

(12) **Österreichische Patentanmeldung**

(21) Anmeldenummer: A 50319/2014
(22) Anmeldetag: 05.05.2014
(43) Veröffentlicht am: 15.11.2015

(51) Int. Cl.: **G02B 21/06** (2006.01)

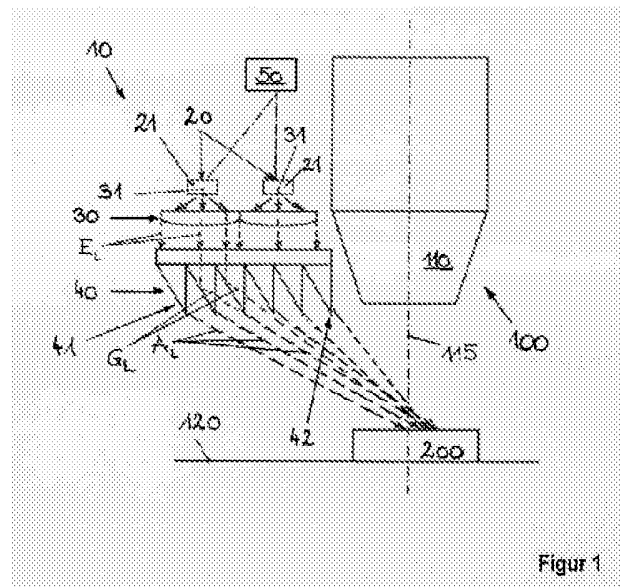
(56) Entgegenhaltungen:
JP 3148355 B2
EP 1933187 A1
JP 2009258246 A
JP 2003315678 A

(71) Patentanmelder:
Alicona Imaging GmbH
8074 Raaba bei Graz (AT)

(74) Vertreter:
SCHWARZ & PARTNER PATENTANWÄLTE
1010 Wien (AT)

(54) **Beleuchtungseinrichtung**

(57) Die Erfindung betrifft eine Beleuchtungseinrichtung (10) für ein Mikroskop bzw. für ein optisches 3D-Oberflächenmessgerät (100), insbesondere für ein optisches 3D-Oberflächenmessgerät nach dem Prinzip der Fokusvariation, umfassend flächig angeordnete Lichtquellen (20) zur Erzeugung eines Beleuchtungsspektrums sowie eine Beleuchtungsoptik (30, 40) zur Abbildung des Beleuchtungsspektrums auf ein zu untersuchendes Objekt (200), wobei die Lichtquellen (20) LED-Dioden (21) sind und die Beleuchtungsoptik eine Anordnung von mehreren Sammellinsen (30) sowie zumindest eine Fresnellinse (40) umfasst, wobei die von den LED-Dioden (21) emittierten Lichtstrahlen zuerst auf die Sammellinsen (30) treffen und als im Wesentlichen zueinander parallelgerichtete Eintrittslichtstrahlen (EL) weiter auf die Fresnellinse (40) treffen. Die zumindest eine Fresnellinse (40) ist in reflektierender Anordnung so orientiert, dass Linsenspitzen (42) einer Prismenstruktur (41) an einer von den Sammellinsen (30) abgewandten Lichtaustrittsseite (44) der Fresnellinse (40) angeordnet sind.



Figur 1

Zusammenfassung:

Die Erfindung betrifft eine Beleuchtungseinrichtung (10) für ein Mikroskop bzw. für ein optisches 3D-Oberflächenmessgerät (100), insbesondere für ein optisches 3D-Oberflächenmessgerät nach dem Prinzip der Fokusvariation, umfassend flächig angeordnete Lichtquellen (20) zur Erzeugung eines Beleuchtungsspektrums sowie eine Beleuchtungsoptik (30, 40) zur Abbildung des Beleuchtungsspektrums auf ein zu untersuchendes Objekt (200), wobei die Lichtquellen (20) LED-Dioden (21) sind und die Beleuchtungsoptik eine Anordnung von mehreren Sammellinsen (30) sowie zumindest eine Fresnellinse (40) umfasst, wobei die von den LED-Dioden (21) emittierten Lichtstrahlen zuerst auf die Sammellinsen (30) treffen und als im Wesentlichen zueinander parallelgerichtete Eintrittslichtstrahlen (EL) weiter auf die Fresnellinse (40) treffen. Die zumindest eine Fresnellinse (40) ist in reflektierender Anordnung so orientiert, dass Linsenspitzen (42) einer Prismenstruktur (41) an einer von den Sammellinsen (30) abgewandten Lichtaustrittsseite (44) der Fresnellinse (40) angeordnet sind.

(Fig. 1)

A 18354

Beleuchtungseinrichtung

Die Erfindung betrifft eine Beleuchtungseinrichtung für ein Mikroskop bzw. ein optisches 3D-Oberflächenmessgerät, insbesondere für ein 3D-Oberflächenmessgerät nach dem Prinzip der Fokusvariation, mit den Merkmalen des Oberbegriffs von Anspruch 1.

Ein dreidimensionales (im Weiteren kurz als „3D“ bezeichnet) Messprinzip der Fokusvariation zur Erfassung einer mikroskopischen 3D-Struktur von Oberflächen ist ein seit etlichen Jahren anerkanntes Prinzip der 3D-Erfassung mit Hilfe der geringen Schärfentiefe von Mikroskopoptiken. Das Messverfahren wird auch in der aktuellen ISO Norm 25178-6 als ein mögliches Messverfahren zur Ermittlung von hochauflösenden 3D-Geometrieinformationen im Mikro- bzw. Nanometerbereich beschrieben. Bei diesem Messverfahren wird mit Hilfe von Algorithmen der digitalen Bildverarbeitung ein Bilderstapel eines Objektes so ausgewertet, dass für jeden Bildpunkt jenes Bild aus diesem Bilderstapel bestimmt wird, bei dem der jeweilige Bildpunkt die maximale Schärfe aufweist. Der Bilderstapel wird typischerweise durch eine Relativbewegung zwischen Objekt und Objektiv des Bildaufnahmesystems erzeugt, wobei sich diese Relativbewegung typischerweise entlang der optischen Achse des Objektivs abspielt. Da diese Relativbewegung über ein geeignetes Messsystem (z.B. einen Linearmaßstab) genau erfasst wird, kann aus der Ermittlung der schärfsten Bildpunkte ein 3D-Modell des Objektes erzeugt werden.

Da das Messprinzip der Fokusvariation auf der Auswertung des lokalen Bildkontrastes beruht, ist eine optimale Probenbeleuchtung von besonders hoher Bedeutung. Dabei gibt es klassischerweise zwei unterschiedliche Beleuchtungsanordnungen:

1. Eine sogenannte koaxiale Beleuchtung, bei der das Licht durch das Messobjektiv auf das Messobjekt aufgebracht wird.
2. Eine Ringlichtbeleuchtungsanordnung, bei der die Beleuchtungselemente ringförmig um das Messobjektiv herum angeordnet sind und die Lichtstrahlen seitlich auf das Messobjekt auftreffen.

Beide Arten der Beleuchtung können getrennt oder auch kombiniert eingesetzt werden. In dieser Erfindung geht es um eine für das Messprinzip der Fokusvariation besonders geeignete Art der Ringlichtbeleuchtung.

Die Anforderungen an eine Beleuchtungseinrichtung mit einem Ringlicht für ein 3D-Oberflächenmessgerät nach dem Prinzip der Fokusvariation sind dabei folgende:

1. Es sollte möglichst viel Licht auf jenen Bereich der Messprobe lenken der im Sichtbereich des Messobjektives liegt.
2. Die Beleuchtungseinrichtung sollte eine möglichst große Beleuchtungsapertur aufweisen. D.h. das Licht sollte über einen möglichst großen Winkelbereich auf die Probe auftreffen, um eine gute Ausleuchtung von sowohl relativ flachen als auch steilen Bereichen der Probe zu gewährleisten.
3. Das Licht sollte sowohl über den ausgeleuchteten Winkelbereich, als auch örtlich über den ausgeleuchteten Flächenbereich möglichst gleichmäßig sein, um störende Glanzlichter oder künstliche Kontrastunterschiede zu vermeiden. Diese Forderung ergibt sich daher, dass Glanzlichter ansonsten auf schwach texturierten Messobjekten zu Messfehlern führen könnten.
4. Die Beleuchtungseinrichtung bzw. das Ringlicht sollte effizient sein. D.h. möglichst viel der eingebrachten elektrischen Leistung sollte in Licht umgewandelt und auf die Probe gelenkt werden, damit das Ringlicht das Messgerät nicht unnötig aufheizt und damit zu Messungenauigkeiten führt.
5. Die Beleuchtungseinrichtung bzw. das Ringlicht sollte aber auch möglichst kompakt bauen, um eine geringe Störkontur aufzuweisen, um bei einem Scanvorgang, bei dem die Oberflächenbeschaffenheit der zu untersuchenden Probe erfasst wird, nicht mit der Probe zu kollidieren. Außerdem sollte durch die Beleuchtungseinrichtung bzw. durch das Ringlicht der Arbeitsabstand des Messobjektives zur Messprobe nicht verringert werden, um eine möglichst große Anzahl von Messproben erfassen zu können.
6. Nachdem typische Oberflächenmessgeräte nach dem Prinzip der Fokusvariation einen Objektivrevolver zum einfachen Wechseln der Vergrößerung aufweisen, ist es von einem praktischen Standpunkt aus gesehen auch noch vorteilhaft, wenn sich das Ringlicht schnell von einem Objektiv auf das andere wechseln lässt und dabei die unterschiedlichen Arbeitsabstände der Objektive berücksichtigt werden.

Die vorliegende Erfindung adressiert alle diese Anforderungen und beschreibt eine für das Messprinzip der Fokusvariation besonders gut geeignete Beleuchtungseinrichtung.

Bisher verwendete Lichtquellen für Mikroskope und Oberflächenmessgeräte, wie beispielsweise Halogenlampen, haben bezüglich der fortschreitenden Miniaturisierung von Komponenten in der Mikroskopie zahlreiche Nachteile. Sie sind teuer, benötigen eine hohe elektrische Leistung und besitzen vergleichsweise große Abmessungen, haben eine hohe

Wärmeabgabe, eine geringe Lebensdauer und ihr Farbspektrum verändert sich mit Veränderung der Helligkeit.

