



(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: 10 2012 102 236.4

(51) Int Cl.: F16P 3/14 (2012.01)

(22) Anmeldetag: 16.03.2012

(43) Offenlegungstag: 19.09.2013

(71) Anmelder:

Pilz GmbH & Co. KG, 73760, Ostfildern, DE

(74) Vertreter:

Witte, Weller & Partner, 70173, Stuttgart, DE

(72) Erfinder:

Döttling, Dietmar, 73760, Ostfildern, DE; Pilz, Thomas, 73760, Ostfildern, DE; Frank, Rüdiger, 73760, Ostfildern, DE; Hufnagel, Mark, 73760, Ostfildern, DE

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

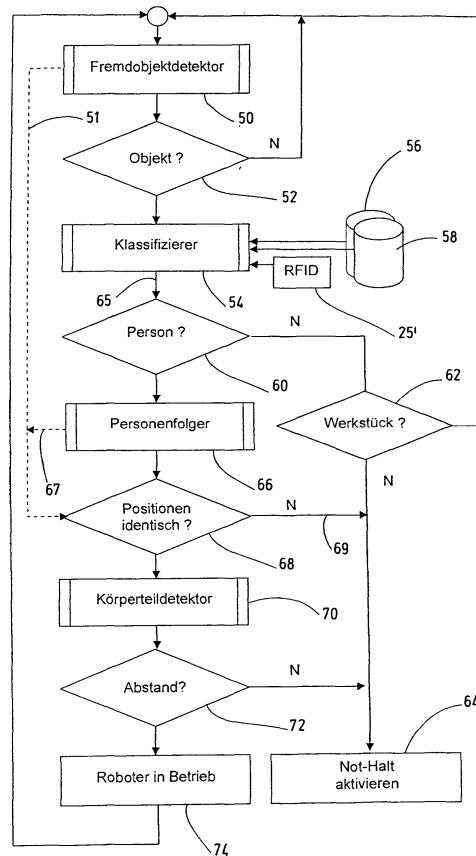
DE 10 2005 003 827 A1
DE 10 2006 048 166 A1
DE 10 2007 007 576 A1
DE 10 2009 031 804 A1
DE 10 2010 017 857 A1
DE 20 2004 020 863 U1
EP 1 543 270 B1

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: Verfahren und Vorrichtung zum Absichern eines gefährlichen Arbeitsbereichs einer automatisiert arbeitenden Maschine

(57) Zusammenfassung: Zum Absichern eines gefährlichen Arbeitsbereichs (24) einer automatisiert arbeitenden Maschine (22) liefert eine Sensoreinheit (12) in definierten Zeitintervallen jeweils ein aktuelles 3D Bild von dem Arbeitsbereich (24). Eine Auswerteeinheit (18) beinhaltet einen fehlersicheren Fremdobjektdetektor (50), einen Klassifizierer (54), einen Personenfolger (66) und einen Vergleicher (68). Der Fremdobjektdetektor (50) erzeugt in Abhängigkeit von dem jeweils aktuellen 3D Bild und in Abhängigkeit von einem definierten Schutzbereich (30) ein erstes Signal mit einer ersten Positionsinformation, die für die Position eines Fremdobjekts in dem Schutzbereich (30) repräsentativ ist. Der Klassifizierer (54) versucht, das Fremdobjekt als Person (34) zu identifizieren. Der Personenfolger (66) verfolgt die identifizierte Person (34) über eine Serie von jeweils aktuellen 3D Bildern und bestimmt nach jedem neuen 3D Bild eine zweite Positionsinformation, die die aktuelle Position der identifizierten Person (34) repräsentiert. Wenn die Position des Fremdobjekts gemäß der ersten Positionsinformation und die Position der identifizierten Person verschieden voneinander sind, wird ein Steuersignal zum Anhalten der Maschine (22) erzeugt.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Absichern eines gefährlichen Arbeitsbereichs einer automatisiert arbeitenden Maschine. Insbesondere betrifft die Erfindung ein Verfahren und eine Vorrichtung, bei denen ein jeweils aktuelles 3D Bild von dem Arbeitsbereich aufgenommen und ausgewertet wird, um eine Gefahr für Personen, die in den Arbeitsbereich eintreten, zu vermeiden.

[0002] Traditionell werden die Gefahrenbereiche von automatisiert arbeitenden Maschinen mit mechanischen Absperrungen in Form von Schutzzäunen und Schutztüren und mithilfe von Lichtschranken, Lichtgittern und Laserscannern abgesperrt. Sobald eine Person eine Schutztür öffnet oder ein Lichtgitter oder eine Lichtschranke unterbricht, wird ein Abschaltsignal erzeugt, mit dem die gefährliche Arbeitsbewegung der Maschine angehalten wird. Die Installation derartiger Schutzeinrichtungen ist allerdings recht aufwändig, und die Schutzeinrichtungen benötigen viel Platz um eine gefährliche Maschine herum. Außerdem sind derartige Schutzeinrichtungen wenig flexibel, wenn es darum geht, die Absicherung des gefährlichen Arbeitsbereichs an unterschiedliche Betriebssituationen der Maschine anzupassen.

[0003] Um diese Nachteile zu vermeiden, gibt es seit einiger Zeit Bemühungen, die Absicherung des gefährlichen Arbeitsbereichs einer automatisiert arbeitenden Maschine mithilfe von Kamerasystemen und geeigneter Bildverarbeitung zu realisieren. EP 1 543 270 B1 beschreibt ein solches System mit zumindest zwei Kameras, die zyklisch Bilder von dem gefährlichen Arbeitsbereich liefern. Die Bilder der Kameras werden mit zumindest zwei algorithmisch unterschiedlichen Verfahren analysiert, wobei die gefährliche Arbeitsbewegung der Maschine angehalten wird, wenn zumindest eines der beiden Verfahren eine Fremdobjektdetektion in einem zuvor definierten Schutzbereich liefert. Jedes der beiden Analyseverfahren erzeugt 3D Informationen aus den Bildern der Kameras, so dass mithilfe der Verfahren die Position von Objekten in dem definierten Schutzbereich festgestellt werden kann. Eine große Herausforderung an solche Verfahren und Vorrichtungen besteht darin, dass die ohnehin schon komplexe Bildverarbeitung fehlersicher im Sinne einschlägiger Normen zur Maschinensicherheit realisiert sein muss, insbesondere EN 954-1 (veraltet), EN ISO 13849-1 und IEC 61508, damit eine solche Vorrichtung tatsächlich auch zur Absicherung einer gefährlichen Maschine eingesetzt werden kann. Ein Versagen der Vorrichtung selbst darf nicht dazu führen, dass die Absicherung der Maschine verloren geht. Als fehlersicher in diesem Sinne gilt im folgenden daher eine Vorrichtung, die zumindest die Kategorie 3 gemäß EN 954-1, SIL2 ge-

mäß IEC 61508 und/oder den Performance Level PL (d) gemäß EN ISO 13849 erreicht.

[0004] Das aus EP 1 543 270 B1 bekannte Verfahren und eine entsprechende Vorrichtung können dies leisten und haben sich in praktischen Einsätzen bereits bewährt. Allerdings kann die bekannte Vorrichtung bislang lediglich detektieren, ob sich ein Fremdobjekt in einem zuvor definierten Schutzbereich befindet, um in Abhängigkeit davon eine gefährliche Maschinenbewegung abzubremsen oder anzuhalten. Eine Mensch-Maschine-Interaktion in unmittelbarer Nachbarschaft von Mensch und Maschine sowie eine flexible Anpassung an wechselnde Betriebssituationen und/oder in Abhängigkeit von der Art des Fremdobjekts sind mit der bekannten Vorrichtung nicht ohne weiteres möglich. Es besteht daher der Wunsch, das bekannte Verfahren und die entsprechende Vorrichtung weiterzuentwickeln, um insbesondere eine Mensch-Roboter-Kollaboration (Human Robot Interaction) innerhalb des gefährlichen Arbeitsbereichs eines Roboters zu ermöglichen. Beispielsweise ist es wünschenswert, dass sich ein Mensch im prinzipiell gefährlichen Arbeitsbereich des Roboters aufhalten kann, während der Roboter arbeitet, um die Bearbeitungsprozesse des Roboters vor Ort zu überwachen oder um ein Werkstück gleichzeitig oder wechselweise mit dem Roboter zu bearbeiten. Trotzdem muss weiterhin sichergestellt sein, dass der Mensch durch Arbeitsbewegungen des Roboters nicht verletzt wird.

[0005] DE 10 2007 007 576 A1 schlägt ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Absichern des gefährlichen Arbeitsbereichs eines Roboters vor, wobei ein 3D Bild von dem Arbeitsbereich erstellt und einer Person, die sich innerhalb des Arbeitsbereichs aufhält, ein kinematisiertes Menschenmodell zugeordnet wird. Das 3D Bild wird dahingehend analysiert, ob der Ist-Zustand des Arbeitsbereichs von einem Soll-Zustand des Arbeitsbereichs abweicht, wobei die Sollposition der Person über das kinematisierte Menschenmodell berücksichtigt wird. Dieses Verfahren und die entsprechende Vorrichtung sollen eine Mensch-Roboter-Kollaboration ermöglichen. Aufgrund des Soll-Ist-Vergleichs muss sich eine Person im Arbeitsbereich des Roboters allerdings genau so bewegen, wie es dem Soll-Zustand in dem kinematisierten Menschenmodell entspricht. Eine entsprechende Modellbildung erscheint aufwändig, und sie begrenzt in jedem Fall die Flexibilität, da eine Anpassung an neue Betriebssituationen jeweils eine neue Modellbildung erfordert. Darüber hinaus schlägt DE 10 2007 007 576 A1 zwar die Verwendung von Scannern als Sensoreinheiten vor, die eine Einfachheit gemäß Kategorie 3 der EN 954-1 aufweisen. Ferner wird eine zyklische oder kontinuierliche Überprüfung der Funktionsfüchtigkeit der Sensoreinheiten vorgeschlagen, und die Bewegungen des Roboters während der Überprüfungsphase sollen in sicherer Technik überwacht

werden, wie zum Beispiel durch redundante Erfassung und Auswertung der Achsstellungen des Robotersystems. DE 10 2007 007 576 A1 enthält jedoch keinen Hinweis darauf, dass die Auswertung der 3D Bilder und die zugrunde liegende Modellbildung die für eine Absicherung von gefährlichen Arbeitsbereichen erforderliche Fehlersicherheit bieten können.

