

(12) **Österreichische Patentanmeldung**

(21) Anmeldenummer: A 50930/2018
(22) Anmeldetag: 30.10.2018
(43) Veröffentlicht am: 15.03.2020

(51) Int. Cl.: **G02B 21/24** (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:
WO 2017114985 A1
US 2016062100 A1
WO 2007044725 A2

(71) Patentanmelder:
AIT Austrian Institute of Technology GmbH
1210 Wien (AT)

(72) Erfinder:
Traxler Lukas
3842 Thaya (AT)
Stolc Svorad
831 01 Bratislava (SK)

(74) Vertreter:
Wildhack & Jellinek Patentanwälte OG
1030 Wien (AT)

(54) **Mikroskopie-Vorrichtung zur Erstellung dreidimensionaler Abbilder**

(57) Die Erfindung betrifft eine Mikroskopie-Vorrichtung (100) zur Erstellung dreidimensionaler Abbilder von in einem ebenen Objektbereich (g) befindlichen Gegenständen (4), umfassend eine Objektivlinsen-Anordnung (1) mit einer Objektivlinsen-Brennweite (f_1), eine Tubuslinsen-Anordnung (2) mit einer Tubuslinsen-Brennweite (f_2) und einen Sensor (3),

- wobei die Objektivlinsen-Anordnung (1) und Tubuslinsen-Anordnung (2) eine gemeinsame optische Achse aufweisen,
- wobei ein Objektbereich (g) zur Anordnung zu untersuchender Gegenstände (4) in dem von der Tubuslinsen-Anordnung (2) abgewandten Bereich der Objektivlinsen-Anordnung (1) beabstandet angeordnet ist, und
- wobei der Sensor (3) in dem von der Objektivlinsen-Anordnung (1) abgewandten Bereich der Tubuslinsen-Anordnung (2) beabstandet angeordnet ist, wobei der Sensor (3) dazu ausgebildet ist, Abbilder zu untersuchender Gegenstände (4) wiederzugeben, insbesondere aufzunehmen,
- wobei eine Blende (B) vorgesehen ist, durch deren Blendenöffnung (D) die gemeinsame optische Achse verläuft, wobei

die Blende (B) und/oder die Blendenöffnung (D) in einem Bereich der gemeinsamen optischen Achse zwischen dem Sensor (3) und demjenigen Brennpunkt (F_1) der Objektivlinsen-Anordnung (1) liegt, der zwischen der Objektivlinsen-Anordnung (1) und Tubuslinsen-Anordnung (2) angeordnet ist.

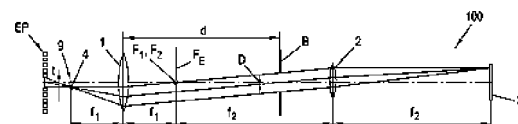


Fig. 1a

Zusammenfassung

Die Erfindung betrifft eine Mikroskopie-Vorrichtung (100) zur Erstellung dreidimensionaler Abbilder von in einem ebenen Objektbereich (g) befindlichen Gegenständen (4), umfassend eine Objektivlinsen-Anordnung (1) mit einer Objektivlinsen-Brennweite (f_1), eine Tubuslinsen-Anordnung (2) mit einer Tubuslinsen-Brennweite (f_2) und einen Sensor (3),

- wobei die Objektivlinsen-Anordnung (1) und Tubuslinsen-Anordnung (2) eine gemeinsame optische Achse aufweisen,
- wobei ein Objektbereich (g) zur Anordnung zu untersuchender Gegenstände (4) in dem von der Tubuslinsen-Anordnung (2) abgewandten Bereich der Objektivlinsen-Anordnung (1) von der Objektivlinsen-Anordnung (1) beabstandet angeordnet ist, und
- wobei der Sensor (3) in dem von der Objektivlinsen-Anordnung (1) abgewandten Bereich der Tubuslinsen-Anordnung (2) von der Tubuslinsen-Anordnung (2) beabstandet angeordnet ist, wobei der Sensor (3) dazu ausgebildet ist, Abbilder zu untersuchender Gegenstände (4) wiederzugeben, insbesondere aufzunehmen,
- wobei eine Blende (B) vorgesehen ist, durch deren Blendenöffnung (D) die gemeinsame optische Achse verläuft, wobei die Blende (B) und/oder die Blendenöffnung (D) in einem Bereich der gemeinsamen optischen Achse zwischen dem Sensor (3) und demjenigen Brennpunkt (F_1) der Objektivlinsen-Anordnung (1) liegt, der zwischen der Objektivlinsen-Anordnung (1) und Tubuslinsen-Anordnung (2) angeordnet ist.

Die Erfindung betrifft eine Mikroskopie-Vorrichtung zur Erstellung dreidimensionaler Abbilder von im Bereich einer Gegenstandsebene befindlichen Gegenständen gemäß dem Oberbegriff von Patentanspruch 1.

Aus dem Stand der Technik sind verschiedene Inspektionssysteme für die dreidimensionale Untersuchung von mikroskopischen Gegenständen bekannt. Eine Methode, die in diesem Zusammenhang üblicherweise im Bereich der mikroskopischen Untersuchung Anwendung findet, ist die Depth-From-Focus-Rekonstruktion, die die geringe Tiefenschärfe mikroskopischer Linsen ausnützt. Für eine dreidimensionale Rekonstruktion sind dabei eine Anzahl von Scans eines Gegenstands aufgenommen in unterschiedlichen Entfernungen entlang der optischen Achse erforderlich. Diese Rekonstruktionsmethode ist jedoch für eine dreidimensionale Inspektion im laufenden Produktionsprozess nur bedingt einsetzbar, da die Scanrichtung nicht mit der Transportrichtung des zu untersuchenden Gegenstands übereinstimmt und der transportierte Gegenstand zur Erstellung von Aufnahmen angehalten werden muss. Weiters ist es für die Aufnahme größerer Bildflächen erforderlich, mehrere Teilaufnahmen zusammensetzen. Auch bei der Erstellung dreidimensionaler Aufnahmen mittels Konfokalmikroskopie sind diese Limitationen vorhanden, sodass ein Einsatz für Inline-Inspektionen im laufenden Produktionsprozess mit unterbrechungsfreiem Objekttransport zu stark eingeschränkt möglich ist.

Aufgabe der Erfindung ist es daher, eine Mikroskopie-Vorrichtung bereitzustellen, die eine einfache dreidimensionale Rekonstruktion von zu untersuchenden Gegenständen im laufenden Produktionsprozess erlaubt, wenn die Transportrichtung der Gegenstände nicht in Richtung der optischen Achse der Mikroskopie-Vorrichtung orientiert ist.

Die Erfindung löst diese Aufgabe bei einer Mikroskopie-Vorrichtung zur Erstellung dreidimensionaler Abbilder von in einem ebenen Objektbereich befindlichen Gegenständen, umfassend eine Objektivlinsen-Anordnung mit einer Objektivlinsen-Brennweite, eine Tubuslinsen-Anordnung mit einer Tubuslinsen-Brennweite und einen Sensor. Die Objektivlinsen-Anordnung und die Tubuslinsen-Anordnung weisen dabei eine gemeinsame optische Achse auf und ein Objektbereich zur Anordnung zu untersuchender Gegenstände ist in dem von der Tubuslinsen-Anordnung abgewandten Bereich der Objektivlinsen-Anordnung von der Objektivlinsen-Anordnung beabstandet angeordnet. Der Sensor ist in dem von der Objektivlinsen-Anordnung abgewandten Bereich der Tubuslinsen-Anordnung von der Tubuslinsen-Anordnung beabstandet angeordnet und

dazu ausgebildet, Abbilder zu untersuchender Gegenstände wiederzugeben, insbesondere aufzunehmen. Weiters ist seine Blende vorgesehen, durch deren Blendenöffnung die gemeinsame optische Achse verläuft.

Erfindungsgemäß ist dabei vorgesehen, dass die Blende und/oder die Blendenöffnung in einem Bereich der gemeinsamen optischen Achse zwischen dem Sensor und demjenigen Brennpunkt der Objektivlinsen-Anordnung liegt, der zwischen der Objektivlinsen-Anordnung und Tubuslinsen-Anordnung angeordnet ist.

Mit einer auf diese Weise ausgestalteten Mikroskopie-Vorrichtung kann eine hyperzentrische perspektivische Projektion mit einer vergleichsweise größeren Tiefenschärfe erzielt werden. Die geringe Tiefenschärfe eines üblichen mikroskopischen Systems wird durch Hinzufügen einer zusätzlichen Blende vergrößert. Durch die Positionierung der Blende entlang der optischen Achse kann die perspektivische Projektion der optischen Komponenten modifiziert werden, sodass ein Gegenstand aus verschiedenen Winkeln betrachtet werden kann. Durch diese Modifikation ist vorteilhafterweise eine dreidimensionale mikroskopische Rekonstruktion basierend auf einem Structure-From-Motion-Algorithmus möglich. Die Blende ist dabei so positioniert, dass eine hyperzentrische perspektivische Projektion entsteht.

Eine hyperzentrische Projektion, bei der das Perspektivitätszentrum bzw. die Eintrittspupille von der Objektivlinsen-Anordnung aus betrachtet hinter dem zu untersuchenden Gegenstand liegt, ist besonders vorteilhaft, da die Blende innerhalb der Mikroskopoptik untergebracht ist und der Beleuchtungsstrahlengang nicht behindert wird.. Derart können technische Probleme vermieden werden, wie diese z.B. bei einer entozentrischen Projektion auftreten, wo die Blende zwischen der Objektivlinsen-Anordnung und dem Objektbereich, d.h. im Beleuchtungsstrahlengang, angeordnet ist.

