(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
12. November 2015 (12.11.2015)

WIPO | PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2015/169345 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
G01B 21/04 (2006.01) *H04N 7/04* (2006.01)
G06T 7/00 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2014/059258

(22) Internationales Anmeldedatum:
6. Mai 2014 (06.05.2014)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(71) Anmelder: **CARL ZEISS INDUSTRIELLE MESSTECHNIK GMBH** [DE/DE]; Carl-Zeiss-Strasse 22, 73447 Oberkochen (DE).

(72) Erfinder: **ENGEL, Thomas**; Haertsfeldstrasse 146, 73432 Aalen (DE). **HAVERKAMP, Nils**; Wiesse Steige 32, 73431 Aalen (DE). **SEITZ, Dominik**; Marktgaessle 8, 73525 Schwaebisch Gmuend (DE). **PLOHMANN, Daniel**; Birkacker Hoefe 13, 89415 Lauingen (DE).

(74) Anwalt: **WITTE, WELLER & PARTNER PATENTANWÄLTE MBB**; Zusammenschluss EPA NR. 314, Postfach 10 54 62, 70047 Stuttgart (DE).

(81) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart)*: AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart)*: ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR CALIBRATING AN IMAGING OPTICAL UNIT FOR MEASUREMENT APPLICATIONS

(54) Bezeichnung : VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUM KALIBRIEREN EINER ABBILDUNGSOPTIK FÜR MESSTECHNISCHE ANWENDUNGEN

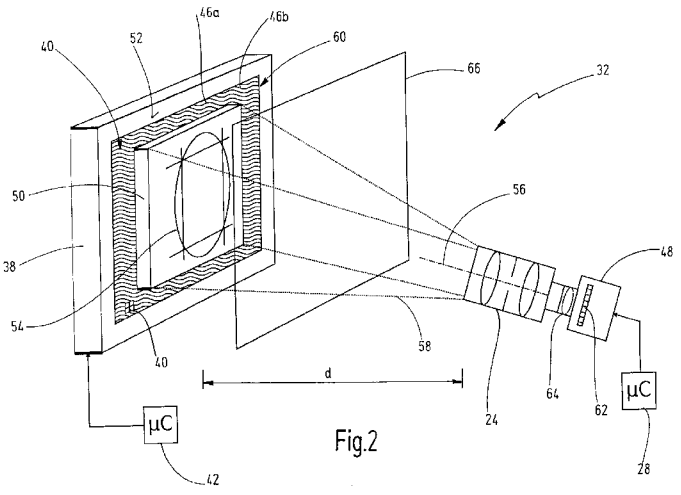


Fig.2

(57) Abstract: For the purposes of calibrating an imaging optical unit (24) for measurement applications, a calibration pattern (44) with a multiplicity of pattern regions (46a, 46b), which are in a defined relation to one another, is provided. At least one image of the calibration pattern (44) is recorded and evaluated by the imaging optical unit (24) in order to quantify individual properties of the imaging optical unit (24). Correction values for a computational correction of aberrations of the imaging optical unit (24) are determined depending on the individual properties. The calibration pattern (44) is provided in this case on an electronic display (38) with a plurality of display pixels (40) arranged in a matrix-like fashion. Moreover, a calibration body (50), on which at least one line (54) with a defined dimension is formed, is recorded by the imaging optical unit. A magnification factor of the imaging optical unit (24) is determined on the basis of the at least one line (54). At least one further individual property of the imaging optical unit (24) is quantified on the basis of the calibration pattern (44).

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2015/169345 A1

LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— *mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)*

Zum Kalibrieren einer Abbildungsoptik (24) für messtechnische Anwendungen wird ein Kalibriermuster (44) mit einer Vielzahlvon Musterbereichen (46a, 46b) bereitgestellt, die in einer definierten Relation zueinander stehen. Es wird zumindestein Bild des Kalibriermusters (44) durch die Abbildungsoptik (24) aufgenommen und ausgewertet, um individuelle Eigenschaftender Abbildungsoptik (24) zu quantifizieren. In Abhängigkeitvon den individuellen Eigenschaftenwerden Korrekturwerte für eine rechnerische Korrektur von Abbildungsfehlern der Abbildungsoptik (24) bestimmt. Das Kalibriermuster (44) wird hier auf einem elektronischen Display (38) mit einer Vielzahlvon matrixförmig angeordneten Displaypixeln (40) bereitgestellt. Außerdem wirdein Kalibrierkörper (50), an demzumindesteine Linie (54) mit einer definierten Abmessung ausgebildetist, durch die Abbildungsoptik aufgenommen. Anhand der zumindesteinen Linie (54) wird ein Vergrößerungsfaktor der Abbildungsoptik (24) bestimmt. Anhand des Kalibriermusters (44) wird zumindesteine weitere individuelle Eigenschaft der Abbildungsoptik (24) quantifiziert.

Verfahren und Vorrichtung zum Kalibrieren einer Abbildungsoptik für messtechnische Anwendungen

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Kalibrieren einer Abbildungsoptik für messtechnische Anwendungen, mit den Schritten:

- Bereitstellen von zumindest einem Kalibriermuster mit einer Vielzahl von Musterbereichen, die in einer definierten Relation zueinander stehen,
- Aufnehmen von zumindest einem Bild des zumindest einen Kalibriermusters durch die Abbildungsoptik,
- Auswerten des zumindest einen Bildes, um individuelle Eigenschaften der Abbildungsoptik zu quantifizieren, und
- Bestimmen von Korrekturwerten für eine rechnerische Korrektur von Abbildungsfehlern der Abbildungsoptik in Abhängigkeit von den quantifizierten individuellen Eigenschaften.

[0002] Ein solches Verfahren und eine entsprechende Vorrichtung sind beispielsweise aus DE 10 2006 034 350 A1 bekannt.

[0003] Das Verfahren und die Vorrichtung aus DE 10 2006 034 350 A1 verwenden ein so genanntes Kalibrierstück, um Hell-Dunkel-Übergänge mit bekanntem Abstand voneinander zu erzeugen. Das Kalibrierstück ist ein länglicher, quaderförmiger Stab mit einer Vielzahl von Durchgangslöchern, deren Öffnungsdurchmesser an der Oberseite und der Unterseite des Kalibrierstücks unterschiedlich ist. Einige der Durchgangslöcher verjüngen sich von der Oberseite des Kalibrierstücks zur Unterseite. Andere

Durchgangslöcher verjüngen sich von der Unterseite zur Oberseite. Anhand dieses Kalibrierstücks sollen Falschmessungen infolge abgeschotteter Kanten sowie eine Verzerrung infolge mangelnder Parallelität ausgeschlossen werden können. Das bekannte Kalibrierstück dient insbesondere zum Kalibrieren einer Zeilenkamera, mit deren Hilfe die Kantenlage von Materialbahnen bestimmt wird, die unter der Zeilenkamera hindurchlaufen.

[0004] DE 10 2004 020 881 A1 offenbart ein Verfahren und eine Vorrichtung zum geometrischen Kalibrieren einer Messbildkamera, wobei eine definierte Teststruktur mithilfe einer kohärenten, monochromatischen Lichtquelle und einer Doppel-Spaltblende erzeugt wird. Die Doppel-Spaltblende wird beispielsweise mit einer als Laser ausgebildeten Lichtquelle beleuchtet. Die beiden Spalte der Doppel-Spaltblende erzeugen jeweils ein Beugungsmuster, das mit der zu kalibrierenden Messbildkamera aufgenommen wird.

[0005] DE 195 36 297 A1 beschreibt ein Verfahren zum geometrischen Kalibrieren von optischen 3D-Sensoren, wobei ein spezieller Kalibrierkörper verwendet wird, der mit einem schwarz-weiß-gestreiften Muster ausgebildet ist. Das Muster wird orthogonal zu einem Streifenmuster angeordnet, welches der optische 3D-Sensor für die Vermessung benötigt. Der Kalibrierkörper kann weitere Signalmarken oder Referenzmarken aufweisen, die sich im Blickfeld der Kamera befinden müssen.

[0006] Die bekannten Kalibriervorrichtungen und -verfahren verwenden jeweils spezielle Kalibrierkörper mit bekannten Eigenschaften, die zum Teil speziell auf die zu kalibrierende Messvorrichtung abgestimmt sind. Je genauer und umfangreicher die Kalibrierung erfolgen soll, desto höher ist der Aufwand für die Bereitstellung der benötigten Kalibrierkörper. Andererseits besteht zunehmend der Wunsch, Abbildungsoptiken für messtechnische Anwendungen möglichst flexibel einsetzen zu können und dementsprechend in Bezug auf eine Vielzahl von unterschiedlichen Abbildungsfehlern zu kalibrieren. Dabei stellen sich vielfältige Messaufgaben, die je nach Größe, Art und Beschaffenheit der Werkstücke in die eine oder in die andere Richtung optimiert werden sollen.

[0007] DE 10 2010 000 745 A1 beschreibt ein Kalibriermuster zum Kalibrieren eines Bildmessinstruments und insbesondere zum Kalibrieren einer kamerabasierten Messvorrichtung zum Messen der Länge eines Messobjekts. Das Kalibriermuster besteht aus konzentrischen oder spiralförmig verlaufenden Quadratringen, die in x- und y-Richtung abwechselnde Hell-Dunkel-Übergänge bereitstellen. Die jeweiligen Abstände von aufeinanderfolgenden Hell-Dunkel- und/oder Dunkel-Hell-Übergängen sind bekannt und dienen zum Kalibrieren der optischen Messvorrichtung. Je nachdem wie die Hell-Dunkel-Übergänge an einem zu vermessenden Messobjekt erscheinen, können die jeweils passenden Übergänge in dem Kalibriermuster für die Kalibrierung verwendet werden. DE 10 2010 000 745 A1 beschreibt nicht, wie die vorgeschlagenen Kalibriermuster praktisch realisiert werden sollen. Der Umstand, dass die tatsächlichen Abstände zwischen den Hell-Dunkel-Übergängen und/oder Dunkel-Hell-Übergängen für die Kalibrierung verwendet werden sollen, deutet allerdings darauf hin, dass diese Abstände mit hoher Genauigkeit und Reproduzierbarkeit hergestellt sein müssen, was wiederum auf einen speziell für diese Kalibrierung hergestellten Kalibrierkörper schließen lässt.

