

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 593 708**

51 Int. Cl.:

**G06F 17/50** (2006.01)

**G05B 19/4097** (2006.01)

**G06F 3/00** (2006.01)

**G06T 9/00** (2006.01)

**A61C 13/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **10.11.2003 PCT/EP2003/012525**

87 Fecha y número de publicación internacional: **27.05.2004 WO04044787**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **10.11.2003 E 03785641 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **13.07.2016 EP 1581896**

54 Título: **Procedimiento para fabricar piezas de prótesis dentales o restauraciones dentales empleando representaciones dentales electrónicas**

30 Prioridad:

**11.11.2002 DE 10252298**

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

**12.12.2016**

73 Titular/es:

**SIRONA DENTAL SYSTEMS GMBH (100.0%)  
Fabrikstrasse 31  
64625 Bensheim, DE**

72 Inventor/es:

**MEHL, ALBERT**

74 Agente/Representante:

**ISERN JARA, Jorge**

ES 2 593 708 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 fabricar piezas de prótesis dentales o restauraciones dentales empleando representaciones dentales electrónicas

5 La invención se refiere a un procedimiento para fabricar una imagen electrónica tridimensional general de un diente y a su uso para la fabricación de modelos de dientes, piezas de prótesis dentales o restauraciones dentales de dientes que necesitan reparación o situaciones de defecto.

10 Para el cuidado de defectos dentales se facilitan diferentes posibilidades. Una posibilidad es la aplicación directa de material de relleno en la boca, es decir el dentista elimina la caries y llena el agujero en la misma sesión con un material de relleno. Este modo de proceder se elige sobre todo en el caso de defectos menores. Para defectos mayores se recurre más bien a materiales como metal o cerámica etc., que no pueden elaborarse directamente en la boca. También la estructuración de la superficie masticatoria en la boca en el caso de defectos mayores debe realizarse más bien de manera problemática y complicada. Por lo tanto en la consulta del dentista se realiza un moldeo tras realizar una preparación del diente. Este moldeo se lleva a un laboratorio mecánico dentista y se crea un modelo en yeso. Al considerar la dentadura opuesta, y eventualmente al incluir los movimientos de la mandíbula en forma de articuladores puede elaborarse la restauración dental correspondiente o pieza de prótesis dental. Estas podrían ser p.ej. inlays, onlays, coronas parciales, coronas, puentes, coronas telescópicas, prótesis parciales etc. No obstante la fabricación de una restauración de este tipo es muy laboriosa. Tras el moldeo y fabricación del modelo de yeso con asociación del maxilar opuesto se realiza el crecimiento o sinterización, incrustación, fundición o prensado, retocado, adaptación y pulido. El elevado número de etapas y las posibilidades técnicas limitadas en el laboratorio mecánico dental llevan a que, por un lado, puedan producirse errores de tratamiento y la calidad de material del producto acabado no sea óptimo y por otro lado no puedan acabarse todos los materiales (p.ej. cerámicas de alto rendimiento). Adicionalmente la elevada cantidad de trabajo lleva también costes elevados.

Como alternativa al modo de fabricación convencional se considera entre tanto la tecnología CAD/CAM en la que con ayuda de procedimientos informáticos se realiza la elaboración de restauraciones dentales y piezas de prótesis dentales. Expresado de manera simplificada el proceso se divide en:

1. Registro de datos tridimensional de la preparación o varias preparaciones
2. Generación de un juego de datos CAD de la restauración dental, es decir construcción o cálculo de la funda externa y/o modelación interactiva de la funda externa en la pantalla
3. Tratamiento del juego de datos CAD acabado en una fresadora o rectificadora controlada por ordenador (p.ej. CNC) o sistemas de prototipado rápido (*Rapid Prototyping*).

La ventaja de un procedimiento de este tipo es clara:

1. Ahorro de costes mediante la automatización y por tanto ahorro de tiempo
2. Empleo de materiales acabados de manera industrial. Estos pueden sinterizarse, fundirse etc. en condiciones más óptimas que en el laboratorio, y presentan por lo tanto mejores propiedades de material. Especialmente para cerámicas y titanio estas ventajas ya se han examinado de manera detallada.
3. La prótesis dental se produce con calidad constante. No se producen oscilaciones debido a fallos de procesamiento como en los procesos de fabricación convencionales.
4. Los materiales completamente novedosos como cerámicas de óxido de circonio etc., que hasta el momento en el proceso técnico odontológico convencional podían tratarse, o solamente con un esfuerzo elevado, pueden elaborarse con el procedimiento CNC.

Algunos sistemas ya se están empleando. Una visión general actual puede deducirse por ejemplo de la edición de la ZWP (diciembre de 2001, Mehl). Además en los documentos de patente US 5,217,375, EP 0 643 948, EP 0 634 150, EP 0 913 130 A2 y WO 0239056 se describen tales sistemas o aspectos individuales de tales sistemas.

