



(10) **DE 10 2015 015 651 B3** 2017.04.13

(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2015 015 651.9**  
(22) Anmeldetag: **02.12.2015**  
(43) Offenlegungstag: –  
(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: **13.04.2017**

(51) Int Cl.: **B23K 26/03 (2006.01)**  
**B23K 26/046 (2014.01)**  
**G01B 11/14 (2006.01)**  
**G01S 17/88 (2006.01)**

Innerhalb von neun 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:  
**Lessmüller Lasertechnik GmbH, 80339 München, DE**

(74) Vertreter:  
**Wuesthoff & Wuesthoff, Patentanwälte PartG mbB, 81541 München, DE**

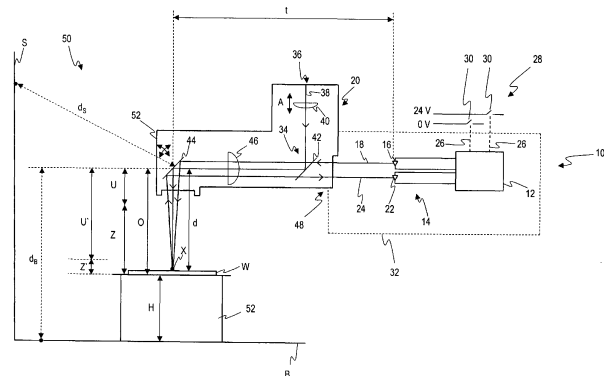
(72) Erfinder:  
**Lessmüller, Eckhard, 80339 München, DE;**  
**Truckenbrodt, Christian, 81241 München, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

<b>DE</b>	<b>198 39 482</b>	<b>A1</b>
<b>DE</b>	<b>10 2008 052 579</b>	<b>A1</b>
<b>DE</b>	<b>10 2008 054 801</b>	<b>A1</b>
<b>DE</b>	<b>20 2007 012 255</b>	<b>U1</b>
<b>WO</b>	<b>2008/ 019 847</b>	<b>A1</b>

(54) Bezeichnung: **Überwachungsvorrichtung, Bearbeitungssystem und Verfahren zur Arbeitsraumüberwachung für die Lasermaterialbearbeitung**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine Überwachungsvorrichtung (10) für ein Bearbeitungssystem zum Bearbeiten eines Werkstücks (W) mittels eines hochenergetischen Bearbeitungsstrahls (38), insbesondere in einem räumlich begrenzten Bearbeitungsbereich, wobei die Überwachungsvorrichtung (10) eine Messstrahlquelle (16) umfasst, die dazu ausgebildet ist, einen Messstrahl (18) bereitzustellen, und eine Registriereinheit (22), die dazu ausgebildet ist, einen durch die Umgebung reflektierten Anteil (24) des Messstrahls zu erfassen, wobei die Überwachungsvorrichtung (10) dazu ausgebildet ist, den Messstrahl (18) in eine Bearbeitungsstrahloptik (34) des Bearbeitungssystems einzukoppeln, so dass der Messstrahl (18) und der Bearbeitungsstrahl (38) auf gemeinsame Positionen in der Umgebung richtbar sind, wobei die Überwachungsvorrichtung (10) ferner dazu ausgebildet ist, anhand des erfassten reflektierten Anteils (24) des Messstrahls (18) wenigstens einen Distanzwert (d) zu ermitteln, der einen Rückschluss auf einen Abstand der Bearbeitungsstrahloptik (34) zu dem den Messstrahl (18) reflektierenden Bereich (X) der Umgebung ermöglicht, und wobei die Überwachungsvorrichtung (10) ferner eine Beurteilungseinheit umfasst, die dazu ausgebildet ist, zu beurteilen, ob sich der ermittelte Distanzwert (d) in einem zulässigen Distanzwertebereich (Z) befindet.



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft eine Überwachungsrichtung für ein Bearbeitungssystem zum Bearbeiten eines Werkstücks mittels eines hochenergetischen Bearbeitungsstrahls, insbesondere in einem räumlich begrenzten Bearbeitungsbereich, und ferner ein Bearbeitungssystem zum Bearbeiten eines Werkstücks mittels eines hochenergetischen Bearbeitungsstrahls, umfassend eine derartige Überwachungsrichtung, und ein Verfahren zur Überwachung eines derartigen Bearbeitungssystems. Bei dem hochenergetischen Bearbeitungsstrahl handelt es sich vorzugsweise um einen Laserstrahl und bei dem Bearbeitungssystem um ein Laserbearbeitungssystem, beispielsweise zum Schweißen oder Schneiden von Werkstücken.

**[0002]** Der Bearbeitungsstrahl derartiger Bearbeitungssysteme stellt allgemein eine erhebliche Gefahrenquelle dar. Beispielsweise können durch Streureflectionen oder fehlerhafte Ausrichtungen des Bearbeitungsstrahls umfangreiche Beschädigungen in der Umgebung des Bearbeitungssystems verursacht werden. Es ist deshalb bekannt, sogenannte Sicherheitszellen vorzusehen, die eine Anordnung aus Schutzwänden um das Bearbeitungssystem bilden. Mit anderen Worten wird der Bearbeitungsbereich bzw. der Arbeitsraum des Bearbeitungssystems gezielt räumlich begrenzt, um die Bereiche außerhalb der Sicherheitszelle vor dem hochenergetischen Bearbeitungsstrahl zu schützen.

**[0003]** Um einen effektiven Schutz zu gewährleisten, existieren jedoch, besonders bei Anlagen mit Lasern im Multikilowattbereich, hohe Anforderungen an die Eigenschaften der Schutzwände. Diese müssen zum Beispiel eine hohe Standfestigkeit gegen eine direkte Laserbestrahlung aufweisen. Dies bedingt entsprechend hohe Anforderungen an die verwendeten Materialien und Materialstärken, wodurch die Kosten erheblich steigen. Gleiches gilt für etwaige Rolltore oder andere Zugangssysteme zu den Sicherheitszellen, die ein Anliefern und Abtransportieren von Werkstücken ermöglichen sollen. Derartige Zugangssysteme müssen ebenfalls aufwendig verstärkt werden und sind folglich nur mittels leistungsstarker Motoren betätigbar.

**[0004]** Um die Sicherheit allgemein zu verbessern und die Anforderungen an derartige Sicherheitszellen zu senken, ist es ferner bekannt, sogenannte aktive Sicherheitssysteme vorzusehen. Diese überwachen die tatsächliche Ausrichtung des Bearbeitungsstrahls und/oder dessen Auftreffbereiche innerhalb der Sicherheitszelle. Dadurch soll sichergestellt werden, dass der Bearbeitungsstrahl nur in dafür vorgesehene Bereiche der Sicherheitszelle gerichtet wird und insbesondere nicht über einen längeren Zeitraum direkt auf die Schutzwände trifft.

**[0005]** Hierzu sind schutzwandmontierte Sensorrichtungen bekannt, wie beispielsweise in dem Dokument DE 20 2007 012 255 U1 beschrieben, die das Auftreffen eines Laserstrahls auf den Schutzwänden registrieren. Ebenso ist es bekannt, innerhalb der Sicherheitszelle Kameras anzuordnen, um den tatsächlichen Auftreffpunkt eines Laserstrahls innerhalb der Sicherheitszelle zu erfassen. Eine derartige Lösung wird beispielsweise in dem Dokument WO 2008/019847 A1 offenbart. Der Stand der Technik DE 10 2008 052 579 A1 offenbart ferner eine robotermontierte Kamera, die die Ausrichtung eines von einem Roboter geführten Laserschweißkopfes überwacht. Auch hierdurch soll sichergestellt werden, dass der Laserstrahl nur in vorgesehene Bereiche des Arbeitsraumes gerichtet wird.

**[0006]** Das Dokument DE 10 2008 054 801 A1 offenbart eine Bestrahlungsvorrichtung mit einer Arbeitsstrahlungsquelle und einer Ablenkeinrichtung für die Arbeitsstrahlung. Ferner ist eine Messstrahlungsquelle zur Ausgabe einer Messstrahlung sowie eine Empfangseinrichtung bereitgestellt, wobei die Empfangseinrichtung von einem Objekt zurückgeworfene Messstrahlung empfängt und die Messstrahlung über die Ablenkeinrichtung geführt wird.

**[0007]** Das Dokument DE 198 39 482 A1 offenbart ein Materialbearbeitungssystem mittels Hochleistungsdiodenlaser, umfassend apparative Maßnahmen bzw. Anordnungen zum Strahlungsschutz, zur Abstandsregulierung und zur Leistungssteuerung über die Bearbeitungsgeschwindigkeit.

**[0008]** Es hat sich jedoch gezeigt, dass die bekannten Lösungen nicht in jeder Bearbeitungssituation eine ausreichend sichere Überwachung gewährleisten können und zudem oftmals aufwändige und kostenintensive Einrichtungsmaßnahmen erfordern.

**[0009]** Es ist deshalb Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Überwachungsrichtung, ein Bearbeitungssystem und ein Verfahren der eingangs genannten Art bereitzustellen, die kostengünstig sind und die eine zuverlässige Überwachung ermöglichen.

**[0010]** Diese Aufgabe wird durch eine Überwachungsrichtung gelöst, die eine Messstrahlquelle umfasst, die dazu ausgebildet ist, einen Messstrahl bereitzustellen, und eine Registriereinheit, die dazu ausgebildet ist, einen durch die Umgebung reflektierten Anteil des Messstrahls zu erfassen, wobei die Überwachungsrichtung dazu ausgebildet ist, den Messstrahl in eine Bearbeitungsstrahl-optik des Bearbeitungssystems einzukoppeln, so dass der Messstrahl und der Bearbeitungsstrahl auf gemeinsame Positionen in der Umgebung richtbar sind, wobei die Überwachungsrichtung ferner dazu ausgebildet ist, anhand des erfassten reflektierten Anteils

des Messstrahls wenigstens einen Distanzwert zu ermitteln, der einen Rückschluss auf einen Abstand der Bearbeitungsstrahl-optik zu dem den Messstrahl reflektierenden Bereich der Umgebung ermöglicht, und wobei die Überwachungs-vorrichtung ferner eine Beurteilungseinheit umfasst, die dazu ausgebildet ist, zu beurteilen, ob sich der ermittelte Distanzwert in einem zulässigen Distanzwertebereich befindet.

