

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 736 285**

51 Int. Cl.:

G02B 3/02 (2006.01)

A61F 2/16 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **04.08.2014 PCT/EP2014/066700**

87 Fecha y número de publicación internacional: **19.02.2015 WO15022217**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **04.08.2014 E 14749768 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **05.06.2019 EP 3033640**

54 Título: **Lente ocular con una zona de transición de un elemento óptico conformada específicamente**

30 Prioridad:

13.08.2013 DE 102013216014

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

27.12.2019

73 Titular/es:

CARL ZEISS MEDITEC AG (100.0%)

Göschwitzer Strasse 51-52

07745 Jena, DE

72 Inventor/es:

GERLACH, MARIO;

BÖHME, BEATE y

DOBSCHAL, HANS-JÜRGEN

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 736 285 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

Lente ocular con una zona de transición de un elemento óptico conformada específicamente

5 La invención se refiere a una lente ocular, especialmente a una lente intraocular, con un elemento óptico que presenta una primera superficie óptica.

Estado de la técnica

10 Las lentes oculares en forma de lentes intraoculares presentan un elemento óptico que normalmente está unido a un elemento háptico. El elemento háptico sostiene la lente intraocular en el saco capsular del ojo. El elemento óptico puede diseñarse de muchas maneras, a fin de corregir los defectos visuales correspondientes de un ojo humano. En este sentido, las superficies del elemento óptico se pueden configurar esféricas o esféricas. También se conocen lentes oculares tóricas.

15 Precisamente en caso de formas superficiales muy complejas del elemento óptico, la fabricación de la lente ocular resulta complicada y requiere mucho esfuerzo. La herramienta de fabricación debe fijarse con gran precisión en el material de la lente para no generar ninguna forma no deseada que pudiera perjudicar las propiedades ópticas de la lente.

20 Sin embargo, dado que el proceso de fabricación con una herramienta como ésta es limitado con respecto a la lente ocular teóricamente determinada y calculada en relación con la generación de un óptico explícito de este tipo, es preciso tener en cuenta dicha limitación. En la práctica, los problemas surgen a menudo con secciones muy dentadas o discretos en la superficie del elemento óptico durante la fabricación. Esto se debe a que se producen grandes aceleraciones en la herramienta de fabricación que pueden dar lugar a problemas correspondientes durante el procesamiento del material de la lente ocular.

Por el documento WO 2013/045079 A1 se conoce una lente intraocular que presenta una estructura de superficie en espiral en un elemento óptico.

Representación de la invención

25 La tarea de la presente invención consiste en diseñar una lente ocular en el elemento óptico, de manera que se pueda lograr al menos una propiedad de reproducción óptica constante con una mejor manufacturabilidad.

Esta tarea se resuelve mediante una lente ocular según la reivindicación independiente.

30 Una lente ocular según la invención comprende un elemento óptico que presenta al menos una primera superficie óptica. Esta primera superficie óptica, vista en dirección radial, se configura al menos por zonas como una espira con una altura de paso que gira alrededor de un eje principal de la lente ocular. El eje principal es el eje principal óptico de la lente ocular. Por lo tanto, esta primera superficie óptica se configura, al menos por zonas, como una trayectoria helicoidal que gira alrededor del eje principal. Debido a este tipo de enroscamiento de la superficie y de la altura de paso generada, se produce un cierto desplazamiento en la dirección del eje principal entre un principio y un final de la espira. Entre este principio y el final de la espira se forma una zona de transición de la superficie óptica.

35 Esta zona de transición se diseña con un borde inicial y un borde final que se convierten en la espira. El borde inicial se extiende entre el eje principal y un primer punto perimetral del elemento óptico y el borde final se extiende entre el eje principal y un segundo punto perimetral. El borde inicial proyectado en un plano perpendicularmente al eje principal presenta un desarrollo no lineal, presentando el borde inicial de la zona de transición proyectado en un plano perpendicular al eje principal, adicionalmente o en su lugar, un desarrollo no lineal. Una superficie óptica helicoidal específica presenta al principio esta zona de transición entre su comienzo y su final. Un foco fundamental de la invención consiste en optimizar dicha zona con respecto a las mejores propiedades de reproducción óptica posibles de la primera superficie óptica y a la mejor manufacturabilidad posible. En este sentido, una transición brusca, completamente escalonada, con una pared casi vertical entre el principio y el final, es la transición más óptima con respecto a una representación teórica de la lente ocular. Dado que durante la fabricación no es posible

40 configurar una transición como ésta, un aspecto fundamental de la invención consiste en diseñar esta zona de transición con una forma específica, de manera que se consiga un máximo con respecto a la propiedad de reproducción óptica de la lente ocular y que, al mismo tiempo, se pueda fabricar con precisión.

45 Esto se consigue gracias al diseño específico sin esquinas de la zona de transición con una abertura sin esquinas en el principio y el final de la espira. Sin embargo, esta solución de la tarea se logra de un modo especialmente destacado gracias al desarrollo muy específico del borde inicial y del borde final de la zona de transición. Mediante una configuración específica de este tipo, la zona de transición se puede dimensionar prácticamente mínima y las propiedades ópticas deseadas de la superficie óptica se pueden maximizar en comparación con el óptico teórico y, además, la precisión de fabricación de la lente simulada también se puede mejorar considerablemente. Dado que, como consecuencia de este dimensionamiento y diseño detallado específico de la zona de transición, la herramienta de fabricación no se expone a ninguna aceleración brusca no deseada, la conformación de la zona de transición mediante la herramienta puede ser extremadamente precisa y exacta. Al no producirse ahora ninguna aceleración brusca no deseada para la herramienta, se pueden evitar también la eliminación de material no deseado o la eliminación insuficiente de material durante la fabricación de la lente.

50

55

También se puede prever configurar toda la superficie óptica como una estructura en espiral que presenta una espira completa o varias espiras alrededor del eje principal. En esta realización, el borde inicial se extiende directamente desde el eje principal hasta el punto perimetral y, por consiguiente, a lo largo de toda la longitud entre estos puntos finales. Lo mismo se aplica al borde final.

5 No obstante, también puede preverse que la superficie óptica comprenda, además de una primera zona que presente una espira o varias espiras, una segunda zona que no presente ninguna estructura helicoidal. Aquí se puede prever, por ejemplo, que la segunda zona sea una zona central que presente una superficie esférica o
 10 asférica a la que sigue radialmente la primera zona. La primera zona puede ser, por ejemplo, una lente monofocal. En esta realización, el borde inicial se extiende a partir del punto perimetral entre el punto perimetral y hasta el punto en el que termina la primera zona visto en dirección radial. Aunque el borde inicial también se configura de manera que se extienda entre el eje principal y el punto perimetral, éste no llega hasta el eje principal y, por lo tanto, termina a distancia del eje principal. Lo mismo se aplica al borde final.

La altura de paso es la altura de la espira en la dirección del eje principal entre el principio y el final.

15 Preferiblemente se prevé que el borde inicial y/o el borde final esté curvado o estén curvados a lo largo de toda su longitud. Una configuración como ésta de al menos un borde mejora aún más las ventajas antes mencionadas. Así se obtiene una forma muy continua y uniforme de un borde, con lo que no se producen pasos bruscos y, como consecuencia, tampoco ningún cambio brusco de aceleración ni, por consiguiente, de dirección de la herramienta de
 20 fabricación. Precisamente la unión de un borde inicial no lineal y/o de un borde final en proyección sobre el plano principal con un desarrollo sin esquinas y siempre curvado en una dirección de un borde de este tipo, favorece considerablemente las ventajas antes citadas.

Preferiblemente se prevé que el borde inicial presente un desarrollo no lineal que se configura de manera que, frente a una unión lineal entre el eje principal y el primer punto perimetral, se desarrolle en la dirección perimetral alrededor del eje principal visto en la dirección del borde final. Adicionalmente o en su lugar puede preverse que el borde final presente un desarrollo no lineal que se configure de manera que, frente a una unión lineal entre el eje principal y el
 25 segundo punto perimetral, se desarrolle en la dirección perimetral alrededor del eje principal visto en la dirección del borde inicial. Precisamente estas direcciones de curvatura de los bordes permiten configurar la zona de transición lo más pequeña posible y mejorar así las propiedades de reproducción ópticas de la lente hasta el óptimo teórico. Sin embargo, al mismo tiempo también se favorece positivamente la precisión de fabricación.

30 Preferiblemente se prevé que una superficie de la zona de transición se conforme de manera que al menos en el borde inicial, especialmente a lo largo de toda su longitud, se configure entre el eje principal y el primer punto perimetral un desarrollo en el que la inclinación de la superficie, vista en la dirección perimetral, presenta el mismo desarrollo de inclinación en todos los puntos radiales del borde inicial. En este sentido, el contorno o el desarrollo de los contornos de la superficie se configuran de manera que, en el borde inicial, el desarrollo de inclinación funcional matemático sea prácticamente el mismo a lo largo de toda la longitud radial del borde inicial. De este modo, en cada
 35 punto radial del borde inicial, la inclinación correspondiente, vista en dirección acimutal, se configura con el mismo desarrollo de inclinación funcional y, por lo tanto, con la misma función descriptiva para la inclinación. Por consiguiente, en los puntos se configura por todas partes el mismo aumento, lo que significa especialmente que la aceleración de la herramienta de fabricación es constante en estos puntos, dado que la aceleración representa matemáticamente la derivada del aumento. Gracias a esta forma tan específica de la superficie, se consigue minimizar la zona de transición y, al mismo tiempo, obtener las mejores propiedades ópticas posibles de la primera superficie óptica. Se logra prácticamente un máximo de los parámetros de una pequeña zona de transición, la mejor propiedad de reproducción posible y una fabricación exacta de la zona de transición simulada.

