

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

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum

Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
1. September 2016 (01.09.2016)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2016/135111 A1**

(51) Internationale Patentklassifikation:  
*A61F 9/008* (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2016/053707

(22) Internationales Anmeldedatum:  
23. Februar 2016 (23.02.2016)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
10 2015 002 729.8  
27. Februar 2015 (27.02.2015) DE

(71) Anmelder: **CARL ZEISS MEDITEC AG** [DE/DE];  
Göschwitzer Str. 51 - 52, 07745 Jena (DE). **CARL ZEISS AG** [DE/DE];  
Carl-Zeiss-Strasse 22, 73447 Oberkochen (DE).

(72) Erfinder: **RILL, Michael Stefa**; Am Freiberg 23, 07751 Jena (DE). **ANDREWS, Delbert Peter**; Gregor-Mendel-Straße 14, 73447 Oberkochen (DE). **DAMM, Tobias**;

Karolingerallee 10, 81545 München (DE). **MENAPACE, Rupert**; Zehenthofgasse 33, 1190 Wien (AT).

(74) **Anwalt: RÖSSNER, Ulrike**; Carl Zeiss AG, Patentabteilung, Carl-Zeiss-Promenade 10, 07745 Jena (DE).

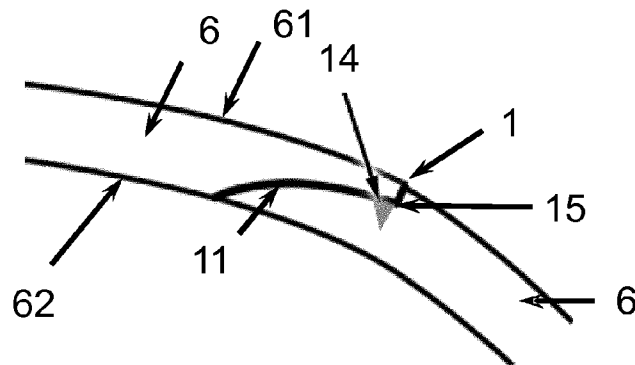
(81) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS,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

(84) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) **Title:** OPHTHALMOLOGICAL LASER THERAPY DEVICE FOR PRODUCING CORNEAL ACCESS INCISIONS

(54) **Bezeichnung :** OPHTHALMOLOGISCHE LASERTHERAPIEVORRICHTUNG ZUR ERZEUGUNG CORNEALER ZUGANGSSCHNITTE



**Fig. 4**

(57) **Abstract:** The invention relates to an ophthalmological laser therapy device (100) having a pulsed laser, a positioning system (300), and a control system (400) for producing incisions in a tissue of an eye (600), in particular for producing corneal access incisions (1). The invention further relates to a corresponding method. The problem addressed by the invention is that of providing an ophthalmological laser therapy device (100) and a method by means of which corneal access incisions (1) having increased leak-tightness under external influences, compressive strength, and complex incision geometries can be realized. This problem is solved by an ophthalmological laser therapy device (100) having a control system (400) which, in order to produce a corneal access incision (1) in a corneal tissue (6) of an eye (600) by photo disruption, is programmed to vary the operating parameters of the laser system (200) and/or of the positioning system (300) on the basis of a local position of the focal volume of a laser beam in the corneal tissue (6) such that the access incision (1) in the corneal tissue (6) is varied and/or interrupted in the width of the access incision. The invention is further solved by a corresponding computer program product and by a method for performing a corneal access incision (1) in a corneal tissue (6) of an eye (600).

(57) **Zusammenfassung:**

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



WO 2016/135111 A1



GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Erklärungen gemäß Regel 4.17:**

— *Erfindererklärung (Regel 4.17 Ziffer iv)*

**Veröffentlicht:**

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

---

Die Erfindung betrifft eine ophthalmologische Lasertherapievorrichtung (100), mit einem gepulsten Laser, einem Positioniersystem (300) und einem Steuersystem (400) zur Erzeugung von Schnitten in einem Gewebe eines Auges (600), insbesondere zur Erzeugung cornealer Zugangsschnitte (1), sowie ein entsprechendes Verfahren. Ihre Aufgabe ist es, ein ophthalmologische Lasertherapievorrichtung (100) und ein Verfahren bereitzustellen, mit dem corneale Zugangsschnitte (1) mit erhöhter Dichtigkeit bei äußeren Einwirkungen und Druckfestigkeit sowie komplexe Schnittgeometrien realisiert werden können. Diese Aufgabe wird gelöst durch eine ophthalmologische Lasertherapievorrichtung (100) mit eine Steuersystem (400), das programmiert ist, zur Erzeugung eines cornealen Zugangsschnittes (1) in einem Hornhautgewebe (6) eines Auges (600) durch Photodisruption die Arbeitsparameter des Lasersystems (200) und/oder des Positioniersystems (300) in Abhängigkeit von einer örtlichen Lage des Fokusvolumens des Laserstrahls im Hornhautgewebe (6) so zu verändern, dass der Zugangsschnitt (1) im Hornhautgewebe (6) in seiner Breite variiert und/oder unterbrochen ist, des Weiteren durch ein entsprechendes Computerprogrammprodukt und ein Verfahren zur Durchführung eines cornealen Zugangsschnittes (1) in einem Hornhautgewebe (6) eines Auges (600).

## OPHTHALMOLOGISCHE LASERTHERAPIEVORRICHTUNG ZUR ERZEUGUNG CORNEALER ZUGANGSSCHNITTE

Die vorliegende Erfindung betrifft eine ophthalmologische Lasertherapievorrichtung, die ein Lasersystem zur Erzeugung eines gepulsten Laserstrahls, ein Positioniersystem zur örtlichen Verschiebung eines Fokusvolumens des Laserstrahls und ein Steuersystem zur Steuerung der Arbeitsparameter des Positioniersystems und/oder des Lasersystems enthält, mit der Gewebe eines Auges derart bearbeitet werden kann, dass Schnitte im Augengewebe erzeugt werden. Insbesondere können mit dieser ophthalmologischen Lasertherapievorrichtung corneale Zugangsschnitte erzeugt werden.

Die Erfindung betrifft des Weiteren ein Computerprogrammprodukt und ein Verfahren zur Durchführung eines cornealen Zugangsschnittes in einem Hornhautgewebe eines Auges.

In der Augenchirurgie ist es mittlerweile üblich, Lasersysteme für einzelne Schritte eines chirurgischen Verfahrens zu Hilfe zu nehmen. Dabei ersetzt die Wechselwirkung des Lasers mit dem Augengewebe, durch die das Gewebe getrennt werden kann, die früher üblichen Schnitte mit einem Skalpell. Die Lasersysteme sind deshalb Bestandteil ophthalmologischer Therapiesysteme.

Sehr häufig werden Femtosekunden (fs)-Lasersysteme verwendet, um Schnitte im Augengewebe durchzuführen. Insbesondere werden mit solchen Femtosekunden-Lasersystemen auch Schnitte in von Katarakt befallenem Linsengewebe durchgeführt. Für einen Teil der Laser-Kataraktchirurgie benötigt der Arzt einen direkten Zugang über die Cornea, also die Hornhaut, zur Augenlinse des Patienten. Dieser Zugang kann ebenfalls mit Hilfe eines Laserstrahls erzeugt werden. Derartige Zugangsschnitte im Auge müssen bei Augenoperationen diverse Randbedingungen erfüllen. Zum einen müssen sie klein sein, so dass die Gefahr einer Infektion reduziert wird. Zum anderen sollten die Zugangsschnitte derart gesetzt werden, dass das Kammerwasser des Auges nicht auslaufen kann. Insbesondere muss ein Auslaufen selbst bei direkter, äußerer mechanischer Einwirkung verhindert werden. Wichtig ist hierbei die Tatsache, dass nach einem solchen Schnitt nur das dünne Hornhautepithel heilt. In den ersten Tagen und

Wochen nach der Operation „klebt“ das dicke Hornhaut-Stromagewebe sogar lediglich durch Adhäsionskräfte zusammen. Das Stroma ist dabei die mittlere Hornhautschicht und macht zirka 90% der gesamten Hornhautdicke aus. Deshalb kann sich die Wunde durch äußere Einwirkung, wie beispielsweise Druck auf den Augapfel, öffnen.

Komplexe, nicht zusammenhängende corneale Zugangsschnitte sind mit einem Skalpell schwer oder gar nicht durchführbar. Es ist deshalb üblich, diese Schnitte, auch Inzisionen genannt, mit einem Laser durchzuführen. Allerdings realisieren bekannte Lösungen nur relativ einfache Schnittgeometrien. Die Fig. 1a zeigt einen derzeit üblichen, mit einem Laser erzeugten biplanaren cornealen Zugangsschnitt 1, also einen 2-Ebenen Zugangsschnitt 1. Solche cornealen Zugangsschnitte 1, wie in der Fig. 1a gezeigt, haben jedoch den Nachteil, dass sie bei äußerer mechanischer Einwirkung auf das Auge ihre Dichtigkeit verlieren, so dass Kammerwasser aus dem Auge laufen kann oder Keime eindringen können, wie dies in der Fig. 1b für die Einwirkung eines äußeren Drucks 2 auf den Bulbus dargestellt ist: Ein äußerer Druck 2 führt zu einer Erhöhung des Augeninnendrucks (intra-ocular pressure, IOP) 3. Im Falle eines Zugangsschnittes 1 gemäß der Fig. 1a, führt dies wiederum zum Entstehen eines Lecks 4, aus dem dann das Kammerwasser austreten kann. Dieses Problem bleibt auch lange nach der Operation bestehen.