[0006] DE 10 2005 003 827 A1 offenbart eine ähnliche Vorrichtung und ein entsprechendes Verfahren zur Interaktion zwischen einem Menschen und einem Roboter, wobei auch hier ein modellbasierter Ansatz vorgeschlagen wird. Das beschriebene Verfahren erscheint sehr rechenintensiv und komplex, und es ist daher zweifelhaft, ob die für den beabsichtigten Einsatzzweck erforderliche Fehlersicherheit und Reaktionsgeschwindigkeit mit heutigen Rechnerleistungen erreichbar sind.

[0007] DE 10 2009 031 804 A1 beschreibt ein Verfahren zur Objekterkennung und Objektverfolgung. DE 10 2006 048 166 A1 beschreibt ein Verfahren zur Beobachtung einer Person in einem industriellen Umfeld. In beiden Fällen wird eine Mensch-Maschine-Interaktion als ein mögliches Anwendungsgebiet vorgeschlagen. Keines der Verfahren bietet jedoch die für diesen Einsatzzweck benötigte Fehlersicherheit.

[0008] DE 20 2004 020 863 U1 beschreibt eine Vorrichtung zur Absicherung eines gefährlichen Arbeitsbereichs einer Maschine, wobei die Vorrichtung einerseits Lichtgitter beinhaltet, die das Eintreten einer Person in den Arbeitsbereich mit einer hohen Fehlersicherheit detektieren. Außerdem beinhaltet die Vorrichtung einen Laserscanner, der den Arbeitsbereich hinter den Lichtgittern in einer horizontalen Ebene abtastet. Der Laserscanner ist dazu ausgebildet, die Position eines erfassten Objekts zu bestimmen. Die Lichtgitter und der Laserscanner sind derart gekoppelt, dass ein Maschinenstopp erfolgt, wenn ein Lichtgitter unterbrochen wurde und der Laserscanner im Folgenden kein Fremdobjekt in einem als weniger gefährlich eingestuften Teilbereich des Arbeitsbereichs detektiert.

[0009] Vor diesem Hintergrund ist es eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren und eine Vorrichtung der eingangs genannten Art anzugeben, die auf möglichst einfache und effiziente Weise den flexiblen Aufenthalt von Personen in dem gefährlichen Arbeitsbereich einer automatisiert arbeitenden Maschine ermöglichen, wobei die für eine solche Anwendung erforderliche Absicherung der Maschine und die erforderliche Fehlersicherheit gewährleistet sind.

[0010] Gemäß einem ersten Aspekt der Erfindung wird diese Aufgabe durch ein Verfahren zum Absichern eines gefährlichen Arbeitsbereichs einer au-

tomatisiert arbeitenden Maschine gelöst, mit den Schritten:

- Bereitstellen von zumindest einer Sensoreinheit, die in definierten Zeitintervallen jeweils ein aktuelles 3D Bild von dem Arbeitsbereich liefert,
- Definieren von zumindest einem Schutzbereich in dem Arbeitsbereich,
- Zyklisches Überwachen des Schutzbereichs mithilfe eines fehlersicheren Fremdobjektdetektors, der in Abhängigkeit von dem jeweils aktuellen 3D Bild und dem definierten Schutzbereich ein erstes Signal erzeugt, wenn ein Fremdobjekt in dem Schutzbereich detektiert wird, wobei das erste Signal eine erste Positionsinformation beinhaltet, die für eine Position des Fremdobjekts in dem Schutzbereich repräsentativ ist,
- Zyklisches Klassifizieren des Fremdobjekts in dem Schutzbereich mithilfe eines Klassifizierers, wobei der Klassifizierer ein zweites Signal erzeugt, wenn das Fremdobjekt als eine Person identifiziert wird, und wobei die Maschine in Abhängigkeit von dem ersten und zumindest dem zweiten Signal betrieben wird,
- Verfolgen der identifizierten Person über eine Serie von den jeweils aktuellen 3D Bildern mithilfe eines Personenfolgers, wobei der Personenfolger nach jedem neuen 3D Bild eine zweite Positionsinformation bestimmt, die eine aktuelle Position der identifizierten Person in dem Schutzbereich repräsentiert,
- Vergleichen der ersten und zweiten Positionsinformationen, wobei die Maschine angehalten wird, wenn die Position des Fremdobjekts gemäß der ersten Positionsinformation und die Position der identifizierten Person gemäß der zweiten Positionsinformation verschieden voneinander sind.

[0011] Gemäß einem weiteren Aspekt der Erfindung wird diese Aufgabe durch eine Vorrichtung zum Absichern eines gefährlichen Arbeitsbereichs einer automatisiert arbeitenden Maschine gelöst, mit zumindest einer Sensoreinheit, die in definierten Zeitintervallen jeweils ein aktuelles 3D Bild von dem Arbeitsbereich liefert, mit einer Konfigurationseinheit zum Definieren von zumindest einem Schutzbereich in dem Arbeitsbereich, und mit einer Auswerteeinheit, die einen fehlersicheren Fremdobjektdetektor, einen Klassifizierer, einen Personenfolger, einen Vergleicher und eine Ausgangsstufe aufweist, wobei der Fremdobjektdetektor dazu ausgebildet ist, in Abhängigkeit von dem jeweils aktuellen 3D Bild und dem definierten Schutzbereich zyklisch ein erstes Signal zu erzeugen, wenn ein Fremdobjekt in dem Schutzbereich ist, wobei das erste Signal eine erste Positionsinformation beinhaltet, die für eine Position des Fremdobjekts in dem Schutzbereich repräsentativ ist, wobei der Klassifizierer dazu ausgebildet ist, zyklisch ein zweites Signal zu erzeugen, wenn das Fremdobjekt als eine Person identifiziert ist, wobei der Personenfolger dazu ausgebildet ist, die identifizierte Person über

eine Serie von den jeweils aktuellen 3D Bildern zu verfolgen und nach jedem neuen 3D Bild eine zweite Positionsinformation zu bestimmen, die eine aktuelle Position der identifizierten Person in dem Schutzbereich repräsentiert, wobei der Vergleicher dazu ausgebildet ist, die erste und zweite Positionsinformation zu vergleichen und in Abhängigkeit davon ein drittes Signal zu erzeugen, und wobei die Ausgangsstufe dazu ausgebildet ist, ein Steuersignal zum Anhalten der Maschine in Abhängigkeit von dem zweiten und in Abhängigkeit von dem dritten Signal zu erzeugen, wobei das Steuersignal dazu ausgebildet ist, die Maschine anzuhalten, wenn die Position des Fremdobjekts gemäß der ersten Positionsinformation und Position der identifizierten Person gemäß der zweiten Positionsinformation verschieden voneinander sind.

[0012] Besonders vorteilhaft ist es, wenn das neue Verfahren und die neue Vorrichtung mithilfe eines Computerprogrammprodukts mit Programmcode realisiert werden, der dazu ausgebildet ist, das genannte Verfahren auszuführen, wenn der Programmcode auf der Auswerteeinheit ausgeführt wird. Dementsprechend sind der Fremdobjektdetektor, der Klassifizierer, der Personenfolger und der Vergleicher in bevorzugten Ausführungsbeispielen in Form von Softwaremodulen realisiert, die in der Auswerteeinheit automatisch ausgeführt werden.

[0013] Das neue Verfahren und die neue Vorrichtung verwenden einen fehlersicheren Fremdobjektdetektor, der immer dann ein definiertes erstes Signal erzeugt, wenn sich ein Fremdobjekt in einem zuvor definierten Schutzbereich innerhalb des abzusichernden Arbeitsbereichs befindet. In bevorzugten Ausführungsbeispielen ist ein Fremdobjekt in diesem Sinne jede Person und jeder Gegenstand, die sich im definierten Schutzbereich befinden. In diesen Ausführungsbeispielen muss ein definierter Schutzbereich also „leer“ sein, damit es nicht zu einer Fremdobjektdetektion kommt. In anderen Ausführungsbeispielen ist es aber denkbar, bestimmte Objekte, die bei der Definition des Schutzbereichs schon vorhanden waren, wie zum Beispiel ein Schaltschrank oder ein Stützpfeiler einer Werkhalle, als bekannte Objekte im Schutzbereich zu akzeptieren, so dass nur Personen und Gegenstände als Fremdobjekte detektiert werden, die bei der Definition des Schutzbereichs noch nicht in diesem Schutzbereich vorhanden waren. In diesen Fällen kann der Fremdobjektdetektor die Fremdobjekte beispielsweise daran erkennen, dass sie in einem zum Vergleich herangezogenen Referenzbild nicht vorhanden waren.

[0014] In den bevorzugten Ausführungsbeispielen ist der Fremdobjektdetektor lediglich in der Lage, die Existenz und die Position eines Fremdobjekts in dem Schutzbereich zu detektieren und zu bestimmen. Er ist hingegen nicht in der Lage, das detektierte Fremdobjekt hinsichtlich seiner individuellen Eigenschaf-

ten genauer zu klassifizieren, insbesondere zu entscheiden, ob es sich um eine Person, um ein Werkstück für die Maschine oder um eine sonstigen Gegenstand handelt. Allerdings ist der Fremdobjektdetektor fehlersicher im Sinne der obigen Definition realisiert. In einem bevorzugten Ausführungsbeispiel ist der Fremdobjektdetektor mithilfe von zwei diversitäts-redundanten 3D Analyseverfahren realisiert, wie dies in der eingangs genannten EP 1 543 270 B1 beschrieben ist. In dem bevorzugten Ausführungsbeispiel kommen zwei verschiedene Szenenanalyseverfahren zum Einsatz, mit denen jeweils Bildpaare eines Stereokamerasystems ausgewertet werden. In einem anderen Ausführungsbeispiel kann ein 3D Bildauswerteverfahren für das Bildpaar eines Stereokamerasystems mit einem Laufzeitmessverfahren eines Scanners und/oder einer 3D Laufzeitkamera kombiniert sein. Darüber hinaus kann der Fehlerdetektor auch mit anderen Sensoreinheiten und/oder Kombinationen von Sensoreinheiten realisiert sein, die eine fehlersichere Positionsinformation für ein im Schutzbereich detektiertes Fremdobjekt liefern.

