



(10) **DE 10 2017 107 343 A1** 2017.12.21

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2017 107 343.4**

(22) Anmeldetag: **05.04.2017**

(43) Offenlegungstag: **21.12.2017**

(51) Int Cl.: **G01B 11/24 (2006.01)**

G01B 11/14 (2006.01)

G01B 11/03 (2006.01)

(66) Innere Priorität:

10 2016 111 312.3 21.06.2016

10 2016 115 917.4 26.08.2016

10 2016 119 223.6 10.10.2016

10 2016 122 305.0 21.11.2016

10 2016 123 403.6 05.12.2016

(71) Anmelder:

Werth Messtechnik GmbH, 35394 Gießen, DE

(74) Vertreter:

**Stoffregen, Hans-Herbert, Dipl.-Phys. Dr.rer.nat.,
63450 Hanau, DE**

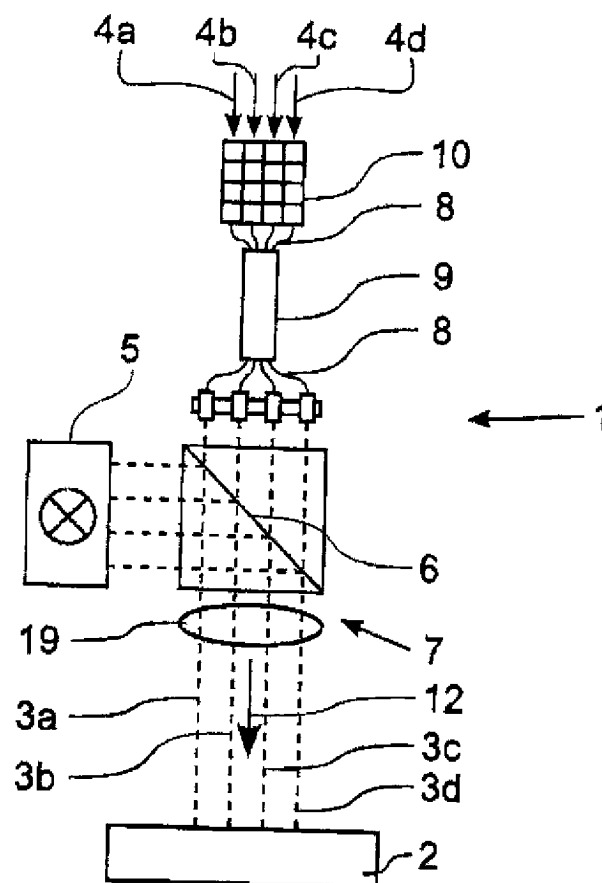
(72) Erfinder:

**Christoph, Ralf, Dr., 35394 Gießen, DE; Schmidt,
Ingomar, Dr.-Ing., 99085 Erfurt, DE; Heller, Ingo,
63667 Nidda, DE; Morcom, Christopher, 35415
Pohlheim, DE; Dirk, Andreas, 35584 Wetzlar, DE;
Koppe, Adam, 99986 Niederdorla, DE; Simon,
Rene, 35321 Laubach, DE; Michelt, Berthold, Dr.,
65195 Wiesbaden, DE**

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Vorrichtung zum Betreiben eines optischen Abstandssensors**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Betreiben eines optischen Abstandssensors, wobei der optische Abstandssensor mehrere Messkanäle aufweist, wobei jedem Messkanal ein Messstrahl für die Ermittlung eines Abstandswertes zwischen dem Sensor und einem zu messenden Werkstück zugeordnet ist, wobei zumindest einige der mehreren Messstrahlen die ersten Messstrahlen bilden, welche entlang einer senkrecht zur Messrichtung der Messstrahlen bzw. Ausbreitungsrichtung der Messstrahlen versetzt zueinander verlaufenden ersten Linie angeordnet sind, wobei diese von Messstrahl zu Messstrahl einen ersten Abstand zueinander einnehmen, und wobei Werkstück und Sensor zur Messung der Werkstückoberfläche relativ zueinander auf einer Scan-Bahn bewegt werden, wobei die Bewegung zumindest eine Komponente senkrecht zur Ausbreitungsrichtung der als Scan-Richtung bezeichneten Messstrahlen aufweist. Dabei weicht die Scan-Richtung von der Richtung senkrecht zur ersten Linie ab und Scan-Richtung und Richtung der ersten Linie werden so zueinander eingestellt, dass sich ein senkrecht zur Messrichtung vorgegebener zweiter Abstand zwischen jeweils auf der ersten Linie benachbarten Messstrahlen senkrecht zur Bewegungsrichtung ergibt.



Beschreibung

[0001] Gegenstand einer selbstständigen Erfindung ist ein Verfahren und eine Vorrichtung zur optisch chromatischen Abstandsmessung einer Werkstückoberfläche.

[0002] Bei den bekannten optischen, chromatischen Abstandssensoren wird entweder ein einzelner Messstrahl verwendet oder es werden mehrere Messkanäle und somit Messstrahlen parallel zueinander, entlang einer Linie senkrecht zur Ausbreitungsrichtung der Messstrahlen angeordnet. Diesen Messkanälen werden Fasern bzw. Lichtleitfasern zugeordnet, in denen die Messstrahlung zwischen einem Sensorkopf und einer Auswerteeinheit verläuft, wobei die Fasern in der Auswerteeinheit jeweils getrennt voneinander einer oder mehrerer benachbarten Zeilen einer matrixförmigen Kamera zur Auswertung der Wellenlänge mit der stärksten Intensität (Spektrometer), zugeordnet bzw. auf diese ausgerichtet sind. Aus diesen Wellenlängen wird der Abstandsmesswert des jeweils zugeordneten Messkanals ermittelt. Hierbei kann bei Bewegung des Sensors senkrecht zur Messrichtung und senkrecht zu dieser (ersten) Linie das Messobjekt abgetastet, also nebeneinander liegende Abstandsmesswerte aufgenommen werden und dies in der Bewegungsrichtung des Sensors wiederholt erfolgen. Nachteilig dabei ist, dass die laterale Auflösung senkrecht zur Bewegungsrichtung durch den Abstand der Messkanäle bzw. Messstrahlen entlang der ersten Linie begrenzt ist, da derartige Sensoren jeweils in diese rechtwinklige Richtung, also senkrecht zur ersten Linie, auf der die Messstrahlen verteilt sind, bewegt werden.

[0003] Eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, die laterale Auflösung eines mehrere Messkanäle aufweisenden optischen, chromatischen Abstandssensors entlang einer ersten Linie, auf der die mehreren Messstrahlen der mehreren Messkanäle angeordnet sind, nach Bedarf einzustellen, ohne bauliche Veränderungen am Sensor vorzunehmen.

[0004] Um jedoch auch eine höhere laterale Auflösung senkrecht zur Bewegungsrichtung zu erzielen, ist als Lösung erfindungsgemäß vorgesehen, den Sensor in einer von der zuvor genannten Bewegung senkrecht zu der ersten Linie abweichenden Richtung, beispielsweise schräg, zu bewegen, wobei der Sensor oder das Werkstück gegebenenfalls um die Messrichtung entsprechend gedreht wird. Hierdurch ergibt sich der Vorteil, dass die laterale Auflösung entsprechend der benötigten Vorgaben an die Messung eingestellt werden kann. Dadurch ändert sich jedoch die Breite des erfassten Bereichs senkrecht zur Bewegungsrichtung und es müssen gegebenenfalls mehrere versetzte Bewegungen zur Erfassung des jeweils benötigten Werkstückbereichs durchgeführt werden.

[0005] Die Erfindung sieht zur Lösung ein Verfahren zum Betreiben eines optischen Abstandssensors, insbesondere nach dem chromatischen bzw. chromatisch konfokalen Prinzip, vor, wobei der optische Abstandssensor mehrere Messkanäle aufweist, wobei jedem Messkanal ein Messstrahl für die Ermittlung eines Abstandswertes zwischen dem Sensor und einem zu messenden Werkstück zugeordnet ist, wobei zumindest einige der mehreren Messstrahlen die ersten Messstrahlen bilden, welche entlang einer senkrecht zur Messrichtung der Messstrahlen bzw. Ausbreitungsrichtung der Messstrahlen, versetzt zueinander verlaufenden ersten Linie angeordnet sind, wobei diese von Messstrahl zu Messstrahl einen ersten, vorzugsweise konstanten, Abstand zueinander einnehmen, und wobei Werkstück und Sensor zur Messung der Werkstückoberfläche relativ zueinander auf einer Scan-Bahn bewegt werden, wobei die Bewegung zumindest eine Komponente senkrecht zur Ausbreitungsrichtung der Messstrahlen (als Scan-Richtung bezeichnet), und vorzugsweise eine Komponente in Ausbreitungsrichtung der Messstrahlen (Regel-Richtung), aufweist, dass sich dadurch auszeichnet, dass die Scan-Richtung von der Richtung senkrecht zur ersten Linie abweicht und Scan-Richtung und Richtung der ersten Linie so zueinander eingestellt werden, dass sich ein senkrecht zur Messrichtung vorgegebener zweiter Abstand zwischen jeweils auf der ersten Linie benachbarten Messstrahlen senkrecht zur Bewegungsrichtung ergibt.

[0006] Insbesondere zeichnet sich die Erfindung dadurch aus, dass Scan-Richtung und Richtung der ersten Linie zueinander eingestellt werden, indem die Scan-Richtung eingestellt wird und/oder indem Abstandssensor und/oder Werkstück um die Messrichtung gedreht werden, bevorzugt Abstandssensor an einem Dreh-Gelenkt oder Dreh-Schwenk-Gelenkt betrieben wird, vorzugsweise Abstandssensor in einem Koordinatenmessgerät betrieben wird.

[0007] Ein weiteres Problem beim Messen in der Bewegung mit den vorgenannten bekannten chromatischen Abstandssensoren besteht darin, dass Abweichungen in der Bewegung des Sensors, insbesondere Abweichungen in der Messrichtung (Regel-Richtung), beispielsweise Schwingungen oder anderweitige Abweichungen von der fest vorgegebenen oder in Regel-Richtung zu regelnden Scan-Bahn, zu Verfälschung der Messwerte führt.

[0008] Eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht daher darin, Abweichungen bei der Bewegung eines optischen chromatischen Abstandssensors durch geeignete Ausbildung desselben zu erkennen und zu korrigieren.

[0009] Zur Lösung sieht die Erfindung vor, mehrere zusätzliche Messkanäle und damit Messstrahlen so anzuordnen, dass diese auf einer zweiten Linie zu-

einander versetzt angeordnet sind, wobei diese Linie parallel bzw. entlang der Bewegungsrichtung des Sensors (Scan-Richtung) angeordnet sind bzw. der Sensor in dieser Richtung der zweiten Linie bewegt wird. Hierbei ergibt sich der Vorteil, dass der Oberflächenverlauf des Objekts entlang der Bewegungsrichtung in Messrichtung durch die mehreren Kanäle bzw. mehreren Messstrahlen auf der zweiten Linie mehrfach in der Bewegungsrichtung versetzt zueinander abgetastet wird und aus dem Verlauf bzw. dem Vergleich der Signale der mehreren Kanäle auf der zweiten Linie ermittelt werden kann, ob zeitweise eine Störung im Bewegungsverlauf vorlag, die sämtliche Messsignale der Messkanäle, die auf der ersten Linie liegen, ebenso betreffen würde. Wird eine solche Störung erkannt, wird der entsprechende Höhenversatz durch die Störung ermittelt und zur Korrektur der Abstandswerte der Messkanäle auf der ersten Linie verwendet. Die Erkennung der Störung erfolgt dadurch, dass sämtliche Messdaten für den jeweils gleichen Ort einander zugeordnet und verglichen werden. Beim Vergleich müssten idealerweise die Messdaten aller Messkanäle identisch sein bzw. sich in einem definierten, schmalen Bereich zueinander befinden, der im Rahmen zu erwartender Messabweichungen ohne Vorliegen einer Störung bei der Bewegung liegt und dessen Mittelwert oder Mitte beispielsweise als richtiger Wert angenommen wird. Weichen die Messdaten eines oder mehrerer Kanäle von diesem Bereich, also dem als richtig definierten Wert deutlich, also um mehr als einen vordefinierten Betrag, ab, lag eine Störung bzw. Positionierungsabweichung vor. Zur Erkennung kann alternativ die Abweichung zum Median aus allen zugeordneten Kanälen verwendet werden. Es werden dabei beispielsweise durch Messung mit einem oder mehreren auf der zweiten Linie in Bewegungsrichtung (nach vorn) versetzten Messkanälen zeitlich früher (Zeitpunkt -1 usw.) aufgenommene Abstandswerte derselben Stelle auf der Oberfläche des Werkstücks, und vorzugsweise auch mit einem oder mehreren auf der zweiten Linie gegen die Bewegungsrichtung (nach hinten) versetzten Messkanälen zeitlich später (Zeitpunkt 1 usw.) aufgenommene Abstandswerte derselben Stelle auf der Oberfläche des Werkstücks, ermittelt und diese mit dem aktuell (Zeitpunkt 0) aufgenommenen Abstandswert des Messkanals auf der zweiten Linie verglichen, der auch auf der ersten Linie liegt. Wird festgestellt, dass dieser aktuell aufgenommene Messwert fehlerhaft ist, wird die Differenz zum richtigen Wert ermittelt und zur Korrektur der Messsignale aller Messkanäle auf der ersten Linie für die Messung zum aktuellen Zeitpunkt (Zeitpunkt 0) verwendet.

[0010] Als richtiger Wert kann neben den zuvor erwähnten Varianten (Mittelwert oder Mitte des definierten, schmalen Bereichs, in dem die fehlerfreien Messdaten liegen) auch der Median oder der häufigste Wert der Messdaten in diesem (richtigen) Bereich verwendet werden.

[0011] In Erweiterung der Idee ist erfindungsgemäß auch vorgesehen, mehrere parallele zweite Linien einzusetzen. Es ergibt sich dadurch eine erhöhte Redundanz für die Erkennung von Störungen und Korrektur derselben. So können die entsprechenden Korrekturen für jede zweite Linie separat bestimmt und dann verglichen und beispielsweise der Mittelwert oder Median als Korrektur für alle jeweils betroffenen zu korrigierenden Messpunkte verwendet werden.

[0012] Wird jedem Messpunkt der ersten Linie eine zweite Linie zugeordnet, verläuft also senkrecht zur ersten Linie durch jeden Messpunkt der ersten Linie eine zweite Linie, ergibt sich eine matrixförmige Anordnung der Messpunkte mit vollständig gefüllter Matrix. Hierdurch ist es auch möglich, die nun für alle abgetasteten Bereiche der zu messenden Oberfläche redundant vorliegenden Abstandswerte je Oberflächenpunkt zu kombinieren, beispielsweise zu Mitteln, wobei vorzugsweise Ausreiser ausgeschlossen werden, oder es wird der Median weiter verwendet. Hierdurch lässt sich ein verbessertes Signal-Rausch-Verhältnis für die Abstandsmessung bzw. den Abstandsmesswert erzielen. Alternativ kann ein geringeres Signal-Rausch-Verhältnis für die Einzelmessungen in Kauf genommen werden, wodurch geringe Messzeiten, beispielsweise Integrationszeiten der Matrixkamera, und damit eine schnellere Messung ermöglicht wird.

[0013] Um die Anzahl der Messkanäle und damit die notwendige Pixelanzahl der Matrixkamera, und damit die Messzeit, zu begrenzen, ist vorzugsweise vorgesehen, die Anzahl der Messpunkte entlang der zweiten Linien geringer als die Anzahl der Messpunkte entlang der ersten Linie zu wählen. Praktisch ergeben sich dann also wenige, beispielsweise 3 bis 10 parallel verlaufende erste Linien, wobei die Anzahl der Messpunkte entlang der ersten Linie deutlich größer als 10, beispielsweise 20 bis 1000 beträgt. Die sich insgesamt ergebende Anzahl der Messkanäle muss durch entsprechende Matrixkamera ausgewertet werden. Erfindungsgemäß ist, insbesondere bei sehr großer Anzahl von Messkanälen, vorgesehen, mehrere Matrixkameras parallel zu betreiben und die auszuwertenden Messkanäle auf diese zu verteilen.

[0014] Zur Lösung sieht die Erfindung daher ein Verfahren zum Betreiben eines optischen Abstandssensors, insbesondere nach dem chromatischen bzw. chromatisch konfokalen Prinzip, vor, wobei der optische Abstandssensor mehrere Messkanäle aufweist, wobei jedem Messkanal ein Messstrahl für die Ermittlung eines Abstandswertes zwischen dem Sensor und einem zu messenden Werkstück zugeordnet ist, wobei zumindest einige der mehreren Messstrahlen die ersten Messstrahlen bilden, welche entlang einer senkrecht zur Messrichtung der Messstrahlen bzw. Ausbreitungsrichtung der Messstrahlen, versetzt zu-

einander verlaufenden ersten Linie angeordnet sind, wobei diese von Messstrahl zu Messstrahl einen ersten, vorzugsweise konstanten, Abstand zueinander einnehmen, und wobei Werkstück und Sensor zur Messung der Werkstückoberfläche relativ zueinander auf einer Scan-Bahn bewegt werden, wobei die Bewegung zumindest eine Komponente senkrecht zur Ausbreitungsrichtung der Messstrahlen (als Scan-Richtung bezeichnet), und vorzugsweise eine Komponente in Ausbreitungsrichtung der Messstrahlen (Regel-Richtung), aufweist, dass sich dadurch auszeichnet, dass zweite Messstrahlen entlang einer zweiten Linie angeordnet sind, die senkrecht zur Messrichtung der Messstrahlen, und vorzugsweise senkrecht zur ersten Linie, verläuft, wobei die Scan-Richtung in Richtung der zweiten Linie eingestellt wird, und wobei fortlaufend Abstandswerte für jeweils identische Stellen auf der Oberfläche des Werkstücks mit den mehreren Messkanälen entlang der zweiten Linie erfasst und verglichen werden, und die bei diesem Vergleich jeweils ermittelten Abweichungen zur Korrektur der Abstandswerte der Messstrahlen auf der ersten Linie verwendet werden, insbesondere Korrektur in Messrichtung der Messstrahlen erfolgt, wobei vorzugsweise einer der Messstrahlen auf beiden Linien liegt.

[0015] Bevorzugterweise ist vorgesehen, dass die mit den mehreren Messkanälen entlang der zweiten Linie ermittelten Verläufe der Oberfläche des Werkstücks durch Korrelationsauswertung der Verläufe und/oder Verwendung der mittels der Messachsen eines Koordinatenmessgerätes bei Aufnahme der Abstandswerte ermittelten Position zwischen Werkstück und Sensor vor dem Vergleich so zueinander verschoben werden, dass die Abstandswerte jeweils identischer Stellen der Oberfläche des Werkstücks einander zugeordnet sind.

[0016] Insbesondere zeichnet sich die Erfindung dadurch aus, dass jeweils die zugeordneten Abstandswerte der mehreren Messkanäle der jeweils identischen Stelle der Oberfläche des Werkstücks, bevorzugt der Messkanal des gleichermaßen auf der ersten und zweiten Linie befindlichen Messstrahls, mit dem jeweiligen als richtiger Wert bestimmten Abstandswert, wie beispielsweise Median oder häufigsten Abstandswert, aus den zugeordneten Abstandswerten, verglichen wird und bei Vorliegen einer Abweichung größer eines vorgegebenen Betrages die Korrektur ermittelt wird, indem die Differenz bestimmt wird zwischen

- dem als richtiger Wert bestimmten Abstandswert, wie Median oder häufigsten Abstandswert, aus den zugeordneten Abstandswerten oder dem Mittelwert aus allen eine Abweichung kleiner als der vorgegebene Betrag aufweisenden zugeordneten Abstandswerten und

- dem die Abweichung größer eines vorgegebenen Betrages aufweisenden Messkanal, bevorzugt dem Messkanal des gleichermaßen auf der ersten und zweiten Linie befindlichen Messstrahls,

gebildet und als Korrektur verwendet wird.

[0017] Bevorzugterweise sieht die Erfindung vor, dass weitere Messstrahlen entlang weiterer Linien zueinander versetzt für die Messung eingesetzt werden, wobei die weiteren Linie senkrecht zur Messrichtung der Messstrahlen ausgerichtet und um diese verdreht zueinander vorliegen, beispielsweise sternförmig angeordnet sind.

[0018] Bei entsprechenden Vorrichtungen zur Umsetzung der zuvor genannten Verfahren ist es zudem grundlegend bei dem Stand der Technik gegeben, dass jeweils nur entlang einer Linie verteilte Messkanäle vorhanden sind, die den Zeilen einer Matrixkamera nacheinander entsprechend der Reihenfolge der Messkanäle entlang der Linie zugeordnet sind.

[0019] Eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht daher darin, höhere Flexibilität bei der Lage der Messkanäle zueinander zu erreichen und insbesondere Messpunkte auf mehreren Linien, die beispielsweise um die Messrichtung verdreht zueinander, beispielsweise sternförmig, angeordnet sind, gleichzeitig zu erfassen.

[0020] Zur Lösung sieht die Erfindung daher auch eine Vorrichtung vor, die die Messkanäle, insbesondere die Fasern, der Messstrahlen entlang weiterer Linien oder ringförmig verteilter Messstrahlen oder Messstrahlen beliebiger Anordnung, jeweils weiteren Abschnitten, also Zeilen der Matrixkamera zuordnet, so dass sämtliche Messkanäle mit einer Matrixkamera ausgewertet werden können.

[0021] Ein weiterer Nachteil beim Stand der Technik ist, dass chromatische Abstandssensoren zumeist alleinstehend aufgebaut werden, wodurch eine Beobachtung der erfassten Werkstückoberfläche oder Messung durch Bildverarbeitung mit dem gleichen Sensor nicht möglich ist. Eine Integration eines chromatischen Sensors in einen Bildverarbeitungssensor beschreibt zwar die WO 2009049834, jedoch nur für einen einzigen chromatischen Messkanal.

[0022] Wünschenswert ist es jedoch, auch mehrere Messkanäle eines chromatischen Sensors in einen Bildverarbeitungssensor zu integrieren. Problematisch ist hierbei, dass die für das Messprinzip notwendige chromatische Aberration der verwendeten optischen Baugruppen zumeist nur für den Zentralbereich realisiert ist. Ebenso ist es wünschenswert, eine Integration in einen Bildverarbeitungssensor mit einer Zoomoptik zu realisieren.

[0023] Aufgabe der Erfindung ist es daher auch, entsprechende chromatische Optikbauteile zur Verfügung zu stellen, die zum einen für die Integration in eine Zoomoptik geeignet sind und zum anderen zu lassen, dass versetzt zueinander angeordnete Messstrahlen mit gleicher chromatischer Aberration realisiert werden.

[0024] Hierzu sieht die Erfindung als Lösung vor, dass die chromatische Baugruppe, insbesondere Frontoptik, besonders bevorzugt Frontoptik eines Zoomobjektivs, in Bezug auf sphärische Aberrationen korrigiert ist und somit über einen flächigen Bereich gleichmäßige chromatische Aberrationen realisiert, wobei diese bevorzugt eine Asphäre ist.

[0025] Eine erfindungsgemäße Vorrichtung umfasst daher einen optischen Abstandssensor, insbesondere nach dem chromatischen bzw. chromatisch konfokalen Prinzip, mit mehreren versetzt zueinander eine Werkstückoberfläche erfassenden Messstrahlen, wobei jeder Messstrahl für die Ermittlung eines Abstandswertes zwischen dem Sensor und einem zu messenden Werkstück einem separaten Messkanal zugeordnet ist, und zeichnet sich dadurch aus, dass jedem Messkanal eine optische Faser zugeordnet wird und jeder Faser eine oder mehrere benachbarte, definierter Zeilen einer matrixförmigen Kamera zur Auswertung der Messsignale zugeordnet ist, wobei die Zuordnung unabhängig vom Versatz bzw. der Lage der Messstrahlen zueinander ist und vorab eingemessen wird, beispielsweise optisches Faserbündel als die Fasern verwendet wird, wobei insbesondere einige der Messstrahlen auf einer Linie senkrecht zur Messrichtung der Messstrahlen zueinander versetzt und/oder einige Messstrahlen auf mehreren zueinander um die Messrichtung der Messstrahlen verdrehten Linien und/oder einige Messstrahlen ringförmig um einen zentralen Messstrahl angeordnet sind.

[0026] Bevorzugterweise ist vorgesehen, dass erste Messstrahlen entlang einer ersten senkrecht zur Messrichtung der Messstrahlen verlaufenden Linie versetzt zueinander angeordnet sind und zumindest weitere Messstrahlen entlang einer zweiten senkrecht zur Messrichtung der Messstrahlen verlaufenden Linie versetzt zueinander angeordnet sind, wobei bevorzugt erste und zweite Linie rechtwinklig zueinander angeordnet sind.

[0027] Insbesondere zeichnet sich die Erfindung dadurch aus, dass chromatischer bzw. chromatisch konfokaler Abstandssensor und ein Bildverarbeitungssensor zumindest teilweise gemeinsamen Strahlengang aufweisen, wobei die mehreren Messstrahlen des chromatischen bzw. chromatisch konfokalen Abstandssensors durch gemeinsames Frontobjektiv mit der einem Bildverarbeitungssensor zugeordneten Optik, vorzugsweise Zoomoptik, besonders bevorzugt Zoomoptik mit unabhängig voneinander ein-

stellbarem Arbeitsabstand und Abbildungsmaßstab, verlaufen.

[0028] Bevorzugterweise sieht die Erfindung vor, dass die die chromatische Aberration erzeugende Optik, insbesondere Frontobjektiv, eine gleichbleibende chromatische Aberration über den von den mehreren Messstrahlen des chromatischen bzw. chromatisch konfokalen Abstandssensors verwendeten Bereich der Optik zur Verfügung stellt, insbesondere sphärische Aberrationen in diesem Bereich korrigiert sind.

[0029] Gegenstand einer selbstständigen Erfindung ist ein Verfahren und eine Vorrichtung zur konfokalen oder zur nach dem Prinzip der chromatisch-konfokalen oder Fokusvariation arbeitenden Abstandsmessung einer Werkstückoberfläche.