40 Preferiblemente se prevé que una superficie de la zona de transición se conforme de manera que al menos en el borde final, en especial a lo largo de toda su longitud, se configure entre el eje principal y el segundo punto perimetral un desarrollo en el que la inclinación de la superficie vista en el sentido perimetral presente el mismo desarrollo de inclinación en todos los puntos radiales del borde final. Aquí, las ventajas mencionadas anteriormente se aplican de forma análoga.

45 Preferiblemente se prevé que una superficie de la zona de transición presente un desarrollo de contornos visto en la dirección perimetral que se configura, al menos por zonas, de forma no lineal. En especial, este diseño de superficie se configura de forma correspondiente en todos los puntos radiales entre el eje principal y el perímetro del elemento óptico. Si se realiza un corte a través de la zona de transición en un punto radial del elemento óptico, el desarrollo de contornos de la superficie se configura de forma no lineal a lo largo de toda su longitud. De este modo son posibles, por una parte, una transición especialmente continua y sin escalonamientos hacia los extremos de la espira de la primera superficie óptica y, por otra parte, una geometría mejorada de la zona de transición con respecto a las
 50 propiedades ópticas y a las posibilidades de fabricación.

Preferiblemente se prevé que el desarrollo de contornos se configure, al menos por zonas, como una parábola. Esta conformación del desarrollo de contornos resulta especialmente ventajosa, dado que permite un diseño de dimensiones especialmente mínimas de la zona de transición en la extensión azimutal. Una forma como ésta permite, por consiguiente, una zona de transición muy limitada con una proporción de superficie mínima, pudiéndose
 55 aproximar de forma especial las propiedades de reproducción ópticas del elemento óptico con respecto al óptimo teórico. Además es posible la fabricación de un desarrollo de contornos con una gran precisión.

También se puede prever que el desarrollo de contornos se describa, al menos por zonas, mediante una función cúbica o que se represente, al menos por zonas, mediante una sección de trayectoria circular. Estas dos formas alternativas para el desarrollo de contornos permiten una clara mejora en comparación con los diseños conocidos en cuanto a la mejora de las propiedades de reproducción ópticas y a la mejora simultánea de la manufacturabilidad.

5 También puede preverse que el desarrollo de contornos de la superficie de la zona de transición entre el borde inicial y el borde final sea simétrico con respecto a una superficie de simetría situada en la dirección perimetral alrededor del eje principal respectivamente a la misma distancia angular del borde inicial y del borde final, en especial, con respecto a un plano de simetría que presenta el eje principal y el punto de simetría. Preferiblemente, este plano de simetría forma así la posición de partida a partir de la cual se establece la descripción de la forma funcional azimutal de la superficie óptica y, por lo tanto, la descripción en la dirección perimetral. Este plano de simetría se orienta perpendicularmente al plano principal de la lente ocular y, por consiguiente, al plano principal del elemento óptico en el que el eje principal es perpendicular.

15 Gracias a una configuración simétrica de este tipo del desarrollo de contornos, que se configura simétrico en la dirección radial desde el eje principal hasta el punto perimetral o hasta el perímetro en todos los puntos, se pueden favorecer las ventajas en relación con un mejor comportamiento óptico de reproducción y una mejor fabricación.

Preferiblemente se prevé que el desarrollo de inclinación funcional y, por lo tanto, la descripción de la fórmula matemática de la inclinación entre el borde inicial y el plano de simetría sea el mismo en todos los puntos radiales. Esto se refiere a la zona de la superficie óptica que se configura con al menos una espira.

20 Se prevé especialmente que una zona superficial de la zona de transición proyectada en el plano principal perpendicular al eje principal y limitada por el borde inicial proyectado y el borde final proyectado sea menor que una superficie en este plano principal limitada por dos bordes superficiales lineales, extendiéndose uno de ellos desde el eje principal a través del primer punto perimetral y extendiéndose el otro desde el eje principal a través del segundo punto perimetral.

25 Preferiblemente se prevé que un borde final, más próximo al plano principal visto en la dirección del eje principal, presente un desarrollo no lineal.

Especialmente se prevé que el borde final proyectado en el plano principal se curve hacia el borde inicial proyectado. En este caso se prevé en particular que, a partir del segundo punto perimetral, el borde final se curve de forma continua hacia el borde inicial proyectado. Esto se aplica con preferencia análogamente al borde inicial proyectado con respecto al borde final.

30 La superficie de la zona de transición se configura completamente continua.

En particular se prevé que la superficie de la zona de transición sea curvada y que, por consiguiente, se adapte a la forma, y que el borde final y el borde inicial se configuren de manera que la inclinación varíe en todos los puntos del borde inicial a lo largo de la longitud del borde inicial visto en dirección radial en un máximo del 10%, en especial, que sea igual. Lo mismo se aplica ventajosamente al borde final.

35 Preferiblemente se prevé que una configuración esférica de la primera superficie óptica varíe visto perimetralmente alrededor del eje principal. Aquí se prevé especialmente que ésta varíe de forma continua, en particular que aumente de forma continua.

40 De un modo ventajoso se prevé que al menos una superficie del elemento óptico se conforme de manera que la capacidad refractiva del elemento óptico varíe y/o preferiblemente varíe en una vuelta de forma continua en la dirección perimetral sobre el eje principal en un valor de entre 1 dioptría y 5 dioptrías, especialmente de entre 1 dioptría y 4 dioptrías. Una variación de dioptrías como ésta se lleva a cabo especialmente en caso de una única vuelta completa y, por lo tanto, de un solo giro.

45 Preferiblemente se parte de un valor inicial de dioptrías de entre 19 y 22 dioptrías, preferiblemente de 20 dioptrías. En caso de un único giro se lleva a cabo la variación ventajosa de la dioptría antes citada, de manera que dicha dioptría aumente en el intervalo ventajoso indicado.

50 Preferiblemente se prevé que la capacidad refractiva del elemento óptico de la lente ocular fuera de la zona de transición varíe linealmente como función del ángulo en la dirección perimetral sobre el eje principal. Una configuración de este tipo resulta especialmente ventajosa con respecto a la conformación de una lente de profundidad de campo con un campo focal correspondientemente ampliado, en el cual la distribución de la capacidad refractiva se produce de forma especialmente uniforme y armónica, favoreciéndose en especial el comportamiento de reproducción óptico mediante un valor de dioptrías correspondiente.

55 Preferiblemente se prevé que la zona de transición, medida en particular entre los dos puntos perimetrales, presente una anchura angular $< 7^\circ$ en la dirección perimetral, especialmente de entre 5° y $6,5^\circ$. Un dimensionamiento estrecho de este tipo de una zona de transición se ve favorecido por las formas ventajosas de la superficie, así como del borde inicial y del borde final, antes mencionadas.

Preferiblemente se prevé que la primera superficie óptica del elemento óptico presente una forma que se pueda describir mediante una función dependiente en una suma de funciones senoidales. Por lo tanto, especialmente el desarrollo de la espira y, por consiguiente, de la trayectoria helicoidal no es lineal, sino que depende de las

funciones cosenoidales. Las ventajas antes mencionadas con respecto al comportamiento óptico de reproducción, precisamente con respecto a las variaciones del valor de dioptrías ventajosas citadas resultan, por consiguiente, especialmente adecuadas.

5 Preferiblemente se prevé que una segunda superficie óptica posterior del elemento óptico se configure simétricamente a la primera superficie óptica en relación con el plano principal perpendicular al eje principal. En caso de una configuración de dos lados como ésta con una espira que gira respectivamente una vez con una altura de paso correspondiente y con una zona de transición correspondiente, es posible que las variaciones del valor de dioptrías, como las que ya se han mencionado antes a modo de ejemplo, se distribuyan por ambos lados y, como consecuencia, por ambas superficies. Esto significa que en cada superficie ya no es necesario lograr la variación completa del valor de dioptrías deseada en caso de un solo giro completo, sino que sólo es preciso lograr la mitad del valor de la variación del valor de dioptrías deseada. Así se puede prever en ambos lados respectivamente, por ejemplo, una variación de dioptrías de 10,5 a 12 dioptrías en caso de una vuelta, de manera que en total resulte una variación de 21 a 24 dioptrías.

15 Ventajosamente, el diseño de superficie del elemento óptico es tal que la lente ocular presenta una estructura refractiva.

En especial, la espira se configura de manera que gire una sola vez alrededor del eje, extendiéndose desde el eje principal hasta el perímetro sin ondulaciones ni valles múltiples.

20 Preferiblemente se prevé que en el elemento óptico se disponga y configure al menos una háptica, y que una zona de transición presente una superficie cuyo contorno posee, al menos por zonas, una forma de arco circular o una forma parabólica. En este caso, el radio de este arco circular es en especial azimutalmente variable. En particular se prevé que la transición entre el contorno del elemento óptico y el contorno del elemento háptico y, por consiguiente, la configuración de la zona de transición, se realice sin una sección lineal.

25 Resulta especialmente ventajoso configurar la lente ocular como una lente de profundidad de campo. En particular se trata de una lente intraocular. De un modo especialmente ventajoso se prevé que las zonas angulares en la dirección perimetral sobre el eje principal y, por lo tanto, las zonas angulares azimutales estén divididas con respecto a una variación de la capacidad refractiva y, por consiguiente, de los valores de dioptrías, de manera que en una primera zona angular, en especial partiendo del principio de la espira, de entre 115° y 119°, especialmente de 118°, se produzca una variación del valor de dioptrías de entre 0,5 y 1,5, en particular de 1, que en una nueva zona angular posterior igualmente de entre 115° y 119°, especialmente de 118°, se produzca otra variación del valor de dioptrías de entre 0,5 y 1,5, en particular de 1, y en especial que en una tercera zona angular preferiblemente también de entre 115° y 119°, en particular de 118°, se produzca otra variación del valor de dioptrías de entre 0,5 y 1,5, en particular de 1, de manera que en una zona angular continua de preferiblemente 354° se consiga una variación del valor de dioptrías de 3 dioptrías.