[0015] Darüber hinaus verwenden das neue Verfahren und die neue Vorrichtung einen Klassifizierer und einen Personenfolger. Der Klassifizierer ist in der Lage, zu entscheiden, ob ein detektiertes Fremdobjekt im Schutzbereich eine Person ist oder nicht. Der Personenfolger verfolgt die Position einer identifizierten Person über eine Serie der in den definierten Zeitintervallen aufgenommenen 3D Bilder, und er ist somit in der Lage, zu jedem aktuellen 3D Bild die Position der identifizierten Person zu bestimmen. Da der Personenfolger für „seine“ Positionsbestimmung die Identifikation der Person voraussetzt, kann die zweite Positionsinformation verschieden von der ersten Positionsinformation sein.

[0016] Genau hier setzt ein Teilaspekt der Erfindung an. Anschließend vergleicht der Vergleicher nämlich die erhaltenen Positionsinformationen, d. h. er vergleicht die fehlersicher bestimmte Positionsinformation für das nicht-identifizierte Fremdobjekt und die weitere Positionsinformation der identifizierten Person. Letztere muss aufgrund der Erfindung nicht zwingend als fehlersichere Positionsinformation vorliegen, da die Maschine schon angehalten wird, wenn die fehlersicher bestimmte Position des Fremdobjekts und die zweite Positionsinformation unterschiedliche Positionen repräsentieren. Mit anderen Worten dient der fehlersichere Fremdobjektdetektor bei dem neuen Verfahren und der neuen Vorrichtung unter anderem dazu, die zweite Positionsinformation anhand einer fehlersicheren Referenz zu verifizieren. Aufgrund des Vergleichs ist dann auch die zweite personenbezogene Positionsinformation fehlersicher, selbst der Klassifizierer und der Personenfolger für sich genommen nicht fehlersicher sind, da ein Fehler bei der Bestimmung der zweiten Positionsinformation aufgrund des Vergleichs dazu führt, dass

die gefährliche Maschine in einen sicheren Zustand gebracht wird.

[0017] Die Detektion eines Fremdobjekts innerhalb eines definierten Schutzbereichs und die fehlersichere Bestimmung seiner Position ist zwar schon eine anspruchsvolle Aufgabe. Eine fehlersichere Klassifizierung und Positionsbestimmung für eine zuvor identifizierte Person stellt jedoch noch höhere Anforderungen an Rechenleistung, und eine fehlersichere Implementierung ist zumindest bislang nicht bekannt. Durch die Kombination der fehlersicheren Fremdobjektdetektion mit einer (ggf. nicht-fehlersicheren) Klassifizierung und Personenverfolgung sind die neue Vorrichtung und das neue Verfahren jedoch in der Lage, die obengenannte Aufgabe zu lösen. Die Personenverfolgung macht es möglich, die Arbeitsbewegung der gefährlichen Maschine auch dann zu zulassen, wenn sich eine Person in dem Arbeitsbereich befindet, vorausgesetzt, der aktuelle Abstand zwischen der Person und der Maschine schließt eine unmittelbare Gefährdung der Person immer noch aus. Da beispielsweise Roboter häufig einen sehr großen Arbeitsbereich benötigen, der Roboter zu einem Zeitpunkt aber nur in einem Teil des gesamten Arbeitsbereichs ist, ermöglicht die neue Kombination von Fremdobjektdetektor und (ggf. nicht-fehlersicherem) Personenfolger eine insgesamt fehlersichere und flexiblere Kollaboration. Dabei sind der Aufwand und die Kosten für die praktische Realisierung geringer als bei einer in allen Teilkomponenten fehlersicheren Realisierung. Die obengenannte Aufgabe ist daher vollständig gelöst.

[0018] Darüber hinaus besitzen das neue Verfahren und die neue Vorrichtung den Vorteil, dass der rechenintensive Klassifizierer und Personenfolger ohne zusätzliche fehlersichernde Maßnahmen implementiert werden können, was sich vorteilhaft auf die Reaktionszeiten des neuen Verfahrens und der neuen Vorrichtung auswirkt.

[0019] In einer bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung wird die Maschine ferner angehalten, wenn der Klassifizierer das Fremdobjekt nicht als Person identifiziert, wobei die Maschine weiterbetrieben werden kann, wenn der Klassifizierer das Fremdobjekt als Person identifiziert.

[0020] In dieser Ausgestaltung nimmt der Klassifizierer direkten Einfluss auf ein etwaiges Stillsetzen der Maschine aus Sicherheitsgründen, nämlich wenn das Fremdobjekt nicht als Person identifiziert wird. In weiteren Ausgestaltungen kann es allerdings sein, dass die Maschine aus anderen Gründen angehalten wird, auch wenn der Klassifizierer das Fremdobjekt als Person identifiziert hat. Dies steht der hier bevorzugten Ausgestaltung nicht entgegen, sondern ergänzt diese gegebenenfalls. Das Anhalten der Maschine gemäß der hiesigen Ausgestaltung erleicht-

tert es, einen fehlersicheren Betrieb auch bei Eintritt von Personen in den Schutzbereich zu gewährleisten, da der verwendete Personenfolger die Identifikation einer Person voraussetzt. Wenn der Klassifizierer das Fremdobjekt nicht als Person identifiziert, kann es sich um eine Fehldetektion handeln, die aus Sicherheitsgründen nicht toleriert werden soll. Alternativ ist es möglich, dass das detektierte Fremdobjekt keine Person ist, sondern beispielsweise ein Gegenstand, der in den Schutzbereich hineingefallen ist. Auch ein solches Ereignis soll durch das neue Verfahren und die entsprechende Vorrichtung nicht toleriert werden, da es die Sicherheit von Bedienpersonen im Arbeitsbereich gefährden kann. Beispielsweise wäre es denkbar, dass ein nicht identifiziertes Fremdobjekt die Bestimmung der ersten oder zweiten Positionsinformation verfälscht oder dass eine Roboterbewegung erst aufgrund des nicht identifizierten Fremdobjekts zu einer Gefahrensituation führt. Die vorliegende Ausgestaltung trägt daher dazu bei, die Absicherung von Bedienpersonen im Arbeitsbereich einer Maschine auf einfache Weise zu verbessern. Dies gilt insbesondere, wenn die Maschine angehalten wird, wenn ein zuvor bereits als Person identifiziertes Fremdobjekt nach Erhalt eines aktuellen 3D Bildes nicht mehr als Person identifiziert wird, was beispielsweise der Fall sein kann, wenn eine Person einen Gegenstand in den Arbeitsbereich hineinträgt und dort abstellt.

[0021] In einer weiteren Ausgestaltung besitzt der Klassifizierer eine Personendatenbank mit Personen-daten, die eine Anzahl ausgewählter Personen charakterisieren, wobei die Maschine nur weiterbetrieben wird, wenn der Klassifizierer das Fremdobjekt an-hand der Personendaten als eine der ausgewählten Personen identifiziert.

[0022] In dieser Ausgestaltung erkennt der Klassifizierer nicht nur, ob das Fremdobjekt im Schutzbereich überhaupt eine Person ist, sondern der Klassifizierer kann darüber hinaus erkennen, ob es sich um eine definierte und bekannte Person handelt. Diese Ausgestaltung macht es möglich, die Bewegung der Maschine in Abhängigkeit davon zu steuern, ob etwa eine autorisierte Wartungs- oder Bedienperson in den Schutzbereich eintritt oder eine nicht-autorisierte Person. Beispielsweise kann mit dieser Ausgestaltung das Einrichten eines Arbeitsablaufs durch einen erfahrenen Maschinenbediener erleichtert werden, während der Eintritt einer unbekannten und/oder nicht-autorisierten Person durch optische und/oder akustische Warnsignale angezeigt und die Maschine zur Vermeidung einer Gefährdung der unbekannten Person angehalten wird. Diese Ausgestaltung kann vorteilhaft kombiniert werden mit einer weiteren Ausgestaltung, wonach in dem Arbeitsbereich mehrere, räumlich gestaffelte Schutzbereiche definiert sind. Ein äußerer Schutzbereich kann dann zum Auslösen eines Warn- oder Alarmsignals dienen, während die

Maschine noch weiterbetrieben werden kann und erst beim Eintritt der unbekannten Person in einen inneren Schutzbereich angehalten wird. Es versteht sich, dass derartig gestaffelte Schutzbereiche auch in anderen vorteilhaften Ausgestaltungen zur Anwendung kommen können, insbesondere wenn der Eintritt einer Person in einen äußeren Schutzbereich nicht zum Anhalten der Maschine, sondern lediglich zu einer verlangsamten Arbeitsbewegung führen soll und erst der Eintritt in einen inneren Schutzbereich zum Anhalten führt.

[0023] In einer weiteren Ausgestaltung besitzt der Klassifizierer eine Teiledatenbank mit Teiledaten, die eine Anzahl ausgewählter Teile charakterisieren, wobei die Maschine weiterbetrieben wird, wenn der Klassifizierer das Fremdobjekt anhand der Teiledaten als ein Teil identifiziert, das in den Schutzbereich eindringen darf.

[0024] Diese Ausgestaltung ermöglicht ein vorteilhaftes Muting und/oder Blanking, d. h. das Zuführen von Werkstücken oder anderen Teilen, die im normalen Arbeitsablauf der Maschine benötigt werden, ohne die Maschine anhalten zu müssen. Die Ausgestaltung bietet für sich genommen bereits einen Vorteil, sie kann jedoch auch mit der oben erwähnten Ausgestaltung kombiniert sein, wonach die Maschine angehalten wird, wenn der Klassifizierer das Fremdobjekt nicht als Person identifiziert. Es versteht sich, dass die Identifikation des Fremdobjekts als ein ausgewähltes Teil bei einer Kombination dieser Ausgestaltungen nicht zum Anhalten der Maschine führt, wenn das nicht als Person identifizierte Fremdobjekt eines der ausgewählten Teile ist. In einigen Ausführungsbeispielen erfolgt die Identifikation der Teile mithilfe eines sogenannten Template Matching. Dabei werden Bilder und/oder charakteristische Merkmale von Bildern der ausgewählten Teile mit entsprechenden Bildern und/oder Merkmalen des detektierten Fremdobjekts verglichen. Liegt eine hinreichende Identität vor, gilt das Teil als identifiziert.