**[0011]** Die Erfinder haben erkannt, dass die bekannten schutzwandmontierten Sensorsysteme äußerst kostenintensiv sind und aufwändige Umbaumaßnahmen erfordern. Ferner können diese Lösungen oftmals erst bei bereits erfolgten Beschädigungen der Schutzwände einen kritischen Zustand des Bearbeitungssystems erfassen. Bei den Lösungen, die auf in der Sicherheitszelle verteilten Kameras basieren, muss stets sichergestellt werden, dass das Sichtfeld der Kameras nicht unbeabsichtigt verdeckt wird. Dies geht mit einem entsprechend hohen Einricht- und Einlernaufwand einher. Bei robotermontierten Kameravorrichtungen kann wiederum nur indirekt von der Position des Schweißkopfes auf einen tatsächlichen Auftreffpunkt des Laserstrahls in der Umgebung geschlossen werden. Hierdurch lassen sich keine Fehler innerhalb des Schweißkopfes erfassen, wie beispielsweise eine fehlerhafte Ablenkung des Laserstrahls in eine nicht vorgesehene Richtung.

**[0012]** Die Erfindung sieht stattdessen vor, den tatsächlichen Weg des Bearbeitungsstrahls zumindest zwischen der Bearbeitungsstrahl-optik und einem Auftreffbereich in der Umgebung durch einen coaxial parallel geschalteten Messstrahl unmittelbar nachzuvollziehen. Dadurch kann die tatsächliche Strahlenlänge bzw. der Abstand der Bearbeitungsstrahl-optik zu einem Auftreffbereich in der Umgebung vorzugsweise laufend überwacht werden. Somit kann festgestellt werden, ob der Messstrahl und folglich auch der Bearbeitungsstrahl auf ein vergleichsweise nah an der Bearbeitungsstrahl-optik angeordnetes Werkstück trifft, oder ob ein Auftreffen erst in einem größeren Abstand erfolgt, beispielsweise auf einer typischerweise weiter entfernten Schutzwand.

**[0013]** Die Messstrahlquelle kann dazu ausgebildet sein, Licht bzw. Laserstrahlung mit einer geeigneten Wellenlänge zu erzeugen und auszusenden. Im weiteren Sinne kann die Messstrahlquelle auch in Form einer Schnittstelle zum Anschließen eines Lichtleiters ausgebildet sein oder eine solche Schnittstelle umfassen, um einen extern erzeugten Messstrahl einzukoppeln.

**[0014]** Der Messstrahl kann kontinuierlich, als einzelner Strahlenpuls oder als Strahlenpulsfolge ausgesendet werden sowie in bekannter Weise optisch moduliert werden. Ferner versteht es sich, dass der Messstrahl auch unabhängig von einem aktuellen Erzeugen des Bearbeitungsstrahls in die Bearbeitungs-

strahl-optik eingekoppelt werden kann. Erfindungsgemäß kann demnach vorgesehen sein, dass der Messstrahl ohne ein paralleles Erzeugen des Bearbeitungsstrahls in die Bearbeitungsstrahl-optik eintritt und von dieser auf bestimmte Umgebungsbereiche gerichtet wird. Dadurch kann der erwartete Auftreffbereich des Bearbeitungsstrahls vorab erfasst werden. Alternativ oder zusätzlich kann jedoch ebenso ein paralleles Erzeugen und Ausrichten des Mess- und Bearbeitungsstrahls vorgesehen sein.

**[0015]** Bei der Registriereinheit kann es sich um jegliche geeignete Einheit handeln, mit der beispielsweise ein Auftreffzeitpunkt des reflektierten Messstrahlanteils auf der Registriereinheit erfasst werden kann und/oder eine Auftreffintensität sowie weitere Strahleneigenschaften des reflektierten Messstrahls. Die Messstrahlquelle und die Registriereinheit können Bestandteile einer optischen Abstandsmesseinheit der Überwachungs-vorrichtung sein.

**[0016]** Für das Einkoppeln des Messstrahls in die Bearbeitungsstrahl-optik und in einen gegebenenfalls gleichzeitig erzeugten Bearbeitungsstrahl kann die Überwachungs-vorrichtung mit einem optischen Schnittstellenbereich ausgebildet sein, über den der Messstrahl in die Bearbeitungsstrahl-optik eintreten und der reflektierte Messstrahlanteil vorzugsweise auch wieder austreten kann. Das Einkoppeln und/oder Auskoppeln des Messstrahls erfolgt dabei vorzugsweise coaxial in den Bearbeitungsstrahl. Prinzipiell kann das Einkoppeln in die Bearbeitungsstrahl-optik (und/oder das Auskoppeln aus derselbigen) auch dadurch erreicht werden, dass der Messstrahl an einer beliebigen anderen Stelle innerhalb des Bearbeitungssystems in den Bearbeitungsstrahl eingekoppelt wird und gemeinsam mit diesem in die Bearbeitungsstrahl-optik eintritt. Beispielsweise kann das Ein- und/oder Auskoppeln von Mess- und Bearbeitungsstrahl unmittelbar innerhalb einer Bearbeitungsstrahlquelle des Bearbeitungssystems erfolgen, woraufhin die ineinander gekoppelten Strahlen mittels eines Lichtleiters zu der Bearbeitungsstrahl-optik geführt werden.

**[0017]** Erfindungsgemäß kann ferner vorgesehen sein, dass die Überwachungs-vorrichtung als ein gesondertes Modul ausgebildet ist, das an einem bestehenden Bearbeitungssystem und insbesondere einem Laserschweißkopf einfach nachrüstbar ist. In diesem Zusammenhang können die Überwachungs-vorrichtung und der Schweißkopf jeweils miteinander koppelbare optische Schnittstellenbereiche aufweisen, die das vorstehend geschilderte Einkoppeln des Messstrahls in die Bearbeitungsstrahl-optik ermöglichen (und/oder das Auskoppeln aus derselbigen).

**[0018]** Bei dem ermittelten Distanzwert kann es sich um eine Zeitangabe handeln, die die Zeitdauer des Aussendens des Messstrahls bis zu dem Er-

fassen des reflektierten Messstrahlanteils betrifft. In Kenntnis des Aufbaus der Überwachungsvorrichtung und der Bearbeitungsstrahl-optik sowie insbesondere der darin zurückgelegten Strecken des Messstrahls, kann ferner die Zeitdauer zwischen einem Austreten aus der Bearbeitungsstrahl-optik und einem Auftreffen in der Umgebung ermittelt werden. Ebenso ist es möglich, den Distanzwert als einen konkreten Abstandswert im Sinne einer Längenangabe zu ermitteln. Dies kann beispielsweise auf Basis der vorstehend genannten Zeitdauer-messwerte erfolgen.

**[0019]** Die Beurteilungseinheit kann in Form bekannter Recheneinheiten und/oder Auswertelektro-niken bereitgestellt sein. Wenn die Überwachungs-vorrichtung als ein gesondert handhabbares und an bestehenden Bearbeitungssystemen nachrüstbares Modul ausgebildet ist, bildet die Beurteilungseinheit vorzugsweise einen Bestandteil dieses Moduls. Ebenso kann aber vorgesehen sein, dass die Beurteilungseinheit extern angeordnet ist und über entsprechende Kommunikationsverbindungen mit den weiteren Komponenten der Überwachungsvorrichtung kommuniziert. Die Beurteilungseinheit kann ferner dazu ausgebildet sein, den Wert oder zumindest den Betrag einer etwaigen Abweichung des ermittelten Distanzwertes von dem zulässigen Distanzwertebereich zu bestimmen.

**[0020]** Wie nachfolgend ausführlich erläutert, kann der zulässige Distanzwertebereich allgemein eine feststehende oder variable zulässige Obergrenze und/oder Untergrenze enthalten. Ferner kann der Distanzwertebereich allgemein eine beliebige Anzahl von Werten enthalten, beispielsweise auch nur einen einzigen Wert in Form einer Obergrenze.

**[0021]** Der Distanzwertebereich kann über die Festlegung von Obergrenze oder/und Untergrenze sozusagen einen virtuellen zulässigen Arbeitsraum um die Bearbeitungsstrahl-optik herum definieren, wobei nur diejenigen Auftreff- bzw. Reflektionsbereiche des Messstrahls in der Umgebung als zulässig erkannt werden, die innerhalb dieses Arbeitsraumes liegen. Wird der Messstrahl hingegen von einem weiter entfernten Umgebungsbereich reflektiert, wie beispielsweise einer Schutzwand, so wird durch die Beurteilungseinheit ermittelt, dass der aktuelle Distanzwert außerhalb des zulässigen Distanzwertebereichs liegt.

**[0022]** Somit kann vorzugsweise laufend überwacht werden, ob der Bearbeitungsstrahl nur in vorgesehenen Abständen zu der Bearbeitungsstrahl-optik auf die Umgebung trifft und somit stets einen ausreichenden Abstand zu den Schutzwänden einer etwaigen Schutz-zelle einhält. Wie nachfolgend geschildert, ermöglicht dies ebenso eine zuverlässige Überprüfung dahingehend, ob der Bearbeitungsstrahl-optik vor der

Aufnahme einer Bearbeitung tatsächlich ein Werkstück gegenüberliegt.

**[0023]** Eine Weiterbildung der Erfindung sieht vor, dass das Ermitteln des Distanzwertes basierend auf einer Laufzeitmessung des Messstrahls erfolgt, insbesondere wobei die Laufzeitmessung mittels einer Time-of-Flight-Messeinheit erfolgt, welche die Messstrahlquelle und die Registriereinheit umfasst. Die Laufzeitmessung kann die Zeitdauer zwischen einem Aussenden des Messstrahls (beispielsweise in Form eines einzelnen Strahlenpulses) und dem Erfassen des reflektierten Messstrahlanteils mittels der Registriereinheit betreffen. Wie vorstehend geschildert, kann in Kenntnis der relevanten Abmessungen der Überwachungsvorrichtung und/oder der Bearbeitungsstrahl-optik und insbesondere der von dem Messstrahl darin zurückgelegten Strecken darauf basierend auch der gewünschte Distanzwert zwischen der Bearbeitungsstrahl-optik und der Umgebung ermittelt werden.

**[0024]** Erfindungsgemäß kann ferner vorgesehen sein, dass die Messstrahlquelle eine Laserdiode und/oder eine LED umfasst. Dies ermöglicht ein besonders präzises Definieren und Aussenden des Messstrahls und insbesondere einzelner Messstrahlpulse.