35 También se puede prever que se produzca una variación del valor de dioptrías superior a 3, por ejemplo, en un valor de hasta 3,7, de manera que, por ejemplo, también se pueda producir una variación de 3,3.

Preferiblemente, en esta zona angular de la espira fuera de la zona de transición, la capacidad refractiva varía linealmente como función del ángulo azimutal.

40 De un modo ventajoso se prevé que para una mayor intensidad en la distancia y cerca de la lente ocular se configure una variación del valor de dioptrías de entre 0,3 y 0,7, en especial de 0,5, en una primera zona angular, en particular comenzando en el principio de la espira, de entre 148° y 154°, especialmente de 152°. En una segunda zona angular posterior preferiblemente también de entre 148° y 154°, especialmente de 152°, se prevé una variación del valor de dioptrías de entre 1,8 y 2,2, especialmente de otras 2 dioptrías, continuándose aquí en el valor de dioptrías alcanzado al final de la primera zona angular.

45 En una tercera zona angular que sigue a la segunda zona angular y que se extiende preferiblemente entre 46° y 60°, en particular 50°, se configura otra variación del valor de dioptrías de entre 0,3 y 0,7, especialmente de 0,5 dioptrías, partiéndose aquí también preferiblemente del valor de dioptrías alcanzado al final de la segunda zona angular.

Aquí, la zona de transición también se configura preferiblemente con una anchura azimutal de 6° que se dimensiona en especial en el extremo radial exterior y, por lo tanto, entre los dos puntos perimetrales.

50 Preferiblemente se prevé que los valores z y, por consiguiente, los valores de la superficie de la lente ocular en la dirección del eje principal como función del ángulo φ , el cual se mide en la dirección perimetral alrededor del eje principal y representa el ángulo azimutal, se puedan describir en general como la suma de las funciones senoidales, como se muestra en la siguiente fórmula 1:

$$z(r, \varphi) = z_{\max}(r) * z(\varphi) = z_{\max}(r) * \sum a_n \sin(n\varphi) \quad (1)$$

Aquí, r indica el radio, φ el ángulo azimutal (con $-\pi \leq \varphi \leq \pi$) y a_n los coeficientes.

55 En el caso más sencillo, la altura de paso puede ser aquí $z_{\max}(r) = C * r^2$, pero también puede ser esférica. C describe en este caso una constante y determina la variación máxima del valor de dioptrías de una vuelta completa o de una espira, y la función $z_w(r, \varphi)$ se desarrolla entre -1 y +1.

Si el ángulo $\varphi=0$ se encuentra preferiblemente en el centro de la zona de transición y, como consecuencia, en el plano de simetría, resultan cálculos ventajosos.

Esta espira o esta forma helicoidal de la superficie se aplica con preferencia a una lente base que puede describirse mediante la función $z_0(r)$. En este caso resulta una descripción completa de la superficie que puede describirse mediante la siguiente fórmula 2:

$$z_{\text{total}}(r, \varphi) = z_0(r) + z(r, \varphi) \quad (2)$$

De un modo especialmente ventajoso se prevé que al menos una superficie óptica del elemento óptico se diseñe y conforme de manera que se corrija un astigmatismo como defecto visual del ojo. En este caso se prevé preferiblemente que la superficie se describa mediante otro sumando en la ecuación indicada en la fórmula 2, pudiéndose describir el sumando mediante $a_2 \cdot r^2 \cdot \sin(2 \cdot \varphi)$. Para corregir el astigmatismo, la superficie óptica se configura, al menos por zonas, en forma de silla o tórica.

Preferiblemente se prevé que la superficie de silla, que resulta del citado sumando para la corrección del astigmatismo, y la superficie con la espira se alineen entre sí y se superpongan configurando una forma de superficie global, de manera que un punto superior de silla, que es el punto más alto en el borde de la forma superficial, coincida azimutalmente en la dirección perimetral con la curvatura más plana (igual que el máximo en el desarrollo azimutal) de la espira en la dirección radial.

Especialmente se configura un ángulo de giro en la dirección perimetral alrededor del eje entre la superficie de silla y la superficie con la espira, de manera que el máximo de la función senoidal del sumando que describe la superficie de silla se encuentre en el punto del radio más plano de la superficie con la espira y que el mínimo de la función senoidal se encuentre en la dirección del radio más inclinado de la superficie con la espira o que el punto de anulación de la función senoidal se encuentre en el centro de la zona de transición, reduciéndose la función senoidal si también se reduce la superficie helicoidal en la zona de transición.

La orientación del astigmatismo en comparación con la transición y, por lo tanto, con la zona de transición se puede regular arbitrariamente mediante otro sumando $b_2 \cdot \cos(2 \cdot \varphi)$. Resulta ventajoso que la espira o que la forma helicoidal de la superficie gire en el ojo de manera que se prescinda del segundo sumando y se elija en su lugar de forma correspondiente el coeficiente a_2 .

Como ya se ha mencionado, resulta ventajoso describir el desarrollo de contornos de la superficie de la zona de transición, al menos por zonas, mediante una parábola como forma básica. De este modo se puede lograr que para la velocidad y la aceleración de la herramienta de fabricación y, por consiguiente, de la cuchilla de corte, resulten relaciones que se pueden derivar.

La espira azimutal deseada y, por lo tanto, la función de tornillo de la superficie óptica se conecta de forma continua a la parábola preestablecida, siendo posible prever aquí en el caso más simple una línea recta.

Gracias a estas configuraciones, la zona de transición con los desarrollos de función citados se conforman con los valores de aceleración absolutos más reducidos posibles, de manera que la zona angular se pueda mantener pequeña.

Sin embargo, también se podrían prever desarrollos de curvas similares, insertándose a su vez, por ejemplo, una función lineal entre las dos parábolas de un desarrollo de contornos de la zona de transición. La aceleración también se puede aumentar progresivamente a los valores máximos.

Alternativamente es posible un diseño lineal helicoidal de la superficie óptica con un desarrollo de función cúbico en la zona de transición.

Para mantener en general la aceleración y, por consiguiente, la segunda derivada de la función que describe la superficie y, por otra parte, la zona de transición lo más reducidas posible de un modo especialmente ventajoso, la función $z(r, \varphi)$ debe configurarse en dependencia del radio de manera que la aceleración de la máquina de fabricación para fabricar la lente permanezca independiente del radio.

Especialmente esto se logra definiendo un punto de inversión de parábola, descrito por el siguiente parámetro d , como se indica a continuación y en función del radio:

Aquí e , que indica el valor z del punto de inversión, es igual a la función $z_{\text{máx}}$:

$$e = e(r) = z_{\text{máx}}(r) = C(r/r_0)^2 \quad (3)$$

A continuación se preestablece una aceleración máxima fija a para todos los radios. En el caso más simple de la función radial antes indicada, se obtienen puntos de inversión que tienen una distancia angular menor en las proximidades del eje principal óptico que da como resultado

$$d = d(r) = \sqrt{\frac{e(r)}{a}} = r \cdot \sqrt{\frac{C}{a \cdot r_0^2}} \quad (4)$$

En caso de radios más reducidos y, por lo tanto, hacia el eje óptico principal, la distancia angular de los puntos de inversión disminuye.

La superficie de la zona de transición tiene, por consiguiente, una descripción funcional o la forma:

$$z(r, \varphi) = z_{\max(r)} * z(r, \varphi) = C \left(\frac{r}{r_0} \right)^2 * \left\{ C \left(\frac{r}{r_0} \right)^2 - a \left[\frac{r}{r_0} * \sqrt{\left\{ \frac{C}{a} \right\}} - \varphi \right]^2 \right\} \quad (5)$$

5 La función $z(r, \varphi)$ ya no se describe aquí como producto de una función del radio con una función del ángulo, sino que la función azimutal depende además especialmente del ángulo.

10 En una realización ventajosa se prevé que el radio de curvatura y la característica no esférica en el lado delantero y trasero y, por lo tanto, la primera superficie óptica o la segunda superficie óptica del elemento óptico de la lente ocular varíen linealmente con el ángulo azimutal entre el valor de una capacidad refractiva básica, que puede ser, por ejemplo, de 21 dioptrías, y una capacidad refractiva de sumas. También se puede prever especialmente que sólo el lado delantero o el lado trasero varíe, eligiéndose la diferencia de capacidad refractiva de la lente de salida para que sea el doble de alta. Siempre es decisivo que el valor de variación de la capacidad refractiva deseada se obtenga durante una vuelta de la trayectoria helicoidal.

15 Se prevé en especial que la primera superficie óptica se diseñe de manera que sólo se configure una única espira de trayectoria helicoidal, configurándose, por lo tanto, la trayectoria helicoidal también en dirección radial como un sistema óptico refractivo.

Un desarrollo funcional ventajoso de la función z se caracteriza por que la segunda derivada no rebasa un valor máximo y por que la máquina herramienta para el corte o la fabricación de la lente ocular sólo requiere pequeñas aceleraciones en la dirección z .

20 Preferiblemente esto se logra mediante el siguiente desarrollo funcional azimutal de la superficie óptica.

$$z(\varphi) = \left\{ \begin{array}{ll} m_1 \varphi & 0 \leq \varphi \leq x_1, m_1 > 0 \\ m_2 \varphi - m_2 & x_2 \leq \varphi \leq 1, m_2 < 0 \\ -a * (\varphi - d)^2 + e & x_1 \leq \varphi \leq x_2, a < 0 \end{array} \right\} \quad (6)$$

para $0 < \varphi < 1$: se sigue aplicando: $z(\varphi) = -z(-\varphi)$ para $-1 \leq \varphi \leq 0$

Preferiblemente, los parámetros d y e , como se indica en las ecuaciones 3 y 4, dependen del radio.

25 Aquí la zona de transición se identifica mediante dos parábolas con signos invertidos que siguen una al lado de otra de forma continua o mediante una línea recta. El sumando $a_2 * \sin(2 * \varphi)$ para el astigmatismo se puede añadir a esta función.