Aus dem Stand der Technik sind bereits unterschiedliche Ausführungen von Beleuchtungseinrichtungen bekannt, bei denen LED-Dioden meist ringförmig um ein Messobjektiv angeordnet sind und welche als Auflicht zur Beleuchtung von mikroskopischen Präparaten dienen. Aus dem Dokument JP 2003-315678A ist dazu beispielsweise ein Ringlicht bekannt, welches zur Beleuchtung mehrere LED-Dioden umfasst, die konzentrisch um eine optische Achse des Mikroskopobjektivs angeordnet sind. Die LED-Dioden sind dazu in Strahlendurchgangsrichtung gesehen in einem definierten Abstand vor einer Linsenanordnung mit Sammellinsen beabstandet angeordnet. Das von den LED-Dioden emittierte Licht trifft dabei in Strahlendurchgangsrichtung auf eine plane Eintrittsfläche an einer Rückseite der plankonvexen Sammellinsen, welche an ihrer Vorderseite bzw. an einer Austrittsseite der Lichtstrahlen jeweils konvex gewölbt sind. Die kreisförmigen Sammellinsen sind dazu ringförmig angeordnet und dienen zur Erzeugung eines möglichst parallelen Strahlenverlaufs des von den LED-Dioden emittierten Lichts. Weiter in Strahlenrichtung gelangt das Licht direkt von den kreisförmig angeordneten Sammellinsen zu einer Fresnellinse, in welcher die eintretenden Lichtstrahlen gebeugt, dabei umgelenkt und auf einen Brennpunkt mit einer definierten Brennweite, also einem definierten Abstand in Strahlenrichtung von der Austrittsebene der Fresnellinse entfernt gebündelt werden. Die Fresnellinse ist dabei gemäß Dokument JP 2003-315678A als transmittierende Fresnellinse so angeordnet, dass ihre Stufenform in Strahlenrichtung an der Innenseite zu den Sammellinsen hin orientiert ist bzw. sich die Stufen der Fresnellinse an der Eintrittsseite der Lichtstrahlen befinden, weshalb in dieser Anordnung die transmittierende Fresnellinse als Beugungslinse verwendet wird. Das zu beleuchtende Präparat befindet sich nahe dem bzw. im Brennpunkt der Fresnellinse.

Nachteilig an dieser Ausführung ist zumindest, dass es bei der Lichtbeugung in der transmittierenden Fresnellinse insbesondere dann zu hohen Lichtverlusten kommt, wenn der Beugungswinkel sehr groß ist. Somit geht aufgrund von Beugungsverlusten besonders Licht aus den Randbereichen der Fresnellinse bzw. des Ringlichts verloren, weshalb dadurch die gesamte Beleuchtungsstärke des Ringlichts sinkt. Das Ringlicht erfüllt damit die Effizienzanforderung wie oben beschrieben nur unzureichend. Ebenso ist die Homogenitätsanforderung über den ausgeleuchteten Winkelbereich nur sehr schlecht erfüllt, da die Verluste im Randbereich des Ringlichts sich stark von den Verlusten am innersten Ring des Ringlichts unterscheiden. Weiters ist bei der aus JP 2003-315678A bekannten Anordnung von Nachteil, dass aufgrund der festgelegten Distanz zwischen den LED-Dioden

und den Sammellinsen Streulicht, welches nicht von den Sammellinsen erfasst und gebündelt wird, verloren geht. Da die LED-Dioden und im gleichen Maße auch die Sammellinsen voneinander beabstandet sind, ist keine räumlich homogene Ausleuchtung der Probe gegeben und bei der Auflicht-Bestrahlung des Präparats können unerwünschte Glanzlichter auftreten, die den Bildkontrast der zu untersuchenden Präparate beeinträchtigen. Glanzlichter wirken wie künstliche Kontrastpunkte und können bei der Auswertung der Bilder nach dem Prinzip der Fokusvariation zu Fehlmessungen führen.

Es ist somit Aufgabe der vorliegenden Erfindung eine Beleuchtungseinrichtung für ein Mikroskop bzw. ein 3D-Oberflächenmessgerät, insbesondere für ein 3D-Oberflächenmessgerät nach dem Messprinzip der Fokusvariation, bereitzustellen, welche die geschilderten Nachteile des Standes der Technik vermeidet.

Um mittels Fokusvariation 3D-Oberflächenmessungen von Bauteilgeometrien in höchster vertikaler Auflösung durchführen zu können, ist es, wie bereits oben erwähnt, erforderlich, dass eine solche Beleuchtungseinrichtung eine möglichst hohe Effizienz aufweist, also möglichst viel der eingebrachten Energie als Licht auf einen kleinen Bereich, im Wesentlichen innerhalb des Sichtfelds an der Oberfläche des jeweiligen Präparats, fokussiert wird. Weiters soll mit einer derartigen Beleuchtungseinrichtung der beleuchtete Bereich des Präparates möglichst homogen ausgeleuchtet werden. Unter einer homogenen Ausleuchtung wird hierzu verstanden, dass sowohl eine Lichtverteilung in x-y-Achsenrichtung der Ebene eines Objektträgers bzw. in der Ebene der Oberfläche eines zu untersuchenden Präparates oder Bauteils, als auch die Lichtverteilung über den Raumwinkel der Beleuchtung möglichst homogen sein sollen. Diese Homogenität der Lichtverteilung ist notwendig, um bei der Probenbeleuchtung möglichst wenig Messartefakte hervorzurufen bzw. um Glanzlichter zu vermeiden. Weiters gilt es, mit einer solchen Beleuchtungseinrichtung eine möglichst große Beleuchtungsapertur zu erreichen. Es wird also bezweckt, dass Licht aus einem möglichst großen Winkelbereich auf das jeweils zu untersuchende Präparat gelenkt wird, wobei der minimale und der maximale Winkel möglichst weit voneinander entfernt sein sollten und der maximale Winkel, unter dem das Licht auf die Probe trifft, so flach wie möglich sein sollte. Dabei gilt weiters zu beachten, dass nicht die Beleuchtungseinrichtung selbst zu nahe an das Präparat am Objektträger herangeführt wird und dabei entweder mit dem Präparat kollidiert, oder zumindest von der Beleuchtungseinrichtung nachteilige Störkonturen an der Probe erzeugt werden. Dies ist besonders bei Objektiven mit kurzem Arbeitsabstand schwierig zu erreichen.

Diese Aufgaben werden bei einer Beleuchtungseinrichtung gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1 mit den Merkmalen des kennzeichnenden Teils von Anspruch 1 gelöst. Die Unteransprüche betreffen weitere besonders vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung.

Bei einer erfindungsgemäßen Beleuchtungseinrichtung für ein Mikroskop bzw. ein 3D-Oberflächenmessgerät, insbesondere für ein 3D-Oberflächenmessgerät nach dem Prinzip der Fokusvariation, umfassend flächig angeordnete Lichtquellen zur Erzeugung eines Beleuchtungsspektrums sowie eine Beleuchtungsoptik zur Abbildung des Beleuchtungsspektrums auf ein zu untersuchendes Objekt, wobei die Lichtquellen LED-Dioden sind und die Beleuchtungsoptik eine Anordnung von mehreren Sammellinsen sowie zumindest eine Fresnellinse umfasst, wobei die von den LED-Dioden emittierten Lichtstrahlen zuerst auf die Sammellinsen treffen und als im Wesentlichen zueinander parallelgerichtete Eintrittslichtstrahlen weiter auf die Fresnellinse treffen, sind an der zumindest einen Fresnellinse in einer reflektierenden Anordnung Linsenspitzen einer Prismenstruktur an einer von den Sammellinsen abgewandten Lichtaustrittsseite der Fresnellinse orientiert.

Im Gegensatz zur aus JP 2003-315678A bekannten Anordnung, bei der die Fresnellinse auf dem Prinzip der Beugung basiert und als transmittierende Fresnellinse eingesetzt wird, wird hier im Erfindungsfall die zumindest eine Fresnellinse in reflektierender Anordnung verwendet, welche auf dem Prinzip der internen Totalreflexion beruht. Ein wesentlicher Vorteil dieses neuartigen Ansatzes ist, dass hier eine deutlich bessere Effizienz bei Beleuchtungseinrichtungen mit einer hohen numerischen Apertur erreicht wird. Als numerische Apertur wird das Vermögen eines optischen Elements verstanden, Licht zu fokussieren. Bei einer reflektierend angeordneten Fresnellinse wie im vorliegenden Fall wird deutlich mehr Licht aus den Randbereichen der Beleuchtungseinrichtung in den Sichtbereich der Mikroskopoptik gelenkt. Somit ist vorteilhaft ein Lichtverlust der reflektierenden Fresnellinse viel geringer und somit die Lichtausbeute höher als bei einer aus dem Stand der Technik bekannten Anordnung mit einer transmittierenden Fresnellinse. Bei gleicher Beleuchtungsstärke kann somit mit weniger elektrischer Leistung und damit auch mit weniger Wärmeeintrag ein Präparat auf dem Objektträger eines Mikroskops bzw. eines 3D-Messgerätes beleuchtet werden.

Somit gelingt es mit der erfindungsgemäßen Beleuchtungseinrichtung, Licht aus einem möglichst großen Winkelbereich auf eine zu untersuchende Bauteilprobe bzw. ein zu untersuchendes Präparat zu lenken. Daher sollen ein minimaler und ein maximaler Austrittswinkel der Austrittslichtstrahlen aus der Optik der Beleuchtungseinrichtung

möglichst weit voneinander entfernt sein und der maximale Winkel, unter dem das Licht auf die Probe bzw. auf das Präparat am Objektträger des Mikroskops trifft, sollte so flach wie möglich sein. Insbesondere in der 3-dimensionalen Oberflächenmessung mittels Fokusvariation bietet diese neuartige Beleuchtungseinrichtung große Vorteile, da nunmehr aufgrund der hohen numerischen Apertur, die mit der erfindungsgemäßen Beleuchtungseinrichtung erzielt werden kann, auch Objekte und Oberflächenausschnitte mit steilen Flanken und Konturen vermessen werden können.

Vorteilhaft ist bei der Beleuchtungseinrichtung die Fresnellinse austauschbar befestigt und kann erforderlichenfalls an unterschiedliche Anwendungsfälle bzw. für den Einsatz von Mikroskopobjektiven mit unterschiedlichen Brennweiten bzw. mit unterschiedlichen Arbeitsabständen ausgewechselt werden. Somit können Fresnellinsen mit unterschiedlichen Prismenstrukturen bzw. mit unterschiedlichen Brennweiten besonders einfach und komfortabel in die Beleuchtungseinrichtung eingesetzt werden. Somit ist erforderlichenfalls ein rascher Wechsel bzw. ein Umrüsten der Beleuchtungseinrichtung zwischen unterschiedlichen Fresnellinsen einfach möglich.

Zweckmäßig weist bei einer erfindungsgemäßen Beleuchtungseinrichtung die zumindest eine Fresnellinse an einer Lichteintrittsseite eine planare erste Oberfläche auf, wobei einfallende Eintrittslichtstrahlen im Wesentlichen lotrecht auf die erste Oberfläche treffen, und an der Lichtaustrittsseite der Fresnellinse zweite Oberflächen sowie dritte Oberflächen angeordnet sind, wobei die zweiten Oberflächen und die dritten Oberflächen jeweils Eckwinkel der Prismenstruktur bilden. Vorteilhaft ist bei der reflektierenden Anordnung der Fresnellinse, dass die Lichteintrittsseite der Fresnellinse eine planare erste Oberfläche aufweist. Somit können unterschiedliche Fresnellinsen mit unterschiedlichen Brennweiten besonders einfach ausgetauscht werden.

Vorteilhaft sind bei einer Beleuchtungseinrichtung gemäß der Erfindung die dritten Oberflächen der Prismenstruktur im Wesentlichen senkrecht zur ersten Oberfläche an der Lichteintrittsseite angeordnet.