[0025] In einer weiteren Ausgestaltung beinhaltet der Klassifizierer einen Körperteildetektor, mit dessen Hilfe eine Position von Körperteilen der identifizierten Person bestimmt wird.

[0026] In dieser Ausgestaltung ist der Klassifizierer nicht nur in der Lage, eine Person als Ganzes zu identifizieren. Er ermöglicht darüber hinaus auch die Identifikation von einzelnen Körperteilen, insbesondere den Gliedmaßen (Armen, Beinen und/oder den Händen). Die identifizierten Körperteile machen es möglich, die Positionsauflösung in Bezug auf die identifizierte Person zu erhöhen, um so beispielsweise zu erkennen, ob die Person ihren Arm in Richtung der Maschine ausstreckt oder nicht. Die erhöhte Positionsauflösung wird in bevorzugten Ausführungsbeispielen vorteilhaft verwendet, um einen zulässigen

Mindestabstand zwischen der Person und der Maschine zu bestimmen und zu überwachen. Dementsprechend trägt diese Ausgestaltung dazu bei, eine "Sicherheitshülle" um die Maschine herum zu minimieren. Dies erleichtert eine direkte Mensch-Maschine-Kollaboration. Dabei profitiert der Körperteildetektor in gleicher Weise wie der Klassifizierer und der Personenfolger von der Fehlersicherheit der Fremdobjektdetektion, da die Position des Körperteils weiterhin mit der Position des detektierten Fremdobjekts korrespondieren muss.

[0027] In einer weiteren Ausgestaltung sind der Klassifizierer und/oder der Personenfolger nicht-fehlersicher ausgebildet.

[0028] In dieser Ausgestaltung erfüllen der Klassifizierer und/oder der Personenfolger für sich genommen nicht die Anforderungen an die Fehlersicherheit, die das Verfahren und die Vorrichtung insgesamt für die oben beschriebene Anwendung erfüllen müssen. Beispielsweise erfüllen der Klassifizierer und/oder Personenfolger jeweils für sich genommen nicht die Anforderungen gemäß SIL2 und/oder PL(d), obwohl das Verfahren und die Vorrichtung insgesamt diese Anforderungen erfüllen. Die Ausgestaltung ermöglicht eine relativ kostengünstige und hinsichtlich der Verarbeitungsgeschwindigkeit schnelle Realisierung mit kurzen Reaktionszeiten. Sie profitiert von den oben erläuterten Vorteilen des neuen Verfahrens und der neuen Vorrichtung in besonderem Maße.

[0029] In einer weiteren Ausgestaltung ist der Klassifizierer inaktiv, bis der Fremdobjektdetektor ein Fremdobjekt im Schutzbereich detektiert.

[0030] In dieser Ausgestaltung gibt der Fremdobjektdetektor gewissermaßen einen Trigger für den Start und die Ausführung des Klassifizierers und des Personenfolgers. Solange sich kein Fremdobjekt im Schutzbereich befindet, werden der Klassifizierer und der Personenfolger nicht ausgeführt. Die Ausgestaltung besitzt den Vorteil, dass die hohe Rechenleistung für den Klassifizierer und Personenfolger nur abgerufen werden muss, wenn sie zur Absicherung benötigt wird. Solange sich kein Fremdobjekt in dem Schutzbereich befindet, kann die Rechenleistung für andere Zwecke vorteilhaft genutzt werden, etwa um den Fremdobjektdetektor mit einer höheren Auflösung und dementsprechend mit einer höheren Positionsgenauigkeit zu betreiben. Darüber hinaus besitzt diese Ausgestaltung den Vorteil, dass der Klassifizierer bereits mit der bekannten Position des Fremdobjekts starten kann, was einen aufwändigen Suchalgorithmus in dem Klassifizierer erspart. Dies trägt dazu bei, die insgesamt benötigte Rechenleistung zu minimieren und die Erkennungsrate des Klassifizierers/ Personenfolgers zu erhöhen.

[0031] In einer alternativen Ausgestaltung ist es jedoch auch denkbar, denn Klassifizierer und ggf. den Personenfolger bereits laufen zu lassen, wenn noch kein Fremdobjekt in dem Schutzbereich detektiert wurde, um möglichst frühzeitig Personen zu erkennen und gegebenenfalls den Zutritt in den Schutzbereich "freizuschalten".

[0032] In einer weiteren Ausgestaltung ist ein Mindestabstand zu der Maschine definiert, wobei die Maschine angehalten wird, wenn die identifizierte Person im Schutzbereich näher an die Maschine herankommt als der Mindestabstand.

[0033] Diese Ausgestaltung verbessert die Absicherung, indem sie ein absolutes Kriterium für das Anhalten der Maschine definiert. Selbst wenn eine Person aufgrund des neuen Verfahrens und der entsprechenden Vorrichtung in dem Schutzbereich ist, wird mit dieser Ausgestaltung sichergestellt, dass ein minimaler Sicherheitsabstand zu der Maschine stets eingehalten wird. In den bevorzugten Ausführungsbeispielen wird der jeweils aktuelle Abstand zwischen der identifizierten Person und der Maschine in Abhängigkeit von einer aktuellen Maschinenposition bestimmt. Bevorzugt erhält die Auswerteeinheit daher fehlersicher Daten, die die aktuelle Position der Maschine repräsentieren. Die fehlersichere Maschinenposition kann in einigen Ausführungsbeispielen von einer fehlersicheren Maschinensteuerung bereitgestellt werden. In anderen Ausführungsbeispielen kann die aktuelle Maschinenposition mithilfe eines – bevorzugt fehlersicheren – kamerabasierten Maschinenpositionsdetektors bestimmt werden, dessen Funktionsweise beispielsweise derjenigen des Fremdobjektdetektors entspricht. Ein Beispiel für einen kamerabasierten Maschinenpositionsdetektor ist in WO 2008/014909 A1 beschrieben. Die Ausgestaltung trägt dazu bei, eine enge Mensch-Maschine-Interaktion zu ermöglichen.

[0034] In einer weiteren Ausgestaltung wird der Mindestabstand in Abhängigkeit von der Maschinenbewegung variiert.

[0035] In dieser Ausgestaltung erfolgt eine adaptive Anpassung des Mindestabstandes in Abhängigkeit von der Bewegungsbahn, in Abhängigkeit von der Bewegungsgeschwindigkeit und/oder in Abhängigkeit von weiteren Parametern, wie etwa der bewegten Masse der Maschine. Diese Ausgestaltung ermöglicht eine noch engere Mensch-Maschine-Interaktion mit einer sehr flexiblen und situationsabhängigen Absicherung.

[0036] In einer weiteren Ausgestaltung wird die Maschine mit reduzierter Geschwindigkeit und/oder mit einer veränderten Bewegungsbahn betrieben, wenn das zweite Signal vorliegt.

[0037] Das zweite Signal wird von dem Klassifizierer erzeugt, wenn das Fremdobjekt in dem Schutzbereich als eine Person identifiziert wird. Gemäß dieser Ausgestaltung führt die Identifizierung einer Person dazu, dass die Maschine in einer Weise betrieben wird, die an die Anwesenheit der Person im Arbeitsbereich angepasst ist. Die abgesicherte Maschine reagiert auf die Anwesenheit der Person im Schutzbereich, ohne jedoch die automatisierte Bewegung gänzlich einzustellen. Die Ausgestaltung trägt zu einer erhöhten Produktivität bei, da unnötige Stopps in der Arbeitsbewegung der Maschine vermieden werden. Gleichzeitig begünstigt diese Ausgestaltung die gewünschte Absicherung des gefährlichen Arbeitsbereichs zum Schutz von Personen.

[0038] Es versteht sich, dass die vorstehend genannten und die nachstehend noch zu erläuternden Merkmale nicht nur in der jeweils angegebenen Kombination, sondern auch in anderen Kombinationen oder in Alleinstellung verwendbar sind, ohne den Rahmen der vorliegenden Erfindung zu verlassen.

[0039] Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in der Zeichnung dargestellt und werden in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert. Es zeigen:

[0040] [Fig. 1](#) eine vereinfachte schematische Darstellung einer Sensoreinheit und einer Auswerteeinheit der neuen Vorrichtung,

[0041] [Fig. 2](#) eine schematische Darstellung eines Ausführungsbeispiels der neuen Vorrichtung in einer Draufsicht von oben, und

[0042] [Fig. 3](#) ein Flussdiagramm zur Erläuterung eines Ausführungsbeispiels des neuen Verfahrens.

[0043] In den [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#) ist ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel der neuen Vorrichtung in seiner Gesamtheit mit der Bezugsziffer **10** bezeichnet.

[0044] Die Vorrichtung **10** beinhaltet zumindest eine Sensoreinheit **12**, die dazu ausgebildet ist, in definierten Zeitintervallen ein jeweils aktuelles 3D Bild von dem gefährlichen Arbeitsbereich einer automatisch arbeitenden Maschine zu liefern. In einem bevorzugten Ausführungsbeispiel ist die Sensoreinheit **12** ein Stereo-Kamerasystem, das zumindest eine erste Kamera **14** und eine zweite Kamera **16** aufweist. Die Kameras **14**, **16** liefern zwei leicht zueinander versetzte Bilder von dem abzusichernden Arbeitsbereich. Aufgrund des (bekannten) Versatzes der Kameras **14**, **16** zueinander und mit Hilfe trigonometrischer Beziehungen kann die Entfernung von der Sensoreinheit **12** zu Objekten in dem Arbeitsbereich anhand der Kamerabilder bestimmt werden. Eine bevorzugte Sensoreinheit ist in der eingangs erwähnten EP 1 543 270 B1 beschrieben, deren Offenbarungs-

gehalt hier durch Bezugnahme vollumfänglich aufgenommen ist.

[0045] In anderen Ausführungsbeispielen kann die Sensoreinheit **12** eine Laufzeitkamera beinhalten. Hierunter ist eine Kamera zu verstehen, die einerseits 2D Bilder eines zu überwachenden Bereichs liefert. Darüber hinaus liefert die Kamera Entfernungsinformationen, die aus einer Laufzeitmessung gewonnen werden. Darüber hinaus kann die Sensoreinheit **12** als 3D Scanner ausgebildet sein und/oder eine andere Technologie verwenden, die es ermöglicht, 3D Bilder von einem abzusichernden Arbeitsbereich zu erzeugen.

