

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 461 551**

51 Int. Cl.:

**A61B 3/113** (2006.01)

**A61F 9/008** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.02.2010** **E 10717518 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **26.03.2014** **EP 2536327**

54 Título: **Procedimiento para determinar desviaciones entre sistemas de coordenadas de diferentes sistemas técnicos**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**20.05.2014**

73 Titular/es:

**WAVELIGHT GMBH (100.0%)**  
**Am Wolfsmantel 5**  
**91058 Erlangen, DE**

72 Inventor/es:

**ABRAHAM, MARIO;**  
**MATSCHNIGG, JOACHIM;**  
**AGETHEN, JOHANNES y**  
**KLAFKE, MARIO**

74 Agente/Representante:

**CURELL AGUILÁ, Mireia**

**ES 2 461 551 T3**

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

## DESCRIPCIÓN

Procedimiento para determinar desviaciones entre sistemas de coordenadas de diferentes sistemas técnicos.

5 La presente invención se refiere a un procedimiento para determinar desviaciones entre sistemas de coordenadas de diferentes sistemas técnicos.

10 Los sistemas técnicos funcionan frecuentemente con sistemas de coordenadas, que necesitan para determinar la posición de sucesos que han aparecido, de acciones que hay que llevar a cabo o/y de objetos en reposo o en movimiento. Constituyen un ejemplo de ello los sistemas de sensores que registran la posición de un suceso o de un objeto en un sistema de coordenadas de una o varias dimensiones. Los sistemas de sensores de este tipo pueden estar basados, por ejemplo, en cámaras y pueden estar estructurados como sistema de seguimiento del movimiento. Los sistemas de seguimiento del movimiento de este tipo se utilizan para reconocer y seguir la posición (variable) de objetos en movimiento.

15 Un ejemplo de un sistema de seguimiento del movimiento especialmente contemplado en el marco de la invención es un denominado Eye-Tracker, con el cual se pueden registrar movimientos de los ojos. La utilización de Eye-Trackers es una práctica usual en la cirugía oftalmológica por láser, es decir el tratamiento del ojo humano mediante radiación láser con el propósito de la eliminación o por lo menos de la reducción de disfunciones o fenómenos patológicos del ojo.

20 Dado que el ojo humano nunca está -sin fijación mecánica- completamente en reposo, sino que incluso al visar un objetivo de fijación determinado realiza continuamente movimientos (por ejemplo sacudidas) más pequeñas o más grandes, se utiliza un Eye-Tracker en diferentes técnicas del tratamiento ocular mediante cirugía láser, con el fin de registrar los movimientos del ojo que hay que tratar y controlar el láser de tratamiento dependiendo de la posición del ojo registrada. Como ejemplo a este respecto cabe mencionar en especial el tratamiento láser refractivo, en el cual se ablaciona (es decir, se retira de la superficie) un tejido de la córnea mediante radiación láser en el rango de las longitudes de onda UV, con el fin de formar de nuevo de este modo la superficie delantera de la córnea y modificar con ello la propiedades de refracción de la córnea. Un ejemplo de una técnica refractiva de este tipo lo constituye la llamada LASIK (Laser In Situ Keratomileusis) en la cual se corta, en primer lugar, mediante un microqueratomo mecánico o mediante radiación láser de femtosegundos, un disquito de tapa superficial de la córnea, designado usualmente como Flap en el mundo profesional. El Flap no se separa al mismo tiempo por completo de la córnea sino que se abate hacia el lado y se somete al material de la córnea puesto de este manera al descubierto a un tratamiento láser de ablación. El Flap es abatido a continuación de vuelta. Debido a que la capa externa de epitelio de la córnea resulta poco dañada en el transcurso de este método, la cicatrización de la herida tiene lugar de forma comparativamente rápida.

25 Los dispositivos láser que generan un rayo láser controlado en cuanto a la posición para el tratamiento de un material constituyen otro ejemplo más de sistemas técnicos que trabajan con un sistema de coordenadas. Las posiciones de ablación del rayo láser, es decir aquellas posiciones sobre las cuales debe ser dirigido el rayo láser, se pueden definir al mismo tiempo mediante posiciones de coordenadas en el sistema de coordenadas del dispositivo láser. En dispositivos láser que generan un rayo láser pulsado se puede asignar cada posición de coordenadas a un impulso láser individual o a un grupo de impulsos láser.

30 La mención anterior a la utilización de un Eye-Trackers durante el tratamiento del ojo humano mediante cirugía láser ilustran que en la práctica aparecen con frecuencia soluciones en las cuales interactúan varios sistemas técnicos con en cada caso un sistema de coordenadas propio. Cuando uno de los sistemas técnicos transmite valores de coordenadas, que ha determinado o fijado con respecto a su propio sistema de coordenadas, a otro sistema técnico, que toma estos valores de coordenadas transmitidos, para determinar por ejemplo la posición de coordenadas de una acción que hay que llevar a cabo en su sistema de coordenadas, pueden aparecer problemas, si los sistemas de coordenadas de ambos sistemas técnicos no están ajustados entre sí. Se puede imaginar sin más que un determinado punto pueda tener en el espacio, en el sistema de coordenadas de un sistema técnico, otros valores de coordenadas que el mismo punto del espacio en el sistema de coordenadas del otro sistema de coordenadas. Esto se puede deber, por ejemplo, a una posición diferente del origen de coordenadas de ambos sistemas de coordenadas en el espacio. Puede tener que ver también con un giro relativo de los dos sistemas de coordenadas entre sí. Otra causa puede radicar en el diferente escalado de los ejes coordenados, es decir que el mismo valor de coordenadas nominal a lo largo de un eje puede estar situado en un sistema de coordenadas a una distancia distinta con respecto al origen de coordenadas que en el otro sistema de coordenadas.

35 En la medida en que los sistemas de coordenadas de sistemas técnicos que interaccionan entre sí no sean idénticos entre sí en el espacio es necesario, para un funcionamiento sin problemas de la interacción, tener por lo menos un conocimiento exacto acerca de la posición espacial diferente o/y el escalado diferente de los sistemas de coordenadas, para poder convertir de esta manera correctamente una posición de coordenadas de uno de los sistemas de coordenadas en una posición de coordenadas correspondiente de otro sistema de coordenadas. Este conocimiento no existe con frecuencia *a priori* y debe ser obtenido de forma laboriosa.