[0030] Bei den bekannten konfokalen und chromatisch-konfokalen Verfahren wird eine Blende (Pinhole) in einer Fokusebene des Strahlengangs (Konfokalebene) eingesetzt, um Licht, das aus Bereichen der Oberfläche reflektiert wird, die sich nicht in der Scharfebene des eingesetzten Objektivs oder die sich lateral versetzt auf der Objektoberfläche befinden, auszublenden. Aus der Untersuchung der Intensität des nach Durchtritt durch die Blende verbliebenen Lichtes in verschiedenen Entfernungen zwischen Objekt und konfokalem Sensor (Tiefenscan) wird auf den Abstandsmesswert des jeweiligen Messpunktes auf der Objektoberfläche geschlossen. Es kann auch nach dem Fokusvariationsprinzip der Kontrast hierzu untersucht werden. Sollen mehrere Messpunkte an verschiedenen lateral versetzten Stellen auf der Objektoberfläche erfasst werden, wird das entsprechende Bildfeld abgerastert, beispielsweise durch Einsatz von Scanning-Technologien (Laserscanning-Mikroskope) oder durch die Verwendung eines Pinhole-Arrays (Nipkow-Scheibe). Durch Drehen der Nipkow-Scheibe werden nacheinander die versetzten Messpunkte erfasst und vermieden, dass lateral versetzte Oberflächenbereiche einander beeinflussen. Die Pinhole-Array sind optisch opake Scheiben mit mehreren fest angeordneten optisch transparenten Löchern.

[0031] Nachteilig bei den bekannten Pinhole-Arrays ist die Notwendigkeit, die Scheibe zu bewegen, insbesondere zu drehen, um nacheinander die einzelnen Oberflächenmesspunkte zu erfassen, also die Oberfläche abzuscannen. Damit verbunden sind zeitliche und mechanische Beschränkungen.

[0032] Ebenso nachteilig ist, dass die Lage und der Durchmesser der Pinholes fest vorgegeben und damit nicht flexibel an die Eigenschaften der Abbildungsoptik wie Auflösungsvermögen in lateraler und in Messrichtung oder an den Wunsch des Anwenders anpassbar ist.

[0033] Eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, ein für zumindest eine konfokale, konfokal-chromatische oder Fokusvariationsmessung räumlich fest angeordnetes Pinhole-Array, insbesondere während der Messung nicht senkrecht zur optischen Achse transversal und um die optische Achse rotatorisch zu bewegendes Pinhole-Array, für die Erfassung mehrerer Messpunkte je Messung auszubilden.

[0034] Als Lösung ist erfindungsgemäß vorgesehen, in der Konfokalebene eines entsprechenden Abstandssensors ein mehrere elektrisch unabhängig voneinander (pixelweise) zwischen einem für die Messstrahlung opaken und einem transparenten Zustand umschaltbare Elemente (Pixel) aufweisendes optisches Element anzuordnen.

[0035] Zur Erfassung der mehreren Messpunkte wird zudem ein Verfahren vorgeschlagen, bei dem nacheinander einzelne Bereiche, gebildet durch ein Pixel oder mehrere benachbarte Pixel, oder auch mehrere versetzt zueinander angeordnete Bereiche, die jeweils durch Zwischenräume getrennt sind und ein Muster bilden, jeweils vom opaken in den transparenten Modus und nach der Erfassung zurück in den opaken Modus geschaltet werden. Um eine vollflächige Erfassung durchzuführen, werden die Zwischenräume schrittweise entsprechend genutzt, das Muster also so lange verschoben, bis die gesamte von der Abbildungsoptik erfasste Oberfläche des Objekts erfasst wurde.

[0036] Entsprechende optische Elemente sind beispielsweise Flüssigkristalldisplays (LCDs), PDLCs, Powder Displays, LCoS-Elemente, SLMs oder OLEDs. Der opake Zustand kann auch durch ein starkes Streuverhalten des Elementes realisiert werden.

[0037] Das optische Element ist auch vorgesehen zur Erzeugung einer telezentrischen Abbildung an sich. Es kann damit als variable Blende in einem optischen System eingesetzt werden, um Durchmesser und/oder Lage der Blende einstellbar zu realisieren, ohne mechanische Verstellungen durchführen zu müssen.

[0038] Beim Einsatz von Zoomoptiken als Abbildungsoptik verändert sich die Lage der Konfokalebene unter Umständen entlang der optischen Achse (senkrecht zur Fokus- bzw. Konfokalebene). Die Erfindung sieht daher auch vor, das optische Element (Pinhole-Array) entlang dieser verschiebbar auszugestalten. Hierzu sind entsprechende Antriebe vorgesehen. Zur Feinjustierung der einzunehmenden Position werden bevorzugt Piezo-Elemente vorgeschlagen.

[0039] Ebenso ist die Verschiebung in den senkrecht zur optischen Achse verlaufenden Richtungen vorge-

sehen. Hierdurch kann die Lage der Pixel des erfindungsgemäßen optischen Elementes (Pinhole-Array) in Bezug auf die Lage der Pixel des Detektors (Kamera) angepasst bzw. ausgerichtet werden. Piezo-Elemente zur Feinjustierung sind erneut vorgesehen. Ebenso ist es dadurch möglich, das optische Element (Pinhole-Array) aus dem Strahlengang zu entfernen.

[0040] In einer Ausgestaltung der Erfindung ist auch vorgesehen, dass erfindungsgemäße optische Element (Pinhole-Array) durch entsprechende Antriebe, zumindest zur Feinjustierung durch Piezo-Elemente, zu verkippen, also die Flächennormale des Pinhole-Arrays zur optischen Achse zu neigen. Bereits durch einen kleinen Kippwinkel von weniger als einem Grad bis etwa fünf Grad wird erreicht, dass Rückreflexionen in den Strahlengang vermindert oder vermieden werden. Aber auch Kippwinkel bis etwa 45° sind vorgesehen, um den Durchmesser der wirksamen Fläche des Öffnungen (Pinholes) zu verringern bzw. anzupassen. Damit ist auch eine Anpassung des Durchmessers im Subpixel-Bereich der Pixel des Pinhole-Arrays möglich.

[0041] Die Erfindung sieht zur Lösung eine Vorrichtung umfassend einen Abstandssensor nach dem Prinzip der Fokusvariation und/oder Konfokaltechnik und/oder chromatischen Konfokaltechnik zur Erfassung mehrerer Messpunkte auf einer Objektoberfläche, der zumindest aufweist eine Abbildungsoptik, einen die Messstrahlung abgebende Lichtquelle und einen optischen Detektor, bevorzugt Flächendetektor wie CCD- oder CMOS-Kamera vor, die sich dadurch auszeichnet, dass in zumindest einer Fokusebene (Konfokalebene) der Abbildungsoptik ein flächig ausgeprägtes, mehrere Pixel aufweisendes optisches Element angeordnet ist, dass eine Vielzahl von Pixeln aufweist, wobei die einzelnen Pixel unabhängig voneinander elektrisch ansteuerbar zwischen einem opaken und einem transparenten Zustand umschaltbar sind.

[0042] Insbesondere ist vorgesehen, dass mehrere Pixel gleichzeitig ansteuerbar sind, insbesondere mehrere benachbarte Pixel als eine Pixelgruppe gleichzeitig ansteuerbar sind, und vorzugsweise mehrere Pixel oder Pixelgruppen ein Muster bilden, das stückweise in der Fokusebene verschoben ansteuerbar ist.

[0043] Erfindungsgemäß ist auch vorgesehen, zeitlich variable Muster zu verwenden. Es kann sich hierbei um eine Abfolge regelmäßiger, chaotischer oder stochastischer Muster handeln. Variable nicht regelmäßige Muster, insbesondere stochastische Muster bieten den Vorteil, regelmäßige Strukturen auf der Objektoberfläche mit verminderten Abbildungsartefakten (beispielsweise Schleifriefen bei Linienmustern) zu erfassen. Regelmäßige Muster und chaot-

tisch verteilte Muster sind vorab bekannt und ermöglichen deshalb eine bessere Korrektur gegebenenfalls auftretender Fehler. Es ist daher besonders bevorzugt vorgesehen, das Muster in Cluster zu unterteilen, wobei die Cluster eine geordnete Überstruktur aufweisen, innerhalb der Cluster aber eine zufällige (stochastische) Unterstruktur für die Pixel bzw. Pixelgruppen vorliegt. Dabei muss dennoch die Nebenbedingung eingehalten werden, dass sich die Pixel bzw. Pixelgruppen jeweils nicht gegenseitig überlagern bzw. einen Mindestabstand zueinander aufweisen.

[0044] Bevorzugterweise zeichnet sich die Erfindung auch dadurch aus, dass das optische Element in einer oder zwei Richtungen innerhalb der Fokusebene und/oder in der Richtung senkrecht zur Fokusebene verschiebbar angeordnet ist, wobei vorzugsweise zumindest zur Feinjustierung der Verschiebung zumindest ein Piezo-Antrieb (Piezo-Element) vorhanden ist.

[0045] Ferner kann vorgesehen sein, dass die Abbildungsoptik als Zoomoptik mit vorzugsweise unabhängig von der Zoomstufe einstellbarem Arbeitsabstand ausgebildet ist.

[0046] Bevorzugterweise ist vorgesehen, dass die Vorrichtung Mittel aufweist oder in ein entsprechendes Mittel aufweisendes Koordinatenmessgerät integriert ist, die ausgebildet sind, die Entfernung zwischen dem zu messenden Objekt und dem Sensor zu verändern, wobei in verschiedenen Entfernungen Messsignale mit dem Detektor bei den jeweils eingestellten Zuständen der verschiedenen Pixel bzw. Pixelgruppen aufnehmbar sind (Tiefenscan).

[0047] Ein Verfahren zum Betreiben eines Abstandsensors insbesondere zuvor erfolgter Charakterisierung zeichnet sich dadurch aus, dass zur Abbildung des vom jeweils zu messenden Oberflächenpunkt in Richtung des Detektors verlaufenden Anteils der Messstrahlung auf einen Bereich des Detektors, ein Pixel oder mehrere benachbarte Pixel (Pixelgruppe) des optischen Elementes elektrisch angesteuert für einen bestimmten Zeitraum vom opaken in den transparenten Zustand versetzt werden.

[0048] Ferner zeichnet sich die Erfindung dadurch aus, dass mehrere Pixel oder mehrere Pixelgruppen gleichzeitig angesteuert werden, um gleichzeitig mehrere Messpunkte auf voneinander getrennten Bereichen des Detektors abzubilden, wobei die Pixel bzw. Pixelgruppen jeweils zueinander beabstandet sind, vorzugsweise ein regelmäßiges Muster bilden.

[0049] Hervorzuheben ist insbesondere, dass das Muster stückweise in der Fokusebene verschoben angesteuert wird, vorzugsweise so lange verschoben

wird, bis die durch die Beabstandung entstandenen Zwischenräume zumindest einmal vom Muster abgedeckt wurden, um Messpunkte auf der gesamten abgebildeten Oberfläche zu erfassen.

[0050] Auch ist hervorzuheben, dass in mehreren Entfernungen zwischen dem zu messenden Objekt und dem Sensor mit dem Detektor Messsignale aufgenommen werden (Tiefenscan), wobei in den verschiedenen Entfernungen und/oder während der Änderung der Entfernung die jeweiligen Pixel oder Pixelgruppen in ihrem Zustand umgeschaltet werden.

[0051] Insbesondere zeichnet sich die Erfindung dadurch aus, dass der Abstand der Pixel bzw. Pixelgruppen innerhalb des Musters entsprechend der gewünschten lateralen Auflösung und/oder entsprechend der Eigenschaften der Abbildungsoptik bzw. der jeweils eingestellten Eigenschaften der Zoomoptik wie beispielsweise Auflösungsvermögen eingestellt werden und/oder dass die Größe der einen oder mehreren Pixelgruppen entsprechend der gewünschten Auflösung in Messrichtung (Abstandsrichtung) und/oder entsprechend der Eigenschaften der Abbildungsoptik bzw. der jeweils eingestellten Eigenschaften der Zoomoptik wie beispielsweise Apertur eingestellt werden.

[0052] Erfindungsgemäß ist des Weiteren vorgesehen, dass anhand der Lage der Konfokalebene des jeweils eingestellten Zustands einer Zoomoptik das optische Element senkrecht zur Konfokalebene in diese verschoben wird und/oder dass durch Kippen des optischen Elements der wirksame Durchmesser der in den transparenten Zustand versetzten Pixel bzw. Pixelgruppe eingestellt wird und/oder Rückreflexionen vermindert oder vermieden werden.

[0053] Gegenstand einer selbstständigen Erfindung ist ein Verfahren und eine Vorrichtung insbesondere ein Koordinatenmessgerät mit einer verschiebbaren Wechselstation zur Aufnahme unterschiedlicher Sensoren, bzw. Sensorvorsätze.

[0054] Bekannten Vorrichtungen und Verfahren mit verschiebbaren Wechselstationen, bzw. Wechseleinrichtungen zur Vergrößerung des zur Verfügung stehenden Messbereiches des Koordinatenmessgerätes sind in der EP2284486, DE102005036929 und der DE000003936463 beschrieben, wobei jeweils nachteiligerweise separater Verstellachsen notwendig sind.

[0055] In der zum Zeitpunkt dieser Anmeldung noch nicht veröffentlichten DE202015104971.4 der Anmelderin werden separate Stellachsen vermieden. Auf diese Anmeldung wird hier vollständig Bezug genommen. Sie bietet jedoch nur eine eingeschränkte Lösung dafür, möglichst eine große Anzahl von Wechselplätzen und damit große Flexibilität beim Mes-

sen mit dem Koordinatenmessgerät zur Verfügung zu stellen. Ursächlich hierfür ist unter anderem der eingeschränkte Bewegungsbereich der Messachsen.

[0056] Eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, die Anzahl der Wechselplätze in der Wechselstation zu erhöhen und damit die Flexibilität beim Messen mit dem Koordinatenmessgerät zu erhöhen.

[0057] Als Lösung ist erfindungsgemäß vorgesehen, dass die Wechselstation mehrere Bereiche aufweist, die nacheinander so positioniert bzw. in ihrer Stellung angepasst werden, dass die in dem jeweiligen Bereich angeordneten Wechselplätze für einen Sensorwechsel, also Ablegen eines Sensors von der Pinole in einen Wechselplatz der Wechselstation oder Aufnehmen eines Sensors durch die Pinole des Koordinatenmessgerätes aus dem Wechselplatz, zur Verfügung stehen, also mittels Bewegung der Messachsen durch die Pinole erreichbar sind.

[0058] Die mehreren Bereiche können in Richtung einer der Messachsen versetzt zueinander angeordnet sein, aber auch in beiden Richtungen. Um die einzelnen Bereiche für den Sensorwechsel anzuordnen, sind mehrere Koppelstellen an der Wechselstation vorgesehen, die nacheinander für das Verschieben der Wechselstation verwendet werden. Insbesondere erfolgt eine kaskadierte also stückweise Verschiebung, da der Bewegungsbereich der Messachsen beschränkt ist. Die Nutzung einer weiteren Messachse für die Verschiebung der Wechselstation eröffnet die Möglichkeit, in einem zweidimensional vergrößerten Bereich Wechselplätze anzuordnen.

[0059] Als eine erste Lösung wird dafür in Erweiterung der Idee der DE202015104971.4 der Anmelderin die Bewegung in die mehreren Positionen mittels der Messachsen vollzogen, wobei nacheinander nicht nur eine erste für den Sensorwechsel vorgesehene Position und eine zweite für den Sensorwechsel nicht vorgesehene und nicht mögliche Position eingestellt werden, sondern weitere Positionen vorgesehen sind und eingestellt werden, in denen weitere Bereiche der Wechselstation mit weiteren Wechselplätzen für den Sensorwechsel zugänglich sind.

[0060] Eine zweite Lösung besteht in der Ausgestaltung der Wechselstation mit einem drehbaren Teil, wobei durch dessen Drehung die mehreren Bereiche nacheinander so eingestellt werden, dass sie für den Sensorwechsel zugänglich sind. Hierdurch wird nur ein Minimum des Messbereichs des Koordinatenmessgerätes durch die Wechselstation eingeschränkt.

[0061] Für die zweite Lösung ist erfindungsgemäß auch vorgesehen, die Wechselstation mittels der Messachsen aus der ersten, einen Sensorwechsel ermöglichenden Position an eine zweite Position au-

ßerhalb des Messbereichs des Koordinatenmessgerätes zu verschieben, an der ein Sensorwechsel nicht möglich ist.

[0062] Die Erfindung sieht zur Lösung eine Vorrichtung umfassend ein Koordinatenmessgerät mit drei rechtwinklig oder nahezu rechtwinklig zueinander angeordneten Messachsen, die ausgebildet sind, eine Relativverschiebung zu realisieren zwischen zumindest einem im Koordinatenmessgerät integrierten Sensor, vorzugsweise Sensor tragender Pinole, und der das Werkstück aufnehmenden Werkstückauflage wie Messtisch, vor, wobei die Vorrichtung eine Wechselstation mit mehreren Bereichen umfasst, wobei in jedem Bereich ein oder mehrere Wechselplätze vorhanden sind, in der mehrere Sensoren oder Sensorvorsätze, die zur Verbindung mit dem Koordinatenmessgerät bzw. der Pinole vorgesehen sind, automatisch ablegbar und wieder aufnehmbar sind, wobei die Wechselstation in einer ersten Position in Bezug auf die Messachsen des Koordinatenmessgerätes anordenbar ist, in der durch Nutzung der Messachsen der Sensor bzw. Sensorvorsatz in einen Bereich der Wechselstation bewegbar ist, und dass die Wechselstation in einer zweiten Position anordenbar ist, in der insbesondere keiner der Bereiche zum Ablegen oder Aufnehmen von Sensoren erreichbar ist, wobei die Bewegung von der ersten in die zweite Position und von der zweiten in die erste Position durch vorübergehende Kopplung mit zumindest einer der Messachsen erfolgt, die sich dadurch auszeichnet, dass die Wechselstation in mindestens einer weiteren Position anordenbar ist, wobei die Bewegung von der ersten oder zweiten in die weiteren Positionen und von den weiteren Positionen in die erste und zweite Position durch vorübergehende Kopplung mit zumindest einer der Messachsen erfolgt, wobei in den weiteren Positionen Sensoren oder Sensorvorsätze durch Nutzung der Messachsen in weitere Bereiche der Wechselstation bewegbar und aufnehmbar oder ablegbar sind.

[0063] Insbesondere ist vorgesehen, dass die Wechselstation mehrere Mittel zur Herstellung einer vorübergehenden Kopplung wie Koppelstellen, insbesondere magnetische oder durch Formschluss gebildete Koppelstellen aufweist, wobei zumindest eine Koppelstelle erst dann für eine Kopplung mit einer Messachse erreichbar ist, wenn die Wechselstation durch Kopplung mit einer der anderen Koppelstellen aus der ersten Position in die zweite Position oder aus der zweiten oder einer der weiteren in eine der weiteren Positionen gebracht wurde.

[0064] Bevorzugterweise zeichnet sich die Erfindung auch dadurch aus, dass die weiteren Positionen entlang der Bewegungsrichtung einer Messachse, insbesondere der X-Achse oder Y-Achse versetzt zueinander angeordnet sind, oder dass weitere Positionen entlang der X-Achse und weitere Positio-

nen entlang Y-Achse versetzt zueinander angeordnet sind.

[0065] Ferner sieht die Erfindung nach einer unabhängigen Idee eine Vorrichtung umfassend ein Koordinatenmessgerät mit drei rechtwinklig oder nahezu rechtwinklig zueinander angeordneten Messachsen, die ausgebildet sind, eine Relativverschiebung zu realisieren zwischen zumindest einem im Koordinatenmessgerät integrierten Sensor, vorzugsweise Sensor tragender Pinole, und der das Werkstück aufnehmenden Werkstückauflage wie Messtisch, vor, wobei die Vorrichtung eine Wechselstation mit mehreren Bereichen umfasst, wobei in jedem Bereich ein oder mehrere Wechselplätze vorhanden sind, in der mehrere Sensoren oder Sensorvorsätze, die zur Verbindung mit dem Koordinatenmessgerät bzw. der Pinole vorgesehen sind, automatisch ablegbar und wieder aufnehmbar sind, wobei die Wechselstation in eine erste Stellung in Bezug auf das Koordinatenmessgerätes einstellbar ist, in der durch Nutzung der Messachsen der Sensor bzw. Sensorvorsatz (3) in einen Bereich der Wechselstation bewegbar ist, die sich dadurch auszeichnet, dass zumindest ein Teil der Wechselstation in weitere Stellungen drehbar ist, so dass nacheinander weitere Bereiche zum Ablegen oder Aufnehmen von Sensoren erreichbar sind.

[0066] Ein erfindungsgemäßes Verfahren zum Betrieb eines Koordinatenmessgeräts mit drei rechtwinklig oder nahezu rechtwinklig zueinander angeordneten Messachsen, die ausgebildet sind, eine Relativverschiebung zu realisieren zwischen zumindest einem im Koordinatenmessgerät integrierten Sensor, vorzugsweise Sensor tragender Pinole, und der das Werkstück aufnehmenden Werkstückauflage wie Messtisch, wobei die Vorrichtung eine Wechselstation mit mehreren Bereichen umfasst, wobei in jedem Bereich ein oder mehrere Wechselplätze vorhanden sind, in der mehrere Sensoren oder Sensorvorsätze, die zur Verbindung mit dem Koordinatenmessgerät bzw. der Pinole vorgesehen sind, wahlweise automatisch abgelegt und wieder aufgenommen werden, wobei die Wechselstation in einer ersten Position in Bezug auf die Messachsen des Koordinatenmessgerätes bewegt wird, in der durch Nutzung der Messachsen der Sensor bzw. Sensorvorsatz in einen ersten Bereich der Wechselstation zum Ablegen oder Aufnehmen bewegt wird, und dass die Wechselstation in eine zweite Position bewegt wird, in der insbesondere keiner der Bereiche zum Ablegen oder Aufnehmen von Sensoren erreichbar ist, wobei die Bewegung von der ersten in die zweite Position und von der zweiten in die erste Position durch vorübergehende Kopplung mit zumindest einer der Messachsen erfolgt, zeichnet sich dadurch aus, dass die Wechselstation in mindestens eine weitere Position bewegt wird, wobei die Bewegung von der ersten oder zweiten in die weiteren Positionen und von den weiteren Positionen in die erste und zweite Position durch

vorübergehende Kopplung mit zumindest einer der Messachsen erfolgt, wobei in den weiteren Positionen Sensoren oder Sensorvorsätze durch Nutzung der Messachsen in einen der weiteren Bereiche der Wechselstation oder aus diesem heraus bewegt werden, um den entsprechenden Sensor aufzunehmen oder abzulegen.

[0067] Bevorzugterweise ist vorgesehen, dass nacheinander die Kopplung mit den mehreren Kopplstellen der Wechselstation erfolgt, insbesondere in einer kaskadierten Art und Weise, um die Bewegung der Wechselstation von der ersten in die zweite und die weiteren Positionen zu realisieren.

[0068] Gegenstand einer selbstständigen Erfindung ist ein Verfahren zur Bestimmung des Verschleißes, insbesondere der Schneidkantenabrundung bzw. -Verrundung an Schneiden von Werkzeugen, insbesondere Schneiden von Zähnen an Wälzfräsern, und insbesondere Bestimmung des notwendigen Abschleifmaßes.

[0069] Bei den bekannten Verfahren zur Verschleißmessung, insbesondere Schneidkantenverrundungsmessung an Werkzeugen sind zeitaufwendig an allen Zähnen Messungen mit punktförmig arbeitenden Sensoren, insbesondere taktilen Sensoren, über die Schneide hinweg notwendig. Hierbei wird zumeist von der Freifläche, also dem Bereich des Schneiden- bzw. Zahnkanten-Hinterschliffs, in Richtung der Spanfläche über die Schneide, also rechtwinklig zum Verlauf der Schneide über die Schneide hinweg gescannt und der Abrisspunkt an der Schneide bestimmt. Anhand des Abrisses kann dann festgestellt werden, ob ein erhöhter Verschleiß für den jeweiligen Zahn bzw. die jeweilige Schneide vorliegt. Das Nachschleifen erfolgt dann für die entsprechende Schneide über den gesamten Bereich bis zur festgelegten maximalen Tiefe (senkrechter Abstand zur Schneidkante) in die Freifläche hinein, in der Verschleiß zu erwarten ist, unabhängig davon, ob ein signifikanter, zu korrigierender Verschleiß über die gesamte Tiefe überhaupt vorliegt.

[0070] Ein weiteres bekanntes Verfahren zur Verschleißbestimmung besteht darin, leicht versetzt hinter der Schneide, also auf der Freifläche wenige zehntel Millimeter hinter der Schneide parallel zur Schneide diese für alle Zähne abzufahren. Auch hierbei müssen zeitaufwendig alle Zähne gemessen werden und zudem liegt nur eine Verschleißmessung für einen einzigen Abstand zwischen Schneide und der gemessenen Bahn vor. Das Nachschleifen erfolgt auch über die gesamte Tiefe.

[0071] Ein drittes bekanntes Verfahren besteht darin, die Schneide im Durchlicht mittels Bildverarbeitung zu messen. Auch hierbei liegen Informationen zum Verschleiß der Schneide nur direkt im Bereich

der Schneide selbst vor, die Korrektur erfolgt aber in der vollen, oben benannten Tiefe.

[0072] Bei den bekannten Verfahren wird also in voller Tiefe nachgeschliffen. Dies wäre unter Umständen gar nicht notwendig und reduziert die Standzeit des Werkzeugs sowie die Dauer und Kosten des Nachschleifens.

[0073] Eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht daher darin, in möglichst kurzer Zeit für alle Zähne zu bestimmen, ob ein zuvor definierter minimaler Verschleiß vorliegt oder nicht und im Falle des Vorliegens, in welchem Bereich hinter der Schneide, also auf der Freifläche bzw. in die Freifläche hinein, der Verschleiß einen vorgegebenen maximalen Wert überschreitet, um daraus das notwendige Abschleifmaß zum Nacharbeiten der Zähne bzw. Schneiden zu bestimmen, also die Tiefe, in die nachgeschliffen werden muss.