[0046] In einigen Ausführungsbeispielen kann die Vorrichtung **10** mehrere Sensoreinheiten **12** beinhalten, wie dies in [Fig. 2](#) anhand der Sensoreinheiten **12a**, **12b**, **12c**, **12d** dargestellt ist. Darüber hinaus können in anderen Ausführungsbeispielen mehrere 1D und/oder 2D Sensoren paarweise und/oder als Gesamtheit eine 3D Sensoreinheit bilden, die die benötigten 3D Bilder von dem Arbeitsbereich liefert. Es ist also nicht zwingend erforderlich, wenngleich bevorzugt, ein Stereokamerasystem als Sensoreinheit für die neue Vorrichtung zu verwenden.

[0047] Die Vorrichtung **10** beinhaltet darüber hinaus eine Auswerteeinheit **18**, die in den bevorzugten Ausführungsbeispielen mit einer Maschinensteuerung **20** gekoppelt ist. Die Maschinensteuerung **20** steuert eine automatisiert arbeitende Maschine, die in [Fig. 2](#) schematisch als Roboter **22** dargestellt ist. Die neue Vorrichtung **10** und das neue Verfahren eignen sich insbesondere zum Absichern des gefährlichen Arbeitsbereichs **24** eines Roboters **22**. Das Verfahren und die Vorrichtung sind jedoch nicht auf die Absicherung von Robotern beschränkt und können prinzipiell auch zum Absichern von gefährlichen Arbeitsbereichen anderer Maschinen verwendet werden, etwa zum Absichern von automatischen Transport- und Förderstrecken, Kränen, Hebwerkzeugen, Pressen, Bearbeitungszentren und dergleichen.

[0048] Die Vorrichtung **10** kann darüber hinaus weitere Sensoreinheiten **12'** beinhalten, etwa einen RFID-Leser, mit dessen Hilfe ein sogenannter RFID-Tag **25** detektiert und ausgewertet werden kann. Ein solcher RFID-Tag kann in vorteilhaften Ausführungsbeispielen dazu verwendet werden, eine Bedienperson **34** zu identifizieren, die sich im gefährlichen Arbeitsbereich **24** einer automatisiert arbeitenden Maschine aufhalten darf, um zum Beispiel einen neuen Arbeitsvorgang einzurichten, Wartungs- oder Prüfarbeiten durchzuführen und/oder im Rahmen einer sonstigen Mensch-Maschine-Interaktion.

[0049] Wie in [Fig. 1](#) dargestellt ist, kann die Vorrichtung **10** mehrere Auswerteeinheiten **18**, **18'** beinhalten, die über einen Bus **26** oder ein anderes Kommu-

nikationsmedium miteinander verbunden sind. Darüber hinaus ist es möglich, dass ein Teil der Signal- und Datenverarbeitungsleistung der Sensoreinheit **12** in der Auswerteeinheit **18** untergebracht ist. Beispielsweise kann die Bestimmung der Position eines Objekts anhand der Stereobilder der Kameras **14**, **16** in einem Rechner erfolgen, der auch die Auswerteeinheit **18** implementiert, so dass die Sensoreinheit **12** im Sinne der vorliegenden Erfindung nicht zwingend in einem Gehäuse untergebracht sein muss, das physisch von der Auswerteeinheit getrennt ist. Vielmehr kann die Sensoreinheit im Sinne der Erfindung auch auf mehrere Baugruppen und/oder Gehäuse verteilt sein, wenngleich es bevorzugt ist, die Sensoreinheit so kompakt wie möglich zu realisieren.

[0050] Mit der Bezugsziffer **28** ist eine Konfigurationseinheit bezeichnet, mit deren Hilfe in dem Arbeitsbereich **24** des Roboters **22** ein Schutzbereich **30** definiert werden kann. Ein bevorzugtes Beispiel für eine solche Konfigurationseinheit **28** ist in der Internationalen Patentanmeldung WO 2007/079883 beschrieben, deren Offenbarungsgehalt hier durch Bezugnahme vollständig aufgenommen ist. Dementsprechend kann es sich bei der Konfigurationseinheit um einen PC handeln, auf dem ein Anwender mithilfe eines Konfigurationstools virtuelle Schutzbereiche in ein 3D Bild des Arbeitsbereichs **24** einzeichnen kann. Das Konfigurationstool erzeugt in Abhängigkeit von den eingezeichneten Schutzbereichen 3D Schutzraumdaten, die der Auswerteeinheit **18** zur Verfügung gestellt werden. Die Auswerteeinheit **18** "weiß" aufgrund der bereitgestellten Schutzraumdaten, welche Teile des Arbeitsbereichs **24** als Schutzbereich im Sinne der vorliegenden Erfindung definiert sind.

[0051] Es ist möglich, dass ein Anwender mehrere Schutzbereiche innerhalb des Arbeitsbereichs **24** definiert. In einigen Ausführungsbeispielen können mehrere Schutzbereiche von außen nach innen gestaffelt sein, um beispielsweise eine äußere Warnzone und einen inneren Abschaltbereich um den Roboter **22** herum zu definieren. Des Weiteren ist es möglich, virtuelle Schutzbereiche in verschiedenen Höhen und/oder an verschiedenen Orten zu definieren, um beispielsweise offene Zugänge zu dem Roboter **22** abzusichern. Die virtuellen Schutzbereiche können mit mechanischen Absperrungen, etwa einem Schutzaun oder einer Wand **32**, kombiniert werden.

[0052] Mit der Bezugsziffer **34** ist eine (erste) Person bezeichnet, die auf den Roboter **22** zugeht und in den Schutzbereich eintritt. Die Person **34** wird mithilfe der neuen Vorrichtung und des neuen Verfahrens identifiziert, wie nachfolgend anhand [Fig. 3](#) näher erläutert ist.

[0053] Das neue Verfahren und die neue Vorrichtung sind in der Lage, den Eintritt von mehreren Per-

sonen in den Schutzbereich **30** zu detektieren, wie in [Fig. 2](#) beispielhaft bei der Bezugsziffer **34'** ange-deutet ist. In den bevorzugten Ausführungsbeispielen läuft beim Eintritt einer zweiten Person **34'** in den Schutzbereich **30** dasselbe Verfahren ab wie beim Eintritt der ersten Person **34**. Vorzugsweise wird die Geschwindigkeit des Roboters **22** reduziert, sobald eine erste Person **34** in den Schutzbereich **30** eintritt, und der Roboter **22** arbeitet mit reduzierter Geschwindigkeit weiter.

[0054] Die Position des Roboters **22** und der Person **34** werden in definierten Zeitintervallen wiederholt bestimmt, und es wird geprüft, ob sich die Person **34** und der Roboter **22** zu nahe kommen. Der (in [Fig. 2](#) weiß dargestellte) Bereich **36** um den Roboter **22** herum symbolisiert hier einen Mindestabstand **38**, den die Person **34** von dem Roboter **22** stets einhalten muss. Nähert sich die Person **34** dem Roboter **22** so weit, dass der Mindestabstand **38** unterschritten wird, wird dies mithilfe der Auswerteeinheit **18** erkannt. Die Auswerteeinheit **18** erzeugt in diesem Fall ein Steuersignal, mit dessen Hilfe die Maschinensteuerung **20** die Arbeitsbewegung des Roboters **22** sofort stoppt. Der Bereich **36** definiert also eine Art minimaler Schutzhülle, in der sich der Roboter **22** bewegt und in die eine Person **34** in den bevorzugten Ausführungsbeispielen nicht eindringen kann, ohne dass dies zu einem sofortigen Nothalt des Roboters **22** führt. Andererseits kann der Roboter **22** mit reduzierter Geschwindigkeit arbeiten, auch wenn sich die Person **34** in dem Arbeitsbereich **24** und insbesondere in dem Schutzbereich **30** aufhält. In bevorzugten Ausführungsbeispielen wird die Größe der Schutzhülle **36** in Abhängigkeit von der Bewegungsgeschwindigkeit und/oder -richtung des Roboters **22** (allgemeiner einer Maschine) bestimmt. Hierzu erhält die Auswerteeinheit in einigen Ausführungsbeispielen fehlersichere Daten von der Maschinensteuerung **20**, die die aktuelle Bewegungsgeschwindigkeit und/oder -richtung repräsentieren.

[0055] Betritt die zweite Person **34'** den Schutzbereich **30**, nachdem die erste Person **34** bereits den Schutzbereich **30** betreten hat, ändert sich an der Arbeitsbewegung des Roboters **22** nichts, solange der Mindestabstand **38** zu beiden Personen **34**, **34'** eingehalten ist. Wenn beide Personen den Schutzbereich **30** verlassen haben, wird dies von der Auswerteeinheit **18** mithilfe der Sensoreinheit(en) **12** detektiert. Die Auswerteeinheit **18** erzeugt ein entsprechendes Steuersignal für die Maschinensteuerung **20**. In den bevorzugten Ausführungsbeispielen setzt der Roboter **22** seine Arbeitsbewegung dann mit hoher Geschwindigkeit fort, ohne dass zuvor eine manuelle Quittierung notwendig ist.

[0056] Nachfolgend wird ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel des neuen Verfahrens unter Bezugnahme auf [Fig. 3](#) beschrieben. Das Verfahren gemäß

[Fig. 3](#) wird mithilfe der Vorrichtung **10** aus [Fig. 2](#) ausgeführt.

[0057] Gemäß Schritt **50** verwendet das neue Verfahren einen Fremdobjektdetektor, der in Abhängigkeit von einem aktuellen 3D Bild ein Signal **51** erzeugt, das Positionsinformationen zu allen im Schutzbereich **30** detektierten Objekten beinhaltet. Wie bereits weiter oben erwähnt wurde, beinhaltet der Fremdobjektdetektor **50** in einem bevorzugten Ausführungsbeispiel zwei diversitäre, redundante 3D Szenenanalyseverfahren gemäß EP 1 543 270 B1, mit deren Hilfe eine fehlersichere Objektdetektion und Positionsbestimmung möglich ist. Wenn der Fremdobjektdetektor **50** kein Fremdobjekt **34** in dem Schutzbereich **30** detektiert, kehrt das Verfahren gemäß Schritt **52** zum Startpunkt zurück, das heißt, es wird ein neuer Überwachungszyklus anhand eines neuen 3D Bildes gestartet.