**[0025]** Ebenso kann vorgesehen sein, dass die Registriereinheit eine Photodiode umfasst. Dies ermöglicht ein schnelles und präzises Erfassen des reflektierten Messstrahlanteils mittels einer vergleichsweise einfach ausgebildeten Sensorik. Alternativ oder zusätzlich kann die Registriereinheit einen Bildsensor umfassen.

**[0026]** Bei einer Weiterbildung der Erfindung ist vorgesehen, dass die Überwachungsvorrichtung dazu ausgebildet ist, nach Maßgabe des von der Beurteilungseinheit ermittelten Beurteilungsergebnisses den Betrieb des Bearbeitungssystems zu beeinflussen. Hierzu kann die Überwachungsvorrichtung dazu ausgebildet sein, Steuersignale zu erzeugen oder zu verändern, die den Betrieb des Bearbeitungssystems in der gewünschten Weise beeinflussen.

**[0027]** Eine derartige Betriebsbeeinflussung kann vor allem dann vorgesehen sein, wenn das von der Beurteilungseinheit ermittelte Beurteilungsergebnis ergibt, dass sich ein aktuell ermittelter Distanzwert nicht in dem zulässigen Distanzwertebereich befindet. Wie vorstehend erläutert, deutet dies an, dass der Messstrahl und somit ein gegebenenfalls parallel erzeugter Bearbeitungsstrahl in einem unerwünschten Abstand von der Bearbeitungsstrahl-optik in der Umgebung auf ein Objekt auftreffen. Gemäß der vorliegenden Weiterbildung kann die Überwachungs-vorrichtung in einem solchen Fall entsprechende Gegenmaßnahmen einleiten und insbesondere unmittelbar in den Betrieb des Bearbeitungssystems eingreifen.

Dies kann auch davon abhängig gemacht werden, ob ein bestimmtes Ergebnis der Beurteilungseinheit, wie zum Beispiel das nicht-Einhalten des zulässigen Distanzwertebereiches, über eine gewisse Mindestdauer oder eine Mindestanzahl einzelner Messvorgänge vorliegt.

**[0028]** In diesem Zusammenhang kann ferner vorgesehen sein, dass die Überwachungsvorrichtung dazu eingerichtet ist, ein Warnsignal auszugeben und/oder das Bearbeitungssystem zur Ausgabe eines Warnsignals zu veranlassen. Bei dem Warnsignal kann es sich um ein internes Steuersignal handeln, das von einer Steuerung des Bearbeitungssystems entsprechend erkannt und ausgewertet wird. Ebenso kann es sich um ein extern wahrnehmbares Warnsignal handeln, beispielsweise um ein akustisches oder optisches Warnsignal, das für das Bedienpersonal des Bearbeitungssystems leicht wahrnehmbar ist.

**[0029]** Ferner kann erfindungsgemäß vorgesehen sein, dass die Überwachungsvorrichtung nach Maßgabe des von der Beurteilungseinheit ermittelten Beurteilungsergebnisses dazu eingerichtet ist, den Betrieb des Bearbeitungssystems einzuschränken oder zu unterdrücken. Demnach kann die Überwachungs- vorrichtung je nach dem ermittelten Beurteilungsergebnis dazu eingerichtet sein, Einfluss auf die Betriebsparameter des Bearbeitungssystems zu nehmen und insbesondere auf das Erzeugen des Bearbeitungsstrahls sowie dessen Ausrichtung und/oder Intensität. Mit anderen Worten kann die Überwachungs- vorrichtung bei einem Nichteinhalten des zulässigen Distanzwertebereiches veranlassen, dass das Erzeugen des Bearbeitungsstrahls zumindest vorübergehend unterdrückt oder dass die Leistung einer Bearbeitungsstrahlquelle begrenzt wird.

**[0030]** Wie vorstehend geschildert, kann die Überwachungs- vorrichtung dabei insbesondere dazu ausgebildet sein, eine Beurteilung des ermittelten Distanzwertes bereits vor dem Erzeugen des Bearbeitungsstrahls durchzuführen. Hierdurch kann beispielsweise das Vorhandensein eines der Bearbeitungsstrahl- optik gegenüberliegenden Werkstückes festgestellt werden. In diesem Fall kann der zulässige Distanzwertebereich einen zulässigen Arbeitsraum zwischen der Bearbeitungsstrahl- optik und der Werkstückoberfläche definieren und vorzugsweise auf Basis einer bekannten Form und/oder Materialstärke des Werkstücks sowie dessen Anordnung im Raum festgelegt werden (beispielsweise bei einem Einspannen des Werkstücks auf einem Bearbeitungstisch mit bekannter Höhe). Überschreitet der ermittelte Distanzwert den zulässigen Distanzwertebereich, zeigt dies an, dass eine Reflektion durch die Umgebung unerwartet spät erfolgt. Dies lässt auf das nicht-Vorhandensein eines entsprechenden Werkstücks schließen. In diesem Fall kann das Er-

zeugen eines Bearbeitungsstrahls von der Überwachungs- vorrichtung verhindert werden, um zum Beispiel unerwünschte Beschädigungen des Bearbeitungstisches zu vermeiden.

**[0031]** In diesem Zusammenhang kann ferner vorgesehen sein, dass die Überwachungs- vorrichtung dazu eingerichtet ist, eine Stromversorgung des Bearbeitungssystems zu unterbrechen. Hierzu kann die Überwachungs- vorrichtung Sicherungen, Relais oder vergleichbare Schalteinrichtungen umfassen, die mit der Stromversorgung des Bearbeitungssystems wechselwirken. Alternativ kann die Überwachungs- vorrichtung separat von derartigen Schalteinrichtungen ausgebildet aber dazu eingerichtet sein, über Kommunikationsverbindungen darauf zuzugreifen und mittels entsprechender Steuersignale zu betätigen.

**[0032]** Die Stromversorgung kann allgemein mit sämtlichen oder nur ausgewählten Komponenten des Bearbeitungssystems wechselwirken. Beispielsweise kann es sich um eine Stromversorgung einer Bearbeitungsstrahl- quelle des Bearbeitungssystems handeln. Ferner kann vorgesehen sein, dass die Überwachungs- vorrichtung ein vorzugsweise zweikanaliges Freigabesignal bereitstellt, das nur bei einem positiven Beurteilungsergebnis der Beurteilungseinheit die Stromversorgung des Bearbeitungssystems schließt und somit das Erzeugen des Bearbeitungsstrahls ermöglicht. Sobald die Beurteilungseinheit ermittelt, dass der Distanzwert außerhalb des zulässigen Distanzwertebereiches liegt, entfällt das Freigabesignal und die Stromversorgung wird unterbrochen. Dies verhindert eine weitere Erzeugung des Bearbeitungsstrahls.

**[0033]** Eine Weiterbildung der Erfindung sieht vor, dass die Überwachungs- vorrichtung nach Maßgabe des von der Beurteilungseinheit ermittelten Beurteilungsergebnisses dazu eingerichtet ist, Steuersignale für eine Regelung des Bearbeitungsstrahls zu erzeugen und insbesondere für eine Regelung der Fokusslage des Bearbeitungsstrahls. Unter dem Begriff „Steuersignal“ kann dabei jegliches Signal und/oder jegliche dadurch übermittelte Information verstanden werden, die im Rahmen einer entsprechenden Regelung verwendbar ist, beispielsweise eine aktuelle Abweichung von dem zulässigen Distanzwertebereich. Ferner können insbesondere diejenigen Parameter des Bearbeitungsstrahls geregelt werden, die in Abhängigkeit des ermittelten Distanzwertes anzupassen sind, um ein vorteilhaftes Arbeitsergebnis zu erzielen oder eine ausreichende Sicherheit zu gewährleisten. Dies betrifft beispielsweise die Position, die Ausrichtung oder die Führungsgeschwindigkeit des Bearbeitungsstrahls relativ zum Werkstück.

**[0034]** Mittels der Regelung der Fokusslage des Bearbeitungsstrahls kann sichergestellt werden, dass

der Fokuspunkt des Bearbeitungsstrahls stets auf einer zu bearbeitenden Bauteiloberfläche liegt. Dies ist insbesondere bei einem Bearbeiten von unebenen Bauteilen vorteilhaft. Der zulässige Distanzwertebereich kann in diesem Fall als gewünschter Abstand der Bearbeitungsstrahl-optik zu den gegenüberliegenden Bereichen der Bauteiloberfläche definiert sein, zuzüglich eines etwaigen Toleranzbereiches. Der zulässige Distanzwertebereich definiert demnach einen vorzugsweise äußerst engen bzw. schmalen virtuellen Arbeitsraum, der sich entlang der Bauteiloberfläche erstreckt und diese vorzugsweise enthält. Fällt der ermittelte Distanzwert nicht in diesen engen zulässigen Distanzwertebereich, deutet dies an, dass die Bearbeitungsstrahl-optik in einem unerwünschten Abstand von der Bauteiloberfläche angeordnet ist. Demnach kann eine Nachregelung der Fokusslage erforderlich sein, um die ermittelte Abweichung auszugleichen. Hierzu kann die Überwachungs-vorrichtung entsprechende Korrektursignale erzeugen, insbesondere basierend auf dem tatsächlich ermittelten Distanzwert.

**[0035]** Bei einer Weiterbildung der Erfindung ist der zulässige Distanzwertebereich in Abhängigkeit von einer aktuellen Bearbeitungssituation definiert und/oder in Abhängigkeit einer aktuellen Bearbeitungssituation durch die Überarbeitsvorrichtung ermittelbar. Mit anderen Worten kann vorgesehen sein, dass der zulässige Distanzwertebereich flexibel an eine aktuelle Bearbeitungssituation anpassbar ist.

**[0036]** Beispielsweise kann das Bearbeitungssystem ein Positioniersystem wie vorzugsweise einen Industrieroboter umfassen, um die Bearbeitungsstrahl-optik flexibel im Raum bewegen und anordnen zu können. In Kenntnis aktueller Achsstellungen des Positioniersystems kann somit eine Position der Bearbeitungsstrahl-optik im Raum und somit ein adäquater zulässiger Distanzwertebereich flexibel definiert und/oder ermittelt werden. Hierzu kann auch auf weitere Information bezüglich der Umgebung des Bearbeitungssystems zurückgegriffen werden, um beispielsweise einen aktuellen Abstand der Bearbeitungsstrahl-optik von den Schutzwänden einer etwaigen Sicherheitszelle zu berücksichtigen. Je geringer dieser Abstand ausfällt, desto geringer kann eine aktuelle Obergrenze des zulässigen Distanzwertebereiches gewählt werden, um ein langanhaltendes Auftreffen des Bearbeitungsstrahls auf den Schutzwänden zu verhindern.