La función $z(\varphi)$ aumenta linealmente con el incremento m_1 , partiendo con un valor promedio $z(\varphi = 0) = 0$, a continuación se desarrolla en una parábola y vuelve al valor promedio con el incremento m_2 .

30 En una configuración especialmente preferida se puede prescindir de la zona de líneas rectas que une las parábolas con el incremento m_1 , de manera que la transición entre las dos parábolas se produzca sin embargo con $x_1 = 0$, resultando una zona de transición especialmente pequeña con respecto a su extensión azimutal. Para todos los desarrollos funcionales posibles, por ejemplo, la función parabólica, la función cúbica o la función de sección circular, los parámetros respectivos de las variables se pueden elegir en función del radio de la lente, de manera que la zona de transición se vuelva muy pequeña, especialmente hacia el eje principal.

35 En especial se prevé que el diseño de superficie de la superficie óptica también pueda adaptarse y reducirse de forma correspondiente para pupilas pequeñas ($r < 1$).

Otras características de la invención resultan de las reivindicaciones, de las figuras y de la descripción de las figuras. Las características y combinaciones de características antes citadas en la descripción, así como las características y combinaciones de características mencionadas a continuación en la descripción de las figuras y/o mostradas por separado en las figuras, se pueden utilizar no sólo en la combinación respectivamente indicada, sino también en otras combinaciones o en una posición única sin abandonar el alcance de la invención. Por consiguiente, también deben considerarse incluidas y reveladas las realizaciones de la invención no mostradas ni explicadas explícitamente en las figuras, pero que se deducen y se pueden crear mediante combinaciones de características separadas a partir de las realizaciones explicadas.

45 Breve descripción de los dibujos

A continuación se explican más detalladamente ejemplos de realización de la invención por medio de dibujos esquemáticos. Se muestra en la:

- Figura 1a una representación en perspectiva de un primer ejemplo de realización de una lente ocular según la invención;
- Figura 1b una representación en perspectiva de otro ejemplo de realización de una lente ocular según la invención;
- 5 Figura 2 una representación en perspectiva de un ejemplo de realización de una superficie óptica de un elemento óptico de un ejemplo de realización de una lente ocular según la invención;
- Figura 3 una sección ampliada de la representación según la figura 2;
- Figura 4 otra representación de una zona de transición de un ejemplo de realización de una lente ocular según la invención;
- Figura 5 una representación de proyección de la zona de transición en un plano principal de la lente ocular;
- 10 Figura 6 un diagrama en el que se representa el desarrollo superficial en dependencia del ángulo azimutal para los diferentes radios de la zona de transición;
- Figura 7 un diagrama en el que se representa la derivada de la función matemática que representa la forma de superficie en la figura 6 en función del ángulo azimutal;
- 15 Figura 8 un diagrama en el que se representan la aceleración y, por lo tanto, la segunda derivada de la función matemática que representa la forma de superficie en la figura 6 en función del ángulo azimutal;
- Figura 9 un diagrama en el que se representa en el ejemplo de realización una descripción funcional azimutal de la superficie de la zona de transición;
- Figura 10 una representación en perspectiva de otro ejemplo de realización de una lente ocular según la invención, en la que el elemento óptico se muestra con una vista parcial de una primera y una segunda superficie óptica y en la que se puede ver el diseño simétrico de la superficie;
- 20 Figura 11 una representación en perspectiva de una superficie que muestra la proporción de sumandos astigmática en la función que describe la superficie total;
- Figura 12 la representación según la figura 2 en una perspectiva ligeramente girada con respecto a la figura 2;
- Figura 13 una representación en perspectiva de un ejemplo de realización de una superficie óptica de un elemento óptico de un ejemplo de realización de una lente ocular según la invención que se configura de acuerdo con la figura 12, configurándose adicionalmente la superficie de manera que la lente sirva para la corrección de un astigmatismo;
- 25 Figuras 14 a 16 representaciones de curvas de las superficies según las figuras 11 a 13;
- Figura 17 una representación en perspectiva de otra superficie que muestra la proporción de sumandos astigmática en la función que describe la superficie total;
- 30 Figura 18 la representación según la figura 2 en una perspectiva ligeramente girada con respecto a la figura 2;
- Figura 19 una representación en perspectiva de un ejemplo de realización de una superficie óptica de un elemento óptico de un ejemplo de realización de una lente ocular según la invención que se configura de acuerdo con la figura 12, configurándose adicionalmente la superficie de manera que la lente sirva para la corrección de un astigmatismo;
- y
- 35 Figuras 20 a 22 representaciones de curvas de las superficies según las figuras 17 a 19.
- Realización preferida de la invención
- En las figuras, los elementos idénticos o funcionalmente idénticos se dotan de las mismas referencias.
- En la figura 1a se muestra una representación en perspectiva de un primer ejemplo de realización de una lente ocular 1 que es una lente intraocular. La lente ocular 1 comprende un elemento óptico 2 y a continuación una háptica 3. La lente ocular 1 es plegable y se puede insertar en un ojo por medio de una pequeña incisión.
- 40 El elemento óptico 2 comprende un eje principal óptico A, cuya dirección es también la coordenada z. El elemento óptico 2 presenta además una primera superficie óptica 4 y una segunda superficie óptica 5 configurada en el lado opuesto.
- En la figura 1b se muestra, en una representación en perspectiva, otro ejemplo de realización de una lente ocular 1 configurada como lente intraocular. Ésta se diferencia de la realización de la figura 1a por la diferente háptica 3.
- 45 En la figura 2 se muestra, en una representación ampliada, un ejemplo de realización de la primera superficie óptica 4. Ésta se conforma como una espira helicoidal curvada que gira alrededor del eje principal óptico A. Se conforma una única espira perimetral que se configura en la dirección radial y, por lo tanto, perpendicular al eje A desde el eje A hasta un perímetro 6. Por consiguiente, el perímetro 6 también representa preferiblemente el extremo exterior del elemento óptico 2.
- 50

La primera superficie óptica 4 se configura así con una altura de paso con respecto a su trayectoria helicoidal, presentando la espira un principio 7 y un final 8.

5 La primera superficie óptica 4 comprende además una zona de transición 9 que se extiende entre el principio 7 y el final 8. La zona de transición 9 también se configura en la dirección radial entre el eje A y el perímetro 6. En la dirección perimetral alrededor del eje A y, por lo tanto, en la alineación azimutal, la zona de transición 9 comprende un borde inicial 10 y un borde final 11. En este caso, la zona de transición 9 se convierte con su borde inicial 10 directamente en el principio 7, convirtiéndose también el borde final 11 directamente en el final 8.

10 Una superficie 12 de la zona de transición 9 se configura sin escalonamientos, configurándose también la abertura del borde inicial 10 en el principio 7 sin escalonamientos. Igualmente, también la abertura del borde final 11 está configurado en el final 8 sin escalonamientos.

Aquí, el borde inicial 10 también se extiende desde el eje principal A hasta un primer punto perimetral 13. El borde final 11 se extiende igualmente desde el eje principal A hasta un segundo punto perimetral 14.

15 La zona de transición 9 con su borde inicial 10 y con su borde final 11 se conforma de manera que, en caso de una proyección del borde inicial 10 y/o del borde final 11 en un plano, especialmente el plano principal H (figura 10), perpendicularmente al eje principal A, éste o éstos presente o presenten un desarrollo no lineal.

En especial, el borde inicial 10 y/o el borde final 11 se configuran curvados a lo largo de toda su longitud radial.

Como se puede ver en la representación de proyección que se explica más adelante de la figura 5, el borde inicial 10 y el borde final 11 se configuran de un modo específico y están curvados.

20 El borde inicial 10 presenta un desarrollo no lineal diseñado de manera que se desarrolle frente a una unión lineal entre el eje principal A y el primer punto perimetral 13 en la dirección perimetral alrededor del eje principal A visto en la dirección del borde final 11. Por consiguiente, el borde inicial 10 se encuentra en el plano de proyección H mostrado en la figura 5, especialmente a lo largo de toda su longitud, más próximo del borde final 11 que una unión lineal 15 entre el eje A y el primer punto perimetral 13.

25 Además, el borde final 11 también se configura de manera que se desarrolle de forma no lineal y se extienda entre el eje A y el segundo punto perimetral 14 en el plano de proyección H mostrado en la figura 5, en especial a lo largo de toda su longitud, más próximo del borde inicial 10 que una unión lineal 16 entre el eje A y el segundo punto perimetral 14.

30 Así, en el plano de proyección H mostrado en la figura 5 y situado en el plano de la figura se genera una zona de superficie 17 de la zona de transición 9 en el plano de proyección H mediante las disposiciones y curvaturas, así como configuraciones muy específicas del borde inicial 10 y/o del borde final 11, que es más pequeña que una zona de superficie entre las uniones lineales 15 y 16.

35 Según la representación de la figura 2 se puede ver que la superficie 12 de la zona de transición 9 se conforma de manera que al menos en el borde inicial 10, especialmente a lo largo de toda su longitud radial entre el eje principal A y el primer punto perimetral 13, se configure un desarrollo en el que la inclinación de la superficie 12, vista en la dirección perimetral, presenta en todos los puntos radiales del borde inicial 10 el mismo desarrollo de inclinación funcional y que, por lo tanto, se puede describir matemáticamente. Por consiguiente, éstos tienen prácticamente el mismo aumento, que es lineal según la figura 7, de manera que en la zona, la aceleración según la figura 8, que es la derivada de la figura 7, sea constante.

40 El diseño según las figuras 2 a 5 se realiza de manera que el borde inicial 10 se extienda a lo largo de toda la longitud entre el eje principal A y el punto perimetral 13, desembocando, por lo tanto, prácticamente en estos puntos finales. Lo mismo se aplica al borde final 11. Sin embargo, también se podría prever que la superficie 4 no se configure a lo largo de toda la zona con una estructura helicoidal, sino que, por ejemplo, se conforme en el centro una zona con una estructura no helicoidal, por ejemplo, una lente monofocal, con la que limita a continuación otra zona que presenta una estructura helicoidal. En esta realización, el borde inicial 10 y el borde final 11 se extienden entre el eje principal A y los puntos perimetrales, pero no desembocan en el eje principal sino que terminan radialmente a distancia del mismo, especialmente en el límite entre las dos zonas citadas.