[0074] Zur Lösung sieht die Erfindung vor, dass mittels Abstandssensor, insbesondere taktilem Sensor oder optischen Abstandssensor, insbesondere punktförmig, linienförmig oder matrixförmig messend, mindestens eine, bevorzugt mehrere, rechtwinklig zum Verlauf der Schneide versetzte Bahnen auf der Freifläche gemessen werden und die Abweichung zum Sollwert beurteilt wird. Die sich daraus ergebende Profiltreue bzw. Profilabweichung entlang der Bahnen wird bestimmt und die Messung ggf. in veränderndem Abstand zur Schneide wiederholt (kann bei linienförmig oder matrixförmig messenden Sensoren ggf. entfallen), um insbesondere den minimalen Abstand zu bestimmen, in dem die Profilabweichungen noch innerhalb der zulässigen Abweichungen sind, wodurch das minimale Abschleifmaß des Werkstücks bestimmt werden kann. In einer ersten Ausgestaltung ist vorgesehen, jeweils den halben Betrag zwischen Schneide und zuletzt gemessener Bahn bzw. den beiden zuletzt gemessenen Bahnen zu verwenden. Alternativ ist auch vorgesehen, abhängig vom Vorwissen oder Erfahrungswerten zum Verlauf des Verschleißes in die Freifläche hinein, andere Versätze zu verwenden, insbesondere beim Vorliegen nicht linearen Verschleißes. Hierdurch wird gewährleistet, dass mit der minimalen Anzahl an zu messenden Bahnen der Bereich gefunden wird, der nachgeschliffen werden muss.

[0075] Zur Beschleunigung des Verfahrens ist auch vorgesehen, eine Kombination mit einer zuvor durchgeführten Bildverarbeitungsmessung vorzunehmen, wobei durch Abrastern des Verlaufs der Schneide bzw. Zahnkante, die Schneiden bzw. Zähne selektiert werden, bei denen überhaupt ein signifikanter Verschleiß vorliegt. Hierzu werden die nach innen, also ins Werkstückinnere zeigenden Ausbrüche in Bezug auf die Ausbruchfläche oder das Ausbruchmaß (tiefster Punkt – entspricht betragsmäßig größter Ab-

weichung zur Sollkontur) beurteilt und eine entsprechende Sortierung und anschließende Messung auf den Freiflächen vorgenommen.

[0076] Hierdurch ergibt sich der Vorteil, dass eine Beurteilung des Verschleißes innerhalb der Freifläche nicht nur in einer definierten Ebene parallel zur Spanfläche erfolgt, sondern durch das Messen auf mehreren Bahnen festgestellt werden kann, ab wann, also in welchem Abstand zur Schneide, der Verschleiß das vom Hersteller definierte zulässige Maß unterschreitet und eine Korrektur entfallen kann. Eine entsprechende Beurteilung nach dem Stand der Technik erfolgt hierzu lediglich durch manuelle Beurteilung von Mikroskopaufnahmen, teilweise sogar nur durch Beobachtung durch eine Lupe. Um eine schnelle Beurteilung des gesamten Werkzeugs, insbesondere Wälzfräasers, zu erzielen, werden die entsprechenden Messungen auf der Freifläche nur für die ausgewählten Schneiden bzw. Zähne durchgeführt, für die mittels der zuvor durchgeführten Bildverarbeitungsmessung überhaupt ein Verschleiß festgestellt wurde. Dieses Verfahren ist zielführend, da in der Regel der Verschleiß direkt an der Schneidkante am größten ist und in die Freifläche hinein langsam abnimmt. Das Verfahren gewährleistet damit, dass nur der Bereich des Werkzeugs nachgearbeitet wird, für den dies notwendig ist, also das minimale und somit ideale Abschleifmaß festgelegt wird.

[0077] Das Verfahren ist nicht nur auf die Messung von Wälzfräsern beschränkt, sondern anwendbar auf alle Werkzeuge mit definierten Schneiden, also insbesondere Bohrer, Fräser und Reibahlen. Werkzeuge mit undefinierten Schneiden wie Schleifscheiben sind hierdurch nicht erfasst.

[0078] Die Erfindung sieht zur Lösung ein Verfahren zur Bestimmung des Verschleißes, insbesondere der Schneidkantenabrundung bzw. -verrundung oder von Ausbrüchen, in die Freifläche einer Schneide, insbesondere der Schneide an einem Zahn, hinein, insbesondere Verfahren zur Kontrolle des Hinterschliffs vor, wobei eine oder mehrere Schneiden untersucht werden, an einem Werkzeug, insbesondere Wälzfräser, Fräser, Bohrer oder Reibahle, mit zumindest einer definierten Schneide, wobei Messpunkte mit einem taktilen Sensor und/oder optischen Abstandssensor aufgenommen werden, insbesondere punktförmigen optischen Abstandssensor, wobei die Messpunkte durch Aufnahme von Einzelpunkten oder durch Scanning ermittelt werden, entlang zumindest einer ersten Bahn auf der Freifläche, wobei die erste Bahn in zumindest einer zur Spanfläche parallelen Ebene auf der Freifläche und/oder auf zumindest einer etwa senkrecht zur Schneidkante in Richtung des Schneidenrückens, insbesondere Zahnrückens versetzten Bahn aufgenommen wird, dass sich dadurch auszeichnet, dass die Abweichungen zum Sollwert, insbesondere Abweichung zum Sollwertprofil

(Profiltreue bzw. Profilabweichung) entlang der ersten Bahn in Richtung des Werkzeuginneren, insbesondere in Richtung auf die Werkzeugachse zu, bestimmt werden und wenn die Abweichung kleiner als ein vorgegebener Wert für die maximal zulässige Abweichung ist, zumindest eine zweite parallel versetzte Bahn mit kleinerem Versatz zur Schneide, vorzugsweise halbem Versatz zur Schneide gemessen wird, wobei die zweite oder weitere Bahnen vorzugsweise gleichzeitig mit der ersten Bahn gemessen werden, indem ein mehrere Messpunkte gleichzeitig erfassender linienhaft oder matrixförmig messender Sensor, insbesondere optischer Abstandsensor, eingesetzt wird, wobei vorzugsweise die erste Bahn entsprechend des festgelegten maximalen Nachschärfbetrags (Abschleifmaß) zur Schneide versetzt ist, und wobei vorzugsweise dann, wenn die Abweichungen auf der ersten Bahn größer als der vorgegebener Wert für die maximal zulässige Abweichung ist, die Schneide bzw. der Zahn als defekt markiert wird.

[0079] Insbesondere zeichnet sich die Erfindung dadurch aus, dass auf weiteren parallelen Bahnen mit jeweils abhängig von der in der vorherigen Bahn oder den vorherigen Bahnen bestimmten Abweichungen neu bestimmtem Versatz gemessen wird, wobei vorzugsweise

- für den Fall, dass die Abweichungen auf der zuletzt gemessenen Bahn größer als die maximal zulässige Abweichung sind, die nächste Bahn zwischen, vorzugsweise mittig zwischen, den beiden zuvor gemessenen Bahnen aufgenommen wird, und
- für den Fall, dass die Abweichungen auf der zuletzt gemessenen Bahn kleiner als die maximal zulässige Abweichung sind, die nächste Bahn zwischen, vorzugsweise mittig zwischen, der Schneide und der vorherigen Bahn gemessen wird,

wobei besonders bevorzugt iterativ weitere Bahnen gemessen werden, bis die Abweichungen in einem definierten Bereich um die maximal zulässige Abweichung vorliegen oder die Änderung des Versatzes kleiner als ein festgelegter Grenzwert ist.

[0080] Bevorzugterweise ist vorgesehen, dass das Verfahren zur Bestimmung des Abschleifmaßes bzw. Nachschärfbetrags zumindest einer Schneide eines Werkzeugs erfolgt, wobei anhand der gemessenen Abweichungen entlang der gemessenen Bahnen der minimale Versatz zur Schneidkante, für den die Differenz zwischen gemessenem Wert und Sollwert (Profiltreue bzw. Profilabweichung) noch innerhalb der maximal zulässigen Abweichung zum Sollprofil liegt, bestimmt und als Abschleifmaß verwendet wird.

[0081] Insbesondere zeichnet sich die Erfindung dadurch aus, dass eine oder mehrere Bahnen an einer oder mehreren Schneiden bzw. Zähnen gemessen werden, wobei die zu messenden Schneiden

vorzugsweise anhand zuvor durchgeführter optischer Messung, insbesondere der Schneidkante, ausgewählt werden.

[0082] Bevorzugterweise sieht die Erfindung ein Verfahren zur Auswahl der zu untersuchenden Freiflächen von Schneiden bzw. Zähnen mittels Bildverarbeitungsmessung vor, vorzugsweise Bildverarbeitung im Durchlicht und/oder Auflicht, wobei alle Schneiden innerhalb eines definierten Bereichs, wie entlang eines Stollens oder gesamten Werkzeugs, im Bereich der Schneidkanten gemessen werden und ins Werkzeuginnere ermittelte Ausbrüche erkannt und beurteilt werden, wobei die Beurteilung insbesondere in Bezug auf die ausgebrochene Fläche und/oder in Bezug auf die größte Abweichung (tiefster Punkt) erfolgt, und die Schneiden ausgewählt werden, die einen vorgegebenen Maximalwert für die Fläche bzw. Abweichung überschreiten, wobei insbesondere eine absteigende Sortierung der Schneiden nach Fläche bzw. Abweichung erfolgt und besonders bevorzugt die Messung der zu untersuchenden Freiflächen von Schneiden bzw. Zähnen entsprechend dieser Reihenfolge erfolgt.

[0083] Hervorzuheben ist des Weiteren, dass die optische Messung mittels Bildverarbeitung erfolgt, indem mehrere Bilder der jeweils zu erfassenden Schneidkante aufgenommen werden und jeweils zu einem Gesamtbild zusammengesetzt werden, und an dem zusammengesetzten Bild die Kontur der Schneidkante ermittelt und ausgewertet wird, wobei die mehreren Teilbilder in Richtung der Werkzeugachse oder entlang einer vorgegebenen Bahn, welche vorzugsweise der Sollkontur der jeweils zu messenden Schneidkante entspricht, versetzt zueinander aufgenommen werden, und wobei

- der Versatz in etwa der Größe des erfassten Bildbereiches in Richtung der Werkzeugachse entspricht, insbesondere nur geringe Überlagerung der benachbarten Teilbilder von $< 50\%$, bevorzugt $< 5\%$ in Bezug auf die Bildgröße in Richtung der Werkzeugachse vorliegt oder
- die mehreren Teilbilder in Richtung der Werkzeugachse versetzt zueinander aufgenommen werden, wobei ein Versatz von weniger als 50% , insbesondere weniger als 20% zwischen den Teilbildern in Bezug auf die Bildgröße in Richtung der Werkzeugachse vorliegt, und die Intensitäten der Grauwerte der Teilbilder überlagert, insbesondere addiert bzw. gemittelt werden, um das Gesamtbild zu erzeugen.

[0084] Gegenstand einer selbstständigen Erfindung ist ein Verfahren zur Bilderzeugung durch Überlagerung benachbart, mit Überlapp aufgenommener Rohbilder, bevorzugt zur Bildverarbeitung des resultierenden Bildes im Sinne dimensionellen Messens.

[0085] Verfahren zur Bildüberlagerung beschreibt beispielsweise die WO2012/156462A2 der Anmelderin, auf deren Offenbarungsgehalt vollständig Bezug genommen wird. Hierbei werden Einzelbilder (Rohbilder) in Lageversatz zueinander aufgenommen, wobei der Lageversatz zumeist deutlich geringer als die halbe Bildausdehnung in Versatzrichtung ist, damit sich je Bildbereich mindestens zwei, besser jedoch deutlich mehr Bilder überlagern. Durch die Überlagerung ist es möglich, auch anhand dunkler und damit verrauschter Rohbilder, wie diese bei schlechten Beleuchtungsverhältnissen oder kurzen Kamera-Integrationszeiten, insbesondere bei der Bildaufnahme während der Bewegung zur Vermeidung von Bildunschärfe, vorliegen können, resultierende Bilder mit hoher Helligkeit und hohem Signal-Rausch-Verhältnis (Signal to noise ratio SNR) zu erzielen. Andererseits wird damit aber auch ermöglicht, die begrenzte Lichtaufnahmefähigkeit der Kamera zu umgehen und im Resultat eine höhere Lichtausbeute und damit rauschärmere Bilder mit höherem SNR zu erzeugen. Dies wird dadurch möglich, dass die Kameraintegrationszeit so geringe eingestellt wird, dass eine Überstrahlung der Rohbilder ausgeschlossen ist, selbst dann, wenn mit maximal möglicher Beleuchtungsstärke der eingesetzten Lichtquellen gearbeitet wird. In herkömmlichen Kameras führte dies bei normalen Kameraintegrationszeiten von ca. 10 ms bis 50 ms (100 fps bis 20 fps) häufig zur Überstrahlung und als Gegenmaßnahme wurde die Beleuchtungsstärke verringert. Hierdurch wurde also Licht und damit SNR verschenkt. Nach dem Verfahren der oben genannten WO2012/156462A2 wird das maximal verfügbare Licht nahezu vollständig von der Kamera aufgenommen und verarbeitet, indem die Kameraintegrationszeit entsprechend kurz eingestellt wird. Hierdurch ergibt sich zwangsläufig ein hoher Überlappungsgrad der aufgenommenen Rohbilder, da die Kamera nicht beliebig schnell seitlich bewegt werden kann. Dieser hohe Überlappungsgrad ist jedoch erwünscht, da sich mit diesem der SNR des aus der Überlagerung der Rohbilder ergebenden resultierenden Bildes erhöht. Voraussetzung und somit Begrenzung für das Verfahren ist es, dass die mit kurzer Kameraintegrationszeit aufgenommenen Rohbilder verarbeitet, also von der Kamera an einen kamerainternen oder externen Speicher übertragen werden können. Dies gelingt mit modernerameratechnik bis in den Bereich von mehreren Hundert bis wenigen Tausend Bildern pro Sekunde, je nach Pixelanzahl der Kamera.

[0086] Nachteilig bei dem zuvor genannten Verfahren ist es jedoch, dass bei der Überlagerung der Rohbilder sämtliche aufgenommene Bilder berücksichtigt werden, unabhängig von den lokal vorliegenden Helligkeitsverhältnissen und SNRs. Ergibt sich beispielsweise aus eingestellter Beleuchtung. Kameraintegrationszeit, Bewegungsgeschwindigkeit und Rohbildgröße ein Versatz zwischen benachbart aufgenommenen Rohbildern und damit ein Überlagerungsgrad

benachbart aufgenommener Rohbilder von 90 %, werden je Bildabschnitt, also für jedes Pixel des resultierenden Bildes, abgesehen von einem Start- und einem Endbereich, zehn Bilder überlagert. Befinden sich nun im insgesamt durch das resultierende Bild erfassten Bereich hellere und dunklere Bereiche, ergibt sich durch die Überlagerung der gleichbleibenden Anzahl von Rohbildern unterschiedliche SNR für helle und dunkle Bereiche und damit unterschiedliche Genauigkeiten bei der Auswertung des resultierenden Bildes bezüglich Kantenerkennung oder anderer Bildverarbeitungsoperationen für beispielsweise dimensionelles Messen des durch die Rohbilder erfassten Objektes wie Werkstück.

[0087] Eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht daher darin, eine Anpassung der Helligkeit und/oder des Signal-Rausch-Verhältnisses für unterschiedliche Bildabschnitte, insbesondere unterschiedlich helle Bereiche in den Rohbilder, bei der Überlagerung zu dem resultierenden Bild zu realisieren.

[0088] Zur Lösung sieht die Erfindung vor, dass die Anzahl der zur Überlagerung herangezogenen Rohbilder für jeden Bildabschnitt, insbesondere jedes Pixel oder jede Grauwertähnliche Pixelgruppe des resultierenden überlagerten Bildes separat festgelegt wird, vorzugsweise abhängig von der Helligkeit, also des Grauwertes oder des Signal-Rausch-Verhältnisses der entsprechenden Bildabschnitte der Rohbilder. Nach bzw. während der Überlagerung werden die Bildabschnitte entsprechend der Anzahl der überlagerten Bilder auf ein gemeinsames Niveau normiert.

[0089] In dunklen Bildabschnitten bzw. Bildbereichen bzw. Bildbereichen mit geringem SNR werden also mehr Bilder überlagert, als in hellen Bildbereichen bzw. Bereichen hohen SNRs. Im einfachsten Fall wird ein linearer Zusammenhang zugrunde gelegt, also bei halber Helligkeit bzw. halbem Grauwert des Pixels die doppelte Anzahl von Bildern herangezogen.

[0090] Bevorzugt sind jedoch nichtlineare Zusammenhänge vorgesehen, um dem Umstand Rechnung zu tragen, dass SNR und Helligkeit nicht in linearem Zusammenhang stehen. Eine bevorzugte Lösung sieht daher vor, etwa gleiches bzw. möglichst gleiches Signal-Rausch-Verhältnis je Bildabschnitt zu erreichen.

[0091] Möglichst gleiches Signal-Rausch-Verhältnis bedeutet dabei, dass sich aufgrund der endlichen Stufung an vorliegenden Rohbildern nicht ein genau gleiches Signal-Rausch-Verhältnis für alle Abschnitte erzielen lässt. Es ist jedoch möglich, die Anzahl zu überlagernder Bilder so auszuwählen, dass die Spanne der SNR für alle Abschnitte minimal wird.

[0092] Zur Definition des Abschnitts bzw. Bildabschnittes werden einzelne Pixel oder Gruppen von Pixeln benachbarter Grauwertes bzw. Helligkeit verwendet. Liegen beispielsweise zehn für die Überlagerung verfügbare Rohbilder vor, wird der in den Rohbildern vorliegende Grauwertbereich oder ein vorher definierter Grauwertbereich, in zehn Gruppen aufgeteilt, beispielsweise gleichmäßig aufgeteilt oder entspricht oben genannten nichtlinearen Zusammenhangs aufgeteilt, und den Gruppen die entsprechende Anzahl von eins bis zehn an zu überlagernden Bildern zugewiesen. Es können aber auch mehr Gruppen als verfügbare Rohbilder gebildet werden, indem die zu überlagernden Grauwerte der Rohbilder entsprechend skaliert, also multipliziert werden.

[0093] Bei der Überlagerung der Rohbilder wird die Aufnahmeposition der Rohbilder zueinander berücksichtigt. Die Positionen ergeben sich entweder aus den Positionen der Messachsen des Koordinatenmessgerätes, mit dem das zu messende Objekt und die Kamera relativ zueinander verstellt werden oder anhand von Korrelationsverfahren, die Korrelationen in den benachbart aufgenommenen Bild auswerten. Die Überlagerung der Rohbilder zum resultierenden Bild (folgend als das Bild bezeichnet) erfolgt besonders bevorzugt durch Resampling. Dies bedeutet, dass der Grauwert für jedes Pixel des Bildes ermittelt wird, indem die Grauwerte der zur Überlagerung vorgesehenen Rohbilder berücksichtigt werden, die unter Berücksichtigung des Lageversatzes, also der Aufnahmeposition, in einem festgelegten Umkreis um die Pixelposition des Bildes liegen. Hierbei wird beispielsweise eine bilineare Interpolation eingesetzt, um näher an der Pixelposition des Bildes vorliegende Rohpixel (Pixel eines Rohbildes) stärker zu wichten. Die Korrektur des Lageversatzes wird also im Rechenschritt des Resampling mit durchgeführt. Ebenso ist vorgesehen, in diesem Schritt auch die erfindungsgemäße Anpassung der Anzahl der zu überlagernden Bilder und besonders bevorzugt auch die zuvor beschriebene Normierung mit auszuführen.

[0094] Die Erfindung sieht zur Lösung ein Verfahren zur Erzeugung eines Bildes, vorzugsweise zur Bildverarbeitung und dimensionellen Messung eines Objekts wie Werkstücks vor, wobei mit einer Kamera in Lageversatz zueinander aufgenommenen Rohbildern überlagert werden, wobei die Kamera vorzugsweise in einem Koordinatenmessgerät mit Messachsen zur Relativbewegung und Lagebestimmung zwischen Objekt und Kamera integriert ist, wobei vorzugsweise die Aufnahme der Rohbilder während einer Relativbewegung erfolgt, und wobei der Lageversatz bevorzugt geringer als die halbe Rohbildgröße in Richtung des Lageversatzes ist, und wobei der Lageversatz bei der Überlagerung der Rohbilder berücksichtigt wird, so dass Bildinformationen wie Grauwerte jeweils einander entsprechende Bereiche des durch die Rohbilder erfassten Objekts überla-

gert werden, wobei die Überlagerung vorzugsweise mittels Resampling in das Pixelraster des Bildes erfolgt, wobei sich das Verfahren dadurch auszeichnet, dass die Anzahl der zur Überlagerung herangezogenen Rohbilder für jeden Abschnitt des Bildes separat festgelegt wird, wobei bei der Festlegung der Anzahl die Helligkeit bzw. der Grauwert und/oder das Signal-Rauschverhältnis (SNR) des dem jeweiligen Abschnitt entsprechenden Abschnitts eines oder mehrerer Rohbilder berücksichtigt wird, vorzugsweise Anzahl höher gewählt wird, je dunkler der Abschnitt und/oder je geringer der SNR des Abschnitts in dem oder den Rohbildern ist, besonders bevorzugt Anzahl so gewählt wird, dass sich für alle Abschnitte möglichst gleiches Signal-Rausch-Verhältnis ergibt, wobei Abschnitte einzelne Pixel oder Gruppen von Pixeln innerhalb festgelegter Grauwertbereiche sind.

[0095] Gegenstand einer selbstständigen Erfindung ist ein weiteres Verfahren zur Bilderzeugung durch Überlagerung benachbart, mit Überlapp aufgenommenen Rohbilder, bevorzugt zur Bildverarbeitung des resultierenden Bildes im Sinne dimensionellen Messens.

[0096] Die hier zuvor bereits beschriebenen Verfahren zur Bildüberlagerung und auch das in der WO2012/156462A2 der Anmelderin beschriebene Verfahren setzen voraus, dass mit kurzer Kameraintegrationszeit aufgenommenen Rohbilder verarbeitet, also von der Kamera an einen kamerainternen oder externen Speicher übertragen werden können. Die Begrenzungen bei der Übertragung sind von der Pixelanzahl und Übertragungstechnologie der Kamera bzw. des verwendeten Bussystems abhängig. Bei der Übertragung von Vollbildern können etwa mehrere Hundert Bilder pro Sekunde verarbeitet werden, jedoch nur bei nicht allzu hoher Pixelanzahl der Bilder. Um genau messen zu können, ist eine hohe Auflösung, also ein geringer Pixelabstand im zur Auswertung verwendeten Bild notwendig. Schnelles und gleichzeitig genaues Messen ist daher nur bedingt möglich.

[0097] Um besonders schnell zu messen, müssen hohe Bewegungsgeschwindigkeiten und besonders kurze Integrationszeiten zur Vermeidung von Unschärfen, auch Bewegungsunschärfen bzw. Verwacklungen verwendet werden. Damit dabei trotzdem eine hohe Bildqualität gewährleistet werden kann, müssen viele Bilder überlagert werden, also ein hoher Überlappungsgrad erzielt werden. Dies erfordert besonders hohe Bildaufnahme Frequenzen der Kamera (Kamerafrequenzen), vorzugsweise auch im Bereich mehrerer Tausend Bilder pro Sekunde. Da diese bei Übertragung von hochauflösten Vollbildern oftmals technisch nicht möglich sind, kommt es zu dem Zustand, dass zwischen den Bildaufnahmen Wartezeiten entstehen, in denen die Aufnahme weiterer Bilder aufgrund der Bildübertragung ausgesetzt werden

muss. Dies ist nachteilig, da zur Verfügung stehendes Licht bzw. Signal durch die Kamera nicht verarbeitet werden kann, der Überlappungsgrad also verringert wird.

[0098] Bei den bisher bekannten Verfahren zur Bildüberlagerung wird zudem von einfarbiger Beleuchtung, insbesondere Durchlichtbeleuchtung ausgegangen.

[0099] Eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht daher darin, besonders genau zu messen, insbesondere auch beim Vorliegen geringer Kameraintegrationszeiten. Eine vorzugsweise zu lösende Aufgabe besteht zudem darin, die Kamerafrequenz an die gewählte Kameraintegrationszeit anzupassen, so dass möglichst geringe oder gar keine Wartezeiten zwischen den Aufnahmen der Rohbilder entstehen.

[0100] Zur Lösung sieht die Erfindung vor, dass die Bildgröße der Rohbilder auf einen oder mehrere interessierende Bereiche (AOI-Area of interest) begrenzt werden und damit aufgrund der sich daraus ergebenden geringeren Bildgröße höhere Bildaufnahme-frequenzen der Kamera (Kamerafrequenzen) erreicht werden und/oder durch Resampling, insbesondere Interpolation wie bilineare Interpolation, im Bild eine höhere Auflösung als in den Rohbild erzeugt wird und/oder farbig beleuchtet wird und/oder im Auflicht wie Dunkelfeldauflicht und/oder Hellfeldauflicht insbesondere Dunkelfeldauflicht mit einstellbarer und gegebenenfalls auch während der Messung änderbarer Verteilung der Einstrahlungsrichtung bzw. -richtungen gemessen wird.

[0101] Durch die Eingrenzung auf AOIs werden die Vorteile aktueller Kameratechnik genutzt, bei der die Informationen aus dem Kamerachip zeilenweise oder spaltenweise ausgelesen werden können, für die unterschiedlichen Bereiche des Kamera-Chips getrennte Auslesekanäle (TAPs, Dual Tap, Quad TAP) verfügbar sind oder sogar AOIs definiert werden können, ohne dass weitere Bereiche ausgelesen werden können. Durch die Einschränkung der aus dem Kamerachip auszulesenden und/oder über den Bus an eine Steuerung wie Rechner zu übertragenden Bildinformationen kann eine starke Erhöhung der Kamerafrequenz erzielt werden, beispielsweise um den Faktor 10 bis 100, je nach Pixelanzahl in der gewählten AOI.