Besonders vorteilhaft treffen bei einer erfindungsgemäßen Beleuchtungseinrichtung Eintrittslichtstrahlen innerhalb der Fresnellinse unter einem Eintrittsbrechungswinkel auf die zweiten Oberflächen auf und durchlaufen dabei eine Totalreflexion, wobei der Eintrittsbrechungswinkel in Bezug auf eine Lotrechte auf die zweiten Oberflächen bestimmt ist, und die nach Auftreffen an den zweiten Oberflächen reflektierten gebrochenen Lichtstrahlen unter einem Austrittsbrechungswinkel, welcher Austrittsbrechungswinkel in

Bezug auf eine Lotrechte auf die dritten Oberflächen bestimmt ist, auf die dritten Oberflächen treffen, wobei die Austrittslichtstrahlen unter einem Austrittswinkel, welcher in Bezug auf eine Lotrechte auf die dritten Oberflächen bestimmt ist, an den dritten Oberflächen der Prismenstruktur aus der Fresnellinse austreten.

Zweckmäßig betragen bei einer erfindungsgemäßen Beleuchtungseinrichtung die Eckwinkel zwischen den zweiten Oberflächen und den dritten Oberflächen der Prismenstruktur von 20° bis 50° , vorzugsweise von 30° bis 40° . Um die zur optimalen Beleuchtung eines Präparats erforderlichen Austrittswinkel der Austrittslichtstrahlen zu erreichen, welche Austrittswinkel üblicherweise zwischen etwa 40° und etwa 70° liegen, sind bei einer reflektierenden Anordnung der Fresnellinse die Eckwinkel zwischen den zweiten Oberflächen und den dritten Oberflächen der Prismenstruktur vorteilhaft mit Eckwinkel der Prismenstruktur von 20° bis 50° , vorzugsweise von 30° bis 40° , größer, als dies im Fall einer transmittierenden Anordnung der Fresnellinse der Fall ist. Dies bietet zahlreiche Vorteile der einfacheren Herstellung sowie der einfacheren Handhabung, da die Linsenspitzen im Falle einer Fresnellinse mit einer reflektierenden Anordnung wesentlich robuster gegen Beschädigung geschützt sind.

In einer besonders vorteilhaften Ausführung der Erfindung sind bei einer Beleuchtungseinrichtung die Sammellinsen von Kreisringsegmenten gebildet, wobei benachbarte Kreisringsegmente zumindest an einer Segmentseitenfläche flächig aneinandergrenzen. Sammellinsen dienen zur Erzeugung eines parallelen Strahlenverlaufs, also zur Kollimation. Vorteilhaft werden im Rahmen der Erfindung Sammellinsen in Form von Kreisringsegmenten verwendet, wodurch zwischen den benachbarten Sammellinsen weniger Lücken sind und deshalb einerseits die Effizienz der Beleuchtung steigt, da von den Sammellinsen mehr Licht eingesammelt und in den Sichtbereich der Optik gelenkt werden kann, als dies bei aus dem Stand der Technik bekannten, diskreten bzw. voneinander beabstandeten Sammellinsen der Fall ist. Weiters steigt auch die Homogenität der Beleuchtung, da weniger Lücken in der Linsenanordnung, dem sogenannten Linsenarray, der Sammellinsen vorhanden sind und die Gleichmäßigkeit des kollimierten Lichtes dadurch viel besser ist - sowohl in Bezug auf die örtliche Homogenität als auch die Winkelhomogenität. Die Sammellinsen sind beispielsweise aus Kunststoff gefertigt.

In einer weiteren vorteilhaften Variante der Erfindung sind bei einer Beleuchtungseinrichtung benachbarte Kreisringsegmente ringförmig zueinander angeordnet.

Zweckmäßig sind bei einer erfindungsgemäßen Beleuchtungseinrichtung die Kreisringsegmente in konzentrischen Ringen zueinander benachbart angeordnet.

Bevorzugt sind bei einer Beleuchtungseinrichtung gemäß der Erfindung die ringförmig angeordneten Kreisringsegmente konzentrisch mit einer Objektivachse eines Mikroskopobjektivs angeordnet.

Zweckmäßig sind bei einer erfindungsgemäßen Beleuchtungseinrichtung die LED-Dioden in den Brennpunkten der Sammellinsen angeordnet. Vorteilhaft kann somit von den Sammellinsen ein höherer Anteil an emittiertem Licht eingefangen werden, wodurch ebenfalls die Beleuchtung homogener wird.

Besonders vorteilhaft sind bei einer Beleuchtungseinrichtung gemäß der Erfindung die Lichtquellen oberflächenmontierte SMD-LED-Dioden. SMD steht abgekürzt für den englischen Begriff „surface-mounted device“ und bezeichnet allgemein Miniaturisierungslösungen, die eine deutliche Verkleinerung von Schaltungen und Geräten durch kleinere Bauteilabmessungen und somit eine höhere Bauteildichte, einen engeren Leiterbahnabstand und dünnere Leiterbahnen auf Platinen ermöglichen. Im Fall der Erfindung bieten SMD-LED-Dioden den Vorteil, dass diese SMD-LED-Dioden im Brennpunkt der einzelnen Sammellinsen des Sammellinsenarrays angeordnet sind. Damit kann von den einzelnen SMD-LED-Dioden mehr Licht eingefangen und kollimiert werden und damit wiederum eine höhere Effizienz erreicht werden als bei aus dem Stand der Technik bekannten Lösungen.

In einer Weiterbildung der Erfindung ist die Beleuchtungseinrichtung auf ein Objektiv eines 3D-Oberflächenmessgeräts bzw. eines Mikroskops aufsteckbar sowie wieder abnehmbar.

Vorteilhaft ist in einer weiteren Ausführungsvariante der Erfindung die Beleuchtungseinrichtung an einem Objektiv eines 3D-Oberflächenmessgeräts bzw. eines Mikroskops lösbar, vorzugsweise magnetisch, befestigbar. Somit kann durch einen einfachen Tausch der Fresnellinse bzw. durch eine entsprechend geänderte Anordnung beispielsweise mit einem größeren Abstand zwischen Fresnellinse und Linsenarray der Sammellinsen die Beleuchtungseinrichtung einfach an Objektive mit unterschiedlicher Fokusslänge angepasst werden. Somit ist die erfindungsgemäße Beleuchtungseinrichtung besonders bevorzugt zum Einsatz an Revolverobjektiven von Mikroskopen bzw. von 3D-Oberflächenmesssystemen geeignet.

In einer besonders kompakten Ausführung der Erfindung ist die Beleuchtungseinrichtung in einer auf einem Objektiv aufgesteckten Lage mittels Stromversorgungskontakten mit am Objektiv und/oder am 3D-Oberflächenmessgerät bzw. am Mikroskop befindlichen komplementären Stromversorgungsanschlüssen leitend verbindbar. Damit entfällt ein ansonsten typischerweise notwendiges externes Kabel zur Stromversorgung bzw. Signalübertragung an die Beleuchtungseinheit. Kabel zur Stromversorgung bzw. Signalübertragung bilden eine Störkontur sowohl in Bezug auf die Messprobe als auch bei einem rotierenden Objektivrevolver, wo es sonst zu Aufwicklungen der Kabel kommen kann.

In einer Weiterbildung der Erfindung umfasst die Beleuchtungseinrichtung weiterhin eine Steuereinheit, welche Steuereinheit mit den Lichtquellen verbunden ist, wobei mit der Steuereinheit beliebige Beleuchtungsstrukturen und/oder Beleuchtungsspektren und/oder Beleuchtungsstärken von einzelnen Lichtquellen und/oder von Gruppen mehrerer Lichtquellen einstellbar sind. Damit sind mit Hilfe der Steuereinheit unterschiedliche Beleuchtungszustände auf der Messprobe erreichbar, was zu einer vorteilhaften Ausleuchtung der Messprobe in Bezug auf Überstrahlungen bzw. von zu wenig ausgeleuchteten Bereichen verwendet werden kann.

Um möglichst wenige Signalleitungen zwischen Steuereinheit und Beleuchtungseinheit zur Ansteuerung der einzelnen Lichtquellen und/oder Lichtquellengruppen vorsehen zu müssen, ist vorteilhaft zumindest ein Teil der Steuerungselektronik direkt in der Beleuchtungseinrichtung integriert. Erforderlichenfalls können beispielsweise weitere Teile bzw. Einheiten der Steuerungselektronik im 3D-Oberflächenmessgerät bzw. im Mikroskop angeordnet sein. Diese Steuerungselektronik kommuniziert mit einer Hauptsteuerungseinrichtung beispielsweise nur über wenige Signalleitungen oder nur über eine Signalleitung im Falle einer seriellen Übertragung der Steuerungskommandos. Die Hauptsteuerungseinrichtung schickt dann beispielsweise an die Steuerungselektronik auf der Beleuchtungseinrichtung lediglich kodierte Kommandos, welche Lichtelemente ein- bzw. ausgeschaltet werden sollen. Die Steuerungselektronik auf der Beleuchtungseinheit setzt diese Kommandos dann in reale Spannungs- bzw. Stromsignale zu den einzelnen Lichtelementen um. Ebenso ist es im Rahmen der Erfindung möglich, dass beispielsweise die gesamte Steuerungselektronik der Steuereinheit in der Beleuchtungseinrichtung integriert ist.

All diese vorgenannten Vorteile zusammengefasst ergeben eine deutlich effizientere und in Bezug auf die Homogenität der Beleuchtung verbesserte Beleuchtungseinrichtung. Eine

effizientere Beleuchtung bedeutet, dass weniger elektrische Leistung aufgewendet werden muss, um eine bestimmte Beleuchtungsstärke zu erreichen und damit auch weniger Wärme in das System des Mikroskops bzw. des zu untersuchenden Präparats eingebracht wird. Das ist besonders bei hochgenauen Messsystemen wichtig, da Wärme immer auch Ausdehnung und damit Ungenauigkeit bedeutet. Eine homogenere Ausleuchtung bedeutet, dass komplexere Proben bzw. Präparate auch mit stark glänzenden Oberflächen vermessen werden können, da es beim Einsatz der erfindungsgemäßen Beleuchtungseinrichtung zu wesentlich weniger störenden Glanzlichtern kommt.

Weitere Einzelheiten, Merkmale und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Erläuterung von in den Zeichnungen schematisch dargestellten Ausführungsbeispielen. In den Zeichnungen zeigen:

- Figur 1 in einer Schnittansicht von der Seite ein Detail einer erfindungsgemäßen Beleuchtungseinrichtung, die ringförmig um ein Objektiv eines 3D-Oberflächenmessgeräts bzw. eines Mikroskops angeordnet ist;
- Figur 2 in einer schematischen Seitenansicht einen Lichtstrahlendurchgang durch eine Fresnellinse einer Beleuchtungseinrichtung, wobei die Fresnellinse in einer aus dem Stand der Technik bekannten transmittierenden Anordnung durchstrahlt wird;
- Figur 3 in einer schematischen Seitenansicht einen Lichtstrahlendurchgang durch eine Fresnellinse einer erfindungsgemäßen Beleuchtungseinrichtung, wobei die Fresnellinse in einer reflektierenden Anordnung durchstrahlt wird;
- Figur 4 in einer isometrischen Darstellung mehrere Sammellinsen, welche als Kreisringsegmente in zwei konzentrischen Ringen aneinandergrenzend angeordnet sind;
- Figur 5 in einer isometrischen Darstellung einen Ausschnitt aus Figur 4, wobei ein Segment von konzentrisch angeordneten Sammellinsen jeweils in Kreissegmentform dargestellt ist;
- Figur 6 zeigt in einer isometrischen Darstellung von vorne eine erfindungsgemäße Ausführung einer Beleuchtungseinrichtung in einer an einem Objektiv eines 3D-Oberflächenmessgeräts befestigten Lage;
- Figur 7 in einer Ansicht von unten ein Objektiv eines 3D-Oberflächenmessgeräts mit einem elektrischen Schleifkontakt zur Stromversorgung einer hier nicht dargestellten Beleuchtungseinrichtung.