[0008] Vor diesem Hintergrund ist es eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Kalibrieren einer Abbildungsoptik für messtechnische Anwendungen anzugeben, die eine möglichst umfangreiche, flexible und kostengünstige Kalibrierung in Bezug auf vielfältige Messaufgaben ermöglichen.

[0009] Gemäß einem ersten Aspekt der vorliegenden Erfindung wird diese Aufgabe durch ein Verfahren der eingangs genannten Art gelöst, bei dem das zumindest eine Kalibriermuster auf einem elektronischen Display mit einer Vielzahl von matrixförmig angeordneten Displaypixeln bereitgestellt wird, wobei das elektronische Display in der Lage ist, mit Hilfe der matrixförmig angeordneten Displaypixel verschiedene Kalibriermuster zeitlich nacheinander zu erzeugen, wobei eines der verschiedenen Kalibriermuster angezeigt wird, wobei ferner ein Kalibrierkörper bereitgestellt wird, an dem zumindest eine Linie mit einer definierten Abmessung – vorzugsweise dauerhaft – ausgebildet ist, wobei anhand der zumindest einen Linie ein Vergrößerungsfaktor der Abbildungsoptik bestimmt wird, und wobei anhand des zumindest einen Kalibriermusters zumindest eine weitere individuelle Eigenschaft der Abbildungsoptik quantifiziert wird.

[0010] Gemäß einem weiteren Aspekt der Erfindung wird diese Aufgabe durch eine Kalibriervorrichtung zum Kalibrieren einer Abbildungsoptik für messtechnische Anwendung gelöst, mit einem elektronischen Display mit einer Vielzahl von matrixförmig angeordneten Displaypixeln, mit einem Mustergenerator, der mit Hilfe der matrixförmig angeordneten Displaypixel in der Lage ist, eine Vielzahl von verschiedenen Kalibriermustern zu erzeugen, wobei die Kalibriermuster jeweils eine Vielzahl von Musterbereichen aufweisen, die in einer definierten Relation zueinander stehen, und mit einer Kalibriereinheit, die zumindest ein durch die Abbildungsoptik aufgenommenes Bild von zumindest einem dieser verschiedenen Kalibriermuster auswertet, um individuelle Eigenschaften der Abbildungsoptik zu quantifizieren und Korrekturwerte für eine rechnerische Korrektur von Abbildungsfehlern in Abhängigkeit von den quantifizierten individuellen Eigenschaften zu bestimmen, ferner mit einem Kalibrierkörper, an dem zumindest eine Linie mit einer definierten Abmessung – vorzugsweise dauerhaft – ausgebildet ist, wobei die Kalibriereinheit dazu ausgebildet ist, anhand der zumindest einen Linie auf der transparenten Platte einen Vergrößerungsfaktor der Abbildungsoptik zu bestimmen und anhand des zumindest einen Kalibriermusters zumindest eine weitere individuelle Eigenschaft der Abbildungsoptik zu quantifizieren.

[0011] Besonders vorteilhaft ist es, wenn die neue Kalibriervorrichtung in einer Messvorrichtung zum Vermessen von verschiedenen Messobjekten integriert ist.

[0012] Das neue Verfahren und die entsprechende Vorrichtung verwenden ein elektronisches Display, mit dem eine Vielzahl von verschiedenen Kalibriermustern flexibel und variabel erzeugt werden können. Prinzipiell kann das elektronische Display ein so genannter Tablet-PC oder ein Mobiltelefon sein, insbesondere ein Smartphone. In einigen Ausführungsbeispielen ist der Kalibrierkörper mit der Linie eine transparente Platte, die mit dem elektronischen Display lösbar oder permanent zu einem elektronischen Kalibrierkörper verbunden ist. Beispielsweise kann ein handelsüblicher Tablet-PC mit einer speziellen Halterung zur Aufnahme einer transparenten Platte mit der exakt definierten Linie versehen sein. Das Display, die Halterung und/oder die transparente Platte können in einigen Ausführungsbeispielen vom Bediener der Kalibriervorrichtung für die Durchführung einer bestimmten Kalibrieraufgabe zusammengesetzt werden. Beispielsweise könnte ein handelsüblicher Tablet-PC in eine mechanische Halterung eingesetzt sein, die pass-

genaue Aufnahmepunkte sowohl für den Tablet-PC als auch für die transparente Platte aufweist. In anderen Ausführungsbeispielen kann der Kalibrierkörper ein Kugelendmaß mit mehreren Kugeln, ein Ring, eine Teil- oder Vollkugel oder ein anderer dreidimensionaler Körper sein, an dem die zumindest eine Linie als Kante, Umfang und/oder Abstandsmaß zwischen zwei Formelementen implementiert ist. Darüber hinaus kann das Gehäuse des Tablet-PC oder Smartphones, allgemeiner des Displays, als Kalibrierkörper mit der definierten Abmessung dienen, wenn die definierte Abmessung im Rahmen der Kalibrierung vor Ort aktuell gemessen wird.

[0013] Der Mustergenerator kann die verschiedenen Kalibriermuster anhand eines im Mustergenerator hinterlegten Algorithmus bedarfsweise erzeugen und/oder vordefinierte Kalibriermuster aus einem integrierten Festspeicher abrufen. Die Erzeugung bzw. der Abruf kann zeitgesteuert sein, manuell durch den Bediener erfolgen und/oder durch ein Triggersignal, das dem Mustergenerators beispielsweise von der zu kalibrierenden Messvorrichtung zugeführt wird, erfolgen. Dementsprechend kann der Mustergenerator in einigen Ausführungsbeispielen eine Schnittstelle mit einem Eingang zum Zuführen des Triggersignals besitzen.

[0014] In allen praktischen Ausführungsbeispielen stellt der Kalibrierkörper mit Hilfe der Linie ein absolutes, bekanntes Längenmaß bereit. Vorteilhaft ist es, wenn das Längenmaß direkt oder indirekt auf internationale Standards für die Längeneinheit rückführbar ist. Die bekannte Abmessung macht es möglich, den Vergrößerungsfaktor der zu kalibrierenden Abbildungsoptik mit hoher Genauigkeit zu bestimmen. Dies ist wünschenswert, wenn die Abbildungsoptik dazu verwendet werden soll, räumliche Abmessungen an Messobjekten mit hoher Genauigkeit zu bestimmen.

[0015] Der Vergrößerungsfaktor ist jedoch nur eine von zahlreichen Eigenschaften einer Abbildungsoptik, die für messtechnische Anwendungen von Bedeutung ist. Eine andere individuelle Eigenschaft ist beispielsweise die Verzeichnung der Abbildungsoptik, die sichtbar wird, wenn das mit der Abbildungsoptik erzeugte Bild eines Messobjekts kissen- oder tonnenförmig verzerrt wird. Die Verzeichnung repräsentiert eine ortsabhängige lokale Vergrößerung der Abbildungsoptik, die insbesondere am Feldrand der Abbildungsoptik anders sein kann als im Bereich der optischen Achse. Um eine

Abbildungsoptik in Bezug auf die individuelle Verzeichnung zu kalibrieren, sind großflächige Kalibriermuster wünschenswert, die sich mithilfe des elektronischen Displays sehr einfach und kostengünstig erzeugen lassen.

[0016] Ein elektronisches Display kann ein absolutes Längenmaß jedoch nicht oder allenfalls mit sehr hohem Herstellungsaufwand zur Verfügung stellen, da die Displaypixel eines elektronischen Displays zahlreichen Fertigungstoleranzen unterliegen. Das neue Verfahren und die entsprechende Vorrichtung kombinieren daher in einer sehr vorteilhaften Weise einen einfachen, exakten „Längenmaßstabskörper", der in vorteilhaften Beispielen nur das absolute Längenmaß bereitstellt, und ein elektronisches Display, das in der Lage ist, verschiedene Kalibriermuster für weitere Kalibrieraufgaben zu erzeugen. Der Kalibrierkörper mit dem Längenmaß kann in einigen vorteilhaften Ausführungsbeispielen eine transparente Platte sein, auf der die Linie dauerhaft aufgebracht ist, beispielsweise mithilfe von lithographischen Verfahren, wie sie in der Halbleitertechnologie zur Anwendung kommen. Alternativ oder ergänzend kann die zumindest eine Linie mithilfe eines Elektronenstrahlschreibverfahrens auf oder in der transparenten Platte ausgebildet sein, beispielsweise in einer dünnen Chromschicht. Vorteilhaft ist der Kalibrierkörper aus einem Material mit einem niedrigen thermischen Ausdehnungskoeffizienten hergestellt, etwa aus Quarzglas, Quarz oder Zerodur®. Zerodur® ist ein glaskeramischer Werkstoff von der Schott AG, Deutschland, der bekanntermaßen einen sehr geringen thermischen Ausdehnungskoeffizienten besitzt. Alternativ wird das absolute Längenmaß vor Ort im Rahmen der Kalibrierung gemessen.

[0017] In bevorzugten Ausführungsbeispielen ist die transparente Platte breitbandig entspiegelt. Die Entspiegelung wirkt vorteilhaft über den gesamten Spektralbereich des sichtbaren Lichts. Für Infrarotlicht kann die transparente Platte hingegen spiegelnd ausgebildet sein, um einerseits die Kalibriermuster durch die transparente Platte hindurch mit hohem Kontrast aufnehmen zu können und andererseits die zumindest eine Linie auf der transparenten Platte optimal detektieren zu können.

[0018] Die auf dem elektronischen Display flexibel erzeugbaren Kalibriermuster sind zwar aufgrund der Fertigungstoleranzen der Displaypixel in ihren individuellen

Eigenschaften nicht exakt bestimmt und dementsprechend nicht genau bekannt. Sie sind jedoch hinreichend konsistent, um durch Auswertung von auf Konsistenz ausgelegten Messreihen eine Kalibrierung der Abbildungsoptik durchführen zu können. Beispielsweise kann ein individuelles Kalibriermuster mit der Abbildungsoptik aus unterschiedlichen Abständen und/oder unterschiedlichen lateralen Positionen mit der zu kalibrierenden Abbildungsoptik aufgenommen werden. Da das Kalibriermuster als solches auf dem elektronischen Display gleich bleibt, sind Abweichungen hinsichtlich der erhaltenen Messergebnisse auf die Abbildungsoptik und/oder die relative Verschiebung von Abbildungsoptik und Kalibriermuster zurückzuführen. Daher erlaubt das elektronische Display trotz der an sich nicht exakt bekannten Eigenschaften der Kalibriermuster auf recht einfache und kostengünstige Weise eine genaue Kalibrierung in Bezug auf Abbildungsfehler, wie Verzeichnung, Kontrast, chromatische Aberration u.a. In Ergänzung dazu verwendet die neue Kalibriervorrichtung ein separates Längenmaß für die Kalibrierung des Vergrößerungsfaktors.

