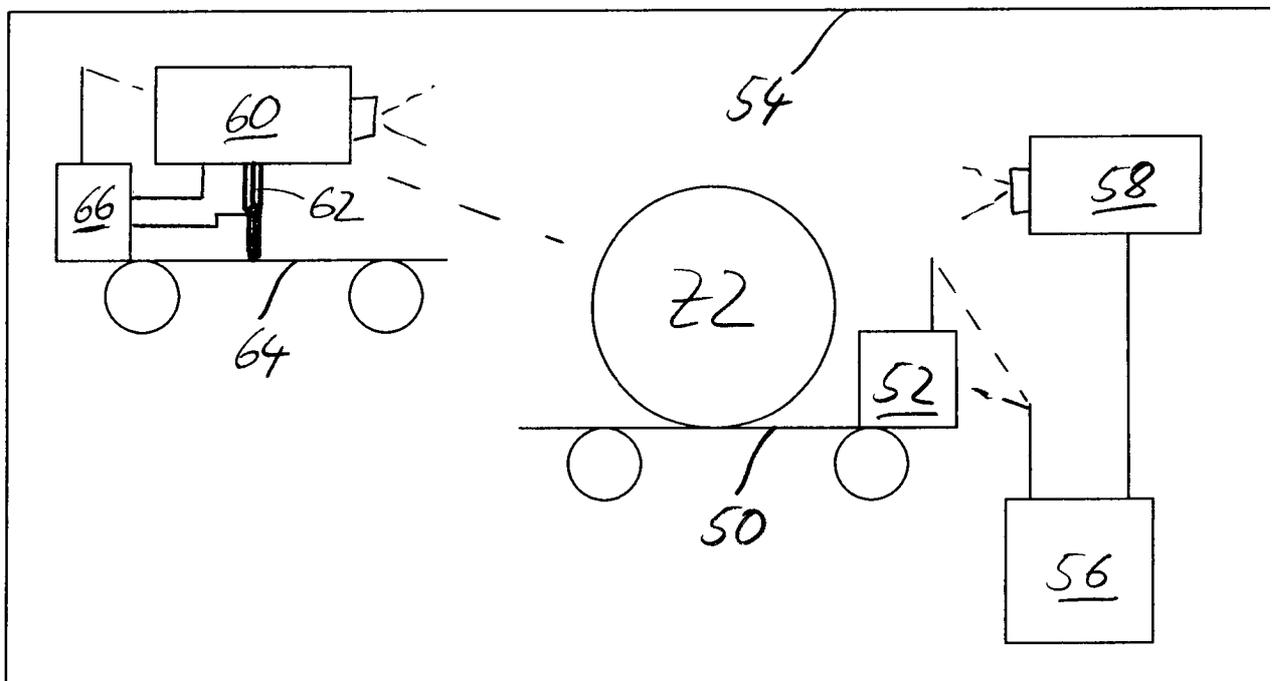


Fig. 5