Figur 1 zeigt in einer Schnittansicht von der Seite ein Detail einer erfindungsgemäßen Beleuchtungseinrichtung 10, die an einem 3D-Oberflächenmessgerät 100 bzw. an einem

Mikroskop angeordnet ist. Dazu wird die im Wesentlichen ringförmige Beleuchtungseinrichtung 10 an einem Objektiv 110 des 3D-Oberflächenmessgeräts 100 befestigt. Aus Gründen der Übersichtlichkeit ist in Figur 1 nur eine linke Hälfte der ringförmigen Beleuchtungseinrichtung 10 veranschaulicht. Die Beleuchtungseinrichtung 10 umfasst flächig angeordnete Lichtquellen 20 zur Erzeugung eines Beleuchtungsspektrums sowie eine Beleuchtungsoptik 30, 40 zur Abbildung des Beleuchtungsspektrums auf ein zu untersuchendes Objekt 200, das sich auf einem Objektträger 120 des 3D-Oberflächenmessgeräts 100 befindet. Eine Objektivachse 115 des Objektivs 110 steht im Wesentlichen normal auf eine Ebene des Objektträgers 120 und bildet weiters eine Symmetrieachse 115 für die am Objektiv 110 befestigte Beleuchtungseinrichtung 10. In der in Figur 1 dargestellten Ausführung der Beleuchtungseinrichtung 10 sind die Lichtquellen 20 oberflächenmontierte SMD-LED-Dioden 21.

Die Beleuchtungsoptik umfasst eine Anordnung von mehreren Sammellinsen 30 sowie eine Fresnellinse 40, wobei die von den SMD-LED-Dioden 21 emittierten Lichtstrahlen, welche jeweils strichliert dargestellt sind, zuerst auf die Sammellinsen 30 treffen und als im Wesentlichen zueinander parallelgerichtete Eintrittslichtstrahlen E_L weiter auf die Fresnellinse 40 treffen. Die Fresnellinse 40 ist erfindungsgemäß in einer reflektierenden Anordnung orientiert, wobei eine Prismenstruktur 41 mit Linsenspitzen 42 an einer von den Sammellinsen 30 abgewandten Lichtaustrittsseite 44 der Fresnellinse 40 angeordnet sind. Die SMD-LED-Dioden 21 sind so angeordnet, dass diese in den Brennpunkten 31 der Sammellinsen 30 angeordnet sind.

Die Fresnellinse 40 weist an einer Lichteintrittsseite 43 eine planare erste Oberfläche F_I auf, wobei einfallende Eintrittslichtstrahlen E_L im Wesentlichen lotrecht auf die erste Oberfläche F_I treffen, und an der Lichtaustrittsseite 44 der Fresnellinse 40 zweite Oberflächen F_{II} sowie dritte Oberflächen F_{III} angeordnet sind, wobei die zweiten Oberflächen F_{II} und die dritten Oberflächen F_{III} jeweils Eckwinkel $\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3, \epsilon_4$ der Prismenstruktur 41 bilden. Die dritten Oberflächen F_{III} der Prismenstruktur 41 sind dazu im Wesentlichen senkrecht zur ersten Oberfläche F_I an der Lichteintrittsseite 43 angeordnet. Die Lichtquellen 20 sind mit einer Steuereinheit 50 verbunden.

In Figur 1 sind die Sammellinsen 30, wie im Detail in den folgenden Abbildungen Figur 4 und Figur 5 veranschaulicht, von Kreisringsegmenten 35 gebildet, wobei benachbarte Kreisringsegmente 35 zumindest an einer Segmentseitenfläche 38 flächig aneinander grenzen. Benachbarte Kreisringsegmente 35 sind dabei ringförmig zueinander angeordnet. Um eine möglichst effiziente, helle Beleuchtung zu erzielen, sind weiters die

Kreisringsegmente 35 in konzentrischen Ringen 36 zueinander benachbart angeordnet. Die ringförmig 36 angeordneten Kreisringsegmente 35 sind dazu konzentrisch um die Objektivachse 115 an einem Objektiv 110 des 3D-Oberflächenmessgeräts 100 angeordnet.

Figur 2 zeigt in einer schematischen Seitenansicht einen Lichtstrahlendurchgang durch eine Fresnellinse 40 einer Beleuchtungseinrichtung, wobei die Fresnellinse 40 hier in einer aus dem Stand der Technik bekannten transmittierenden Anordnung 45 durchstrahlt wird. Eintrittslichtstrahlen E_L mit im Wesentlichen parallelem Strahlengang treffen dabei auf die Prismenstruktur 41 dieser transmittierend 45 angeordneten Fresnellinse 40 unter einem Einfallswinkel α auf und werden dabei an den jeweils unter individuellen Eckwinkel $\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3, \epsilon_4$ schräggestellten ersten Oberflächen F_I , welche Linsenspitzen 42 mit den in Richtung der Eintrittslichtstrahlen E_L orientierten Flankenflächen der Prismenstruktur 41 bilden, unter jeweils einem Eintrittsbrechungswinkel β vom optisch dünneren Medium - hier Umgebungsluft - zum optisch dichteren Medium - hier einer Fresnellinse 40 beispielsweise aus PMMA-Kunststoff - gebeugt.

Die ersten Oberflächen F_I bilden eine Lichteintrittsseite 43 der Fresnellinse. Der Einfallswinkel α sowie der Eintrittsbrechungswinkel β werden jeweils in Bezug zur Lotrechten auf die schräggestellten ersten Oberflächen F_I der Prismenstruktur 41 angegeben. Die gebrochenen Lichtstrahlen G_L gelangen innerhalb der Fresnellinse 40 weiters auf die zweiten Oberflächen F_{II} , welche eine Lichtaustrittsseite 44 der Fresnellinse 40 bilden. nach Auftreffen auf den zweiten Oberflächen F_{II} werden die gebrochenen Lichtstrahlen G_L unter einem Austrittsbrechungswinkel γ , welcher in Bezug auf eine Lotrechte auf die zweiten Oberflächen F_{II} bestimmt ist, vom optisch dichteren Medium zum optisch dünneren Medium - der Umgebungsluft - gebeugt und verlassen als Austrittslichtstrahlen A_L unter einem Austrittswinkel δ , welcher in Bezug auf eine Lotrechte auf die zweiten Oberflächen F_{II} bestimmt ist, an der Lichtaustrittsseite 44 die Fresnellinse 40.

Figur 3 zeigt in einer schematischen Seitenansicht einen Lichtstrahlendurchgang durch eine Fresnellinse 40 einer erfindungsgemäßen Beleuchtungseinrichtung 10, wobei die Fresnellinse 40 in einer reflektierenden Anordnung 46 durchstrahlt wird. Im Wesentlichen zueinander parallele Eintrittslichtstrahlen E_L treffen dabei auf die erste Oberfläche F_I der Fresnellinse 40, welche eine planare Lichteintrittsseite 43 bildet, welche lotrecht zur Richtung der zueinander parallelen Eintrittslichtstrahlen E_L orientiert ist. Die planare Lichteintrittsseite 43 ist hier in Lichtdurchgangsrichtung zu den in Figur 3 nicht dargestellten Lichtquellen 20 bzw. zu den ebenfalls nicht dargestellten Sammellinsen 20 hin angeordnet. Die zueinander parallele Eintrittslichtstrahlen E_L gelangen somit ohne Brechungswinkel in

die Fresnellinse 40. Innerhalb der Fresnellinse 40 treffen die zueinander parallelen Eintrittslichtstrahlen E_L unter einem Eintrittsbrechungswinkel β auf die schräg gestellten zweiten Oberflächen F_{II} auf und durchlaufen dabei eine Totalreflexion, wobei der Eintrittsbrechungswinkel β in Bezug auf eine Lotrechte auf die zweiten Oberflächen F_{II} bestimmt ist. Nach Auftreffen an den zweiten Oberflächen F_{II} werden die reflektierten gebrochenen Lichtstrahlen G_L unter einem Austrittsbrechungswinkel γ , welcher Austrittsbrechungswinkel γ in Bezug auf eine Lotrechte auf die dritten Oberflächen F_{III} bestimmt ist, auf die dritten Oberflächen F_{III} gelenkt, wobei die Austrittslichtstrahlen A_L unter einem Austrittswinkel δ , welcher in Bezug auf eine Lotrechte auf die dritten Oberflächen F_{III} bestimmt ist, an den dritten Oberflächen F_{III} der Prismenstruktur 41 aus der Fresnellinse 40 austreten.

Die zweiten Oberflächen F_{II} sowie die dritten Oberflächen F_{III} bilden hier die Lichtaustrittsseite 44 der Fresnellinse 40. Die Eckwinkel $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3, \varepsilon_4$ zwischen den zweiten Oberflächen F_{II} und den dritten Oberflächen F_{III} der Prismenstruktur 41 der Fresnellinse 40 betragen hier beispielsweise von 30° bis 40° . In der in Figur 3 gezeigten, erfindungsgemäßen reflektiven Anordnung 46 der Fresnellinse 40 wird der Austrittswinkel δ , welcher in Bezug auf eine Lotrechte auf die dritten Oberflächen F_{III} bestimmt ist, noch in einen Austrittswinkel ϕ , welcher senkrecht zu den dritten Oberflächen F_{III} und somit in Bezug zur Richtung der Eintrittsstrahlen E_L bestimmt ist, gemäß der Beziehung $\delta = 90^\circ - \phi$ umgerechnet. Somit ist ein direkter Vergleich zwischen den Austrittswinkeln δ gemäß der transmissiven Anordnung 45 der Fresnellinse 40 - wie in Figur 2 gezeigt - und den Austrittswinkeln ϕ gemäß der reflektiven Anordnung 46 der Fresnellinse 40 in Figur 3 möglich.

Aus den nachfolgenden Berechnungen, die in der folgenden Tabelle zusammengefasst sind, ist deutlich ersichtlich, dass mit der reflektierenden Anordnung der Fresnellinse für einen typischen Winkelbereich der Austrittswinkel δ bzw. ϕ einer Ringlichtbeleuchtung, beispielsweise von $\phi = 45^\circ$ bis $\phi = 70^\circ$, eine deutlich höhere Beleuchtungseffizienz erreicht, eine verbesserte Homogenität der Lichtverluste im angegebenen Winkelbereich erzielt, sowie fertigungstechnisch einfacher herzustellende Linsenstrukturen der Fresnellinsen erzielt werden können.

Für den in Figur 3 veranschaulichten Fall einer erfindungsgemäßen reflektiven Anordnung 46 der Fresnellinse 40 gilt wie folgt: Wenn man einen Winkelbereich des Austrittswinkels ϕ von $\phi = 45^\circ$ bis $\phi = 70^\circ$ realisieren möchte, so liegen die Eckwinkel ε der Prismenstruktur 41 lediglich in einem Bereich von $\varepsilon = 30,8^\circ$ bis $\varepsilon = 38,4^\circ$.