45 Esto también se muestra a través de los diagramas en las figuras 6 a 8. Aquí, en la figura 6, las representaciones en sección se muestran en diferentes puntos radiales de la zona de transición 9, representando el diagrama de la figura 6 el desarrollo de superficie en dependencia del ángulo azimutal φ . En las representaciones según las figuras 6 a 8 se muestra una conformación de la zona de transición configurada inversamente a la representación de la figura 2 y de la figura 3. Sin embargo, esto es irrelevante con respecto a la realización y la funcionalidad realmente alcanzable con la misma y ambos resultados y representaciones son idénticos con respecto a su efecto sobre la lente ocular 1.

50 Especialmente se prevé también que la superficie 12 de la zona de transición 9 se conforme de manera que, al menos en el borde final 11, en particular a lo largo de toda su longitud radial, se configure entre el eje principal A y el segundo punto perimetral 14, un desarrollo en el que la inclinación de la superficie 12, visto en la dirección perimetral, presente el mismo desarrollo de inclinación funcional en todos los puntos radiales del borde final 11.

Como muestran claramente las representaciones en la figura 2 y en la figura 3, así como en las figuras 6 a 8, la superficie 12 de la zona de transición 9 en todos los puntos radiales entre el eje principal A y el perímetro 6 del

elemento óptico 2 se configura con un desarrollo de contornos 18, visto en la dirección perimetral, que no es lineal al menos por zonas. En este caso, el desarrollo de contornos de la superficie 12 describe la línea o curva que aparece a través de la superficie 12 en una posición radial específica en una sección a través de la zona de transición 9.

5 Resulta especialmente preferible que este desarrollo de contornos 18, dibujado simbólicamente en la figura 2 para una mayor claridad sólo en algunos puntos, se configure como un desarrollo parabólico. En los diagramas según las figuras 6 a 8 también se explica un desarrollo de este tipo.

10 En la realización ventajosa se puede ver que este desarrollo de contornos 18 entre el borde inicial 10 y el borde final 11 es simétrico a un punto de simetría situado en la dirección perimetral alrededor del eje principal A respectivamente a la misma distancia angular entre el borde inicial 10 y el borde final 11 y que se encuentra en un plano de simetría que abarca el eje principal A y que se orienta perpendicularmente al plano principal H.

Especialmente, el desarrollo de inclinación funcional entre el borde inicial 10 y el punto de simetría es el mismo en todos los puntos radiales. En otra configuración ventajosa se prevé que el mismo varíe como máximo en un 10% a lo largo de toda la longitud entre el eje A y el perímetro 6.

15 Preferiblemente se prevé que los valores z y, por consiguiente, los valores de la superficie en la dirección del eje principal A de la lente ocular de la superficie como función del ángulo φ , que se mide en la dirección perimetral alrededor del eje principal A y que representa el ángulo azimutal, se puedan describir en general como la suma de funciones senoidales, como se muestra en la siguiente fórmula 1:

$$z(r, \varphi) = z_{\max}(r) * z(\varphi) = z_{\max}(r) * \sum a_n \sin(n\varphi) \quad (1)$$

20 Con respecto a la posterior determinación, se hace referencia a las explicaciones sobre las fórmulas 2 a 4 anteriores.

En la figura 3 se muestra, en una representación ampliada, la zona de transición 9 de la primera superficie óptica 4 según la figura 2.

En la figura 4 se muestra además una vista en planta en perspectiva con una representación simplificada de la zona de transición 9 con el borde inicial 10, que se desarrolla de forma curvada, y el borde final 11.

25 En las representaciones según la figura 7 y la figura 8 se indican las representaciones funcionales matemáticas de la derivada, así como la segunda derivada de la función de superficie, como se representa en la figura 6 de la zona de transición 9. En la figura 7 se muestran los mismos desarrollos de inclinación funcionales del diseño simétrico. Se muestran además las segundas derivadas constantes, como las que resultan en todos los puntos radiales, por una parte, entre el borde inicial 10 y el plano de simetría y, por otra parte, entre el plano de simetría y el borde final 11.

30 En la figura 8 se puede ver que la aceleración no rebasa un valor máximo a y que permanece igual en toda la zona de transición 9 entre el borde inicial 10 y el borde final 11.

En los diagramas según las figuras 6 a 8 se muestran a modo de ejemplo las líneas curvas para los puntos radiales en el perímetro 6 ($r = 1$) y a continuación para $r = 0,75$ y $r = 0,5$.

35 En una primera realización, la superficie 4 se puede diseñar además de manera que se consiga una variación del valor de dioptría de preferiblemente tres dioptrías partiendo del principio 7. Esto es especialmente posible en un rango de intervalo de ángulo de 354° , variando este valor de dioptrías de forma continua. Con preferencia, la zona de transición 9 presenta una anchura angular de 6° , midiéndose aquí esta anchura angular preferiblemente en el perímetro 6.

40 Se prevé especialmente que, por ejemplo, la capacidad refractiva sea de 21 dioptrías en el principio 7 y de 24 dioptrías en el final 8.

Por lo tanto, se produce una variación de la capacidad refractiva fuera de la zona perimetral 9 de manera que varíe linealmente como función del ángulo en la dirección perimetral alrededor del eje principal A.

45 En el diagrama de la figura 9, el desarrollo funcional y, por lo tanto, la función de descripción matemática del contorno 18 de la superficie 12 se muestran a modo de ejemplo de acuerdo con la ecuación (6). A diferencia de la unión directa de dos parábolas, aquí se configura un diseño lineal entre las parábolas y, por consiguiente, un desarrollo de contornos correspondiente. Sólo se indican las secciones y los puntos en la zona superior y, por lo tanto, por encima del eje horizontal. En este caso, R indica la sección de desarrollo recta G1 con el aumento $m1$, P1 el punto de transición de la recta G1 a la parábola P, P2 la transición de la parábola a una recta G2 con el aumento $m2$. Sin embargo, la zona de transición 9 sólo se configura hasta el punto P2, de manera que la representación de la parábola restante sólo se muestre para la descripción matemática. La superficie sigue a la recta G2 desde el punto P2. Lo mismo se aplica al desarrollo de curva bajo el eje horizontal que resulta de la simetría alrededor del punto $\varphi=0$.

55 En la figura 10 se muestra, en una representación en perspectiva, otro ejemplo de realización de una lente ocular 1. A diferencia de la explicación anterior, ésta se diseña de manera que tanto la primera superficie óptica 4, como también la segunda superficie óptica 5 se configuren con una única espira helicoidal, conformándose a continuación una zona de transición 9 correspondiente a la altura de paso. Además se prevé que las superficies 4 y 5 se conformen simétricamente al plano principal H que es perpendicular al eje A. Por consiguiente, en caso de una