Bevorzugt kann eine hyperzentrische Projektion bei einer Mikroskopie-Vorrichtung erzielt werden, wenn die Blende in dem von der Objektivlinsen-Anordnung abgewandten Bereich der Tubuslinsen-Anordnung angeordnet ist.

Eine besonders kompakte Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Mikroskopie-Vorrichtung mit hyperzentrischer perspektivischer Projektion kann erreicht werden, wenn

- in einer gemeinsamen normal zur optischen Achse stehenden Brennebene der Brennpunkt der Objektivlinsen-Anordnung und der Brennpunkt der Tubuslinsen-Anordnung zusammenfallen und

- die Blende im Bereich zwischen der gemeinsamen Brennebene und der Tubuslinsen-Anordnung angeordnet ist.

Um eine möglichst hohe Tiefenauflösung sicherzustellen, kann vorgesehen sein, dass die Blende in einem Abstand von größer als das 1,1-Fache der Objektivlinsen-Brennweite, insbesondere größer als das 1,3-Fache der Objektivlinsen-Brennweite, von der Objektivlinsen-Anordnung angeordnet ist.

Eine möglichst gute laterale Auflösung kann erzielt werden, wenn dass die numerische Apertur der Objektivlinsen-Anordnung durch die Blende um 50% bis 95% reduziert ist.

Eine ausreichende Beleuchtung des Objektbereichs kann sichergestellt werden, wenn eine ringförmige Beleuchtungseinheit vorgesehen ist, die zwischen dem Objektbereich und der Objektivlinsen-Anordnung angeordnet ist und auf den Objektbereich gerichtet ist, wobei insbesondere vorgesehen ist, dass der Durchmesser der Beleuchtungseinheit den Durchmesser der Objektivlinsen-Anordnung übersteigt. Derart kann vorteilhafterweise eine Dunkelfeld-Beleuchtung des Objektbereichs erzielt werden. Durch die Verwendung einer derartigen ringförmigen Beleuchtungseinheit können beispielsweise auch bestehende Mikroskopie-Vorrichtungen für eine Inspektion im laufenden Produktionsbetrieb nachgerüstet werden.

Eine effektive Beleuchtung des Objektbereichs kann vorteilhafterweise erzielt werden, wenn eine, insbesondere ebene, Beleuchtungseinheit zwischen der Objektivlinsen-Anordnung und der Tubuslinsen-Anordnung, insbesondere parallel zur gemeinsamen optischen Achse und/oder von dieser beabstandet, angeordnet ist, und ein Strahlteiler zwischen der Objektivlinsen-Anordnung und der Tubuslinsen-Anordnung angeordnet ist, wobei der Strahlteiler in einem Winkel 10° bis 80° , insbesondere von 30° bis 60° , vorzugsweise 45° , zur gemeinsamen optischen Achse derart angeordnet und ausgerichtet ist, dass das von der Beleuchtungseinheit abgestrahlte Licht über den Strahlteiler durch die Objektivlinsen-Anordnung hindurch auf den Objektbereich fällt.

Durch den Einbau der Beleuchtungseinheit zwischen der Objektivlinsen-Anordnung und der Tubuslinsen-Anordnung werden keine zusätzlichen äußeren Anbauten an der Mikroskopie-Vorrichtung benötigt und durch die Verwendung eines Strahlteilers ist sichergestellt, dass das von der Beleuchtungseinheit abgestrahlte Licht optimal auf den Objektbereich gelenkt wird. Auf diese Weise kann eine Hellfeld-Beleuchtung des Objektbereichs erzielt werden.

Um eine optimale Beleuchtung des Objektbereichs zu erzielen, die in Kombination mit kontinuierlichen oder zeitlich beabstandeten Aufnahmen eines im Objektbereich der Mikroskopie-Vorrichtung befindlichen Gegenstands zur Vereinfachung einer dreidimensionalen Rekonstruktion des Gegenstands beiträgt, kann vorgesehen sein, dass die Beleuchtungseinheit dazu ausgebildet ist, den Objektbereich, insbesondere im Objektbereich befindliche Gegenstände, kontinuierlich und/oder in vorgegebenen regelmäßigen zeitlichen Abständen zu beleuchten.

Um eine dreidimensionale Rekonstruktion von Gegenständen aus während des Produktionsprozesses von den Gegenständen erstellten mikroskopischen Aufnahmen zu ermöglichen, können eine Steuereinheit und eine Transporteinheit vorgesehen sein, wobei die Transporteinheit dazu ausgebildet ist, Gegenstände in einer Transportebene translatorisch entlang zumindest einer Transportrichtung und/oder rotatorisch entlang zumindest eines Transportpfads durch den Objektbereich der Mikroskopie-Vorrichtung, insbesondere kontinuierlich, zu transportieren, wobei die Transportebene und/oder die zumindest eine Transportrichtung im Wesentlichen senkrecht zur gemeinsamen optischen Achse ausgerichtet ist und/oder die Rotationsachse der Rotationsbewegung des zumindest einen Transportpfads parallel zur gemeinsamen optischen Achse ist und wobei die Steuereinheit dazu ausgebildet ist, die Transporteinheit zum Transport von Gegenständen entlang der zumindest einen Transportrichtung und/oder des zumindest einen Transportpfads anzusteuern.

Auf diese Weise ist sichergestellt, dass dreidimensionale Rekonstruktionen von Gegenständen erstellt werden können, während die Gegenstände linear entlang einer Transportrichtung durch den Objektbereich der Mikroskopie-Vorrichtung transportiert werden oder alternativ oder zusätzlich dazu entlang eines Transportpfads z.B. eine Rotationsbewegung im Objektbereich vollführen. Dies bedeutet, dass eine beliebige Bewegung des Gegenstands in der Gegenstandsebene möglich ist.

Um die Erstellung eine Abfolge von Aufnahmen des Gegenstands aus verschiedenen Betrachtungswinkeln zu erleichtern, während dieser durch den Objektbereich der Mikroskopie-Vorrichtung bewegt wird, kann vorgesehen sein, dass

- der Sensor dazu ausgebildet ist, während des Transports eines zu untersuchenden Gegenstands durch den Objektbereich eine Abfolge von in vorgegebenen regelmäßigen

zeitlichen Abständen, insbesondere in zeitlichen Abständen von 4 ms bis 12,5 ms, insbesondere von 6,5 bis 10 ms, aufgenommenen Momentaufnahmen zu erstellen,

- die Beleuchtungseinheit dazu ausgebildet ist, den Objektbereich, insbesondere den im Objektbereich befindlichen Gegenstand, kontinuierlich zu beleuchten und
- Steuereinheit dazu ausgebildet ist, den Sensor in vorgegebenen regelmäßigen zeitlichen Abständen zur Erstellung von Aufnahmen und die Beleuchtungseinheit zur kontinuierlichen Beleuchtung des Objektbereichs anzusteuern.

Eine Abfolge von Aufnahmen des Gegenstands aus verschiedenen Betrachtungswinkeln für einfache dreidimensionale Rekonstruktion eines Gegenstands kann z. B. mit Hilfe eines Structure-From-Motion-Algorithmus erzielt werden, wenn

- der Sensor dazu ausgebildet ist, während des Transports eines zu untersuchenden Gegenstands durch den Objektbereich kontinuierlich Aufnahmen des Gegenstands zu erstellen,
- die Beleuchtungseinheit dazu ausgebildet ist, den Objektbereich, insbesondere den im Objektbereich befindlichen Gegenstand, in vorgegebenen regelmäßigen zeitlichen Abständen, insbesondere in zeitlichen Abständen von 4 ms bis 12,5 ms, insbesondere von 6,5 bis 10 ms, zu beleuchten und
- die Steuereinheit dazu ausgebildet ist, den Sensor zur Erstellung von kontinuierlichen Aufnahmen und die Beleuchtungseinheit zur Beleuchtung des Objektbereichs in vorgegebenen regelmäßigen zeitlichen Abständen anzusteuern.

Um eine dreidimensionale Rekonstruktion von kontinuierlich durch den Objektbereich bewegten Gegenständen zu ermöglichen, wobei gleichzeitig sichergestellt ist, dass keine bzw. nur eine geringe Bewegungsunschärfe auftritt, kann vorgesehen sein, dass die Verschlusszeit des Sensors derart gewählt ist, dass die durch den Transport des Gegenstands relativ zum Sensor bedingte Bewegungsunschärfe am Sensor kleiner als 1 Pixel ist.

Eine vorteilhafte dreidimensionale Rekonstruktion kann mit Hilfe eines Structure-from-Motion-Algorithmus erzielt werden, wenn die Beleuchtungsdauer der Beleuchtungseinheit derart gewählt ist, dass die durch den Transport des Gegenstands relativ zum Sensor bedingte Bewegungsunschärfe am Sensor kleiner als 1 Pixel ist.

Auf diese Weise ist gewährleistet, dass die Lichtpulse kurz genug sind, sodass der aufzunehmende Gegenstand während der Beleuchtungszeit nicht bzw. nur um einen

kurzen Weg weitertransportiert wird, sodass eine möglichst kleine Bewegungsunschärfe sichergestellt ist.

Weitere Vorteile und Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus der Beschreibung und den beiliegenden Zeichnungen.

Die Erfindung ist im Folgenden anhand von besonders vorteilhaften, aber nicht einschränkend zu verstehenden Ausführungsbeispielen in den Zeichnungen schematisch dargestellt und wird unter Bezugnahme auf die Zeichnungen beispielhaft beschrieben.