In der Veröffentlichung von David W. Langerman „Architectural design of a self-sealing corneal tunnel, single hinge incision“ (J Cataract Refract Surg 20, 1994) wird hingegen eine besondere Schnittgeometrie eines cornealen Zugangsschnitts 1 vorgestellt. Sie unterscheidet sich von der Schnittgeometrie der herkömmlichen cornealen Zugangsschnitte: Der corneale Zugangsschnitt 1 von Langerman enthält neben dem das Hornhautgewebe 6 des Auges von einer äußeren Grenzfläche 61 zunächst ungefähr senkrecht startenden, dann in einer geneigten Ebene weiter bis zu einer inneren Grenzfläche 62 verlaufenden, biplanaren Schnitt 11, der folglich einen „Tunnel“ bildet, einen zusätzlichen tiefen vertikalen Vorschnitt 12, der sich vom biplanaren Schnitt 11 ausgehend weiter in Richtung der inneren Grenzfläche 62 erstreckt, ohne diese jedoch zu erreichen, siehe Fig. 2a. Dieser zusätzliche vertikale Vorschnitt 12 führt zur Ausbildung einer keilförmigen Ventilklappe mit einem

Scharnier 5, „Hinge“ genannt, nahe der Hornhautinnenfläche. Die entsprechenden Schnitte wurden von Langerman manuell durchgeführt.

Bei punktuelltem Druck 2 im Bereich des äußeren „Tunneleinganges“ des als Tunnel ausgebildeten Zugangsschnittes 1, der sich also aus dem biplanaren Schnitt 11 und den tiefen vertikalen Vorschnitt 12 zusammensetzt, kann sich die Verformung und damit die Öffnung des Tunnels nicht mehr entlang des Tunnelbodens bis zum inneren „Tunnelausgang“ fortsetzen und damit das „corneale Ventil“ eröffnen, um Kammerwasser aus dem Auge austreten zu lassen. Vielmehr schwingt die keilförmige Ventilklappe dann um das Scharnier 5 nach oben und wird durch den Augeninnendruck 3 gegen das Tunneldach gedrückt. Die Folge ist eine Verbesserung der „Deformationsstabilität“ des Schnittes. In Fig. 2b wird gezeigt, wie sich solch ein Zugangsschnitt bei mäßiger äußerer Krafteinwirkung verhält. Das Scharnier 5 erhöht die Gewebeflexibilität, so dass das zusammengeklebte Hornhautgewebe 6 zunächst nicht getrennt wird, und die Zugangswunde somit verschlossen bleibt. Diese Schnittgeometrie bietet also einen entscheidenden medizinischen Vorteil.

Bei größerem Druck bietet dieser corneale Zugangsschnitt allerdings keine Dichtigkeit. Das „Hochklappen“ der keilförmigen Ventilklappe am Scharnier, und damit das Verschießen des Tunnels, ist stark durch den Raum, der entlang des vertikalen Vorschnitts gegeben ist, und durch die Elastizität des Hornhautgewebes begrenzt.

Zudem setzte sich eine solche Schnittgeometrie in der Vergangenheit nicht durch, da sie aufgrund der geringen Dicke der Hornhaut des Auges nur schwer mit einem Skalpell realisierbar ist.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es deshalb, eine ophthalmologische Lasertherapievorrichtung und ein Verfahren zur Durchführung eines cornealen Zugangsschnittes in einem Hornhautgewebe eines Auges bereitzustellen, mit dem corneale Zugangsschnitte derart erzeugt werden können, dass ihre Dichtigkeit bei äußeren Einwirkungen, insbesondere ihre Druckfestigkeit erhöht wird und komplexe Schnittgeometrien realisiert werden können, sowie entsprechende Schnittgeometrien aufzuzeigen.

Diese Aufgabe wird gelöst durch eine ophthalmologische Lasertherapievorrichtung nach Anspruch 1, ein Verfahren zur Durchführung eines cornealen Zugangsschnittes in einem Hornhautgewebe eines Auges nach Anspruch 9 und ein Computerprogrammprodukt nach Anspruch 10.

Eine ophthalmologische Lasertherapievorrichtung umfasst ein Lasersystem, das eingerichtet ist zur Erzeugung eines gepulsten Laserstrahls. Ein solcher gepulster Laser ermöglicht hohe Lichtintensitäten, d.h. eine sehr schnelle Freigabe der gespeicherten Energie. Gepulste Laser werden unter anderem in der Materialbearbeitung genutzt. Eines seiner Anwendungsgebiete ist dabei die Augenheilkunde. In der Augenheilkunde können durch Photodisruption Schnitte in einem Augengewebe, beispielsweise in der Hornhaut oder in der Linse des Auges, durchgeführt werden. Die Photodisruption findet nur im Fokusbereich aufgrund der Mehrphotonenabsorption des Laserstrahls statt. Dabei kommt es durch einen starken nichtlinearen Anstieg der Absorption des Laserlichts zu einem optischen Durchbruch, bei dem ein Plasma gebildet wird und das Material folglich getrennt wird.

Des Weiteren umfasst die ophthalmologische Lasertherapievorrichtung ein Positioniersystem, das eingerichtet ist zur örtlichen Verschiebung eines Fokusbereichs des Laserstrahls in einem Zielgebiet. Ein solches Zielgebiet kann das Hornhautgewebe eines Auges, wie auch ein anderes Gewebe des Auges sein. Auch die Linse kann prinzipiell mit einer solchen Lasertherapievorrichtung bearbeitet werden. Durch das Positioniersystem wird also der gepulste Laserstrahl entsprechend abgelenkt. Durch die Möglichkeit der Ablenkung bzw. der Verschiebung des Laserstrahls kann im Zielgebiet entlang festgelegter Strukturen bzw. Muster „geschnitten“ werden.

Um das Positioniersystem und/oder das Lasersystem zu steuern, also die Arbeitsparameter des Positioniersystems und/oder des Lasersystems zu beeinflussen, enthält das ophthalmologische Lasertherapievorrichtung ein Steuersystem. Das Steuersystem kann dabei eine einzige Einheit umfassen. Alternativ kann das Steuersystem aber auch mehrere Komponenten aufweisen, die über die

ophthalmologische Therapievorrichtung verteilt sind, ggf. aber miteinander in Verbindung stehen.

Erfindungsgemäß ist nun das Steuersystem programmiert, zur Erzeugung eines cornealen Zugangsschnittes in einem Hornhautgewebe eines Auges durch Photodisruption die Arbeitsparameter des Lasersystems und/oder des Positioniersystems in Abhängigkeit von einer örtlichen Lage des Fokusvolumens des Laserstrahls im Hornhautgewebe so zu verändern, dass der Zugangsschnitt im Hornhautgewebe in seiner Breite variiert und/oder der Zugangsschnitt unterbrochen ist. Dies beinhaltet auch, dass nur Teile des Zugangsschnitts in ihrer Breite variieren bzw. unterbrochen sind.

Ein cornealer Zugangsschnitt ist dabei dadurch definiert, dass er eine Durchführung bzw. einen „Tunnel“ durch die Hornhaut, von einer äußeren Grenzfläche der Hornhaut bis zu einer inneren Grenzfläche der Hornhaut eröffnet, durch die ein Instrument eines geringen Durchmessers, wie beispielsweise ein Absaugröhrchen oder aber ein Applikator, der eine künstliche Linse im gefalteten Zustand enthält, in die Augenkammer eingeführt werden kann. Seine Schnittgeometrie kann sehr komplexer Natur sein. Er kann neben dem „Tunnel“, der in der Regel durch einen biplanaren Schnitt gebildet wird, weitere Hilfsschnitte enthalten, die die Funktion des Zugangsschnitts, eine Öffnung zur Einführung von Instrumenten zu bilden, aber gleichzeitig einen zuverlässigen Verschluss des Zugangs nach der Operation zu gewährleisten, verbessern. Die Zugehörigkeit eines Hilfsschnitts zum cornealen Zugangsschnitt ist dabei durch den beabsichtigten Einfluss dieses Hilfsschnitts auf die Funktion des cornealen Zugangsschnitts definiert. Ein Hilfsschnitt gehört auch dann zum cornealen Zugangsschnitt, wenn eine Unterbrechung des Zugangsschnitts zwischen dem biplanaren, durch das Hornhautgewebe hindurchführenden Schnitt und dem entsprechenden Hilfsschnitt besteht, solange er zur Funktion des cornealen Zugangsschnittes beiträgt.

Um nun den komplexen Zugangsschnitt in seiner Schnittbreite variieren zu können bzw. ggf. auch Hilfsschnitte zu erzeugen, die nicht mit dem „Tunnel“ in Verbindung stehen, dennoch aber zum cornealen Zugangsschnitt hinzugehören, ist das Steuersystem programmiert, in Abhängigkeit der jeweiligen Lage des Fokus bzw. des

Fokusvolumens des Laserstrahls im Hornhautgewebe, also des Volumens, in dem mittels Photodisruption eine Trennung des Hornhautgewebes erfolgen kann, Arbeitsparameter für das Positioniersystem und/oder des Lasersystems während des Schritts der Erzeugung des cornealen Zugangsschnitts beständig anzupassen, um ein entsprechendes Schnittmuster für einen cornealen Zugangsschnitt zu erzeugen, der zeitweise unterbrochen ist und/oder in dem zumindest in Teilbereichen die Schnittbreite variiert.

Für das Lasersystem betrifft dies beispielsweise Arbeitsparameter wie die Leistung pro Laserpuls, die Pulsdauer, die Peak-Intensität und die Repetitionsrate des Lasers.