Un problema que hasta ahora no se resolvía es la fabricación lo más automatizada posible de restauraciones dentales, que ya presentan una superficie masticatoria que corresponde a todos los criterios funcionales y morfológicos de una superficie masticatoria, y puede adaptarse de manera óptima a la situación del diente opuesto.

En la mayoría de sistemas por ahora solamente es posible la fabricación de estructuras. De modo similar al modo de proceder convencional en el que p.ej. una estructura de metal se reviste con cerámica o plástico (vale también para otros materiales como estructuras de cerámica o plástico), la estructura base se crea en el proceso CAD/CAM y a continuación al menos partes de la superficie masticatoria y superficies externas todavía ausentes se revisten de manera convencional con cerámica, composite etc. Estas estructuras pueden conseguirse p.ej. en el software CAD

(software de construcción) aumentando la preparación o calculando una superficie, que se sitúa en una distancia determinada que puede seleccionarse, (=espesor de capa de la estructura) con respecto a la superficie de preparación. Adicionalmente es posible también la inclusión de "convexidades" y "deformaciones". En el documento EP 0 913 130 A2 con la figura13b puede verse un proceso de este tipo. Un ejemplo adicional se describe en el documento EP 0 643 948 A1.

Para la generación automática de una superficie masticatoria, que está configurada según todos los criterios deseados y requisitos de una buena restauración dental o pieza de prótesis dental, no existe todavía un procedimiento. Sin embargo esto sería de gran importancia dado que con ello la disponibilidad y la eficiencia de costes de un sistema CAD/CAM puede aumentar y con ello sobre todo la tecnología CAD/CAM puede establecerse sobre todo en el marco amplio en la medicina dental. Al mismo tiempo con este procedimiento debe existir también la posibilidad de poder elaborar la prótesis dental calculada en una máquina.

En la bibliografía y en los documentos de patente se describen diferentes procedimientos para configurar la superficie masticatoria. Para la reconstrucción de superficies *inlay* se describen tanto los métodos lineales como también diferentes métodos de extrapolación (Mattiola, A., Mörmann, W.H. y Lutz, F.: "Computerunterstützte Okklusion von Cerec 2 Inlays und Overlays". Schweiz Monatsschr Zahnmed 105:1283-1290 (1995); Kunzelmann, K.-H., Mehl, A., Pelka, M.: Automatische Rekonstruktion von Kauflächen computergenerierter Restaurationen (reconstrucción automática superficies masticatorias de restauraciones generadas por ordenador). Zahnärztl Welt/Rundschau 102, 695 - 703 (1993)). En el caso del método lineal se unen puntos enfrentados del límite de cavidad (en la mayoría de los casos en dirección oral vestibular sencillamente mediante una recta y así se rellena el defecto. En el caso de la extrapolación, la pendiente (gradiente) de la sustancia dental residual todavía presente avanza dentro del defecto y de esta manera se reconstruye la superficie. Es obvio que con este modo de proceder solo puede originarse algo aproximadamente similar a la superficie masticatoria. La inclusión de criterios morfológicos y la situación de la dentadura opuesta no son posibles. Al mismo tiempo este procedimiento es adecuado solamente para defectos relativamente pequeños.

Una segunda posibilidad consiste en una medición óptica tridimensional adicional o bien de la superficie masticatoria presente, antes de que el diente se lime, o de una superficie masticatoria modelada de manera individual con cera o plástico (p.ej. Mattiola, A., Mörmann, W.H. y Lutz, F.: "Computerunterstützte Okklusion de Cerec 2 Inlays und Overlays". Schweiz Monatsschr Zahnmed 105:1283-1290 (1995), Mehl, A., Gloger, W., Hickel, R.: Erzeugung von CAD-Datensätzen für Inlays und Kronen mit funktionellen Kauflächen. Dtsch Zahnärztl líneas 52, 520-524 (1997)). Mediante un clic o selección de puntos de referencia en los dientes adyacentes la medición de la preparación y la superficie masticatoria pueden situarse una respecto a otra y completarse la restauración en su totalidad. En este caso debe crearse no obstante un modelado de cera manualmente, de manera que la ventaja de la automatización mediante el sistema CAD/CAM ya no se da. En la mayoría de los casos al suministrar un diente la superficie masticatoria inicial no podrá utilizarse debido a defectos de caries existentes o suministros insuficientes, de manera que también esta posibilidad solamente está limitada a una zona de indicación pequeña delimitada. Una posibilidad adicional se presenta en el documento WO 0239056. Aquí se describe un sistema de archivo de pacientes, p.ej. tarjeta chip para el paciente que contiene los datos dentales almacenados. Estos datos dentales pueden emplearse de nuevo después en un momento posterior cuando deben elaborarse suministros para el paciente, y sirven para la reconstrucción del defecto. En este caso se garantizaría en todo caso que la superficie masticatoria completada estuviera adaptada morfológicamente y funcionalmente de manera óptima al sistema gnatológico. No obstante en estos procedimientos debe contarse con fases preliminares correspondientes, de manera que en primer lugar debe recurrirse a otros procedimientos para los suministros de una masa extensa.