Im Folgenden zeigen schematisch:

Fig. 1a den Aufbau und Strahlengang eines ersten Ausführungsbeispiels einer erfindungsgemäßen Mikroskopie-Vorrichtung, bei der sich ein Gegenstand im Objektbereich dem Bereich der gemeinsamen optischen Achse nähert,

Fig. 1b die Mikroskopie-Vorrichtung aus Fig. 1a, wobei sich der Gegenstand im Bereich der gemeinsamen optischen Achse befindet,

Fig. 1c die Mikroskopie-Vorrichtung aus Fig. 1a, wobei der Gegenstand den Bereich der gemeinsamen optischen Achse verlassen hat,

Fig. 2 ein zweites Ausführungsbeispiel einer Mikroskopie-Vorrichtung, bei der sich die Blende zwischen der Objektivlinsen-Anordnung und dem Sensor befindet,

Fig. 3 ein drittes Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Mikroskopie-Vorrichtung mit einer Beleuchtungseinheit und einem Strahlteiler,

Fig. 4 ein viertes Ausführungsbeispiel mit einer ringförmigen Beleuchtungseinheit,

Fig. 5 einen aufzunehmenden Gegenstand,

Fig. 6a eine Detailaufnahme der Mikroskopie-Vorrichtung aus Fig. 1a während sich der Gegenstand im Bereich der gemeinsamen optischen Achse nähert,

Fig. 6b eine Detailaufnahme der Mikroskopie-Vorrichtung aus Fig. 1a während sich der Gegenstand im Bereich der optischen Achse befindet,

Fig. 6c eine Detailaufnahme der Mikroskopie-Vorrichtung aus Fig. 1a nachdem der Gegenstand den Bereich der gemeinsamen optischen Achse verlassen hat,

Fig. 7a das in Fig. 6a erstellte Abbild,

Fig. 7b das in Fig. 6b erstellte Abbild,

Fig. 7c das in Fig. 6c erstellte Abbild.

Fig. 1a bis 1c zeigen schematisch ein erstes Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Mikroskopie-Vorrichtung 100 zur Erstellung dreidimensionaler Abbilder von im Bereich einer Gegenstandsebene befindlichen Gegenständen. In den Fig.

1a bis 1c ist dabei jeweils eine Schnittansicht durch die optischen Komponenten der Mikroskopie-Vorrichtung 100 dargestellt. Die Mikroskopie-Vorrichtung 100 umfasst im gezeigten Ausführungsbeispiel eine Objektivlinsen-Anordnung 1 mit einer Objektivlinsen-Brennweite f_1 und einem Objektivlinsen-Brennpunkt F_1 , sowie eine Tubuslinsen-Anordnung 2 mit einer Tubuslinsen-Brennweite f_2 und einem Tubuslinsen-Brennpunkt F_2 . Unter der Objektivlinsen-Anordnung 1 bzw. der Tubuslinsen-Anordnung 2 ist im Zusammenhang mit der Erfindung jeweils eine Kombination mehrerer optischer Linsen zu verstehen, die als eine gemeinsame Objektivlinse bzw. Tubuslinse wirken. Alternativ kann eine Linsenanordnung auch nur aus einer einzelnen Linse bestehen.

Wie in den Fig. 1a bis 1c ersichtlich ist, weisen die Objektivlinsen-Anordnung 1 und die Tubuslinsen-Anordnung 2 der Mikroskopie-Vorrichtung 100 eine gemeinsame optische Achse auf. Ein Objektbereich g zur Anordnung zu untersuchender Gegenstände 4, durch den die Gegenstandsebene verläuft, ist im von der Tubuslinsen-Anordnung 2 abgewandten Bereich der Objektivlinsen-Anordnung 1 und von der Objektivlinsen-Anordnung 1 beabstandet angeordnet.

Die Mikroskopie-Vorrichtung 100 umfasst weiters einen Sensor 3, im vorliegenden Ausführungsbeispiel ein Flächensensor mit in Zeilen und Spalten angeordneten lichtsensitiven Sensorpixeln. Der Sensor 3 ist in dem von der Objektivlinsen-Anordnung 1 abgewandten Bereich der Tubuslinsen-Anordnung 2 von der Tubuslinsen-Anordnung 2 beabstandet angeordnet. Dies bedeutet, dass sich der Sensor 3, wie in den Fig. 1a bis 1c ersichtlich ist, vom Objektbereich g aus gesehen hinter der Tubuslinsen-Anordnung 2 befindet. Der Sensor 3 ist dazu ausgebildet, Abbilder zu untersuchender Gegenstände 4 wiederzugeben bzw. aufzunehmen.

Die Gegenstandsebene g verläuft im gezeigten Ausführungsbeispiel durch den Brennpunkt F_1 der Objektivlinsen-Anordnung 1 im von der Tubuslinsen-Anordnung 2 abgewandten Bereich der Objektivlinsen-Anordnung 1 und ist parallel zur Ebene des Sensors 3 angeordnet.

Weiters umfasst die Mikroskopie-Vorrichtung 100 eine Blende B, durch deren Blendenöffnung D die gemeinsame optische Achse verläuft. Die Blende B ist dabei in einem Bereich der gemeinsamen optischen Achse zwischen demjenigen Brennpunkt F_1 der Objektivlinsen-Anordnung 1, der der Tubuslinsen-Anordnung 2 zugewandt ist und dem Sensor 3 angeordnet.

Diese Anordnung der Blende B gewährleistet eine hyperzentrische Perspektive, bei der das Perspektivitätszentrum im Raum hinter dem zu untersuchenden Gegenstand 4, also im von der Mikroskopie-Vorrichtung 100 abgewandten Bereich liegt. Aufgrund der hyperzentrischen Perspektive werden von der Objektivlinsen-Anordnung 1 weiter entfernte Gegenstandspunkte größer am Sensor 3 abgebildet als Gegenstandspunkte, die der Objektivlinsen-Anordnung 1 näher sind. Die Eintrittspupille EP, also das objektseitige Bild der Blende B, liegt bei einer hyperzentrischen Projektion hinter dem Objektbereich g, d.h. im von der Objektivlinsen-Anordnung 1 abgewandten Bereich des Objektbereichs g, wie dies in den Fig. 1a bis Fig. 4 dargestellt ist.

Wie in den Fig. 1a bis 1c ersichtlich ist, fallen im ersten Ausführungsbeispiel der Brennpunkt F_1 der Objektivlinsen-Anordnung 1 und der Brennpunkt F_2 der Tubuslinsen-Anordnung 2 in einer gemeinsamen normal zur optischen Achse stehenden Brennebene F_E zusammen. Die Blende B ist im Bereich zwischen der gemeinsamen Brennebene F_E und der Tubuslinsen-Anordnung 2 angeordnet. Der Mittelpunkt der Blendenöffnung D liegt im gezeigten ersten Ausführungsbeispiel auf der gemeinsamen optischen Achse.

Fig. 2 zeigt ein zweites Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Mikroskopie-Vorrichtung 100, bei der die Blende B in dem von der Objektivlinsen-Anordnung 1 abgewandten Bereich der Tubuslinsen-Anordnung 2 angeordnet ist. Die Blende B ist dabei im gezeigten Ausführungsbeispiel zwischen der Tubuslinsen-Anordnung 2 und dem Sensor 3 angeordnet. Auch eine derartige Anordnung der optischen Komponenten gewährleistet eine hyperzentrische Perspektive bei einer erfindungsgemäßen Mikroskopie-Vorrichtung 100. Dabei fungiert das von der Tubuslinsen-Anordnung 2 erzeugte, virtuell erzeugte, Abbild B' der Blende B als optisch wirksame Blende.

Da die Position der Blende innerhalb der Mikroskopie-Vorrichtung 100 die Tiefenauflösung aufgrund perspektivischer Parallaxen in verschiedenen Aufnahmen beeinflusst, kann die Blende B bei allen Ausführungsformen einer erfindungsgemäßen Mikroskopie-Vorrichtung 100 in einem Abstand d von größer als das 1,1-fache der Objektivlinsen-Brennweite f_1 von der Objektivlinsen-Anordnung 1 angeordnet sein. Eine verbesserte Tiefenauflösung wird in diesem Zusammenhang erzielt, wenn die Blende B bei einer erfindungsgemäßen Mikroskopie-Vorrichtung 100 in einem Abstand d von der Objektivlinsen-Anordnung 1 angeordnet ist, der größer als das 1,3-fache der Objektivlinsen-Brennweite f_1 ist.

Je größer der gewählte Abstand d der Blende B von der Objektivlinsen-Anordnung 1 gewählt ist, desto stärker ist die hyperzentrische Perspektive ausgeprägt und desto besser ist die Tiefenauflösung.

Der Durchmesser D der Blende B beeinflusst die laterale optische Auflösung der Mikroskopie-Vorrichtung 100. Um eine ausreichend gute laterale optische Auflösung zu gewährleisten, ist der Durchmesser D der Blende B bei allen Ausführungsformen einer erfindungsgemäßen Mikroskopie-Vorrichtung 100 derart gewählt, dass die numerische Apertur der Objektivlinsen-Anordnung 1 auf 5 bis 50% der numerischen Apertur im Vergleich zu einem Einbauzustand der Objektivlinsen-Anordnung 1 ohne Blende B verkleinert wird. Dies bedeutet, dass die numerische Apertur der Objektivlinsen-Anordnung 1 durch die Blende B um 50 bis 95% im Vergleich zu einem Einbau ohne Blende B reduziert ist.