[0019] Insgesamt hat sich gezeigt, dass das neue Verfahren und die entsprechende Vorrichtung eine flexible Kalibrierung einer Abbildungsoptik für messtechnische Anwendungen auf sehr kostengünstige Weise ermöglichen. Die oben genannte Aufgabe ist daher vollständig gelöst.

[0020] In einer bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung weist das elektronische Display eine Oberseite auf, an der das Kalibriermuster angezeigt wird, und die zumindest eine Linie ist über dem Kalibriermuster an der Oberseite angeordnet.

[0021] Diese Ausgestaltung ermöglicht eine sehr kostengünstige Realisierung, da das Längenmaß einfach auf oder über dem elektronischen Display befestigt werden kann. In den bevorzugten Ausführungsbeispielen besitzt eine transparente Platte nur wenige Linien, d.h. die Linien auf der Platte bedecken weniger als 10 % und bevorzugt weniger als 2 % der transparenten Fläche der Platte. Die transparente Platte behindert die Durchsicht der Abbildungsoptik auf das Kalibriermuster in diesen Ausführungsbeispielen allenfalls in einem vernachlässigbaren Umfang. Zudem ist die Sicht der Abbildungsoptik auf den Absolutmaßstab in dieser Ausgestaltung „frei“, d.h. der Absolutmaßstab wird nicht durch das Display und darauf erzeugte Kalibriermuster beeinträchtigt.

[0022] In einer weiteren Ausgestaltung ist die transparente Platte eine Deckplatte des elektronischen Displays.

[0023] In dieser Ausgestaltung ist die transparente Platte mit der zumindest einen Linie fest auf oder über der Oberseite des elektronischen Displays angeordnet. Die transparente Platte ist ein integraler Bestandteil des Displays. Die Handhabung der neuen Kalibriervorrichtung wird so vereinfacht.

[0024] In einer weiteren Ausgestaltung ist die zumindest eine Linie in einer Draufsicht auf das Kalibriermuster versetzt zu den Displaypixeln angeordnet. Vorteilhaft besitzt die zumindest eine Linie eine Breite, die geringer ist als die doppelte Breite eines Displaypixels. In einigen Ausführungsbeispielen entspricht die Breite der zumindest einen Linie in etwa den lateralen Abmessungen eines Displaypixels.

[0025] In dieser Ausgestaltung ist die zumindest eine Linie so über den Displaypixeln des elektronischen Displays angeordnet, dass die zumindest eine Linie die darunter liegenden Displaypixel zumindest nicht vollständig abdeckt. Gewissermaßen verläuft die zumindest eine Linie zwischen den Displaypixeln, wobei es je nach Größe und Abstand der Displaypixel voneinander sein kann, dass die zumindest eine Linie einzelne Displaypixel teilweise abdeckt. Die Ausgestaltung besitzt den Vorteil, dass das Kalibriermuster trotz des darüber angeordneten Absolutmaßstabes praktisch vollständig für die Quantifizierung der zumindest einen weiteren individuellen Eigenschaft zur Verfügung steht. Die Abdeckung des Kalibriermusters durch den Absolutmaßstab ist auf ein Minimum reduziert.

[0026] In einer weiteren Ausgestaltung definieren die Displaypixel zusammen eine maximale Displayfläche, wobei die Abbildungsoptik ein Sichtfeld aufspannt, und wobei das elektronische Display in einer Entfernung zu der Abbildungsoptik positioniert wird, die so gewählt wird, dass das Sichtfeld maximal 3/4 der maximalen Displayfläche einnimmt. Vorzugsweise wird das Sichtfeld der Abbildungsoptik weitgehend mittig auf dem elektronischen Display positioniert. Des Weiteren ist es bevorzugt, wenn das Sichtfeld der Abbildungsoptik maximal 2/3 der maximalen Displayfläche einnimmt.

[0027] In dieser Ausgestaltung ist die Displayfläche des elektronischen Displays größer, als für die zu kalibrierende Abbildungsoptik benötigt wird. Es lassen sich somit Kalibriermuster erzeugen, die so großflächig sind, dass die Abbildungsoptik jeweils nur Ausschnitte der Kalibriermuster abbilden kann. Auf den ersten Blick erscheint diese Ausgestaltung nachteilig, da größere und damit teurere Displays verwendet werden, als für die Kalibrierung der Abbildungsoptik benötigt werden. Es hat sich jedoch gezeigt, dass die Kalibriermuster mit einer höheren Homogenität erzeugt werden können, wenn nicht die gesamte Displayfläche ausgenutzt wird. Daher ermöglicht diese Ausgestaltung auf einfache und letztlich doch kostengünstige Weise eine Kalibrierung mit hoher Genauigkeit.

[0028] In einer weiteren Ausgestaltung wird das zumindest eine Bild mit einem elektronischen Bildaufnehmer aufgenommen, der eine Vielzahl von Sensorpixeln besitzt, wobei die Anzahl der Displaypixel höher ist als die Anzahl der Sensorpixel. Vorzugsweise liegt das Verhältnis zwischen der Anzahl der Displaypixel und der Anzahl der Sensorpixel in etwa im Bereich des angenommenen Vergrößerungsfaktors (Sollfaktors für die Vergrößerung) der zu kalibrierenden Abbildungsoptik. In den bevorzugten Ausführungsbeispielen ist die Anzahl der Displaypixel mindestens um den Vergrößerungsfaktor der Abbildungsoptik höher als die Anzahl der Sensorpixel, und besonders bevorzugt ist die Anzahl der Displaypixel mindestens um den Faktor 10 höher als die Anzahl der Sensorpixel.

[0029] Eine hohe Pixeldichte bei dem mustererzeugenden Display macht es einfacher, den Kontrastverlauf an Hell-Dunkel-Kanten bzw. die "Verwaschung" durch die Abbildungsoptik zu quantifizieren. Die Bestimmung der Lage einer Kante ist in der modernen Bildverarbeitung von großer Bedeutung. Je genauer die Lage einer Kante bestimmt werden kann, desto genauer kann ein Messobjekt vermessen werden. Dementsprechend ist es vorteilhaft, wenn mit der neuen Kalibriervorrichtung Kantenverläufe erzeugt werden können, die für den elektronischen Bildaufnehmer "kontinuierlich" erscheinen, obwohl sie mithilfe diskreter Displaypixel erzeugt werden. Dieses Kriterium ist in der vorliegenden Ausgestaltung auf einfache Weise erfüllt. Besonders vorteilhaft ist es, wenn die Kanten der zumindest einen Linie auf der transparenten Platte so scharf ausgebildet sind, dass anhand der Linienkante eine Kalibrierung der Schwellwerte für die Kantendetektion möglich ist. Das bevorzugte Verfahren verwendet die Kanten der zumindest einen Linie

also zur Kalibrierung der Schwellwerte für eine Kantendetektion. Die Ausgestaltung ist von Vorteil, weil sie auf kostengünstige Weise eine sehr umfangreiche Kalibrierung einer Abbildungsoptik für messtechnische Anwendungen ermöglicht.

[0030] In einer weiteren Ausgestaltung besitzt die Abbildungsoptik eine optische Achse und einen Feldrand, wobei die zumindest eine Linie zwischen der optischen Achse und dem Feldrand positioniert wird. In einigen Ausführungsbeispielen bildet die zumindest eine Linie einen Kreisring, der in etwa mittig zwischen der optischen Achse der Abbildungsoptik und deren Feldrand positioniert wird.

[0031] Alternativ hierzu könnte die zumindest eine Linie in anderen Ausgestaltungen auf oder im Bereich der optischen Achse oder ganz am Feldrand der Abbildungsoptik positioniert werden. Die bevorzugte Ausgestaltung besitzt demgegenüber den Vorteil, dass die mithilfe des zumindest einen Kalibriermusters quantifizierbare Verzeichnung auf einen mittleren Vergrößerungsfaktor zentriert wird, wodurch die relative Streuung der ortsabhängigen Vergrößerung minimiert wird. Die Ausgestaltung ermöglicht daher eine Kalibrierung mit höherer Genauigkeit bei ansonsten gleichbleibendem Kalibrieraufwand. Die Ausbildung der zumindest einen Linie als Kreisring ermöglicht darüber hinaus eine einfache richtungsabhängige Bestimmung und Korrektur von Maßstabsfehlern der Abbildungsoptik.

[0032] In einer weiteren Ausgestaltung wird am bildseitigen Ende der Abbildungsoptik eine verkleinernde Projektivoptik angeordnet.

[0033] Diese Ausgestaltung ist vorteilhaft, da das mithilfe der Displaypixel erzeugte Kalibriermuster auf dem elektronischen Bildaufnehmer verkleinert wird, was zur Folge hat, dass die "Pixeligkeit" des elektronischen Displays effektiv verringert wird und Kontrastverläufe glatter erscheinen. Die Ausgestaltung liefert daher auf einfache Weise optimierte Kalibriermuster für eine flexible und hochgenaue Kalibrierung der Abbildungsoptik in Bezug auf Kontrastverwaschungen und Schwellwerte für die Kantendetektion.

[0034] In einer weiteren Ausgestaltung weisen die einzelnen Displaypixel jeweils eine Abstrahlcharakteristik auf und zwischen dem zumindest einen Kalibriermuster und der Abbildungsoptik wird ein kantenförmiges Zwischenelement angeordnet, das die Abstrahlcharakteristik der einzelnen Displaypixel modifiziert. Besonders vorteilhaft ist es, wenn das plattenförmige Zwischenelement die Abstrahlcharakteristik der einzelnen Displaypixel verkleinert, das heißt das von den Displaypixeln abgestrahlte Licht wird auf einen engeren Raumwinkel konzentriert als ohne das plattenförmige Zwischenelement. In einigen Ausführungsbeispielen ist das plattenförmige Zwischenelement eine Filterscheibe oder Folie, wie sie bei Notebooks und Tablet-PCs verwendet wird, um ein unbefugtes Mitlesen von der Seite zu erschweren (so genannte blickwinkelbeschränkende Folien, Vicuity-Filter). In anderen Ausführungsbeispielen kann das plattenförmige Zwischenelement eine Vielzahl von Mikrolinsen aufweisen und/oder eine Lochrasterblende sein, wobei auch in diesen Fällen das plattenförmige Zwischenelement vorteilhaft so ausgebildet ist, dass es die Abstrahlcharakteristik der einzelnen Displaypixel in einer Richtung senkrecht zur Oberfläche des Displays konzentriert.