[0058] Wird mithilfe des Fremdobjektdetektors **50** jedoch ein Fremdobjekt in dem Schutzbereich **30** detektiert, startet in dem bevorzugten Ausführungsbeispiel ein Klassifizierer gemäß Schritt **54**. Der Klassifizierer **54** prüft, ob das detektierte Fremdobjekt **34** eine Person ist. In bevorzugten Ausführungsbeispielen kann der Klassifizierer **54** Datenbanken **56**, **58** verwenden. In der Datenbank **56** sind im vorliegenden Ausführungsbeispiel Personendaten hinterlegt, die ausgewählte, definierte Personen charakterisieren. In diesem Ausführungsbeispiel wird die Arbeitsbewegung des Roboters **22** nur zugelassen, wenn eine der ausgewählten Personen in den Schutzbereich **30** hineintritt. Handelt es sich zwar um eine Person, die jedoch nicht bekannt ist bzw. nicht zu den ausgewählten Personen gehört, wird die Arbeitsbewegung des Roboters **22** angehalten. Alternativ oder ergänzend hierzu kann ein Warn- oder Alarmsignal erzeugt werden.

[0059] Die Datenbank **58** beinhaltet in diesem Ausführungsbeispiel Teiledaten, die eine Anzahl ausgewählter Teile **59** charakterisieren. Die Teile **59** sind beispielsweise Werkstücke, die zur Bearbeitung in den Schutzbereich **30** hineingeführt werden müssen.

[0060] Gemäß Schritt **60** wird geprüft, ob das Fremdobjekt **34** eine (bekannte) Person ist. Ist dies nicht der Fall, wird gemäß Schritt **62** geprüft, ob das detektierte Fremdobjekt ein ausgewähltes Teil **59** ist. Ist dies der Fall, ist das detektierte Fremdobjekt als ausgewähltes Teil identifiziert, dessen Anwesenheit im Schutzbereich **30** zulässig ist. Das Verfahren kehrt dementsprechend zum Ausgangspunkt zurück, um einen neuen Überwachungszyklus zu beginnen. Ist das detektierte Fremdobjekt jedoch kein ausgewähltes Teil, wird gemäß Schritt **64** ein Nothalt des Roboters **22** aktiviert.

[0061] Handelt es sich bei dem detektierten Fremdobjekt um eine (bekannte) Person, wird gemäß Schritt **66** ein Personenfolger gestartet, der die identifizierte Person über eine Serie von jeweils aktuellen 3D Bildern verfolgt. Der Personenfolger **66** erzeugt eine Positionsinformation **67**, die die aktuelle Position der identifizierten Person in dem Schutzbereich **30** repräsentiert.

[0062] Der Klassifizierer **54** und der Personenfolger **66** können beispielsweise mithilfe der Verfahren realisiert sein, wie sie in den eingangs genannten DE 10 2006 048 166 A1 und/oder DE 10 2009 031 804 A1 (jeweils mit zahlreichen weiteren Nachweisen) beschrieben sind. Dementsprechend ist der Offenbarungsgehalt dieser beiden Dokumente hier durch Bezugnahme aufgenommen.

[0063] In einigen Ausführungsbeispielen können mehrere verschiedene Verfahren zur Personenidentifikation und -verfolgung zur Anwendung kommen, wobei dies in den bevorzugten Ausführungsbeispielen allein zur Erhöhung der Erkennungsrate und Reduzierung von Fehlalarmen dient, nicht jedoch zur Realisierung einer Fehlersicherheit. In einigen Ausführungsbeispielen sind der Klassifizierer **54** und der Personenfolger **66** daher nicht-fehlersicher im Sinne der einschlägigen Normen zur Maschinensicherheit realisiert. Beispielsweise erfüllen der Klassifizierer **54** und der Personenfolger **66** nicht die Anforderungen gemäß SIL2 und/oder PL(d). Dies bedeutet, dass nach einer detaillierten Fehlerbetrachtung nicht mit hinreichender Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden kann, dass die Personenidentifikation und insbesondere die Positionsbestimmung für die identifizierte Person korrekt sind.

[0064] Gemäß Schritt **68** wird geprüft, ob die erste Positionsinformation des Fremdobjektdetektors **50** und die zweite Positionsinformation des Personenfolgers **66** jeweils gleiche Positionen repräsentieren. Ist dies der Fall, ist die nicht-fehlersicher bestimmte Position der identifizierten Person durch die fehlersichere bestimmte Position des Fremdobjektdetektors **50** verifiziert. Die Position der Person, die der Personenfolger **66** bestimmt hat, kann folglich als fehlersichere Positionsinformation weiterverarbeitet werden. Ergibt der Vergleich in Schritt **68** hingegen, dass die Positionen nicht identisch sind, wird gemäß Schritt **64** der Nothalt des Roboters **22** aktiviert.

[0065] Der Vergleich der Positionsinformationen kann in bevorzugten Ausführungsbeispielen anhand von Vergleichsmerkmalen erfolgen, die für die jeweils bestimmte Position repräsentativ sind. Beispielsweise kann die Position der identifizierten Person am Boden des Schutzbereichs **30** mit der entsprechenden Position des detektierten Fremdobjekts am Boden des Schutzbereichs **30** verglichen werden. Alternativ oder ergänzend können die Positionen der ver-

tkalen und horizontalen Hauptachsen des Fremdobjekts und der identifizierten Person **34** miteinander verglichen werden.

[0066] Gemäß Schritt **70** erfolgt in dem bevorzugten Ausführungsbeispiel anschließend eine Körperteildetektion sowie die Bestimmung weiterer Positionsinformationen, die die Position einzelner Körperteile der identifizierten Person repräsentieren. Insbesondere wird die Position von ausgestreckten Armen/Händen und/oder ausgestreckten Beinen mithilfe des Körperteildetektors **70** bestimmt. Ein geeignetes Verfahren ist in der bereits genannten DE 10 2009 031 804 A1 und weiteren, dort zitierten Quellen beschrieben.

[0067] Gemäß Schritt **72** wird dann geprüft, ob die identifizierte Person – gegebenenfalls unter Berücksichtigung der Position ihrer Körperteile – den Mindestabstand **38** zu dem Roboter **22** einhält. Ist dies nicht der Fall, wird ebenfalls der sofortige Nothalt **64** aktiviert. Andernfalls bleibt der Roboter **22** gemäß Schritt **74** in Betrieb, und das Verfahren kehrt zum Startpunkt zurück, um einen neuen Überwachungszyklus zu durchlaufen. Der Betrieb **74** kann in dem bevorzugten Ausführungsbeispiel mit einer reduzierten Geschwindigkeit erfolgen. Des Weiteren kann in Abhängigkeit von der Position der identifizierten Person die Bewegungsbahn des Roboters **22** verändert werden. Die Auswerteeinheit **18** erzeugt entsprechende Steuersignale für die Maschinensteuerung **20**.

[0068] Der Klassifizierer **54**, der Personenfolger **66** und der Körperteildetektor **70** sind in dem Flussdiagramm gemäß [Fig. 3](#) als separate Schritte bzw. Blöcke dargestellt. In bevorzugten praktischen Realisierungen sind diese Schritte Softwaremodule, die zusammen ein Computerprogramm bilden, das in der/den Auswerteeinheit(en) **18**, **18'** der Vorrichtung **10** ausgeführt wird. Dementsprechend sind die Signale, wie etwa das erste Signal **51**, das zweite Signal **65** und die Positionsinformation **67** des Personenfolgers **66**, in zumindest einigen Ausführungsbeispielen digitale Daten, die bei der Ausführung eines Computerprogramms erzeugt werden.

[0069] Die vorliegende Erfindung beschreibt somit einen neuen Ansatz, um komplexe Verfahren, wie insbesondere Personenidentifizierung und -verfolgung, in einem sicherheitsgerichteten System einzusetzen, das zur Absicherung der gefährlichen Arbeitsbewegung einer Maschine dient und das dementsprechend hohe Anforderungen erfüllen muss, die die komplexen Verfahren für sich genommen nicht erfüllen können. Ein Versagen bzw. ein Fehler der komplexen Verfahren führt aufgrund des neuen Ansatzes nicht zu einer gefährlichen Situation. Die Fehlersicherheit des neuen Verfahrens und der neuen Vorrichtung basiert auf bereits bewährten Prinzipi-

en, insbesondere auf der fehlersicheren Fremdobjektdetektion und der fehlersicheren Positionsbestimmung für detektierte Fremdobjekte. Aufgrund des neuen Ansatzes können jedoch die starren Grenzen zwischen Mensch und Maschine, die bisher aus Sicherheitsgründen eingehalten werden mussten, aufgebrochen werden, um eine flexible Interaktion zwischen Mensch und Maschine zu ermöglichen. Bewegungsabläufe und Geschwindigkeiten von Maschinen, insbesondere Robotern, können basierend auf der Identifikation und Lokalisierung von Personen dynamisch verändert und an die jeweilige Betriebssituation angepasst werden. Damit sind "offene" Produktionsanlagen realisierbar.

[0070] Der Klassifizierer und der Personenfolger arbeiten in den bevorzugten Ausführungsbeispielen nach einem aktiven Prinzip, das heißt eine Person muss zyklisch wiedererkannt werden und anhand der fehlersicheren Position des Fremdobjektdetektors verifiziert werden. Andernfalls wird die Maschine in einen sicheren Zustand gebracht, was im Rahmen der vorliegenden Erfindung als Nothalt bezeichnet ist.

[0071] Betreten zwei Personen gemeinsam (dicht hintereinander) den Schutzbereich, und/oder trägt eine Person einen Gegenstand in den Schutzbereich, ohne dass eine Trennung der zwei Objekte erfolgen kann, werden die beiden Objekte als ein einzelnes Objekt behandelt. Dies ist unter sicherheitstechnischen Aspekten zulässig, gerade weil die beiden Objekte hinsichtlich ihrer Position nicht voneinander unterschieden werden können. Trennen sich die Objekte, sei es weil die zwei Personen sich trennen oder weil die eine Person den Gegenstand abstellt, werden die getrennten Objekte als Einzelobjekte erkannt. Da der Fremdobjektdetektor **50** in den bevorzugten Ausführungsbeispielen den gesamten Schutzbereich **30** überwacht, erfolgt gegebenenfalls sofort ein Nothalt, wie anhand [Fig. 3](#) erläutert wurde.