- realización de este tipo, la configuración del recorrido helicoidal de la superficie óptica 4, como la que estaba prevista en la figura 2 y en la figura 3 en una lente ocular 1 debidamente estructurada sólo por un lado, no debe diseñarse en un lado con una variación del valor de dioptrías de tres, sino con la mitad de la misma. De la adición de las dos superficies 4 y 5 configuradas y estructuradas simétricamente resulta una variación del valor de dioptrías de preferiblemente tres con una vuelta alrededor del eje A.
- Se prevé además configurar una zona de transición 19 (figura 1) entre el elemento óptico 2 y la háptica 3 con una superficie cuyo contorno en dirección radial presenta, al menos por zonas, una forma de arco circular o parabólica. En especial, esta transición o esta zona de transición 19 entre el contorno del elemento óptico 2 y el contorno del elemento háptico 3 se configura sin un desarrollo de contornos recto y, por consiguiente, sin una sección correspondiente.
- En la figura 11 se muestra una representación en perspectiva de la superficie generada por el sumando $a_2 \cdot r^2 \cdot \sin(2 \cdot \varphi)$ para el astigmatismo. La superficie se configura como una superficie de silla, de manera que se obtenga una forma tórica en la superficie de la lente.
- En la figura 12 se muestra una representación de la superficie 4 según la figura 2, representándose una vista ligeramente girada en comparación con la figura 2.
- En la figura 13 se muestra un ejemplo de realización de una lente diseñada para corregir un astigmatismo con la superficie representada 4 del elemento óptico. En este caso, la superficie 4 de la figura 12 se muestra en una posición comparable a la de la figura 11, de manera que se pueda ver la diferencia de la forma de superficie entre la lente con y sin un efecto corrector de un astigmatismo.
- En la figura 13 se muestra la superposición de las superficies según las figuras 11 y 12. En el ejemplo de realización se prevé que para la superficie según la figura 13, partiendo de la superficie de la figura 12, se añada una superficie de silla adicional según la figura 11, de manera que se forme la superficie total real de la figura 13.
- En el ejemplo de realización se prevé especialmente que la superficie de silla resultante del citado sumando para la corrección del astigmatismo y la superficie con la espira en la dirección perimetral sobre el eje principal A se alineen entre sí y se superpongan en una forma de superficie total definitiva configurada en la lente, de manera que un punto de silla superior SO en la figura 11 coincida con la curvatura más plana WO de la espira en la figura 12.
- En especial se configura un ángulo de rotación en la dirección perimetral alrededor del eje A entre la superficie de silla y la superficie con la espira, de manera que el máximo (punto de silla SO) de la función senoidal del sumando que describe la superficie de silla se encuentre en el punto del radio más plano (curvatura más plana WO) de la superficie con la espira y que el mínimo SM de la función senoidal se encuentre en la dirección del radio más inclinado WM de la superficie con la espira o que el punto de anulación N de la función senoidal se encuentre en el plano de simetría de la zona de transición 9.
- En las figuras 14 a 16 se representan los desarrollos de curva de las superficies según las figuras 11 a 13 con el plano de simetría discontinuo.
- En la figura 17 se muestra una representación en perspectiva de otra superficie, generada por el sumando $a_2 \cdot r^2 \cdot \sin(2 \cdot \varphi)$ para el astigmatismo, aunque en comparación con la figura 11 se posiciona de forma diferente a la representación en la figura 11 en la dirección perimetral alrededor del eje A. La superficie se configura como una superficie de silla, de manera que resulte una forma tórica en la superficie de la lente.
- En la figura 18 se muestra una representación de la superficie 4 según la figura 2 y la figura 12, representándose una vista ligeramente girada en comparación con la figura 2.
- En la figura 19 se muestra un ejemplo de realización de una lente configurada para corregir un astigmatismo con la superficie 4 del elemento óptico. En este caso, la superficie 4 de la figura 18 se muestra en una posición comparable a la de la figura 17, de manera que se pueda ver la diferencia de la forma de superficie entre la lente con y sin un efecto corrector de un astigmatismo.
- En la figura 19 se muestra la superposición de las superficies según las figuras 17 y 18. En el ejemplo de realización se prevé que para la superficie según la figura 19, partiendo de la superficie de la figura 12, se añada una superficie de silla adicional según la figura 17, de manera que se forme la superficie total real en la figura 19. Por lo demás, se aplican las explicaciones anteriores.
- En las figuras 20 a 22 se representan los desarrollos de curvas de las superficies según las figuras 17 a 19 con el plano de simetría discontinuo.
- La lente ocular 1 se configura especialmente como una lente de profundidad de campo. Ésta se conforma como una lente refractiva. Esto se lleva a cabo especialmente en el sentido de que no se realiza ningún perfil periódico de ondulaciones y valles en la dirección radial desde el eje A hasta el perímetro 6.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Lente ocular (1) con un elemento óptico (2) que presenta una primera superficie óptica (4), configurándose la primera superficie óptica (4), al menos por zonas, con una estructura con al menos una espira con una altura de paso que gira alrededor de un eje principal (A) de la lente ocular (1), y configurándose entre un principio (7) y un final (8) de la espira una zona de transición (9) que, con un borde inicial (10) y un borde final (11), se convierte en la espira, extendiéndose el borde inicial (10) entre el eje principal (A) y un primer punto perimetral (13) y extendiéndose el borde final (11) entre el eje principal (A) y un segundo punto perimetral (14), caracterizada por que el borde inicial (10) proyectado en un plano (H) perpendicularmente al eje principal (A) presenta un desarrollo no lineal y/o por que el borde final (11) proyectado en un plano (H) perpendicularmente al eje principal (A) presenta un desarrollo no lineal.
- 10 2. Lente ocular (1) según la reivindicación 1, caracterizada por que el borde inicial (10) y/o el borde final (11) está curvado o están curvados a lo largo de toda su longitud.
- 15 3. Lente ocular (1) según la reivindicación 1 o 2, caracterizada por que el borde inicial (10) presenta un desarrollo no lineal que, frente a una unión lineal (15) entre el eje principal (A) y el primer punto perimetral (13), se configura de manera que se desarrolle en la dirección perimetral alrededor del eje principal (A) visto en la dirección del borde final (11) y/o por que el borde final (11) presenta un desarrollo no lineal que, frente a una unión lineal (16) entre el eje principal (A) y el segundo punto perimetral (14), se configura de manera que se desarrolle en la dirección perimetral alrededor del eje principal (A) visto en la dirección del borde inicial (10).
- 20 4. Lente ocular (1) según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizada por que una superficie (12) de la zona de transición (9) se conforma de manera que al menos en el borde inicial (10), especialmente a lo largo de toda su longitud, se configure entre el eje principal (A) y el primer punto perimetral (13) un desarrollo en el que la inclinación de la superficie (12), visto en la dirección perimetral, presenta en todos los puntos radiales del borde inicial (10) el mismo desarrollo de inclinación.
- 25 5. Lente ocular (1) según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizada por que una superficie (12) de la zona de transición (9) se conforma de manera que al menos en el borde final (11), especialmente a lo largo de toda su longitud, se configure entre el eje principal (A) y el segundo punto perimetral (14) un desarrollo en el que la inclinación de la superficie (12), vista en la dirección perimetral, presenta en todos los puntos radiales del borde final (11) el mismo desarrollo de inclinación.
- 30 6. Lente ocular (1) según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizada por que una superficie (12) de la zona de transición (9) presenta un desarrollo de contornos (18) en una sección a distancia radial del eje (A) y visto a través de la zona de transición (9) que se configura, al menos por zonas, de forma no lineal.
- 35 7. Lente ocular (1) según la reivindicación 6, caracterizada por que el desarrollo de contornos (18) es, al menos por zonas, una parábola o por que el desarrollo de contornos (13) se describe, al menos por zonas, mediante una función cúbica o representa, al menos por zonas, una sección de trayectoria circular.
- 40 8. Lente ocular (1) según la reivindicación 6 o 7, caracterizada por que el desarrollo de contornos (18) entre el borde inicial (10) y el borde final (11) es simétrico a un plano de simetría situado en la dirección perimetral alrededor del eje principal (A) respectivamente a la misma distancia angular con respecto al borde inicial (10) y al borde final (11).
- 45 9. Lente ocular (1) según la reivindicación 4 o 5 y la reivindicación 8, caracterizada por que el desarrollo de inclinación entre el borde inicial (10) y el plano de simetría y/o el desarrollo de inclinación entre el borde final (11) y el plano de simetría son iguales en todos los puntos radiales.
- 50 10. Lente ocular (1) según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizada por que una zona superficial (17) de la zona de transición (9) proyectada en el plano (H) perpendicular al eje principal (A) y limitada por el borde inicial proyectado (10) y por el borde final proyectado (11), es menor que una superficie en este plano (H) limitada por dos bordes superficiales lineales (15, 16), extendiéndose uno de ellos desde el eje principal (A) a través del primer punto perimetral (13) y extendiéndose el otro desde el eje principal (A) a través del segundo punto perimetral (14).
- 55 11. Lente ocular (1) según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizada por que la asfericidad de la primera superficie óptica (4) varía alrededor del eje principal (A), especialmente aumenta de forma continua.
- 60 12. Lente ocular (1) según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizada por que al menos una superficie (4, 5) del elemento óptico (2) se configura de manera que, en caso de un giro, la capacidad refractiva del elemento óptico (2) varíe, especialmente varíe de forma continua, en la dirección perimetral alrededor del eje principal (A) entre 1 dioptría y 5 dioptrías, especialmente entre 1 dioptría y 4 dioptrías y/o de manera que la capacidad refractiva del elemento óptico (2) fuera de la zona de transición (9) varíe linealmente como función del ángulo en la dirección perimetral alrededor del eje principal (A).
- 65

13. Lente ocular (1) según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizada por que la zona de transición (9), medida especialmente entre los dos puntos perimetrales (13, 14), presenta en la dirección perimetral alrededor del eje (A) una anchura angular menor de 7° , especialmente de entre 3° y $6,5^\circ$.
- 5 14. Lente ocular (1) según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizada por que la primera superficie óptica (4) se configura de manera que, como defecto visual, se pueda corregir un astigmatismo y/o por que ésta es una lente de profundidad de campo.
- 10 15. Lente ocular (1) según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizada por que una segunda superficie óptica posterior (5) del elemento óptico (2) se configura simétricamente a la primera superficie óptica (4) con respecto al plano (H) perpendicular al eje principal (A).