Otras posibilidades en relación con la inclusión de geometrías de superficie masticatoria en el proceso CAD/CAM se describen en las siguientes invenciones. Por el documento DE 198 38 239 A1 se conocen grupos de piezas brutas para restauraciones dentales que se asocian a los diferentes tipos de dientes, y cuyas geometrías externas de determinan a partir de promedios, que se extraen de la bibliografía especializada, para el tipo de diente respectivo. En este caso sin embargo no se trata de una descripción de superficies de dientes matemática que puede emplearse para la reconstrucción CAD/CAM de restauraciones dentales, sino solamente de un cálculo aproximado de máximo-mínimo para la dimensión externa aproximativa de piezas brutas, de las cuales debe fresarse la restauración dental deseada individual. Los promedios que pueden tomarse de la bibliografía son además solamente medidas de longitud, ancho o lineales similares que de ninguna manera tampoco pueden describir solo de manera aproximada una superficie masticatoria para el proceso de reconstrucción asistido por ordenador.

Por el documento DE 199 23 978 A1 se conoce un procedimiento para la representación asistida por ordenador específica de cada paciente y planificación de trabajos odontológicos y/o protésico dentales, en los cuales se crea una base de datos de imágenes digitalizada con una pluralidad de vistas de dientes modelo y maxilares, comprendiendo las vistas modelo objetos p.ej. dientes individuales que presentan diagnósticos sanos y de enfermedades dentales, incluyendo la base de datos de imágenes reproducciones de regiones bucales típicas. Este procedimiento sirve como sistema experto asistido por ordenador para la planificación y decisión de terapias de tratamientos odontológicos. Para la reconstrucción tridimensional de defectos dentales, como es necesario en el proceso CAD/CAM para la fabricación de prótesis dentales, este procedimiento no es adecuado, dado que los datos de diagnósticos específicos de cada paciente no son suficientes para la adaptación individual exacta de las bases de

datos de imágenes. La base de datos de imágenes debe facilitar también solamente formas estándar típicas para la conversación sobre la planificación con el paciente, no se lleva a cabo una modificación mediante la combinación de estos datos para formar un nuevo juego de datos representativo.

5 Por el documento EP 0 643 948 A1 se conoce un procedimiento para la fabricación de una restauración dental en el que se emplea una biblioteca de datos autodidacta de formas básicas de diente. El modo de proceder se limita en este caso solamente a la creación de estructuras de corona, y contiene el aprendizaje solamente de tales parámetros como espesor de capa, localización y grosor de abombamientos, desarrollo aproximado de la línea de preparación. Este "aprendizaje" sencillo no lleva a descripciones matemáticas o paramétricas de superficies dentales que son adecuadas para la reconstrucción de defectos dentales individuales con geometría externa completa como inlays, onlays, coronas y puentes formados de manera anatómica y funcional. Particularmente con ello tampoco puede tener lugar ninguna consideración de la situación de la dentadura restante como dientes adyacentes y dentadura opuesta. Además no se imita en este caso la forma predeterminada por la naturaleza, sino solamente se averigua los parámetros de construcción de estructuras físicas que se basan en la experiencia del o de los mecánicos dentista/expertos.

Por el documento US 5,257,203 se conoce un procedimiento para la fabricación de una restauración dental en el que se emplea un base de datos de formas de dientes genéricas estandarizadas, siendo estas formas de diente genéricas representaciones normalmente basadas en ordenador de modelos de yeso estandarizados de dientes. El modelo de diente genérico se adapta mediante métodos matemáticos al lugar de preparación.

En el caso de formas de diente genéricos utilizadas en este procedimiento no se trata de formas de diente derivadas aritméticamente o algorítmicamente de una base de datos, y por tanto no de modelos de diente genéricos descritos en el sentido de la presente invención, sino de modelos de yeso estandarizados que solamente se exploran de manera tridimensional y este juego de datos se emplea para la reconstrucción. La desventaja reside también en que la estandarización no se basa en ningún principio de construcción general y la configuración solamente se basa en la destreza manual y la experiencia de expertos individuales con limitación correspondiente de la diversidad de formas que aparecen en la naturaleza.

Una posibilidad adicional para la fabricación de restauraciones dentales se describe in "Saliger, G., Designing a CEREC crown. In Cerec 10 year anniversary Smposium, ed. W.H. Mörmann. Quintessence, Chicago, 1996" o en el documento DE 19642247. En este caso el juego de datos de un diente modelo se ajusta y se adapta al diente preparado. Esencialmente este modelo de diente se escala de manera correspondiente a la extensión mesial-distal del defecto, se traslada y se gira. Una deformación elástica puede mejorar todavía más el resultado. En Saliger 1996 (véase arriba) se facilita una posibilidad interactiva siguiente de la rotación y del control de la superficie masticatoria con respecto al diente opuesto. Adicionalmente las cúspides pueden modificarse en su posición. Todo esto se realiza de manera interactiva. Finalmente se fresa la restauración dental.