Über das Positioniersystem kann man die Schnittbreite hingegen beispielsweise durch eine Änderung der Geschwindigkeit der Ablenkung bzw. Verschiebung des Laserstrahls, und damit der Geschwindigkeit der Bewegung des Fokusvolumens des Laserstrahls durch das Hornhautgewebe, oder aber durch mehrfache Richtungsänderung der Bewegung des Fokusvolumens des Laserstrahls durch das Hornhautgewebe, wodurch ein Teilabschnitt des cornealen Zugangsschnitts mehrfach „abgefahren“ wird, beeinflussen.

Die Programmierung des Steuersystems, das heißt in diesem Falle seine Kodierung für den Schritt der Erzeugung des cornealen Zugangsschnitts, kann in einfacher Ausführungsform auf Standardmuster eines Auges zurückgreifen, die ausgewählt werden in Funktion von Untersuchungsdaten des zu bearbeitenden Auges, welche mit einem Untersuchungssystem, wie beispielsweise einem OCT (optische Kohärenztomographie) –System oder einem Abbildungssystem nach dem Scheimpflug-Verfahren oder einem Lichtschnittverfahren, vorher ermittelt wurden.

In einer bevorzugten Ausführung berücksichtigt das Steuersystem jedoch Untersuchungsdaten, wie beispielsweise die Lage der Augenstrukturen, den Durchmesser des Augenkörpers und die Hornhautdicke, direkt, indem die Veränderung der Arbeitsparameter von Lasersystem und/oder Positioniersystem als Funktion spezifizierter Untersuchungsdaten kodiert sind, die dem Steuersystem der ophthalmologischen Lasertherapievorrichtung bei jedem Eingriff für den Schritt der Erzeugung des cornealen Zugangsschnitts geliefert werden müssen.

In einer vorteilhaften Ausführungsform ist das Steuersystem der ophthalmologischen Lasertherapievorrichtung programmiert, die Arbeitsparameter von Lasersystem und/oder Positioniersystem so zu verändern, dass im Hornhautgewebe ein biplanarer Schnitt, der also das Hornhautgewebe von einer äußeren Grenzfläche bis zu einer inneren Grenzfläche durchläuft, und ein von diesem biplanaren Schnitt ausgehender vertikaler, keilförmiger, sich zum Ende hin verjüngender Vorschnitt erzeugt wird.

Die Reihenfolge der Erzeugung der beiden Schnitte, also des biplanaren Schnitts und des vertikalen Vorschnitts, als Teile eines komplexen cornealen Zugangsschnitts ist dabei nicht wesentlich. Der vertikale Vorschnitt kann sogar während der Erzeugung des biplanaren Schnitts erzeugt werden. Der vertikale Vorschnitt geht bevorzugt nahe der Stelle des biplanaren Schnitts, an dem der biplanare Schnitt seine Richtung ändert, aus, also nahe der Stelle des Übergangs des senkrechten Schnittes in einen schräg durch das Hornhautgewebe verlaufenden Schnitt. In einer solchen Anordnung ist die Wirkung des Scharniers und der keilförmigen Ventilklappe besonders groß, da bei mechanischen Einwirkung, wie einem äußeren Druck, die Ventilklappe über den gesamten schrägen Bereich des biplanaren Schnitts schließen kann.

Der vertikale Vorschnitt kann in seiner Länge bzw. Tiefe wie auch in der Stärke des Keils variieren, allerdings darf er nicht die innere Grenzfläche des Hornhautgewebes erreichen. Auch kann die Schräge des zweiten Teils des biplanaren Schnittes variieren. Bevorzugt weist dieser Teil des biplanaren Schnittes einen leicht abgerundeten Verlauf auf, so dass die hierdurch entstehende Ventilklappe eine leicht konvexe Form erhält.

In einer alternativen zweiten Ausführungsform ist das Steuersystem der ophthalmologischen Lasertherapievorrichtung programmiert, die Arbeitsparameter von Lasersystem und/oder Positioniersystem so zu verändern, dass ein biplanarer Schnitt und ein nicht mit diesem in direkter Verbindung stehender, innerer vertikaler Vorschnitt im Bereich des biplanaren Schnittes im Hornhautgewebe erzeugt wird.

Auch hier ist die Reihenfolge der Erzeugung der beiden Schnitte, also des biplanaren Schnitts und des inneren vertikalen Vorschnitts, als Teile eines komplexen cornealen Zugangsschnitts nicht wesentlich. Der innere vertikale Vorschnitt sollte bevorzugt von einer inneren Grenzfläche des Hornhautgewebes nahe der Stelle des biplanaren Schnitts ausgehen, an dem der biplanare Schnitt seine Richtung ändert. Auch hier ist in einer solchen Anordnung die Wirkung des Scharniers und der keilförmigen Ventilklappe besonders groß, da bei mechanischer Einwirkung, wie einem äußeren Druck, die Ventilklappe über den gesamten schrägen Bereich des biplanaren Schnitts schließen kann.

Auch der innere vertikale Vorschnitt kann in seiner Länge bzw. Tiefe, ausgehend von der inneren Grenzfläche des Hornhautgewebes, wie auch in der Schnittbreite variieren. Allerdings darf er den biplanaren Schnitt oder aber die äußere Grenzfläche des Hornhautgewebes nicht erreichen. Die Schräge des zweiten Teils des biplanaren Schnittes kann ebenfalls variieren. Bevorzugt weist dieser Teil des biplanaren Schnittes wiederum einen leicht abgerundeten Verlauf auf, so dass die hierdurch entstehende Ventilklappe eine leicht konvexe Form erhält.

In einer dritten alternativen Ausführungsform ist das Steuersystem der ophthalmologischen Lasertherapievorrichtung programmiert, die Arbeitsparameter von Lasersystem und/oder Positioniersystem so zu verändern, dass ein biplanarer Schnitt und ein nicht mit diesem in direkter Verbindung stehender, äußerer vertikaler Vorschnitt im Bereich des biplanaren Schnittes im Hornhautgewebe erzeugt wird.

Diese Ausführungsform ist jedoch auch als ergänzende Ausführungsform derart möglich, dass neben dem biplanaren Schnitt und einem inneren vertikalen Vorschnitt mindestens ein zusätzlicher äußerer vertikaler Vorschnitt im Steuersystem der ophthalmologischen Lasertherapievorrichtung programmiert ist.

Die Reihenfolge der Erzeugung der Schnitte, also des biplanaren Schnitts, gegebenenfalls des inneren vertikalen Vorschnitts sowie des äußeren vertikalen Vorschnitts, als Teile eines komplexen cornealen Zugangsschnitts, ist nicht wesentlich. Der äußere vertikale Vorschnitt geht bevorzugt von einer äußeren Grenzfläche des Hornhautgewebes nahe des Bereichs des biplanaren Schnitts aus.

Wie auch die anderen Ausführungsformen ist insbesondere die dritte alternative Ausführungsform dabei nicht auf die Erzeugung eines einzigen äußeren vertikalen Vorschnitts beschränkt: Es ist auch möglich, dass das Steuersystem programmiert ist, mehrere äußere vertikale Vorschnitte im Hornhautgewebe zu erzeugen, entweder beidseitig des biplanaren Schnitts oder aber auch nur in einseitiger Nachbarschaft des biplanaren Schnitts.

Der äußere vertikale Vorschnitt kann als gerader Schnitt ausgeführt sein. Bevorzugt ist der äußere vertikale Vorschnitt jedoch derart programmiert, dass er keilförmig, d.h. sich von einer äußeren Grenzfläche des Hornhautgewebes nach innen hin verjüngend, ausgebildet wird. Der äußere vertikale Vorschnitt kann in seiner Länge bzw. Tiefe, ausgehend von der äußeren Grenzfläche des Hornhautgewebes, variieren, allerdings darf er den biplanaren Schnitt bzw. die innere Grenzfläche des Hornhautgewebes nicht erreichen. Auch die Schräge des ersten Teiles des biplanaren Schnittes kann variieren. Bevorzugt weist dieser Teil des biplanaren Schnittes einen leicht abgerundeten Verlauf auf, so dass die hierdurch entstehende Ventilklappe eine leicht konvexe Form erhält.

Bevorzugt enthält die ophthalmologische Lasertherapievorrichtung ein Femtosekunden (Fs)- Lasersystem, also ein Ultrakurzpuls-Lasersystem.

Vorteilhaft enthält die ophthalmologische Lasertherapievorrichtung ein Steuersystem, das eine Schnittstelle zur Entgegennahme und Weitergabe von Untersuchungsdaten eines Auges aus einem Untersuchungssystem umfasst. Ein solches Untersuchungssystem kann beispielsweise ein OCT-System, ein Ultraschallsystem, eine Scheimpflug-Kamera oder ein Mikroskop sein, das die Untersuchungsdaten in einer ersten Variante außerhalb einer ophthalmologischen Lasertherapievorrichtung in einer der Therapie zeitnah vorgelagerten Untersuchung erzeugt, so dass sie dann über die Schnittstelle dem Steuersystem der ophthalmologischen Lasertherapievorrichtung zur Verfügung gestellt werden können. Dies kann durch manuelle Eingabe oder durch automatische Übertragung erfolgen.

In einer alternativen Variante enthält die ophthalmologische Lasertherapievorrichtung ein Untersuchungssystem zur Erzeugung von Untersuchungsdaten des Auges. Als Beispiele solcher Untersuchungssysteme können auch hier wiederum ein OCT-System, ein Ultraschallsystem, eine Scheimpflug-Kamera oder ein Operationsmikroskop genannt werden. Auch ist es möglich, dass die ophthalmologische Therapievorrichtung mehrere Untersuchungssysteme enthält, die gleichzeitig oder nacheinander Untersuchungsdaten liefern. Die von einem solchen Untersuchungssystem erzeugten Untersuchungsdaten können wiederum über eine Schnittstelle dem Steuersystem der ophthalmologischen Lasertherapievorrichtung zur Verfügung gestellt werden. Eine solche Schnittstelle kann jedoch wesentlich automatisierter funktionieren als im Falle der Verwendung von externen Untersuchungsdaten. Das Steuersystem kann folglich auch eingerichtet sein, direkt auf das Untersuchungssystem zuzugreifen.