Als numerische Apertur der Objektivlinsen-Anordnung 1 ist in diesem Zusammenhang zu verstehen, in welchem Winkel von einem betrachteten Gegenstand 4 ausgehendes Licht von der Objektivlinsen-Anordnung 1 eingefangen werden kann. Im Rahmen der Erfindung wird für die perspektivische Aufnahme eines Gegenstands 4 nur ein kleiner Bereich des vom Gegenstand 4 abgestrahlten Lichtkegels genutzt, wobei die Richtung kontrolliert wird, in der der Gegenstand 4 betrachtet wird.

Ist nun beispielsweise die numerische Apertur der Objektivlinsen-Anordnung 1 auf 5% der numerischen Apertur ohne Blende B eingeschränkt, so ist es möglich, Gegenstände 4 in einem großen Winkelbereich bei ausreichender lateraler Auflösung zu betrachten. Ist die numerische Apertur auf 50% der numerischen Apertur im Einbauzustand ohne Blende B reduziert, so ist eine Betrachtung des Gegenstands 4 in einem eingeschränkteren, jedoch ausreichend großen Winkelbereich bei gleichzeitig verbesserter lateraler Auflösung möglich.

Um eine ausreichende Beleuchtung des Objektbereichs g bei einer Mikroskopie-Vorrichtung 100 sicherzustellen, kann die Mikroskopie-Vorrichtung 100 unterschiedliche Arten von Beleuchtungseinheiten 5 umfassen. Beispiele hierfür sind in den Fig. 3 und 4 dargestellt. Derartige Beleuchtungseinheiten 5 können mit jeder Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Mikroskopie-Vorrichtung 100 kombiniert werden.

Fig. 3 zeigt beispielhaft ein drittes Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Mikroskopie-Vorrichtung 100 mit einer Beleuchtungseinheit 5, die zwischen der

Objektivlinsen-Anordnung 1 und der Tubuslinsen-Anordnung 2 angeordnet ist. Durch diese Anordnung kann die Beleuchtungseinheit 5 beispielsweise in einem gemeinsamen Gehäuse mit der Objektivlinsen-Anordnung 1 und der Tubuslinsen-Anordnung 2 verbaut sein. Im gezeigten Ausführungsbeispiel ist weiters ein Strahlteiler 6 zwischen der Objektivlinsen-Anordnung 1 und der Tubuslinsen-Anordnung 2 angeordnet. Der Strahlteiler 6 ist dabei in einem Winkel von 45° zur gemeinsamen optischen Achse ausgerichtet und der Flächenschwerpunkt bzw. der Volumenschwerpunkt des Strahlteilers 6 liegt in der gemeinsamen Brennebene F_E im Brennpunkt F_1 der Objektivlinsen-Anordnung, der mit dem Brennpunkt F_2 der Tubuslinsen-Anordnung 2 zusammenfällt.

Diese Ausrichtung bzw. Anordnung des Strahlteilers 6 ist jedoch keinesfalls zwingend, es reicht aus, wenn der Strahlteiler 6 zwischen der Tubuslinsen-Anordnung 2 und der Objektivlinsen-Anordnung 1 angeordnet ist und in einem Winkel von 10° bis 80° , insbesondere von 30° bis 60° , zur gemeinsamen optischen Achse angeordnet und ausgerichtet ist, sodass das von der Beleuchtungseinheit 5 abgestrahlte Licht über den Strahlteiler 6 durch die Objektivlinsen-Anordnung 1 hindurch auf den Objektbereich g der Mikroskopie-Vorrichtung 100 fällt.

Im gezeigten Ausführungsbeispiel wird das von der Beleuchtungseinheit 5 ausgehende Licht weiters über zwei Linsenarrangements A auf den Strahlteiler 6 gerichtet. Derartige Linsenarrangements sind aber nicht zwingend erforderlich. Bei der Beleuchtungseinheit 5 kann es sich beispielsweise um eine ebene, flächige Lichtquelle handeln, die parallel zur gemeinsamen optischen Achse und beabstandet von dieser angeordnet sein kann.

Als Strahlteiler werden üblicherweise z. B. einfache mehrschichtvergütete Glasplättchen verwendet, die durch eine Vergütung bzw. Veränderung der Oberflächeneigenschaften auf einer Seite teilweise reflektierende bzw. teilweise transmissive Eigenschaften aufweisen.

Da bei mikroskopischen Verfahren Doppelbilder unerwünscht sind, wie sie beispielsweise durch die Verwendung von plattenförmigen Strahlteilern, die an beiden Seiten vergütet sind, entstehen würden, sind würfelförmige Strahlteiler zur Verwendung in der Mikroskopie-Vorrichtung 100 besonders gut geeignet. Bei einem derartigen würfelförmigen Strahlteiler handelt es sich um einen Glaswürfel, der diagonal geschnitten wird, wobei eine der Schnittflächen vergütet wird und die beiden Würfelteile anschließend mit einem optischen Kitt wieder verbunden werden. Auf diese Weise ist der würfelförmige

Strahlteiler nur an einer Fläche teilreflektierend ausgebildet, sodass keine unerwünschten Doppelbilder entstehen.

Fig. 4 zeigt ein viertes Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Mikroskopie-Vorrichtung 100 mit einer ringförmigen Beleuchtungseinheit 5, die einen Durchmesser aufweist, der den Durchmesser der Objektivlinsen-Anordnung 1 übersteigt und zwischen dem Objektbereich g und der Objektivlinsen-Anordnung 1 angeordnet ist und auf den Objektbereich g gerichtet ist. Durch diese Wahl des Durchmessers wird der Objektbereich g ausreichend beleuchtet, während gleichzeitig sichergestellt ist, dass die Objektivlinsen-Anordnung 1 nicht durch die Beleuchtungseinheit 5 verdeckt wird. Bei einer derartigen Beleuchtungseinheit 5 ist vorteilhafterweise auch ein nachträglicher Anbau an eine bestehenden Mikroskopie-Vorrichtung 100 möglich.

Die in Fig. 3 und Fig. 4 dargestellten Beleuchtungsarten des Objektbereichs g unterscheiden sich in ihrem Beleuchtungswinkel. Wird z. B. eine Mikroskopie-Vorrichtung 100 mit einer in Fig. 3 dargestellten Beleuchtungseinheit 5 verwendet, wird eine Hellfeld-Beleuchtung des Objektbereichs g erzielt, während durch die ringförmige Beleuchtungseinheit 5 aus Fig. 4 eine Dunkelfeld-Beleuchtung des Objektbereichs g sichergestellt ist. Je nach zu untersuchendem Gegenstand 4, ist es beispielsweise vorteilhaft, eine Dunkelfeld-Beleuchtung zu verwenden, wenn der Gegenstand 4 eine metallisch reflektierende Oberfläche aufweist, oder eine Hellfeld-Beleuchtung, wenn der Gegenstand 4 eine matte Oberfläche besitzt.

Derartige in einer erfindungsgemäßen Mikroskopie-Vorrichtung 100 verbaute Beleuchtungseinheiten 5 können nun einerseits den Objektbereich g bzw. im Objektbereich g befindliche Gegenstände 4 kontinuierlich beleuchten. Zusätzlich oder alternativ dazu können die Beleuchtungseinheiten 5 dazu ausgebildet sein, den Objektbereich g in vorgegebenen regelmäßigen zeitlichen Abständen zu beleuchten, sodass diese beispielsweise kurz aufeinander folgende Lichtblitze abgeben und der Objektbereich g zwischen den Lichtblitzen unbeleuchtet ist.

Eine erfindungsgemäße Mikroskopie-Vorrichtung 100 kann optional auch eine Steuereinheit 8 und eine Transporteinheit umfassen, was besonders vorteilhaft für den Einsatz im laufenden Produktions- oder Fertigungsbetrieb ist. Die Transporteinheit ist dabei dazu ausgebildet, Gegenstände 4 in einer Transportebene relativ zu den optischen Komponenten der Mikroskopie-Vorrichtung 100, d.h. den Linsen-Anordnungen 1, 2 und den Sensor 3, zu bewegen. Dabei kann die Transporteinheit Gegenstände 4 in der

Transportebene translatorisch linear entlang zumindest einer Transportrichtung t transportieren. Zusätzlich oder alternativ dazu kann die Transporteinheit auch dazu ausgebildet sein, Gegenstände 4 entlang eines Transportpfads in einer Rotationsbewegung durch den Objektbereich g der Mikroskopie-Vorrichtung 100 zu transportieren. Der Transport erfolgt dabei insbesondere kontinuierlich, beispielsweise wenn Gegenstände 4 im Produktionsbetrieb inspiziert werden sollen.

Die Transportebene steht dabei im Wesentlichen senkrecht zur gemeinsamen optischen Achse der Linsen-Anordnungen 1, 2, wie dies beispielsweise in den Fig. 1a bis 1c dargestellt ist. Bei der Bewegung des Gegenstands 4 in den Fig. 1a bis 1c handelt es sich um eine planare Bewegung, wobei der Gegenstand 4 von der Transporteinheit bzw. dem Förderband 7 linear entlang der Transportrichtung t transportiert wird.

Die Steuereinheit 8 ist in diesem Fall dazu ausgebildet, die Transporteinheit zum Transport von Gegenständen 4 entlang der zumindest einen Transportrichtung t und/oder des zumindest einen Transportpfads anzusteuern. In der Steuereinheit 8 können dazu beispielsweise verschiedene Transportgeschwindigkeiten und Koordinaten von Transportpfaden hinterlegt sein, sodass sie eine entsprechende Ansteuerung der Transporteinheit ermöglicht.