[0035] Die Ausgestaltung besitzt den Vorteil, dass eine höhere Lichtausbeute in Richtung der zu kalibrierenden Abbildungsoptik erreicht wird. Dadurch lassen sich Kalibriermuster mit sehr fein abgestuften Kontrastverläufen erzeugen, was für eine flexible und genaue Kalibrierung von Vorteil ist.

[0036] In einer weiteren Ausgestaltung werden zeitlich nacheinander zumindest zwei Bilder von dem zumindest einen Kalibriermuster durch die Abbildungsoptik aufgenommen, wobei das zumindest eine Kalibriermuster zwischen der Aufnahme der zumindest zwei Bilder auf dem elektronischen Display verschoben und/oder verzerrt wird.

[0037] In dieser Ausgestaltung wird die Position des Kalibriermusters auf dem elektronischen Display "elektronisch" verändert, indem das auf dem Display erzeugte Kalibriermuster durch geeignete Ansteuerung der einzelnen Displaypixel verschoben wird. Die Position des Displays relativ zu der Abbildungsoptik bleibt hingegen konstant. Da das Kalibriermuster selbst konsistent erhalten bleibt, ermöglicht diese Ausgestaltung in sehr vorteilhafter Weise, die intrinsische Verzeichnung des elektronischen Displays anhand der aufgenommenen Bilder zu bestimmen. Vorteilhaft erfolgt die Verschiebung aller Bild-

elemente des Kalibriermusters in Teilschritten des Teilungsfehlers des Displays. Alternativ oder ergänzend kann die Verzeichnung des Kontrastmusters auf dem Display in determinierter Weise "elektronisch" verstärkt werden, indem das Kalibriermuster mithilfe einer mathematisch bekannten Funktion verändert wird. Durch eine geeignete Ausgleichsrechnung zwischen der bekannten Verzeichnung und der beobachteten Verzeichnung in den aufgenommenen Bildern können die zur Verzeichnung führenden Abbildungsfehler der Optik und die Fehler des Displays vorteilhaft voneinander getrennt werden.

[0038] Darüber hinaus besitzt diese Ausgestaltung den Vorteil, dass anhand des konsistenten Kalibriermusters ortsabhängige Abbildungsfehler der Abbildungsoptik auf sehr einfache und kostengünstige Weise quantifiziert werden können.

[0039] In einer weiteren Ausgestaltung ist die Abbildungsoptik Teil einer Messvorrichtung mit einem definierten Messvolumen, und das elektronische Display ist dauerhaft in dem definierten Messvolumen angeordnet.

[0040] In dieser Ausgestaltung ist das elektronische Display ein integrierter Teil der Messvorrichtung, deren Abbildungsoptik mithilfe des elektronischen Displays kalibriert werden soll. Die Ausgestaltung besitzt den Vorteil, dass die Kalibrierung im Betrieb der Messvorrichtung jederzeit auf einfache und komfortable Weise wiederholt werden kann. Besonders vorteilhaft ist es, wenn eine individuelle Kalibrierung vor jedem neuen Messvorgang durchgeführt wird.

[0041] In einer weiteren Ausgestaltung wird das zumindest eine Kalibriermuster auf dem elektronischen Display in Abhängigkeit von einem zu vermessenden Messobjekt erzeugt.

[0042] In dieser Ausgestaltung hängt das verwendete Kalibriermuster von dem zu vermessenden Messobjekt ab. Für zwei verschiedene Messobjekte werden dementsprechend zwei verschiedene Kalibriermuster auf dem Display erzeugt. Die Ausgestaltung nutzt auf vorteilhafte Weise die Flexibilität, die das neue Verfahren und die neue Kalibriervorrichtung bieten. Wird beispielsweise ein relativ kleines Messobjekt vermessen, kann es

von Vorteil sein, die Abbildungsoptik mit einem Kalibriermuster zu kalibrieren, das auf den Bereich um die optische Achse der Abbildungsoptik herum optimiert ist. Größere Abbildungsfehler am Feldrand der Abbildungsoptik werden dann vorteilhaft in Kauf genommen, da sie für die Messaufgabe von untergeordneter Bedeutung sind. Wird hingegen ein größeres Messobjekt vermessen, dessen Abbild das Sichtfeld der Abbildungsoptik vollständig ausfüllt, ist es von Vorteil, die Kalibrierung über das gesamte Sichtfeld zu optimieren, selbst wenn dies im Bereich der optischen Achse zu größeren Messunsicherheiten führt. Die vorliegende Ausgestaltung macht vorteilhaften Gebrauch von den Möglichkeiten des neuen Verfahrens und der neuen Kalibriervorrichtung, indem sie eine an die jeweilige Messsituation angepasste dynamische Kalibrierung verwendet.

[0043] Es versteht sich, dass die vorstehend genannten und die nachstehend noch zu erläuternden Merkmale nicht nur in der jeweils angegebenen Kombination, sondern auch in anderen Kombinationen oder in Alleinstellung verwendbar sind, ohne den Rahmen der vorliegenden Erfindung zu verlassen.

[0044] Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in der Zeichnung dargestellt und werden in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 ein Koordinatenmessgerät mit einer integrierten Kalibriervorrichtung gemäß einem bevorzugten Ausführungsbeispiel der Erfindung,

Fig. 2 eine schematische Darstellung zur Erläuterung von bevorzugten Ausführungsbeispielen des neuen Verfahrens und der neuen Kalibriervorrichtung,

Fig. 3 eine vereinfachte Darstellung eines durch die zu kalibrierende Abbildungsoptik aufgenommenen Bildes mit einer Linienstruktur, die einen Absolutmaßstab bildet, und

Fig. 4 eine schematische Darstellung, die eine bevorzugte Positionierung der zumindest einen Linie über den Displaypixeln eines elektronischen Displays zeigt.

[0045] In Fig. 1 ist ein Koordinatenmessgerät mit einem bevorzugten Ausführungsbeispiel der neuen Kalibriervorrichtung in seiner Gesamtheit mit der Bezugsziffer 10 bezeichnet. Das Koordinatenmessgerät 10 besitzt eine Werkstückaufnahme 12, die hier in Form eines Kreuztisches ausgebildet ist. Der Kreuztisch besitzt ein Unterteil 14, das auf Führungsschienen (hier nicht zu sehen) beweglich gelagert ist. Das Unterteil 14 kann sich auf den Führungsschienen entlang einer Achse bewegen, die hier als y-Achse bezeichnet ist. Auf dem Unterteil 14 ist ein Oberteil 16 angeordnet, welches auf Führungsschienen 18 entlang einer zweiten Achse beweglich gelagert ist. Die zweite Bewegungsachse ist hier als x-Achse bezeichnet. Die x- und y-Achse sind orthogonal zueinander angeordnet, so dass sich die Werkstückaufnahme 12 in zwei zueinander orthogonalen Raumrichtungen bewegen kann, um ein Werkstück (hier nicht dargestellt) innerhalb eines definierten Messvolumens zu positionieren.

[0046] Das Koordinatenmessgerät 10 besitzt ferner eine Säule 20, an der eine Pinole 22 in vertikaler Richtung beweglich gelagert ist. Die vertikale Bewegungsrichtung der Pinole 22 ist hier als z-Achse bezeichnet. An der Pinole 22 ist eine Abbildungsoptik 24 angeordnet, die Teil eines optischen Sensors ist, mit dessen Hilfe Werkstücke vermessen werden können. Typischerweise beinhaltet der optische Sensor eine Kamera, die durch die Abbildungsoptik 24 hindurch ein Bild von dem Messobjekt aufnimmt. Dieses Bild wird mit Methoden der Bildverarbeitung ausgewertet. Darüber hinaus werden in der Regel die Positionen der Werkstückaufnahme 12 entlang der x- und y-Achse sowie die Position der Pinole 22 entlang der Z-Achse ausgewertet, um die mithilfe der Bildverarbeitung bestimmten Merkmale des Messobjekts in eine räumliche Beziehung zu setzen.

[0047] Das Koordinatenmessgerät 10 besitzt in diesem Ausführungsbeispiel ferner einen taktilen Sensor, an dem ein Taststift 26 angeordnet ist. Mit dem Taststift 26 kann das Koordinatenmessgerät 10 ausgewählte Messpunkte an einem Messobjekt antasten, um auf diese Weise Raumkoordinaten der angetasteten Messpunkte innerhalb des von den Bewegungsachsen aufgespannten Messvolumens zu bestimmen.

[0048] Mit der Bezugsziffer 28 ist eine Auswerte- und Steuereinheit bezeichnet, die einerseits die Bewegungen der Werkstückaufnahme 12 und der Pinole 22 steuert. Des Weiteren wertet die Auswerte- und Steuereinheit die von den Sensoren gelieferten Signale aus und bestimmt in Abhängigkeit von einem benutzerdefinierten Messprogramm die gesuchten Eigenschaften des Messobjekts. Mit der Bezugsziffer 30 ist ein Steuerpult bezeichnet, über das ein Bediener Eingaben in die Auswerte- und Steuereinheit machen kann.

[0049] Das hier dargestellte Koordinatenmessgerät 10 ist ein Beispiel für eine Messvorrichtung, bei der das neue Verfahren und die neue Kalibriervorrichtung vorteilhaft verwendet werden können. Das neue Verfahren und die neue Kalibriervorrichtung sind jedoch nicht auf das Koordinatenmessgerät 10 beschränkt. Sie können ebenso bei anderen Messvorrichtungen verwendet werden, die einen von der Darstellung in Fig. 1 abweichenden Aufbau besitzen. Darüber hinaus können das neue Verfahren und die neue Kalibriervorrichtung vorteilhaft bei Messvorrichtungen verwendet werden, die Oberflächeneigenschaften eines Messobjekts, wie Rauheit, Glanzgrad oder Ähnliches, bestimmen. Mit anderen Worten sind das neue Verfahren und die neue Kalibriervorrichtung nicht auf Messvorrichtungen beschränkt, die geometrische Eigenschaften eines Messobjekts bestimmen.