El documento US nº 4.134.681 trata de la determinación de la orientación relativa de dos sistemas físicos. Para ello se determina para dos vectores de rayo, los cuales indican por ejemplo la dirección de un rayo láser, la dirección del vector correspondiente en los sistemas de coordenadas de los dos sistemas físicos, de manera que en total se obtienen cuatro vectores de dirección, dos para cada sistema de coordenadas. A partir de estos cuatro vectores de dirección se determina por consiguiente la orientación relativa de los dos sistemas de coordenadas y, por consiguiente, de los dos sistemas físicos.

La invención se plantea el problema de proponer una realización sencilla y sobre todo accesible para la realización automática para determinar desviaciones entre los sistemas de coordenadas de sistemas técnicos diferentes.

Para la solución de este problema la invención prevé, coincidiendo con las características de la reivindicación 1, un procedimiento para determinar desviaciones entre sistemas de coordenadas de diferentes sistemas técnicos, que comprende

- determinar una posición de coordenadas de una característica de referencia de un objeto de prueba en el sistema de coordenadas de un primer sistema técnico,
- aplicar por lo menos una característica de prueba en el objeto de prueba, siendo aplicada la característica de prueba en el sistema de coordenadas de un segundo sistema técnico en una posición de coordenadas, la cual es fijada en función de la posición de coordenadas determinada de la característica de referencia,
- determinar una posición de coordenadas de dicha por lo menos una característica de prueba o/y de una característica derivada de la misma en el sistema de coordenadas del primer sistema técnico, y
- determinar desviaciones entre los sistemas de coordenadas del primer y segundo sistema técnico por lo menos sobre la base de:
  - (a) la posición de coordenadas determinada de dicha por lo menos una característica de prueba o/y de dicha por lo menos una característica derivada de la misma en el sistema de coordenadas del primer sistema técnico y
  - (b) la posición de coordenadas de la característica de referencia en el sistema de coordenadas del primer sistema técnico.

En la solución según la invención se utiliza, en una estructuración, un objeto de prueba, el cual está dotado con una muestra de referencia, el cual puede ser detectado por un primer sistema técnico. La muestra de referencia puede formar directamente la característica de referencia. La muestra de referencia puede estar configurada, de forma alternativa, de tal manera que se pueda deducir de ella claramente una característica de referencia. La característica de referencia puede formar, por ejemplo, el centro (punto central) de un objeto geométrico que sirve como muestra de referencia. Los algoritmos que calculan, a partir de una forma geométrica detectada, el centro son en sí conocidos y no necesitan ser descritos en detalle en este punto. En cualquier caso en una primera estructuración preferida el sistema técnico está en disposición de determinar, sobre la base de la muestra de referencia detectada, la posición de coordenadas de la característica de referencia en su sistema de coordenadas (es decir, en el sistema de coordenadas del primer sistema técnico).

La posición de coordenadas determinada de esta forma (representada mediante uno o varios valores de coordenadas) es transmitida acto seguido desde el primer sistema técnico a un segundo sistema técnico. El segundo sistema técnico utiliza los valores de coordenadas transmitidos de la característica de referencia, como si fuesen valores de coordenadas de su propio sistema de coordenadas (es decir, del sistema de coordenadas de segundo sistema técnico), y determina en su sistema de coordenadas la posición de coordenadas para una característica de prueba que hay que generar de acuerdo con una regla de generación dependiendo de la posición de coordenadas transmitida de la característica de referencia. Por ejemplo, para la característica de prueba puede estar dada la regla de generación de que a lo largo de por lo menos una parte de los ejes coordenados del sistema de coordenadas del segundo sistema técnico debe tener en cada caso una distancia de coordenadas predeterminada con respecto a la característica de referencia. Mediante una regla de generación de este tipo se determina con claridad, en el sistema de coordenadas del segundo sistema técnico, la posición de la característica de prueba con respecto a la posición de la característica de referencia.

En una estructuración preferida el segundo sistema técnico fija acto seguido la característica de prueba, de la manera anterior, dependiendo de la posición de coordenadas determinada a partir de la posición de coordenadas de la característica de referencia. En la medida en que haya que fijar varias características de prueba el segundo sistema técnico actúa de forma correspondiente para cada característica de prueba.

En una etapa subsiguiente el objeto de prueba es explorado de nuevo, con la muestra de referencia y las características de prueba fijadas, por el primer sistema técnico. Al mismo tiempo el primer sistema técnico determina qué posición de coordenadas tiene la por lo menos una característica de prueba o/y por lo menos una característica

derivada de la misma en el sistema de coordenadas del primer sistema técnico. Basándose en esto se pueden determinar una o varias desviaciones dentro del sistema de coordenadas de primer sistema técnico. Preferentemente se determina en primer lugar un vector de desplazamiento, que está desplazado el sistema de coordenadas del segundo sistema técnico en el espacio con respecto al sistema de coordenadas del primer sistema técnico, o/y se determina un giro relativo entre los sistemas de coordenadas de los dos sistema técnicos o/y se determinan diferencias de escalado entre los sistemas de coordenadas de los dos sistemas técnicos.

Las desviaciones determinadas se pueden convertir en uno o varios factores de corrección que son utilizados por el segundo sistema técnico, durante el funcionamiento posterior, para la corrección de eventuales posiciones de coordenadas, que recibe transmitidas por el primer sistema técnico. De este modo se consigue un ajuste de los sistemas de coordenadas de los sistemas técnicos.

En una estructuración preferida se aplican, en el marco del procedimiento según la invención, varias características de prueba en puntos diferentes del objeto de prueba. Por lo menos una parte de las características de prueba se puede fijar al mismo tiempo en una disposición poligonal, por ejemplo una disposición cuadrangular, alrededor de la característica de referencia en el objeto de prueba. Como una característica derivada se puede determinar entonces un centro poligonal de las características de prueba dispuestas de forma poligonal y se puede determinar en el sistema de coordenadas del primer sistema técnico una desviación entre la posición de coordenadas de la característica de referencia y la posición de coordenadas del centro poligonal.