Bevorzugt ist es möglich, Untersuchungsdaten aus einem externen Untersuchungssystem trotzdem berücksichtigen zu können, auch wenn die ophthalmologische Lasertherapievorrichtung über ein oder mehrere interne Untersuchungssysteme verfügt.

Enthält eine ophthalmologische Lasertherapievorrichtung ein Untersuchungssystem zur Erzeugung von Untersuchungsdaten des Auges, so kann sie ferner zur Steuerung der Erzeugung eines cornealen Zugangsschnitts mittels der Untersuchungsdaten aus dem Untersuchungssystem eingerichtet sein. Damit ist eine Regelkreissteuerung zur Erzeugung des cornealen Zugangsschnitts möglich, d.h., die Untersuchungsdaten werden auch während der Erzeugung des cornealen Zugangsschnitts weiter erhoben und ggf. zur Korrektur der Erzeugung des cornealen Zugangsschnitts genutzt.

Das Positioniersystem einer ophthalmologischen Lasertherapievorrichtung, das verantwortlich ist für die Ablenkung und/oder Verschiebung des Laserstrahls und damit des Fokus an einen gewünschten Ort in einem Auge, enthält zu diesem Zweck bevorzugt mindestens eine der Komponenten fester oder drehbarer Spiegel, Linse und Verfahrmittel.

In einem Verfahren zur Durchführung eines cornealen Zugangsschnittes in einem Hornhautgewebe eines Auges wird ein biplanarer Schnitt und ein vertikaler Vorschnitt erzeugt. Der biplanare Schnitt wird derart erzeugt, dass er einen „Tunnel“ durch die Hornhaut von einer äußeren Grenzfläche der Hornhaut bis zu einer inneren Grenzfläche der Hornhaut eröffnet, durch den Instrumente eines geringen Durchmessers in die Augenkammer eingeführt werden können. Er umfasst bevorzugt einen ersten steilen Teil sowie einen zweiten, stark angeschrägten Teil. Die Schräge des biplanaren Schnittes kann variieren. Bevorzugt weist der zweite angeschrägte Teil des biplanaren Schnittes einen leicht abgerundeten Verlauf auf.

Die Reihenfolge der Erzeugung der beiden Schnitte, also des biplanaren Schnitts und des vertikalen Vorschnitts, als Teile eines komplexen cornealen Zugangsschnitts, ist nicht wesentlich. Der vertikale Vorschnitt kann sogar während der Erzeugung des biplanaren Schnitts erzeugt werden.

Der vertikale Vorschnitt dient als Hilfsschnitt, der die Funktion des Zugangsschnitts, eine Öffnung zur Einführung von Instrumenten zu bilden, aber gleichzeitig einen zuverlässigen Verschluss des Zugangs nach der Operation zu gewährleisten, verbessert.

Erfindungsgemäß wird in einer ersten Alternative des erfindungsgemäßen Verfahrens der vertikale Vorschnitt derart erzeugt, dass er mit dem biplanaren Schnitt in direkter Verbindung steht und ein keilförmiges, zum biplanaren Schnitt abgewandten Ende hin verjüngendes Profil aufweist.

Der vertikale Vorschnitt geht bevorzugt nahe der Stelle des biplanaren Schnitts aus, an dem der biplanare Schnitt seine Richtung ändert, also des Übergangs des senkrechten Schnittes in einen schräg durch das Hornhautgewebe verlaufenden Schnitt.

Der vertikale Vorschnitt kann in seiner Länge bzw. Tiefe wie auch in der Stärke des Keils variieren, allerdings darf er nicht die innere Grenzfläche des Hornhautgewebes erreichen, um die erforderliche Stabilität der Cornea zu gewährleisten.

In einer zweiten Alternative des erfindungsgemäßen Verfahrens wird der vertikale Vorschnitt im Bereich des biplanaren Schnitts angeordnet, jedoch derart, dass der vertikale Vorschnitt nicht in einer direkten Verbindung mit dem biplanaren Schnitt steht.

In einer ersten Variante der zweiten Alternative, wird der vertikale Vorschnitt derart erzeugt, dass er von der inneren Grenzfläche des Hornhautgewebes ausgeht . bevorzugt nahe der Stelle des biplanaren Schnitts, an dem der biplanare Schnitt seine Richtung ändert.

Der innere vertikale Vorschnitt kann in seiner Länge bzw. Tiefe, ausgehend von der inneren Grenzfläche des Hornhautgewebes, wie auch in der Schnittbreite variieren, allerdings darf er den biplanaren Schnitt oder aber die äußere Grenzfläche des Hornhautgewebes nicht erreichen.

In einer zweiten Variante der zweiten Alternative des erfindungsgemäßen Verfahrens wird der vertikale Vorschnitt derart erzeugt, dass er von der äußeren Grenzfläche des Hornhautgewebes ausgeht. Er kann in seiner Länge bzw. Tiefe wie auch in der Schnittbreite variieren, allerdings darf er weder den biplanaren Schnitt noch die innere Grenzfläche des Hornhautgewebes erreichen. Bevorzugt wird der äußere vertikale Vorschnitt keilförmig ausgebildet.

Prinzipiell können auch mehrere äußere vertikale Vorschnitte oder aber eine Kombination von äußeren und inneren vertikalen Vorschnitten erzeugt werden, um zu einer optimalen Funktion des cornealen Zugangsschnitts, wie oben beschrieben, beizutragen.

Bevorzugt wird dieses Verfahren mit einer ophthalmologischen Lasertherapievorrichtung durchgeführt, in der ein gepulster Laserstrahl eingesetzt wird.

Besonders bevorzugt wird dieses Verfahren mit einer oben beschriebenen ophthalmologischen Lasertherapievorrichtung durchgeführt.

Im Gegensatz zu manuell mit einem Skalpell ausgeführten cornealen Zugangsschnitten ist es mit gepulsten Lasern, insbesondere mit Femtosekunden-Lasern, möglich, komplexe, nicht zusammenhängende Inzisionen durchzuführen, da die Laser-Gewebe-Wechselwirkung lediglich im Fokus des Laserstrahls stattfindet.

Die Anwendung solcher ophthalmologischer Lasertherapiesysteme und der beschriebenen cornealer Zugangsschnitte erstreckt sich dabei nicht nur auf die Kataraktchirurgie. Sie sind allgemein in der Augenheilkunde nutzbar, beispielsweise in der Trauma-Chirurgie und für Glaukom-Eingriffe.

Die vorgeschlagenen Schnittgeometrien bieten gegenüber den herkömmlichen biplanaren Zugangsschnitten den Vorteil, dass corneale Wunden auch bei starker äußerer Krafteinwirkung nicht geöffnet werden. Während die Schnitte mittels Skalpell schwer durchzuführen sind, sind sie mit Hilfe eines gepulsten Lasers, wie beispielsweise mittels eines Femtosekunden-Lasers, problemlos realisierbar.

Ein erfindungsgemäßes Computerprogrammprodukt ist eingerichtet zur Durchführung des beschriebenen Verfahrens zur Durchführung eines cornealen Zugangsschnitts in einem Hornhautgewebe eines Auges auf einer ophthalmologischen Lasertherapievorrichtung. Um einen solchen cornealen Zugangsschnitt zu erzeugen, wird das Computerprogrammprodukt auf einer ophthalmologischen Lasertherapievorrichtung, insbesondere auf einer ophthalmologischen Lasertherapievorrichtung, die ein Lasersystem zur Erzeugung eines gepulsten Laserstrahls, ein Positioniersystem zur örtlichen Verschiebung eines Fokusvolumens des Laserstrahls in einem Zielgebiet und ein Steuersystem zur Steuerung der Arbeitsparameter des Positioniersystems und/oder der Arbeitsparameter des Lasersystems enthält, eingesetzt. Bevorzugt handelt es sich dabei um eine erfindungsgemäße Lasertherapievorrichtung.

Bevorzugt ist das Computerprogrammprodukt zur Veränderung von Arbeitsparametern eines Positioniersystems und/oder eines Lasersystems der ophthalmologischen Lasertherapievorrichtung mittels eines Steuersystems der ophthalmologischen Lasertherapievorrichtung in Abhängigkeit von einer örtlichen Lage des Fokusvolumens im Hornhautgewebe des Auges in einer solchen Art und

Weise eingerichtet, dass eine durch Photodisruption erzeugte Schnittbreite des cornealen Zugangsschnittes im Hornhautgewebe in Abhängigkeit von der örtlichen Lage im Hornhautgewebe variiert wird und/oder der Schnitt stellenweise unterbrochen wird.