[0050] Gemäß einem bevorzugten Ausführungsbeispiel beinhaltet das Koordinatenmessgerät 10 hier eine integrierte Kalibriervorrichtung 32 (siehe Fig. 2), die ein elektronisches Display 38 beinhaltet. In dem bevorzugten Ausführungsbeispiel ist das elektronische Display 38 in dem Messvolumen des Koordinatenmessgerätes 10 dauerhaft angeordnet, so dass eine Kalibrierung der Abbildungsoptik 24 jederzeit auch innerhalb eines Messablaufs oder zwischen zeitlich aufeinanderfolgenden Messabläufen durchgeführt werden kann. In anderen Ausführungsbeispielen kann das Display 38 auf einer Werkstückpalette befestigt sein, wie sie zum automatisierten Zuführen von Werkstücken zu der Messvorrichtung verwendet werden. In diesem Fall ist es von Vorteil, wenn die Werkstückpalette elektrische Kontakte aufweist, über die das Display 38 mit der Auswerte- und Steuereinheit 28 der Messvorrichtung kommunizieren kann.

[0051] In dem dargestellten Ausführungsbeispiel ist das elektronische Display 38 an dem Oberteil 16 der Werkstückaufnahme 12 befestigt, und das Oberteil 16 kann entlang seiner Bewegungsachse so weit verfahren werden, dass die Abbildungsoptik 24 senkrecht über dem elektronischen Display 38 positioniert wird. Anschließend kann ein von dem elektronischen Display 38 bereitgestelltes Kalibriermuster durch die zu kalibrierende Abbildungsoptik 24 aufgenommen und ausgewertet werden, um individuelle Eigenschaften der Abbildungsoptik 24 zu bestimmen und in Abhängigkeit davon Korrekturwerte zu berechnen, mit denen Abbildungsfehler der Abbildungsoptik 24 rechnerisch korrigiert werden können.

[0052] Fig. 2 zeigt die neue Kalibriervorrichtung mit weiteren Details. Das Display 38 besitzt eine Vielzahl von Pixeln 40. Ein Mustergenerator 42 erzeugt mithilfe der Displaypixel 40 ein Kalibriermuster 44, das eine Vielzahl von Musterbereichen 46a, 46b aufweist. Die Musterbereiche 46a, 46b sind in dem hier dargestellten Ausführungsbeispiel wellenförmige Linien, die in einer definierten Relation zueinander stehen. Prinzipiell kann das Kalibriermuster 44 andere Musterbereiche 46 aufweisen, etwa konzentrische Kreisringe, Quadratringe, Streifen, Gitterstrukturen oder Kombinationen derartiger Musterelemente. In den bevorzugten Ausführungsbeispielen des neuen Verfahrens kommt es nicht darauf an, dass die definierten Relationen zwischen den einzelnen Musterbereichen exakt bekannt sind. Es genügt vielmehr, dass die Relationen zwischen den Musterbereichen über eine Zeitspanne, die für den Kalibriervorgang benötigt wird, konsistent erhalten bleiben. Zum Kalibrieren der Abbildungsoptik 24 werden ein oder mehrere Kalibriermuster 44 durch die Abbildungsoptik 24 mit einer Kamera 48 aufgenommen und in Bezug auf die Konsistenz zwischen den Musterbereichen ausgewertet.

[0053] In einigen bevorzugten Ausführungsbeispielen wird der Abstand d zwischen der Abbildungsoptik 24 (genau genommen zwischen der frontseitigen Glasfläche der Abbildungsoptik 24) und dem Kalibriermuster 44 auf dem Display 38 von einer Bildaufnahme zur nächsten verändert, so dass das Kalibriermuster 44 aus verschiedenen Abständen aufgenommen wird. Da die Musterbereiche 46a, 46b über die verschiedenen Bilder der Messreihe hinweg konsistent zueinander bleiben, sind Veränderungen zwischen den Musterbereichen über die einzelnen Bilder der Messreihe hinweg auf individuelle Eigenschaften der Abbildungsoptik 24 und/oder die Bewegungsachsen des Koordina-

tenmessgerätes 10 zurückzuführen. Dementsprechend werden individuelle Eigenschaften der Abbildungsoptik 24 in den bevorzugten Ausführungsbeispielen aus einer Vielzahl von Bildern eines oder mehrerer Kalibriermuster 44 bestimmt, die im Rahmen einer Messreihe mit unterschiedlichen Abständen und/oder Blickwinkeln aufgenommen werden.

[0054] In einigen Ausführungsbeispielen ist das Display 38 ein handelsüblicher Tablet-PC und der Mustergenerator 42 ist ein integrierter Mikroprozessor des Tablet-PC. Die Kalibriermuster 44 werden dem Mustergenerator 42 in diesen Ausführungsbeispielen über eine geeignete Schnittstelle (zum Beispiel einer USB-Schnittstelle) von außen zugeführt, insbesondere von der Auswerte- und Steuereinheit 28 des Koordinatenmessgerätes 10. Diese Auswerte- und Steuereinheit ist in Fig. 2 lediglich schematisch bei der Bezugsziffer 28 dargestellt.

[0055] In anderen Ausführungsbeispielen kann der Mustergenerator 42 ein Prozessor des Displays 38 sein, auf dem ein spezielles Programm zur Erzeugung von Kalibriermustern ausgeführt wird. Beispielsweise kann das Programm eine App sein, die der Hersteller des Koordinatenmessgerätes 10 (allgemeiner: der Hersteller der Messvorrichtung) zum Kalibrieren seines Gerätes zur Verfügung stellt.

[0056] Die Auswertung von zueinander konsistenten Musterbereichen eines Kalibriermusters über eine Messreihe hinweg ermöglicht die Quantifizierung von verschiedenen individuellen Eigenschaften der Abbildungsoptik 24, wie insbesondere Verzeichnung, Kontrast bzw. Kontrastverwaschung, Farbgang u.a. Zum Kalibrieren des individuellen Vergrößerungsfaktors ist es hingegen wünschenswert, einen exakt bekannten Absolutmaßstab zur Verfügung zu stellen. Dies ist mit handelsüblichen Displays nur mit erheblichem Aufwand zu realisieren, da in diesem Fall die individuellen Eigenschaften des Displays 38 von hoher Bedeutung sind und diese individuellen Eigenschaften in der Regel unbekannt sind.

[0057] Aus diesem Grund besitzt die neue Kalibriervorrichtung 32 in diesem Ausführungsbeispiel zusätzlich zu dem Display 38 eine transparente Platte 50, die hier auf der Oberseite 52 des Displays 38 befestigt ist. In einigen Ausführungsbeispielen kann

die transparente Platte auf der Oberseite 52 des Displays 38 durch eine Klebeverbindung oder durch Ansprengen befestigt sein. Vorzugsweise ist die transparente Platte 50 auf der Oberseite des Displays 38 nur punktuell befestigt, so dass sich das Display 38 und die transparente Platte 50 relativ zueinander bewegen können. In bevorzugten Ausführungsbeispielen ist die Platte 50 aus Quarzglas, Quarz, Zerodur® von der Schott AG oder einem anderen transparenten Werkstoff mit einer geringen thermischen Ausdehnung hergestellt. Demgegenüber kann das Display 38 aus einem oder mehreren Werkstoffen bestehen, die eine wesentlich höhere thermische Ausdehnung im Vergleich zu der Platte 50 haben.

[0058] In anderen Ausführungsbeispielen (hier nicht dargestellt) kann das Display 38 eine mechanische Halterung aufweisen oder selbst in einer mechanischen Halterung angeordnet sein, wobei die Halterung zusätzliche passgenaue Halteelemente für die transparente Platte besitzt. In all diesen Fällen ist die transparente Platte 50 in einer Draufsicht auf das Kalibriermuster 44 über dem Kalibriermuster 44 angeordnet, wobei das Kalibriermuster 44 durch die Platte 50 hindurch sichtbar bleibt (hier aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht dargestellt).

[0059] Auf der transparenten Platte 50 ist zumindest eine Linie mit einer exakt bekannten Abmessung dauerhaft ausgebildet. In dem dargestellten bevorzugten Ausführungsbeispiel besitzt die Platte 50 an ihrer Oberseite mehrere Linien 54, die hier einerseits einen Kreisring mit einem exakt bekannten Durchmesser und andererseits ein Quadrat mit exakt bekannten Längsseiten bilden. Die Linien 54 sind in bevorzugten Ausführungsbeispielen mit einem Elektronenstrahlschreibverfahren und/oder mit Lithographieverfahren, wie sie aus der Halbleiterfertigung bekannt sind, auf der Platte 50 ausgebildet.

[0060] Die Linien 54 bilden einen exakt bekannten Absolutmaßstab, der bei dem bevorzugten Kalibrierverfahren verwendet wird, um den Vergrößerungsfaktor der Abbildungsoptik 24 zu quantifizieren. Des Weiteren kann in den bevorzugten Ausführungsbeispielen ein Hell-Dunkel-Schwellenwert für die Kantendetektion kalibriert werden, indem der durch die Abbildungsoptik 24 in den aufgenommenen Bildern erzeugte Hell-Dunkel-Übergang an den Kanten der Linien 54 ausgewertet wird.

[0061] In dem hier dargestellten Ausführungsbeispiel bilden die Linien 54 einen absoluten Maßstab ohne Teilungsmarkierungen. Dies ist einerseits möglich, weil die Verzeichnung der Abbildungsoptik 24 anhand der Kalibriermuster 44 auf dem Display 38 quantifiziert werden kann. Für die Quantifizierung des Vergrößerungsfaktors genügt somit ein einzelnes absolutes Längenmaß. Andererseits besitzt der Verzicht auf eine Teilung den Vorteil, dass die Sicht auf das Kalibriermuster 44 nur minimal beeinträchtigt wird. Abweichend von der hiesigen Darstellung kann die Platte 50 allerdings mehrere absolute Längenmaße unterschiedlicher Länge aufweisen, um auf diese Weise verschiedene Vergrößerungsfaktoren einer Abbildungsoptik 24 mit Zoomfunktion optimal kalibrieren zu können.

[0062] In weiteren Ausführungsbeispielen kann das absolute Längenmaß eine Gehäusekante des Displays oder eine andere definierte Abmessung an einem separaten Kalibrierkörper sein. In einigen Ausführungsbeispielen kann das absolute Längenmaß im Rahmen der Kalibrierung bestimmt werden, indem man die zuvor kalibrierten Positionierachsen des Koordinatenmessgerätes 10 verwendet, um das absolute Längenmaß zu bestimmen. Bei dem Koordinatenmessgerät 10 kann man dazu vorteilhaft den Taststift 26 verwenden.