Der Winkel bei Totalreflexion beispielsweise in einer Kunststofflinse aus dem Linsenmaterial Polymethylmethacrylat (PMMA) mit einem Brechungsindex $n = 1,49$ gemäß der Formel: $\arcsin(1/1,49)$ beträgt rund 42° . Da der Brechungsindex von optischem Kunststoff im Bereich von $n = 1,45$ bis $n = 1,6$ liegt, variiert der Winkel der Totalreflexion daher zwischen rund $43,5^\circ$ und 46° . Wenn man einen anderen Kunststoff nimmt, dann verändert sich die Struktur natürlich leicht.

	Transmissive Anordnung der Fresnellinse (Pos. 45, Figur 2)		Reflektive Anordnung der Fresnellinse (Pos. 46, Figur 3)	
	$\delta = 45^\circ$	$\delta = 70^\circ$	$\phi = 45^\circ$	$\phi = 70^\circ$
Winkelbereich (Austrittswinkel)				
Eckwinkel (ϵ)	$23,8^\circ$	$9,5^\circ$	$30,8^\circ$	$38,4^\circ$
Transmission	81%	50%	91%	92%
Homogenität	~ 60%		~ 99%	

Tabelle: Vergleichswerte zwischen einer transmissiven (bzw. transmittierenden) Anordnung 45 (gemäß Figur 2) und einer reflektiven (bzw. reflektierenden) Anordnung 46 (gemäß Figur 3) einer Fresnellinse 40

Zur Berechnung der transmittierenden Anordnung der Fresnellinse (gemäß Figur 2):

Für den in Figur 2 gezeigten Fall einer transmittierenden Anordnung 45 der Fresnellinse 40 erfolgt beim Lichtstrahlendurchgang an beiden Linsenoberflächen eine Refraktion bzw. Strahlbrechung. Bei einer Beleuchtung mit großer numerischer Apertur - d.h. mit großen Winkeln - wird die Prismenstruktur 41 der Fresnellinse 40 daher sehr steil. Deswegen wird die Effizienz relativ niedrig und die Struktur 41 ist nur schwer herstellbar.

Typische Winkelbereiche des erforderlichen Austrittswinkels δ bei Objektiven mit kleinem Arbeitsabstand - d.h. mit hoher Vergrößerung - sind wiederum $\delta = 45^\circ$ bis $\delta = 70^\circ$.

Wenn man mit dieser Struktur bzw. einer transmittierenden Anordnung 45 der Fresnellinse 40 (gemäß Figur 2) einen Austrittswinkel mit $\delta=70^\circ$ Öffnung erreichen möchte, gilt wie folgt:

$$\begin{aligned}\gamma &= \arcsin(\sin(\delta)/1,49) = 39,1^\circ \\ \alpha &= \arctan(1,49 \cdot \sin(\gamma)/(1,49 \cdot \cos(\gamma) - 1)) \sim 80,5^\circ \\ \beta &= \alpha - \gamma = 40,6^\circ \\ \epsilon &= 90 - \alpha = 9,5^\circ\end{aligned}$$

Die Fresnellinsen-Verluste an den Oberflächen betragen daher im aus dem Stand der Technik bekannten Fall der Verwendung einer transmittierenden Fresnellinse 45 (gemäß Figur 2) durchschnittlich (bei einem Brechungsindex $n = 1,49$):

- 40% Verlust bei Brechung an der ersten Oberfläche F_I und
- 17% Verlust bei Brechung an der zweiten Oberfläche F_{II} .

Somit gehen in diesem Fall insgesamt ungefähr 50% des Lichtes beim Durchgang durch die transmittierend 45 angeordnete Fresnellinse 40 verloren. Außerdem sind die Prismenstrukturen 41 der Fresnellinse 40 mit so kleinen Eckwinkeln ϵ von rund 10° schwierig in der Herstellung und die Linsenspitzen 42 sind daher sehr empfindlich auf Beschädigungen.

Wenn man mit der in Figur 2 dargestellten Struktur 41 einen Austrittswinkel mit $\delta=45^\circ$ Öffnung erreichen möchte, so gilt wie folgt:

$$\begin{aligned}\gamma &= \arcsin(\sin(\delta)/1,49) = 28,3^\circ \\ \alpha &= \arctan(1,49 \cdot \sin(\gamma)/(1,49 \cdot \cos(\gamma) - 1)) \sim 66,2^\circ \\ \beta &= \alpha - \gamma = 37,9^\circ \\ \epsilon &= 90 - \alpha = 23,8^\circ\end{aligned}$$

Die Verluste an den Oberflächen betragen in diesem Fall (wiederum berechnet unter Annahme eines Brechungsindex von $n = 1,49$):

- 14% Verlust bei Brechung an der ersten Oberfläche F_I und
- 5% Verlust bei Brechung an der zweiten Oberfläche F_{II} .

Somit gehen in diesem Fall insgesamt ungefähr 19% des Lichtes beim Durchgang durch die transmittierend 45 angeordnete Fresnellinse 40 verloren.

Wie berechnet ist der Lichtverlust über einen Winkelbereich von $\delta = 45^\circ$ bis $\delta = 70^\circ$ bei der Transmissionsstruktur sehr unterschiedlich. D.h. die Homogenität der Beleuchtung über den untersuchten Winkelbereich ist bei der transmittierenden Anordnung 45 gemäß Figur 3 unzufriedenstellend niedrig und beträgt nur rund 60%.

Zur Berechnung der reflektierenden Anordnung der Fresnellinse (gemäß Figur 3):

Bei dieser Anordnung 46 erfolgt die Reflexion und Refraktion der Lichtstrahlen innerhalb der Fresnellinse 40. Wie vorhin bereits erwähnt beträgt der Winkel der Totalreflexion in einer Kunststofflinse aus dem Linsenmaterial Polymethylmethacrylat (PMMA) rund 42°.

Wenn man mit dieser Struktur bzw. in reflektierender Anordnung 46 gemäß Figur 3 beispielsweise einen Austrittswinkel $\phi = 70^\circ$ Öffnung erreichen möchte, dann gilt wie folgt:

$$\delta = 90^\circ - \phi = 90^\circ - 70^\circ = 20^\circ$$

$$\gamma = \arcsin(\sin(\delta)/1,49) = \arcsin(\sin(20^\circ)/1,49) = 13,3^\circ$$

mit $n = 1,49$ als Brechungsindex von PMMA folgt weiters:

$$\beta = (90 + \gamma)/2 = 51,65^\circ$$

$$\epsilon = (180 - 2 * \beta)/2 = 38,35^\circ$$

Daraus ergibt sich, dass im Unterschied zu einer transmittierenden 45 Fresnellinse hier gemäß Figur 3 in vorteilhafter reflektierender Anordnung 46 der Fresnellinse 40 die Linsenspitzen 42 der Prismenstruktur 41 weniger steil sind und einen größeren Eckwinkel ϵ aufweisen. Aufgrund der weniger steilen Prismenstruktur 41 ist die Fertigung dieser Fresnellinse 40 wesentlich einfacher und die Fresnellinse gemäß Figur 3 ist somit auch weniger empfindlich auf Beschädigung. Der Verlust bei Brechung an der dritten Oberfläche F_{III} ist bei der vorteilhaften reflektierenden Anordnung 46 relativ niedrig und beträgt rund 4% Streuverlust. An der zweiten Oberfläche F_{II} der Fresnellinse 40 erfolgt Totalreflexion. Der Brechungsverlust an der ersten Oberfläche F_I beträgt ebenfalls rund 4% Streuverlust. Insgesamt gehen in diesem Fall bei Lichtdurchgang durch eine reflektierend angeordnete 46 Fresnellinse 40 (gemäß Figur 3) mit einem Austrittswinkel $\phi = 70^\circ$ nur rund 8% des Lichtes ist verloren.

In diesem Fall einer reflektierend angeordneten 46 Fresnellinse 40 wird die Prismenstruktur 41 steiler, wenn man kleine Austrittswinkel ϕ von beispielsweise $\phi = 45^\circ$ realisieren möchte:

$$\delta = 90^\circ - \phi = 90^\circ - 45^\circ = 45^\circ$$

$$\gamma = \arcsin(\sin(\delta)/1,49) = \arcsin(\sin(45^\circ)/1,49) = 28,3^\circ$$

mit einem Brechungsindex $n = 1,49$ von PMMA folgt:

$$\beta = (90 + \gamma)/2 = 59,2^\circ$$

$$\epsilon = (180 - 2 * \beta)/2 = 30,8^\circ$$

Vorteilhaft ist auch in diesem Fall bei Lichtdurchgang durch eine reflektierende 46 Fresnellinse 40 (gemäß Figur 3) mit einem Austrittswinkel $\phi = 45^\circ$ die Prismenstruktur 41 immer noch flacher geneigt und damit einfacher herzustellen als im aus dem Stand der Technik bekannten Vergleichsfall.

Der Verlust bei Brechung an der dritten Oberfläche F_{III} ist relativ niedrig und beträgt weiterhin rund 4% Streuverlust. An der zweiten Oberfläche F_{II} erfolgt Totalreflexion. Der Brechungsverlust an der ersten Oberfläche F_I beträgt hier rund 5% Streuverlust. Insgesamt gehen in diesem Fall bei Lichtdurchgang durch eine reflektierend angeordnete 46 Fresnellinse 40 (gemäß Figur 3) mit einem Austrittswinkel $\phi = 45^\circ$ nur rund 9% des Lichtes ist verloren.

Im Fall der reflektierenden Anordnung 46 der Fresnellinse 40 ist der Lichtverlust über den Winkelbereich sehr ähnlich, wodurch vorteilhaft eine wesentlich homogenere Verteilung des Lichts über den Winkelbereich erzielt wird.

Beide in Figur 2 bzw. in Figur 3 gezeigte Strukturen haben weitere Verluste durch Abschattungen; diese sind aber in sehr ähnlicher Größenordnung, weshalb bei der vorherigen Berechnung diese Verluste nicht berücksichtigt wurden.

Figur 6 zeigt in einer isometrischen Darstellung von vorne eine erfindungsgemäße Ausführung einer Beleuchtungseinrichtung 10 in einer an einem Objektiv 110 eines 3D-Oberflächenmessgeräts 100 befestigten Lage. Innerhalb eines abnehmbaren, im Wesentlichen kreisringförmigen Gehäuses 11 der Beleuchtungseinrichtung 10 befinden sich die Lichtquellen 20, Sammellinsen 30 sowie die Fresnellinse 40, welche in dieser hier gezeigten Ausführung innerhalb des Gehäuses 11 austauschbar befestigt ist. Somit können erforderlichenfalls bei veränderten Arbeitsabständen zwischen Objektiv 110 und Präparat 200 unterschiedliche Fresnellinsen 40 mit unterschiedlichen Brennweiten zur Beleuchtung eingesetzt werden. Weiters befinden sich zumindest ein Teil der Steuereinheit 50 bzw. der Steuerungselektronik sowie in Umfangsrichtung verteilt mehrere Befestigungsmagneten 60 innerhalb des Gehäuses 11. Die Befestigungsmagneten 60 sind im Gehäuse 11, welches beispielsweise aus Kunststoff gefertigt ist, eingelassen bzw. eingegossen.