Vorteil einer Transportvorrichtung und einer Steuereinheit 8, die nicht nur einen linearen Transport von Gegenständen 4, sondern verschiedene Bewegungsrichtungen beispielsweise auch spiralförmig an den optischen Komponenten der Mikroskopie-Vorrichtung 100 vorbei ermöglichen, ist, dass auf diese Weise im Produktionsprozess schnell große Flächen erfasst werden können.

Als Beispiel für einen zu untersuchenden Gegenstand 4 ist in Fig. 5 ein Zahnrad dargestellt. In den Fig. 6a bis 6c sind beispielhaft Detailaufnahmen der in den Fig. 1a bis 1c dargestellten Mikroskopie-Vorrichtung 100 gezeigt, während das Zahnrad aus Fig. 5 durch den Objektbereich g der Mikroskopie-Vorrichtung 100 linear entlang einer Transportrichtung t von einer Transporteinheit transportiert wird.

Bei der Transporteinheit handelt es sich im gezeigten Beispiel um eine Einrichtung mit einem Förderband 7, auf dem der Gegenstand 4 bzw. das Zahnrad liegt und bei der sich die Transportebene in der Ebene des Förderbands 7 befindet. Die Steuereinheit 8, die die Transporteinheit ansteuert, ist ebenfalls schematisch angedeutet.

Die Fig. 7a bis 7c zeigen jeweils die vom Sensor 3 aufgenommenen Abbilder 4', 7' des Gegenstands 4 bzw. des zum jeweiligen Aufnahmezeitpunkt im Gegenstandsbereich g befindlichen Abschnitt des Förderbands 7 der Transporteinrichtung.

Beim Sensor 3 handelt es sich im gezeigten Ausführungsbeispiel um einen Sensor mit einer Anzahl von in Zeilen und Spalten angeordneten Pixelsensoren. Die Sensorzeilen, sind in einem Winkel oder normal zur Transportrichtung t ausgerichtet sind und in Transportrichtung t hintereinander, insbesondere parallel zueinander, ausgerichtet. Alternativ dazu kann ein Sensor mit einer beliebigen anderen Anordnung von Sensorzeilen bzw. -spalten verwendet werden.

Wird nun der Gegenstand 4 bzw. das Zahnrad durch den Objektbereich g an den optischen Komponenten der Mikroskopie-Vorrichtung 100 vorbeitransportiert, wird während des Transports eine Abfolge von Aufnahmen des Gegenstands 4 vom Sensor 3 erstellt. Dabei wird jeder Gegenstandspunkt des Gegenstands 4 von den Sensorzeilen des Sensors 3 aufeinanderfolgend in verschiedenen Winkeln aufgenommen, sodass, nachdem der Gegenstand 4 den Objektbereich g der Mikroskopie-Vorrichtung 100 verlassen hat, derselbe Gegenstandspunkt des Gegenstands 4 von allen Sensorzeilen des Sensors 3 jeweils in einem anderen Winkel erfasst wurde.

Diese Veränderung des Winkels, unter dem der Gegenstand 4 aufgenommen wird bzw. unter dem vom Gegenstand 4 reflektiertes Licht aufgenommen wird, ist in den Fig. 6a bis 6c schematisch angedeutet, wobei in Fig. 6a der Gegenstand 4 sich dem Bereich der gemeinsamen optischen Achse entlang der Transportrichtung t annähert, was der schematischen Darstellung der Mikroskopie-Vorrichtung 100 mit dem entsprechenden Strahlengang in Fig. 1a entspricht. In Fig. 6b passiert der Gegenstand 4 den Bereich der optischen Achse, was in Fig. 1b im Detail dargestellt ist, und in Fig. 6c verlässt der Gegenstand 4 den Bereich der gemeinsamen optischen Achse, wofür der Strahlengang in der Mikroskopie-Vorrichtung 100 im Detail in Fig. 1c dargestellt ist.

Wie in den Fig. 7a bis 7c zu erkennen ist, erscheinen aufgrund der hyperzentrischen Perspektive von der Objektivlinsen-Anordnung 1 weiter entfernte Gegenstandspunkte größer als Gegenstandspunkte, die der Objektivlinsen-Anordnung 1 näher sind. Dies ist, wie bereits zuvor erwähnt, dadurch begründet, dass sich bei einer hyperzentrischen Perspektive das Perspektivitätszentrum vom Sensor 3 aus gesehen im Raum hinter dem Gegenstand 4 befindet.

Eine hyperzentrische Projektion ist besonders vorteilhaft, da, im Gegensatz zu einer typischen entozentrischen Projektion, die Blende B nicht zwischen dem Objektbereich g und der dem Objektbereich g zugewandten Brennebene der Objektivlinsen-Anordnung 1 angeordnet zu sein braucht. Derart werden vorteilhafterweise technische Probleme in der Umsetzung vermieden, die sich bei einer entozentrischen Projektion dadurch ergeben, dass bei für einen ausreichenden Perspektivenwinkel die Blende B im Allgemeinen vor der Objektivlinsen-Anordnung 1, also außerhalb der Mikroskopoptik und im Beleuchtungsstrahlengang angeordnet ist. Im Gegensatz dazu ist die Blende B zur Erzielung der hyperzentrischen Projektion in der Mikroskopie-Vorrichtung 100 zwischen der Objektivlinsen-Anordnung 1 und der Tubuslinsen-Anordnung 2 angeordnet, und beeinträchtigt den Beleuchtungsstrahlengang daher nicht.

Weiters können mit einer hyperzentrischen Projektion vorteilhafterweise Oberflächen, die parallel zur gemeinsamen optischen Achse der Linsen-Anordnungen 1, 2 ausgerichtet sind, gleichzeitig mit derjenigen sichtbaren Stirnfläche des Gegenstands 4 erfasst werden, die normal zur gemeinsamen optischen Achse ausgerichtet ist. Dies ist in den Fig. 7a bis 7c zu erkennen, wo die Stirnfläche des Zahnrads relativ kleiner erscheint, als die vom Sensor 3 weiter entfernten Seitenflächen der Zähne des Zahnrads, die parallel zur gemeinsamen optischen Achse ausgerichtet sind, sodass die Stirnfläche und die Seitenflächen gleichzeitig erfassbar sind.

Wird, wie zuvor beschrieben, während des Transports des Gegenstands 4 durch den Objektbereich g eine Abfolge von Aufnahmen des Gegenstands 4 mit unterschiedlichen Aufnahmewinkeln erstellt, ist eine dreidimensionale Rekonstruktion der Oberflächenstruktur des Gegenstands 4 einfach möglich. Dabei werden unter Anwendung eines bekannten Structure-From-Motion-Algorithmus diejenigen Bildpunkte in den Abbildern detektiert und einander zugeordnet, die von unterschiedlichen Sensorzeilen aufgenommenen wurden und denselben Gegenstandspunkt abbilden. Derartige bekannte Structure-From-Motion-Algorithmen sind beispielsweise in *Onur Ozyesil, Vladislav Voroninski, Ronen Basri, Amit Singer; "A Survey of Structure from Motion", arXiv:1701.08493 <https://arxiv.org/abs/1701.08493>, abgerufen am 18.10.2018, oder Johannes L. Schönberger, Jan Michael Frahm; 2016, "Structure-from-motion revisited" IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, CVPR 2016 <https://demuc.de/papers/schoenberger2016sfm.pdf>, abgerufen am 18.10.2018, beschrieben.*

Umfasst die Mikroskopie-Vorrichtung 100, wie die oben beschrieben, eine Steuereinheit 8 und eine Transporteinheit, so kann die Information der Objektbewegung zwischen den einzelnen Aufnahmen vorteilhafterweise als mathematische Randbedingung in den Algorithmus einbezogen werden, sodass, anders als im klassischen Structure-From-Motion-Ansatz, die Objektbewegung nicht frei aus den Einzelaufnahmen geschätzt werden braucht.

Um eine Serie von Aufnahmen eines zu untersuchenden Gegenstands 4 während des Produktionsprozesses, währenddessen der Gegenstand 4 kontinuierlich transportiert wird, zu erstellen, ohne dass für die Erstellung von Aufnahmen jeweils eine Unterbrechung des Transports bzw. ein Anhalten der Transportvorrichtung bzw. des Förderbands 7 erforderlich ist, erstellt beispielsweise der Sensor 3 während des Transports des zu untersuchenden Gegenstands 4 durch den Objektbereich g kontinuierlich Aufnahmen des Gegenstands 4.

In diesem Fall ist der Sensor 3 vorteilhafterweise mit einer Beleuchtungseinheit 5 kombiniert, die den Objektbereich g bzw. den Gegenstand 4 in regelmäßigen vorgegebenen zeitlichen Abständen beleuchtet, also in gleichmäßigen Zeitabständen Lichtblitze abgibt. Die Steuereinheit 8 ist in diesem Fall dazu ausgebildet, den Sensor 3 zur Erstellung von kontinuierlichen Aufnahmen und die Beleuchtungseinheit 5 zur Beleuchtung des Objektbereichs g in den zuvor erwähnten vorgegebenen regelmäßigen zeitlichen Abständen anzusteuern.

Alternativ oder zusätzlich dazu kann bei allen Ausführungsformen einer erfindungsgemäßen Mikroskopie-Vorrichtung 100 die Beleuchtung des Objektbereichs g durch die Beleuchtungseinheit 5 auch kontinuierlich erfolgen, wobei der Sensor 3 in diesem Fall während des Transports des zu untersuchenden Gegenstands 4 durch den Objektbereich g eine Abfolge von in vorgegebenen regelmäßigen zeitlichen Abständen aufgenommenen Momentaufnahmen erstellt, d.h. in gleichmäßigen Zeitabständen jeweils eine Aufnahme des Gegenstands 4 erstellt. In diesem Fall ist die Steuereinheit 8 dazu ausgebildet, den Sensor 3 in vorgegebenen regelmäßigen zeitlichen Abständen zur Erstellung von Aufnahmen und die Beleuchtungseinheit 5 zur kontinuierlichen Beleuchtung des Objektbereichs g anzusteuern.