El problema en todos los modos de proceder mencionados se basa sobre todo en los siguientes hechos:

- Los puntos de contacto con respecto al diente opuesto se fijan solo posteriormente al realizarse la adaptación mediante distorsiones interactivas o modificarse el diente modelo hasta que se presentan roces con la funda. Esto lleva a menudo a formas totalmente atípicas de diente dado que el diente modelo desde un principio no se adapta de manera óptima a la situación global.
- No hay ningún proceso automatizado para la selección de un mejor diente modelo (en el caso de que hubiera varios para seleccionar). Hasta ahora esto se realiza basándose en reglas visuales.
- El trabajo y la modificación interactiva en el monitor solamente puede imaginarse con dificultad en su repercusión en tres dimensiones, y por lo tanto para una persona con poca experiencia en el trabajo de ordenador solamente puede dominarse tras un largo periodo de práctica y rutina diaria.
- No se recurre a la morfología de los dientes adyacentes o antagonistas o tampoco al tipo de diente enfrentado correspondiente en la misma mandíbula. Eso es importante en algunos casos para garantizar una integración armónica de la restauración en el sistema maxilar.
- Las modificaciones del diente modelo mediante el escalamiento, posicionamiento de cúspide y deformaciones interactivas no tienen que llevar necesariamente a superficies similares a los dientes.
- Para todas las adaptaciones interactivas o automáticas no hay hasta ahora ningún procedimiento que garantice que tras la modificación se origine de nuevo una superficie masticatoria muy similar a un diente natural. Como hasta ahora los criterios de una buena superficie masticatoria configurada de manera funcional y estática todavía no se conocen científicamente y tampoco se han comprobado, la demanda para cada restauración debe ser que se acerque lo más posible a las circunstancias y formas naturales para no provocar de esta manera ningún daño a largo plazo en los dientes, en el tejido y en la articulación.

Con la presente invención se consigue superar los problemas tratados previamente, invención que posibilita la fabricación de restauraciones dentales, piezas de prótesis dentales o modelos de diente con superficies masticatorias y/o superficies que se acercan mucho a un diente natural y se unen de manera óptima funcionalmente y morfológicamente a la situación maxilar, pudiendo automatizarse más el proceso de fabricación, es decir que pueda desarrollarse con fundamentalmente menos interacciones y con menos errores, es decir más fácil de

manejar.

Por piezas de prótesis dentales se entiende en este documento de patente piezas o la totalidad de prótesis totales o parciales (p.ej. prótesis telescópicas, prótesis de gancho, prótesis provisionales etc.) o también construcciones superiores de implante, por restauraciones dentales puentes, coronas telescópicas (piezas primarias y secundarias), coronas, incrustaciones inlays, onlays, overlays y coronas parciales. Los modelos de diente se emplean como dientes protésicos, como modelos autónomos, como componentes de modelos de práctica, configuración y de visualización o para la representación en medios electrónicos o medios de impresión. De esto hay que separar el término de modelo de diente genérico o juego de datos de modelos de dientes genérico, como se aclarará a continuación.

La invención crea un procedimiento para la fabricación de un juego de datos electrónico de un modelo de diente genérico que puede utilizarse para la elaboración de una pieza de prótesis dental, de una restauración dental o de un modelo de diente como está indicado en la reivindicación 1. Esto puede emplearse para la fabricación de modelos de diente, piezas de prótesis dentales o restauraciones dentales. Un uso del procedimiento para la fabricación de un juego de datos electrónico del modelo de diente genérico está indicado en la reivindicación 4. Un uso de una máquina controlada numéricamente para la fabricación de modelos de diente, piezas de prótesis dentales o restauraciones dentales, al controlarse la máquina según un juego de datos obtenido de acuerdo con la invención está indicado en la reivindicación 14. Los perfeccionamientos de los procedimientos de acuerdo con la invención están indicados en las reivindicaciones dependientes. En las reivindicaciones 15 y 16 se indica un dispositivo para la visualización, adaptación y ajuste de un juego de datos de modelos de dientes genérico.

Un juego de datos obtenido de acuerdo con la invención de un modelo de diente genérico es particularmente adecuado como base inicial para la fabricación de una pieza de prótesis dental, de una restauración dental o de un modelo de diente, porque el juego de datos de modelos de dientes genérico, al contrario que en un modelo de diente electrónico convencional, no está basado en ideas del autor del modelo de diente electrónico que coinciden más o menos con la naturaleza, sino que está determinado por dientes reales.