Zur Stromversorgung bzw. zur Signalübermittlung zwischen der Steuereinheit 50 und dem 3D-Oberflächenmessgerät dienen mehrere Kontaktanschlüsse, die ebenfalls am Gehäuse 11

der Beleuchtungseinrichtung 10 angeordnet sind. Hier sind ein Kontaktanschluss 70 für Masse, ein Kontaktanschluss 71 für die Stromversorgung sowie ein weiterer Kontaktanschluss 72 für eine Signalsteuerung dargestellt. Weiters ist die erfindungsgemäße Beleuchtungseinrichtung 10 mit mehreren Kühlkörpern 80 zur Thermostatisierung bzw. zur Kühlung der optischen Bauteile 30, 40 sowie zur Wärmeabfuhr der Lichtquellen 20 ausgestattet.

Das 3D-Oberflächenmessgerät 100 weist beispielsweise mehrere Wechselobjektive 110 jeweils mit Objektivachsen 115 auf, die an einem drehbaren Objektivrevolver befestigt sind. An jedem Wechselobjektiv 110 ist jeweils außenseitig des Objektivs 110 ein Kontaktring 140 mit mehreren Schleifkontakten 150 befestigt. Weiters sind in den Kontaktring 140 jeweils Haltemagnete 160 integriert, welche Haltemagnete 160 am Kontaktring 140 des jeweiligen Objektivs 110 mit den mehreren Befestigungsmagneten 60, die am Umfang des Gehäuses 11 der Beleuchtungseinrichtung 10 verteilt angeordnet sind, beim Anstecken der Beleuchtungseinrichtung 10 jeweils magnetisch in Eingriff gebracht werden. Auch die zum Kontaktanschluss 70 für Masse, ein Kontaktanschluss 71 für die Stromversorgung sowie zum Kontaktanschluss 72 für eine Signalsteuerung komplementären Kontaktanschlüsse, also ein Gegenkontakt 170 für Masse, ein Gegenkontakt 171 für die Stromversorgung sowie ein weiterer Gegenkontakt 172 für die Signalsteuerung befinden sich an der Unterseite des Kontaktrings 140 und kommen im angesteckten Zustand der Beleuchtungseinrichtung 10 mit den korrespondierenden Kontakten 70, 71 bzw. 72 jeweils in leitende Verbindung.

Somit wird ein besonders komfortabel zu bedienender magnetisch wirkender Schnappverschluss zwischen den Befestigungsmagneten 60 der Beleuchtungseinrichtung 10 und den am jeweiligen Objektiv 110 befestigten Haltemagneten 160 erzielt. Die Beleuchtungseinrichtung 10 wird dazu jeweils auf dasjenige Objektiv 110, welches sich gerade in Arbeitsposition befindet, aufgesteckt und magnetisch daran befestigt. Bei einem Objektivwechsel wird die Beleuchtungseinrichtung 10 einfach abgenommen und auf ein entsprechendes nächstes Objektiv 110, welches ebenfalls mit einem Kontaktring 140 ausgestattet ist, aufgesteckt. Die Schleifkontakte 150 sind jeweils in Arbeitsposition des Objektivs 110 leitend mit den entsprechenden korrespondierenden Gegenkontakten, welche sich an einem hier nicht dargestellten Teil des 3D-Oberflächenmessgeräts 100 befinden, verbunden. Die Schleifkontakte 150 dienen jeweils zur Stromzuleitung bzw. als Kontakte für die Signalübertragung.

Figur 7 zeigt in einer Ansicht von unten ein Objektiv 110 eines 3D-Oberflächenmessgeräts 100 mit einem elektrischen Schleifkontakt 150 zur Stromversorgung einer hier nicht dargestellten Beleuchtungseinrichtung. Der Schleifkontakt 110 befindet sich dazu an einem Umfangsabschnitt des Objektivs 110 bzw. an dem am Objektiv 110 befestigten Kontaktring 140. Das Objektiv 110 befindet sich derzeit in einer Arbeitsposition, weshalb der Kontaktring 140 mit den Schleifkontakten 150 mit korrespondierenden Kontaktscheiben 180, die mittels Federung 185 federnd am Messgerät befestigt sind. Die Kontaktscheiben 180 werden durch die Federung 185 an die Schleifkontakte 150 gedrückt und somit eine unterbrechungsfreie Strom- und Signalübertragung zwischen Messgerät 100 und Objektiv 110 gewährleistet. Vorteilhaft erfolgt diese Strom- und Signalübertragung kabellos, weshalb beim Verschwenken der Wechselobjektive 110 nicht auf sich aufwickelnde Strom- bzw. Signalkabel geachtet werden muss.

Liste der Positionszeichen:

10	Beleuchtungseinrichtung
11	Gehäuse der Beleuchtungseinrichtung
20	Lichtquelle
21	SMD-LED-Diode
30	Sammellinse
31	Brennpunkt der Sammellinse
35	Kreisringsegment
36	konzentrischer Ring
38	Segmentseitenfläche
40	Fresnellinse
41	Prismenstruktur
42	Linsenspitzen
43	Lichteintrittsseite der Fresnellinse
44	Lichtaustrittsseite der Fresnellinse
45	transmittierende Fresnellinse
46	reflektierende Fresnellinse
50	Steuereinheit
60	Befestigungsmagnet
70	Kontaktanschluss für Masse
71	Kontaktanschluss für Stromversorgung
72	Kontaktanschluss für Signalsteuerung
80	Kühlkörper
100	3D-Oberflächenmessgerät bzw. Mikroskop
110	Objektiv des 3D-Oberflächenmessgeräts bzw. Mikroskops
115	Objektivachse
120	Objekträger
140	Kontaktring
150	Schleifkontakt
160	Haltemagnet
170	Gegenkontaktanschluss für Masse
171	Gegenkontaktanschluss für Stromversorgung
172	Gegenkontaktanschluss für Signalsteuerung
180	Kontaktscheibe
185	Federung
200	Präparat bzw. zu untersuchendes Objekt

Liste der Positionszeichen (Fortsetzung):

A_L	Austrittslichtstrahl aus der Fresnellinse
E_L	Eintrittslichtstrahl in die Fresnellinse
F_I	erste Oberfläche der Fresnellinse
F_{II}	zweite Oberfläche der Fresnellinse
F_{III}	dritte Oberfläche der Fresnellinse
G_L	Gebrochener Lichtstrahl in der Fresnellinse
α	Einfallswinkel
β	Eintrittsbrechungswinkel vom optisch dünneren zum optisch dichteren Medium
γ	Austrittsbrechungswinkel vom optisch dichteren zum optisch dünneren Medium
δ	Austrittswinkel senkrecht zur Austrittsfläche der Fresnellinse
ϵ	Eckwinkel der Prismenstruktur (bzw. $\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3, \epsilon_4$)
ϕ	Austrittswinkel parallel zur Austrittsfläche der Fresnellinse

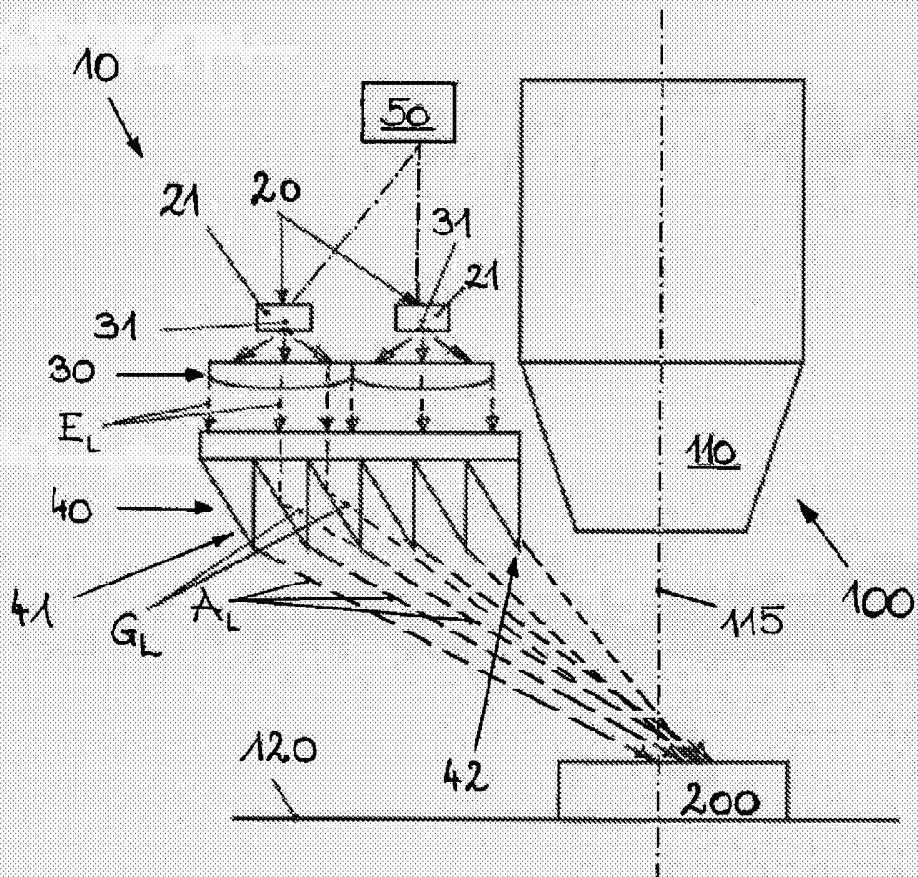
Ansprüche:

1. Beleuchtungseinrichtung (10) für ein Mikroskop bzw. ein optisches 3D-Oberflächenmessgerät (100), insbesondere für ein optisches 3D-Oberflächenmessgerät nach dem Prinzip der Fokusvariation, umfassend flächig angeordnete Lichtquellen (20) zur Erzeugung eines Beleuchtungsspektrums sowie eine Beleuchtungsoptik (30, 40) zur Abbildung des Beleuchtungsspektrums auf ein zu untersuchendes Objekt (200), wobei die Lichtquellen (20) LED-Dioden (21) sind und die Beleuchtungsoptik eine Anordnung von mehreren Sammellinsen (30) sowie zumindest eine Fresnellinse (40) umfasst, wobei die von den LED-Dioden (21) emittierten Lichtstrahlen zuerst auf die Sammellinsen (30) treffen und als im Wesentlichen zueinander parallelgerichtete Eintrittslichtstrahlen (E_L) weiter auf die Fresnellinse (40) treffen, **dadurch gekennzeichnet, dass** an der zumindest einen Fresnellinse (40) in einer reflektierenden Anordnung Linsenspitzen (42) einer Prismenstruktur (41) an einer von den Sammellinsen (30) abgewandten Lichtaustrittsseite (44) der Fresnellinse (40) orientiert sind.
2. Beleuchtungseinrichtung (10) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die zumindest eine Fresnellinse (40) an einer Lichteintrittsseite (43) eine planare erste Oberfläche (F_I) aufweist, wobei einfallende Eintrittslichtstrahlen (E_L) im Wesentlichen lotrecht auf die erste Oberfläche (F_I) treffen, und an der Lichtaustrittsseite (44) der Fresnellinse (40) zweite Oberflächen (F_{II}) sowie dritte Oberflächen (F_{III}) angeordnet sind, wobei die zweiten Oberflächen (F_{II}) und die dritten Oberflächen (F_{III}) jeweils Eckwinkel ($\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3, \epsilon_4$) der Prismenstruktur (41) bilden.
3. Beleuchtungseinrichtung (10) nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die dritten Oberflächen (F_{III}) der Prismenstruktur (41) im Wesentlichen senkrecht zur ersten Oberfläche (F_I) an der Lichteintrittsseite (43) angeordnet sind.
4. Beleuchtungseinrichtung (10) nach Anspruch 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** Eintrittslichtstrahlen (E_L) innerhalb der Fresnellinse (40) unter einem Eintrittsbrechungswinkel (β) auf die zweiten Oberflächen (F_{II}) auftreffen und dabei eine Totalreflexion durchlaufen, wobei der Eintrittsbrechungswinkel (β) in Bezug auf eine Lotrechte auf die zweiten Oberflächen (F_{II}) bestimmt ist, und die nach Auftreffen an den zweiten Oberflächen (F_{II}) reflektierten gebrochenen Lichtstrahlen (G_L) unter einem Austrittsbrechungswinkel (γ), welcher