**[0037]** Wie nachfolgend ausgeführt, kann die Bearbeitungsstrahl-optik auch eine Ablenkvorrichtung umfassen, um den Messstrahl und den Bearbeitungsstrahl auf gemeinsame Umgebungsbereiche zu richten. In diesem Fall kann eine aktuelle Achsstellung der Ablenkvorrichtung im Sinne einer aktuellen Bearbeitungssituation berücksichtigt und der zulässige Distanzwertebereich entsprechend flexibel daran an-

gepasst werden. Zum Beispiel können für vergleichsweise große Ablenkstellungen, bei denen der Mess- und der Bearbeitungsstrahl unter entsprechend großen Winkeln aus der Bearbeitungsstrahl-optik austreten, größere Distanzwerte als zulässig definiert werden als bei vergleichsweise geringen Ablenkstellungen. Dies ermöglicht eine Definition rechteckförmiger virtueller Arbeitsräume um die Bearbeitungsstrahl-optik sowie beliebiger weiterer Formen.

**[0038]** Schließlich kann gemäß dieser Weiterbildung auch vorgesehen sein, den zulässigen Distanzwertebereich in Abhängigkeit aktueller Bearbeitungsphasen des Werkstückes zu wählen. Wie vorstehend geschildert, kann zum Beispiel bei einer Vorabüberprüfung bezüglich des Vorhandenseins eines Werkstückes ein enger zulässiger Distanzwertebereich gewählt werden, wohingegen im fortlaufenden Bearbeitungsbetrieb der zulässige Distanzwertebereich vergrößert wird, um die Fehlertoleranz zu erhöhen.

**[0039]** Die aktuell zulässigen Distanzwertebereiche können im Einlernbetrieb auch dadurch erfasst werden, dass das Bearbeitungssystem das Werkstück ohne Erzeugen eines Bearbeitungsstrahls entlang eines Bearbeitungspfades abfährt. Die Überwachungs-vorrichtung kann dabei laufend die aktuellen Distanzwerte für einzelne oder sämtliche Bearbeitungspositionen ermitteln. Die ermittelten Distanzwerte können dann zuzüglich etwaiger Toleranzbereiche als zulässige Distanzwertebereiche für die jeweiligen Bearbeitungspositionen hinterlegt werden.

**[0040]** Wie erwähnt, kann erfindungsgemäß ferner vorgesehen sein, dass die Bearbeitungsstrahl-optik wenigstens eine gemeinsame Ablenkvorrichtung umfasst, mittels derer der Messstrahl und der Bearbeitungsstrahl auf gemeinsame Umgebungspositionen richtbar sind. Die Ablenkvorrichtung kann in bekannter Weise als Scannerspiegel ausgebildet sein, der vorzugsweise um wenigstens zwei Achsen verstellbar ist. Hierdurch können die Ausrichtung des Bearbeitungs- und des Messstrahls bzw. die Winkel, unter denen die entsprechenden Strahlen aus der Bearbeitungsstrahl-optik austreten, präzise definiert werden. Durch das Ablenken mittels einer gemeinsamen Ablenkvorrichtung ist ferner gewährleistet, dass die anhand des Messstrahls ermittelten Informationen möglichst genaue Rückschlüsse auf den Bearbeitungsstrahl ermöglichen, da ein im Wesentlichen identischer Strahlenverlauf zwischen der Bearbeitungsstrahl-optik und der Umgebung erzielbar ist.

**[0041]** In diesem Zusammenhang kann ferner vorgesehen sein, dass sich der von der Überwachungs-vorrichtung ermittelte Distanzwert auf den Abstand zwischen der gemeinsamen Ablenkvorrichtung und dem reflektierenden Bereich der Umgebung bezieht.

**[0042]** Eine Weiterbildung der Erfindung sieht vor, dass die Beurteilungseinheit dazu ausgebildet ist, ein Unterschreiten und/oder Überschreiten des zulässigen Distanzwertebereiches zu ermitteln.

**[0043]** Demnach kann der zulässige Distanzwertebereich nicht nur eine Obergrenzen sondern zusätzlich auch eine Untergrenze umfassen. Unterschreitet der ermittelte Distanzwert diese Untergrenze, deutet dies an, dass der Messstrahl zu früh und demnach von einem nicht vorgesehenen Bereich reflektiert wurde. Dies kann insbesondere dann der Fall sein, wenn die Bearbeitungsstrahloptik fehlerhaft ist und eine nicht vorgesehene Ablenkstellungen einnimmt. In diesen Fällen kann der Messstrahl von inneren Bereichen des Schweißkopfes reflektiert werden die, verglichen mit den eigentlich vorgesehenen Auftreffbereichen in der Umgebung, deutlich näher an der Bearbeitungsstrahloptik positioniert sind oder sogar einen unmittelbaren Bestandteil von dieser bilden. Ein unerwartet kurzer Distanzwert kann auch dann vorliegen, wenn eine etwaige gemeinsame Ablenkvorrichtung beschädigt wird und den Messstrahl hindurchtreten lässt, anstatt ihn aus dem Bearbeitungssystem hinauszuführen. Es versteht sich, dass die Überwachungsvorrichtung auch bei einem Auftreten entsprechend kurzer Distanzwerte eine der vorstehend geschilderten Sicherheitsfunktionen und/oder Gegenmaßnahmen einleiten und beispielsweise das Erzeugen des Bearbeitungsstrahls unterdrücken kann.

**[0044]** Eine Weiterbildung der Erfindung sieht zudem vor, dass die Beurteilungseinheit dazu ausgebildet ist, eine Fehlfunktion bezüglich des Ermitteln des Distanzwertes zu erkennen. Dies kann allgemein durch Ausführen einer Plausibilitätsüberprüfung des ermittelten Distanzwertes erfolgen. Insbesondere kann die Beurteilungseinheit dazu eingerichtet sein, ein Ausbleiben des durch die Umgebung reflektierten Messstrahlanteils und/oder das Ermitteln mehrerer Distanzwerte für ein und denselben Messvorgang als entsprechende Fehlfunktionen zu erkennen.

**[0045]** Im Fall eines Ausbleibens des durch die Umgebung reflektierten Messstrahlanteils kann der ermittelte Distanzwert beispielsweise Null oder unendlich betragen. Ebenso kann ein vorbestimmter Fehlerwert angezeigt werden, da kein verwertbares Messsignal registriert werden konnte und der Distanzwert somit nicht ermittelbar ist. Dies kann von der Beurteilungseinheit als entsprechende Fehlfunktion erkannt werden.

**[0046]** Eine Mehrzahl von Distanzwerten kann zum Beispiel dann auftreten, wenn der reflektierte Messstrahlanteil aufgrund von Rückreflektionen durch optische Elemente der Bearbeitungsstrahloptik mehrere einzelne Signale und/oder Reflektionsanteile umfasst

und somit eine entsprechende Mehrzahl von Distanzwerten für ein und denselben Messvorgang ermittelt wird. Auch dies kann von der Beurteilungseinheit als Fehlfunktion erkannt werden.

**[0047]** Wird eine entsprechende Mehrzahl von Distanzwerten erkannt, kann die Beurteilungseinheit ferner dazu ausgebildet sein, auf Basis weiterer Plausibilitätsbetrachtungen und/oder Intensitätsvergleichen denjenigen Distanzwert zu bestimmen, der voraussichtlich dem tatsächlichen Auftreffpunkt in der Umgebung zuzuordnen ist. Dieser Wert kann anschließend der weiteren Beurteilung durch die Beurteilungseinheit zugrunde gelegt werden. Beispielsweise kann vorgesehen sein, lediglich den betragsmäßig größten Distanzwert für die weitere Beurteilung heranzuziehen.

**[0048]** Die Beurteilungseinheit kann ferner dazu ausgebildet sein, die Beurteilung, ob sich der ermittelte Distanzwert in dem zulässigen Distanzwertebereich befindet, unter Berücksichtigung des Erkennens einer Fehlfunktion durchzuführen. Beispielsweise kann die Beurteilungseinheit bei einem Erkennen einer entsprechenden Fehlfunktion unmittelbar bestimmen, dass aktuell kein Distanzwert vorliegt, der sich in dem zulässigen Distanzwertebereich befindet. Ebenso kann vorgesehen sein, dass eine genauere Beurteilung des Distanzwertes nur dann durchgeführt wird, wenn erkannt wurde, dass keine Fehlfunktion vorliegt.

**[0049]** Im Ergebnis kann durch diese Weiterbildung gewährleistet werden, dass fehlerhafte Messvorgänge erkannt und entsprechend berücksichtigt werden. Insbesondere können bei dem Erkennen einer Fehlfunktion jegliche der vorstehend diskutierten Sicherheitsfunktionen und/oder Gegenmaßnahmen eingeleitet werden, wie zum Beispiel ein Ausschalten des Bearbeitungssystems oder ein Einschränken beziehungsweise Unterdrücken von dessen Betrieb.

**[0050]** Die Erfindung betrifft ferner ein Bearbeitungssystem zum Bearbeiten eines Werkstücks mittels eines hochenergetischen Bearbeitungsstrahls, umfassend eine Überwachungsvorrichtung nach einem der vorstehend diskutierten Aspekte.

**[0051]** Ebenso betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Überwachung eines Bearbeitungssystems zum Bearbeiten eines Werkstücks mittels eines hochenergetischen Bearbeitungsstrahls, insbesondere mit einer Überwachungsvorrichtung nach einem der vorangehend diskutierten Aspekte, umfassend die Schritte:

- Bereitstellen eines Messstrahls;
- Einkoppeln des Messstrahls in eine Bearbeitungsstrahloptik des Bearbeitungssystems;
- Ansteuern der Bearbeitungsstrahloptik des Bearbeitungssystems, um den Messstrahl auf eine Position in der Umgebung zu richten;

- Erfassen eines von der Umgebung reflektierten Anteils des Messstrahls;
- Ermitteln von wenigstens einem Distanzwert anhand des erfassten reflektierten Anteils des Messstrahls, wobei der Distanzwert einen Rückschluss auf einen Abstand der Bearbeitungsstrahl-optik zu dem den Messstrahl reflektierenden Bereich der Umgebung ermöglicht; und
- Beurteilen, ob sich der ermittelte Distanzwert in einem zulässigen Distanzwertebereich befindet.