De acuerdo con un perfeccionamiento las desviaciones entre los sistemas de coordenadas del primer y el segundo sistema técnico se determinan además sobre la base de una posición de coordenadas teórica de por lo menos una característica entre las características de prueba y las características derivadas en el sistema de coordenadas del primer sistema técnico. La posición de coordenadas teóricas de una característica de prueba se puede determinar, por ejemplo, mediante la utilización de la regla de generación mencionada con anterioridad, en el sistema de coordenadas del primer sistema técnico. Cuando la regla de generación prevé, por ejemplo, una distancia  $x$  predeterminada para la característica de prueba y una distancia  $y$  predeterminada con respecto a la característica de referencia a lo largo de dos ejes  $x$ ,  $y$  del sistema de coordenadas del segundo sistema técnico, entonces se puede determinar la posición de coordenadas teórica de la característica de prueba en el sistema de coordenadas del primer sistema técnico gracias a que se pueden utilizar las mismas distancias de coordenadas nominales (numéricas) sobre la posición de coordenadas determinada de la característica de referencia.

De acuerdo con una forma de realización preferida el primer sistema técnico comprende un dispositivo de seguimiento del movimiento con una cámara dirigida hacia el objeto de prueba, determinando el dispositivo de seguimiento del movimiento la posición de coordenadas de la característica de referencia y de dicha por lo menos una característica de prueba o/y derivada en un primer sistema de coordenadas.

El objeto de prueba puede llevar una muestra cuyo centro determina el dispositivo de seguimiento del movimiento como característica de referencia. La muestra (muestra de referencia) puede ser por ejemplo una muestra superficial la cual contrasta ópticamente con respecto a la zona circundante. El contraste óptico debería existir por lo menos en la frontera de la muestra de referencia con respecto a la zona circundante. Se puede llevar a cabo parcialmente mediante niveles de gris diferentes o tonos de color diferentes de la muestra y de la zona circundante. De forma alternativa o adicional es posible generar o reforzar el contraste entre la muestra de referencia y la zona circundante, gracias a que ambas zonas estén configuradas de manera distinta o a que una de las zonas esté configurada y la otra zona esté desestructurada. La zona circundante de la muestra de referencia puede estar dotada, por ejemplo, con una red de puntos o líneas impresos, mientras que la muestra de referencia está desestructurada y está rellena en toda su superficie únicamente con un tono de gris o de color determinado.

Por lo demás no es necesario que la muestra de referencia o/y la zona circundante tengan en cada caso únicamente un único color. Se puede realizar sin más una graduación de color o de grises dentro de la muestra de referencia o/y dentro de la zona circundante.

La muestra de referencia puede tener un perímetro redondo, por ejemplo un perímetro circular o elíptico. De esta manera se puede simular una proyección bidimensional de una pupila humana. Al mismo tiempo el tamaño de la muestra de referencia puede corresponder, por lo menos de manera aproximada, a una pupila humana. La muestra de referencia representa en este caso una reproducción de la pupila. Esto es adecuado en la medida en que los algoritmos de procesamiento de la imagen, los cuales calculan a partir de una pupila registrada de un ojo la posición del centro de la pupila, son en sí conocidos y son accesibles en el mercado. Un objeto de prueba con una reproducción de la pupila de este tipo es por ello especialmente adecuado para la utilización de la invención en el marco de un dispositivo para un tratamiento mediante cirugía láser del ojo humano. Se sobreentiende evidentemente que son asimismo posibles las formas del contorno no redondas de la muestra de referencia, en la medida en que esté asegurado que la muestra de referencia posee un centro que se puede determinar con claridad. La muestra de referencia no tiene que corresponder tampoco en cuanto al tamaño a una pupila humana. Puede ser mayor o menor.

El segundo sistema técnico comprende preferentemente una disposición de láser que aplica en el objeto de muestra dicha por lo menos una característica de prueba mediante un rayo láser, en especial de un rayo láser pulsado. Al

mismo tiempo la disposición de láser utiliza un segundo sistema de coordenadas para el posicionamiento del rayo láser.

5 Para poder reconocer bien la característica de prueba fijada, con un Eye-Tracker o en general con un dispositivo de seguimiento del movimiento basado en cámaras, se recomienda que para la aplicación de una característica de prueba el objeto de prueba sea tratado, de tal manera con el rayo láser que se forme una decoloración local o/y una formación de cráter local del objeto de prueba.

10 Dicha por lo menos una desviación determinada se utiliza, de manera adecuada, para la corrección de datos de coordenadas, que el segundo sistema técnico recibe transmitida desde del primer sistema técnico y que necesita para el funcionamiento. La por lo menos una desviación determinada se puede convertir para ello en uno o varios factores de corrección o de calibración adecuados, que se utilizan sobre los datos de coordenadas transmitidos por el primer sistema técnico.

15 El objeto de prueba posee preferentemente una muestra (muestra de referencia) que destaca ópticamente y que está configurada de tal manera, por lo menos en una zona alrededor de la muestra, que mediante irradiación láser local se pueden generar características de prueba que destaquen ópticamente.

20 La muestra es preferentemente una muestra superficial, que puede estar reproducida según una pupila humana y que aparece en un primer color, mientras que el objeto de prueba aparece en un segundo color en una zona situada alrededor de la muestra. El segundo color es al mismo tiempo diferente del primero. El concepto de color debe entenderse aquí de forma amplia. Los diferentes colores se pueden realizar por ejemplo mediante tonos de color diferentes (incluido el gris) o mediante niveles de gris diferentes o mediante valores de luminosidad diferentes de un tono de color.