[0063] Wie in Fig. 2 schematisch dargestellt ist, besitzt die Abbildungsoptik 24 eine optische Achse 56, die in bevorzugten Ausführungsbeispielen des neuen Verfahrens weitgehend orthogonal auf das Display 38 und die Platte 50 ausgerichtet wird. Darüber hinaus besitzt die Abbildungsoptik 24 ein Sichtfeld, das in Fig. 2 bei der Bezugsziffer 58 angedeutet ist. In den bevorzugten Ausführungsbeispielen wird das Display 38 mit der Platte 50 in einer Entfernung d zu der Abbildungsoptik 24 positioniert, die so gewählt ist, dass die Abbildungsoptik 24 lediglich einen Ausschnitt des Displays 38, nicht jedoch das gesamte Display 38 aufnimmt. In der Darstellung in Fig. 2 entspricht der von der Abbildungsoptik 24 aufgenommene Ausschnitt in etwa der lateralen Ausdehnung der Platte 50. In anderen Ausführungsbeispielen kann die Platte 50 jedoch ebenso wie das Display 38 über das Sichtfeld 58 der Abbildungsoptik 24 hinausgehen oder kleiner sein. In den bevorzugten Ausführungsbeispielen wird das Sichtfeld der Abbildungsoptik 24 in etwa mittig auf dem Display 38 positioniert, und der Abstand d wird so gewählt, dass das

Sichtfeld 58 maximal 3/4 und bevorzugt maximal 2/3 der maximalen Displayfläche 60, die von der Gesamtheit aller Displaypixel 40 definiert wird, einnimmt.

[0064] Wie in Fig. 2 angedeutet ist, werden das Kalibriermuster 44 und die Linien 54 in bevorzugten Ausführungsbeispielen des Verfahrens mit einer Kamera 48 mit einem Bildaufnehmer aufgenommen, der eine Vielzahl von Sensorpixeln 62 besitzt. In den bevorzugten Ausführungsbeispielen ist der Bildaufnehmer die Kamera, die zusammen mit der Abbildungsoptik 24 und gegebenenfalls weiteren Elementen den optischen Sensor des Koordinatenmessgerätes 10 bildet. Prinzipiell ist es jedoch denkbar, dass eine Abbildungsoptik 24 mit einer speziellen Kalibrierkamera gekoppelt wird, um die Kalibrierung durchzuführen.

[0065] In den bevorzugten Ausführungsbeispielen ist die Anzahl der Displaypixel 40 des Displays 38 um ein Vielfaches höher als die Anzahl der Sensorpixel 62 des für die Kalibrierung verwendeten Bildaufnehmers. Vorzugsweise ist die Anzahl der Displaypixel 40 mindestens um den Faktor 10 höher als die Anzahl der Sensorpixel 62, jedoch mindestens um den angenommenen Vergrößerungsfaktor der Abbildungsoptik 24.

[0066] Alternativ oder ergänzend kann in weiteren Ausführungsbeispielen eine verkleinernde Projektivoptik 64 verwendet werden. In diesem Ausführungsbeispiel wird die Projektivoptik 64 am bildseitigen Ende der Abbildungsoptik 24 angeordnet. Die Projektivoptik 64 verkleinert das von der Abbildungsoptik 24 erzeugte reelle Bild und projiziert dieses auf den Bildaufnehmer. Infolgedessen erscheinen die Displaypixel 40 des Displays 38 in dem aufgenommenen Bild kleiner, und Kontrastverläufe an Hell-Dunkel-Kanten erscheinen glatter.

[0067] Des Weiteren kann in bevorzugten Ausführungsbeispielen ein Zwischenelement, das die Abstrahlcharakteristik der Displaypixel 40 modifiziert, zwischen dem Display 38 und der Abbildungsoptik 24 angeordnet werden. In einigen Ausführungsbeispielen ist das Zwischenelement 66 ein so genannter Privacy-Filter, wie er beispielsweise unter der Verkaufsbezeichnung Vicuity-Filter für Notebooks oder dergleichen angeboten wird. In anderen Ausführungsbeispielen kann das Zwischenelement 66 eine Vielzahl von

Mikrolinsen (hier nicht dargestellt) aufweisen, wobei jeweils eine Mikrolinse über einem Displaypixel 40 angeordnet ist. Das Zwischenelement 66 kann ferner eine Lochrasterplatte beinhalten, wobei jeweils ein Durchgangsloch (hier nicht dargestellt) der Lochrasterplatte über einem Displaypixel 40 angeordnet ist.

[0068] In allen bevorzugten Ausführungsbeispielen bündelt das Zwischenelement 66 das von den Displaypixeln 40 abgestrahlte Licht in Richtung der Abbildungsoptik 24, um auf diese Weise einen hohen Bildkontrast zu erhalten.

[0069] Fig. 3 zeigt in einer vereinfachten Darstellung ein Bild der Linie 54 auf der transparenten Platte 50, wie es von der zu kalibrierenden Abbildungsoptik 24 erzeugt wird. Symbolisch ist bei der Bezugsziffer 56 die optische Achse der Abbildungsoptik 24 dargestellt. Der äußere Kreis 68 repräsentiert den Feldrand, das heißt die äußere Grenze des Sichtfeldes 58. Wie man in Fig. 3 erkennen kann, ist die Linie 54, die den Absolutmaßstab für die Kalibrierung des Vergrößerungsfaktors der Abbildungsoptik 24 bildet, in diesem Ausführungsbeispiel in etwa mittig zwischen der optischen Achse 56 und dem Feldrand 68 angeordnet. Im Allgemeinen ist es bevorzugt, wenn die zumindest eine Linie 54 im mittleren Drittel zwischen der optischen Achse 56 und dem Feldrand 68 liegt. Wenn man also den Radius von der optischen Achse 56 zum Feldrand 68 in drei gleiche Abschnitte unterteilt, wie dies bei der Bezugsziffer 70 angedeutet ist, ist die zumindest eine Linie 54 in den bevorzugten Ausführungsbeispielen in dem mittleren Abschnitt angeordnet. Auf diese Weise wird die ortsabhängige Vergrößerung bzw. Verzeichnung um einen mittleren Vergrößerungsfaktor zentriert, und die relative Streuung der ortsabhängigen Vergrößerung fällt geringer aus.

[0070] Des Weiteren wird die zumindest eine Linie 54 in den bevorzugten Ausführungsbeispielen möglichst so platziert, dass sie mit ihrem Schwerpunkt bzw. ihrer Symmetrieachse 72 zwischen den Displaypixeln 40 liegt, wie dies in Fig. 4 vereinfacht dargestellt ist. Mit anderen Worten ist die Positionierung der zumindest einen Linie 54 in den bevorzugten Ausführungsbeispielen so gewählt, dass möglichst wenige, und im Optimalfall keine Displaypixel 40 vollständig durch die zumindest eine Linie 54 verdeckt werden.

[0071] Die Kanten 74 der zumindest einen Linie 54 sind auf der Platte 50 mit einem Hell-Dunkel-Übergang ausgebildet, der so abrupt ist, wie technisch möglich. Daher ermöglicht die zumindest eine Linie 54 in den bevorzugten Ausführungsbeispielen nicht nur die Kalibrierung des Vergrößerungsfaktors der Abbildungsoptik 24, sondern auch die Ermittlung von optimalen Schwellwerten zur Kantendetektion und Bestimmung der Kantenlage.

[0072] Bevorzugte Kalibriermuster, die mit dem Display 38 erzeugt werden, besitzen zusammenhängende gekrümmte und/oder wellenförmige Linien. Diese sind wegen der diskreten Displaypixel 40 zwar "stufen- bzw. treppenartig". Aufgrund der im Vergleich zu der Anzahl der Sensorpixel 62 hohen Anzahl an Displaypixeln 40 und/oder aufgrund der Verwendung der verkleinernden Projektivoptik 64 erscheinen die Linien der bevorzugten Kalibriermuster jedoch hinreichend stetig, um die neue Kalibrierung durchzuführen.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Kalibrieren einer Abbildungsoptik (24) für messtechnische Anwendungen, mit den Schritten:

– Bereitstellen von zumindest einem Kalibriermuster (44) mit einer Vielzahl von Musterbereichen (46a, 46b), die in einer definierten Relation zueinander stehen,

– Aufnehmen von zumindest einem Bild des zumindest einen Kalibriermusters (44) durch die Abbildungsoptik.

– Auswerten des zumindest einen Bildes, um individuelle Eigenschaften der Abbildungsoptik (24) zu quantifizieren, und

– Bestimmen von Korrekturwerten für eine rechnerische Korrektur von Abbildungsfehlern der Abbildungsoptik (24) in Abhängigkeit von den quantifizierten individuellen Eigenschaften,

dadurch gekennzeichnet, dass das zumindest eine Kalibriermuster (44) auf einem elektronischen Display (38) mit einer Vielzahl von matrixförmig angeordneten Displaypixeln (40) bereitgestellt wird, wobei das elektronische Display (38) in der Lage ist, mit Hilfe der matrixförmig angeordneten Displaypixel (40) verschiedene Kalibriermuster (44) zeitlich nacheinander zu erzeugen, wobei eines der verschiedenen Kalibriermuster (44) angezeigt wird, wobei ferner ein Kalibrierkörper (50) bereitgestellt wird, an dem zumindest eine Linie (54) mit einer definierten Abmessung ausgebildet ist, wobei anhand der zumindest einen Linie (54) ein Vergrößerungsfaktor der Abbildungsoptik (24) bestimmt wird, und wobei anhand des zumindest einen Kalibriermusters (44) zumindest eine weitere individuelle Eigenschaft der Abbildungsoptik (24) quantifiziert wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Kalibrierkörper (50) eine transparente Platte ist, auf der die zumindest eine Linie (54) dauerhaft ausgebildet ist.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die transparente Platte eine Deckplatte des elektronischen Displays (38) ist.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass das elektronische Display (38) eine Oberseite (52) aufweist, an der das Kalibriermuster (44) angezeigt wird, und dass die zumindest eine Linie (54) an der Oberseite (52) über dem Kalibriermuster (44) angeordnet wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die zumindest eine Linie (54) in einer Draufsicht auf das Kalibriermuster (44) versetzt zu den Displaypixeln (40) angeordnet wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Displaypixel (40) zusammen eine maximale Displayfläche (60) definieren, wobei die Abbildungsoptik (24) ein Sichtfeld (58) aufspannt, und wobei das elektronische Display (38) in einer Entfernung (d) zu der Abbildungsoptik (24) positioniert wird, die so gewählt wird, dass das Sichtfeld (58) maximal 3/4 der maximalen Displayfläche (60) einnimmt.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass das zumindest eine Bild mit einem elektronischen Bildaufnehmer (48) aufgenommen wird, der eine Vielzahl von Sensorpixeln (62) besitzt, wobei die Vielzahl der Displaypixel (40) höher ist als die Vielzahl der Sensorpixel (62).