Die vorliegende Erfindung soll nun anhand von Ausführungsbeispielen erläutert werden. Es zeigt:

- die Fig. 1a einen cornealen Zugangsschnitt nach dem Stand der Technik und die Fig. 1b sein Verhalten bei geringer äußerer Druckeinwirkung, wie oben beschrieben
- die Fig. 2a einen weiteren cornealen Zugangsschnitt nach dem Stand der Technik und die Fig. 2b sein Verhalten bei geringer äußerer Druckeinwirkung, wie oben beschrieben
- die Fig. 3a eine erste Ausführungsform eines erfindungsgemäßen cornealen Zugangsschnitts, erzeugt mit einer ersten Ausführungsform einer erfindungsgemäßen ophthalmologischen Therapievorrichtung und die Fig. 3b das Verhalten des Zugangsschnitts bei äußerer Druckeinwirkung
- die Fig. 4 eine zweite Ausführungsform eines erfindungsgemäßen cornealen Zugangsschnitts, erzeugt mit einer zweiten Ausführungsform einer erfindungsgemäßen ophthalmologischen Therapievorrichtung
- die Fig. 5 eine dritte Ausführungsform eines erfindungsgemäßen cornealen Zugangsschnitts, erzeugt mit einer dritten Ausführungsform einer erfindungsgemäßen ophthalmologischen Therapievorrichtung
- die Fig. 6 eine vierte Ausführungsform einer erfindungsgemäßen ophthalmologischen Therapievorrichtung
- die Fig. 7 eine fünfte Ausführungsform einer erfindungsgemäßen ophthalmologischen Therapievorrichtung

Die Fig. 3a stellt eine erste Ausführungsform eines erfindungsgemäßen cornealen Zugangsschnitts 1 in einem Hornhautgewebe 6 eines Auges 600 dar. Er ist Ergebnis eines erfindungsgemäßen Verfahrens, bzw. einer Nutzung des erfindungsgemäßen Computerprogrammprodukts und insbesondere eines Einsatzes einer erfindungsgemäßen ophthalmologischen Lasertherapievorrichtung 100 in einer ersten konkreten Ausführungsform, in der im Steuersystem 400 zum einen der hier

gezeigte örtliche Verlauf des cornealen Zugangsschnitts 1 als Funktion der Größe des Augenkörpers und der Hornhautdicke programmiert ist, zum anderen durch eine entsprechend programmierte, vorübergehende Unterbrechung der Laserstrahlerzeugung während des Schritts der Erzeugung des cornealen Zugangsschnitts 1 für eine Unterbrechung im Schnittverlauf zwischen einem biplanaren Schnitt 11 und einem inneren vertikalen Vorschnitt 13 gesorgt wird, die gemeinsam den cornealen Zugangsschnitt 1 bilden.

Der biplanare Schnitt 11 verläuft dabei als „Tunnel“ durch das Hornhautgewebe 6 von einer äußeren Grenzfläche 61 des Hornhautgewebes 6 bis zu einer inneren Grenzfläche 62 des Hornhautgewebes 6. Durch ihn können dünne Instrumente in die Augenkammer eingeführt werden. Der innere vertikale Vorschnitt 13, der von einer inneren Grenzfläche 62 beginnend in Richtung der äußeren Grenzfläche 61 verläuft, aber weder diese erreicht, noch in direkter Verbindung mit dem biplanaren Schnitt 11 steht, dient der Verbesserung der Funktion des Zugangsschnitts 1.

Die Fig. 3b zeigt das Verhalten des in Fig. 3a dargestellten cornealen Zugangsschnitts 1 bei äußerer Druckeinwirkung: Wenn ein äußerer Druck 2 auf den Bulbus vorliegt, bietet das an der Stelle des inneren vertikalen Vorschnitts erzeugte Scharnier 51, auch „Posterior Hinge“ genannt, das in gewisser Weise auch als Dehnstelle agiert, wesentlich mehr Flexibilität als die in den Fig. 2a und 2b gezeigte Langerman-Schnittgeometrie, um die Wunde trotz der durch den äußeren Druck 2 entstehenden Erhöhung des Augeninnendrucks 3 geschlossen zu halten.

Die Fig. 4 zeigt eine zweite Ausführungsform eines erfindungsgemäßen cornealen Zugangsschnitts 1 in einem Hornhautgewebe 6 eines Auges 600. Er ist das Ergebnis eines erfindungsgemäßen Verfahrens, bzw. einer Nutzung des erfindungsgemäßen Computerprogrammprodukts und insbesondere eines Einsatzes einer erfindungsgemäßen ophthalmologischen Lasertherapievorrichtung 100 in einer zweiten konkreten Ausführungsform. Zum einen ist darin in einem Steuersystem 400 wiederum der hier gezeigte örtliche Verlauf des cornealen Zugangsschnitts 1 als Funktion der Größe des Augenkörpers und der Hornhautdicke programmiert. Zum anderen wird durch eine entsprechende programmierte Änderung der Laserstrahlungsintensität die Breite des Schnittes in Abhängigkeit des örtlichen

Verlaufs variiert und so zusätzlich zu einem biplanaren Schnitt 11 ein keilförmiger vertikaler Vorschnitt 14 erzeugt: Ausgehend von der äußeren Grenzfläche 61 eines Hornhautgewebes 6 eines Auges 600 wird der Fokus eines Femtosekundenlasers mit gleichbleibender Laserstrahlungsintensität senkrecht in das Hornhautgewebe 6 hinein bewegt, was einen Schnitt mit einer konstante Schnittbreite, als ersten Teil des biplanaren Schnitts 11, erzeugt. Am Punkt der Richtungsänderung 15 des biplanaren Schnitts 11 wird dann zunächst mit einer plötzlich erhöhten Laserstrahlungsintensität senkrecht weiter verfahren, allerdings mit einer von diesem Maximalwert ausgehenden kontinuierlichen Reduktion der Laserstrahlungsintensität. Anschließend wird der Fokus des Femtosekundenlasers zum Punkt der Richtungsänderung 15 durch das Positioniersystem zurückgeführt und von dort aus der zweite Teil des biplanaren Schnitts 11, schräg in das Hornhautgewebe 6 hinein mit leicht gewölbter Form, bis zum Erreichen der inneren Grenzfläche 61 unter Nutzung derselben gleichbleibenden Laserstrahlungsintensität wie für den ersten Teil des biplanaren Schnitts 11 durchgeführt.

Der corneale Zugangsschnitt 1 umfasst damit einen als „Tunnel“ durch das Hornhautgewebe 6 von einer äußeren Grenzfläche 61 des Hornhautgewebes 6 bis zu einer inneren Grenzfläche 62 des Hornhautgewebes ausgebildeten biplanaren Schnitt 11, und einen mit dem biplanaren Schnitt 11 in direkter Verbindung stehenden, keilförmigen, sich zum Ende hin verjüngenden vertikalen Vorschnitt 14. Durch diesen keilförmigen vertikalen Vorschnitt 14 wird die Funktion des Zugangsschnitts 1 insofern verbessert, als dass bei äußerer mechanischer Einwirkung wie beispielsweise einem äußeren Druck das an der Stelle des vertikalen Vorschnitts 14 entstehende Scharnier wesentlich flexibler ist und der entstandene Keil, also die „Ventilklappe“ weiter nach oben gegen die „Tunneldecke“ des biplanaren Schnitts 11 gedrückt bzw. abgeknickt werden kann, was die Wunde auch bei hohem Druck sicher verschließt und einen Austritt von Kammerwasser verhindert.

Die Fig. 5 zeigt eine dritte Ausführungsform eines erfindungsgemäßen cornealen Zugangsschnitts 1 in einem Hornhautgewebe 6 eines Auges 600, der wiederum Ergebnis eines erfindungsgemäßen Verfahrens, bzw. einer Nutzung des erfindungsgemäßen Computerprogrammprodukts und insbesondere eines Einsatzes einer erfindungsgemäßen ophthalmologischen Lasertherapievorrichtung 100 in einer

ritten konkreten Ausführungsform ist, in der im Steuersystem 400 zum einen der hier gezeigte örtliche Verlauf des cornealen Zugangsschnitts 1 als Funktion der Größe des Augenkörpers und der Hornhautdicke programmiert ist, zum anderen durch eine entsprechend programmierte, vorübergehende Unterbrechung der Laserstrahlerzeugung während des Schritts der Erzeugung des cornealen Zugangsschnitts 1 für eine Unterbrechung im Schnittverlauf zwischen einem biplanaren Schnitt 11 und zwei äußeren vertikalen Vorschnitten 16 gesorgt wird, die gemeinsam den cornealen Zugangsschnitt 1 bilden.

Der biplanare Schnitt 11 verläuft als „Tunnel“ durch das Hornhautgewebe 6 von einer äußeren Grenzfläche 61 des Hornhautgewebes 6 bis zu einer inneren Grenzfläche 62 des Hornhautgewebes 6. Die äußeren vertikalen Vorschnitte 16, die beidseitig des biplanaren Schnitts von einer äußeren Grenzfläche 61 beginnend in Richtung der inneren Grenzfläche 62 verlaufen, aber weder diese erreichen, noch in direkter Verbindung mit dem biplanaren Schnitt 11 stehen, dienen der Verbesserung der Funktion des Zugangsschnitts 1. Sie sind keilförmig ausgestaltet, was jeweils durch eine von einem Maximalwert ausgehende, kontinuierliche Reduktion der Laserstrahlungsintensität während einer Bewegung des Fokus eines Femtosekundenlasers senkrecht in das Hornhautgewebe 6 hinein zur Erzeugung eines solchen vertikalen Vorschnitts 16 erreicht wird.

Die Fig. 6 stellt eine vierte Ausführungsform einer erfindungsgemäßen ophthalmologischen Therapievorrichtung 100 mit einem Lasersystem 200 zur Erzeugung eines Femtosekunden-Laserstrahls 500, einem Positioniersystem 300 zur örtlichen Verschiebung des Fokus des Laserstrahls 500 und einem einteiligen Steuersystem 400 zur Steuerung der Arbeitsparameter des Positioniersystems 300 und des Lasersystems 200 dar. Diese ophthalmologische Lasertherapievorrichtung 100 enthält eine Schnittstelle 700, mit der - manuell oder automatisch, je nachdem wie die Daten vorliegen,- diejenigen Untersuchungsdaten, die das Programm des Steuersystems 400 zur Erstellung eines vierten erfindungsgemäßen cornealen Zugangsschnitts 1 benötigt, und die bei einer Untersuchung des zu therapierenden Auges 600 kurz vor der Behandlung mit der ophthalmologischen Therapievorrichtung 100 mit einem externen Untersuchungssystem 800 erzeugt wurden, an das Steuersystem 400 weitergegeben werden können. Im manuellen Eingabemodus

werden über einen Eingabebildschirm die erforderlichen Werte nacheinander abgefragt und durch den Operateur eingegeben.