25 De acuerdo con un ejemplo el primer color puede estar impreso sobre un sustrato del objeto de prueba. La zona circundante situada alrededor de la muestra de referencia el sustrato puede poseer una única capa de color con un color diferente del primer color. En caso de irradiación láser esta capa de color (por ejemplo blanca) se puede descolorar entonces y permitir de este modo que las características de prueba sean reconocibles. Sin embargo, es también posible que el sustrato en la zona circundante presente, una sobre otra, diferentes capas de color, de las cuales la superior (más exterior) presenta el segundo color, de manera que el objeto de prueba aparece con el segundo color en la zona circundante. En caso de irradiación láser puede palidecer entonces el segundo color o desaparecer de otra manera, con lo cual la capa de color situada debajo se pone de manifiesto de manera local. Esto garantiza, por un lado, la buena reconocibilidad de la muestra de referencia y, por el otro, la buena reconocibilidad de dicha por lo menos una muestra de prueba.

30 El objeto de prueba está formado, por ejemplo, a modo de placa o de hoja. Puede presentar, por ejemplo, un trozo de papel o de cartón, el cual lleva sobre uno de sus lados planos la muestra y está estructurado allí al mismo tiempo para la generación de las características de prueba. El trozo de papel o de cartón puede estar pegado, por ejemplo, sobre una placa portadora resistente hecha de metal o de plástico, con el fin de hacer al objeto de prueba en su conjunto suficientemente rígido y robusto.

35 En una modificación el objeto de prueba puede tener una superficie curvada (o en general tridimensional), sobre la cual se aplica la muestra de referencia y se pueden aplicar las características de prueba. Esta superficie puede reproducir por ejemplo la superficie delantera de un ojo humano. Para el ajuste de los sistemas de coordenadas puede ser necesario entonces tener en cuenta, de manera adicional, la curvatura o el recorrido de la curvatura de la superficie del objeto de prueba, con el fin de evitar eventuales errores de escalado.

40 La invención se refiere finalmente además a un dispositivo para la cirugía oftalmológica por láser, que comprende

- 50
- una disposición de láser para proporcionar un rayo láser pulsado enfocado y para la dirección del mismo sobre un ojo que hay que tratar,
  - un Eye-Tracker para el registro de movimientos del ojo,
- 55
- una unidad de control acoplada con el Eye-Tracker, que está configurada para controlar la disposición de láser en función de los movimientos registrados del ojo, estando la unidad de control dispuesta además para:
    - 60 (i) realizar el procedimiento del tipo descrito con anterioridad, para registrar desviaciones entre un primer sistema de coordenadas utilizado por el Eye-Tracker y un segundo sistema de coordenadas utilizado por la disposición de láser, y
    - (ii) tener en cuenta desviaciones durante el control de la disposición de láser.

65 La invención se explica a continuación con mayor detalle de los dibujos adjuntos, en los que:

la figura 1 muestra en una representación de bloques fuertemente esquematizada, un ejemplo de realización de un dispositivo para la cirugía oftalmológica por láser,

5 la figura 2 muestra un ejemplo de una posición espacialmente divergente entre sí de dos sistemas de coordenadas utilizados en el dispositivo de la figura 1,

la figura 3 muestra un ejemplo de forma de realización de un objeto de prueba que se puede utilizar para la calibración de dispositivo de la figura 1.

10 El dispositivo para la cirugía oftalmológica por láser mostrado en la figura 1, designado en general mediante el número de referencia 10, está configurado, por ejemplo, para la realización de ablaciones corneales de un ojo 12 que hay que tratar. Comprende una fuente láser 14, la cual genera un rayo láser 16 pulsado el cual se puede desviar selectivamente, mediante una unidad de desviación (escáner) 18 controlable hacia un plano (denominado como plano x-y en lo que viene a continuación). Tras el escáner 18 está conectada una unidad de enfoque 20, la cual enfoca el rayo láser 16 sobre el ojo 12 que hay que tratar.

Para tratamientos de ablación la longitud de onda de la radiación láser generada por la fuente láser 14 está en la banda del UV. La fuente láser 14 comprende, por ejemplo, un láser excímero que emite para 193 nm.

20 El escáner 18 está formado por ejemplo, de forma en sí conocida, por un par de espejos de desviación que se pueden controlar galvanométricamente. La unidad de enfoque 20 puede estar formada por una única lente o por un sistema de lentes de varias lentes.

Una unidad de control 22 electrónica controla la fuente láser 14 y el escáner 18 en función de un perfil de ablación determinado con anterioridad para el paciente, implementado por un programa de control. El perfil de ablación indica la cantidad de material de la córnea que debe ser retirada en qué lugar del ojo que hay que tratar. Cada impulso láser (disparo) da lugar a una determinada retirada de material. El programa de control da lugar a que en cada punto de la zona de ablación se apliquen tantos impulsos láser como sean necesarios con el fin de retirar la altura de material deseada en cada caso. Las posiciones de ablación están representadas mediante pares de coordenadas, que se refieren a los dos ejes de un sistema de coordenadas (rectangular) que se extiende por el plano x-y mencionado. Los pares de coordenadas indican al mismo tiempo la distancia de coordenadas desde un centro del perfil de ablación (centro de ablación), el cual está definido típicamente dependiendo del centro de la pupila del ojo 12 que hay que tratar. Los movimientos inevitables del ojo 12 conducen a que la posición del centro de la pupila y, consecuentemente del centro de ablación, varíe constantemente en el sistema de coordenadas x-y.

35 Para la vigilancia de los movimientos del ojo el dispositivo 10 comprende un dispositivo de seguimiento del ojo 24 designado abreviadamente como Eye-Tracker, el cual toma con una cámara por ejemplo una imagen infrarroja del ojo 12 y en especial del iris junto con la pupila y calcula la posición del centro de la pupila, mediante un software de procesamiento de la imagen adecuado. Sin embargo, el Eye-Tracker 24 no funciona con las mismas coordenadas x-y y con las cuales trabajan la unidad de control 22 y el escáner 18. En lugar de ello calcula la posición del control de la pupila en un sistema de coordenadas (rectangular) propio, el cual se designa en lo que viene a continuación como sistema de coordenadas u-v para hacerlo inteligible. En este sistema de coordenadas u-v el Eye-Tracker 24 indica la posición del centro de la pupila igualmente mediante un par de coordenadas, es decir en cada caso un valor de coordenada para el eje u y el eje v.