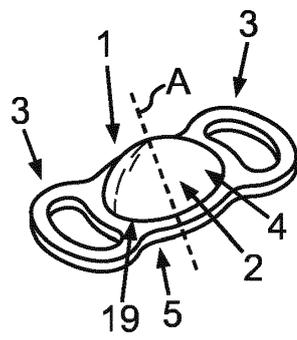


Fig.1a

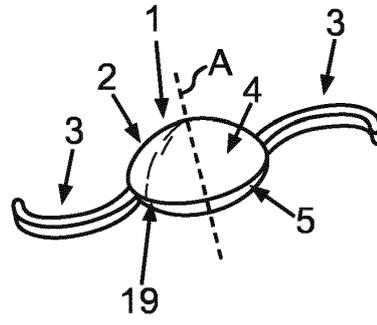


Fig.1b

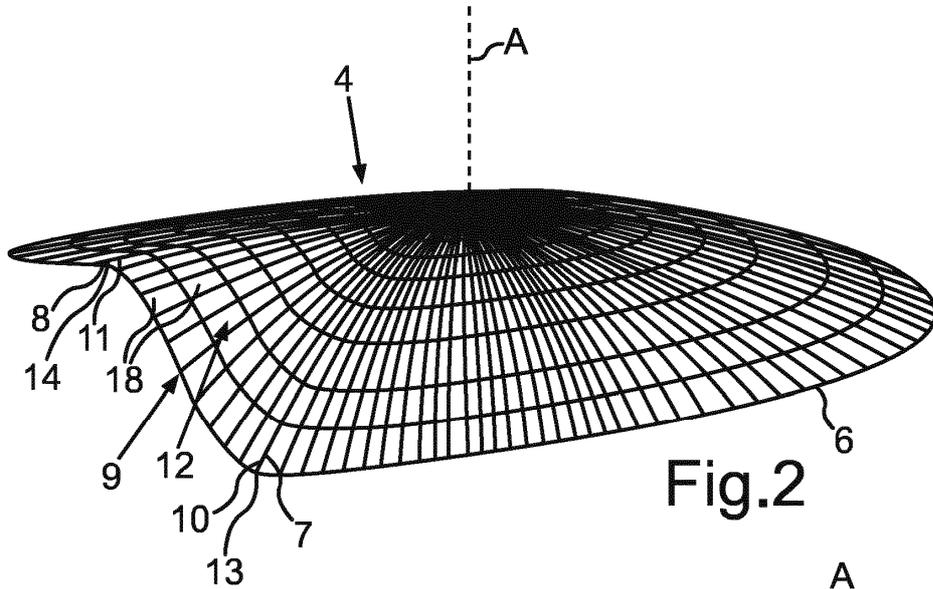


Fig.2

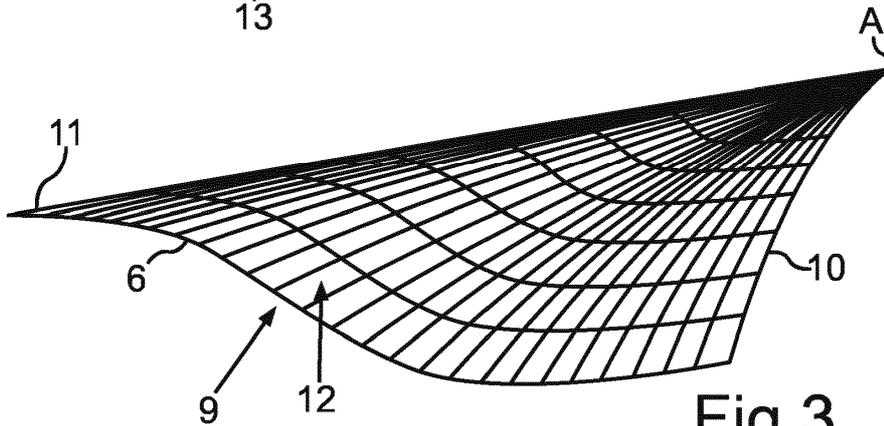


Fig.3

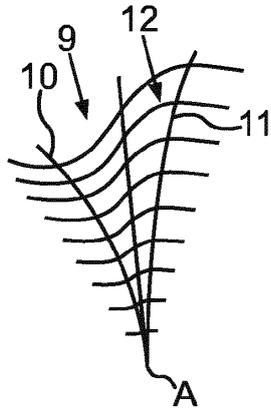


Fig. 4

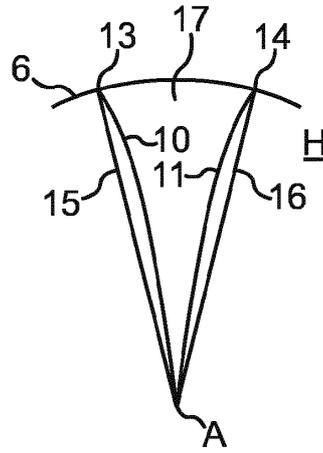


Fig. 5

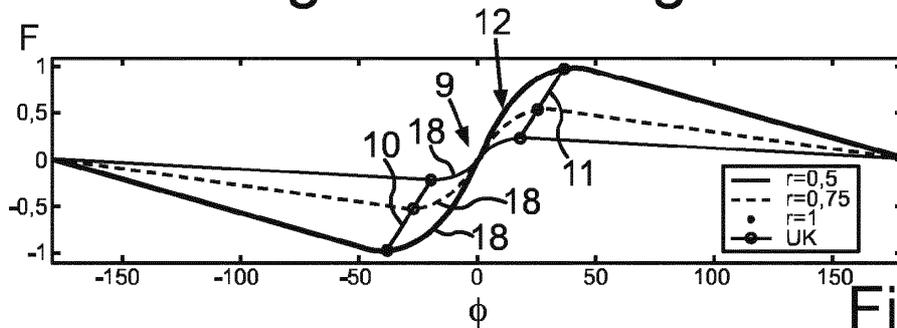


Fig. 6

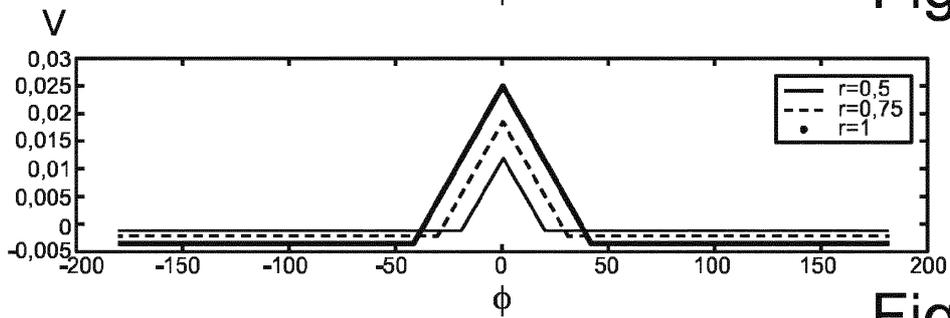


Fig. 7

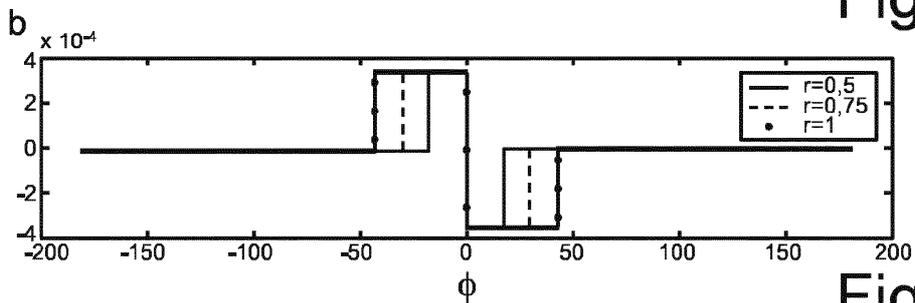


Fig. 8

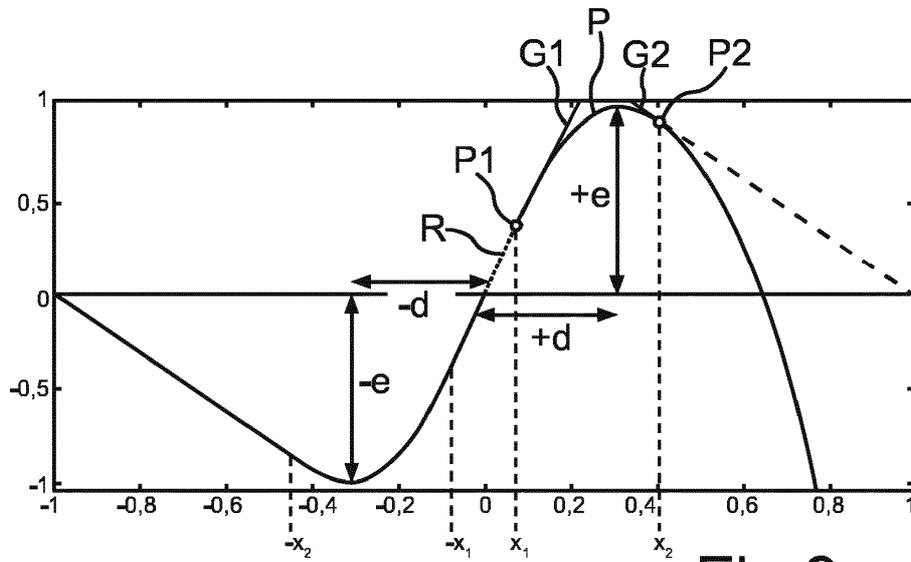


Fig.9

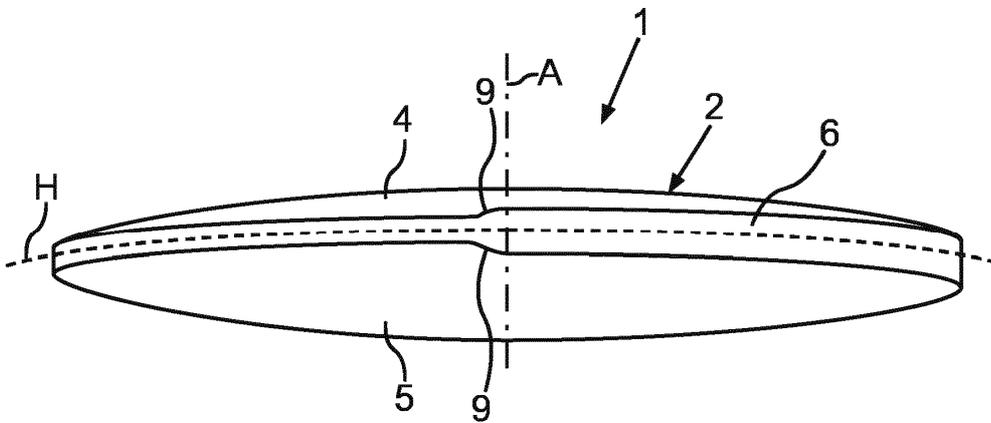