[0072] In bevorzugten Ausführungsbeispielen, in denen ein Körperteildetektor **70** zur Anwendung kommt, erfolgt vorteilhafterweise eine zusätzliche Plausibilitätsprüfung anhand der Positionsinformationen des Körperteildetektors. Ergibt die Plausibilitätsprüfung Unstimmigkeiten, wird in den bevorzugten Ausführungsbeispielen ebenfalls der Nothalt aktiviert. Alternativ kann eine abgestufte Reaktion erfolgen, beispielsweise zunächst die Erzeugung eines Warnsignals. Darüber hinaus kann die Reaktion auch davon abhängig gemacht werden, ob die Plausibilitätsprüfung im nächsten Zyklus zu übereinstimmenden Positionsinformationen führt, um bei hinreichend kurzen Zykluszeiten die Falschalarmrate zu reduzieren

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- EP 1543270 B1 [[0003](#), [0004](#), [0014](#), [0044](#),
[0057](#)]
- DE 102007007576 A1 [[0005](#), [0005](#), [0005](#)]
- DE 102005003827 A1 [[0006](#)]
- DE 102009031804 A1 [[0007](#), [0062](#), [0066](#)]
- DE 102006048166 A1 [[0007](#), [0062](#)]
- DE 202004020863 U1 [[0008](#)]
- WO 2008/014909 A1 [[0033](#)]
- WO 2007/079883 [[0050](#)]

Zitierte Nicht-Patentliteratur

- EN 954-1 [[0003](#)]
- EN ISO 13849-1 [[0003](#)]
- IEC 61508 [[0003](#)]
- EN 954-1 [[0003](#)]
- IEC 61508 [[0003](#)]
- EN ISO 13849 [[0003](#)]
- EN 954-1 [[0005](#)]

Patentansprüche

1. Verfahren zum Absichern eines gefährlichen Arbeitsbereichs (24) einer automatisiert arbeitenden Maschine (22), mit den Schritten:

- Bereitstellen von zumindest einer Sensoreinheit (12), die in definierten Zeitintervallen jeweils ein aktuelles 3D Bild von dem Arbeitsbereich (24) liefert,
- Definieren von zumindest einem Schutzbereich (30) in dem Arbeitsbereich (24),
- Zyklisches Überwachen des Schutzbereichs (30) mithilfe eines fehlersicheren Fremdobjektdetektors (50), der in Abhängigkeit von dem jeweils aktuellen 3D Bild und dem definierten Schutzbereich (30) ein erstes Signal (51) erzeugt, wenn ein Fremdobjekt (34) in dem Schutzbereich (30) detektiert wird, wobei das erste Signal (51) eine erste Positionsinformation beinhaltet, die für eine Position des Fremdobjekts (34) in dem Schutzbereich (30) repräsentativ ist,
- Zyklisches Klassifizieren des Fremdobjekts (34) in dem Schutzbereich (30) mithilfe eines Klassifizierers (54), wobei der Klassifizierer (54) ein zweites Signal (65) erzeugt, wenn das Fremdobjekt (34) als eine Person identifiziert wird, und wobei die Maschine (22) in Abhängigkeit von dem ersten und zumindest dem zweiten Signal (51, 65) betrieben wird,
- Verfolgen der identifizierten Person (34) über eine Serie von den jeweils aktuellen 3D Bildern mithilfe eines Personenfolgers (66), wobei der Personenfolger (66) nach jedem neuen 3D Bild eine zweite Positionsinformation (67) bestimmt, die eine aktuelle Position der identifizierten Person (34) in dem Schutzbereich (30) repräsentiert,
- Vergleichen (68) der ersten und zweiten Positionsinformationen, wobei die Maschine (22) angehalten wird, wenn die Position des Fremdobjekts (34) gemäß der ersten Positionsinformation und die Position der identifizierten Person gemäß der zweiten Positionsinformation voneinander sind.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Maschine (22) ferner angehalten wird, wenn der Klassifizierer (54) das Fremdobjekt (34) nicht als Person identifiziert, und wobei die Maschine weiterbetrieben werden kann, wenn der Klassifizierer (54) das Fremdobjekt (34) als Person identifiziert.

3. Verfahren nach Anspruch 2, wobei der Klassifizierer (54) eine Personendatenbank (56) mit Personendaten besitzt, die eine Anzahl ausgewählter Personen charakterisieren, und wobei die Maschine (22) nur weiterbetrieben wird, wenn der Klassifizierer (54) das Fremdobjekt anhand der Personendaten als eine der ausgewählten Person identifiziert.

4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, wobei der Klassifizierer (54) einen RFID-Leser beinhaltet, mit dessen Hilfe ein RFID-Tag gelesen wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei der Klassifizierer (54) ferner eine Teiledatenbank (58) mit Teiledaten besitzt, die eine Anzahl ausgewählter Teile (59) charakterisieren, und wobei die Maschine (22) weiterbetrieben wird, wenn der Klassifizierer (54) das Fremdobjekt anhand der Teiledaten als ein Teil identifiziert, das in den Schutzbereich (30) eindringen darf.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei der Klassifizierer (54) einen Körperteildetektor (70) beinhaltet, mit dessen Hilfe eine Position von Körperteilen der identifizierten Person (34) bestimmt wird.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei der Klassifizierer (54) und/oder der Personenfolger (66) nicht-fehlersicher ausgebildet sind.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei der Klassifizierer (54) inaktiv ist, bis der Fremdobjektdetektor (50) ein Fremdobjekt im Schutzbereich (30) detektiert.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei der Klassifizierer (54) bereits aktiv ist, bevor der Fremdobjektdetektor (50) ein Fremdobjekt im Schutzbereich (30) detektiert.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, wobei ein Mindestabstand (38) zu der Maschine (22) definiert ist, und wobei die Maschine (22) angehalten wird, wenn die identifizierte Person (34) im Schutzbereich (30) näher an die Maschine (22) herankommt als der Mindestabstand (38).

11. Verfahren nach Anspruch 10, wobei der Mindestabstand (38) in Abhängigkeit von einer aktuellen Maschinenbewegung variiert wird.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, wobei die Maschine (22) mit reduzierter Geschwindigkeit und/oder mit einer veränderten Bewegungsbahn betrieben wird, wenn das zweite Signal (65) vorliegt.

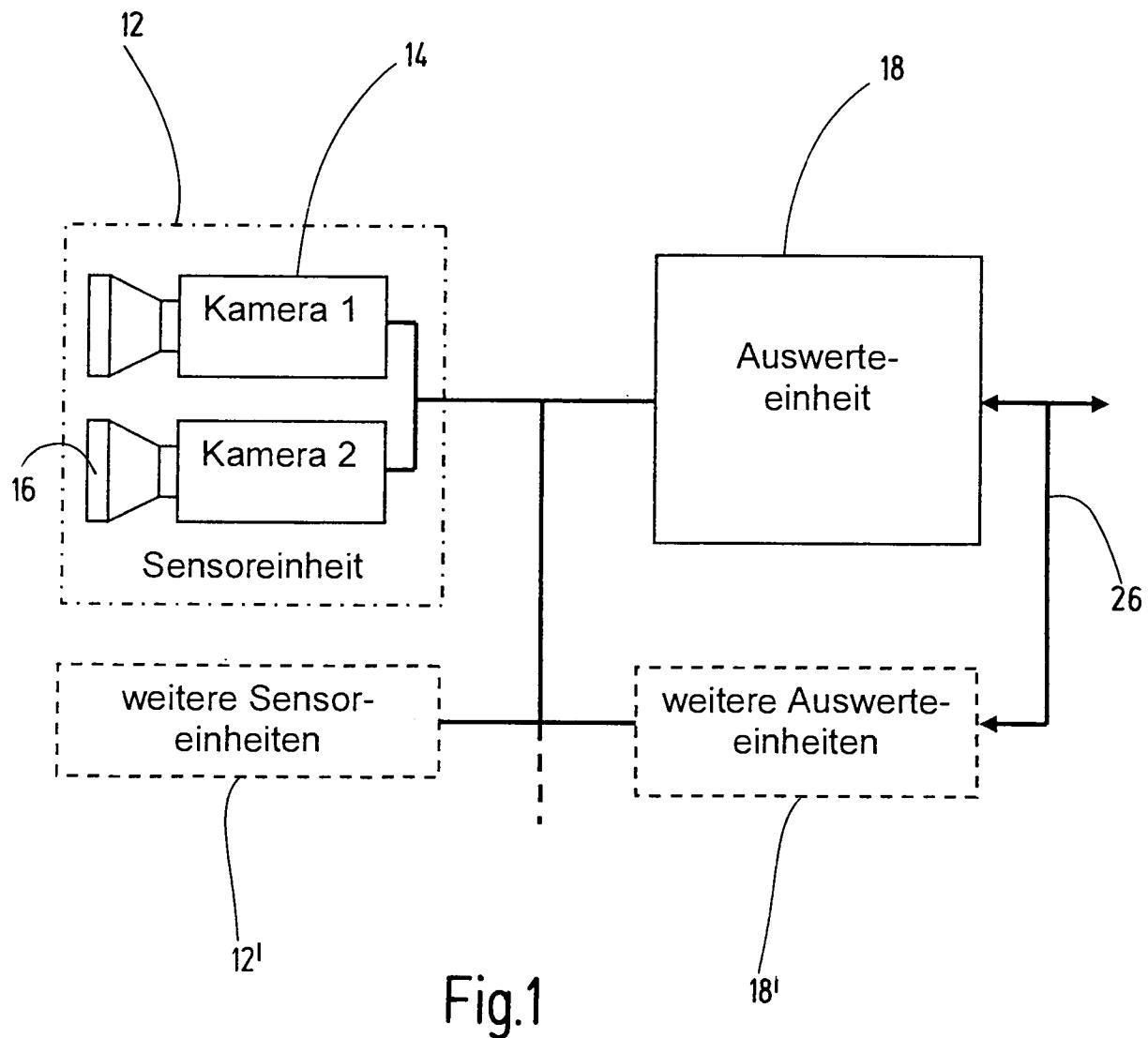
13. Vorrichtung zum Absichern eines gefährlichen Arbeitsbereichs (24) einer automatisiert arbeitenden Maschine (22), mit zumindest einer Sensoreinheit (12), die in definierten Zeitintervallen jeweils ein aktuelles 3D Bild von dem Arbeitsbereich (24) liefert, mit einer Konfigurationseinheit (28) zum Definieren von zumindest einem Schutzbereich (30) in dem Arbeitsbereich (24), und mit einer Auswerteeinheit (18), die einen fehlersicheren Fremdobjektdetektor (50), einen Klassifizierer (54), einen Personenfolger (66), einen Vergleicher (68) und eine Ausgangsstufe (19) aufweist, wobei der Fremdobjektdetektor (50) dazu ausgebildet ist, in Abhängigkeit von dem jeweils aktuellen 3D Bild und dem definierten Schutzbereich (30)