45 La unidad de control 22 recibe del Eye-Tracker 24 la posición de coordenadas u-v del centro de la pupila y la recalcula a la posición de coordenadas x-y correspondiente. Para ello recurre a informaciones de corrección determinadas con anterioridad, que representan eventuales desviaciones de escalado entre los dos sistemas de coordenadas. Las informaciones de corrección pueden estar implementadas, por ejemplo, en forma de una función de corrección o en forma de uno o varios factores de corrección, que deben utilizarse de manera multiplicativa o aditiva. A partir de la posición del centro de la pupila convertida a coordenadas x-y la unidad de control 22 puede calcular acto seguido la posición actual del centro de ablación y controlar correspondientemente el escáner 18.

55 La figura 2 muestra de manera esquemática posibles desviaciones entre el sistema de coordenadas x-y utilizado por la unidad de control 22 y el escáner 18 y el sistema de coordenadas u-v utilizado por el Eye-Tracker 24. Para poder distinguirlos mejor el sistema de coordenadas x-y está dibujado con líneas continuas mientras que el sistema de coordenadas u-v está dibujado con líneas de trazos.

60 Como una primera desviación de los dos sistemas de coordenadas en el espacio se reconoce en el caso de ejemplo de la figura 2 una posición diferente de los orígenes de coordenadas, es decir de los puntos de cruce de los ejes de coordenadas. Esta posición espacial diferente se puede expresar mediante un vector de desplazamiento.

Como una segunda desviación se reconoce en el caso de ejemplo de la figura 2 un giro relativo de los dos sistemas de coordenadas. La medida de este giro se puede indicar mediante un valor de ángulo.

65 Una tercera desviación de los sistemas de coordenadas puede consistir en un escalado diferente. Para poner de

manifiesto este estado de cosas se han indicado en la figura 2, sobre el eje x, dos valores de coordenada  $x_1$ ,  $x_2$ , los cuales corresponden nominalmente a dos valores de coordenada  $u_1$ ,  $u_2$  indicados en el eje u. La correspondencia nominal significa que los valores de coordenada  $x_1$  y  $u_1$  son numéricamente iguales y que los valores de coordenada  $x_2$  y  $u_2$  son asimismo numéricamente iguales.

5 De todos modos se puede reconocer con facilidad que el valor de coordenada  $x_1$  tiene una distancia claramente menor con respecto al centro del sistema de coordenadas x-y que el valor de coordenada  $u_1$  con respecto al centro del sistema de coordenadas u-v. De igual manera la distancia del valor de coordenada  $x_2$  con respecto al centro del sistema de coordenadas x-y es menor que la distancia que tiene el valor de coordenada  $u_2$  con respecto al centro del sistema de coordenadas u-v. En caso de valores numéricos coincidentes de  $x_1$  y de  $u_1$  y valores numéricos coincidentes de  $x_2$  y de  $u_2$  esto significa que el escalado del eje x es diferente al escalado del eje u.

15 De forma similar se indica en la figura 2, sobre el eje y, un valor de coordenada  $y_1$ , el cual corresponde, en cuanto a su valor numérico, a un valor de coordenada  $v_1$  indicado en el eje v. De todos modos son aquí también distintas las distancias de los valores de coordenada  $y_1$ ,  $v_1$  con respecto al centro del sistema de coordenadas correspondiente. La distancia del valor de coordenada  $y_1$  con respecto al centro del sistema de coordenadas x-y es notablemente mayor que la distancia del valor de coordenada  $v_1$  con respecto al centro del sistema de coordenadas u-v. Esto significa también un escalado diferente del eje y en comparación con el escalado del eje v.

20 Las desviaciones de escaldado de este tipo pueden existir para todos los ejes de los sistemas de coordenadas o también únicamente para una parte de los ejes.

25 Cada una de las tres posibles desviaciones explicadas conduce a que puntos que están descritos en el sistema de coordenadas x-y y en el sistema de coordenadas u-v mediante los mismos valores de coordenada, tengan posiciones diferentes. Esto se muestra en la figura 2 mediante dos puntos de ejemplo  $P_1$  y  $P_2$ . El punto  $P_1$  está definido por los valores de coordenada  $x_2$ ,  $y_1$ , mientras que el punto  $P_2$  está definido por los valores de coordenada  $u_2$ ,  $v_1$ . A pesar de valores numéricos iguales para  $x_2$  y  $u_2$  así como para  $y_1$  y  $u_1$  resulta sin embargo de ello la distancia de posición clara de los puntos  $P_1$ ,  $P_2$ . Sin las desviaciones mencionadas (desplazamiento del centro, giro, diferencia de escalado) los puntos  $P_1$ ,  $P_2$  coincidirían.

30 Ahora se explica, sobre la base de la figura 3, un ejemplo de realización del procedimiento, con el fin de determinar las desviaciones entre dos sistemas de coordenadas de sistemas técnicos distintos. En el caso de ejemplo concreto se hace referencia para ello a los sistemas de coordenadas utilizados por la unidad de control 22 y el escáner 18, por un lado, y el Eye-Tracker 24, por el otro.

35 En primer lugar se explora, mediante el Eye-Tracker 24, un objeto de prueba 26 el cual se introduce de manera adecuada en el dispositivo 10 esencialmente en la posición en la cual se encontrará más tarde el ojo 12 que hay que tratar. El objeto de prueba 26 se dispone en especial de tal manera que se encuentre en el plano de enfoque del rayo láser 16.

40 El objeto de prueba 26 posee en el caso de ejemplo mostrado un lado superior 28 plano, que porta, aproximadamente en posición central, una muestra de referencia 30 que destaca ópticamente de la zona circundante. La muestra de referencia 30 reproduce una pupila y está formada correspondientemente por una muestra circular aproximadamente del tamaño de la pupila, rellena preferentemente por completo con color. La muestra circular 30 no tiene que ser por fuerza exactamente circular; puede presentar desviaciones más o menos acusadas con respecto a la forma circular.

45 El software de procesamiento de la imagen contenido en el Eye-Tracker 24 reconoce la muestra de la pupila 30 y calcula a partir de ella la posición del centro de la muestra en su sistema de coordenadas u-v. El centro de la muestra está indicado en 32 en la figura 3; constituye una característica de referencia en el sentido de la invención.