[0102] Durch Anwendung von Interpolationsmethoden lässt sich die Auflösung des Bildes theoretisch beliebig hoch wählen. Dies ist jedoch praktisch nicht beliebig sinnvoll, insbesondere wenn nur unzureichende Bildinformationen vorliegen, wie dies bei einem Einzelbild begrenzter Auflösung der Fall ist. Beim Zusammensetzen mehrerer stark überlappenden Rohbilder liegen jedoch deutlich mehr Informationen von einem Objektbereich vor. Die Erhöhung

der Auflösung des Bildes während des Zusammensetzens der Rohbilder mittels Resampling ist daher besonders sinnvoll. Positiv hierbei wirkt sich zudem aus, dass die Bildaufnahme-positionen der Rohbilder in der Regel nicht um eine ganzzahlige Pixelanzahl zueinander versetzt sind, entsprechende Bildinformationen also, die Rohbilder kumuliert betrachtet, tatsächlich schon mit Subpixelauflösung vorliegen.

[0103] Bei schwer beleuchtbaren Szenen, beispielsweise dunkel Objekten oder schrägen Oberflächen lässt sich eine Verbesserung der Bildqualität, insbesondere der Bildhelligkeit und des Bildkontrastes erzeugen, indem die Beleuchtung in Richtung und Farbe angepasst werden. Dies ist bei geringen Integrationszeiten und damit dunklen Rohbildern von besonderer Bedeutung und trägt dazu bei, noch schneller und noch genauer Messen zu können. Als eine besondere Ausgestaltung sieht die Erfindung vor, bei unbekannten Szenen die Einstrahlrichtung einer Dunkelfeldbeleuchtung zyklisch zu variieren, um insbesondere bei unbekannten Szenen wie Objektoberflächen unterschiedlicher und unbekannter Neigung zu erreichen, dass zumindest einige Bilder mit besonders hoher Qualität vorliegen. Im Vergleich zur Dunkelfeldbeleuchtung aus allen Richtungen gleichzeitig ergibt sich der Vorteil, dass Falschlicht verringert wird. Zudem kann die Beleuchtungsstärke bei Ansteuerung einer eingeschränkten Anzahl von Leuchtelementen der Dunkelfeldbeleuchtung unter Umständen höher gewählt werden.

[0104] Die Erfindung sieht zur Lösung ein Verfahren zur Erzeugung eines Bildes vor, dass vorzugsweise mit zuvor genanntem Verfahren zur Bilderzeugung durch Überlagerung benachbart, mit Überlapp aufgenommener Rohbilder, bei dem die Anzahl der zur Überlagerung herangezogenen Rohbilder für jeden Bildabschnitt, insbesondere jedes Pixel oder jede Grauwertähnliche Pixelgruppe des resultierenden überlagerten Bildes separat festgelegt wird, kombiniert werden kann, vorzugsweise zur Bildverarbeitung und dimensionellen Messung eines Objekts wie Werkstücks, durch Überlagerung von in Lageversatz zueinander mit einer Kamera aufgenommenen Rohbildern, wobei die Kamera vorzugsweise in einem Koordinatenmessgerät mit Messachsen zur Relativbewegung und Lagebestimmung zwischen Objekt und Kamera integriert ist, wobei vorzugsweise die Aufnahme der Rohbilder während einer Relativbewegung erfolgt, und wobei der Lageversatz bevorzugt geringer als die halbe Rohbildgröße in Richtung des Lageversatzes ist, und wobei der Lageversatz bei der Überlagerung der Rohbilder berücksichtigt wird, so dass Bildinformationen wie Grauwerte jeweils einander entsprechende Bereiche des durch die Rohbilder erfassten Objekts überlagert werden, wobei die Überlagerung vorzugsweise mittels Resampling in das Pixelraster des Bildes erfolgt, wobei sich das Verfahren dadurch auszeichnet, dass zur Erhöhung

der Bildqualität, insbesondere des Signal-Rausch-Verhältnisses (SNR) und/oder der Auflösung des Bildes und/oder Erhöhung der Bildaufnahme Frequenz der Kamera

- die Bildgröße der Rohbilder auf einen oder mehrere interessierende Bereiche (AOI-Area of interest) begrenzt wird und/oder
- das durch Resampling erzeugte Bild ein Pixelraster mit höherer Auflösung, also geringerem Pixelabstand, aufweist, als die Rohbilder, insbesondere durch Interpolation wie bilineare Interpolation und/oder
- die Beleuchtung des Objekts mittels Durchlicht und/oder Auflicht, insbesondere Hellfeldauflicht und/oder Dunkelfeldauflicht, bevorzugt Dunkelfeldauflicht mit einstellbarem und vorzugsweise während der Messung änderbarer Verteilung der Einstrahlrichtung, erfolgt, wobei die Beleuchtung bevorzugt farbig wie rot, grün, blau oder violett, besonders bevorzugt in ihrer Farbe einstellbar ist.

[0105] Gegenstand einer selbstständigen Erfindung ist ein weiteres Verfahren zur Bilderzeugung mit einer Kamera, welches bevorzugt mit den zuvor genannten Verfahren zur Bilderzeugung durch Überlagerung benachbart aufgenommenen Rohbilder kombiniert werden kann.

[0106] Nach dem Stand der Technik wird zur Erzeugung von Bildern, insbesondere zur Bildverarbeitung, zumeist das komplette von dem Kamerachip aufgenommene Bild zur Auswertung herangezogen. Um beispielsweise Abbildungsfehler wie Verzerrungen oder Bildfeldwölbungen im Randbereich der eingesetzten Optiken zu vermindern, ist es auch bekannt, nur begrenzte Bereiche (AOI-Area of Interest) der Kamerachipfläche, insbesondere in der Mitte der Kamerafläche, also nahe der optischen Achse der Optik, zur Auswertung heranzuziehen. Entsprechend des zuvor beschriebenen erfindungsgemäßen Verfahrens kann hierbei auch die Kamerafrequenz erhöht werden.

[0107] Bei den bisher bekannten Verfahren zur Bilderzeugung werden AOIs jedoch stets an festen Positionen bezüglich des Kamerachips angeordnet. Allenfalls wird dabei möglicherweise noch berücksichtigt, in welchem Teil des Kamerachips die zu untersuchende Kontur bzw. das zu untersuchende Merkmal eines Objektes angeordnet vorliegt. Es sind jedoch keine Verfahren bekannt, bei denen nicht nur die Lage der zu messenden Konturen bzw. Kanten, sondern auch die diese Kontur bzw. Konturabschnitte umgebenden Flächen bei der Wahl der AOIs zu berücksichtigen. Diese Flächen bzw. deren Flächennormale sind in Bezug auf die optische Achse geneigt, um eine Kante bzw. sichtbare Kontur zu bilden. Sie liegen beispielsweise an Schneidwerkzeugen wie Wälzfräsern, Fräsern, Bohrern oder Reibaalen neben

den Schneiden vor. Im Extremfall einer idealen Kante beträgt die Neigung 90, bei Hinterschnitten auch mehr. Bei den zuvor genannten Werkzeugen treten diese Flächen auch mit unterschiedlicher Neigung bzw. Neigungsverteilung auf, abhängig davon, welche Seite der Kante bzw. Schneide betrachtet wird.

[0108] Dies führt zu der Situation, dass insbesondere bei nicht paralleler Beleuchtung störende Reflexionen an diesen geneigten Flächen auftreten können, die von der Apertur der der Kamera zugeordneten Optik erfasst und somit auf der Kamera abgebildet werden. Ob die Reflexionen von der Apertur erfasst werden, hängt neben der Apertur, der Richtung der Beleuchtung bzw. Richtungsverteilung der Beleuchtung und der Neigung auch von der Lage der entsprechenden Fläche in Bezug auf die optische Achse der Optik ab.

[0109] Diese störenden Reflexionen verfälschen die Ergebnisse der Bildverarbeitung und führen zu Messfehlern.

[0110] Insbesondere beim Einsatz der zuvor genannten Verfahren zur Überlagerung benachbart aufgenommenen Rohbilder ergibt sich durch den kontinuierlichen Lageversatz der Rohbilder zueinander, also die Situation, dass geneigte Flächen, die möglicherweise störende Reflexe erzeugen können, abhängig vom Abstand zur optischen Achse, von der Apertur der Optik erfasst oder nicht erfasst werden. Da die Verfahren auch vorsehen, sämtliche Rohbilder zu überlagern, gehen auch solche Rohbilder in die Überlagerung ein, die Störreflexe enthalten.

[0111] Insbesondere bei schräg verzahnten Werkzeugen wie Wälzfräsern ergeben sich die zuvor genannten geneigten, negativen Einfluss ausübenden Flächen nur an einer Seite des jeweiligen Zahnes bzw. Schneide. Störende Reflexe werden von der Apertur der Optik nur dann erfasst, wenn sich diese Flächen der optischen Achse nähern. Liegen sie im Randbereich, weiter von der optischen Achse entfernt, werden sie von der Apertur nicht erfasst und somit nicht auf den Kamerachip abgebildet.

[0112] Eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht daher darin, bei der Erzeugung eines Bildes, vorzugsweise im Sinne einer Bildverarbeitung, und dimensionellen Messung an einem Objekt, auch dann genau zu messen, wenn störende Reflexionen an vorzugsweise geneigten Flächen durch die Apertur der eingesetzten Optik erfasst und auf der Kamera abgebildet werden.

[0113] Zur Lösung sieht die Erfindung vor, dass das für die Auswertung herangezogene Bild bzw. die mehreren zur Auswertung herangezogenen Rohbilder so eingeschränkt werden, dass durch die verwen-

deten AOIs die zuvor genannten störenden Reflexionen ausgeblendet werden.

[0114] Die Erfindung sieht zudem vor, eine Kombination mit den hier zuvor beschriebenen Verfahren der Bildüberlagerung und insbesondere mit dem in der WO2012/156462A2 der Anmelderin beschriebenen Verfahren der Bildüberlagerung zu realisieren.

[0115] Die Erfindung sieht zur Lösung ein Verfahren zur Erzeugung eines Bildes vor, vorzugsweise zur Bildverarbeitung und dimensionellen Messung eines Objekts wie Werkstücks, mit einer Kamera, wobei die Kamera vorzugsweise in einem Koordinatenmessgerät mit Messachsen zur Relativbewegung und Lagebestimmung zwischen Objekt und Kamera integriert ist, wobei zur Erzeugung des Bildes eines oder mehrere Rohbilder aufgenommen werden, wobei das oder die Rohbilder auf einen oder mehrere interessierende Bereiche (AOI-Area of Interest) begrenzt werden, indem nur die AOIs aus dem Kamerachip ausgelesen werden und/oder zu einer Auswerteeinheit übertragen werden, dass sich dadurch auszeichnet, dass die eine oder mehreren AOIs in dem Bild oder in den Rohbildern jeweils so angeordnet werden, dass zur Beleuchtung des Objekts eingesetztes Licht, insbesondere nicht zur optischen Achse der der Kamera zugeordneten Optik paralleles Durchlicht oder Hellfeldauflicht oder Dunkelfeldauflicht, welches an den Bereichen der Oberfläche des Objekts (Oberflächenbereichen) reflektiert wurde, deren Flächennormale eine vorgegebene Neigung zur optischen Achse der Optik überschreitet, und welches anschließend von der Apertur der Optik erfasst und auf die Kamera abgebildet wird, nicht in dem oder den AOIs enthalten ist.

[0116] Insbesondere zeichnet sich die Erfindung dadurch aus, dass die Apertur der Optik und/oder das Modell des Objekts, wie beispielsweise CAD-Modell, enthaltend zumindest Informationen über die Lage und Neigung zumindest einiger Oberflächenbereiche, und/oder die Richtung bzw. Richtungsverteilung der Beleuchtung und/oder die Position der verschiedenen Oberflächenbereiche des Objekts in Bezug auf die Kamera, insbesondere in Bezug auf die optische Achse, bei der Bestimmung der AOIs berücksichtigt wird, wobei abhängig von der Position der verschiedenen Oberflächenbereiche in Bezug auf die optische Achse die Lage der AOIs bei Aufnahme mehrerer Rohbilder je Rohbild angepasst wird.

[0117] Hierbei ist auch vorgesehen, ein Modell der Abbildung umfassend die Beleuchtung, die Oberflächenbereiche des Objekts in Form des Modells des Objekts und die Apertur der Optik zu bilden, um die Oberflächenbereiche und deren Lage auf dem Kamerachip zu bestimmen, die zu Störreflexen führen, um diese von den AOIs auszunehmen.

[0118] Bevorzugterweise ist vorgesehen, dass Oberflächenbereiche Freiflächen einer Schneide oder Zahn, bevorzugt eines schräg verzahnten Wälzfräasers sind, wobei mit den AOIs zu messende Struktur die Schneidkante eines oder mehrerer Zähne des Wälzfräasers ist.

[0119] Insbesondere zeichnet sich die Erfindung dadurch aus, dass die Messung im Durchlicht erfolgt, wobei bevorzugt nicht ausschließlich paralleles bzw. nicht ausschließlich telezentrisches Licht verwendet wird.

[0120] Es können sich jedoch ebenso entsprechende Störreflexe bei Auflichtbeleuchtung ergeben, so dass die Erfindung auch die Messung im Hellfeld- und/oder Dunkelfeldauflicht vorsieht.

[0121] Gegenstand einer selbstständigen Erfindung ist eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Bestimmung von Oberflächenmesspunkten an einem Objekt mittels eines punktförmig messenden optischen Abstandssensors, insbesondere interferometrischen Abstandssensors.

[0122] Verfahren zur interferometrischen Abstandsmessung mit einer Messsonde sind beispielsweise aus der DE10301607 und der DE1020122127858 bekannt. Diese haben gemeinsam, dass jeweils nur eine Messsonde vorliegt, in der eine Faser geführt wird, deren Messsignal mittels Strahlteiler in die unterschiedlichen Messrichtungen bzw. Messstrahlen aufgeteilt wird. Hierdurch ergeben sich mehrere Nachteile. Zum einen wird die Intensität der Strahlen zu meist aufgrund von Intensität teilenden Teilerschichten aufgeteilt. Hierdurch ergibt sich eine Verschlechterung des Signalrauschverhältnisses. Es ergibt sich zudem der Nachteil, dass sich die mehreren Messstrahlen gegenseitig beeinflussen können, beispielsweise indem sich die Reflexion des jeweils anderen Messstrahls am Objekt oder anderen Grenzschichten wie beispielsweise der Teilerschicht mit dem Referenzstrahl des eigentlichen Messstrahls überlagern und Nebenmaxima entstehen, die keine gültigen Messsignale darstellen. Polarisationsoptische Teile erfordern aufwendige polarisationsoptische Aufbauten und polarisationserhaltende Messfasern. Zum anderen müssen die Messsignale der verschiedenen Messstrahlen nacheinander mittels Multiplexverfahren ausgewertet werden. Hierdurch ergibt sich eine Frequenzbegrenzung und damit eingeschränkte Messgeschwindigkeit sowie ein komplexerer Aufbau.

[0123] Eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht daher darin, einen punktförmig messenden optischen Abstandssensor derart weiterzubilden, dass möglichst störungsfrei und genau die Oberfläche eines Objektes in mehreren Messrichtungen, vorzugsweise gleichzeitig, erfasst wird, insbesondere Oberflächenmesspunkte aufgenommen werden.

[0124] Zur Lösung sieht die Erfindung eine Vorrichtung und ein Verfahren vor, bei dem zwei oder mehrere Messsonden kombiniert werden. Diese werden vorzugsweise in einer gemeinsamen Hülse wie beispielsweise einem Zentrierrohr, geführt. Jede Messsonde beinhaltet dabei eine separate optische Faser zur Übertragung der Messsignale und zur Auskoppung des jeweiligen Messstrahls in die verschiedenen Richtungen. Es ist auch vorgesehen, die Messsonden drehbar auszugestalten.

[0125] Eine erfindungsgemäße Vorrichtung zur Bestimmung von Oberflächenpunkten an einem Objekt mittels eines punktförmig messenden optischen Abstandssensors, insbesondere eines interferenzoptischen Abstandssensors, zeichnet sich dadurch aus, dass der Abstandssensor zumindest zwei vorzugsweise stabförmig ausgebildete, Messsonden aufweist, wobei jede Messsonde ausgebildet ist, einen separaten Messstrahl zu führen und in einer jeweils von den anderen Messstrahlen abweichenden Richtung, vorzugsweise senkrecht zur Stabachse der Messsonde verlaufenden Richtung, abzugeben, wobei die Messsonden vorzugsweise in einer gemeinsamen Hülse wie Zentrierrohr angeordnet sind.

[0126] Insbesondere zeichnet sich die Erfindung dadurch aus, dass jede Messsonde zumindest eine Lichtleitfaser wie Singlemode- oder Multimode-Lichtwellenleiter zur Führung des jeweiligen Messstrahls aufweist.

[0127] Erfindungsgemäß ist des Weiteren vorgesehen, dass jede Messsonde für sich und unabhängig von der Hülse oder die Messsonden gemeinsam, vorzugsweise zusammen mit der Hülse, um die Stabachse drehbar ausgestaltet sind.

[0128] Bevorzugterweise ist vorgesehen, dass jede Messsonde mit einer separaten Auswerteeinheit verbunden ist oder mehrere Messsonden über einen Umschalter mit einer gemeinsamen Auswerteeinheit verbunden sind.

[0129] Die Erfindung sieht zur Lösung auch ein Verfahren zum Betreiben einer zuvor genannten Vorrichtung vor, dass sich dadurch auszeichnet, dass zur Bestimmung der Oberflächenpunkte des Objektes die Messsignale der mehreren Auswerteeinheiten verarbeitet werden oder die eine Auswerteeinheit mittels Mux-Verfahren betrieben wird.

[0130] Weitere Einzelheiten, Vorteile und Merkmale der Erfindung ergeben sich nicht nur aus den Ansprüchen, den diesen zu entnehmenden Merkmalen – für sich und/oder in Kombination – sondern auch aus der nachfolgenden Beschreibung der Figuren.

[0131] Es zeigen:

[0132] Fig. 1 eine Prinzipdarstellung einer erfindungsgemäßen Vorrichtung und der Anordnung der Messstrahlen in Bezug auf die Scanrichtung nach dem Stand der Technik,

[0133] Fig. 2 eine Prinzipdarstellung der Anordnung der Messstrahlen in Bezug auf die Scanrichtung in einer ersten erfindungsgemäßen Ausgestaltung,

[0134] Fig. 3 eine Prinzipdarstellung der Anordnung der Messstrahlen in Bezug auf die Scanrichtung in einer zweiten erfindungsgemäßen Ausgestaltung,

[0135] Fig. 4 eine Prinzipdarstellung der Messsignale bei Verwendung der Anordnung der Messstrahlen in Bezug auf die Scanrichtung entsprechend Fig. 3,

[0136] Fig. 5 eine Prinzipdarstellung einer erfindungsgemäßen Vorrichtung und der Anordnung der Messstrahlen in Bezug auf die Scanrichtung in einer dritten erfindungsgemäßen Ausgestaltung,

[0137] Fig. 6 eine Prinzipdarstellung eines konfokalen Abstandssensors nach dem Stand der Technik,

[0138] Fig. 7 eine Prinzipdarstellung eines erfindungsgemäßen Abstandssensor,

[0139] Fig. 8 eine Prinzipdarstellung einer Sequenz des erfindungsgemäßen optischen Elements des erfindungsgemäßen Abstandssensor,

[0140] Fig. 9 eine erste Prinzipdarstellung einer erfindungsgemäßen Vorrichtung für ein Koordinatenmessgerät mit in zwei Achsen beweglichem Messstisch und verschiebbarer Wechselstation,

[0141] Fig. 10 eine zweite Prinzipdarstellung einer erfindungsgemäßen Vorrichtung für ein Koordinatenmessgerät mit in zwei Achsen beweglichem Messstisch und drehbarer Wechselstation,

[0142] Fig. 11 eine Prinzipdarstellung eines Ausschnitts eines Wälzfräasers und den darauf gemessenen Bahnen auf der Freifläche sowie der gemessenen Schneiden,

[0143] Fig. 12 eine Prinzipdarstellung des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Anordnung einer oder mehrerer interessierender Bereiche (AOI-Area of Interest) auf einem Kamerachip,

[0144] Fig. 13 eine Prinzipdarstellung der erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Bestimmung von Oberflächenpunkten an einem Objekt mittels eines punktförmig messenden Abstandssensors mit mehreren Messsonden.

[0145] Die Fig. 1a zeigt einen erfindungsgemäßen optischen Abstandssensor 1, umfassend mehrere

Messkanäle **4 (4a, 4b, 4c, 4d)**, denen die Messstrahlen **3 (3a, 3b, 3c, 3d)** zugeordnet sind. Die Messstrahlen gehen aus von einer nicht näher detaillierten Lichtquelle **5**, beispielsweise von dem Austritt aus einem Faserbündel oder nach der Durchdringung kollimierter Strahlung durch eine Lochblendenanordnung oder ähnliches, und werden mittels der Umlenkeinrichtung **6**, beispielsweise eines Umlenkspiegels oder Pellicles, und durch die Optik **7**, welche zumindest das Frontobjektiv **19** umfasst, auf das Werkstück **2** umgelenkt. Nach der Reflektion am Werkstück **2** durchlaufen die Messstrahlen **3** erneut die Optik **7** und werden mittels optischer Fasern **8**, welche beispielsweise durch ein Faserbündel **9** gebildet werden, auf die Matrixkamera, wie CCD- oder CMOS-Kamera, **10** geleitet. Auf der Matrixkamera **10** sind den einzelnen Messfasern **8** Bereiche wie beispielsweise Zeilen oder Spalten **4a bis 4d** zur Auswertung des Spektrums zugeordnet, die die Messkanäle **4** bilden und entsprechende Messsignale zur weiteren Auswertung zur Verfügung stellen. Bei der Lichtquelle **5** handelt es sich um eine Weißlichtquelle, die breitbandiges Licht abstrahlt. Die Optik **7** umfasst zumindest eine chromatische Baugruppe, die einen gezielten Farblängsfehler (chromatischer Aberration) einbringt. Vorzugsweise wird die chromatische Baugruppe durch die Frontoptik **19** gebildet, welche besonders bevorzugt als Asphäre ausgebildet ist. Die Messrichtung der Messstrahlen **3** bzw. die Ausbreitungsrichtung der Messstrahlen **3** wird werkstückseitig durch den Pfeil **12** dargestellt.

[0146] In der **Fig. 1b** sind die Messstrahlen **3a bis 3d** aus **Fig. 1a** in der Ansicht von oben dargestellt. Sie befinden sich mit dem konstanten ersten Abstand **a** versetzt zueinander entlang der Linie **11** und bilden die ersten Messstrahlen. Durch den Pfeil **13** wird die Bewegungsrichtung des Werkstücks **2** zum Abstandsensor **1** beim Scannen verdeutlicht. Hierdurch ergibt sich für die mit den Messstrahlen **3** aufgenommenen Messpunkte (Oberflächenmesspunkte) an der Werkstückoberfläche der laterale, erste Abstand **a**.

[0147] In der **Fig. 2** sind Bewegungsrichtung **13** und Messstrahlen **3**, also Abstandsensor **1**, zueinander verdreht, im Beispiel um ca. 45° um die Messrichtung **12** (hier senkrecht zur Zeichnungsebene verlaufend), wodurch sich beim Scannen in die Bewegungsrichtung **13** der verringerte laterale, zweite Abstand **b** für die laterale Auflösung der Oberflächenmesspunkte auf dem Werkstück **2** ergibt.

[0148] Beispielhaft sind den **Fig. 1** und **Fig. 2** nur **Fig. 4** Messstrahlen, **3a bis 3d**, dargestellt. Abhängig von der Anzahl der Zeilen der Kamera **10** sind auch mehrere **100** oder sogar wenige **1000** Messkanäle vorgesehen. Beispielhaft ist auch die Verdrehung der Messstrahlen **3** zur Bewegungsrichtung **13** um 45° . Durch weitere Vergrößerung dieses Drehwinkels ist der zweite Abstand **b** auf deutlich kleinere Werte und

damit besonders hohe laterale Auflösungen einstellbar.

[0149] **Fig. 3** zeigt eine weitere erfindungsgemäße Ausgestaltung, bei der neben den ersten Messstrahlen **3a bis 3d** entlang der ersten Linie **11**, zusätzlich die zweiten Messstrahlen **14 (14a bis 14e)** entlang der zweiten Linie **15** angeordnet sind, wobei die Messstrahlen **14a, 14b, 14d** und **14e** hier als Hilfsstrahlen für eine Korrektur dienen und der Messstrahl **14c** als Messkanal dient oder dienen kann, da er gleichzeitig auch auf der Linie **11** liegt. Die zweite Linie **15** ist dabei parallel zur Bewegungsrichtung **13** ausgerichtet, wodurch die Werkstückoberfläche bei der Bewegung in der Bewegungsrichtung **13** durch die Messkanäle bzw. Messstrahlen **14a bis 14e** redundant erfasst bzw. abgetastet wird, lediglich zeitlich versetzt, abhängig von der vorliegenden Scangeschwindigkeit. Hierdurch kann beim Vorliegen einer Positionierabweichung **16** auf zumindest einen der redundanten Werte zurückgegriffen werden, der von der Positionierabweichung **16** nicht betroffen sind und eine Korrektur der Messsignale der Kanäle **3** erfolgen, wobei sich die Korrektur aus der Differenz des Messsignals für den Messkanal **14c** mit der Positionierabweichung **16** und ohne die Positionierabweichung **16**, gewonnen aus zumindest einem der zuvor genannten redundanten Messkanäle, ergibt. Allgemein werden die Positionierabweichungen bei der Bewegung in der Bewegungsrichtung **13** in der Koordinate der Messrichtung **12** durch alle Messkanäle **14 (14a bis 14e)** gleichermaßen erfasst, wodurch der eigentliche Verlauf der Oberfläche von Abweichungen bei der Bewegung in der Koordinate der Messrichtung **12** getrennt werden können.