Si por ejemplo se fabrica una restauración para un diente que necesita reparación con la ayuda de un modelo de diente genérico obtenido de acuerdo con la invención, la forma de diente natural que se expresa en el modelo de diente genérico es decisiva y no un modelo de diente originado por la idea de una persona.

En la fabricación por ejemplo de una restauración dental el modelo de diente genérico obtenido de acuerdo con la invención puede tomarse como base de partida y adaptar este juego de datos mediante la adaptación a piezas de superficies dentales que permanecen del diente que necesita reparación o a la situación de la dentadura restante al diente que va a repararse en cada caso al transformarse este juego de datos por intervención interactiva o mediante sistema automático controlado por un software, para llevar a cabo la adaptación mencionada a los restos de superficie dental del diente que va a repararse, o a la situación de la dentadura restante que rodea el diente que va a repararse.

Por lo tanto el procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1 prevé que sobre la base de un análisis de correspondencias se lleva a cabo un análisis de ejes principales y una combinación lineal en la manera descrita en estas reivindicaciones, desde los cuales se crea un juego de datos de modelos de dientes genérico. Con ayuda del modelo de diente genérico puede fijarse el marco dentro del cual es posible una adaptación de juego de datos de modelos a la imagen electrónica de la estructura residual del diente que va a repararse sin que se aparte de la reserva de formas de formas de diente naturales. La adaptación del juego de datos de modelos de dientes genérico a la parte que va a repararse del diente que necesita reparación puede producirse de manera interactiva o también totalmente automatizada mediante procesamiento y control de software. Si se controla una máquina controlada numéricamente de acuerdo con un juego de datos obtenido de esta manera se produce una pieza dental física que se acerca de manera particularmente acertada a la apariencia de la superficie dental anterior intacta del diente que va a repararse, pudiendo alcanzarse este resultado también de manera relativamente sencilla para el odontólogo o el mecánico dentista.

El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1 se ocupa de la creación de un juego de datos de modelos de dientes genérico de un tipo de diente determinado (p.ej. primer molar superior, o también primer molar superior, grande, mediano y pequeño etc.). Estas superficies permiten ya para muchas situaciones una reconstrucción suficiente similar al diente. Además el juego de datos de modelos de dientes genérico posibilita que cada modificación que se realiza bajo ciertos criterios (véase más adelante) en esta superficie, produzca con elevada probabilidad a su vez una superficie masticatoria natural y que describa todas las variantes posibles permitidas de modificaciones de la totalidad de casi todas las morfologías dentales que se dan en la naturaleza. El número de las variables de adaptación es reducido en este caso y la reconstrucción de superficies de diente puede automatizarse.

La generación de este juego de datos de modelos de diente genérico se realiza en este caso mediante el mayor número posible de juegos de datos del mismo tipo de diente. En general los juegos de datos electrónicos pueden estar medidos tanto de manera bidimensional como también tridimensional. La medición bidimensional va p.ej. con la fotografía métrica, procedimientos tridimensionales p.ej. con escáner de luz estructurada etc., también

procedimientos de estereofotogrametría serían concebibles. Para la reconstrucción de dientes que necesitan reparación y situaciones de defecto se necesita sin embargo al menos juegos de datos medidos de manera tridimensional. En cuanto al tipo de diente puede tratarse por ejemplo de molares, premolares, caninos e incisivos. Como tipo de diente sin embargo también puede ser el primer molar superior, el primer premolar inferior, primer incisivo superior etc. Es posible además una diferencia según la edad y desgaste, según el sexo, según la etnicidad, según el tamaño de los dientes, según peculiaridades morfológicas etc., p.ej. los grupos segundo molar superior de edades entre 50 y 60 años, primer molar superior con o sin tubérculo de Carabelli, el canino inferior en mujeres, la subdivisión en primer molar grande, mediano, pequeño etc. pueden representar un ejemplo para un tipo de diente. También pueden p.ej. pueden reunirse dientes adyacentes en un tipo de diente (combinado), para integrar o analizar relaciones de dientes adyacentes. Mediante la información del diente adyacente podría realizarse la selección de la superficie de diente para el diente que necesita reparación o para la situación de defecto. El término tipo de diente comprende por lo tanto una posibilidad de agrupamiento muy variable según el planteamiento, lo que debe considerarse en las reivindicaciones en su generalidad

Para un tipo de diente determinado los juegos de datos respectivos en una primera etapa deben establecer referencias unos respecto a otros (llevarse al mismo sistema de coordenadas y organizarse de manera más o menos uniforme) y entre los puntos de superficie de uno de los juegos de datos con los otros juegos de datos respectivamente deben construirse correspondencias. Estas correspondencias se realizan p.ej. entre puntos y estructuras marcados de la superficie. Esta asociación puede realizarse manualmente, puede realizarse mediante búsqueda y asociación de determinadas estructuras de características caracterizadoras (forma de la cúspide, curso de la fisura, reborde etc.). Opcionalmente puede preferirse un proceso que encuentre estas estructuras y/o puntos de correspondencia automáticamente, dado que hasta ahora no se presenta ningún hecho comprobado que pueda registrarse métricamente que sean los puntos o estructuras marcadas o propiedades de un tipo de dientes determinado. En oposición no hay hasta ahora en toda la bibliografía de odontología ninguna indicación a una descripción matemática solamente aproximativa de superficies de diente, que de algún modo sea adecuada para el proceso CAD/CAM.