Die regelmäßigen zeitlichen Abstände zwischen den Aufnahmen bzw. den Lichtblitzen sind dabei so gewählt, dass einzelne, aus verschiedenen Betrachtungswinkeln aufgenommene, Aufnahmen des Gegenstands 4 überlappen. Dies bedeutet, dass

beispielsweise ein Sensor 3 mit hoher Aufnahmegeschwindigkeit gewählt wird, sodass der aufzunehmende Gegenstand 4 bei vergleichsweise hohen Transportgeschwindigkeiten nur soweit im Gegenstandsbereich g transportiert wird, dass eine Überlappung zwischen aufeinanderfolgend erstellten Aufnahmen vorliegt. Dabei sind Überlappungen von bis zu 90% wünschenswert, um mittels der bekannten Structure-From-Motion-Algorithmen leichter Übereinstimmungen zwischen Abbildern desselben Gegenstandsbereichs in verschiedenen Aufnahmen ermitteln zu können.

Bei beispielsweise 10-facher Vergrößerung, einem 2x2 mm großen Blickfeld und einer gewünschten Überlappung von 80% zwischen zwei aufeinanderfolgend erstellten Aufnahmen des Gegenstands 4, kann der zeitliche Abstand zwischen den Momentaufnahmen bzw. Lichtblitzen bei einer Transportgeschwindigkeit von z.B. 50 mm/s so gewählt sein, dass z. B. eine Überlappung der Aufnahmen von 1,6 mm erzielt wird und somit der Gegenstand 4 zwischen Aufnahmen um 0,4 mm weitertransportiert.

Die zeitlichen Abstände zwischen den Lichtblitzen bzw. den Momentaufnahmen können also vorzugsweise z.B. in einem Bereich von 4 bis 12 ms gewählt sein, was 80 bis 250 Aufnahmen pro Sekunde entspricht. Besonders bevorzugt ist dabei ein Bereich von 6,5 bis 10 ms, was 100 bis 150 Aufnahmen pro Sekunde entspricht.

Der Sensor 3 kann beispielsweise dazu ausgebildet sein, während des Transports eines zu untersuchenden Gegenstands 4 durch den Objektbereich g eine Abfolge von in zeitlichen Abständen von 4 ms bis 12,5 ms, insbesondere von 6,5 bis 10 ms, aufgenommenen Momentaufnahmen zu erstellen, während die Beleuchtungseinheit 5 den Objektbereich g, insbesondere den im Objektbereich g befindlichen Gegenstand 4, kontinuierlich beleuchtet. In diesem Fall ist die Steuereinheit 8 dazu ausgebildet, den Sensor 3 in vorgegebenen regelmäßigen zeitlichen Abständen zur Erstellung von Aufnahmen und die Beleuchtungseinheit 5 zur kontinuierlichen Beleuchtung des Objektbereichs g anzusteuern.

Zusätzlich oder alternativ dazu kann die Beleuchtungseinheit 5 dazu ausgebildet sein, den Objektbereich g, insbesondere den im Objektbereich g befindlichen Gegenstand 4, in zeitlichen Abständen von 4 ms bis 12,5 ms, insbesondere von 6,5 bis 10 ms, zu beleuchten, wobei der Sensor 3 während des Transports eines zu untersuchenden Gegenstands 4 durch den Objektbereich g kontinuierlich Aufnahmen des Gegenstands 4 erstellt. In diesem Fall ist die Steuereinheit 8 dazu ausgebildet, den Sensor 3 zur Erstellung von kontinuierlichen Aufnahmen und die Beleuchtungseinheit 5 zur

Beleuchtung des Objektbereichs g in vorgegebenen regelmäßigen zeitlichen Abständen anzusteuern.

Eine exakte dreidimensionale Rekonstruktion des Gegenstands 4 ist bei einer erfindungsgemäßen Mikroskopie-Vorrichtung 100 weiters dadurch sichergestellt, dass vorteilhafterweise eine Bewegungsunschärfe in den einzelnen Aufnahmen des Gegenstands 4 vermieden wird. Dazu wird der Verschluss des Sensors 3 so kurz geschlossen bzw. sind die Zeitabstände zwischen den von der Beleuchtungseinheit 5 abgegebenen Lichtblitzen so kurz gewählt, dass der Gegenstand 4 während der Aufnahme bzw. der Beleuchtungsdauer nicht oder nur soweit bewegt wird, dass die Bewegungsunschärfe am Sensor 3 kleiner als 1 Pixel ist.

Patentansprüche

1. Mikroskopie-Vorrichtung (100) zur Erstellung dreidimensionaler Abbilder von in einem ebenen Objektbereich (g) befindlichen Gegenständen (4), umfassend eine Objektivlinsen-Anordnung (1) mit einer Objektivlinsen-Brennweite (f_1), eine Tubuslinsen-Anordnung (2) mit einer Tubuslinsen-Brennweite (f_2) und einen Sensor (3),

- wobei die Objektivlinsen-Anordnung (1) und Tubuslinsen-Anordnung (2) eine gemeinsame optische Achse aufweisen,

- wobei ein Objektbereich (g) zur Anordnung zu untersuchender Gegenstände (4) in dem von der Tubuslinsen-Anordnung (2) abgewandten Bereich der Objektivlinsen-Anordnung (1) von der Objektivlinsen-Anordnung (1) beabstandet angeordnet ist, und

- wobei der Sensor (3) in dem von der Objektivlinsen-Anordnung (1) abgewandten Bereich der Tubuslinsen-Anordnung (2) von der Tubuslinsen-Anordnung (2) beabstandet angeordnet ist, wobei der Sensor (3) dazu ausgebildet ist, Abbilder zu untersuchender Gegenstände (4) wiederzugeben, insbesondere aufzunehmen,

- wobei eine Blende (B) vorgesehen ist, durch deren Blendenöffnung (D) die gemeinsame optische Achse verläuft,

dadurch gekennzeichnet, dass

die Blende (B) und/oder die Blendenöffnung (D) in einem Bereich der gemeinsamen optischen Achse zwischen dem Sensor (3) und demjenigen Brennpunkt (F_1) der Objektivlinsen-Anordnung (1) liegt, der zwischen der Objektivlinsen-Anordnung (1) und Tubuslinsen-Anordnung (2) angeordnet ist.

2. Mikroskopie-Vorrichtung (100) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Blende (B) in dem von der Objektivlinsen-Anordnung (1) abgewandten Bereich der Tubuslinsen-Anordnung (2) angeordnet ist.

3. Mikroskopie-Vorrichtung (100) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass

- in einer gemeinsamen normal zur optischen Achse stehenden Brennebene (F_E) der Brennpunkt (F_1) der Objektivlinsen-Anordnung (1) und der Brennpunkt (F_2) der Tubuslinsen-Anordnung (2) zusammenfallen und

- die Blende (B) im Bereich zwischen der gemeinsamen Brennebene (F_E) und der Tubuslinsen-Anordnung (2) angeordnet ist.

4. Mikroskopie-Vorrichtung (100) nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Blende (B) in einem Abstand (d) von größer als das 1,1-Fache

der Objektivlinsen-Brennweite (f_1), insbesondere größer als das 1,3-Fache der Objektivlinsen-Brennweite (f_1), von der Objektivlinsen-Anordnung (1) angeordnet ist.

5. Mikroskopie-Vorrichtung (100) nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die numerische Apertur der Objektivlinsen-Anordnung (1) durch die Blende (B) um 50% bis 95% reduziert ist.

6. Mikroskopie-Vorrichtung (100) nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass eine ringförmige Beleuchtungseinheit (5) vorgesehen ist, die zwischen dem Objektbereich (g) und der Objektivlinsen-Anordnung (1) angeordnet ist und auf den Objektbereich (g) gerichtet ist, wobei insbesondere vorgesehen ist, dass der Durchmesser der Beleuchtungseinheit (5) den Durchmesser der Objektivlinsen-Anordnung (1) übersteigt.

7. Mikroskopie-Vorrichtung (100) nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass

- eine, insbesondere ebene, Beleuchtungseinheit (5) zwischen der Objektivlinsen-Anordnung (1) und der Tubuslinsen-Anordnung (2), insbesondere parallel zur gemeinsamen optischen Achse und/oder von dieser beabstandet, angeordnet ist, und
- ein Strahlteiler (6) zwischen der Objektivlinsen-Anordnung (1) und der Tubuslinsen-Anordnung (2) angeordnet ist, wobei der Strahlteiler (6) in einem Winkel 10° bis 80° , insbesondere von 30° bis 60° , vorzugsweise 45° , zur gemeinsamen optischen Achse derart angeordnet und ausgerichtet ist, dass das von der Beleuchtungseinheit (5) abgestrahlte Licht über den Strahlteiler (6) durch die Objektivlinsen-Anordnung (1) hindurch auf den Objektbereich (g) fällt.

8. Mikroskopie-Vorrichtung (100) nach einem der Ansprüche 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Beleuchtungseinheit (5) dazu ausgebildet ist, den Objektbereich (g), insbesondere im Objektbereich (g) befindliche Gegenstände (4), kontinuierlich und/oder in vorgegebenen regelmäßigen zeitlichen Abständen zu beleuchten.