**[0052]** Es versteht sich, dass dieses Verfahren auch weitere Schritte umfassen kann, um die vorstehend am Beispiel der erfindungsgemäßen Überwachungs-vorrichtung geschilderten Effekte zu erzielen und Funktionen bereitzustellen. Insbesondere kann vorgesehen sein, dass neben dem Bereitstellen des Messstrahls auch ein Bearbeitungsstrahl bereitgestellt wird, um eine parallele Distanzwertüberwachung im laufenden Bearbeitungsbetrieb zu ermöglichen. Ferner kann das Verfahren den Schritt des Ermitteln des Distanzwertes basierend auf einer Laufzeitmessung des Messstrahls umfassen, insbesondere unter Zuhilfenahme einer Time-of-Flight-Messeinheit sowie unter Verwenden entsprechender Laserdioden, LED und/oder Photodioden. Ebenso kann das Verfahren nach Maßgabe des Beurteilungsergebnisses weitere Schritte umfassen, um die vorstehend genannten Sicherheitsfunktionen und Gegenmaßnahmen bei einem Abweichen des ermittelten Distanzwertes von dem zulässigen Distanzwertebereich einzuleiten. In einem solchen Fall kann zusätzlich der Schritt vorgesehen sein, den Betrieb des Bearbeitungssystems einzuschränken oder zu unterdrücken, zum Beispiel durch Unterbrechen einer Stromversorgung des Bearbeitungssystems.

**[0053]** Die Erfindung wird im Folgenden beispielhaft anhand der beiliegenden Figuren erläutert. Dabei werden gleichartige oder gleichwirkende Elemente bei den gezeigten verschiedenen Ausführungsformen allgemein mit gleichen Bezugszeichen bezeichnet.

**[0054]** Es stellen dar:

**[0055]** Fig. 1 eine schematische Darstellung eines Laserschweißkopfes mit einer daran gekoppelten Überwachungs-vorrichtung gemäß einem ersten Ausführungsbeispiel der Erfindung;

**[0056]** Fig. 2 eine schematische Darstellung der von der Überwachungs-vorrichtung aus Fig. 1 definierten virtuellen Arbeitsräumen;

**[0057]** Fig. 3 eine Teildarstellung einer Messeinheit für eine Überwachungs-vorrichtung gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung; und

**[0058]** Fig. 4 eine schematische Darstellung, um eine erfindungsgemäße Regelung des Bearbeitungsstrahls zu erläutern.

**[0059]** In Fig. 1 ist eine erfindungsgemäße Überwachungs-vorrichtung gezeigt und allgemein mit **10** bezeichnet. Die Überwachungs-vorrichtung **10** umfasst eine Recheneinheit **12**, die eine nicht gesondert dargestellte Beurteilungseinheit umfasst. Die Recheneinheit **12** ist an eine Messeinheit **14** angeschlossen, die im vorliegenden Fall als optische Abstandsmesseinheit in Form einer Time-of-Flight-Sensoranordnung ausgebildet ist. Im Detail umfasst die Messeinheit **14** eine Messstrahlquelle in Form einer Laserdiode **16**, die einen Messstrahlpuls **18** in Richtung eines Laserschweißkopfes **20** aussendet. Ferner umfasst die Messeinheit **14** eine Registriereinheit in Form einer Photodiode **22**, mit der ein durch die Umgebung reflektierter Messstrahlanteil **24** erfassbar ist.

**[0060]** Man erkennt ferner, dass die Recheneinheit **12** über strichliniert dargestellte Kommunikationsverbindungen **26** an eine Stromversorgung **28** eines nicht gesondert dargestellten Laserbearbeitungssystems angeschlossen ist. Genauer gesagt kann die Recheneinheit **12** über die Kommunikationsverbindungen **26** auf zwei Relais-einheiten **30** zugreifen, die jeweils unterschiedlichen Spannungsniveaus der Stromversorgung **28** zugeordnet sind.

**[0061]** Die Überwachungs-vorrichtung **10** ist, wie durch das strichlinierte Gehäuse **32** angedeutet, als ein gesondert handhabbares Modul ausgebildet, das an den Laserschweißkopf **20** montiert ist. Der Laserschweißkopf **20** ist in bekannter Weise an einem nicht dargestellten Knickarmroboter angeordnet, um beliebig im Raum angeordnet und bewegt werden zu können.

**[0062]** Wie in Fig. 1 dargestellt, ist das nicht gesondert dargestellte Laserbearbeitungssystem, mit dem Laserschweißkopf **20** und der daran montierten Überwachungs-vorrichtung **10**, in einer schematisch angedeuteten Sicherheitszelle **50** angeordnet. Diese definiert einen räumlich begrenzten Bearbeitungsbereich um das Laserbearbeitungssystem. Die Sicherheitszelle **50** weist hierzu in bekannter Weise Boden- und Schutzwandbereiche B, S auf, mit denen sie das Laserbearbeitungssystem umgibt und von der weiteren Fabrikumgebung abschirmt. In Fig. 1 ist dabei exemplarisch nur ein einzelner seitlicher Schutzwandbereich S gezeigt. In der Sicherheitszelle **50** ist ferner ein Werkstück W angeordnet, das auf einem Bearbeitungstisch **52** eingespannt und um eine vorbestimmte Höhe H von dem Bodenbereich B beabstandet ist.

**[0063]** Im Detail umfasst der Laserschweißkopf **20** eine Bearbeitungsstrahl-optik **34**. Diese weist ein-gangsseitig eine als Lichtleiter ausgebildete Schnitt-



stelle **36** auf, die das Einkoppeln eines Laserstrahls **38** von einer nicht näher dargestellten Laserstrahlquelle ermöglicht. Ausgehend von der Schnittstelle **36** durchläuft der Laserstrahl **38** zunächst eine Kollimationslinse **40**, die entlang einer Achse A und somit entlang der Laserstrahlachse verschiebbar ist. Anschließend trifft der Laserstrahl **38** auf einen Strahlteiler **42**, der den Laserstrahl **38** unter Durchlaufen einer Fokuslinse **46** auf eine zweiachsige Ablenkvorrichtung in Form eines Bearbeitungsscanners **44** umlenkt. Mittels des Bearbeitungsscanners **44** wird der Laserstrahl **38** auf einen gewünschten Bereich der Umgebung und in diesem Fall auf das Werkstück W gerichtet.

**[0064]** Ferner erkennt kann man in **Fig. 1**, dass der von der Überwachungsvorrichtung **10** ausgesendete Messstrahlpuls **18** über einen optischen Schnittstellenbereich **48** in den Laserschweißkopf **20** und die Bearbeitungsstrahloptik **34** eintritt. Dabei durchtritt er zunächst den Strahlteiler **42**, der für die Wellenlängenbereiche des Messstrahls **18** durchlässig ausgebildet ist, und trifft nach Durchlaufen der Fokuslinse **46** auf den Bearbeitungsscanner **44**. Der Messstrahlpuls **18** wird dabei koaxial in den Laserstrahl **38** eingekoppelt und gemeinsam mit diesem über den Bearbeitungsscanner **44** in die Umgebung gerichtet.

**[0065]** Wie durch entsprechende Pfeile in **Fig. 1** angedeutet, durchläuft der von der Umgebung reflektierter Messstrahlanteil **24** die Bearbeitungsstrahloptik **34** hingegen in umgekehrter Richtung. Dabei trifft er ausgehend von dem Werkstück W zunächst auf den Bearbeitungsscanner **44**, um unter Durchlaufen der Fokuslinse **46** und des Strahlteilers **42** über die optischen Schnittstelle **48** in die Überwachungsvorrichtung **10** einzutreten und dort auf die Photodiode **22** zu treffen. Die Photodiode **22** erfasst den Auftreffzeitpunkt des reflektierten Messstrahlanteils **24** nach Aussenden eines vorangehenden Messstrahlpulses **18**.

**[0066]** Im Ergebnis wird somit ein von der Laserdiode **16** ausgesendeter Messstrahlpuls **18** in die Bearbeitungsstrahloptik **34** eingekoppelt und über den Bearbeitungsscanner **44** auf eine Position in der Umgebung bzw. innerhalb der Sicherheitszelle **50** gerichtet. Im gezeigten Fall werden der Laserstrahl **38** und der Messstrahlpuls **18** gleichzeitig erzeugt und auf einen gemeinsamen Auftreffpunkt X des Werkstücks W gerichtet. Ausgehend von diesem Auftreffpunkt X wird ein entsprechender Messstrahlanteil **24** reflektiert und in der vorstehend geschilderten Weise zu der Messeinheit **14** der Überwachungsvorrichtung **10** zurückgeführt.

**[0067]** Allgemein versteht es sich, dass die in **Fig. 1** gezeigten Strahlenverläufe lediglich zu Erläuterungszwecken dienen und nicht die physikalischen exakten Verläufe wiedergeben. Wie erwähnt, wird der

Messstrahlpuls **18** koaxial in den Laserstrahl **38** eingekoppelt, sodass der Verlauf und die zurückgelegten Distanzen dieser Strahlen sowie auch des reflektierten Messstrahlanteils **24** insbesondere zwischen dem Bearbeitungsscanner **44** und dem Werkstück W mit ausreichender Genauigkeit als identisch angenommen werden können.

**[0068]** Basierend auf dem vorstehend geschilderten Aufbau kann die Recheneinheit **12** der Überwachungsvorrichtung **10** eine Laufzeitmessung vornehmen und die Zeitdauer bestimmen, die zwischen dem Aussenden des Messstrahlpulses **18** und dem Auftreffen auf der Photodiode **22** vergeht. Hierzu werden der Zeitpunkt des Aussendens des Messstrahlpulses **18** sowie der Zeitpunkt des Auftreffens des reflektierten Messstrahlanteils **24** auf der Photodiode **22** registriert und eine Differenz dieser Werte gebildet.

**[0069]** Basierend auf dieser Laufzeitmessung bestimmt die Recheneinheit **12** ferner einen aktuellen Distanzwert d zwischen dem Bearbeitungsscanner **44** und dem reflektierenden Bereich X. Hierzu wird der allgemein feststehende Abstand t der Laser- und Photodiode **16, 22** von dem Bearbeitungsscanner **44** berücksichtigt. Der Abstand t legt diejenige konstante Zeitdauer fest, die der Messstrahlpuls **18** und der reflektierte Messstrahlanteil **24** für das Durchlaufen der Bearbeitungsstrahloptik **34** und der Überwachungsvorrichtung **10** benötigen. Der verbleibende Zeitdaueranteil (bzw. die Hälfte davon) gibt entsprechend die Zeitdauer an, die der Messstrahlpuls **18** benötigt, um von dem Bearbeitungsscanner **44** zu dem Auftreffpunkt X zu gelangen. Im gleichen Sinne entspricht dies dem Zeitdaueranteil, den der reflektierte Messstrahlanteil **24** benötigt, um von dem Auftreffpunkt X zu dem Bearbeitungsscanner **44** zu gelangen. In bekannter Weise kann aus diesem verbleibenden Zeitdaueranteil ein Distanzwert d im Sinne eines konkreten Abstandswertes berechnet werden, der zum Beispiel in Zentimetern angegeben wird. Dieser Distanzwert d gibt somit den aktuell vorliegenden Abstand zwischen dem Bearbeitungsscanner **44** und dem Auftreffpunkt X an.