Im Gegensatz dazu zeigt die Fig. 7 eine fünfte Ausführungsform einer erfindungsgemäßen ophthalmologischen Therapievorrichtung. Diese fünfte Ausführungsform unterscheidet sich von der vierten nur dadurch, dass sie ein integriertes Untersuchungssystem 801 enthält, das die Untersuchungsdaten erzeugt, die über eine Schnittstelle 700 an das Steuersystem 400 weitergegeben werden, und hier zur Erstellung eines fünften erfindungsgemäßen cornealen Zugangsschnitts 1 genutzt werden. Dabei kann das Steuersystem 400 über die Schnittstelle 700 auch während des Schritts der Erzeugung des cornealen Zugangsschnitts 1 weitere Untersuchungsdaten, beispielsweise als Bestätigung des bisherigen Erfolgs oder zur Korrektur bzw. zur Präzisierung des begonnenen Schnitts von Untersuchungssystem 801 abfordern, empfangen und weiterverarbeiten.

Die vorstehend genannten und in verschiedenen Ausführungsbeispielen erläuterten Merkmale der Erfindung sind dabei nicht nur in den beispielhaft angegebenen Kombinationen, sondern auch in anderen Kombinationen oder allein einsetzbar, ohne den Rahmen der vorliegenden Erfindung zu verlassen.

Eine auf Vorrichtungsmerkmale bezogene Beschreibung gilt bezüglich dieser Merkmale analog für das entsprechende Verfahren, während Verfahrensmerkmale entsprechend funktionelle Merkmale der beschriebenen Vorrichtung darstellen.

## Patentansprüche

1. Ophthalmologische Lasertherapievorrichtung (100) umfassend
  - ein Lasersystem (200), eingerichtet zur Erzeugung eines gepulsten Laserstrahls (500)
  - ein Positioniersystem (300), eingerichtet zur örtlichen Verschiebung eines Fokusvolumens des Laserstrahls (500) in einem Zielgebiet
  - ein Steuersystem (400), eingerichtet zur Steuerung der Arbeitsparameter des Positioniersystems (300) und/oder der Arbeitsparameter des Lasersystems (200)
  - dadurch gekennzeichnet, dass das Steuersystem (400) programmiert ist, zur Erzeugung eines cornealen Zugangsschnittes (1) in einem Hornhautgewebe (6) eines Auges (600) durch Photodisruption, die Arbeitsparameter des Lasersystems (200) und/oder des Positioniersystems (300) in Abhängigkeit von einer örtlichen Lage des Fokusvolumens des Laserstrahls im Hornhautgewebe (6) so zu verändern, dass der Zugangsschnitt (1) im Hornhautgewebe (6) in seiner Breite variiert und/oder unterbrochen ist.
  
2. Ophthalmologische Lasertherapievorrichtung (100) nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch ein Steuersystem (400), das programmiert ist, die Arbeitsparameter so zu verändern, dass im Hornhautgewebe (6) ein biplanarer Schnitt (11) und ein von diesem ausgehender vertikaler, keilförmiger, sich zum Ende hin verjüngender Vorschnitt (14) erzeugt wird.
  
3. Ophthalmologische Lasertherapievorrichtung (100) nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch ein Steuersystem (400), das programmiert ist, die Arbeitsparameter so zu verändern, dass im Hornhautgewebe (6) ein biplanarer Schnitt (11) und ein nicht mit diesem in direkter Verbindung stehender, innerer vertikaler Vorschnitt (13) und/oder äußerer vertikaler Vorschnitt (16) im Bereich des biplanaren Schnittes (11) erzeugt wird.

4. Ophthalmologische Lasertherapievorrichtung (100) nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass das Lasersystem (200) ein Femtosekunden (Fs)- Lasersystem ist.
5. Ophthalmologische Lasertherapievorrichtung (100) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, gekennzeichnet durch ein Steuersystem (400), das eine Schnittstelle (700) zur Verarbeitung von Untersuchungsdaten eines Auges (600) aus einem Untersuchungssystem (800, 801) umfasst.
6. Ophthalmologische Lasertherapievorrichtung (100) nach einem der Ansprüche 1 bis 5, das ein Untersuchungssystem (801) zur Erzeugung von Untersuchungsdaten eines Auges (600) enthält.
7. Ophthalmologische Lasertherapievorrichtung (100) nach Anspruch 5 oder 6, eingerichtet zur Steuerung der Erzeugung eines cornealen Zugangsschnitts (1) mittels der Untersuchungsdaten aus dem Untersuchungssystem (800, 801).
8. Ophthalmologische Lasertherapievorrichtung (100) nach einem der Ansprüche 1 bis 7, gekennzeichnet durch ein Positioniersystem (300), das mindestens eine der Komponenten fester oder drehbarer Spiegel, Linse und Verfahrenmodul enthält.
9. Verfahren zur Durchführung eines cornealen Zugangsschnittes (1) in einem Hornhautgewebe (6) eines Auges (600), wobei
  - ein biplanarer Schnitt (11) und ein vertikaler Vorschnitt (13, 14, 16) derart erzeugt werden,
    - dass der vertikale Vorschnitt (14) mit dem biplanaren Schnitt (11) in direkter Verbindung steht und ein keilförmiges, zum biplanaren Schnitt (11) abgewandten Ende hin verjüngender Profil aufweist, oder
    - dass der vertikale Vorschnitt (13, 16) im Bereich des biplanaren Schnitts (11) angeordnet ist, aber nicht in direkter Verbindung mit dem biplanaren Schnitt (11) steht.

10. Computerprogrammprodukt, eingerichtet zur Durchführung eines Verfahrens nach Anspruch 9 auf einer ophthalmologischen Lasertherapievorrichtung (100).

11. Computerprogrammprodukt nach Anspruch 10, eingerichtet zur Veränderung von Arbeitsparametern eines Positioniersystems (300) und/oder eines Lasersystems (200) der ophthalmologischen Lasertherapievorrichtung (100) in Abhängigkeit von einer örtlichen Lage des Fokusbereichs im Hornhautgewebe (6) des Auges (600) mittels eines Steuersystems (400), derart, dass eine durch Photodisruption erzeugte Schnittbreite im Hornhautgewebe (6) variiert und/oder unterbrochen ist.