zyklisch ein erstes Signal (51) zu erzeugen, wenn ein Fremdobjekt in dem Schutzbereich (30) ist, wobei das erste Signal (51) eine erste Positionsinformation beinhaltet, die für eine Position des Fremdobjekts in dem Schutzbereich (30) repräsentativ ist, wobei der Klassifizierer (54) dazu ausgebildet ist, zyklisch ein zweites Signal (65) zu erzeugen, wenn das Fremdobjekt als eine Person (34) identifiziert ist, wobei der Personenfolger (66) dazu ausgebildet ist, die identifizierte Person (34) über eine Serie von den jeweils aktuellen 3D Bildern zu verfolgen und nach jedem neuen 3D Bild eine zweite Positionsinformation (67) zu bestimmen, die eine aktuelle Position der identifizierten Person (34) in dem Schutzbereich (30) repräsentiert, wobei der Vergleicher (68) dazu ausgebildet ist, die die erste und zweite Positionsinformation zu vergleichen und in Abhängigkeit davon ein drittes Signal (69) zu erzeugen, und wobei die Ausgangsstufe (19) dazu ausgebildet ist, ein Steuersignal zum Anhalten der Maschine (22) in Abhängigkeit von dem zweiten Signal und in Abhängigkeit von dem dritten Signal zu erzeugen, wobei das Steuersignal dazu ausgebildet ist, die Maschine (22) anzuhalten, wenn die Position des Fremdobjekts gemäß der ersten Positionsinformation und die Position der identifizierten Person gemäß der zweiten Positionsinformation verschieden voneinander sind.

14. Computerprogrammprodukt mit einem Datenträger, auf dem Programmcode gespeichert ist, der dazu ausgebildet ist, ein Verfahren mit allen Verfahrensschritten nach einem der Ansprüche 1 bis 10 auszuführen, wenn der Programmcode auf einer Auswerteeinheit für eine Vorrichtung nach Anspruch 11 ausgeführt wird.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen



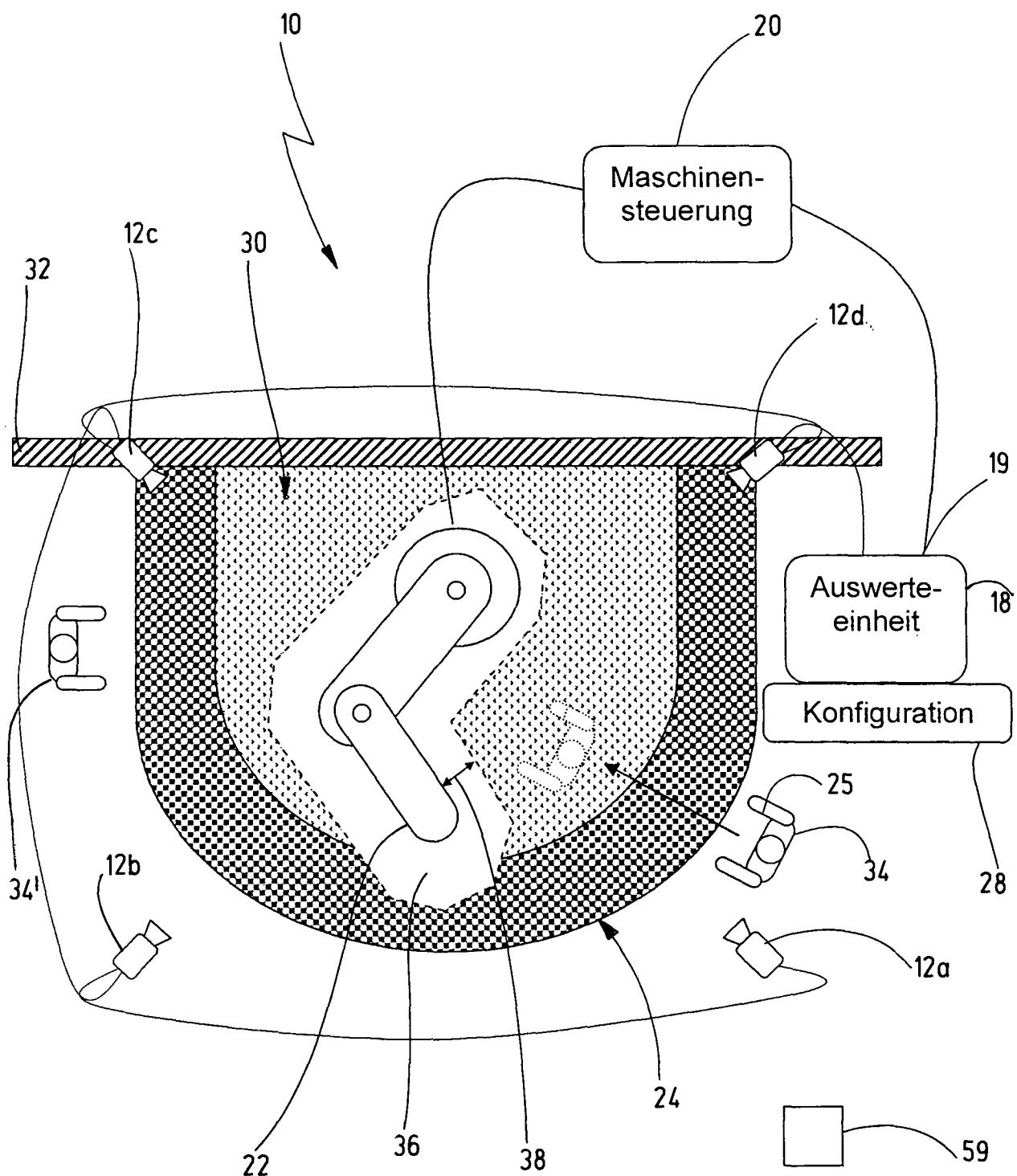


Fig.2

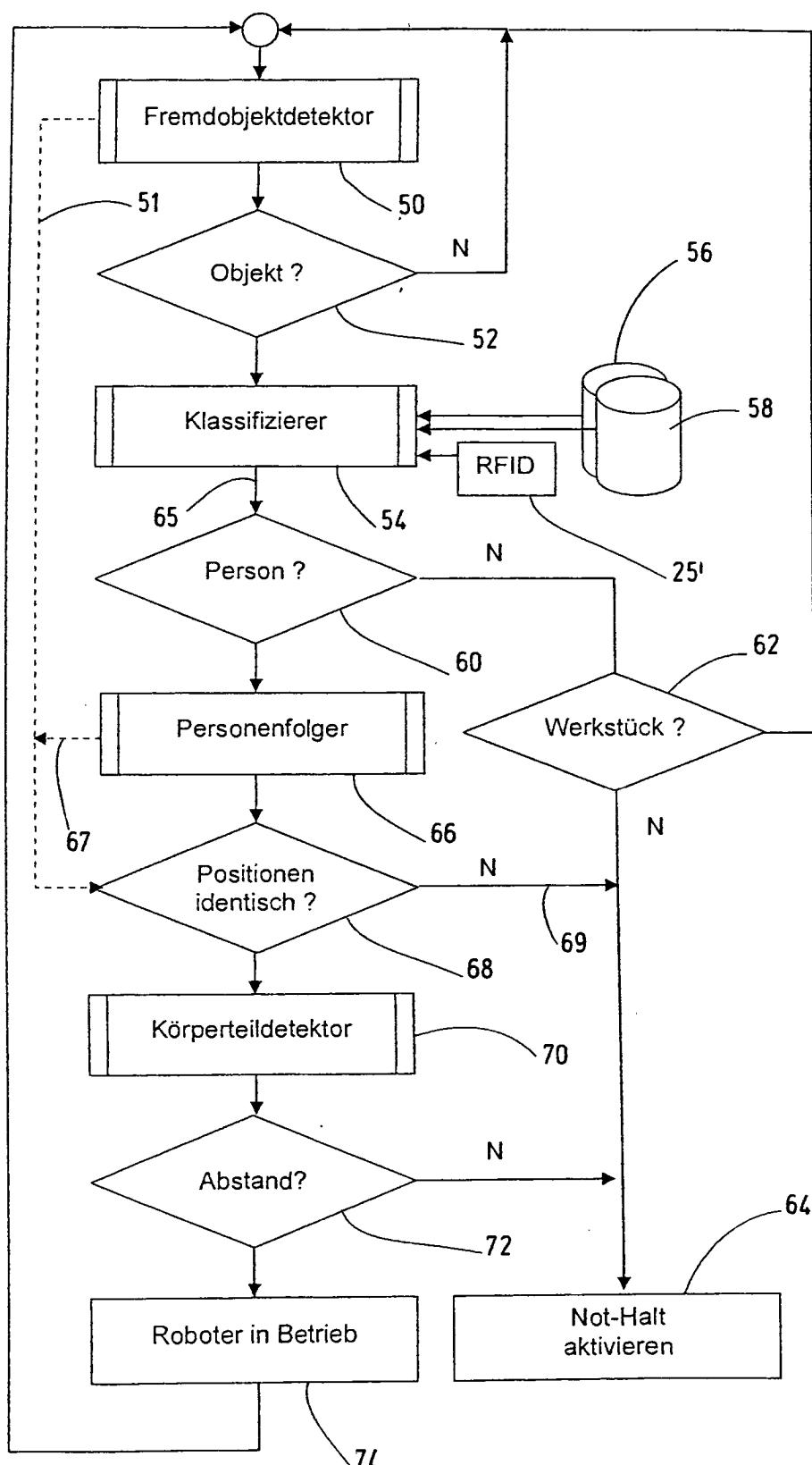


Fig.3