**[0070]** Wie nachfolgend geschildert, wird der auf diese Weise ermittelte Distanzwert d von der Beurteilungseinheit der Recheneinheit **12** mit einem zulässigen Distanzwertebereich Z verglichen, um zu gewährleisten, dass der Laserstrahl **38** nur auf tatsächlich vorgesehene Auftreffpunkte X innerhalb der Sicherheitszelle **50** trifft. Im gezeigten Fall ist eine Obergrenze O des zulässigen Distanzwertebereich Z derart bemessen, dass der zu bearbeitende Bereich des Werkstückes W innerhalb des zulässigen Distanzwertebereichs Z liegt. Etwaige Auftreffpunkte nahe der Schutzwand S oder dem Bodenbereich B weisen hingegen einen deutlich größeren Abstand zu dem Bearbeitungsscanner **44** auf, so dass deren Distanzwerte d die Obergrenze O überschreiten würden. Le-

diglich beispielhaft sind hierfür zwei entsprechende Distanzwerte  $d_S$  und  $d_B$  für ein unbeabsichtigtes Auftreffen auf der Schutzwand S und dem Boden B gezeigt.

**[0071]** Ferner ist in **Fig. 1** eine Untergrenze U des zulässigen Distanzwertebereich Z gezeigt, die einen Mindestwert für die Distanzwerte d vorgibt. Ein Unterschreiten der Untergrenze U signalisiert, dass es innerhalb des Schweißkopfes **20** zu Fehlern kommt und der ermittelte Distanzwert d deshalb unerwartet kurz ausfällt. Hierdurch kann beispielsweise das Fehlerszenario berücksichtigt werden, dass der Bearbeitungsscanner **44** den Messstrahlpuls **18** fehlerhaft ausrichtet und dieser vom Gehäuse des Laserschweißkopfes **20** oder weiteren Bestandteilen der Bearbeitungsstrahloptik **34** reflektiert und unmittelbar in die Überwachungsvorrichtung **10** zurückgeführt wird. Ebenso wird der Fall berücksichtigt, dass der Bearbeitungsscanner **44** beschädigt sein kann und der Messstrahlpuls **18** geradlinig durch ihn hindurchtritt, sodass er von einer Rückwand **52** des Laserschweißkopfes **20** anstelle des Werkstücks W reflektiert wird.

**[0072]** Man erkennt, dass die Untergrenze in **Fig. 1** einen vergleichsweise geringen Betrag aufweist. Somit kann die Untergrenze U nur durch Bereiche in unmittelbarer Nähe des Bearbeitungsscanner **44** unterschritten werden.

**[0073]** Wie in **Fig. 1** gezeigt, wird der zulässige Distanzwertebereich Z somit durch den Wertebereich zwischen der Unter- und der Obergrenze U, O definiert. Mit anderen Worten werden von der Beurteilungseinheit sämtliche Distanzwerte d als zulässig beurteilt, die größere Werte als die Untergrenze U aber geringere Werte als die Obergrenze O aufweisen. Der für den gezeigten Auftreffpunkt X ermittelte Distanzwert d liegt demnach zulässigerweise in dem Distanzwertebereich Z.

**[0074]** Im Ergebnis wird von der Recheneinheit **12** für jeden ausgesendeten Messstrahlpuls **18** somit in der vorstehend geschilderten Weise ein aktueller Distanzwert d ermittelt und von der Beurteilungseinheit nur dann als zulässig erkannt, wenn er in dem zulässigen Distanzwertebereich Z liegt. Ist dies der Fall, gibt die Recheneinheit **12** über die Kommunikationsleitungen **26** jeweils ein Steuersignal an die Relaisvorrichtungen **30** der Stromversorgung **28** aus, um diese zu schließen. In diesem Zustand kann das nicht gesondert dargestellte Laserbearbeitungssystem den Laserstrahl **38** erzeugen und eine Werkstückbearbeitung durchführen.

**[0075]** Wird hingegen erkannt, dass ein aktuell ermittelter Distanzwert d außerhalb des zulässigen Distanzwertebereichs Z liegt, unterbleibt das Aussenden des Steuersignals an die Relaisvorrichtungen **30**.

Diese nehmen somit automatisch eine geöffnete Position ein, wodurch die die Stromversorgung **28** unterbrochen und ein Erzeugen des Laserstrahls **38** unterdrückt wird.

**[0076]** Bei der gezeigten Überwachungsvorrichtung **10** können die Obergrenze O und die Untergrenze U flexibel an aktuelle Bearbeitungssituationen angepasst werden. So soll vor der Aufnahme der tatsächlichen Werkstückbearbeitung zunächst das Vorhandensein eines Werkstücks W auf dem Bearbeitungstisch **52** überprüft werden. Hierzu würde prinzipiell eine einmalige Überprüfung des Distanzwertes d durch die Beurteilungseinheit ausreichen, da die Obergrenze O im gezeigten Fall mit der Tischoberfläche abschließt. Ein Überschreiten der Obergrenze O zeigt demnach eine unerwartet späte Reflektion und somit ein Fehlen des Werkstücks W an.

**[0077]** Um die Aussagekraft der Ergebnisse zu erhöhen, ist vorliegend zusätzlich vorgesehen die anfängliche Untergrenze U' mit einem deutlich höheren Betrag anzusetzen, als im fortlaufenden Bearbeitungsbetrieb (vgl. Untergrenze U für Bearbeitungsbetrieb in **Fig. 1**). Mit anderen Worten wird die anfängliche Untergrenze U' deutlich näher an die im gezeigten Fall gleichbleibende Obergrenze O gerückt, wodurch sich der anfänglich zulässige Distanzwertebereich Z' entsprechend verkleinert. Hierdurch wird der zulässige Distanzwertebereich Z' und somit der Toleranzbereich für den ermittelten Distanzwert d anfänglich gezielt reduziert, um möglichst genau auf ein Vorhandensein des Werkstücks W schließen zu können. Das heißt, die Wahrscheinlichkeit, dass ein als zulässig bewerteter Distanzwert d tatsächlich auf eine Reflektion durch das Werkstück W zurückzuführen ist, ist im Fall des anfänglich reduzierten Distanzwertebereich Z' deutlich höher, als bei dem größeren Distanzwertebereich Z für den fortlaufenden Bearbeitungsbetrieb.

**[0078]** Für den fortlaufenden Bearbeitungsbetrieb würde das Beibehalten eines derart engen zulässigen Distanzwertebereichs Z' jedoch ein erhöhtes Risiko unbeabsichtigter Unterbrechungen und häufiger Fehlermeldungen bedeuten. Somit wird stattdessen der deutlich größere Distanzwertebereich Z verwendet.

**[0079]** In **Fig. 1** liegt der Auftreffpunkt X auch in dem anfänglich zulässigen Distanzwertebereich Z', sodass die Beurteilungseinheit der Recheneinheit **12** ein zulässiges Beurteilungsergebnis ermittelt und durch Schließen des Stromkreises **28** das Erzeugen des Laserstrahls **38** ermöglicht. Sobald die Bearbeitung durch Bereitstellen des Laserstrahls **38** aufgenommen wird, wird der zulässige Distanzwertebereich Z vergrößert, um die Fehlertoleranz zu erhöhen.

**[0080]** Bei der Darstellung gemäß **Fig. 1** sind die Ober- und Untergrenzen O, U für den fortlaufenden

Bearbeitungsbetrieb für jede Ablenkstellung des Bearbeitungsscanners **44** gleich gewählt. Demnach definieren die Untergrenze U und die Obergrenze O zumindest theoretisch einen jeweils kugelförmigen virtuellen Arbeitsraum um den Bearbeitungsscanner **44**. Der tatsächlich relevante Arbeitsraum fällt durch die Konstruktion des Schweißkopfes **20** und die möglichen Ablenkstellungen des Bearbeitungsscanners **44** erheblich geringer aus. In **Fig. 2** sind die durch die Ober- und Untergrenze O, U definierten virtuellen Arbeitsräume deshalb vereinfacht als Halbkugeln dargestellt sind. Der zulässige Distanzwertebereich Z definiert demnach einen virtuellen Arbeitsraum in Form einer Halbkugelschale um den Bearbeitungsscanner **44**. Wie geschildert, werden sämtliche innerhalb dieser Halbkugelschale liegende Auftreffpunkte X und die damit zusammenhängende Distanzwerte d von der Beurteilungseinheit als zulässig beurteilt.

**[0081]** Ferner verdeutlicht sich aus **Fig. 2** erneut, dass etwaige sicherheitskritische Auftreffpunkte auf dem Schutzwand- oder Bodenbereich S, B außerhalb des zulässigen virtuellen Arbeitsraumes Z liegen und somit ein umgehendes Unterbrechen der Stromversorgung **28** auslösen würden. Somit reduzieren sich die Anforderungen an die Schutzwände S, da das Risiko einer langanhaltenden Laserbestrahlung erheblich verringert wird.

**[0082]** Es versteht es sich, dass die gezeigten Formen und Größen der durch die Ober- und Untergrenzen O, U definierten virtuellen Arbeitsräume lediglich beispielhaft ist. Beispielsweise kann erfindungsgemäß ebenso vorgesehen sein, die Grenzen O, U als Funktion der aktuellen Ablenkstellungen des Bearbeitungsscanners **44** festzulegen. Ebenso kann auf die Untergrenze U gänzlich verzichtet werden, so dass sich der zulässige Distanzwertebereich von Null bis zu der Obergrenze O erstrecken. Bezugnehmend auf **Fig. 2** kann ebenso vorgesehen sein, die Obergrenze O deutlich größer zu definieren, sodass das Werkstück W in jedem Fall vollständig innerhalb des zulässigen Distanzwertebereichs Z liegt.