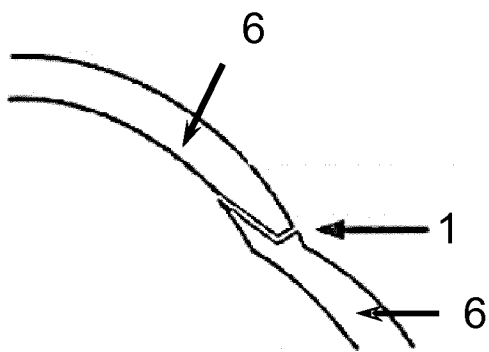


Fig. 1a

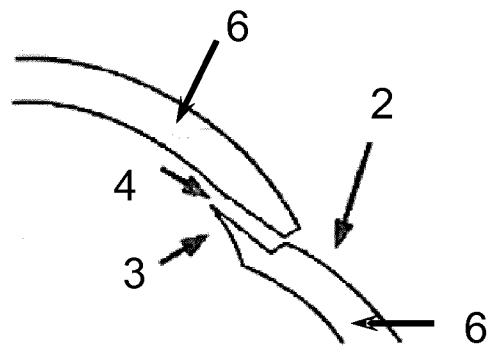


Fig. 1b

Stand der Technik

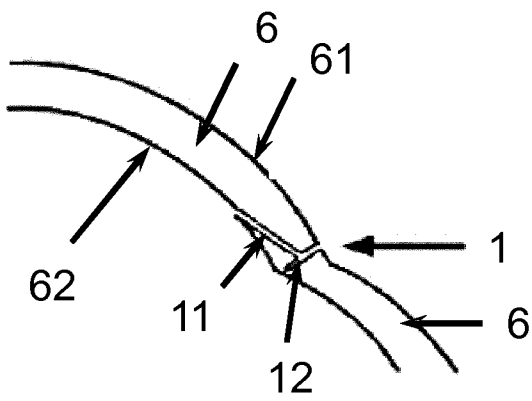


Fig. 2a

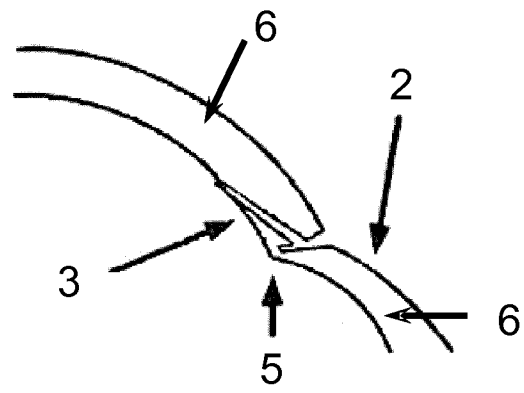


Fig. 2b

Stand der Technik

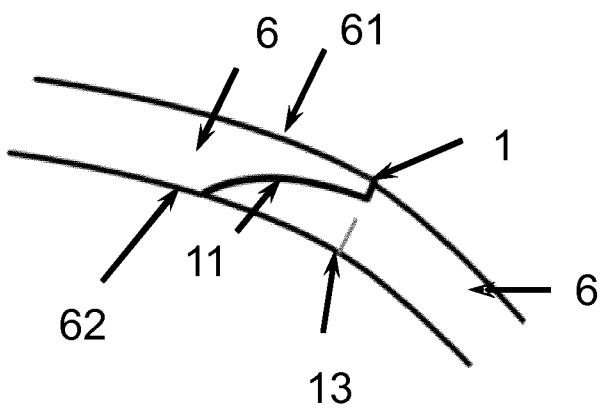


Fig. 3a

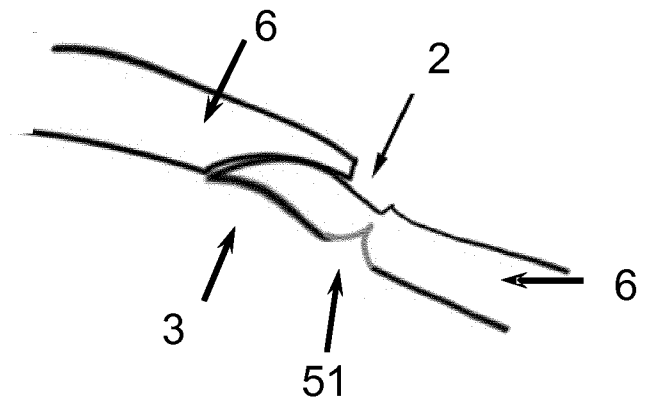


Fig. 3b

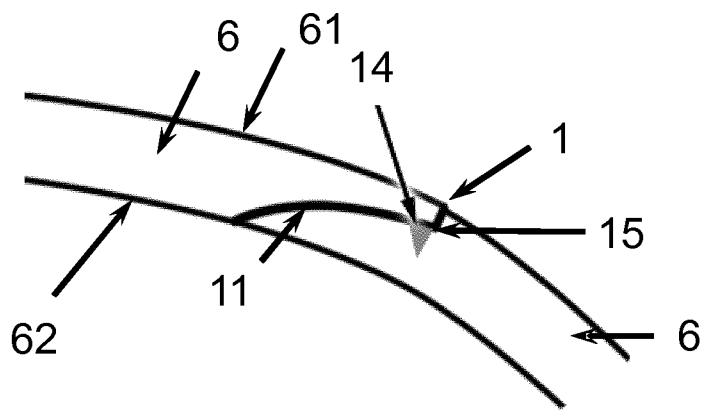


Fig. 4

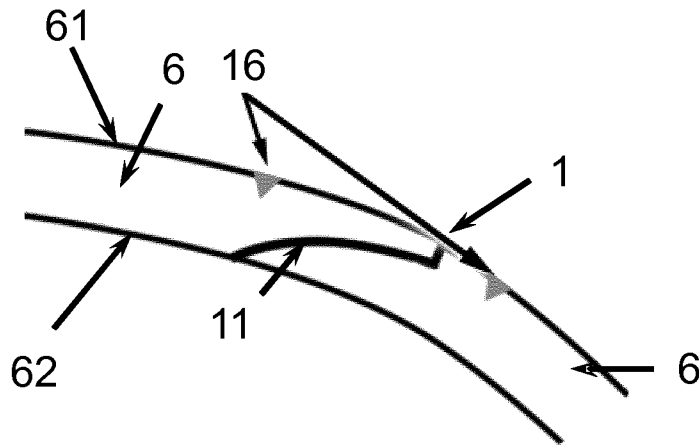


Fig. 5

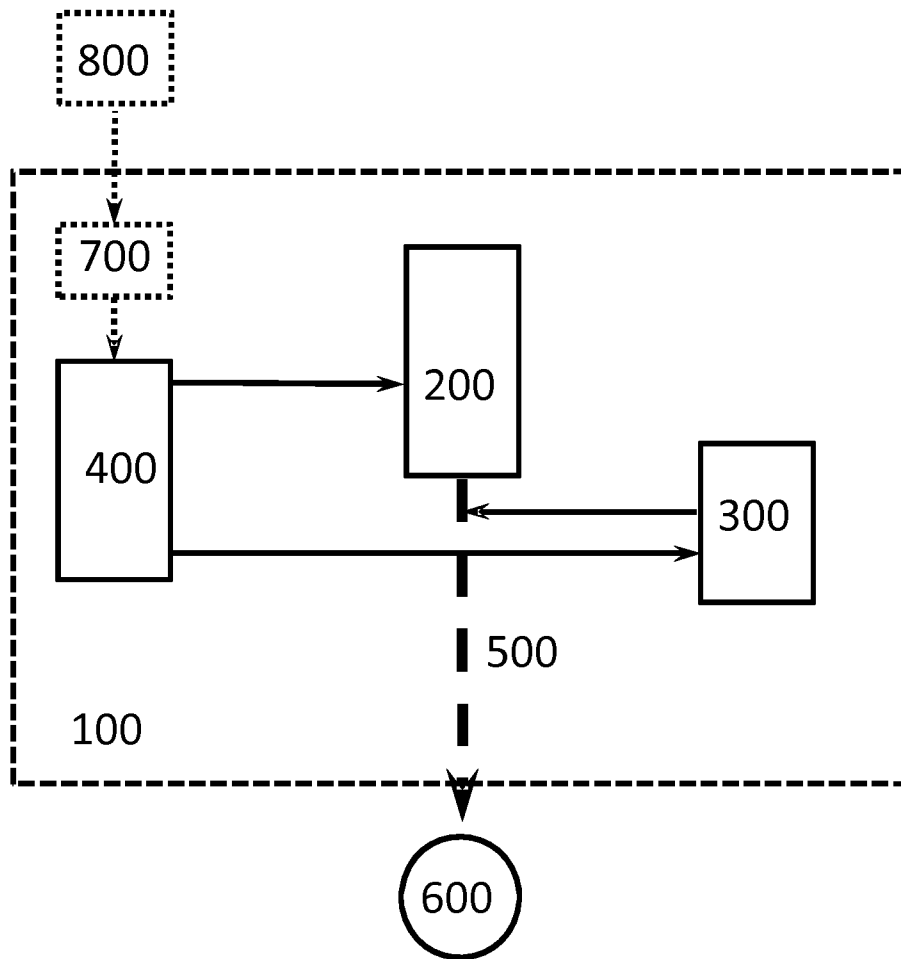


Fig. 6

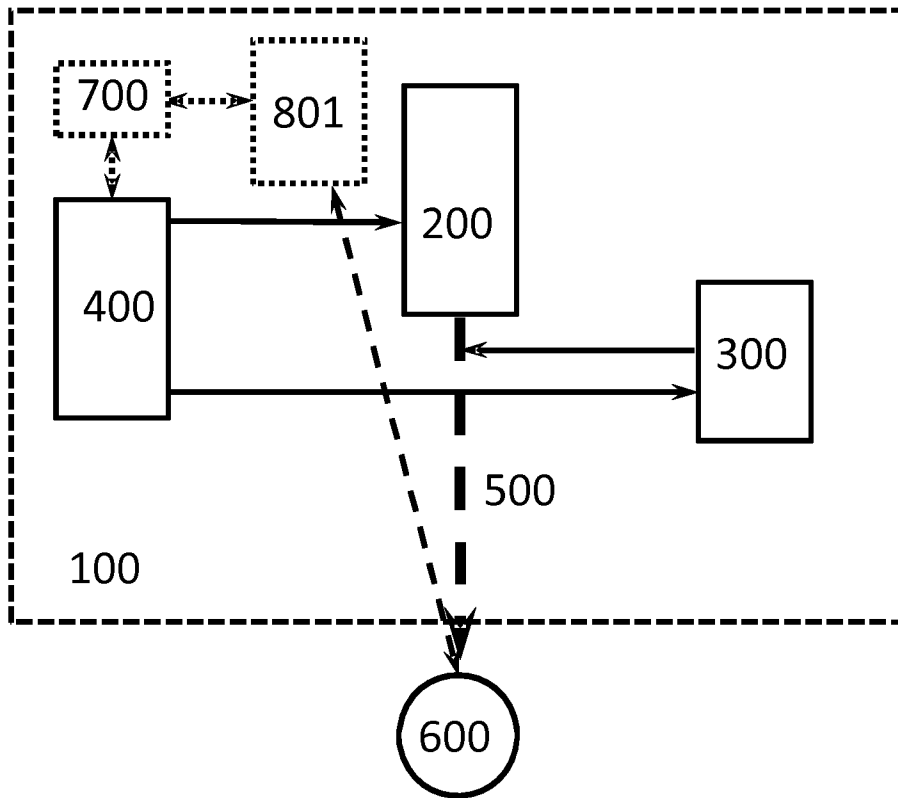


Fig. 7

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No  
PCT/EP2016/053707

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER INV. A61F9/008 ADD.		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) A61F		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) EPO-Internal		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2008/058777 A1 (KURTZ RONALD M [US] ET AL) 6 March 2008 (2008-03-06) abstract figures 1A-1H, 2 paragraphs [0013], [0019] -----	1-4,8, 10,11
X	DE 10 2013 004688 A1 (ZEISS CARL MEDITEC AG [DE]) 18 September 2014 (2014-09-18) abstract claim 1 figures 7a-7b paragraphs [0007] - [0013], [0025], [0026], [0030], [0032], [0036], [0040] ----- -/--	1,4-8, 10,11
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents :		
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed		"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family
Date of the actual completion of the international search  9 May 2016		Date of mailing of the international search report  18/05/2016
Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Authorized officer  Jansen, Birte