[0150] **Fig. 4** zeigt hierzu die Messsignale der Kanäle **14b, 14c** und **14d** (in der Figur zur besseren Erkennbarkeit in Richtung der Achse **12** um den Betrag **c** versetzt eingezeichnet) mit einer beispielhaften Positionierabweichung **16** in der Messrichtung **12**, welche zu dem Zeitpunkt **t** vorgelegen hat, bei dem mit dem Messkanal bzw. Messstrahl **14c** in der Bewegungsrichtung **13** der Oberflächenpunkt **P1** aufgenommen wurde. Dadurch sind die Messwerte für diesen Oberflächenpunkt **P1** und gegebenenfalls den diesen umgebenden Bereich verfälscht. Ebenso sind die gleichzeitig mit den Messstrahlen **3** erfassten Messsignale um dieselbe Positionierabweichung **16** verfälscht, da sich diese auf derselben Linie **11** befinden. Um die Messsignale der Messstrahlen bzw. Messkanäle **3** zu korrigieren, muss die Positionierabweichung **16** bestimmt werden. Hierzu wird der Messwert ohne Messabweichung für den Punkt **P1** aus den redundanten Messsignalen der Messkanäle **14d** und/oder **14b** verwendet. Die Differenz **18** (unter Berücksichtigung des nur in der Darstellung eingeführten Versatzes **c** ergeben die beiden Pfeile **18** den gleiche Korrekturbetrag) zum Messwert für **P1** mit Positionierabweichung **16** aus dem

Messkanal **14c** ergibt die Korrektur für die Messkanäle **3** auf der Linie **11**, und natürlich auch die Korrektur für P1 des ggf. auch als Messsignal verwendbaren Messkanals **14c**. Die Erkennung, ob eine Positionierabweichung vorliegt, kann beispielsweise durch Vergleich des Messsignals des Messkanals **14c** mit dem jeweils richtigen Abstandswert aus allen Messkanälen **14** erfolgen. Der als richtig geltende Abstandswert kann beispielsweise aus dem Median aller Messkanäle ermittelt werden, insofern die Anzahl der richtigen, also ungestörten, Abstandswerte größer als die der gestörten ist, wovon jedoch meist auszugehen ist. Anderenfalls würde eine sehr stark gestörte Messung vorliegen. Dies kann beispielsweise erkannt werden, indem das Histogramm der zugeordneten Abstandswerte beurteilt wird. Eine Alternative zur Bestimmung des richtigen Abstandswertes besteht darin, den am häufigsten Auftretenden Abstandswert zu verwenden. Hierzu wird die Anzahl gleicher oder nahezu gleicher Werte, die sich also in einem zuvor definierten, schmalen Bereich befinden dürfen, bestimmt. Auch hier schlägt das Verfahren nur dann fehl, wenn mehr falsche als richtige Abstandswerte vorliegen. Unterscheidet sich das Messsignals des Messkanals **14c** deutlich, also mehr als ein vordefinierter Betrag, vom richtigen Wert, lag eine Positionierabweichung vor und diese ist zu korrigieren. Die Korrektur kann dann beispielsweise durch Differenzbildung zu dem richtigen Wert, zum Median, zum häufigsten Wert bzw. dem Mittelwert der entsprechenden Werte innerhalb des schmalen Bereiches, oder zum Mittelwert aus allen Messsignalen der Kanäle **14**, die nicht von der Positionierabweichung betroffen waren, also z. B. nahe dem Median liegen, erfolgen.

[0151] In der **Fig. 5** ist eine weitere erfindungsgemäße beispielhafte Anordnung mehrerer Messkanäle **17** in beliebiger Anordnung, beispielsweise um einen Zentralstrahl **17a** verteilter Anordnung dargestellt. Durch das Faserbündel **9** werden die Messkanäle auf die Kamera **10** bzw. deren Zeilen bzw. Spalten **4** gelenkt, wobei eine freie Zuordnung zwischen den Messkanälen **17** und den Zeilen bzw. Spalten **4** möglich ist. Die Zuordnung wird bei der Inbetriebnahme des Sensors eingemessen. Gleiches in Bezug auf Zuordnung und Einmessen gilt für die verschiedenen Messkanäle der Vorrichtung nach **Fig. 3**. Ebenso ist vorgesehen, jedoch nicht dargestellt, zwischen Lichtquelle **5** und Optik **7** eine Übertragung des Messlichts über Fasern **8** bzw. Faserbündel **9** zu realisieren, wie dies zwischen Optik **7** und Kamera **10** erfolgt. Hierdurch können der die Optik **7** enthaltende Messkopf und die Lichtquelle **5** flexibel räumlich getrennt angeordnet werden. Gleiches gilt für die Vorrichtung nach **Fig. 1** bzw. **Fig. 1a**.

[0152] Die erfindungsgemäße Lehre betreffend die Kombination eines Bildverarbeitungssensors und des erfindungsgemäßen chromatischen Sensors ist dem

oberen Teil der **Fig. 1** ebenfalls zu entnehmen. Das Frontobjektiv **19** wird gemeinsam von dem chromatischen Sensor **1** und einem nicht dargestellten Bildverarbeitungssensor verwendet. Die Einspiegelung des Strahlengangs des Bildverarbeitungssensors ist mittels eines weiteren Teilers, wie dies durch den Teiler **6** realisiert wird, im Bereich der Optik **7** realisiert, wobei dieser zusätzliche Teiler nicht dargestellt ist. Bei der Optik **7** kann es sich dabei bevorzugt um eine Zoomoptik und besonders bevorzugt um eine Zoomoptik mit unabhängig voneinander einstellbarem Arbeitsabstand und Abbildungsmaßstab handeln. Damit die mehreren Messstrahlen **3a** bis **3d** für die chromatische Messung verwendet werden können, muss das die chromatische Aberration einbringende Bauteil der Optik **7**, beispielsweise das Frontobjektiv **19**, welches bevorzugt als Asphäre ausgebildet ist, im entsprechend von den Messstrahlen **3a** bis **3d** durchdrungenen Bereich eine gleichmäßige chromatische Aberration aufweisen. Hierzu ist vorgesehen, dass dieser Bereich frei von sphärischen Aberrationen gefertigt wird.

[0153] In der **Fig. 6** wird ein konfokaler Abstandssensor **120** nach dem Stand der Technik vereinfacht dargestellt, bestehend aus Lichtquelle **121**, Abbildungsoptik **125**, optischer Teiler **123**, Pinhole-Array (Nipkow-Scheibe) **124** und Detektor (CCD- oder CMOS-Flächenkamera) **126**. Das von der Lichtquelle **121** wie LED, Laserdiode oder ähnlichem abgegebene Licht wird durch den Teil **125a** der Abbildungsoptik **125** fokussiert, wobei die Fokusebene **122** nach einem Teiler **123** liegt, an dem das Licht in Richtung des zu messenden Objektes bzw. Werkstücks reflektiert wird. In der Fokusebene **122** ist die Nipkow-Scheibe **124** angeordnet, welche drehbar ist und mehrere Durchgangslöcher (Pinholes) **124a** aufweist, die derart auf der Scheibe verteilt sind, dass bei Drehung der Scheibe die Oberfläche des Werkstücks **127** abgerastert wird. Nachdem das Licht die Nipkow-Scheibe **124** passiert hat, wird es mit dem Teil **125b** der Abbildungsoptik **125** in eine Fokusebene in Richtung auf das Werkstück zu (werkstückseitige Fokusebene) fokussiert und am Werkstück reflektiert bzw. gestreut. Das vom Werkstück **127** zurück kommende Licht durchläuft erneut die Abbildungsoptik **125a** und die Nipkow-Scheibe **124**. Dabei können nur die Anteile des Lichts durch die Nipkow-Scheibe **124** hindurch treten, für die die Reflexion bzw. Streuung am Werkstück in der werkstückseitigen Fokusebene erfolgte, für die der entsprechende Bereich der Werkstückoberfläche also in der Fokusebene lag. Das Licht trifft dann erneut auf den Teiler **123** und der durchgelassene Anteil wird mittels der Abbildungsoptik **125c** auf den Detektor **126** abgebildet. Der Detektor **126** weist eine Vielzahl von lichtempfindlichen Elementen (Pixel) auf, mit denen die Lichtintensitäten für die einzelnen durch die Löcher des Pinhole-Array fallenden Strahlenbündel bestimmt werden. Es können mehrere Strahlenbündel gleichzeitig auf räumlich getrennte

und sich damit nicht überlagernde Pixelbereiche des Detektors **126** abgebildet und ausgewertet werden. Hierzu sind die Löcher **124a** im Pinhole-Array entsprechend angeordnet. Durch Bewegung von Sensorkopf **120** und Werkstück **127** relativ zueinander in Richtung des Pfeiles **128**, also in Abstandsmessrichtung, wird die Werkstückoberfläche durch die werkstückseitige Fokusebene hindurchbewegt. Dabei entsteht für jeden Oberflächenbereich, der jeweils einem Pinhole **124a** zugeordnet ist, eine Fokuskurve (Intensitätskurve). Die Auswertung der Fokuskurven führt zum gesuchten Abstandswert, insbesondere durch Ermittlung des Ortes in Richtung des Doppelpfeiles **128** für den die Intensität für den jeweiligen Oberflächenbereich maximal ist.

[0154] Die Bewegung in Richtung des Pfeiles **128**, die Bildaufnahme mit der Kamera **126** und die Drehung der Nipkow-Scheibe **124** müssen reglungstechnisch aufwändig aufeinander abgestimmt werden. Um hohe Messfrequenzen zu erreichen, muss eine schnelle Drehung der Nipkow-Scheibe **124** realisiert werden, wodurch Ungenauigkeiten entstehen.

[0155] Alternativ zur Intensitätsauswertung entsprechend des zuvor beschriebenen konfokalen Verfahrens kann auch der Kontrast ausgewertet werden. In Ausgestaltung bleibt die Nipkow-Scheibe **124** dabei unbewegt oder wird aus dem Strahlengang des Lichts entfernt. Bei Verwendung der unbewegten Nipkow-Scheibe **124** im Strahlengang wird eine Telezentrielle realisiert.

[0156] Die **Fig. 7** zeigt eine vereinfachte Prinzipdarstellung der erfindungsgemäß weiterentwickelten Vorrichtung **130**. An der Stelle des Pinhole-Arrays **124** ist nun das flächig ausgeprägtes, mehrere Pixel aufweisendes optisches Element **100** angeordnet, welches eine Vielzahl von Bereichen (Pixel) **110**, **111** aufweist, die unabhängig voneinander elektrisch bzw. elektronisch ansteuerbar zwischen einem opaken und einem transparenten Zustand umschaltbar sind. Anstelle der Drehung der Nipkow-Scheibe **124**, um ein bestimmtes Pinhole **124a** an einer bestimmten Stelle im Strahlengang des Lichts zu erzeugen, wird der gewünschte Bereich **124b** (eines oder mehrere benachbarte Pixel) des optischen Elements **100** vom opaken in den transparenten Zustand geschaltet und nach der Bildaufnahme durch die Kamera **126** wieder zurück in den opaken Zustand versetzt. Dieses umschalten wird elektronisch ausgeführt und ist damit sehr schnell realisierbar. Zudem eröffnet sich die Möglichkeit, den Durchmesser des jeweils benötigten Pinholes **124b** variabel einzustellen. Damit ist eine Anpassung an die gewünschte Tiefenauflösung möglich.

[0157] Sollen nacheinander der Abstand mehrerer Oberflächenbereiche gemessen werden, also Messpunkte auf der Werkstückoberfläche erfasst wer-

den, müssen nacheinander unterschiedliche Bereiche durch entsprechende Pinholes **124a**, **124b** beleuchtet und erfasst werden. Um möglichst schnell zu messen, können mehrere Pinholes **124a**, **124b**, die zueinander beabstandeten Bereichen auf der Werkstückoberfläche zugeordnet sind, eingesetzt werden. Das von den unterschiedlichen Werkstückbereichen stammende Licht darf sich aber auf dem Detektor **126** nicht überlagern, um Messabweichungen zu vermeiden. **Fig. 8** zeigt hierzu eine Sequenz (**Fig. 8a**, **Fig. 8b**, **Fig. 8c**, **Fig. 8d**) in der nacheinander jeweils verschiedene Bereiche **111** in Form eines regelmäßigen Musters in den transparenten Zustand geschaltet werden, wodurch der gesamte durch die Abbildungsoptik **125** erfasste bzw. genauer der gesamte vom verwendeten optischen Element **100** beleuchtete Bereich der Werkstückoberfläche gemessen wird. Das Muster wird dabei stückweise in der Fokusebene verschoben, wobei das optische Element **100** selbst fest angeordnet wird. Es werden also nur die in die jeweiligen Zustände opak bzw. transparent geschalteten Bereiche **110**, **111** variiert. Die Beabstandung erfolgt durch die in den opaken Zustand geschalteten Bereiche **110**. Die Bereiche **111** und **110** können einzelne Pixel oder ein Gruppe benachbarter Pixel sein und die Beabstandung sowie die Größe der transparenten Bereiche bzw. die Pinhol-Durchmesser müssen an die gesamte Abbildung mit der Abbildungsoptik **125** angepasst sein. Die bekannten Nipkow-Scheiben **124** werden dazu mit entsprechend fest angeordneten Pinholes **124a** festen Durchmessers für eine feste optische Abbildung optimiert ausgerüstet, und die Sequenz wird durch die Drehung der Nipkow-Scheibe **124** realisiert. Wird jedoch ein Zoomobjektiv (hier nicht dargestellt) als die Abbildungsoptik **125** eingesetzt oder soll die laterale oder Tiefenauflösung verändert werden, ist es nach dem Stand der Technik nicht möglich, Lage und Durchmesser der Pinholes **124a** anzupassen. Durch die Verwendung des erfindungsgemäßen optischen Elements **100** können die Pinholes **124b** aber in Lage, Anzahl und Durchmesser, also das Muster, frei angepasst werden. Es ist damit beispielsweise eine Anpassung auf das jeweils vorliegende laterale Auflösungsvermögen der Abbildungsoptik **125** möglich, indem der Abstand der Pinholes **124b**, **111** eingestellt wird und auf die Tiefenauflösung, bedingt durch die Apertur der Abbildungsoptik **125**, indem der Durchmesser der Pinholes **124b**, **111** entsprechend eingestellt wird.

[0158] Beim Einsatz einer Zoomoptik als die Abbildungsoptik **125** verändert sich bei Veränderung der Zoomstufe unter Umständen auch die Lage der Fokusebene, in der die Nipkow-Scheibe **124** bzw. das optische Element **100** angeordnet sein muss. Zur Anpassung ist vorgesehen, das optische Element **100** in Richtung des Pfeiles **131** durch einen Antrieb beweglich auszuführen und entsprechend in die veränderte Fokusebene (Konfokalebene) beim Zoomstufenwechsel zu bewegen. Die beiden Bewegungs-

richtungen senkrecht zum Pfeil **131** können zusätzlich oder alternativ ebenso vorgesehen sein, um eine möglicherweise anzupassende Position des optischen Elements **100** zu ermöglichen, beispielsweise dieses aus dem Strahlengang automatisch zu entfernen. Auch wird es dadurch möglich, die Lage des optischen Elements **100**, insbesondere der Pixel wie Bereiche **110**, **111** auf die Lage der Pixel des Detektors **126** anzupassen bzw. auszurichten. Nicht dargestellt aber ebenso vorgesehen sind Mittel zur Kippung des optischen Elements **100**, genauer gesagt dessen Flächennormale um die optische Achse, die in der Figur vertikal verläuft. Durch leichte Kippung werden Rückreflexionen vermieden. Ebenso ist der wirksame Durchmesser der Öffnungen **111** durch Kippung, insbesondere im Subpixelbereich, beeinflussbar.

[0159] Anhand der Fig. 9 wird ein Koordinatenmessgerät **201** gezeigt, welches einen Messtisch **205** aufweist, der die Messachsen **206** zur Bewegung in eine X-Richtung und Messachse **207** zur Bewegung in eine Y-Richtung aufweist. Zudem umfasst das Koordinatenmessgerät **201** eine Pinole **204**, an der beispielsweise ein Sensor **203** angebracht ist. Die Pinole **204** ist in der Z-Richtung senkrecht zu den Messachsen **206** und **207**, also senkrecht zur Zeichenebene, verdeutlicht durch die Messachse **208**, verschiebbar. Vom Messtisch **205** geht eine Adapterplatte **220** aus, an der eine Führung **221** angebracht ist, die zur Bewegung der Wechselstation **202** in Richtung des Pfeiles **206**, also der X-Achse, ausgebildet ist. In einer zweiten Position **209** befindet sich die Wechselstation **202**, insbesondere die beiden Bereiche **202a** und **202b**, außerhalb des Bereiches, in dem ein Sensor **203** in der Wechselstation **202** abgelegt werden kann. Zur Fixierung dieser zweiten Position ist der Endanschlag **212** vorgesehen, der beispielsweise magnetisch ist. Durch Bewegen des Messtisches **205** mittels der Messachsen **206** und **207** derart, dass die Pinole **204** die Position **204'** in Bezug auf den Messtisch **205** einnimmt, ist eine Kopplung in Form eines Formschlusses zwischen den Teilen **211** des Einrastmechanismus, welcher in Teilen von der Pinole **204** und von der Wechselstation **202** ausgeht, bei Bewegung in Richtung des Pfeiles **206** gegeben, sodass durch Bewegen des Messtisches **205** in Richtung des Pfeiles **206** die Wechselstation in Richtung des Pfeiles **6** zur Position **210a** mitbewegt wird. In dieser ersten Position **210a** der Wechselstation **202** sind nun Sensoren **203** mittels der Pinole **204** im Bereich **202a** der Wechselstation **202** ablegbar bzw. aus dieser aufnehmbar.

[0160] Durch weiteres Bewegen des Messtisches **205** mittels der Messachsen **206** und **207** derart, dass die Pinole **204** erneut die Position **204'** in Bezug auf den Messtisch **205** einnimmt, ist nun aber an einer weiteren Koppelstelle ein Formschluss zwischen den Teilen **211b** des Einrastmechanismus, welcher in Teilen von der Pinole **204** und von der Wechselstation

202 ausgeht, bei Bewegung in Richtung des Pfeiles **206** gegeben, sodass durch Bewegen des Messtisches **205** in Richtung des Pfeiles **206** die Wechselstation in Richtung des Pfeiles **206** zur Position **210b** mitbewegt wird, bevorzugt bis zum Anschlag **213**, der bevorzugt ebenso magnetisch ausgeführt ist. In dieser weiteren Position **210b** der Wechselstation **202** sind nun Sensoren **203** mittels der Pinole **204** im Bereich **202b** der Wechselstation **202** ablegbar bzw. aus dieser aufnehmbar.

[0161] Weitere Positionen **210b** in Richtung des Pfeiles **206** versetzt sind ebenso vorgesehen, wobei entsprechend weitere Teile **211b** entsprechend in Richtung des Pfeiles **206** versetzt an der Wechselvorrichtung **202** angebracht sind, um nacheinander die Bewegung der Wechselstation **202** in Richtung des Pfeiles **206** zu realisieren.

[0162] Auch ist vorgesehen, die Wechselstation **202** in Richtung des Pfeiles **207**, also in Y-Richtung verschiebbar auszugestalten. Dadurch sind mehrere Bereiche **202a**, **202b** in Y-Richtung versetzt oder in X- und in Y-Richtung versetzt für den Sensorwechsel positionierbar. Die Teile **211**, **211b** des Einrastmechanismus erlauben die entsprechende Bewegung in Y-Richtung, wenn diese an der zur Y-Richtung parallelen, dem Messtisch **205** zugewandten Seite angeordnet werden. Zudem sind entsprechende Führungen für die Bewegung in Y-Richtung zusätzlich vorgesehen.

[0163] Fig. 10 zeigt eine weitere Ausgestaltung der Wechselstation **202** für das Koordinatenmessgerät **201**, wobei der die mehreren Bereiche **202a**, **202b** enthaltende Teil Wechselstation **202** drehbar entlang ausgestaltet ist, verdeutlicht durch den Pfeil **230**. Hierdurch können nacheinander der Bereich **202a** oder die Bereiche **202b** in die entsprechende Stellung gebracht werden, in der ein Sensorwechsel möglich ist. In der Fig. 10 ist die Stellung **210a** eingenommen, in der der Bereich **202a** für den Sensorwechsel erreichbar ist. Wird durch Drehung die Stellung **210b** eingenommen, wobei sich der Pfeil **210b** an die Stelle des Pfeiles **210a** dreht, ist der Bereich **202b** für den Sensorwechsel zugänglich.

[0164] Für die Drehung weist die Wechselstation **202** einen separaten Antrieb auf. Alternativ ist erfindungstechnisch vorgesehen, wiederum die Bewegung der Messachsen **206**, **207**, **208** vorzusehen, wobei am Umfang der Wechselstation **202** verteilt Teile **211**, **211b** des Einrastmechanismus vorgesehen sind.

[0165] Auch sieht die Erfindung vor, dass der in Fig. 9 gezeigt Mechanismus zum Herausbewegen der Wechselstation **202** aus dem Messbereich mit der drehbaren Wechselstation der Fig. 10 kombiniert wird.

[0166] Fig. 11 zeigt das erfindungsgemäße Verfahren zur Bestimmung des Verschleißes am Beispiel eines Fräasers **300**. Die Schneiden bzw. Schneidkanten **301** befinden sich hierbei an der Vorderseite der mehreren Zähne **302**. Die Zähne **302** befinden sich entlang mehrerer Zahnreihen (Stollen) am Umfang des Fräasers **300** verteilt, wobei sich zwischen den Zahnreihen die Nuten **309**, **310** usw. befinden. Die Nuten **309** und **310** sind hier beispielhaft gerade, also in Richtung der Werkzeugachse **303** des Fräasers ausgerichtet. Das Verfahren ist jedoch nicht auf gerade verzahnte Werkzeuge bzw. Fräser beschränkt, sondern auch anwendbar bei gedrahten Werkzeugen, bei denen die Nuten **309** und **310** helixförmig um die Werkzeugachse **303** vorliegen.

[0167] Beispielhaft werden in der Fig. 11 jeweils zwei Zähne **302a-1**, **302a-2**, **302b-1**, **302b-2** an zwei Zahnreihen dargestellt. Auf der Vorderseite der Zähne befindet sich die Spanfläche **304**, senkrecht in Richtung des Pfeils **312** hinter der Schneidkante **301a-1** befindet sich die Freifläche **305**. Anhand des Zahns **302a-2** ist der Verschleißbereich **311** beispielhaft gekennzeichnet. Der Verschleiß tritt dabei nicht nur am Zahnkopf bzw. im Bereich der Protuberanzen auf, sondern kann ebenso im Bereich der gesamten Schneide bzw. des gesamten Zahns vorliegen, insbesondere also auch im Zahnfuß und den Zahnflanken. Typischerweise nimmt der Verschleiß in Richtung des Pfeils **312**, also mit dem Abstand zur Schneide **301a-2** ab. Dies bedeutet, dass die Abweichungen ins Materialinnere des Fräasers **300** in Richtung des Pfeils **312** abnehmen. Um zu beurteilen, in welchem Abstand zur Schneide **301a-1** in Richtung des Pfeils **312** der Verschleiß das maximal zulässige Maß unterschreitet, was den Bereich (Abschleifmaß **308**) definiert, in dem ein Nachschleifen erforderlich ist, werden die Scanbahnen **306-1**, **306-2**, **306-3** in Richtung des Pfeils **312** zur Schneidkante **301a-1** versetzt, also von der Spanfläche **304** in Richtung der Freifläche **305** versetzt, aufgenommen. Dies erfolgt vorzugsweise mit einem nicht dargestellten taktilen Sensor oder einem optischen Abstandssensor. Erfindungsgemäß wird eine erste Scanbahn **306-1** im Abstand **307** des maximalen Abschleifmaßes aufgenommen, es können jedoch auch mehrere Scanbahnen gleichzeitig mit einem entsprechend ausgeführten linienhaft oder matrixförmig messenden Sensor erfasst werden. Das maximale Abschleifmaß **307** wird vom Hersteller vorgegeben und bezeichnet die Tiefe, also den Abstand zur Schneidkante **301a-1**, in dem maximal noch ein Verschleiß erwartet wird. In der beispielhaften Darstellung der Fig. 11 betragen die Abweichungen zum Sollmaß entlang der ersten Scanbahn **306-1** weniger als die maximal zulässige Abweichung. Dies bedeutet, dass ein Nachschleifen bis in die Tiefe des maximalen Abschleifmaßes **307** nicht notwendig ist. Im nächsten Schritt wird deshalb eine zweite Scanbahn **306-2** aufgenommen, welche in verringertem Abstand zur Schneidkante **301a-1**

aufgenommen wird, vorzugsweise in halber Tiefe entlang des Pfeils **312** in Bezug auf die erste Scanbahn **306-1**. Beispielhaft sei hier der Fall vorliegend, dass die Abweichungen entlang der Scanbahnen **306-2** nun größer als die maximal zulässige Abweichung ist. Dies bedeutet, dass das Abschleifen in einer größeren Tiefe als die Lage der Scanbahn **306-2** erfolgen muss, also ein größeres Abschleifmaß **308** verwendet werden muss. Im nächsten Schritt wird daher die Scanbahn **306-3** aufgenommen, welche in einer Tiefe entlang des Pfeils **312** aufgenommen wird, die zwischen der Tiefe der Scanbahn **306-1** und **306-2** liegt, vorzugsweise mittig zwischen diesen beiden. Ist bekannt, dass der Verschleiß nichtlinear vorliegt, sind entsprechend geänderte Versätze vorgesehen, um mit möglichst wenigen Scanbahnen die Abbruchbedingung zu erreichen. Die Abweichungen entlang der Scanbahn **306-3** sind beispielhaft hier nun im zulässigen Bereich um die maximal zulässige Abweichung, wodurch ein Abbruchkriterium erreicht wurde und die Messung beendet wird. Der Abstand der Scanbahn **306-2** in Richtung des Pfeils **312** von der Schneidkante **301a-1** dient als das ermittelte Abschleifmaß **308**. Dieses wird zur Berechnung der Tiefe herangezogen, bis zu der ein Nachschleifen des Werkzeugs nachfolgend erfolgt. Hierbei wird gegebenenfalls die Messunsicherheit bei der Erfassung des Verschleißes berücksichtigt und als Aufmaß eingesetzt. Zudem werden auch Fertigungsunsicherheiten beim Nachschleifen des Werkzeugs berücksichtigt.