**[0083]** In **Fig. 3** ist eine alternative Time-of-Flight-Sensoranordnung für die Messeinheit **14** der Überwachungsvorrichtung **10** aus **Fig. 1** gezeigt. Man erkennt wiederum eine Laserdiode **16**, die einen Messstrahlpuls **18** aussendet. Dieser durchläuft einen ersten teildurchlässigen Strahlteiler **54**. Dabei wird ein definierter Anteil des Messstrahllichtes in Richtung einer ersten Photodiode **22** umgeleitet. Anschließend durchtritt der Messstrahlpuls **18** einen zweiten Strahlteiler **56**, um in der vorstehend geschilderten Weise über einen lediglich schematisch angedeuteten optischen Schnittstellenbereich **48** in die nicht gesondert dargestellte Bearbeitungsstrahloptik **34** einzutreten.

**[0084]** Analog zu den vorstehenden Ausführungen tritt ein reflektierter Messstrahlanteil **24** über den op-

tischen Schnittstellenbereich **48** zurück in die Messeinheit **14** ein und trifft dabei auf den zweiten Strahlteiler **56**. Der reflektierte Messstrahlanteil **24** wird daraufhin in Richtung einer zweiten Photodiode **22** abgelenkt.

**[0085]** Auch mittels dieser Sensoranordnung kann eine Laufzeitmessung des Messstrahlpulses **18** vorgenommen werden, um das Einhalten eines zulässigen Distanzwertebereichs Z zu überwachen. Hierzu erfasst die erste Photodiode **22** einen Startzeitpunkt, bei dem das Aussenden des Messstrahlpulses **18** erstmals registriert wird, wohingegen die zweite Photodiode **22** den Auftreffzeitpunkt des reflektierten Messstrahlanteils **24** nach einer erfolgten Reflektion in der Umgebung erfasst. Die Differenz der erfassten Zeitpunkte stellt die Laufzeit des Messstrahlpulses **18** zu und von dem reflektierenden Umgebungsbereich dar und kann wiederum in einen entsprechenden Distanzwert d umgerechnet werden.

**[0086]** **Fig. 4** stellt eine vereinfachte Prinzipskizze einer Werkstückbearbeitung mittels der anhand von **Fig. 1** geschilderten Vorrichtung dar, um eine Fokusslagenregelung des Laserstrahls **38** mit der erfindungsgemäßen Überwachungsvorrichtung **10** zu erläutern. Man erkennt wiederum den schematisch angedeuteten Laserschweißkopf **20**, der gegenüberliegend zu einem unebenen Werkstück W angeordnet ist. In bekannter Weise soll dabei die Lage des Fokuspunktes derart geregelt werden, dass dieser stets möglichst genau auf der Oberfläche des Werkstückes W positioniert ist. Entsprechend ist die Obergrenze O des zulässigen Distanzwertebereichs Z derart gewählt, dass diese im Wesentlichen mit der Werkstückoberfläche zusammenfällt. Die Recheneinheit **12** der Überwachungsvorrichtung **10** greift dabei auf im Bearbeitungssystem vorhandene Bearbeitungsinformationen zurück, um die Obergrenze O laufend an die aktuelle Bearbeitungssituation anzupassen. Beispielsweise kann auf Informationen bezüglich einer aktuellen Achsstellung eines den Laserschweißkopf **20** führenden Knickarmroboters sowie eine Form des Werkstücks W und dessen Anordnung innerhalb der Sicherheitszelle **50** zurückgegriffen werden. Beim Bewegen des Laserschweißkopfes **20** entlang der Werkstückoberfläche in der angedeuteten Richtung Y, wird die Obergrenze O demnach laufend derart angepasst, dass sie den strichliniert angedeuteten virtuellen Arbeitsraum entlang der Werkstückoberfläche bildet.

**[0087]** Im gezeigten Fall wird auf das zusätzliche Definieren einer Untergrenze U verzichtet. Der zulässige Wertebereich enthält demnach alleine den Wert der Obergrenze O. Allerdings kann ebenso vorgesehen sein, eine Untergrenze U zur Berücksichtigung von Toleranzen vorzusehen, wobei die Untergrenze U entsprechend nah an die Obergrenze O heranrückt.

**[0088]** Im Ergebnis erkennt Beurteilungseinheit der Recheneinheit **12** somit nur derartige Distanzwerte  $d$  als zulässig an, die mit der aktuell gewählten Obergrenze  $O$  zusammenfallen. Weicht der ermittelte Distanzwert  $d$  von der Obergrenze  $O$  ab, gibt die Recheneinheit **12** über eine nicht gesondert dargestellte Kommunikationsverbindung ein Steuersignal an das Laserbearbeitungssystem aus, um in bekannter Weise eine Fokusalagenregelung des Bearbeitungsstrahls **38** zu veranlassen.

**[0089]** Hierzu kann die Recheneinheit **12** ferner dazu ausgebildet sein, zu ermitteln, ob der ermittelte Distanzwert  $d$  die Obergrenze  $O$  überschreitet oder unterschreitet und/oder welchen Betrag die entsprechende Abweichung annimmt. Auch diese Informationen können bei der Erzeugung des entsprechenden Steuersignals berücksichtigt werden.

### Patentansprüche

1. Überwachungsvorrichtung (**10**) für ein Bearbeitungssystem zum Bearbeiten eines Werkstücks ( $W$ ) mittels eines hochenergetischen Bearbeitungsstrahls (**38**),

wobei die Überwachungsvorrichtung (**10**) eine Messstrahlquelle (**16**) umfasst, die dazu ausgebildet ist, einen Messstrahl (**18**) bereitzustellen, und eine Registriereinheit (**22**), die dazu ausgebildet ist, einen durch die Umgebung reflektierten Anteil (**24**) des Messstrahls zu erfassen,

wobei die Überwachungsvorrichtung (**10**) dazu ausgebildet ist, den Messstrahl (**18**) in eine Bearbeitungsstrahloptik (**34**) des Bearbeitungssystems einzukoppeln, so dass der Messstrahl (**18**) und der Bearbeitungsstrahl (**38**) auf gemeinsame Positionen in der Umgebung richtbar sind,

wobei die Überwachungsvorrichtung (**10**) ferner dazu ausgebildet ist, anhand des erfassten reflektierten Anteils (**24**) des Messstrahls (**18**) wenigstens einen Distanzwert ( $d$ ) zu ermitteln, der einen Rückschluss auf einen Abstand der Bearbeitungsstrahloptik (**34**) zu dem den Messstrahl (**18**) reflektierenden Bereich ( $X$ ) der Umgebung ermöglicht,

und wobei die Überwachungsvorrichtung (**10**) ferner eine Beurteilungseinheit umfasst, die dazu ausgebildet ist, zu beurteilen, ob sich der ermittelte Distanzwert ( $d$ ) in einem zulässigen Distanzwertebereich ( $Z$ ) befindet.

2. Überwachungsvorrichtung (**10**) nach Anspruch 1, wobei das Ermitteln des Distanzwertes ( $d$ ) basierend auf einer Laufzeitmessung des Messstrahls (**18**) erfolgt.

3. Überwachungsvorrichtung nach Anspruch 2, wobei die Laufzeitmessung mittels einer Time-of-Flight-Messeinheit (**14**) erfolgt, welche die Messstrahlquelle (**16**) und die Registriereinheit (**22**) umfasst.

4. Überwachungsvorrichtung (**10**) nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei die Messstrahlquelle (**16**) eine Laserdiode und/oder eine LED umfasst.

5. Überwachungsvorrichtung (**10**) nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei die Registriereinheit (**22**) eine Photodiode umfasst.

6. Überwachungsvorrichtung (**10**) nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei die Überwachungsvorrichtung (**10**) dazu ausgebildet ist, nach Maßgabe des von der Beurteilungseinheit ermittelten Beurteilungsergebnisses den Betrieb des Bearbeitungssystems zu beeinflussen.

7. Überwachungsvorrichtung (**10**) nach Anspruch 6, wobei die Überwachungsvorrichtung (**10**) dazu eingerichtet ist, ein Warnsignal auszugeben und/oder das Bearbeitungssystem zur Ausgabe eines Warnsignals zu veranlassen.

8. Überwachungsvorrichtung (**10**) nach Anspruch 6 oder 7, wobei die Überwachungsvorrichtung (**10**) dazu eingerichtet ist, den Betrieb des Bearbeitungssystems einzuschränken oder zu unterdrücken.

9. Überwachungsvorrichtung (**10**) nach Anspruch 8, wobei die Überwachungsvorrichtung (**10**) dazu eingerichtet ist, eine Stromversorgung (**28**) des Bearbeitungssystems zu unterbrechen.

10. Überwachungsvorrichtung (**10**) nach einem der Ansprüche 6 bis 9, wobei die Überwachungsvorrichtung (**10**) dazu eingerichtet ist, Steuersignale für eine Regelung des Bearbeitungsstrahls (**38**) zu erzeugen.

11. Überwachungsvorrichtung (**10**) nach Anspruch 10, wobei die Überwachungsvorrichtung (**10**) dazu eingerichtet ist, Steuersignale für eine Regelung der Fokusalage des Bearbeitungsstrahls (**38**) zu erzeugen.

12. Überwachungsvorrichtung (**10**) nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei der zulässige Distanzwertebereich ( $Z$ ) in Abhängigkeit von einer aktuellen Bearbeitungssituation definiert ist und/oder in Abhängigkeit einer aktuellen Bearbeitungssituation durch die Überwachungsvorrichtung (**10**) ermittelt wird.

13. Überwachungsvorrichtung (**10**) nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei die Bearbeitungsstrahloptik (**34**) wenigstens eine gemeinsame Ablenkvorrichtung (**44**) umfasst, mittels derer der Messstrahl (**18**) und der Bearbeitungsstrahl (**38**) auf gemeinsame Umgebungspositionen ( $X$ ) richtbar sind.

14. Überwachungsvorrichtung (**10**) nach Anspruch 13, wobei sich der von der Überwachungsvorrichtung

(10) ermittelte Distanzwert (d) auf den Abstand zwischen der gemeinsamen Ablenkvorrichtung (44) und dem reflektierenden Bereich (X) der Umgebung bezieht.

15. Überwachungsvorrichtung (10) nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei die Beurteilungseinheit dazu ausgebildet ist, ein Unterschreiten und/oder Überschreiten des zulässigen Distanzwertebereiches (Z) zu ermitteln.

16. Überwachungsvorrichtung (10) nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei die Beurteilungseinheit dazu ausgebildet ist, eine Fehlfunktion bezüglich des Ermitteln des Distanzwertes (d) zu erkennen.