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Abbildungsoptik (24) eine optische Achse und einen Feldrand (68) besitzt, wobei die zumindest eine Linie (54) zwischen der optischen Achse (56) und dem Feldrand (68) positioniert wird.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass am bildseitigen Ende der Abbildungsoptik (24) eine verkleinernde Projektivoptik (64) angeordnet wird.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass die einzelnen Displaypixel (40) jeweils eine Abstrahlcharakteristik aufweisen, und dass zwischen dem einen Kalibriermuster (44) und der Abbildungsoptik (24) ein plattenförmiges Zwischenelement (66) angeordnet wird, das die Abstrahlcharakteristik der einzelnen Displaypixel (40) modifiziert.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass zeitlich nacheinander zumindest zwei Bilder von dem einen Kalibriermuster (44) durch die Abbildungsoptik (24) aufgenommen werden, wobei das eine Kalibriermuster (44) zwischen der Aufnahme der zumindest zwei Bilder auf dem elektronischen Display (38) verschoben und/oder verzerrt wird.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Abbildungsoptik (24) Teil einer Messvorrichtung (10) mit einem definierten Messvolumen ist und dass das elektronische Display (38) in dem definierten Messvolumen dauerhaft angeordnet ist.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Abbildungsoptik (24) Teil einer Messvorrichtung (10) zum Vermessen von verschiedenen Messobjekten ist, wobei das eine Kalibriermuster (44) auf dem elektronischen Display (38) in Abhängigkeit von einem zu vermessenden Messobjekt erzeugt wird.

14. Kalibriervorrichtung zum Kalibrieren einer Abbildungsoptik (24) für messtechnische Anwendungen, mit einem elektronischen Display (38) mit einer Vielzahl von matrixförmig angeordneten Displaypixeln (40), mit einem Mustergenerator (42), der mit Hilfe der matrixförmig angeordneten Displaypixel (40) in der Lage ist, eine Vielzahl von verschiedenen Kalibriermustern (44) zu erzeugen, wobei die Kalibrier-

muster (44) jeweils eine Vielzahl von Musterbereichen (46a, 46b) aufweisen, die in einer definierten Relation zueinander stehen, und mit einer Kalibriereinheit (28), die zumindest ein durch die Abbildungsoptik (24) aufgenommenes Bild von zumindest einem dieser verschiedenen Kalibriermuster (44) auswertet, um individuelle Eigenschaften der Abbildungsoptik (24) zu quantifizieren und Korrekturwerte für eine rechnerische Korrektur von Abbildungsfehlern in Abhängigkeit von den quantifizierten individuellen Eigenschaften zu bestimmen, ferner mit einem Kalibrierkörper (50), an dem zumindest eine Linie (54) mit einer definierten Abmessung ausgebildet ist, wobei die Kalibriereinheit (28) dazu ausgebildet ist, anhand der zumindest einen Linie (54) einen Vergrößerungsfaktor der Abbildungsoptik (24) zu bestimmen und anhand des zumindest einen Kalibriermusters (44) zumindest eine weitere individuelle Eigenschaft der Abbildungsoptik (24) zu quantifizieren.

15. Messvorrichtung zum Vermessen von verschiedenen Messobjekten, mit einer Werkstückaufnahme (12) zum Positionieren eines zu vermessenden Messobjekts, mit einer Abbildungsoptik (24), die ein Bild des Messobjekts erzeugt, und mit einer Auswerteeinheit (28) zum Auswerten des Bildes und zum Bestimmen von Eigenschaften des Messobjekts, gekennzeichnet durch eine Kalibriervorrichtung (32) gemäß Anspruch 13.