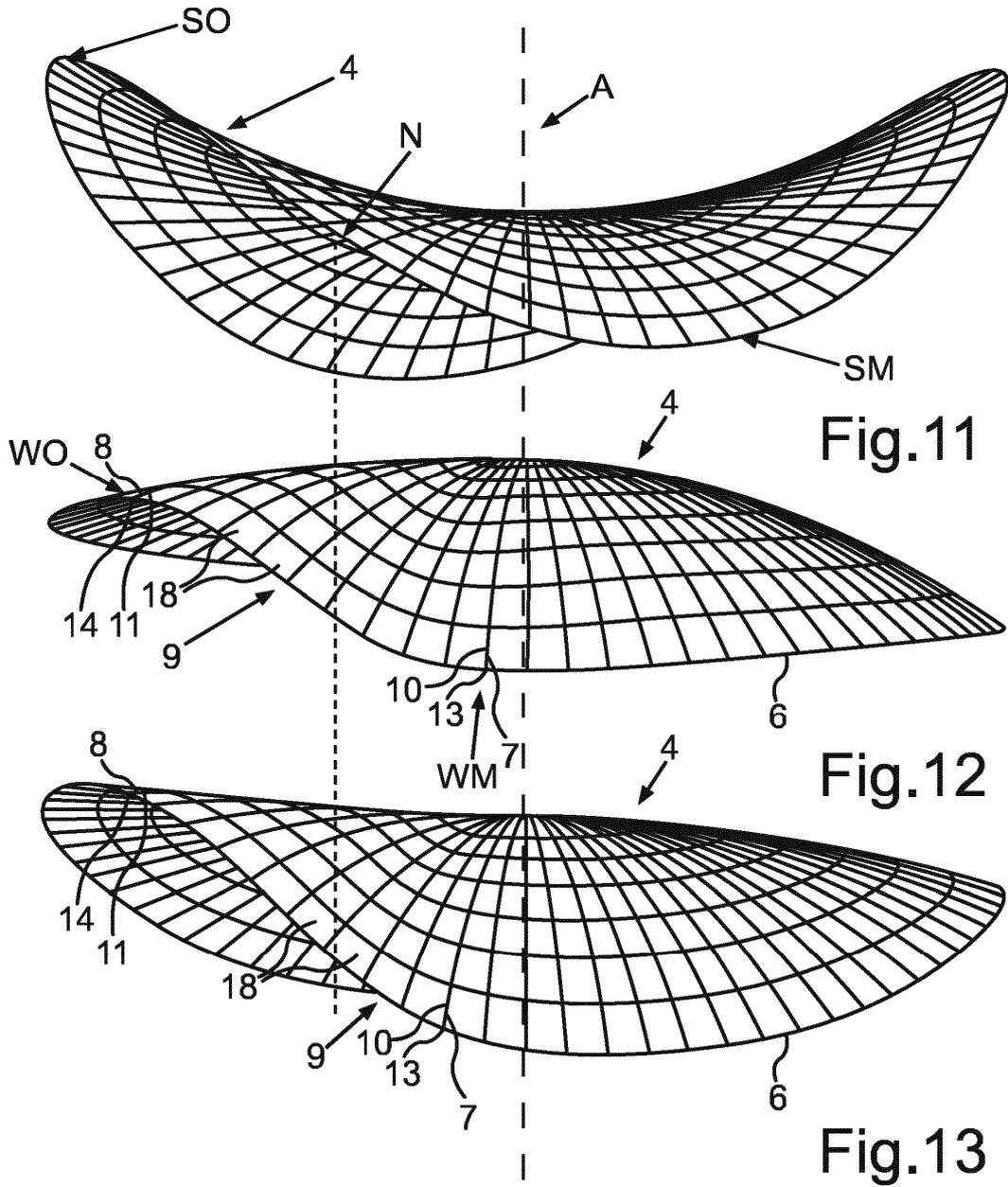


Fig.10



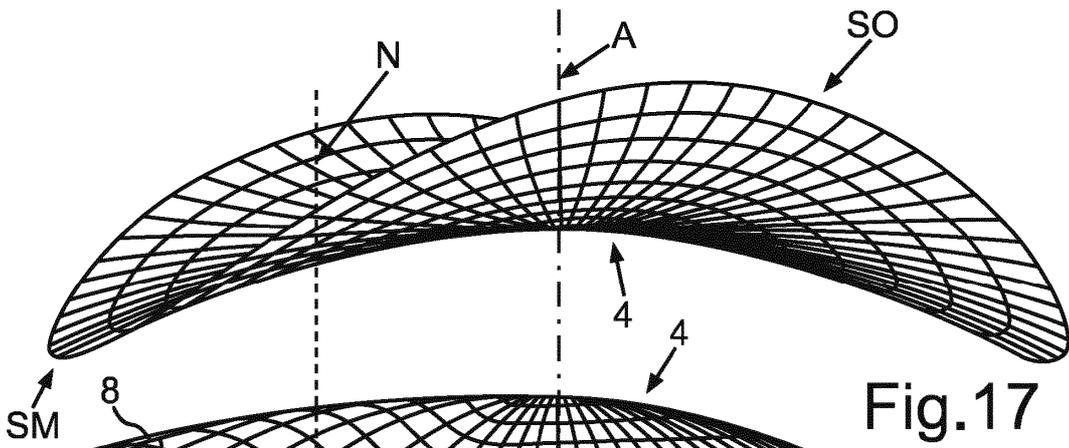


Fig.17

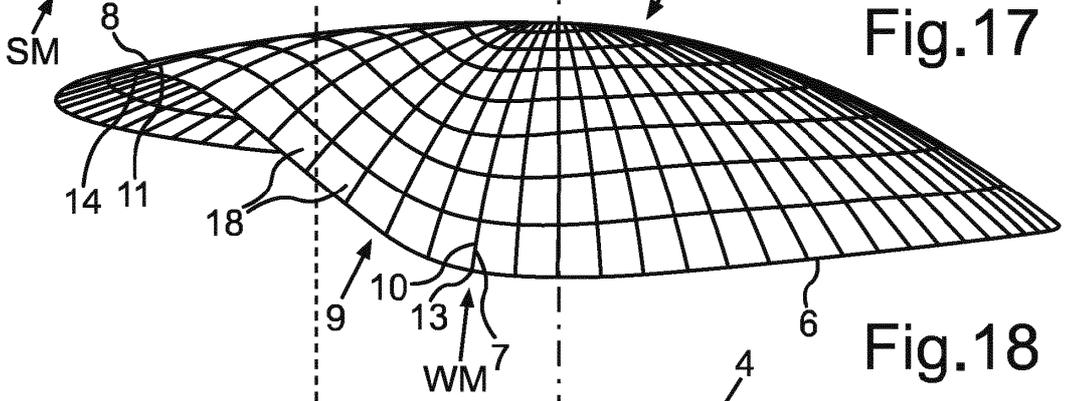


Fig.18

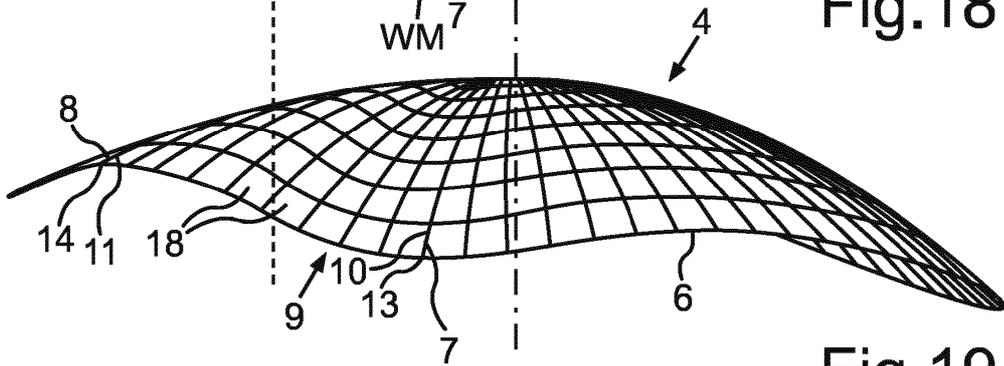


Fig.19

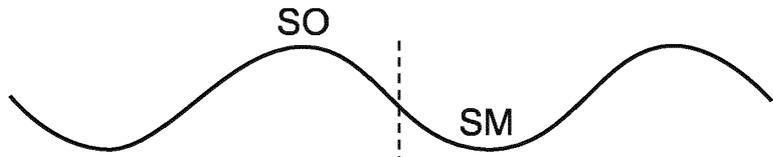


Fig.14

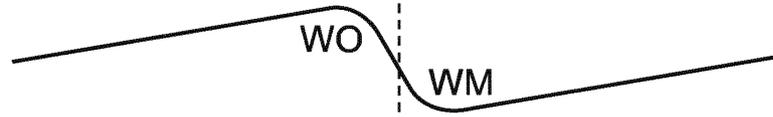


Fig.15

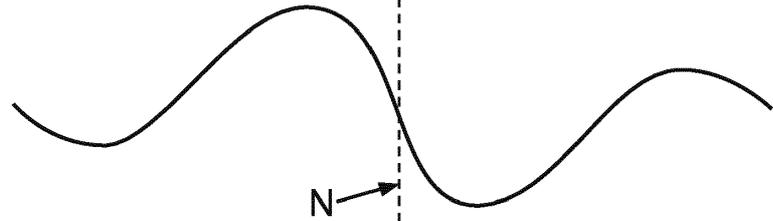


Fig.16

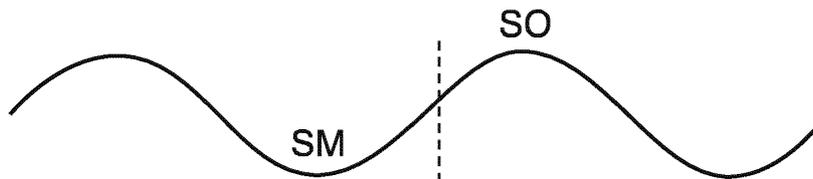


Fig.20

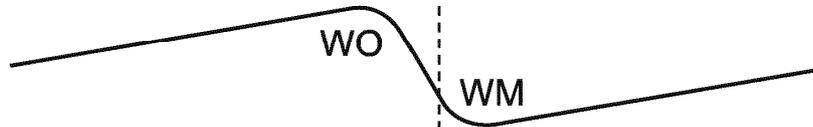


Fig.21

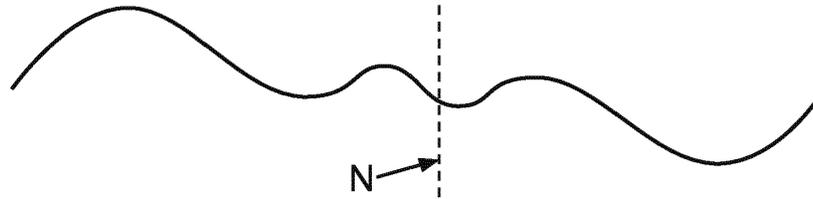


Fig.22