[0168] Die zuvor beschriebene Vorgehensweise zur Aufnahme der Scanbahnen **306** wird für weitere Zähne **302** jeweils wiederholt. Erfindungsgemäß ist auch vorgesehen, diejenigen Zähne **302** vorab durch eine optische Messung mittels Bildverarbeitung zu bestimmen, bei denen ein zu untersuchender Verschleiß **311** überhaupt vorliegt. Hierzu ist vorgesehen, dass sämtliche zu untersuchenden Zähne **302** im Bereich ihrer Schneidkanten **301** zuvor mit einem Bildverarbeitungssensor im Durchlicht gemessen werden. Hierzu ist erfindungsgemäß vorgesehen, mehrere Bilder in veränderter Relativlage zwischen dem nicht dargestellten Bildverarbeitungssensor und dem Fräser **300** so aufzunehmen, dass die Schneidkanten **301** stückweise oder während einer kontinuierlichen Bewegung abgerastert, also vollständig erfasst werden. Aus den Verläufen der Konturen der Schneidkanten und dem Vergleich der Sollkontur der Schneidkanten können die Verschleißbereiche **311** für die Schneiden **301** jedes Zahnes **302** bestimmt und untersucht werden. Die hierbei ermittelte Ausbruchfläche **320** bzw. das Ausbruchmaß **330** werden hierzu beurteilt und die Zähne entsprechend absteigender Reihenfolge der Fläche **320** bzw. des Maßes **330** sortiert und für die nachfolgenden Messungen der Scanbahnen **306** verwendet.

[0169] Anhand der Fig. 12 wird das erfindungsgemäße Verfahren zur Anordnung einer oder mehre-

rer interessierende Bereiche (AOI-Area of Interest) **400** auf einem Kamerachip **401** (hier zur Vereinfachung nur in einer statt zwei Dimensionen dargestellt, es ist jedoch erfindungsgemäß eine Kamera mit flächenförmigem Erfassungsbereich, also Kamerachip vorgesehen) bei der Bilderzeugung bzw. Bildverarbeitung zur bevorzugt dimensionellen Messung eines Objekts **402** wie Werkstück (hier nur ein Teil wie Zahn bzw. Teil eines Zahns eines Wälzfräasers) dargestellt. Beispielfhaft dargestellt ist die der Kamera **401** zugeordnete Optik **403** mit optischer Achse **404** sowie das Objekt **402** in einer ersten Position **402-1** und einer in Richtung des Pfeiles **403** versetzten zweiten Position **402-2**. Die am Objekt **402** zu messende Kante **405** wie Schneide eines Zahnes eines Wälzfräasers verläuft beispielfhaft waagerecht in der Zeichenebene und wird hier beispielfhaft im Durchlicht mittels der nicht telezentrischen Lichtquelle **406**, mit nicht ausschließlich vollständig parallelem Licht **407** beleuchtet gemessen. Die nicht telezentrische Durchlichtquelle **406** gibt dabei unter anderem auch zur optischen Achse **404** nicht parallele Beleuchtungsstrahlen **407** ab, von denen nur einige **407-1**, **407-2** und **407-3** beispielfhaft dargestellt sind. Beispielfhaft sind die Oberflächenbereiche **408** des Objekts **402** eingezeichnet, die abhängig von der Position des Objekts **402** entlang des Pfeils **403** zu Störreflexen führen können.

[0170] In der ersten Position **402-1** des Objekts **402** verläuft der beispielfhafte Beleuchtungsstrahl **407-1** zum Oberflächenpunkt **408-1** des Oberflächenbereichs **408** und wird in Richtung des Pfeils **409** an der Apertur **410** der Optik **403** vorbei reflektiert und somit nicht auf die Chipfläche der Kamera **401** abgebildet. Als AOI **400** kann daher die gesamte Chipfläche **401** verwendet werden.

[0171] In der zweiten Position **402-2** des Objekts **402** sind die beispielfhaften Beleuchtungsstrahlen **407-2** und **407-3** eingezeichnet, welche am Oberflächenbereich **408** des Objekts **402-2** reflektiert und nun durch die Apertur **410** der Optik **403** erfasst und im Bereich **411** auf den Kamerachip **401** abgebildet werden. In diesem Bereich ergeben sich also Störreflexe, die erfindungsgemäß von der Auswertung ausgeschlossen werden sollen. Die AOIs werden deshalb im Bereich **400** angeordnet. Bei den zu Störreflexen führenden Oberflächenbereiche **408** kann es sich auch um Bereiche handeln, die in Richtung senkrecht zur Zeichenebene versetzt zu der zu messenden Kante **405** liegen.

[0172] Ebenso ist das erfindungsgemäße Verfahren auch anwendbar, wenn zu messende Kanten zumindest teilweise senkrecht zur Zeichenebene verlaufen. Die hier dargestellten Winkelverhältnisse sind überhöht dargestellt, um die prinzipielle Funktionsweise des Verfahrens zu erläutern. Erfindungsgemäß ist

auch vorgesehen, das Verfahren bei paralleler Beleuchtung anzuwenden.

[0173] In der Fig. 13 wird beispielfhaft die erfindungsgemäße Vorrichtung zur Bestimmung von Oberflächenpunkten **501** an einem Objekt **500** mittels eines punktförmig messenden Abstandssensors **502** dargestellt. Der Abstandssensor **502** umfasst die Messsonden **503** und **504**, die beispielfhaft in einer Hülse wie Zentrierrohr **505** geführt sind. Die erste Messsonde **503** weist eine Umlenkvorrichtung **506** wie Schrägschliff oder Teilerschicht zur Umlenkung des Messstrahls **508** auf den zu messenden Punkt **501a** des Objekts **500** auf. Die zweite Messsonde **504** weist ebenso eine Umlenkvorrichtung **507** wie Schrägschliff oder Teilerschicht zur Umlenkung des Messstrahls **509** auf den Oberflächenmesspunkt **501b** des Objekts **500** auf.

[0174] Die Messsonden **503** und **504** sind also ausgebildet, jeweils einen separaten Messstrahl **508** bzw. **509** zu führen und auf das Objekt **500** zu leiten. Beide Messsonden weisen hierzu zumindest eine Faser, insbesondere Lichtleitfaser wie Lichtwellenleiter auf, welcher zumeist zumindest teilweise in einer Hülle oder Sleeve, hier nicht dargestellt, geführt ist. Die in der Zeichnungsebene nach oben hin angedeutete Weiterführung der Sonden **503** und **504** sowie der Hülse **505** führt beispielsweise zu einer Verbindungsschnittstelle zu einer Pinole eines Koordinatenmessgerätes. Diese Schnittstelle kann wechselbar ausgelegt sein, also vorsehen, unterschiedliche Messsonden oder Messsondenkombinationen aufzunehmen. Ebenso kann die gesamte Einheit aus zumindest den Messsonden **503** und **504** und der ggf. vorhandenen Zentrierhülse **505** um eine in der Zeichenebene senkrecht verlaufende Achse **510** rotierbar ausgebildet sein. Hierdurch ist es möglich, Oberflächenmesspunkte **501** beispielsweise an einer Öffnung wie Bohrung des Objektes **500** in mehreren Richtungen zu messen.

[0175] Nicht dargestellt ist der weitere Verlauf der Messsonden **503** bzw. **504** zu jeweils einer separaten Auswertereinheit oder über einen Multiplexer zu einer gemeinsamen Auswertereinheit.

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

- WO 2009049834 [0021]
- EP 2284486 [0054]
- DE 102005036929 [0054]
- DE 000003936463 [0054]
- DE 202015104971 [0055, 0059]
- WO 2012/156462 A2 [0085, 0085, 0096, 0114]
- DE 10301607 [0122]
- DE 1020122127858 [0122]

Patentansprüche

1. Verfahren zum Betreiben eines optischen Abstandssensors, insbesondere nach dem chromatischen bzw. chromatisch konfokalen Prinzip, wobei der optische Abstandssensor mehrere Messkanäle aufweist, wobei jedem Messkanal ein Messstrahl für die Ermittlung eines Abstandswertes zwischen dem Sensor und einem zu messenden Werkstück zugeordnet ist, wobei zumindest einige der mehreren Messstrahlen die ersten Messstrahlen bilden, welche entlang einer senkrecht zur Messrichtung der Messstrahlen bzw. Ausbreitungsrichtung der Messstrahlen, versetzt zueinander verlaufenden ersten Linie angeordnet sind, wobei diese von Messstrahl zu Messstrahl einen ersten, vorzugsweise konstanten, Abstand zueinander einnehmen, und wobei Werkstück und Sensor zur Messung der Werkstückoberfläche relativ zueinander auf einer Scan-Bahn bewegt werden, wobei die Bewegung zumindest eine Komponente senkrecht zur Ausbreitungsrichtung der Messstrahlen (als Scan-Richtung bezeichnet), und vorzugsweise eine Komponente in Ausbreitungsrichtung der Messstrahlen (Regel-Richtung), aufweist, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Scan-Richtung von der Richtung senkrecht zur ersten Linie abweicht und Scan-Richtung und Richtung der ersten Linie so zueinander eingestellt werden, dass sich ein senkrecht zur Messrichtung vorgegebener zweiter Abstand zwischen jeweils auf der ersten Linie benachbarten Messstrahlen senkrecht zur Bewegungsrichtung ergibt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass Scan-Richtung und Richtung der ersten Linie zueinander eingestellt werden, indem die Scan-Richtung eingestellt wird und/oder indem Abstandssensor und/oder Werkstück um die Messrichtung gedreht werden, bevorzugt Abstandssensor an einem Dreh-Gelenkt oder Dreh-Schwenk-Gelenkt betrieben wird, vorzugsweise Abstandssensor in einem Koordinatenmessgerät betrieben wird.

3. Verfahren zum Betreiben eines optischen Abstandssensors, insbesondere nach dem chromatischen bzw. chromatisch konfokalen Prinzip, wobei der optische Abstandssensor mehrere Messkanäle aufweist, wobei jedem Messkanal ein Messstrahl für die Ermittlung eines Abstandswertes zwischen dem Sensor und einem zu messenden Werkstück zugeordnet ist, wobei zumindest einige der mehreren Messstrahlen die ersten Messstrahlen bilden, welche entlang einer senkrecht zur Messrichtung der Messstrahlen bzw. Ausbreitungsrichtung der Messstrahlen, versetzt zueinander verlaufenden ersten Linie angeordnet sind, wobei diese von Messstrahl zu Messstrahl einen ersten, vorzugsweise konstanten, Abstand zueinander einnehmen, und wobei Werkstück und Sensor zur Messung der Werkstückoberfläche relativ zueinander auf einer Scan-Bahn be-

wegt werden, wobei die Bewegung zumindest eine Komponente senkrecht zur Ausbreitungsrichtung der Messstrahlen (als Scan-Richtung bezeichnet), und vorzugsweise eine Komponente in Ausbreitungsrichtung der Messstrahlen (Regel-Richtung), aufweist, **dadurch gekennzeichnet**, dass zweite Messstrahlen entlang einer zweiten Linie angeordnet sind, die senkrecht zur Messrichtung der Messstrahlen, und vorzugsweise senkrecht zur ersten Linie, verläuft, wobei die Scan-Richtung in Richtung der zweiten Linie eingestellt wird, und wobei fortlaufend Abstandswerte für jeweils identische Stellen auf der Oberfläche des Werkstücks mit den mehreren Messkanälen entlang der zweiten Linie erfasst und verglichen werden, und die bei diesem Vergleich jeweils ermittelten Abweichungen zur Korrektur der Abstandswerte der Messstrahlen auf der ersten Linie verwendet werden, insbesondere Korrektur in Messrichtung der Messstrahlen erfolgt, wobei vorzugsweise einer der Messstrahlen auf beiden Linien liegt.

4. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass die mit den mehreren Messkanälen entlang der zweiten Linie ermittelten Verläufe der Oberfläche des Werkstücks durch Korrelationsauswertung der Verläufe und/oder Verwendung der mittels der Messachsen eines Koordinatenmessgerätes bei Aufnahme der Abstandswerte ermittelten Position zwischen Werkstück und Sensor vor dem Vergleich so zueinander verschoben werden, dass die Abstandswerte jeweils identischer Stellen der Oberfläche des Werkstücks einander zugeordnet sind.

5. Verfahren nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass jeweils die zugeordneten Abstandswerte der mehreren Messkanäle der jeweils identischen Stelle der Oberfläche des Werkstücks, bevorzugt der Messkanal des gleichermaßen auf der ersten und zweiten Linie befindlichen Messstrahls, mit dem jeweiligen als richtiger Wert bestimmten Abstandswert, wie beispielsweise Median oder häufigsten Abstandswert, aus den zugeordneten Abstandswerten, verglichen wird und bei Vorliegen einer Abweichung größer eines vorgegebenen Betrages die Korrektur ermittelt wird, indem die Differenz bestimmt wird zwischen – dem als richtiger Wert bestimmten Abstandswert, wie Median oder häufigsten Abstandswert, aus den zugeordneten Abstandswerten oder dem Mittelwert aus allen eine Abweichung kleiner als der vorgegebene Betrag aufweisenden zugeordneten Abstandswerten und – dem die Abweichung größer eines vorgegebenen Betrages aufweisenden Messkanal, bevorzugt dem Messkanal des gleichermaßen auf der ersten und zweiten Linie befindlichen Messstrahls, gebildet und als Korrektur verwendet wird.

6. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass

weitere Messstrahlen entlang weiterer Linien zueinander versetzt für die Messung eingesetzt werden, wobei die weiteren Linie senkrecht zur Messrichtung der Messstrahlen ausgerichtet und um diese verdreht zueinander vorliegen, beispielsweise sternförmig angeordnet sind.

7. Vorrichtung einen optischen Abstandssensor, insbesondere nach dem chromatischen bzw. chromatisch konfokalen Prinzip, mit mehreren versetzt zueinander eine Werkstückoberfläche erfassenden Messstrahlen umfassend, wobei jeder Messstrahl für die Ermittlung eines Abstandswertes zwischen dem Sensor und einem zu messenden Werkstück einem separaten Messkanal zugeordnet ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass jedem Messkanal eine optische Faser zugeordnet wird und jeder Faser eine oder mehrere benachbarte, definierter Zeilen einer matrixförmigen Kamera zur Auswertung der Messsignale zugeordnet ist, wobei die Zuordnung unabhängig vom Versatz bzw. der Lage der Messstrahlen zueinander ist und vorab eingemessen wird, beispielsweise optisches Faserbündel als die Fasern verwendet wird, wobei insbesondere einige der Messstrahlen auf einer Linie senkrecht zur Messrichtung der Messstrahlen zueinander versetzt und/oder einige Messstrahlen auf mehreren zueinander um die Messrichtung der Messstrahlen verdrehten Linien und/oder einige Messstrahlen ringförmig um einen zentralen Messstrahl angeordnet sind.

8. Vorrichtung nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass erste Messstrahlen entlang einer ersten senkrecht zur Messrichtung der Messstrahlen verlaufenden Linie versetzt zueinander angeordnet sind und zumindest weitere Messstrahlen entlang einer zweiten senkrecht zur Messrichtung der Messstrahlen verlaufenden Linie versetzt zueinander angeordnet sind, wobei bevorzugt erste und zweite Linie rechtwinklig zueinander angeordnet sind.

9. Vorrichtung nach Anspruch 7 oder 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass chromatischer bzw. chromatisch konfokaler Abstandssensor und ein Bildverarbeitungssensor zumindest teilweise gemeinsamen Strahlengang aufweisen, wobei die mehreren Messstrahlen des chromatischen bzw. chromatisch konfokalen Abstandssensors durch gemeinsames Frontobjektiv mit der einem Bildverarbeitungssensor zugeordneten Optik, vorzugsweise Zoomoptik, besonders bevorzugt Zoomoptik mit unabhängig voneinander einstellbarem Arbeitsabstand und Abbildungsmaßstab, verlaufen.

10. Vorrichtung nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche 7 bis 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass die die chromatische Aberration erzeugende Optik, insbesondere Frontobjektiv, eine gleichbleibende chromatische Aberration über den von den mehreren Messstrahlen des chromatischen

bzw. chromatisch konfokalen Abstandssensors verwendeten Bereich der Optik zur Verfügung stellt, insbesondere sphärische Aberrationen in diesem Bereich korrigiert sind.

11. Vorrichtung umfassend einen Abstandssensor nach dem Prinzip der Fokusvariation und/oder Konfokaltechnik und/oder chromatischen Konfokaltechnik zur Erfassung mehrerer Messpunkte auf einer Objektoberfläche, der zumindest aufweist eine Abbildungsoptik, einen die Messstrahlung abgebende Lichtquelle und einen optischen Detektor, bevorzugt Flächendetektor wie CCD- oder CMOS-Kamera, **dadurch gekennzeichnet**, dass in zumindest einer Fokusebene (Konfokalebene) der Abbildungsoptik ein flächig ausgeprägtes, mehrere Pixel aufweisendes optisches Element angeordnet ist, dass eine Vielzahl von Pixeln aufweist, wobei die einzelnen Pixel unabhängig voneinander elektrisch ansteuerbar zwischen einem opaken und einem transparenten Zustand umschaltbar sind.

12. Vorrichtung nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass mehrere Pixel gleichzeitig ansteuerbar sind, insbesondere mehrere benachbarte Pixel als eine Pixelgruppe gleichzeitig ansteuerbar sind, und vorzugsweise mehrere Pixel oder Pixelgruppen ein Muster bilden, das stückweise in der Fokusebene verschoben ansteuerbar ist.

13. Vorrichtung nach Anspruch 11 oder 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass das optische Element in einer oder zwei Richtungen innerhalb der Fokusebene und/oder in der Richtung senkrecht zur Fokusebene verschiebbar angeordnet ist, wobei vorzugsweise zumindest zur Feinjustierung der Verschiebung zumindest ein Piezo-Antrieb (Piezo-Element) vorhanden ist.

14. Vorrichtung nach zumindest einem der Ansprüche 11 bis 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Abbildungsoptik als Zoomoptik mit vorzugsweise unabhängig von der Zoomstufe einstellbarem Arbeitsabstand ausgebildet ist.

15. Vorrichtung nach zumindest einem der Ansprüche 11 bis 14, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Vorrichtung Mittel aufweist oder in ein entsprechende Mittel aufweisendes Koordinatenmessgerät integriert ist, die ausgebildet sind, die Entfernung zwischen dem zu messenden Objekt und dem Sensor zu verändern, wobei in verschiedenen Entfernungen Messsignale mit dem Detektor bei den jeweils eingestellten Zuständen der verschiedenen Pixel bzw. Pixelgruppen aufnehmbar sind (Tiefenscan).

16. Verfahren zum Betreiben eines Abstandssensors nach zumindest einem der Ansprüche 11 bis 15, **dadurch gekennzeichnet**, dass zur Abbildung des vom jeweils zu messenden Oberflächenpunkt

in Richtung des Detektors verlaufenden Anteils der Messstrahlung auf einen Bereich des Detektors, ein Pixel oder mehrere benachbarte Pixel (Pixelgruppe) des optischen Elementes elektrisch angesteuert für einen bestimmten Zeitraum vom opaken in den transparenten Zustand versetzt werden.

17. Verfahren nach Anspruch 16, **dadurch gekennzeichnet**, dass mehrere Pixel oder mehrere Pixelgruppen gleichzeitig angesteuert werden, um gleichzeitig mehrere Messpunkte auf voneinander getrennten Bereichen des Detektors abzubilden, wobei die Pixel bzw. Pixelgruppen jeweils zueinander beabstandet sind, vorzugsweise ein regelmäßiges Muster bilden.

18. Verfahren nach Anspruch 16 oder 17, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Muster stückweise in der Fokusebene verschoben angesteuert wird, vorzugsweise so lange verschoben wird, bis die durch die Beabstandung entstandenen Zwischenräume zumindest einmal vom Muster abgedeckt wurden, um Messpunkte auf der gesamten abgebildeten Oberfläche zu erfassen.

19. Verfahren nach zumindest einem der Ansprüche 16 bis 18, **dadurch gekennzeichnet**, dass in mehreren Entfernungen zwischen dem zu messenden Objekt und dem Sensor mit dem Detektor Messsignale aufgenommen werden (Tiefenscan), wobei in den verschiedenen Entfernungen und/oder während der Änderung der Entfernung die jeweiligen Pixel oder Pixelgruppen in ihrem Zustand umgeschaltet werden.

20. Verfahren nach zumindest einem der Ansprüche 16 bis 19, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Abstand der Pixel bzw. Pixelgruppen innerhalb des Musters entsprechend der gewünschten lateralen Auflösung und/oder entsprechend der Eigenschaften der Abbildungsoptik bzw. der jeweils eingestellten Eigenschaften der Zoomoptik wie beispielsweise Auflösungsvermögen eingestellt werden und/oder dass die Größe der einen oder mehreren Pixelgruppen entsprechend der gewünschten Auflösung in Messrichtung (Abstandsrichtung) und/oder entsprechend der Eigenschaften der Abbildungsoptik bzw. der jeweils eingestellten Eigenschaften der Zoomoptik wie beispielsweise Apertur eingestellt werden.

21. Verfahren nach zumindest einem der Ansprüche 16 bis 20, **dadurch gekennzeichnet**, dass anhand der Lage der Konfokalebene des jeweils eingestellten Zustands einer Zoomoptik das optische Element senkrecht zur Konfokalebene in diese verschoben wird und/oder dass durch Kippen des optischen Elements der wirksame Durchmesser der in den transparenten Zustand versetzten Pixel bzw. Pixelgruppe eingestellt wird und/oder Rückreflexionen vermindert oder vermieden werden.

22. Vorrichtung umfassend ein Koordinatenmessgerät (201) mit drei rechtwinklig oder nahezu rechtwinklig zueinander angeordneten Messachsen (206, 207, 208), die ausgebildet sind, eine Relativverschiebung zu realisieren zwischen zumindest einem im Koordinatenmessgerät integrierten Sensor (203), vorzugsweise Sensor tragender Pinole (204), und der das Werkstück aufnehmenden Werkstückauflage wie Messtisch (205), wobei die Vorrichtung eine Wechselstation (202) mit mehreren Bereichen (202a, 202b) umfasst, wobei in jedem Bereich ein oder mehrere Sensoren oder Sensorvorsätze (203), die zur Verbindung mit dem Koordinatenmessgerät (201) bzw. der Pinole (204) vorgesehen sind, automatisch ablegbar und wieder aufnehmbar sind, wobei die Wechselstation (202) in einer ersten Position (210a) in Bezug auf die Messachsen (206, 207, 208) des Koordinatenmessgerätes (202) anordenbar ist, in der durch Nutzung der Messachsen (206, 207, 208) der Sensor bzw. Sensorvorsatz (203) in einen Bereich (202a) der Wechselstation (202) bewegbar ist, und dass die Wechselstation (202) in einer zweiten Position (209) anordenbar ist, in der insbesondere keiner der Bereiche (202a, 202b) zum Ablegen oder Aufnehmen von Sensoren erreichbar ist, wobei die Bewegung von der ersten in die zweite Position und von der zweiten in die erste Position durch vorübergehende Kopplung mit zumindest einer der Messachsen (206, 207, 208) erfolgt, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Wechselstation (202) in mindestens einer weiteren Position (210b) anordenbar ist, wobei die Bewegung von der ersten oder zweiten in die weiteren Positionen und von den weiteren Positionen in die erste und zweite Position durch vorübergehende Kopplung mit zumindest einer der Messachsen (206, 207, 208) erfolgt, wobei in den weiteren Positionen Sensoren oder Sensorvorsätze (203) durch Nutzung der Messachsen (206, 207, 208) in weitere Bereiche (202b) der Wechselstation (202) bewegbar und aufnehmbar oder ablegbar sind.

23. Vorrichtung nach Anspruch 22, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Wechselstation mehrere Mittel zur Herstellung einer vorübergehenden Kopplung wie Koppelstellen (211, 211b), insbesondere magnetische oder durch Formschluss gebildete Koppelstellen aufweist, wobei zumindest eine Koppelstelle (211b) erst dann für eine Kopplung mit einer Messachse erreichbar ist, wenn die Wechselstation durch Kopplung mit einer der anderen Koppelstellen (211) aus der ersten Position (209) in die zweite Position (210a) oder aus der zweiten (210a) oder einer der weiteren (210b) in eine der weiteren Positionen (210b) gebracht wurde.

24. Vorrichtung nach Anspruch 22 oder 23, **dadurch gekennzeichnet**, dass die weiteren Positionen (210b) entlang der Bewegungsrichtung einer Messachse (206, 207, 208), insbesondere der X-Ach-

se (206) oder Y-Achse (207) versetzt zueinander angeordnet sind, oder dass weitere Positionen (210b) entlang der X-Achse (206) und weitere Positionen (210b) entlang Y-Achse (207) versetzt zueinander angeordnet sind.

25. Vorrichtung umfassend ein Koordinatenmessgerät (201) mit drei rechtwinklig oder nahezu rechtwinklig zueinander angeordneten Messachsen (206, 207, 208), die ausgebildet sind, eine Relativverschiebung zu realisieren zwischen zumindest einem im Koordinatenmessgerät integrierten Sensor (203), vorzugsweise Sensor tragender Pinole (204), und der das Werkstück aufnehmenden Werkstückauflage wie Messtisch (205), wobei die Vorrichtung eine Wechselstation (202) mit mehreren Bereichen (202a, 202b) umfasst, wobei in jedem Bereich ein oder mehrere Wechselplätze vorhanden sind, in der mehrere Sensoren oder Sensorvorsätze (203), die zur Verbindung mit dem Koordinatenmessgerät (201) bzw. der Pinole (204) vorgesehen sind, automatisch ablegbar und wieder aufnehmbar sind, wobei die Wechselstation (202) in eine erste Stellung (210a) in Bezug auf das Koordinatenmessgerätes (202) einstellbar ist, in der durch Nutzung der Messachsen (206, 207, 208) der Sensor bzw. Sensorvorsatz (203) in einen Bereich der Wechselstation (202) bewegbar ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass zumindest ein Teil der Wechselstation (202) in weitere Stellungen (210b) drehbar ist, so dass nacheinander weitere Bereiche (202b) zum Ablegen oder Aufnehmen von Sensoren erreichbar sind.