50 El Eye-Tracker 24 transmite las coordenadas u-v del centro del círculo 32 a la unidad de control 22. Esta controla a continuación la fuente láser 14 y el escáner 18 para disponer mediante la radiación láser un gran número de características de prueba 34 sobre el lado superior 28 del objeto de prueba 26. Las características de prueba 34 son, por ejemplo, pequeños círculos u otras formas geométricas, que destacan con respecto a las zonas circundantes del lado superior 28 del objeto de prueba 26 y que son detectables por parte del Eye-Tracker 24. La generación de cada una de las características de prueba 34 puede requerir, por ejemplo, la irradiación de varios cientos o incluso varios miles de impulsos láser.

55 Las posiciones en las cuales son aplicadas las características de prueba 34 son calculadas por la unidad de control 22 dependiendo de la posición de coordenadas u-v del centro del círculo 32 indicada por el Eye-Tracker 24. Una regla de generación predeterminada establece en que posiciones x, y deben ser dispuestas las características de prueba 34 con respecto al centro del círculo 32. Una regla de generación puede establecer, a título de ejemplo, que cuatro características de prueba 34, ... 34<sub>4</sub> deben ser dispuestas en una disposición cuadrangular alrededor del centro del círculo 32, debiendo formar el centro del círculo 32 el centro del cuadrilátero. Una disposición cuadrangular de este tipo de cuatro características de prueba 34 se muestra, a modo de ejemplo, en la figura 3. La

disposición cuadrangular es allí aproximadamente una disposición cuadrada.

En el caso de ejemplo mostrado de la figura 3 se puede reconocer que las características de prueba 34 aplicadas no están de hecho en posición central con respecto al centro del círculo 32, sino que tienen un centro del cuadrado 36 desplazado con respecto al centro del círculo 32, definido como punto de cruce de dos diagonales de cuadrado. El desplazamiento entre el centro del círculo 32 y el centro del cuadrado 36 se puede concluir a partir de desviaciones entre el sistema de coordenadas u-v del Eye-Tracker 24 y el sistema de coordenadas x-y de la unidad de control 22 y del escáner 18. Ya que en el caso de las desviaciones de este tipo puede haber dos puntos con los mismos valores de coordenada numéricos en el sistema de coordenadas u-v y en el sistema de coordenadas x-y, como se muestra en la figura 2 sobre la base de los puntos  $P_1$  y  $P_2$ . Un punto en el sistema de coordenadas x-y con los mismos valores de coordenadas que el centro del círculo 32 no está situado por ello coincidiendo espacialmente con el centro del círculo 32, sino que está desplazado con respecto a él. Dado que las características de prueba 34 se generan con respecto a este punto (desplazado) en el sistema de coordenadas x-y, están situadas en posición central con respecto a este punto, aunque no están en posición central con respecto al centro del círculo 32.

Para el registro cualitativo de las desviaciones entre los dos sistemas de coordenadas se vuelve a explorar ahora de nuevo el objeto de prueba 26, dotado con las características de prueba 34, por parte del Eye-Tracker 24 con el fin de determinar las coordenadas u, v de las características de prueba en el sistema de coordenadas u-v. A partir de las coordenadas u, v de las características de prueba 34 se calculan las coordenadas u, v del centro del cuadrado 36. El centro del cuadrado 36 representa una característica derivada en el sentido de la invención, ya que se ha derivado de las características de prueba 34.

Sobre la base de posiciones u, v determinadas de esta manera de las características de prueba 34 y del centro del cuadrado 36 la unidad de control 22 determina informaciones las cuales caracterizan las desviaciones entre el sistema de coordenadas u-v y el sistema de coordenadas x-y.

En concreto la distancia u y la distancia v del centro del cuadrado 36 con respecto al centro del círculo 32 permiten el establecimiento de un vector de desplazamiento, que caracteriza la intensidad y la dirección de una desviación de la posición de los orígenes de los sistemas de coordenadas. De acuerdo con un ejemplo la unidad de control calcula entonces, para por lo menos un par de las características de prueba 34, posiciones u, v corregidas por primera vez asignadas, las cuales están desplazadas el vector de desplazamiento con respecto a la característica de prueba 34 correspondiente. Las posiciones u, v corregidas por primera vez están, de acuerdo con ello, centradas con respecto al centro del círculo 32. En la figura 3 se han indicado a título de ejemplo para las características de prueba  $34_1$ ,  $34_2$  las posiciones u, v corregidas por primera vez de este tipo  $34_1'$ ,  $34_2'$ , las cuales están desplazadas con respecto a la característica de prueba  $34_1$  o  $34_2$  respectivamente en la misma medida que lo está el centro del cuadrado 36 con respecto al centro del círculo 32.

La determinación del giro relativo de los dos sistemas de coordenadas puede tener lugar, por ejemplo, gracias a que la unidad de control 22 determine, para el mismo par de características de prueba para el cual ha determinado las posiciones u, v corregidas por primera vez, posiciones de coordenadas teóricas en el sistema de coordenadas u, v. Para ello se utiliza la regla de generación mencionada para las características de prueba en el sistema de coordenadas u-v con respecto a la posición de coordenadas u, v del centro del círculo 32. A título de ejemplo están indicadas en la figura 3 la posición teórica determinada de esta manera de la característica de prueba  $34_1$ , en  $34_1^S$ , y la posición teórica de la característica  $34_2$ , en  $34_2^S$ , en el sistema de coordenadas u-v.

Un giro de los sistemas de coordenadas se puede determinar sencillamente gracias a que la recta de conexión de las posiciones de coordenada teóricas  $34_1^S$  y  $34_2^S$  se compara con la recta de conexión de las posiciones u, v corregidas por primera vez  $34_1'$  y  $34_2'$ . Si las dos rectas de conexión están situadas paralelas los sistemas de coordenadas no están girados. Si forman un ángulo entre sí, el ángulo entre las rectas de conexión indica el ángulo de giro de los sistemas de coordenadas.