Como una posible variante de implementación se ha acreditado como factible el siguiente procedimiento: en primer lugar los juegos de datos de las superficies de diente medidas de un tipo de diente determinado se lleva al mismo sistema de coordenadas, para recibir una base de partida lo mejor posible para la determinación de puntos de correspondencia automática. Esto puede realizarse con rutinas de emparejamiento mediante la minimización de la función error de distancia, determinándose parámetros de rotación y de traslación. Tras realizar la transformación de coordenadas tiene lugar el análisis de correspondencias. A partir del procesamiento de imágenes pueden aplicarse con éxito algoritmos modificados en este caso para el flujo óptico. Además mediante un registro elástico o emparejamiento de determinadas características (fisuras, puntas de cúspide, inclinaciones de cúspide, rebordes) entre las superficies de diente individuales pueden formarse correspondencias y encontrarse reglas de reproducción. Al final se obtiene la asociación de muchos puntos mediante correspondencias entre todos los juegos de datos.

Esto se especifica de manera más exacta a continuación mediante el procedimiento del flujo óptico. La base de partida son  $m$  superficies de diente de biblioteca de un tipo de diente determinado, extraídas de una biblioteca de dientes, en la fórmula  $z_j(x, y)$ , con  $j = 1, \dots, m$  como datos de exploración.

Igualmente están permitidas representaciones paramétricas  $z_j(u, v)$ , con  $u = u(x, y)$ ,  $v = v(x, y)$ . Estas pueden ser p.ej. coordenadas polares etc. Cualquier superficie tridimensional complicada con salientes puede aproximarse por tramos mediante las funciones anteriores. En el sentido ampliado para otros procedimientos también está permitida cualquier descripción de dientes dimensional.

Partiendo de un diente de referencia  $z_R(x, y)$ , con  $R \in \{1, \dots, m\}$ , mediante un análisis de correspondencias respecto a cada punto del diente de referencia se busca el punto correspondiente sobre la superficie masticatoria  $z_j(x, y)$ . Esto puede realizarse también mediante vinculación de correspondencias conectada sucesivamente, al construirse partiendo de un diente la correspondencia con un diente adicional, a partir de este nuevo diente una correspondencia adicional con un tercer diente etc. Adicionalmente antes de cada nueva averiguación de correspondencia también puede calcularse un nuevo diente promedio de las correspondencias existentes y servir como base de partida para el nuevo análisis de correspondencias. En total esto puede alcanzarse mediante un algoritmo, que encuentra estas correspondencias automáticamente sin conocimientos previos, tal como se especifica en la reivindicación 6. Una posibilidad es el procedimiento del flujo óptico (para cualquier objeto en 3D se describen también otras posibilidades en Shelton, C.R.: 3D Correspondence. Master Thesis, Massachusetts Institute of Technologie, 1998). Como resultado se obtiene un campo de vector  $\vec{v}_j(x, y)$  bidimensional que pertenece a cada diente  $z_j(x, y)$  con:

$$\vec{v}_j(x, y) = \begin{pmatrix} \Delta x_j(x, y) \\ \Delta y_j(x, y) \end{pmatrix}$$

de manera que a cada par de coordenadas  $(x, y)$  del diente de referencia  $z_R(x, y)$  resulta el punto correspondiente del diente  $z_j(x', y')$  de la relación:

$$z_j(x + \Delta x_j(x, y), y + \Delta y_j(x, y))$$

En superficies de diente es práctico, exigir además de la lisura del campo de desplazamiento con respecto a las coordenadas z, también la lisura con respecto a las pendientes, dado que las pendientes también representan una característica esencial de las superficies masticatorias. También en el modo de proceder del análisis de correspondencias puede intentarse, tras encontrar una nueva correspondencia añadir este juego de datos a los juegos de datos ya correspondientes, y a partir de ello buscar una nueva combinación lineal que se aproxime lo más posible al siguiente juego de datos, que todavía no corresponde. Esta nueva combinación lineal puede consultarse entonces para el siguiente hallazgo de correspondencia automático. Así de manera iterativa pueden llevarse todos los juegos de datos a una correspondencia.