26. Verfahren zum Betrieb eines Koordinatenmessgeräts mit drei rechtwinklig oder nahezu rechtwinklig zueinander angeordneten Messachsen, die ausgebildet sind, eine Relativverschiebung zu realisieren zwischen zumindest einem im Koordinatenmessgerät integrierten Sensor, vorzugsweise Sensor tragender Pinole, und der das Werkstück aufnehmenden Werkstückauflage wie Messtisch, wobei die Vorrichtung eine Wechselstation mit mehreren Bereichen umfasst, wobei in jedem Bereich ein oder mehrere Wechselplätze vorhanden sind, in der mehrere Sensoren oder Sensorvorsätze, die zur Verbindung mit dem Koordinatenmessgerät bzw. der Pinole vorgesehen sind, wahlweise automatisch abgelegt und wieder aufgenommen werden, wobei die Wechselstation in einer ersten Position in Bezug auf die Messachsen des Koordinatenmessgerätes bewegt wird, in der durch Nutzung der Messachsen der Sensor bzw. Sensorvorsatz in einen ersten Bereich der Wechselstation zum Ablegen oder Aufnehmen bewegt wird, und dass die Wechselstation in eine zweite Position bewegt wird, in der insbesondere keiner der Bereiche zum Ablegen oder Aufnehmen von Sensoren erreichbar ist, wobei die Bewegung von der ersten in die zweite Position und von der zweiten in die erste Position durch vorübergehende Kopplung mit zumindest einer der Messachsen erfolgt, **da-**

durch gekennzeichnet, dass die Wechselstation in mindestens eine weitere Position bewegt wird, wobei die Bewegung von der ersten oder zweiten in die weiteren Positionen und von den weiteren Positionen in die erste und zweite Position durch vorübergehende Kopplung mit zumindest einer der Messachsen erfolgt, wobei in den weiteren Positionen Sensoren oder Sensorvorsätze durch Nutzung der Messachsen in einen der weiteren Bereiche der Wechselstation oder aus diesem heraus bewegt werden, um den entsprechenden Sensor aufzunehmen oder abzulegen.

27. Verfahren nach Anspruch 26, **dadurch gekennzeichnet**, dass nacheinander die Kopplung mit den mehreren Koppelstellen der Wechselstation erfolgt, insbesondere in einer kaskadierten Art und Weise, um die Bewegung der Wechselstation von der ersten in die zweite und die weiteren Positionen zu realisieren.

28. Verfahren zur Bestimmung des Verschleißes, insbesondere der Schneidkantenabrundung bzw. -verrundung oder von Ausbrüchen, in die Freifläche einer Schneide, insbesondere der Schneide an einem Zahn, hinein, insbesondere Verfahren zur Kontrolle des Hinterschliffs, wobei eine oder mehrere Schneiden untersucht werden, an einem Werkzeug, insbesondere Wälzfräser, Fräser, Bohrer oder Reibahle, mit zumindest einer definierten Schneide, wobei Messpunkte mit einem taktilen Sensor und/oder optischen Abstandssensor aufgenommen werden, insbesondere punktförmigen optischen Abstandssensor, wobei die Messpunkte durch Aufnahme von Einzelpunkten oder durch Scanning ermittelt werden, entlang zumindest einer ersten Bahn auf der Freifläche, wobei die erste Bahn in zumindest einer zur Spanfläche parallelen Ebene auf der Freifläche und/oder auf zumindest einer etwa senkrecht zur Schneidkante in Richtung des Schneidenrückens, insbesondere Zahnrückens versetzten Bahn aufgenommen wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Abweichungen zum Sollwert, insbesondere Abweichung zum Sollwertprofil (Profiltreue bzw. Profilabweichung) entlang der ersten Bahn in Richtung des Werkzeuginneren, insbesondere in Richtung auf die Werkzeugachse zu, bestimmt werden und wenn die Abweichung kleiner als ein vorgegebener Wert für die maximal zulässige Abweichung ist, zumindest eine zweite parallel versetzte Bahn mit kleinerem Versatz zur Schneide, vorzugsweise halbem Versatz zur Schneide gemessen wird, wobei die zweite oder weitere Bahnen vorzugsweise gleichzeitig mit der ersten Bahn gemessen werden, indem ein mehrere Messpunkte gleichzeitig erfassender linienhaft oder matrixförmig messender Sensor, insbesondere optischer Abstandssensor, eingesetzt wird, wobei vorzugsweise die erste Bahn entsprechend des festgelegten maximalen Nachschärfbetrags (Abschleißmaß) zur Schneide versetzt ist, und wobei vorzugsweise dann, wenn die Abweichungen auf der ersten

Bahn größer als der vorgegebener Wert für die maximal zulässige Abweichung ist, die Schneide bzw. der Zahn als defekt markiert wird.

29. Verfahren nach Anspruch 28,

dadurch gekennzeichnet,

dass auf weiteren parallelen Bahnen mit jeweils abhängig von der in der vorherigen Bahn oder den vorherigen Bahnen bestimmten Abweichungen neu bestimmtem Versatz gemessen wird, wobei vorzugsweise

- für den Fall, dass die Abweichungen auf der zuletzt gemessenen Bahn größer als die maximal zulässige Abweichung sind, die nächste Bahn zwischen, vorzugsweise mittig zwischen, den beiden zuvor gemessenen Bahnen aufgenommen wird, und
 - für den Fall, dass die Abweichungen auf der zuletzt gemessenen Bahn kleiner als die maximal zulässige Abweichung sind, die nächste Bahn zwischen, vorzugsweise mittig zwischen, der Schneide und der vorherigen Bahn gemessen wird,
- wobei besonders bevorzugt iterativ weitere Bahnen gemessen werden, bis die Abweichungen in einem definierten Bereich um die maximal zulässige Abweichung vorliegen oder die Änderung des Versatzes kleiner als ein festgelegter Grenzwert ist.

30. Verfahren zur Bestimmung des Abschleifmaßes bzw. Nachschärfbetrags zumindest einer Schneide eines Werkzeugs unter Verwendung des Verfahrens nach Anspruch 28, **dadurch gekennzeichnet,** dass anhand der gemessenen Abweichungen entlang der gemessenen Bahnen der minimale Versatz zur Schneidkante, für den die Differenz zwischen gemessenem Wert und Sollwert (Profiltreue bzw. Profilabweichung) noch innerhalb der maximal zulässigen Abweichung zum Sollprofil liegt, bestimmt und als Abschleifmaß verwendet wird.

31. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche 28 bis 30, **dadurch gekennzeichnet,** dass eine oder mehrere Bahnen an einer oder mehreren Schneiden bzw. Zähnen gemessen werden, wobei die zu messenden Schneiden vorzugsweise anhand zuvor durchgeführter optischer Messung, insbesondere der Schneidkante, ausgewählt werden.

32. Verfahren zur Auswahl der nach vorzugsweise Anspruch 28 zu untersuchenden Freiflächen von Schneiden bzw. Zähnen mittels Bildverarbeitungsmessung, vorzugsweise im Durchlicht und/oder Auflicht, wobei alle Schneiden innerhalb eines definierten Bereichs, wie entlang eines Stollens oder gesamten Werkzeugs, im Bereich der Schneidkanten gemessen werden und ins Werkzeuginnere ermittelte Ausbrüche erkannt und beurteilt werden, wobei die Beurteilung insbesondere in Bezug auf die ausgebrochene Fläche und/oder in Bezug auf die größte Abweichung (tiefster Punkt) erfolgt, und die Schneiden

ausgewählt werden, die einen vorgegebenen Maximalwert für die Fläche bzw. Abweichung überschreiten, wobei insbesondere eine absteigende Sortierung der Schneiden nach Fläche bzw. Abweichung erfolgt und besonders bevorzugt die Messung nach Anspruch 28 entsprechend dieser Reihenfolge erfolgt.

33. Verfahren nach Anspruch 31 oder Anspruch 32,

dadurch gekennzeichnet,

dass die optische Messung mittels Bildverarbeitung erfolgt, indem mehrere Bilder der jeweils zu erfassenden Schneidkante aufgenommen werden und jeweils zu einem Gesamtbild zusammengesetzt werden, und an dem zusammengesetzten Bild die Kontur der Schneidkante ermittelt und ausgewertet wird, wobei die mehreren Teilbilder in Richtung der Werkzeugachse oder entlang einer vorgegebenen Bahn, welche vorzugsweise der Sollkontur der jeweils zu messenden Schneidkante entspricht, versetzt zueinander aufgenommen werden, und wobei

- der Versatz in etwa der Größe des erfassten Bildbereiches in Richtung der Werkzeugachse entspricht, insbesondere nur geringe Überlagerung der benachbarten Teilbilder von < 50%, bevorzugt < 5 % in Bezug auf die Bildgröße in Richtung der Werkzeugachse vorliegt oder
- die mehreren Teilbilder in Richtung der Werkzeugachse versetzt zueinander aufgenommen werden, wobei ein Versatz von weniger als 50%, insbesondere weniger als 20% zwischen den Teilbildern in Bezug auf die Bildgröße in Richtung der Werkzeugachse vorliegt, und die Intensitäten der Grauwerte der Teilbilder überlagert, insbesondere addiert bzw. gemittelt werden, um das Gesamtbild zu erzeugen.

34. Verfahren zur Erzeugung eines Bildes, vorzugsweise zur Bildverarbeitung und dimensionellen Messung eines Objekts wie Werkstücks, durch Überlagerung von in Lageversatz zueinander mit einer Kamera aufgenommenen Rohbildern, wobei die Kamera vorzugsweise in einem Koordinatenmessgerät mit Messachsen zur Relativbewegung und Lagebestimmung zwischen Objekt und Kamera integriert ist, wobei vorzugsweise die Aufnahme der Rohbilder während einer Relativbewegung erfolgt, und wobei der Lageversatz bevorzugt geringer als die halbe Rohbildgröße in Richtung des Lageversatzes ist, und wobei der Lageversatz bei der Überlagerung der Rohbilder berücksichtigt wird, so dass Bildinformationen wie Grauwerte jeweils einander entsprechende Bereiche des durch die Rohbilder erfassten Objekts überlagert werden, wobei die Überlagerung vorzugsweise mittels Resampling in das Pixelraster des Bildes erfolgt, **dadurch gekennzeichnet,** dass die Anzahl der zur Überlagerung herangezogenen Rohbilder für jeden Abschnitt des Bildes separat festgelegt wird, wobei bei der Festlegung der Anzahl die Helligkeit bzw. der Grauwert und/oder das Signal-Rausch-

verhältnis (SNR) des dem jeweiligen Abschnitt entsprechenden Abschnitts eines oder mehrerer Rohbilder berücksichtigt wird, vorzugsweise Anzahl höher gewählt wird, je dunkler der Abschnitt und/oder je geringer der SNR des Abschnitts in dem oder den Rohbildern ist, besonders bevorzugt Anzahl so gewählt wird, dass sich für alle Abschnitte möglichst gleiches Signal-Rausch-Verhältnis ergibt, wobei Abschnitte einzelne Pixel oder Gruppen von Pixeln innerhalb festgelegter Grauwertbereiche sind.

35. Verfahren zur Erzeugung eines Bildes nach vorzugsweise Anspruch 34, vorzugsweise zur Bildverarbeitung und dimensionellen Messung eines Objekts wie Werkstücks, durch Überlagerung von in Lageversatz zueinander mit einer Kamera aufgenommenen Rohbildern, wobei die Kamera vorzugsweise in einem Koordinatenmessgerät mit Messachsen zur Relativbewegung und Lagebestimmung zwischen Objekt und Kamera integriert ist, wobei vorzugsweise die Aufnahme der Rohbilder während einer Relativbewegung erfolgt, und wobei der Lageversatz bevorzugt geringer als die halbe Rohbildgröße in Richtung des Lageversatzes ist, und wobei der Lageversatz bei der Überlagerung der Rohbilder berücksichtigt wird, so dass Bildinformationen wie Grauwerte jeweils einander entsprechende Bereiche des durch die Rohbilder erfassten Objekts überlagert werden, wobei die Überlagerung vorzugsweise mittels Resampling in das Pixelraster des Bildes erfolgt, **dadurch gekennzeichnet**, dass zur Erhöhung der Bildqualität, insbesondere des Signal-Rausch-Verhältnisses (SNR) und/oder der Auflösung des Bildes und/oder Erhöhung der Bildaufnahmefrequenz der Kamera

- die Bildgröße der Rohbilder auf einen oder mehrere interessierende Bereiche (AOI-Area of interest) begrenzt wird und/oder
- das durch Resampling erzeugte Bild ein Pixelraster mit höherer Auflösung, also geringerem Pixelabstand, aufweist, als die Rohbilder, insbesondere durch Interpolation wie bilineare Interpolation und/oder
- die Beleuchtung des Objekts mittels Durchlicht und/oder Auflicht, insbesondere Hellfeldauflicht und/oder Dunkelfeldauflicht, bevorzugt Dunkelfeldauflicht mit einstellbarem und vorzugsweise während der Messung änderbarer Verteilung der Einstrahlrichtung, erfolgt, wobei die Beleuchtung bevorzugt farbig wie rot, grün, blau oder violett, besonders bevorzugt in ihrer Farbe einstellbar ist.

36. Verfahren zur Erzeugung eines Bildes nach vorzugsweise Anspruch 34 oder 35, vorzugsweise zur Bildverarbeitung und dimensionellen Messung eines Objekts wie Werkstücks, mit einer Kamera, wobei die Kamera vorzugsweise in einem Koordinatenmessgerät mit Messachsen zur Relativbewegung und Lagebestimmung zwischen Objekt und Kamera integriert ist, wobei zur Erzeugung des Bildes eines

oder mehrere Rohbilder aufgenommen werden, wobei das oder die Rohbilder auf einen oder mehrere interessierende Bereiche (AOI-Area of Interest) begrenzt werden, indem nur die AOIs aus dem Kamerachip ausgelesen werden und/oder zu einer Auswertereinheit übertragen werden, **dadurch gekennzeichnet**, dass die eine oder mehreren AOIs in dem Bild oder in den Rohbildern jeweils so angeordnet werden, dass zur Beleuchtung des Objekts eingesetztes Licht, insbesondere nicht zur optischen Achse der der Kamera zugeordneten Optik paralleles Durchlicht oder Hellfeldauflicht oder Dunkelfeldauflicht, welches an den Bereichen der Oberfläche des Objekts (Oberflächenbereichen) reflektiert wurde, deren Flächennormale eine vorgegebene Neigung zur optischen Achse der Optik überschreitet, und welches anschließend von der Apertur der Optik erfasst und auf die Kamera abgebildet wird, nicht in dem oder den AOIs enthalten ist.

37. Verfahren nach Anspruch 36, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Apertur der Optik und/oder das Modell des Objekts, wie beispielsweise CAD-Modell, enthaltend zumindest Informationen über die Lage und Neigung zumindest einiger Oberflächenbereiche, und/oder die Richtung bzw. Richtungsverteilung der Beleuchtung und/oder die Position der verschiedenen Oberflächenbereiche des Objekts in Bezug auf die Kamera, insbesondere in Bezug auf die optische Achse, bei der Bestimmung der AOIs berücksichtigt wird, wobei abhängig von der Position der verschiedenen Oberflächenbereiche in Bezug auf die optische Achse die Lage der AOIs bei Aufnahme mehrerer Rohbilder je Rohbild angepasst wird.

38. Verfahren nach Anspruch 36 oder 37, **dadurch gekennzeichnet**, dass Oberflächenbereiche Freiflächen einer Schneide oder Zahn, bevorzugt eines schräg verzahnten Wälzfräasers sind, wobei mit den AOIs zu messende Struktur die Schneidkante eines oder mehrerer Zähne des Wälzfräasers ist.

39. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche 36 bis 38, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Messung im Durchlicht erfolgt, wobei bevorzugt nicht ausschließlich paralleles bzw. nicht ausschließlich telezentrisches Licht verwendet wird.

40. Vorrichtung zur Bestimmung von Oberflächenpunkten an einem Objekt mittels eines punktförmig messenden optischen Abstandssensors, insbesondere eines interferenzoptischen Abstandssensors, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Abstandssensor zumindest zwei vorzugsweise stabförmig ausgebildete, Messsonden aufweist, wobei jede Messsonde ausgebildet ist, einen separaten Messstrahl zu führen und in einer jeweils von den anderen Messstrahlen abweichenden Richtung, vorzugsweise senkrecht zur Stabachse der Messsonde verlau-

fenden Richtung, abzugeben, wobei die Messsonden vorzugsweise in einer gemeinsamen Hülse wie Zentrierrohr angeordnet sind.

41. Vorrichtung nach Anspruch 40, **dadurch gekennzeichnet**, dass jede Messsonde zumindest eine Lichtleitfaser wie Singlemode- oder Multimode-Lichtwellenleiter zur Führung des jeweiligen Messstrahls aufweist.

42. Vorrichtung nach Anspruch 40 oder 41, **dadurch gekennzeichnet**, dass jede Messsonde für sich und unabhängig von der Hülse oder die Messsonden gemeinsam, vorzugsweise zusammen mit der Hülse, um die Stabachse drehbar ausgestaltet sind.

43. Vorrichtung nach zumindest einem der Ansprüche 40 bis 42, **dadurch gekennzeichnet**, dass jede Messsonde mit einer separaten Auswerteeinheit verbunden ist oder mehrere Messsonden über einen Umschalter mit einer gemeinsamen Auswerteeinheit verbunden sind.

44. Verfahren zum Betreiben einer Vorrichtung nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche 40 bis 43 **dadurch gekennzeichnet**, dass zur Bestimmung der Oberflächenpunkte des Objektes die Messsignale der mehreren Auswerteeinheiten verarbeitet werden oder die eine Auswerteeinheit mittels Multiplex-Verfahren betrieben wird.