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2016/053707

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WO 2004/017878 A1 (QUINTIS GMBH [DE]; VAN DER HEYD GERD [DE]; HARRER MICHAEL [DE]; LANGEN) 4 March 2004 (2004-03-04) abstract figures 2-7 page 8, line 4 - line 8 page 7, line 16 - line 22 page 10, line 4 - page 11, line 2 page 12, line 16 - line 29 -----	1,2,4-8, 10,11
X	WO 2008/030699 A2 (INTRALASE CORP [US]; KURTZ RONALD M [US]; JUHASZ TIBOR [US]; SARAYBA M) 13 March 2008 (2008-03-13) abstract figures 1A,1B,5 paragraphs [0015], [0016], [0023] -----	1,2,4,6, 10,11

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.  
PCT/EP2016/053707

**Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)**

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

- 1.  Claims Nos.: 9  
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:  
**see sheet PCT/ISA/210**
  
- 2.  Claims Nos.:  
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:
  
- 3.  Claims Nos.:  
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

**Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)**

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

- 1.  As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
- 2.  As all searchable claims could be searched without effort justifying additional fees, this Authority did not invite payment of additional fees.
- 3.  As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:
  
- 4.  No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

**Remark on Protest**

- The additional search fees were accompanied by the applicant's protest and, where applicable, the payment of a protest fee.
- The additional search fees were accompanied by the applicant's protest but the applicable protest fee was not paid within the time limit specified in the invitation.
- No protest accompanied the payment of additional search fees.

Continuation of Box II.1

Claim 9

The method for carrying out a corneal access incision, involving the production of a biplanar incision and a vertical pre-incision, as defined in claim 9, is considered a method for treatment of the human or animal body by surgery because it intervenes into the structure of the organism. According to PCT Rule 39.1(iv), said method is thus excluded from patentability.

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No PCT/EP2016/053707
---

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2008058777 A1	06-03-2008	AU 2007292492 A1	13-03-2008
		CA 2662283 A1	13-03-2008
		EP 2059182 A2	20-05-2009
		US 2008058777 A1	06-03-2008
		WO 2008030719 A2	13-03-2008
-----			
DE 102013004688 A1	18-09-2014	DE 102013004688 A1	18-09-2014
		US 2015374548 A1	31-12-2015
		WO 2014140182 A1	18-09-2014
-----			
WO 2004017878 A1	04-03-2004	AU 2003266286 A1	11-03-2004
		CA 2496057 A1	04-03-2004
		CN 1674840 A	28-09-2005
		DE 10237945 A1	11-03-2004
		EP 1530451 A1	18-05-2005
		JP 2005536266 A	02-12-2005
		US 2006100612 A1	11-05-2006
		WO 2004017878 A1	04-03-2004
-----			
WO 2008030699 A2	13-03-2008	AU 2007292548 A1	13-03-2008
		CA 2659860 A1	13-03-2008
		EP 2059203 A2	20-05-2009
		US 2008082086 A1	03-04-2008
		US 2015297403 A1	22-10-2015
		WO 2008030699 A2	13-03-2008
-----			

**INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT**

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2016/053707

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES  
 INV. A61F9/008  
 ADD.  
 Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTER GEBIETE  
 Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole )  
 A61F

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

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

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 2008/058777 A1 (KURTZ RONALD M [US] ET AL) 6. März 2008 (2008-03-06) Zusammenfassung Abbildungen 1A-1H, 2 Absätze [0013], [0019] -----	1-4,8, 10,11
X	DE 10 2013 004688 A1 (ZEISS CARL MEDITEC AG [DE]) 18. September 2014 (2014-09-18) Zusammenfassung Anspruch 1 Abbildungen 7a-7b Absätze [0007] - [0013], [0025], [0026], [0030], [0032], [0036], [0040] ----- -/--	1,4-8, 10,11

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

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

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

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche	Absenddatum des internationalen Recherchenberichts
9. Mai 2016	18/05/2016

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

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	WO 2004/017878 A1 (QUINTIS GMBH [DE]; VAN DER HEYD GERD [DE]; HARRER MICHAEL [DE]; LANGEN) 4. März 2004 (2004-03-04) Zusammenfassung Abbildungen 2-7 Seite 8, Zeile 4 - Zeile 8 Seite 7, Zeile 16 - Zeile 22 Seite 10, Zeile 4 - Seite 11, Zeile 2 Seite 12, Zeile 16 - Zeile 29 -----	1,2,4-8, 10,11
X	WO 2008/030699 A2 (INTRALASE CORP [US]; KURTZ RONALD M [US]; JUHASZ TIBOR [US]; SARAYBA M) 13. März 2008 (2008-03-13) Zusammenfassung Abbildungen 1A,1B,5 Absätze [0015], [0016], [0023] -----	1,2,4,6, 10,11

**Feld Nr. II Bemerkungen zu den Ansprüchen, die sich als nicht recherchierbar erwiesen haben (Fortsetzung von Punkt 2 auf Blatt 1)**

Gemäß Artikel 17(2)a) wurde aus folgenden Gründen für bestimmte Ansprüche kein internationaler Recherchenbericht erstellt:

1.  Ansprüche Nr. 9  
weil sie sich auf Gegenstände beziehen, zu deren Recherche diese Behörde nicht verpflichtet ist, nämlich  
siehe BEIBLATT PCT/ISA/210
2.  Ansprüche Nr.  
weil sie sich auf Teile der internationalen Anmeldung beziehen, die den vorgeschriebenen Anforderungen so wenig entsprechen, dass eine sinnvolle internationale Recherche nicht durchgeführt werden kann, nämlich
3.  Ansprüche Nr.  
weil es sich dabei um abhängige Ansprüche handelt, die nicht entsprechend Satz 2 und 3 der Regel 6.4 a) abgefasst sind.

**Feld Nr. III Bemerkungen bei mangelnder Einheitlichkeit der Erfindung (Fortsetzung von Punkt 3 auf Blatt 1)**

Diese Internationale Recherchenbehörde hat festgestellt, dass diese internationale Anmeldung mehrere Erfindungen enthält:

1.  Da der Anmelder alle erforderlichen zusätzlichen Recherchegebühren rechtzeitig entrichtet hat, erstreckt sich dieser internationale Recherchenbericht auf alle recherchierbaren Ansprüche.
2.  Da für alle recherchierbaren Ansprüche die Recherche ohne einen Arbeitsaufwand durchgeführt werden konnte, der zusätzliche Recherchegebühr gerechtfertigt hätte, hat die Behörde nicht zur Zahlung solcher Gebühren aufgefordert.
3.  Da der Anmelder nur einige der erforderlichen zusätzlichen Recherchegebühren rechtzeitig entrichtet hat, erstreckt sich dieser internationale Recherchenbericht nur auf die Ansprüche, für die Gebühren entrichtet worden sind, nämlich auf die Ansprüche Nr.
4.  Der Anmelder hat die erforderlichen zusätzlichen Recherchegebühren nicht rechtzeitig entrichtet. Dieser internationale Recherchenbericht beschränkt sich daher auf die in den Ansprüchen zuerst erwähnte Erfindung; diese ist in folgenden Ansprüchen erfasst:

**Bemerkungen hinsichtlich eines Widerspruchs**

- Der Anmelder hat die zusätzlichen Recherchegebühren unter Widerspruch entrichtet und die gegebenenfalls erforderliche Widerspruchsgebühr gezahlt.
- Die zusätzlichen Recherchegebühren wurden vom Anmelder unter Widerspruch gezahlt, jedoch wurde die entsprechende Widerspruchsgebühr nicht innerhalb der in der Aufforderung angegebenen Frist entrichtet.
- Die Zahlung der zusätzlichen Recherchegebühren erfolgte ohne Widerspruch.

WEITERE ANGABEN

PCT/ISA/ 210

Fortsetzung von Feld II.1

Ansprüche Nr.: 9

Das Verfahren zur Durchführung eines cornealen Zugangsschnittes, beinhaltend das Erzeugen eines biplanaren Schnittes und eines vertikalen Vorschnittes, wie in Anspruch 9 definiert, wird als eine Methode zur chirurgischen Behandlung des menschlichen oder tierischen Körpers angesehen, da sie in die Struktur des Organismus eingreift. Besagte Methode ist deshalb nach Regel 39.1(iv) PCT von der Patentierbarkeit ausgeschlossen.

**INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT**

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2016/053707

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2008058777 A1	06-03-2008	AU 2007292492 A1	13-03-2008
		CA 2662283 A1	13-03-2008
		EP 2059182 A2	20-05-2009
		US 2008058777 A1	06-03-2008
		WO 2008030719 A2	13-03-2008
-----			
DE 102013004688 A1	18-09-2014	DE 102013004688 A1	18-09-2014
		US 2015374548 A1	31-12-2015
		WO 2014140182 A1	18-09-2014
-----			
WO 2004017878 A1	04-03-2004	AU 2003266286 A1	11-03-2004
		CA 2496057 A1	04-03-2004
		CN 1674840 A	28-09-2005
		DE 10237945 A1	11-03-2004
		EP 1530451 A1	18-05-2005
		JP 2005536266 A	02-12-2005
		US 2006100612 A1	11-05-2006
		WO 2004017878 A1	04-03-2004
-----			
WO 2008030699 A2	13-03-2008	AU 2007292548 A1	13-03-2008
		CA 2659860 A1	13-03-2008
		EP 2059203 A2	20-05-2009
		US 2008082086 A1	03-04-2008
		US 2015297403 A1	22-10-2015
		WO 2008030699 A2	13-03-2008
-----			