Para determinar eventuales diferencias de escalado entre los dos sistemas de coordenadas la unidad de control 22 puede determinar, sobre la base de ángulo de giro determinado de los sistemas de coordenadas, a partir de las posiciones u, v corregidas por primera vez de la características de prueba en cuestión, posiciones u, v corregidas por segunda vez correspondientes, las cuales están corregidas además en cuanto al grado de desplazamiento alrededor del ángulo de giro. En la figura 3 están indicadas a título de ejemplo posiciones u, v corregidas por segunda vez  $34_1''$ ,  $34_2''$  para las características de prueba  $34_1$ ,  $34_2$ . La recta de conexión de estas posiciones u, v corregidas por segunda vez  $34_1''$ ,  $34_2''$  está ahora situada paralela con respecto a la recta de conexión de las posiciones de coordenada teóricas  $34_1^S$ ,  $34_2^S$ . De todos modos las posiciones u, v corregidas por segunda vez  $34_1''$ ,  $34_2''$  no son coincidentes con las posiciones de coordenada teóricas  $34_1^S$ ,  $34_2^S$ . Esto constituye una indicación de un escalado diferente de los ejes de los sistemas de coordenadas.

Mediante el cálculo de la distancia u de las posiciones de coordenada teóricas  $34_1^S$ ,  $34_2^S$  y de la distancia u de las posiciones u, v corregidas por segunda vez  $34_1''$ ,  $34_2''$  y mediante la comparación (en especial la formación del cociente) de estas distancias u se puede reconocer y determinar cuantitativamente un eventual escalado diferente del eje u del sistema de coordenadas u-v y del eje x del sistema de coordenadas x-y. Se cumple lo mismo para un

eventual escalado diferente del eje v y del eje y que se pueden reconocer y calcular cuantitativamente mediante el cálculo de la distancia v de las posiciones de coordenada teóricas  $34_1^s$ ,  $34_2^s$  y de la distancia v de las posiciones u, v corregidas por segunda vez  $34_1''$ ,  $34_2''$  y mediante la comparación (en especial la formación del cociente) de estas distancias v.

5 Para la determinación de un escalado de ejes divergente de los sistemas de coordenadas se puede utilizar también de manera alternativa, en lugar de la distancia u o de la distancia v de las posiciones de coordenada teóricas y de las posiciones u, v corregidas por segunda vez de un par de características de prueba, la distancia u o/y la distancia v entre la posición de coordenada teórica de una característica de prueba y el centro del círculo 32 y entre la posición u, v corregida por segunda vez de la misma característica de prueba y el centro del círculo 32.

10 Se sobreentiende que una disposición cuadrangular de las características de prueba 34 es puramente a título de ejemplo y que son posibles sin más otras disposiciones poligonales e incluso también una disposición circular de las características de prueba 34.

15 Para hacer ópticamente reconocibles las características de prueba 34 se puede imprimir la zona del lado superior del objeto de prueba 28 alrededor de la muestra de referencia 30 con un color, el cual desaparece en caso de irradiación láser y gracias a ello permite que se ponga de manifiesto otro color situado debajo. El objeto de prueba 26 puede comprender con este propósito un sustrato en forma de placa o de hoja que está impreso sobre su lado plano superficialmente con un color de fondo. Sobre este color de fondo está impreso, en la zona de la muestra de referencia 30, otro primer color que forma la muestra de referencia 30. Fuera de la muestra de referencia 30 está impreso un segundo color diferente que se puede empalidecer mediante radiación láser o que se puede eliminar de otra manera.

20 En una estructuración alternativa se puede imaginar imprimir en la zona situada fuera de la muestra de referencia 30 una rejilla de líneas finas, situadas estrechamente unas junto a otras. Mediante irradiación local de la radiación láser se puede interrumpir al mismo tiempo la rejilla en los puntos irradiados, por ejemplo gracias a que se utiliza un color para la rejilla que se puede palidecer mediante radiación láser o gracias a que con la radiación láser se genera un cráter en el lado superior 28 del objeto de prueba 26. La interrupción generada de esta forma en la rejilla se puede reconocer mediante un software de procesamiento de imágenes adecuado y se puede utilizar como característica de prueba.

25 El dispositivo 10 puede llevar a cabo de forma completamente automática el procedimiento explicado para la determinación de desviaciones entre el sistema de coordenadas u-v y el x-y, tan pronto como el objeto de prueba 26 haya sido introducido por un usuario y se haya dado una orden de inicio correspondiente. La unidad de control 22 puede determinar, en especial como parte de una calibración automática de este tipo, parámetros de corrección adecuados para la transformación de coordenadas desde el sistema de coordenadas u-v al sistema de coordenadas x-y y almacenarlos en una memoria (no representada con mayor detalle).