Es folgen 10 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

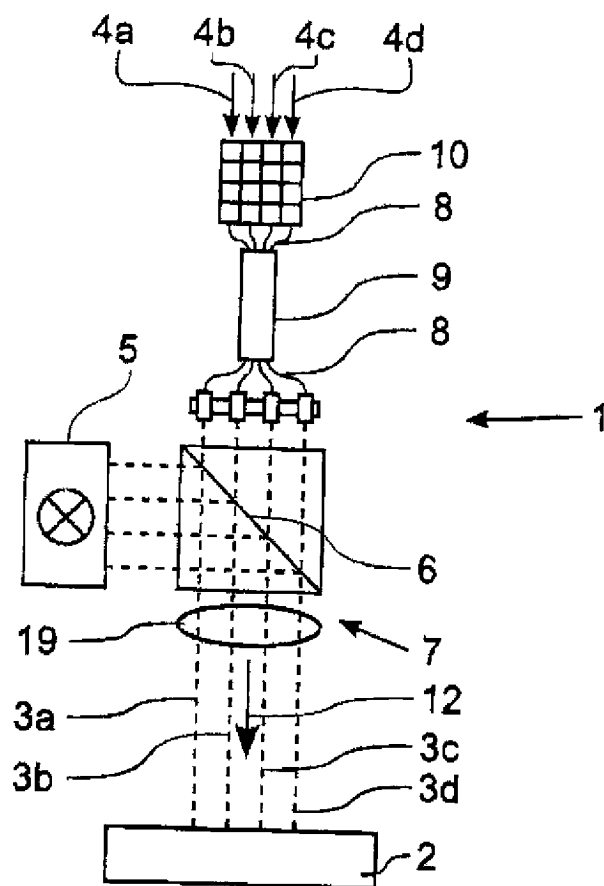


Fig. 1a

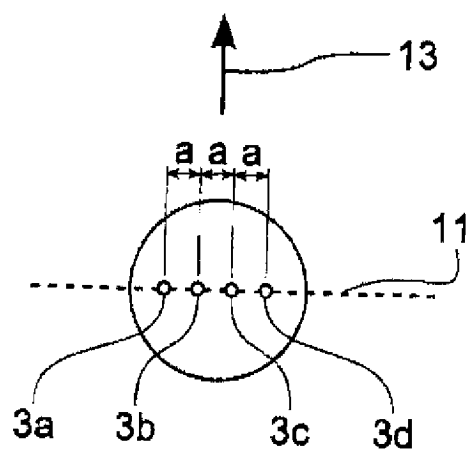


Fig. 1b

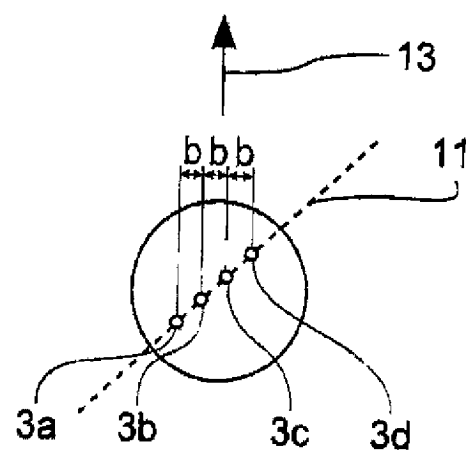


Fig. 2

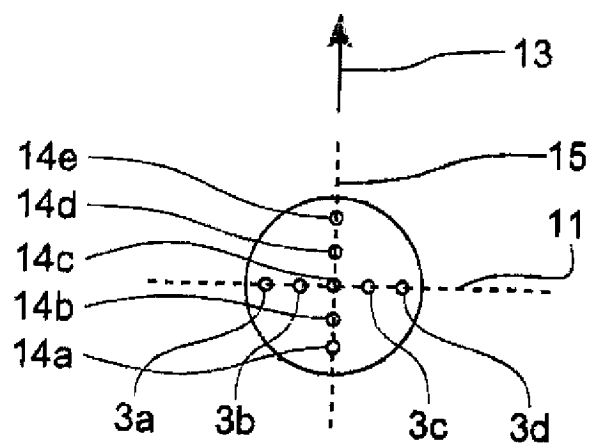


Fig. 3

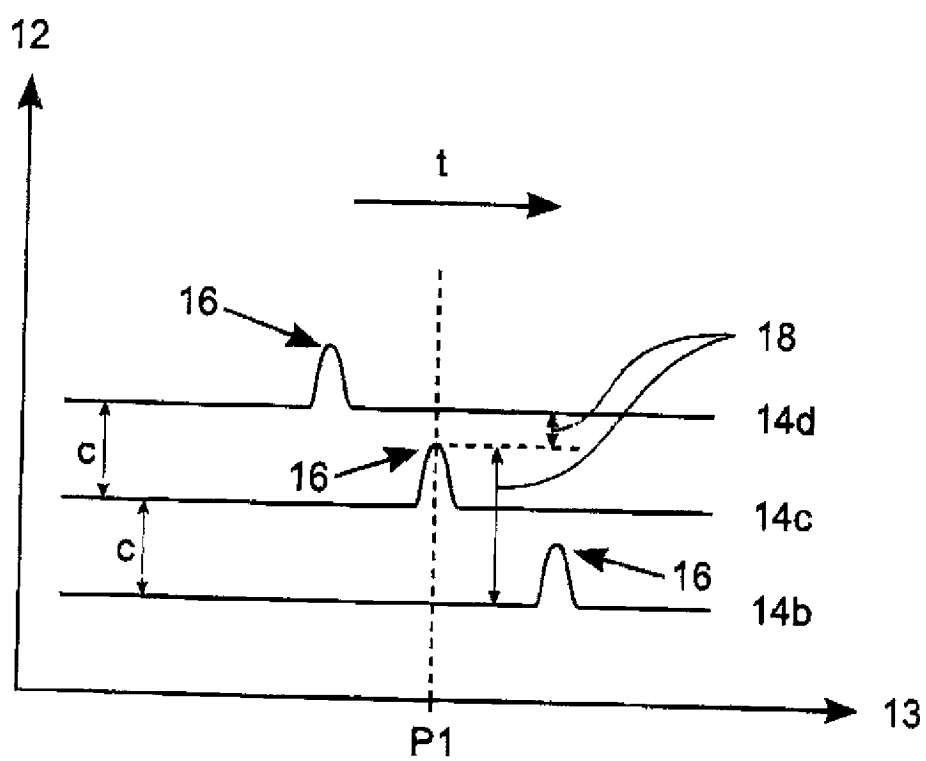


Fig. 4

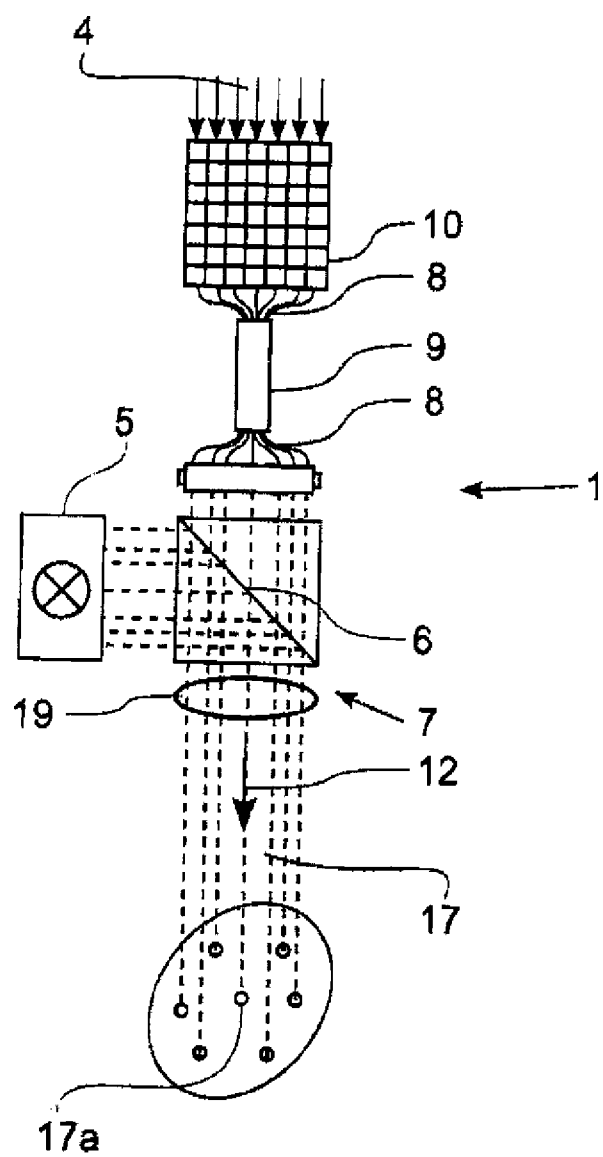


Fig. 5

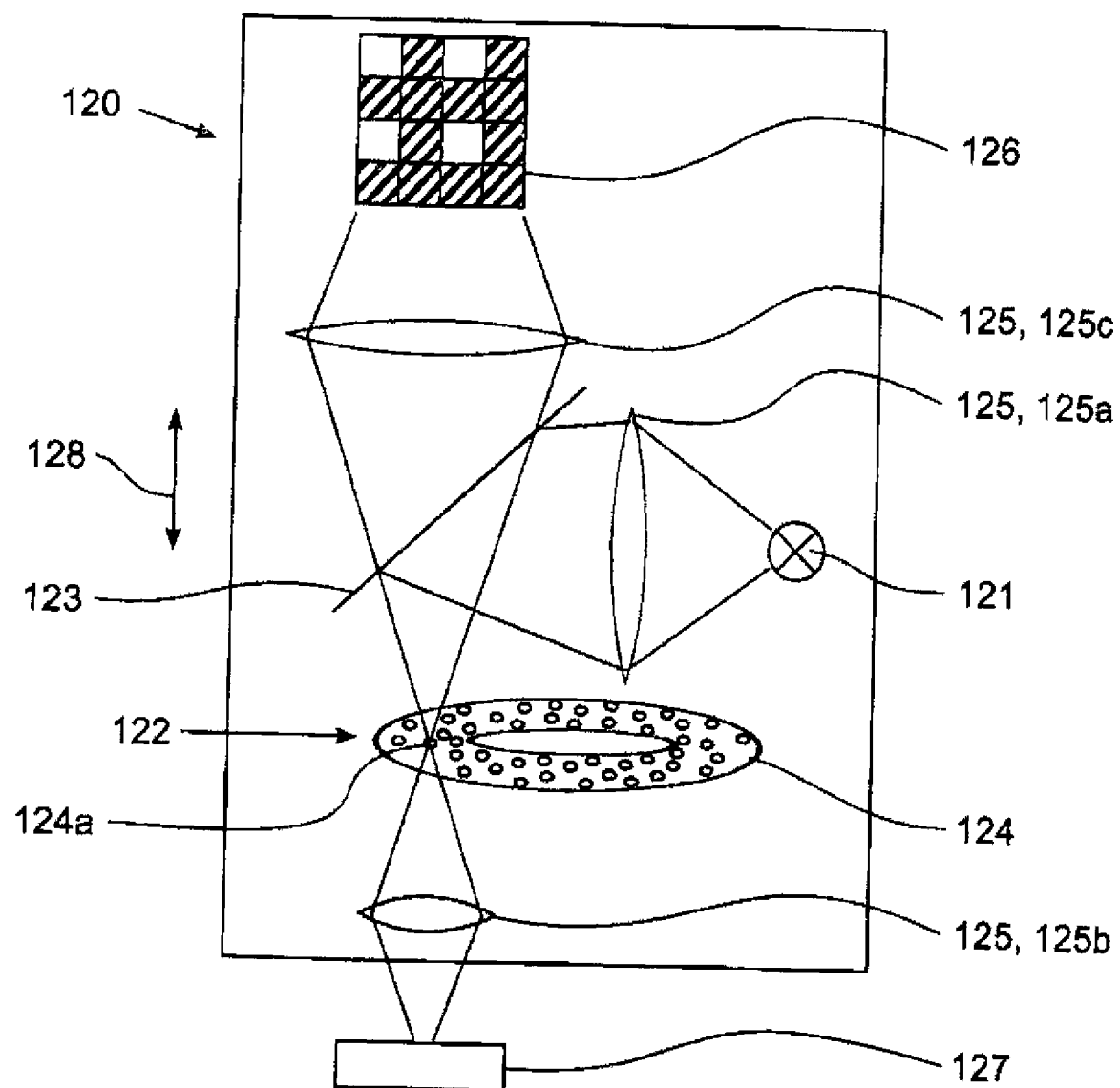


Fig. 6 (Stand der Technik)

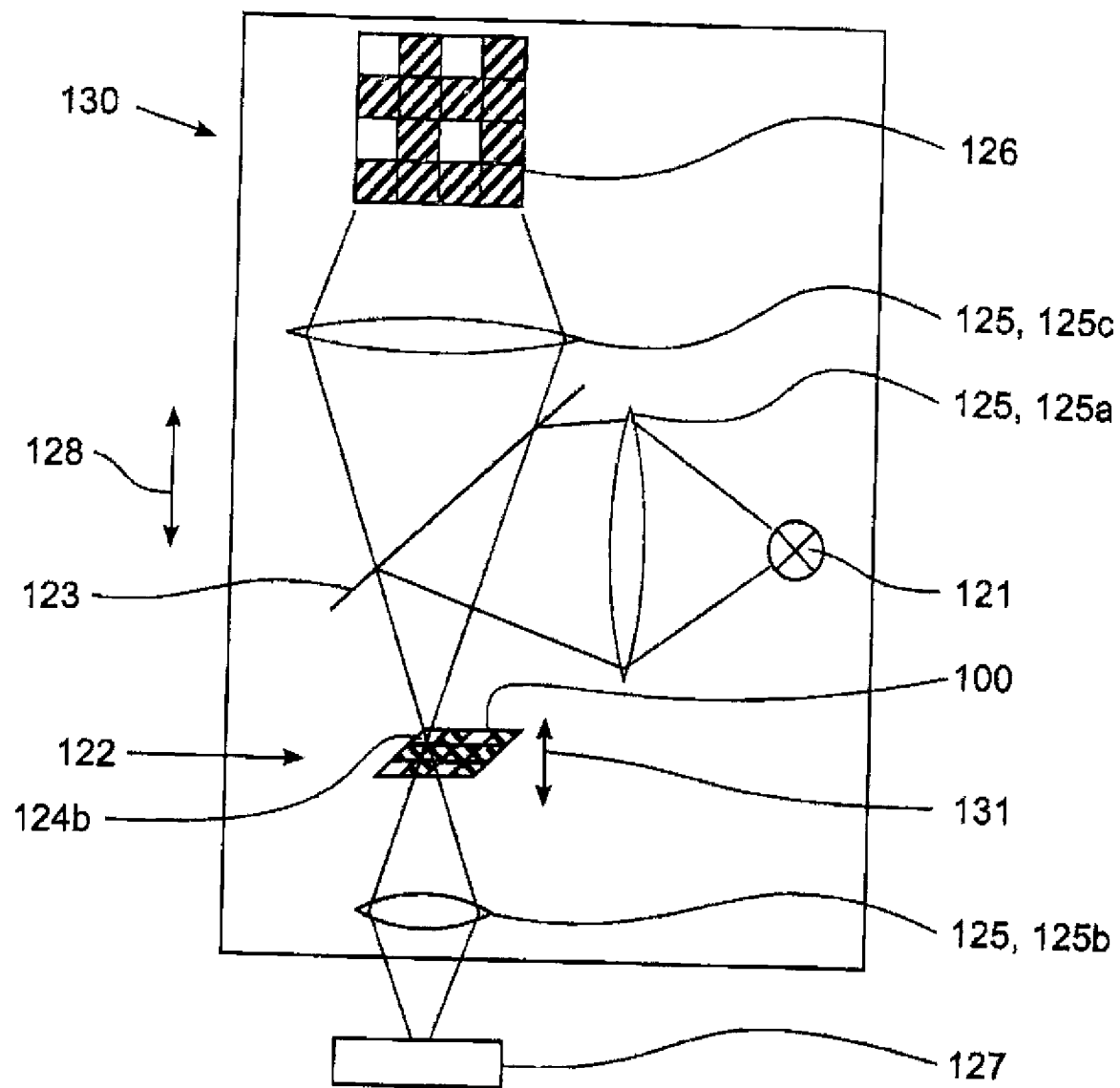


Fig. 7

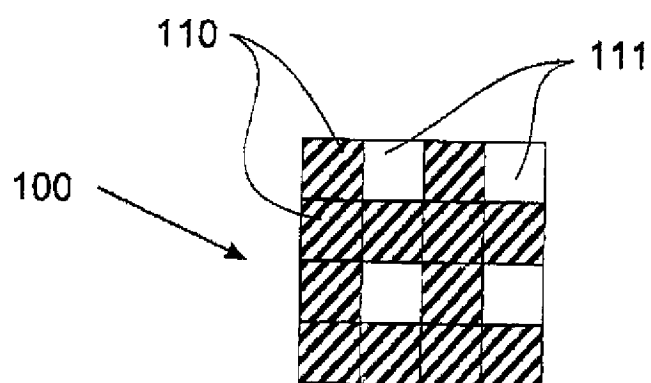


Fig. 8a

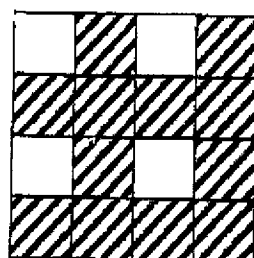


Fig. 8b

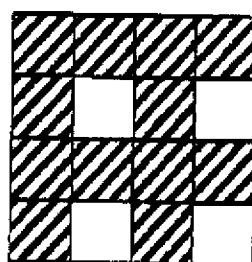


Fig. 8c

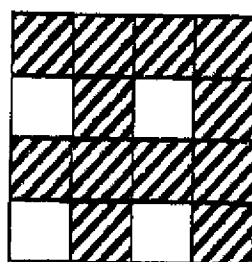


Fig. 8d

Fig. 8

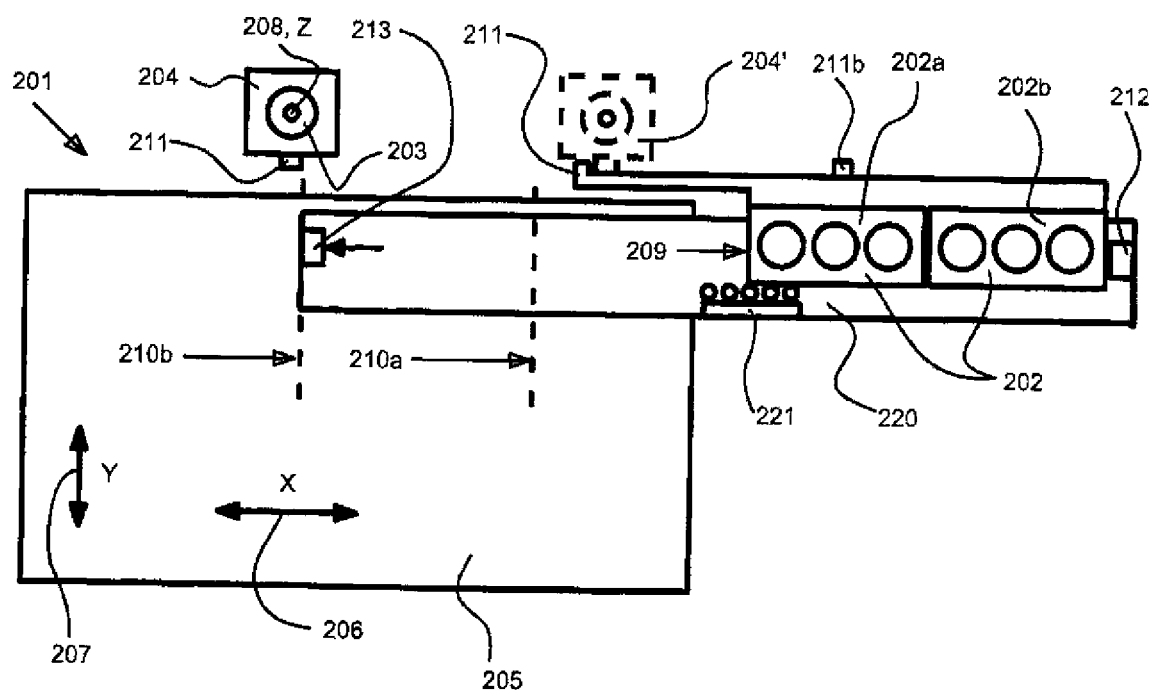


Fig. 9

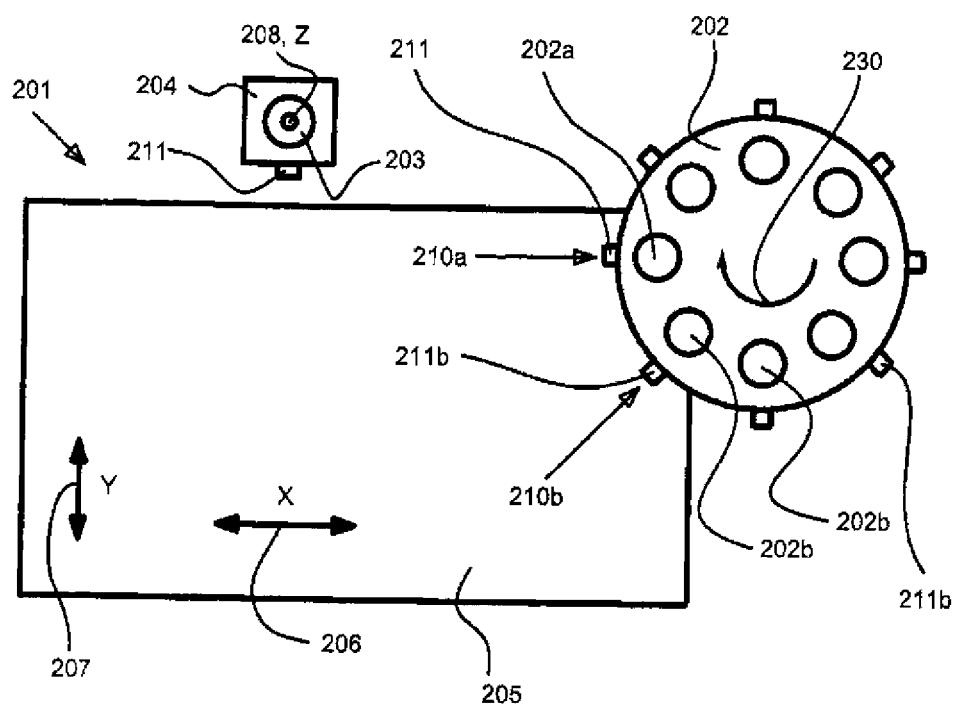


Fig. 10

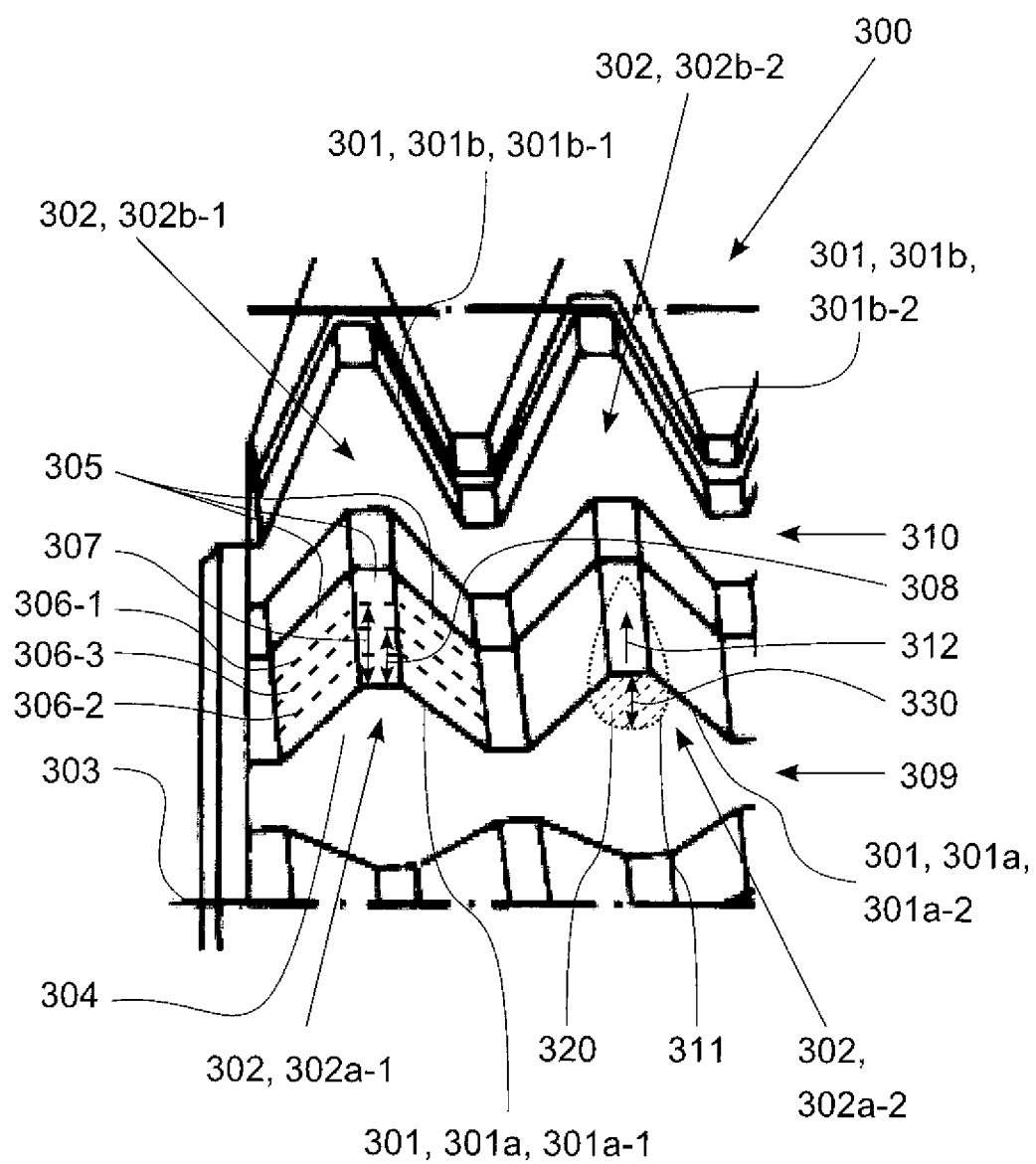


Fig. 11

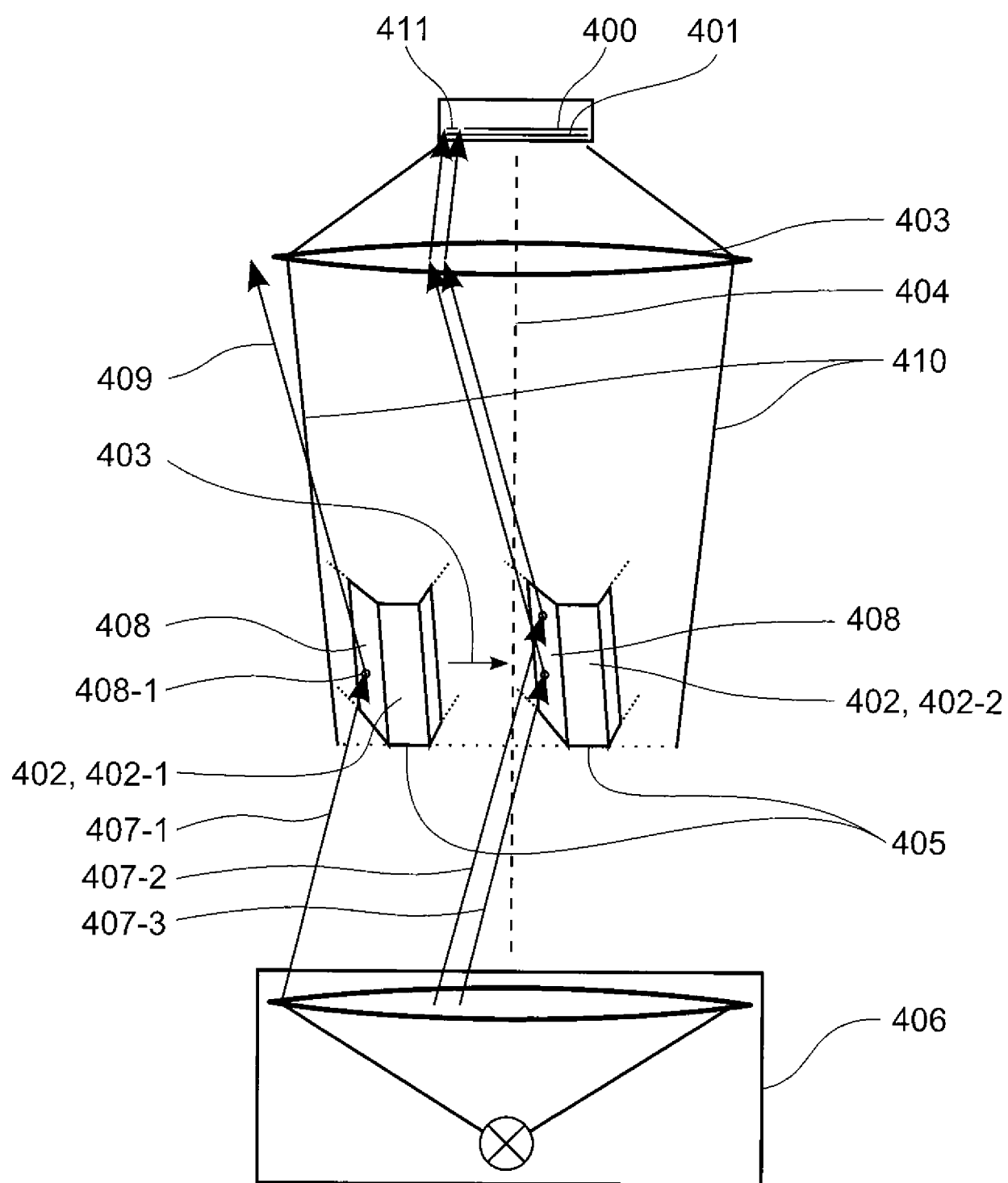


Fig. 12

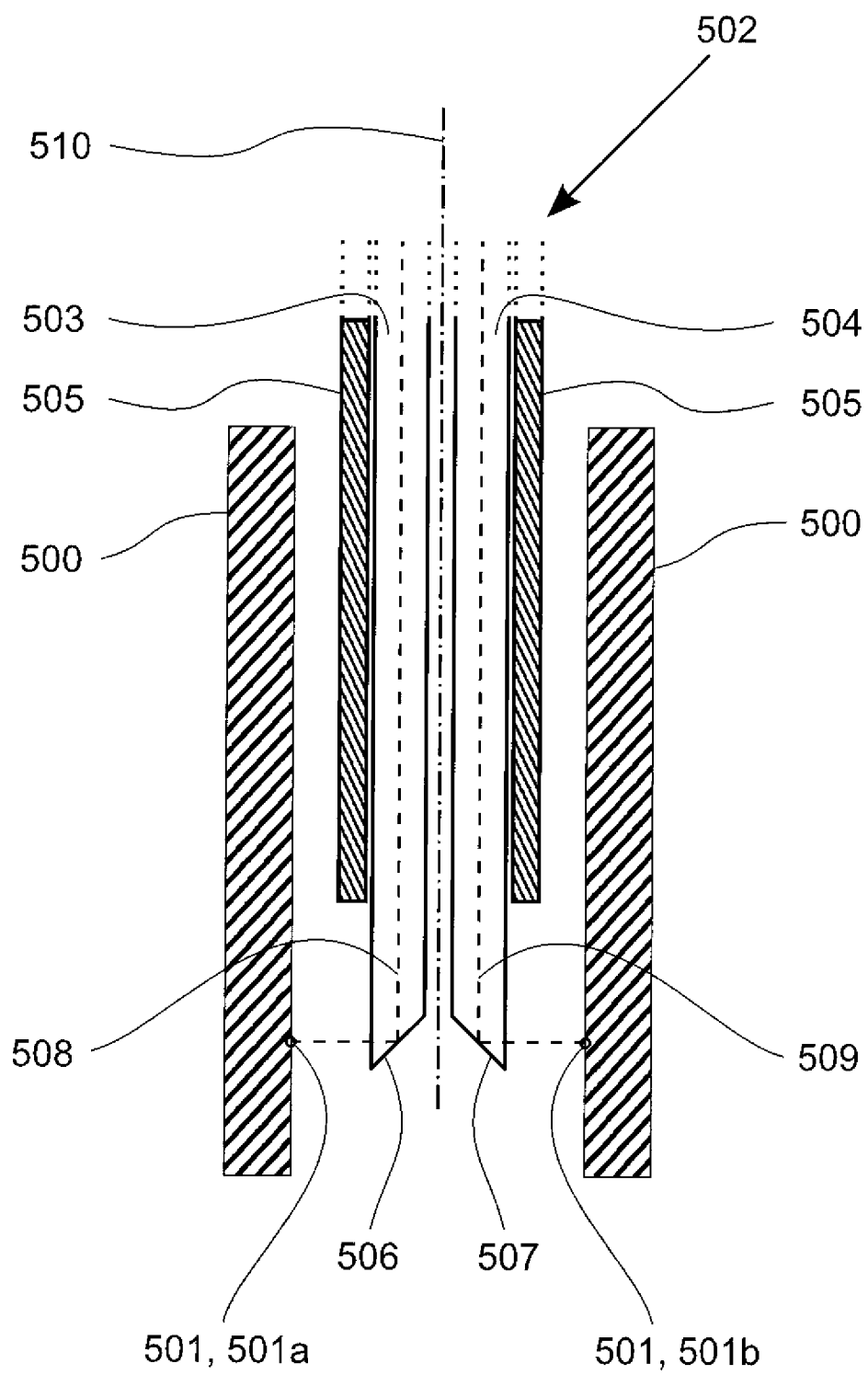


Fig. 13