9. Mikroskopie-Vorrichtung (100) nach einem der vorangehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch eine Steuereinheit (8) und eine Transporteinheit, wobei die Transporteinheit dazu ausgebildet ist, Gegenstände (4) in einer Transportebene translatorisch entlang zumindest einer Transportrichtung (t) und/oder rotatorisch entlang zumindest eines Transportpfads durch den Objektbereich (g) der Mikroskopie-Vorrichtung (100), insbesondere kontinuierlich, zu transportieren,

wobei die Transportebene und/oder die zumindest eine Transportrichtung (t) im Wesentlichen senkrecht zur gemeinsamen optischen Achse ausgerichtet ist und/oder die Rotationsachse der Rotationsbewegung des zumindest einen Transportpfads parallel zur gemeinsamen optischen Achse ist und

wobei die Steuereinheit (8) dazu ausgebildet ist, die Transporteinheit zum Transport von Gegenständen (4) entlang der zumindest einen Transportrichtung (t) und/oder des zumindest einen Transportpfads anzusteuern.

10. Mikroskopie-Vorrichtung (100) nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet,

- dass der Sensor (3) dazu ausgebildet ist, während des Transports eines zu untersuchenden Gegenstands (4) durch den Objektbereich (g) eine Abfolge von in vorgegebenen regelmäßigen zeitlichen Abständen, insbesondere in zeitlichen Abständen von 4 ms bis 12,5 ms, insbesondere von 6,5 bis 10 ms, aufgenommenen Momentaufnahmen zu erstellen,

- dass die Beleuchtungseinheit (5) dazu ausgebildet ist, den Objektbereich (g), insbesondere den im Objektbereich (g) befindlichen Gegenstand (4), kontinuierlich zu beleuchten und

- dass Steuereinheit (8) dazu ausgebildet ist, den Sensor (3) in vorgegebenen regelmäßigen zeitlichen Abständen zur Erstellung von Aufnahmen und die Beleuchtungseinheit (5) zur kontinuierlichen Beleuchtung des Objektbereichs (g) anzusteuern.

11. Mikroskopie-Vorrichtung (100) nach Anspruch 9 oder 10, dadurch gekennzeichnet,

- dass der Sensor (3) dazu ausgebildet ist, während des Transports eines zu untersuchenden Gegenstands (4) durch den Objektbereich (g) kontinuierlich Aufnahmen des Gegenstands (4) zu erstellen,

- dass die Beleuchtungseinheit (5) dazu ausgebildet ist, den Objektbereich (g), insbesondere den im Objektbereich (g) befindlichen Gegenstand (4), in vorgegebenen regelmäßigen zeitlichen Abständen, insbesondere in zeitlichen Abständen von 4 ms bis 12,5 ms, insbesondere von 6,5 bis 10 ms, zu beleuchten und

- dass die Steuereinheit (8) dazu ausgebildet ist, den Sensor (3) zur Erstellung von kontinuierlichen Aufnahmen und die Beleuchtungseinheit (5) zur Beleuchtung des Objektbereichs (g) in vorgegebenen regelmäßigen zeitlichen Abständen anzusteuern.

12. Mikroskopie-Vorrichtung (100) nach einem der Ansprüche 9 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Verschlusszeit des Sensors (3) derart gewählt ist, dass die

durch den Transport des Gegenstands (4) relativ zum Sensor (3) bedingte Bewegungsunschärfe am Sensor (3) kleiner als 1 Pixel ist.

13. Mikroskopie-Vorrichtung (100) nach einem der Ansprüche 9 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Beleuchtungsdauer der Beleuchtungseinheit (5) derart gewählt ist, dass die durch den Transport des Gegenstands (4) relativ zum Sensor (3) bedingte Bewegungsunschärfe am Sensor (3) kleiner als 1 Pixel ist.

Fig. 1a

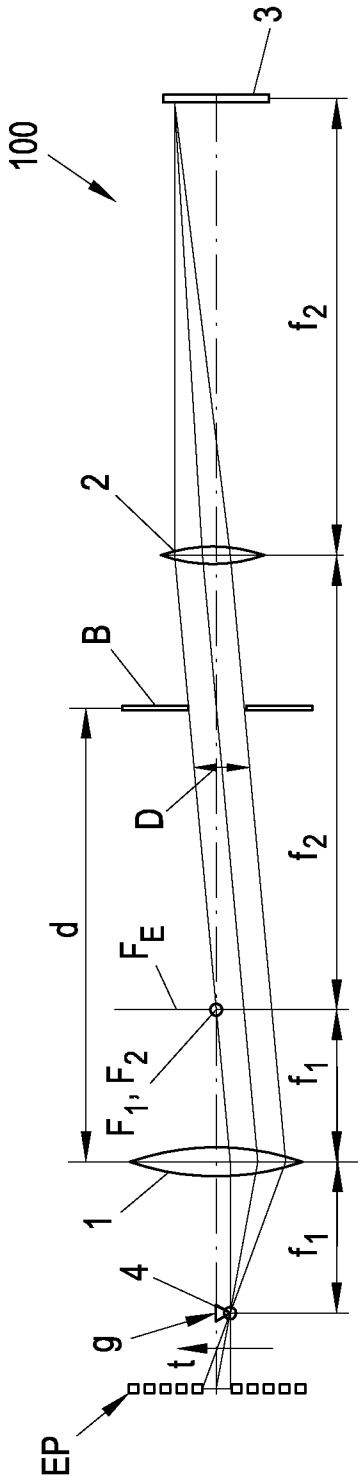


Fig. 1b

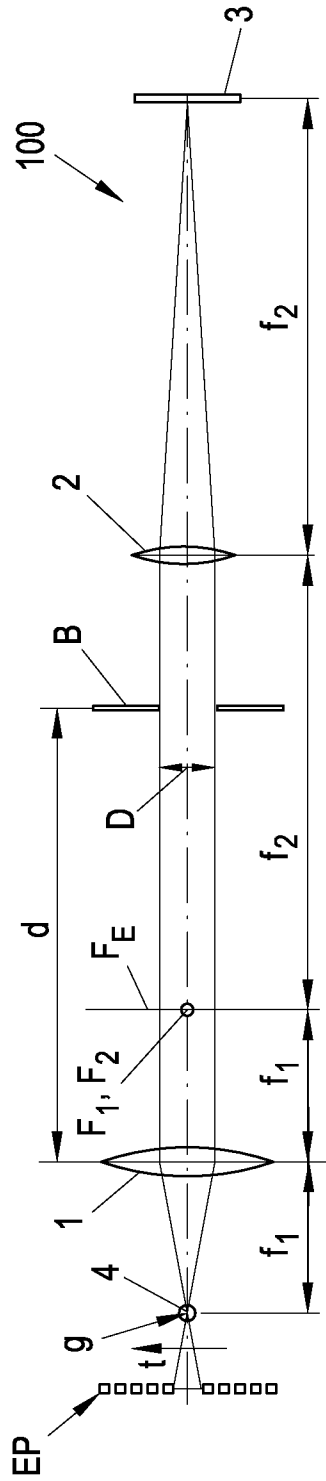
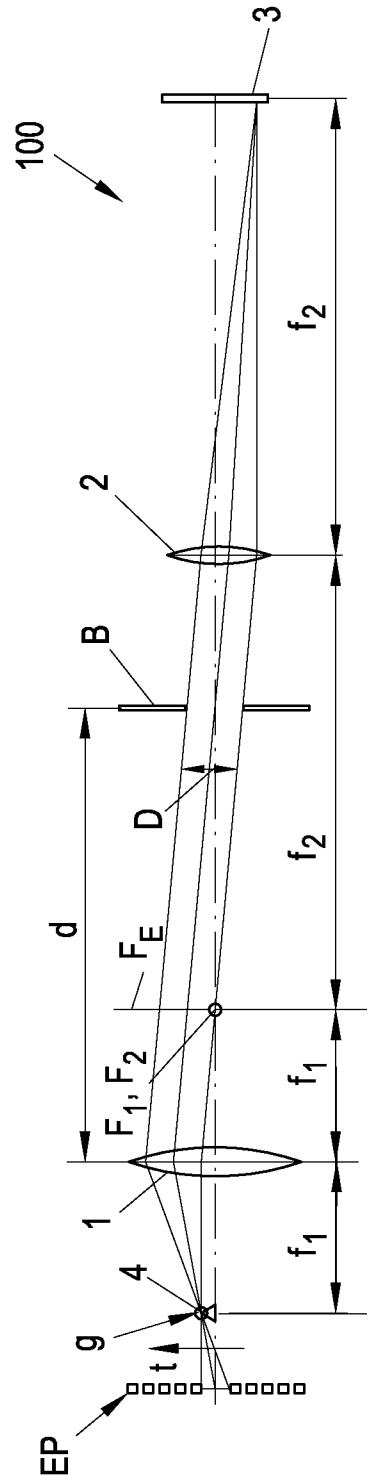