40

**REIVINDICACIONES**

1. Procedimiento para determinar desviaciones entre sistemas de coordenadas de diferentes sistemas técnicos, que comprende
- 5
- determinar una posición de coordenadas de una característica de referencia (32) de un objeto de prueba (26) en el sistema de coordenadas (u, v) de un primer (24) sistema técnico,
  - aplicar por lo menos una característica de prueba (34) en el objeto de prueba, siendo la característica de prueba aplicada en el sistema de coordenadas (x, y) de un segundo (18, 22) sistema técnico en una posición de coordenadas, la cual es fijada en función de la posición de coordenadas determinada de la característica de referencia,
  - determinar una posición de coordenadas de dicha por lo menos una característica de prueba o/y de por lo menos una característica (36) derivada de ella en el sistema de coordenadas (u, v) del primer sistema técnico, y
  - determinar desviaciones entre los sistemas de coordenadas del primer y segundo sistema técnico por lo menos sobre la base de:
    - (a) la posición de coordenadas determinada de dicha por lo menos una característica de prueba o/y de dicha por lo menos una característica derivada de la misma en el sistema de coordenadas (u, v) del primer sistema técnico y
    - (b) la posición de coordenadas de la característica de referencia en el sistema de coordenadas (u, v) del primer sistema técnico, siendo determinadas las desviaciones entre los sistemas de coordenadas del primer y segundo sistema técnico además sobre la base de una posición de coordenadas teórica de por lo menos una característica de entre las características de prueba y las características derivadas en el sistema de coordenadas (u, v) del primer sistema técnico.
- 10
- 15
- 20
- 25
- 30
2. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que varias características de prueba (34) son aplicadas en puntos diferentes del objeto de prueba (26).
3. Procedimiento según la reivindicación 2, en el que por lo menos una parte de las características de prueba (34) es aplicada en el objeto de prueba en una disposición poligonal, por ejemplo en una disposición cuadrangular, alrededor de la característica de referencia.
- 35
4. Procedimiento según la reivindicación 3, en el que como característica derivada, un centro poligonal (36) de las características de prueba dispuestas poligonalmente es determinado y en el sistema de coordenadas (u, v) del primer sistema técnico, una desviación entre la posición de coordenadas de la característica de referencia (32) y la posición de coordenadas del centro poligonal es determinada.
- 40
5. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en el que la posición de coordenadas teórica de una característica de prueba (34) en el sistema de coordenadas (u, v) del primer sistema técnico es determinada en función de una distancia entre coordenadas, predeterminada para esta característica, con respecto a la característica de referencia (32) en el sistema de coordenadas (x, y) del segundo sistema técnico.
- 45
6. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en el que el primer sistema técnico comprende un dispositivo de seguimiento del movimiento (24) con una cámara dirigida hacia el objeto de prueba, determinando el dispositivo de seguimiento del movimiento la posición de coordenadas de la característica de referencia (32) y de dicha por lo menos una característica de prueba o/y derivada (34, 36) en un primer sistema de coordenadas (u, v).
- 50
7. Procedimiento según la reivindicación 6, en el que el objeto de prueba (26) lleva una muestra (30), cuyo centro determina el dispositivo de seguimiento del movimiento como característica de referencia (32).
- 55
8. Procedimiento según la reivindicación 7, en el que la muestra (30) es una muestra superficial, la cual contrasta ópticamente con la zona circundante.
9. Procedimiento según la reivindicación 8, en el que la muestra (30) posee un perímetro redondo, en particular un perímetro circular o elíptico.
- 60
10. Procedimiento según una de las reivindicaciones 6 a 9, en el que el segundo sistema técnico comprende una disposición de láser, que aplica en el objeto de prueba (26) dicha por lo menos una característica de prueba (34) mediante un rayo láser (16), en particular de un rayo láser pulsado, aprovechando la disposición de láser un segundo sistema de coordenadas (x, y) para posicionar rayo láser.
- 65

11. Procedimiento según la reivindicación 10, en el que la aplicación de una característica de prueba (34) del objeto de prueba (26) es tratada, de tal manera con el rayo láser (16) que se forme una decoloración local o/y una formación de cráter local del objeto de prueba.
- 5 12. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en el que dicha por lo menos una desviación determinada es utilizada para corregir datos de coordenadas, que el segundo sistema técnico recibe transmitida desde del primer sistema técnico.
- 10 13. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en el que el objeto de prueba (26) posee una muestra (30) que destaca ópticamente y que está configurada de tal manera, por lo menos en una zona alrededor de la muestra, que mediante irradiación láser local se pueden generar características de prueba que destaquen ópticamente.
- 15 14. Procedimiento según la reivindicación 13, en el que la muestra (30) es una muestra superficial, que reproduce preferentemente una pupila humana, la cual aparece en un primer color, apareciendo el objeto de prueba en un segundo color en la zona situada alrededor de la muestra.
- 20 15. Procedimiento según la reivindicación 13 o 14, en el que el objeto de prueba (26) está formado a modo de placa o de hoja.
- 25 16. Dispositivo para la cirugía oftalmológica por láser, que comprende
- una disposición de láser (14, 18, 20) para proporcionar un rayo láser pulsado focalizado y para dirigirlo sobre un ojo (12) que hay que tratar,
  - un Eye-Tracker (24) para registrar los movimientos del ojo,
  - una unidad de control (22) acoplada con el Eye-Tracker, que está configurada para controlar la disposición de láser en función de los movimientos registrados del ojo, estando la unidad de control configurada además para:
    - (i) realizar el procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 15, para registrar desviaciones entre un primer sistema de coordenadas (u, v) utilizado por el Eye-Tracker y un segundo sistema de coordenadas (x, y) utilizado por la disposición de láser, y
    - (ii) tener en cuenta desviaciones durante el control de la disposición de láser.
- 35

Fig. 1

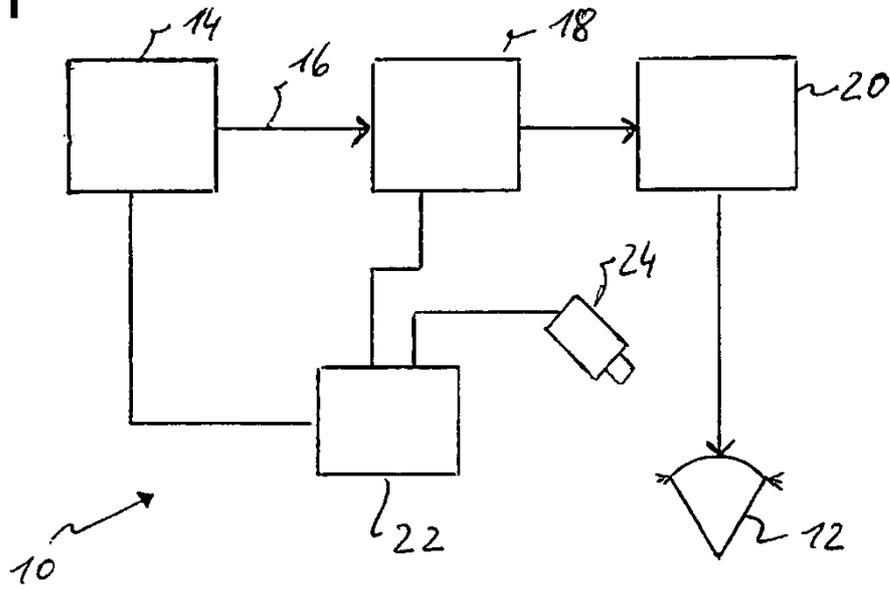


Fig. 2