17. Bearbeitungssystem zum Bearbeiten eines Werkstücks (W) mittels eines hochenergetischen Bearbeitungsstrahls (38), umfassend eine Überwachungsvorrichtung (10) nach einem der vorangehenden Ansprüche.

18. Verfahren zur Überwachung eines Bearbeitungssystems zum Bearbeiten eines Werkstücks (W) mittels eines hochenergetischen Bearbeitungsstrahls (38), insbesondere mit einer Überwachungsvorrichtung (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 13, umfassend die Schritte:

- Bereitstellen eines Messstrahls (18);
- Einkoppeln des Messstrahls (18) in eine Bearbeitungsstrahloptik (34) des Bearbeitungssystems;
- Ansteuern der Bearbeitungsstrahloptik (34) des Bearbeitungssystems, um den Messstrahl (18) auf eine Position (X) in der Umgebung zu richten;
- Erfassen eines von der Umgebung reflektierten Anteils (24) des Messstrahls;
- Ermitteln von wenigstens einem Distanzwert (d) anhand des erfassten reflektierten Anteils (24) des Messstrahls (18), wobei der Distanzwert (d) einen Rückschluss auf einen Abstand der Bearbeitungsstrahloptik (34) zu dem den Messstrahl (18) reflektierenden Bereich (X) der Umgebung ermöglicht; und
- Beurteilen, ob sich der ermittelte Distanzwert (d) in einem zulässigen Distanzwertebereich (Z) befindet.

Es folgen 2 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

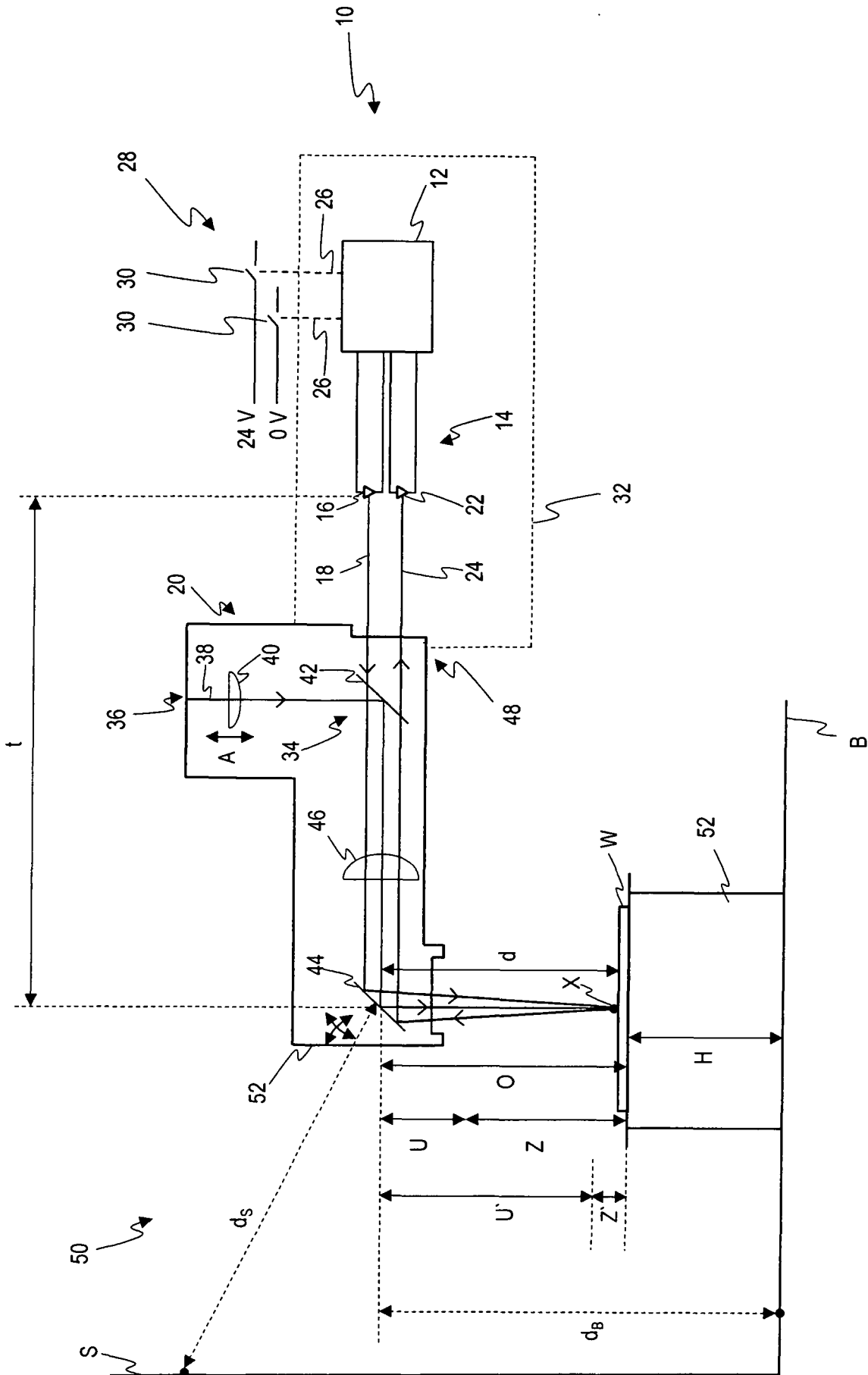


Fig. 1

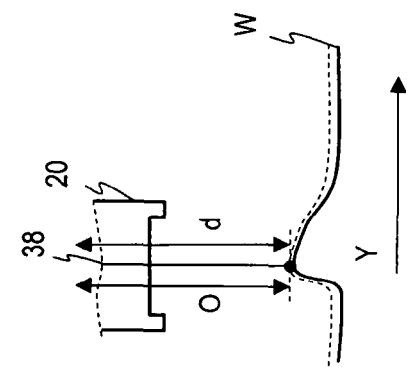
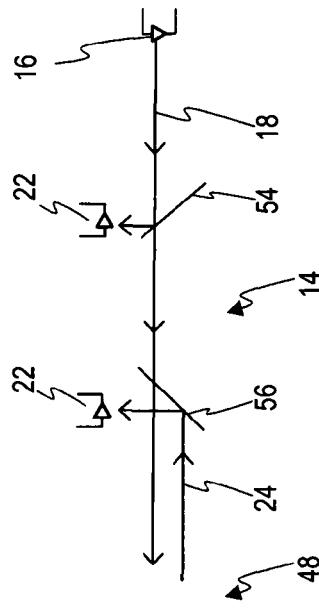
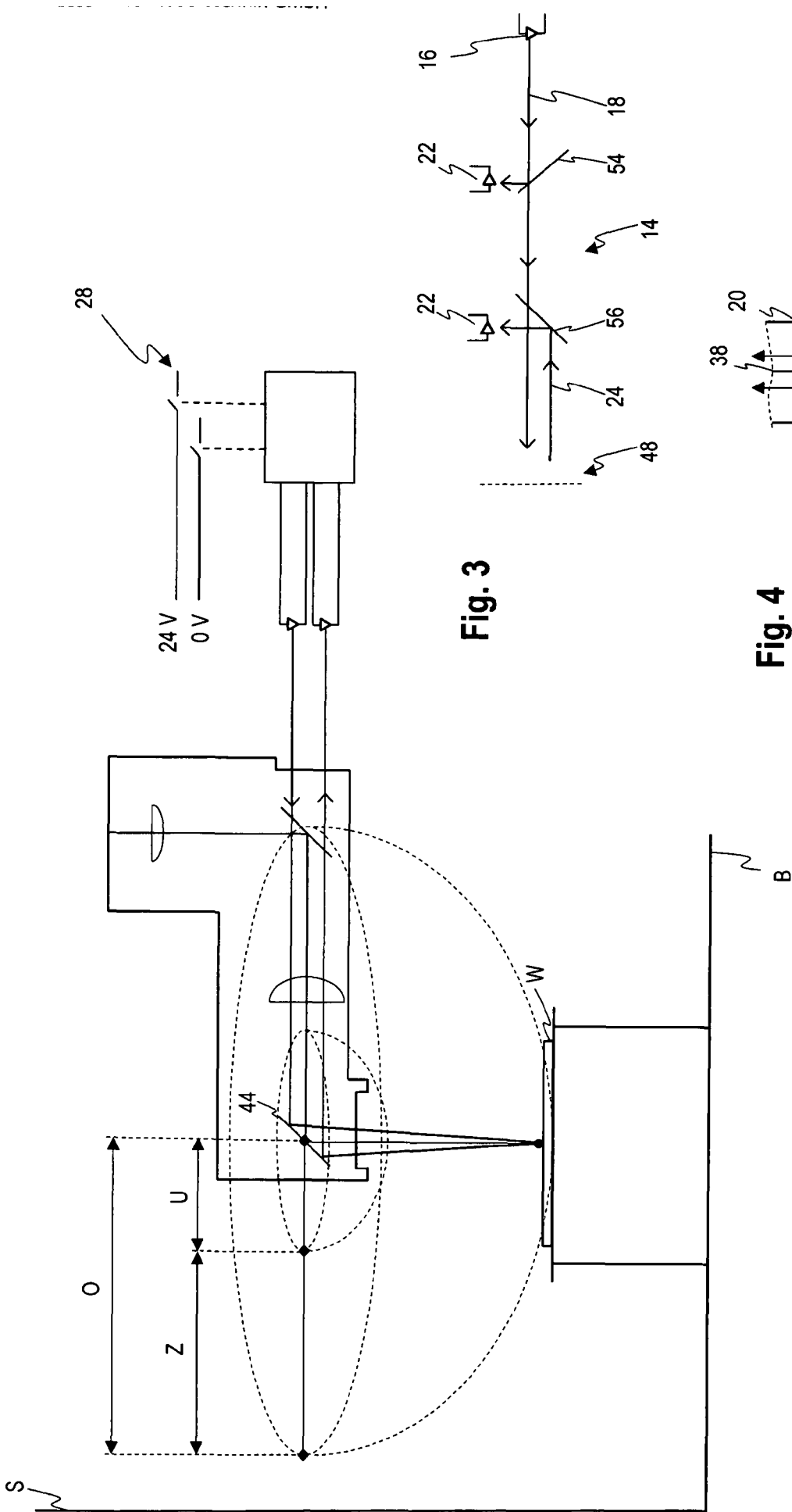


Fig. 3

Fig. 4

Fig. 2