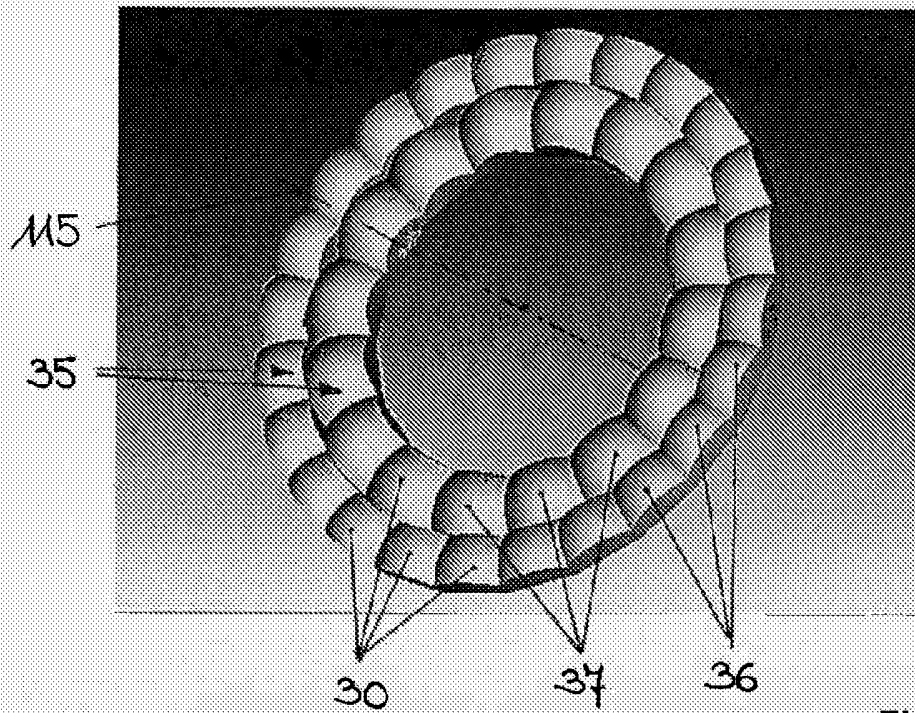
Austrittsbrechungswinkel (γ) in Bezug auf eine Lotrechte auf die dritten Oberflächen (F_{III}) bestimmt ist, auf die dritten Oberflächen (F_{III}) treffen, wobei die Austrittslichtstrahlen (A_L) unter einem Austrittswinkel (δ), welcher in Bezug auf eine Lotrechte auf die dritten Oberflächen (F_{III}) bestimmt ist, an den dritten Oberflächen (F_{III}) der Prismenstruktur (41) aus der Fresnellinse (40) austreten.

5. Beleuchtungseinrichtung (10) nach einem der Ansprüche 2 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Eckwinkel ($\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3, \epsilon_4$) zwischen den zweiten Oberflächen (F_{II}) und den dritten Oberflächen (F_{III}) der Prismenstruktur (41) der Fresnellinse (40) von 20° bis 50° , vorzugsweise von 30° bis 40° , betragen.
6. Beleuchtungseinrichtung (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Sammellinsen (30) von Kreisringsegmenten (35) gebildet sind, wobei benachbarte Kreisringsegmente (35) zumindest an einer Segmentseitenfläche (38) flächig aneinandergrenzen.
7. Beleuchtungseinrichtung (10) nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** benachbarte Kreisringsegmente (35) ringförmig zueinander angeordnet sind.
8. Beleuchtungseinrichtung (10) nach Anspruch 6 oder 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Kreisringsegmente (35) in konzentrischen Ringen (36) zueinander benachbart angeordnet sind.
9. Beleuchtungseinrichtung (10) nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** die ringförmig (36) angeordneten Kreisringsegmente (35) konzentrisch mit einer Objektivachse (115) eines Objektivs (110) angeordnet sind.
10. Beleuchtungseinrichtung (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** die LED-Dioden (21) in den Brennpunkten (31) der Sammellinsen (30) angeordnet sind.
11. Beleuchtungseinrichtung (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Lichtquellen (20) oberflächenmontierte SMD-LED-Dioden (21) sind.

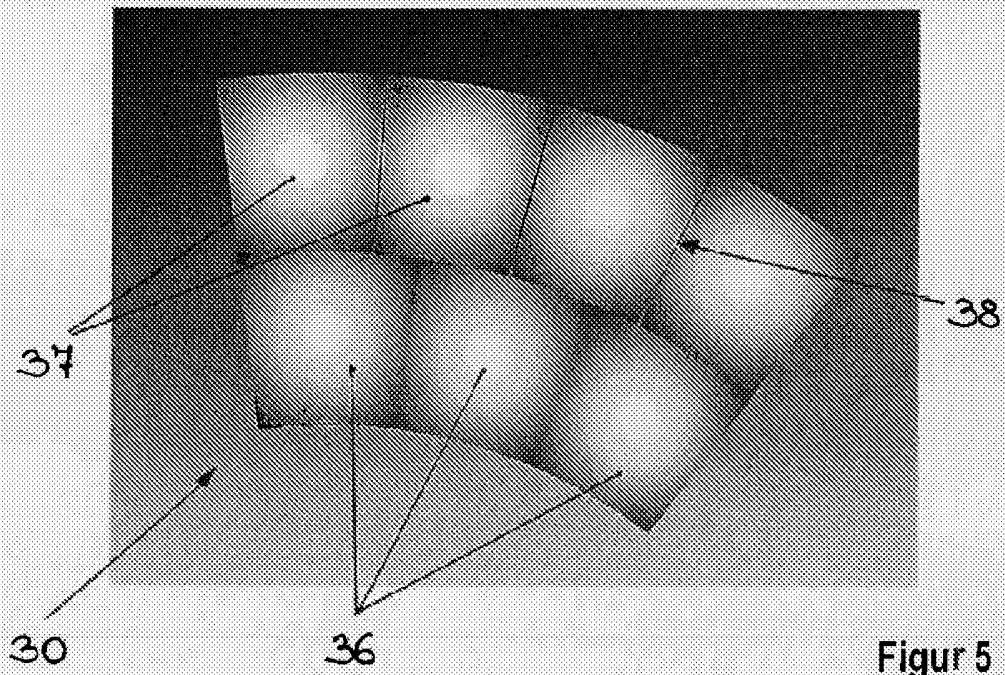
12. Beleuchtungseinrichtung (10) nach einem der vorigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Beleuchtungseinrichtung (10) auf ein Objektiv (110) eines 3D-Oberflächenmessgeräts (100) bzw. eines Mikroskops aufsteckbar sowie abnehmbar ist.
13. Beleuchtungseinrichtung (10) nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Beleuchtungseinrichtung an einem Objektiv (110) eines 3D-Oberflächenmessgeräts(100) bzw. eines Mikroskops lösbar, vorzugsweise magnetisch (60, 160), befestigbar ist.
14. Beleuchtungseinrichtung (10) nach Anspruch 12 oder 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Beleuchtungseinrichtung (10) in einer auf einem Objektiv (110) aufgesteckten Lage mittels Stromversorgungskontakten (70, 71, 72) mit am Objektiv (110) und/oder am 3D-Oberflächenmessgerät (100) bzw. am Mikroskop befindlichen komplementären Stromversorgungsanschlüssen (150, 180) leitend verbindbar ist.
15. Beleuchtungseinrichtung (10) nach einem der vorigen Ansprüche, weiterhin umfassend eine Steuereinheit (50), welche mit den Lichtquellen (20) verbunden ist, **dadurch gekennzeichnet, dass** mit der Steuereinheit (50) beliebige Beleuchtungsstrukturen und/oder Beleuchtungsspektren und/oder Beleuchtungsstärken von einzelnen Lichtquellen (20) und/oder von Gruppen mehrerer Lichtquellen (20) einstellbar sind.