Fig. 1c



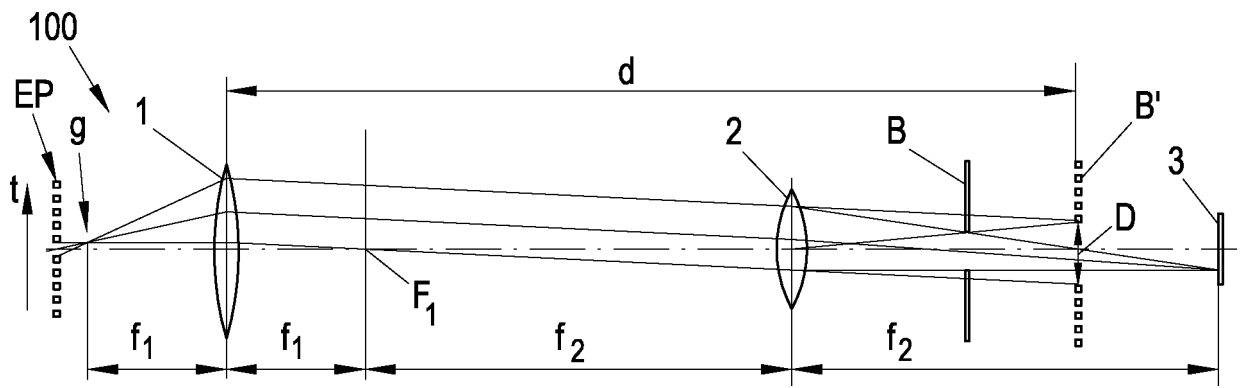


Fig. 2

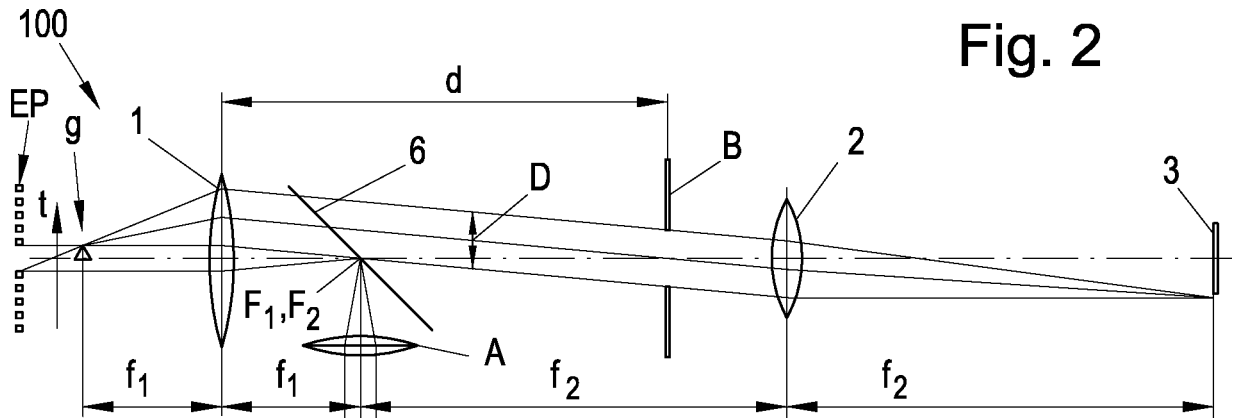


Fig. 3

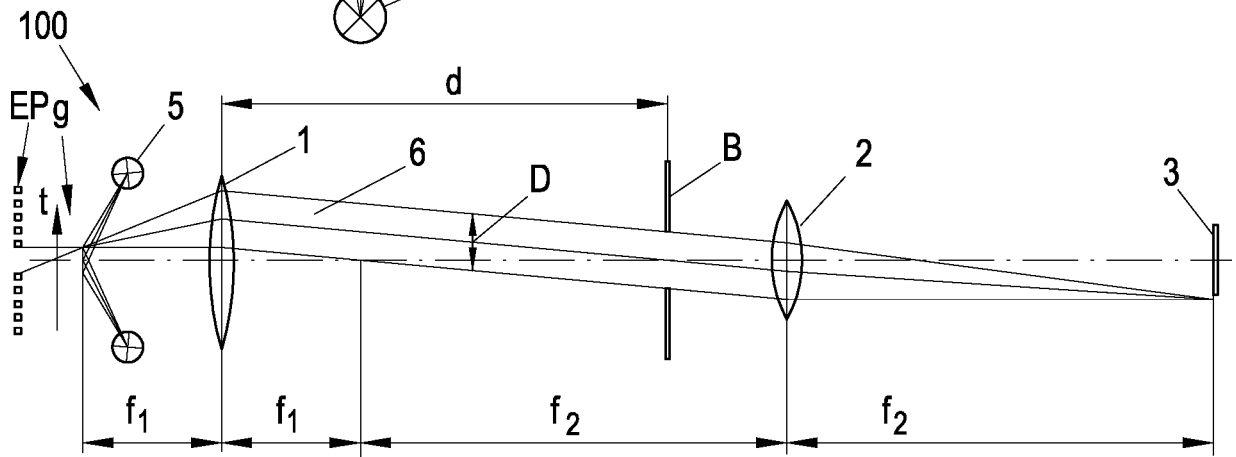
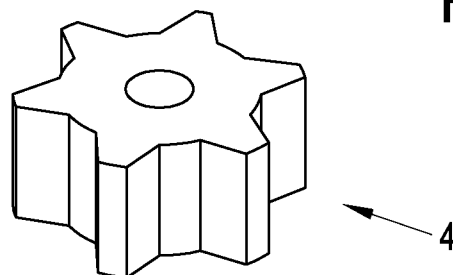


Fig. 4

Fig. 5



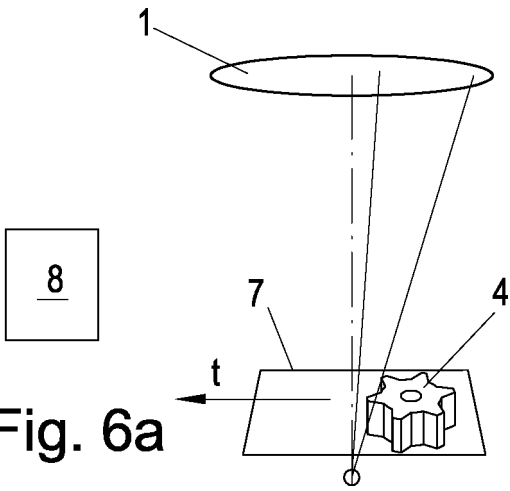


Fig. 6a

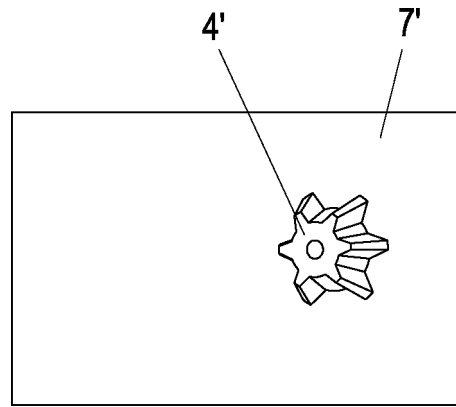


Fig. 7a

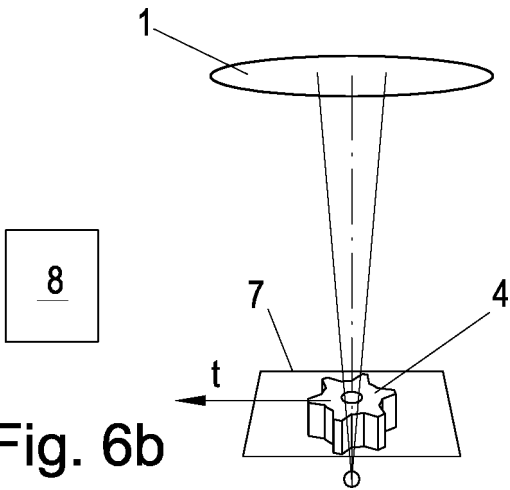


Fig. 6b

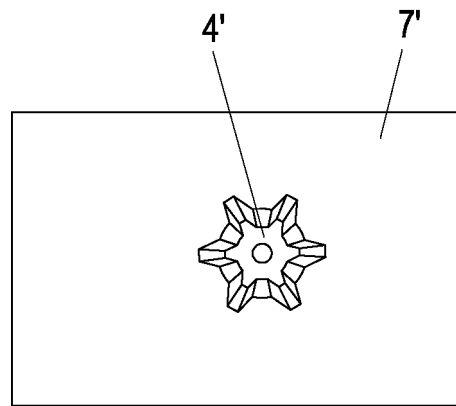


Fig. 7b

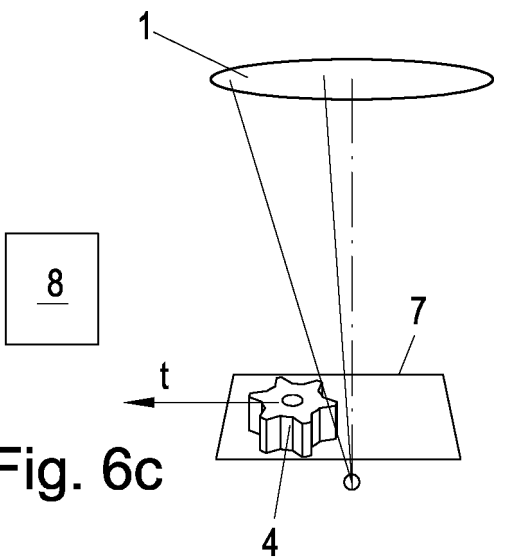


Fig. 6c

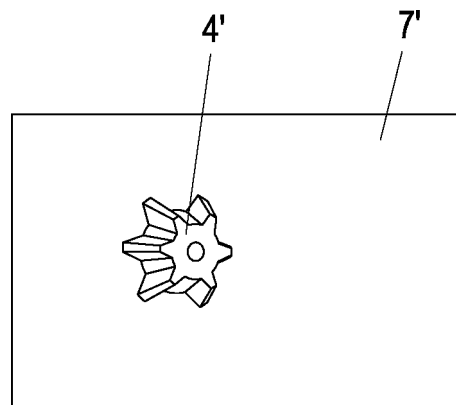


Fig. 7c