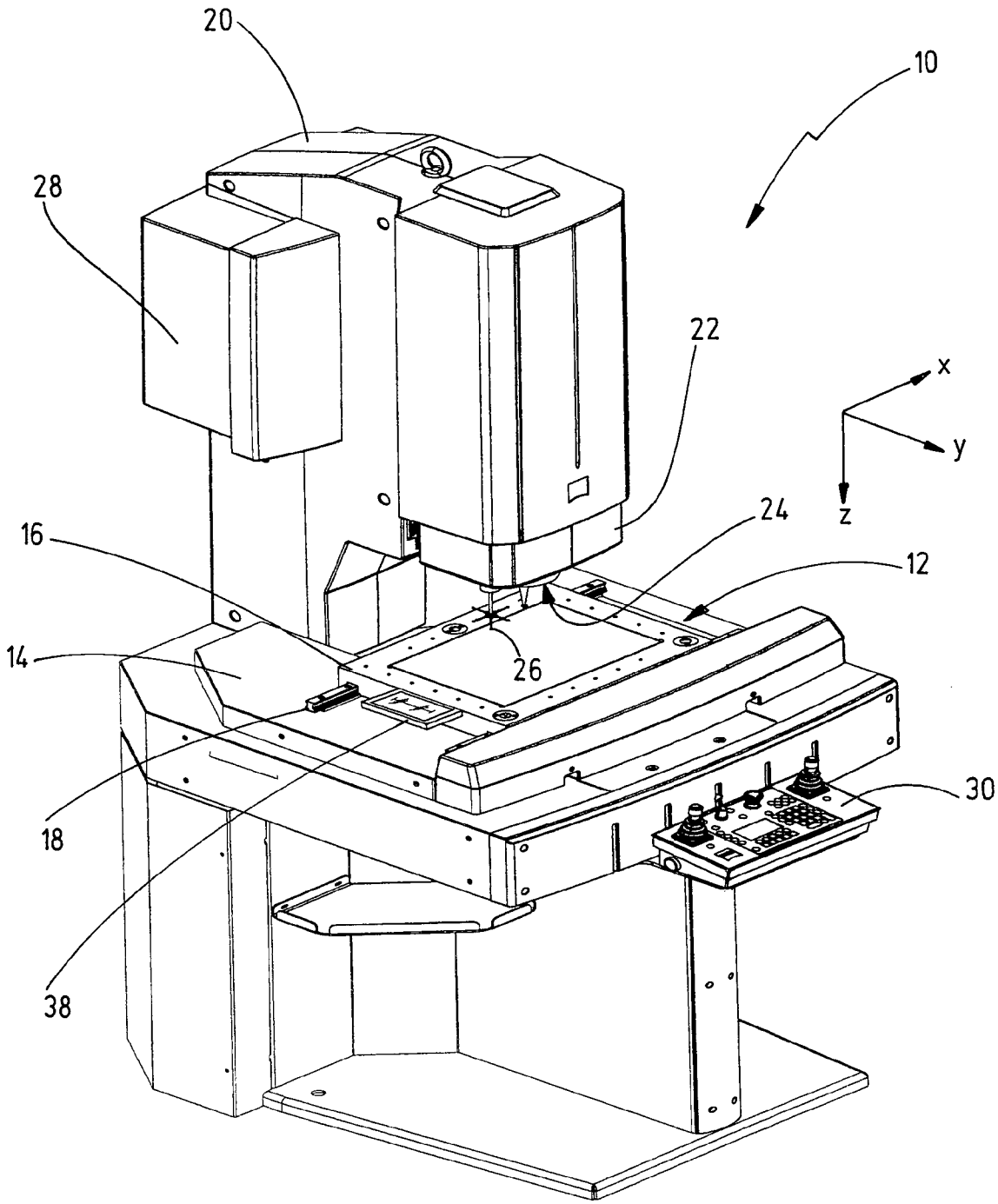


Fig.1

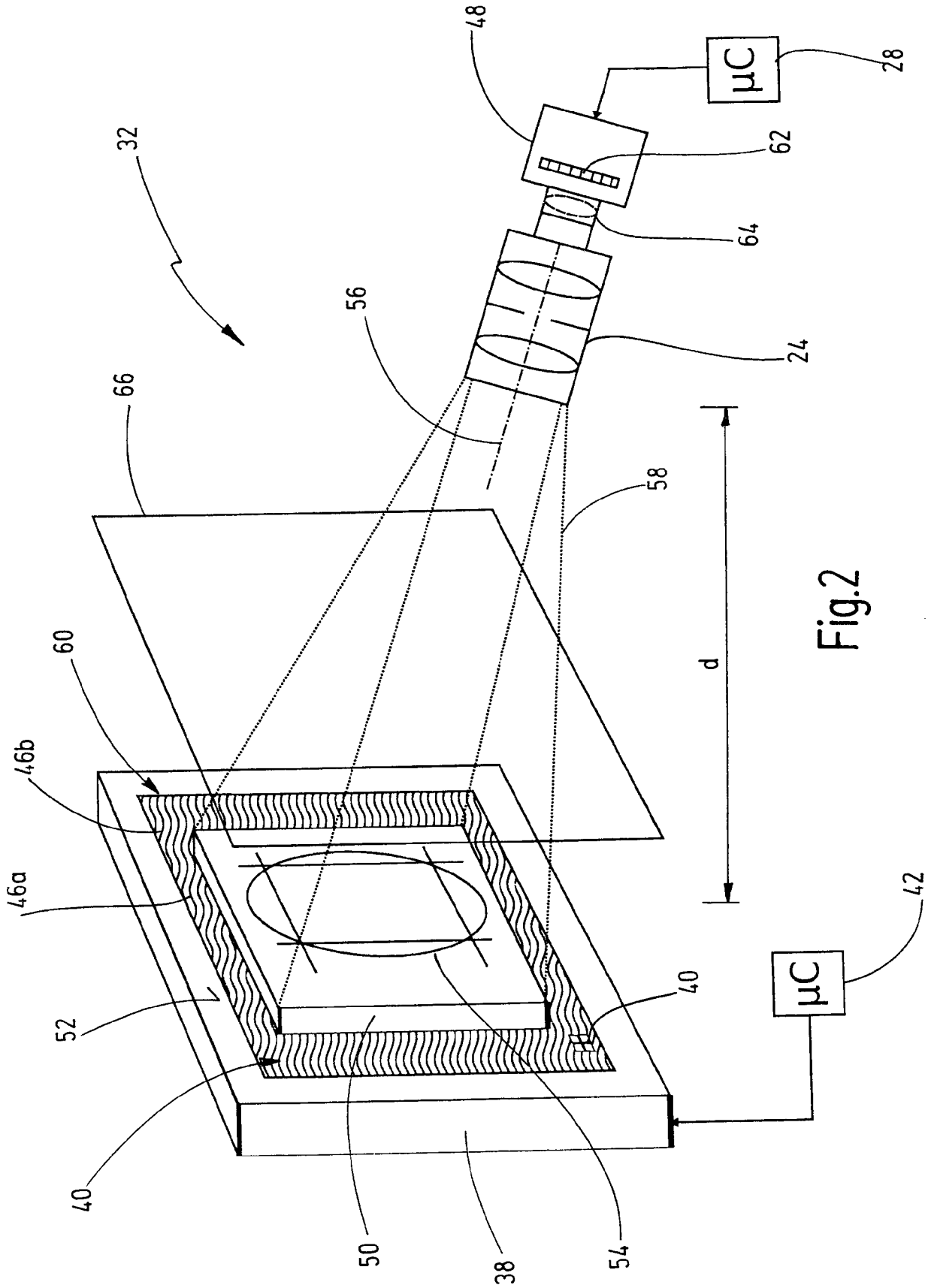


Fig.2

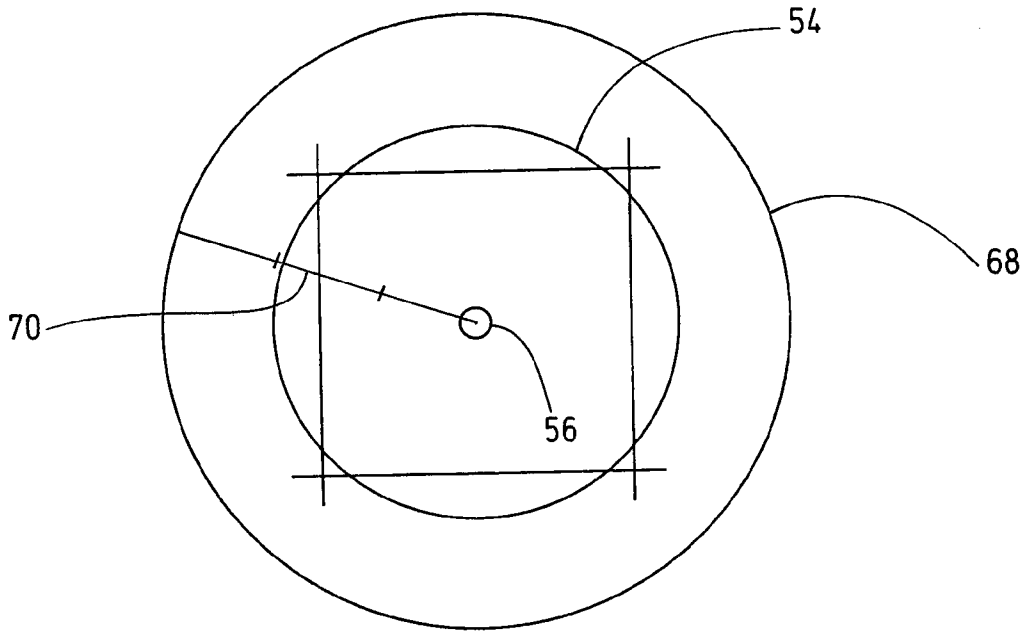


Fig.3

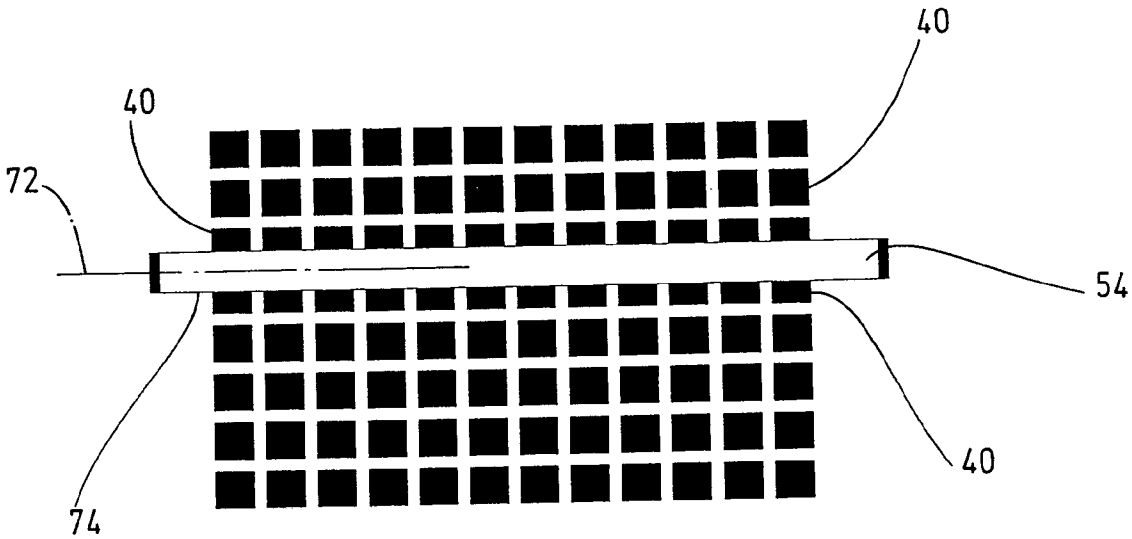


Fig.4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2014/059258

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. G01B21/04 G06T7/00 H04N7/04
ADD.

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
G01B G06T H04N

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US 2007/106482 A1 (ZANDIFAR ALI [US] ET AL) 10 May 2007 (2007-05-10) abstract paragraphs [0007] - [0011], [0023], [0024], [0032] - [0054] figures 1,3,4	1-15
Y	DE 10 2013 014475 A1 (UNIV ILMENAU TECH [DE]) 6 March 2014 (2014-03-06) abstract paragraphs [0008], [0010] - [0016], [0023] - [0026], [0030], [0046] - [0056] claims 1-9 figures 1-3	1-15

-/--

[X] Further documents are listed in the continuation of Box C.

[X] See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
19 January 2015	27/01/2015

Name and mailing address of the ISA/	Authorized officer
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Poizat, Christophe

2

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (April 2005)

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	WO 2012/154874 A1 (TYZX INC [US]; GROSSMANN ETIENNE [US]; WOODFILL JOHN ISELIN [US]; GORD) 15 November 2012 (2012-11-15) abstract paragraphs [0002], [0037] - [0044], [0050] - [0059], [0065], [0072], [0076], [0082] paragraphs [0093] - [0099], [0129]	1-15
Y	WO 2014/023346 A1 (ZEISS IND MESSTECHNIK GMBH [DE]; ENGEL THOMAS [DE]) 13 February 2014 (2014-02-13) abstract paragraphs [0001] - [0003], [0007], [0008], [0012], [0065], [0066], [0108] - [0111], [0125], [0129] - [0135]	1,9,10, 12,14,15
Y	WO 02/39055 A1 (ELECTRO SCIENT IND INC [US]) 16 May 2002 (2002-05-16) abstract paragraphs [0028] - [0040] claims 2-4	1,14,15

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No
PCT/EP2014/059258

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2007106482 A1	10-05-2007	JP 2007129709 A	24-05-2007
		US 2007106482 A1	10-05-2007
		US 2009213224 A1	27-08-2009
DE 102013014475 A1	06-03-2014	NONE	
WO 2012154874 A1	15-11-2012	CN 103597825 A	19-02-2014
		US 2012287287 A1	15-11-2012
		WO 2012154874 A1	15-11-2012
WO 2014023346 A1	13-02-2014	NONE	
WO 0239055 A1	16-05-2002	AU 3285502 A	21-05-2002
		US 2002113970 A1	22-08-2002
		WO 0239055 A1	16-05-2002

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2014/059258

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. G01B21/04 G06T7/00 H04N7/04
ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
G01B G06T H04N

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)
EPO-Internal, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	US 2007/106482 A1 (ZANDIFAR ALI [US] ET AL) 10. Mai 2007 (2007-05-10) Zusammenfassung Absätze [0007] - [0011], [0023], [0024], [0032] - [0054] Abbildungen 1,3,4	1-15
Y	DE 10 2013 014475 A1 (UNIV ILMENAU TECH [DE]) 6. März 2014 (2014-03-06) Zusammenfassung Absätze [0008], [0010] - [0016], [0023] - [0026], [0030], [0046] - [0056] Ansprüche 1-9 Abbildungen 1-3	1-15

-/--

[X] Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen [X] Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :
"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist
"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist
"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden
"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist
"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche	Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
19. Januar 2015	27/01/2015

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde	Bevollmächtigter Bediensteter
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Poizat, Christophe

2

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	WO 2012/154874 A1 (TYZX INC [US]; GROSSMANN ETIENNE [US]; WOODFILL JOHN ISELIN [US]; GORD) 15. November 2012 (2012-11-15) Zusammenfassung Absätze [0002], [0037] - [0044], [0050] - [0059], [0065], [0072], [0076], [0082] Absätze [0093] - [0099], [0129]	1-15
Y	WO 2014/023346 A1 (ZEISS IND MESSTECHNIK GMBH [DE]; ENGEL THOMAS [DE]) 13. Februar 2014 (2014-02-13) Zusammenfassung Absätze [0001] - [0003], [0007], [0008], [0012], [0065], [0066], [0108] - [0111], [0125], [0129] - [0135]	1,9,10, 12,14,15
Y	WO 02/39055 A1 (ELECTRO SCIENT IND INC [US]) 16. Mai 2002 (2002-05-16) Zusammenfassung Absätze [0028] - [0040] Ansprüche 2-4	1,14,15

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2014/059258

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2007106482 A1	10-05-2007	JP 2007129709 A	24-05-2007
		US 2007106482 A1	10-05-2007
		US 2009213224 A1	27-08-2009
DE 102013014475 A1	06-03-2014	KEINE	
WO 2012154874 A1	15-11-2012	CN 103597825 A	19-02-2014
		US 2012287287 A1	15-11-2012
		WO 2012154874 A1	15-11-2012
WO 2014023346 A1	13-02-2014	KEINE	
WO 0239055 A1	16-05-2002	AU 3285502 A	21-05-2002
		US 2002113970 A1	22-08-2002
		WO 0239055 A1	16-05-2002