Ya que no todos los puntos de una superficie no pueden asociarse de manera inequívoca a los puntos de la otra superficie puede exigirse que el campo de desplazamiento se comporte visualmente como una membrana elástica: entre las correspondencias inequívocas esta membrana casi no puede desplazarse, mientras que entre tanto es decir en las zonas con correspondencias poco claras o débiles puede aflojarse casi libremente. Esto puede calcularse por ejemplo mediante la minimización de una función de energía, que se compone de un acoplamiento de muchos campos entre los puntos de superficie individuales (acercamiento para la membrana elástica continua).

Una ampliación interesante para el cálculo del flujo óptico consiste en que además de la representación de datos en 3D  $z(x,y)$  se recurre a otros criterios o descripciones de superficie para el análisis de correspondencias, como se remite en la reivindicación 3 para datos electrónicos correspondientes. Esto podría ser por ejemplo el campo de gradiente (pendientes) de la superficie de diente. Las gradientes describen determinadas características como bordes, esquinas o modificaciones intensas en la superficie mejor que los meros datos de altura. Al formarse ahora un nuevo factor de característica  $\vec{m}$  con

$$\vec{m} = \begin{pmatrix} z(x, y) \\ \nabla z(x, y) \end{pmatrix}$$

e introducir una nueva norma para este espacio de característica:

$$\|\vec{m}\|^2 = z^2(x, y) + \beta \cdot (\nabla z(x, y))^2$$

fijando  $\beta$  la ponderación del campo de gradiente en relación con el campo de altura, de manera que puede calcularse el campo de desplazamiento  $\vec{v}(x, y) = (\Delta x(x, y), \Delta y(x, y))^T$  para el vector de característica  $\vec{m}$  de manera análoga a lo anterior cuando se emplean las normas  $\left\| \begin{matrix} z \\ m_x \end{matrix} \right\|$  y  $\left\| \begin{matrix} z \\ m_y \end{matrix} \right\|$  y los productos escalares respectivos  $(\vec{m}_x, \vec{m}_y)$

o  $(\vec{m}_x, \Delta \vec{m}_x)$ . Naturalmente podrían imaginarse también varios vectores de característica multidimensionales al considerar también propiedades adicionales de la superficie de diente. Estas podrían ser por ejemplo valores de textura, curvaturas etc. El factor de ponderación  $\beta$  (o factores de ponderación adicionales) permite la posibilidad, de establecer la influencia respectiva de los campos de característica individuales. Con todas estas medidas se presenta una herramienta que posibilita para las superficies de diente un análisis automático de correspondencias que no precisa conocimientos previos.

Si se encuentran estas asociaciones, en una siguiente etapa el diente de referencia puede representarse como vector en un espacio tridimensional (n es en este caso la cantidad de los puntos seleccionados situados en la superficie de diente, de manera ideal se tomará como base una cuadrícula equidistante, la cantidad típica de puntos puede ir de 10000 a 200000):

$$\vec{D}_R = (x_1, y_1, z_R(x_1, y_1), x_2, y_2, z_R(x_2, y_2), \dots, x_n, y_n, z_R(x_n, y_n))$$

De manera consistente, partiendo del diente de referencia (o de la combinación lineal) y el vector de campo correspondiente  $\vec{v}_j(x, y)$  se representan todos los otros dientes de la biblioteca como vector tridimensional:

$$\begin{aligned} \vec{D}_j = & (x_1 + \Delta x_j(x_1, y_1), y_1 + \Delta y_j(x_1, y_1), z_j(x_1 + \Delta x_j(x_1, y_1), y_1 + \Delta y_j(x_1, y_1)), \\ & x_2 + \Delta x_j(x_2, y_2), y_2 + \Delta y_j(x_2, y_2), z_j(x_2 + \Delta x_j(x_2, y_2), y_2 + \Delta y_j(x_2, y_2)), \dots, \\ & x_n + \Delta x_j(x_n, y_n), y_n + \Delta y_j(x_n, y_n), z_j(x_n + \Delta x_j(x_n, y_n), y_n + \Delta y_j(x_n, y_n))) \end{aligned}$$

De esta manera las mismas coordenadas de vector, es decir índices representan también puntos correspondientes en cada caso, y concretamente entre todos los dientes. La totalidad de los m vectores, que corresponden a los m dientes de biblioteca abarcan un espacio que se denomina espacio de diente para el tipo de diente correspondiente.

Por tanto puede calcularse por ejemplo también un diente promedio  $\vec{D}$  de los dientes de biblioteca  $\vec{D}_j$  conformados individualmente:

$$\vec{D} = \frac{1}{m} \cdot \sum_{j=1}^m \vec{D}_j$$

5 En este lugar el nuevo diente promedio de nuevo puede emplearse como diente de referencia y e iniciarse de nuevo otra vez el proceso y repetirse también con frecuencia. Por tanto el diente promedio puede determinarse de manera más general. O se toman diferentes dientes de referencia y se hace una media del resultado. En la reivindicación 2 se emplea este juego de datos promedio como diente promedio de un grupo de dientes determinado (tipo de diente).