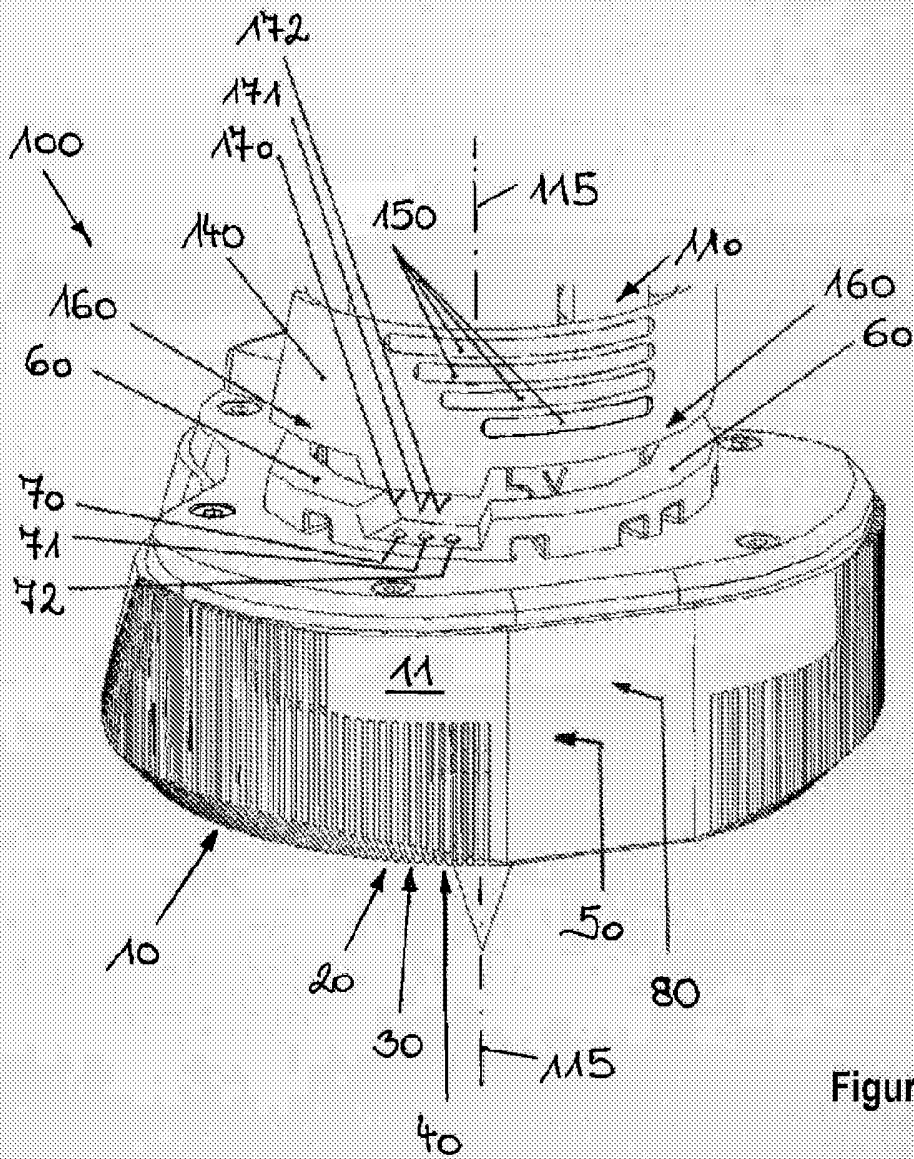
Figur 1



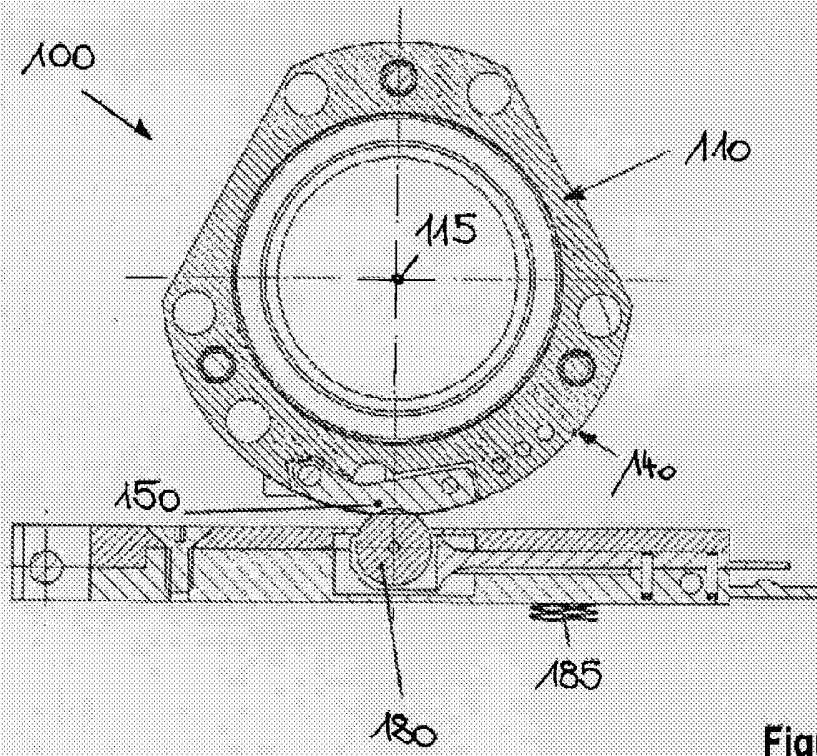
Figur 4



Figur 5



Figur 6



Figur 7

Klassifikation des Anmeldegegenstands gemäß IPC: G02B 21/06 (2006.01)
Klassifikation des Anmeldegegenstands gemäß CPC: G02B 21/06 (2013.01)
Recherchiertes Prüfobjekt (Klassifikation): G02B
Konsultierte Online-Datenbank: EPODOC, WPI, TXT

Dieser Recherchenbericht wurde zu den am **05.05.2014** eingereichten Ansprüchen **1-15** erstellt.

Kategorie ¹⁾	Bezeichnung der Veröffentlichung: Ländercode, Veröffentlichungsnummer, Dokumentart (Anmelder), Veröffentlichungsdatum, Textstelle oder Figur soweit erforderlich	Betreffend Anspruch
X	JP 3148355 B2 (TOPCON CORP) 19. März 2001 (19.03.2001) Fig. 1, 2; Absatz [0007]	1, 10-15
Y		2-9
X	EP 1933187 A1 (ALCON REFRACTIVE HORIZONS INC) 18. Juni 2008 (18.06.2008) Fig. 3; Absätze [0021] und [0022]	1, 10-15
A		2-9
Y	JP 2009258246 A (NIPPON TOKUSHU KOGAKU JUSHI KK) 05. November 2009 (05.11.2009) Fig. 4	2-5
Y	JP 2003315678 A (MITUTOYO CORP) 06. November 2003 (06.11.2003) Fig. 1, 2	6-9

Datum der Beendigung der Recherche: 06.03.2015	Seite 1 von 1	Prüfer(in): RAUMAUF Hannes
---	---------------	-------------------------------

¹⁾ Kategorien der angeführten Dokumente: X Veröffentlichung von besonderer Bedeutung : der Anmeldegegenstand kann allein aufgrund dieser Druckschrift nicht als neu bzw. auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden. Y Veröffentlichung von Bedeutung : der Anmeldegegenstand kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren weiteren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist.	A Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert. P Dokument, das von Bedeutung ist (Kategorien X oder Y), jedoch nach dem Prioritätstag der Anmeldung veröffentlicht wurde. E Dokument, das von besonderer Bedeutung ist (Kategorie X), aus dem ein „ älteres Recht “ hervorgehen könnte (früheres Anmeldedatum, jedoch nachveröffentlicht, Schutz ist in Österreich möglich, würde Neuheit in Frage stellen). & Veröffentlichung, die Mitglied der selben Patentfamilie ist.
---	---

Ansprüche:

1. Beleuchtungseinrichtung (10) für ein Mikroskop bzw. ein optisches 3D-Oberflächenmessgerät (100), insbesondere für ein optisches 3D-Oberflächenmessgerät nach dem Prinzip der Fokusvariation, umfassend flächig angeordnete Lichtquellen (20) zur Erzeugung eines Beleuchtungsspektrums sowie eine Beleuchtungsoptik (30, 40) zur Abbildung des Beleuchtungsspektrums auf ein zu untersuchendes Objekt (200), wobei die Beleuchtungsoptik eine Anordnung von mehreren Sammellinsen (30) sowie zumindest eine Fresnellinse (40) mit einer Prismenstruktur (41) umfasst, deren Linsenspitzen (42) an einer von den Sammellinsen (30) abgewandten Lichtaustrittsseite (44) der Fresnellinse (40) orientiert sind, wobei die von den Lichtquellen (20) emittierten Lichtstrahlen zuerst auf die Sammellinsen (30) treffen und als im Wesentlichen zueinander parallelgerichtete Eintrittslichtstrahlen (E_L) weiter auf die Fresnellinse (40) treffen, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Lichtquellen (20) Leuchtdioden (21) sind, dass die zumindest eine Fresnellinse (40) in einer reflektierenden Anordnung ausgebildet ist, und dass die Sammellinsen (30) von Kreisringsegmenten (35) gebildet sind, wobei benachbarte Kreisringsegmente (35) zumindest an einer Segmentseitenfläche (38) flächig aneinandergrenzen.
2. Beleuchtungseinrichtung (10) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** benachbarte Kreisringsegmente (35) ringförmig zueinander angeordnet sind.
3. Beleuchtungseinrichtung (10) nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Kreisringsegmente (35) in konzentrischen Ringen (36) zueinander benachbart angeordnet sind.
4. Beleuchtungseinrichtung (10) nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die ringförmig (36) angeordneten Kreisringsegmente (35) konzentrisch mit einer Objektivachse (115) eines Objektivs (110) angeordnet sind.
5. Beleuchtungseinrichtung (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die zumindest eine Fresnellinse (40) an einer Lichteintrittsseite (43) eine planare erste Oberfläche (F_I) aufweist, wobei einfallende Eintrittslichtstrahlen (E_L) im Wesentlichen lotrecht auf die erste Oberfläche (F_I) treffen, und an der Lichtaustrittsseite (44) der Fresnellinse (40) zweite Oberflächen (F_{II}) sowie dritte Oberflächen (F_{III}) angeordnet sind, wobei die zweiten Oberflächen

(F_{II}) und die dritten Oberflächen (F_{III}) jeweils Eckwinkel ($\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3, \epsilon_4$) der Prismenstruktur (41) bilden.

6. Beleuchtungseinrichtung (10) nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die dritten Oberflächen (F_{III}) der Prismenstruktur (41) im Wesentlichen senkrecht zur ersten Oberfläche (F_I) an der Lichteintrittsseite (43) angeordnet sind.
7. Beleuchtungseinrichtung (10) nach Anspruch 5 oder 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** Eintrittslichtstrahlen (E_L) innerhalb der Fresnellinse (40) unter einem Eintrittsbrechungswinkel (β) auf die zweiten Oberflächen (F_{II}) auftreffen und dabei eine Totalreflexion durchlaufen, wobei der Eintrittsbrechungswinkel (β) in Bezug auf eine Lotrechte auf die zweiten Oberflächen (F_{II}) bestimmt ist, und die nach Auftreffen an den zweiten Oberflächen (F_{II}) reflektierten gebrochenen Lichtstrahlen (G_L) unter einem Austrittsbrechungswinkel (γ), welcher Austrittsbrechungswinkel (γ) in Bezug auf eine Lotrechte auf die dritten Oberflächen (F_{III}) bestimmt ist, auf die dritten Oberflächen (F_{III}) treffen, wobei die Austrittslichtstrahlen (A_L) unter einem Austrittswinkel (δ), welcher in Bezug auf eine Lotrechte auf die dritten Oberflächen (F_{III}) bestimmt ist, an den dritten Oberflächen (F_{III}) der Prismenstruktur (41) aus der Fresnellinse (40) austreten.
8. Beleuchtungseinrichtung (10) nach einem der Ansprüche 5 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Eckwinkel ($\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3, \epsilon_4$) zwischen den zweiten Oberflächen (F_{II}) und den dritten Oberflächen (F_{III}) der Prismenstruktur (41) der Fresnellinse (40) von 20° bis 50°, vorzugsweise von 30° bis 40°, betragen.
9. Beleuchtungseinrichtung (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Leuchtdioden (21) in den Brennpunkten (31) der Sammellinsen (30) angeordnet sind.
10. Beleuchtungseinrichtung (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Lichtquellen (20) oberflächenmontierte SMD-Leuchtdioden (21) sind.
11. Beleuchtungseinrichtung (10) nach einem der vorigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Beleuchtungseinrichtung (10) auf ein Objektiv (110) eines 3D-Oberflächenmessgeräts (100) bzw. eines Mikroskops aufsteckbar sowie abnehmbar ist.

12. Beleuchtungseinrichtung (10) nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Beleuchtungseinrichtung an einem Objektiv (110) eines 3D-Oberflächenmessgeräts(100) bzw. eines Mikroskops lösbar, vorzugsweise magnetisch (60, 160), befestigbar ist.
13. Beleuchtungseinrichtung (10) nach Anspruch 11 oder 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Beleuchtungseinrichtung (10) in einer auf einem Objektiv (110) aufgesteckten Lage mittels Stromversorgungskontakten (70, 71, 72) mit am Objektiv (110) und/oder am 3D-Oberflächenmessgerät (100) bzw. am Mikroskop befindlichen komplementären Stromversorgungsanschlüssen (150, 180) leitend verbindbar ist.
14. Beleuchtungseinrichtung (10) nach einem der vorigen Ansprüche, weiterhin umfassend eine Steuereinheit (50), welche mit den Lichtquellen (20) verbunden ist, **dadurch gekennzeichnet, dass** mit der Steuereinheit (50) beliebige Beleuchtungsstrukturen und/oder Beleuchtungsspektren und/oder Beleuchtungsstärken von einzelnen Lichtquellen (20) und/oder von Gruppen mehrerer Lichtquellen (20) einstellbar sind.