10 Si las superficies de diente individuales se presentan como vectores es posible con probabilidad representar cada diente que llega nuevo  $\vec{Z}$  como combinación lineal de los dientes presentes:

$$\vec{Z} \approx \sum_{j=1}^m \beta_j \cdot \vec{D}_j$$

15 Para reducir el número de los factores lineales  $\beta_j$  y de los dientes  $\vec{D}_j$  es adecuado el análisis de ejes principales. Después de que cada tipo de diente pueda detectarse por el experto mediante determinadas características, mediante la transformación de ejes principales también aquellos componentes que caracterizan determinadas características del tipo de diente deberían tener una gran influencia. Así mediante la combinación lineal de una parte de los ejes principales se obtiene una descripción suficiente de la mayoría de superficies de diente. Este análisis de

20 ejes principales puede realizarse directamente en los datos dentales  $\vec{D}_j$ , tal como se expone en la reivindicación 1. El porcentaje empleado p de los ejes principales resultantes (por lo general los que contribuyen en la mayoría de los casos a la varianza) se vincula matemáticamente mediante combinación lineal (factores lineales  $a_i$  y componentes principales  $\vec{P}_i$ ) como sigue;

$$\vec{Z} \approx \sum_{j=1}^m \beta_j \cdot \vec{D}_j \quad (\text{Ecuación 1})$$

25 Tal como se indica en la reivindicación 2, antes de que se lleve a cabo el análisis de eje principal en el caso de los vectores de diente puede desplazarse el espacio de vector de manera que resulta el promedio. Esto se obtiene mediante sustracción entre los vectores de diente individuales y el diente promedio. Los vectores de sustracción originados pueden analizarse entonces mediante procedimientos de componentes principales. En total mediante este procedimiento, con pocos parámetros modificables pueden obtenerse una descripción suficientemente eficiente de nuevas formas de diente que pueden representarse como combinaciones lineales de estos nuevos parámetros (factores lineales) y ejes principales. La ventaja decisiva es que, en el caso de la modificación de los parámetros, se aproxima con alta probabilidad a uno de los datos de diente naturales existentes. La restauración que ha de elaborarse será por tanto similar al diente y el peligro de superficie masticatorias feas se aleja.

30 A continuación se describe con más detalle el análisis de ejes principales en el caso de los vectores de diente para el caso en el que se sustrae el diente promedio, es decir el espacio de vector de los dientes se desplaza de manera que el promedio da como resultado 0. Por tanto también tras el análisis de ejes principales los promedios de los ejes principales (vectores propios) son 0. De cada vector de diente  $\vec{D}_j$  se resta el diente promedio  $\vec{D}$  y se forma un nuevo vector de sustracción  $\vec{\Delta}_j$ :

$$\vec{\Delta}_j = \vec{D}_j - \vec{D}$$

35 El análisis de eje principal proporciona entonces los valores propios  $\lambda_k$  con los ejes principales correspondientes (componentes principales, vectores propios)  $\vec{P}_k$ ,  $k = 1, \dots, m$ . Resultan las siguientes propiedades:

1. Los valores propios  $\lambda_k$  corresponden a la varianza en la dirección del eje principal  $\vec{P}_k$
  2. La suma de los valores propios  $\lambda_k$  corresponde a la suma de varianzas de  $\vec{\Delta}_j$ , es decir la varianza total de  $\Delta_j$ .
- 50 Como un desplazamiento de promedio no tiene ninguna influencia en la varianza de los valores, por lo tanto la suma de los valores propios  $\lambda_k$  corresponde a la varianza total de  $\vec{D}_j$ .

3. El porcentaje de un componente principal  $\vec{P}_k$  en la varianza total de los juegos de datos se da mediante

$$\lambda_k / \sum_{l=1}^m \lambda_l$$

5 4. El porcentaje de los primeros componentes principales  $\vec{P}_{k,p}$  en la varianza total se da de manera análoga mediante:

$$\sum_{l=1}^p \lambda_l / \sum_{l=1}^m \lambda_l$$

10 En los molares superiores se muestra por ejemplo que los primeros 7 componentes principales describen aproximadamente el 70% de la varianza total de 170 dientes.

Una gran parte de todas las superficies de diente posibles  $\vec{Z}$  puede aproximarse ahora de manera relativamente exacta mediante una combinación lineal de los primeros componentes principales  $\vec{P}_{k,p}$  ( $\alpha_i$  son los factores lineales):

$$\vec{Z} \approx \vec{D} + \sum_{l=1}^p \alpha_l \cdot \vec{P}_l \quad (\text{Ecuación 2})$$

Si se establecen condiciones marginales lógicas en los parámetros  $\alpha_i$  (ecuación 1) o  $\alpha_i$  (ecuación 2) (p.ej. que el diente nuevo se encuentre dentro del espacio definido por los dientes existentes, o que al menos no se sitúe demasiado lejos), cada combinación lineal cualquiera describirá según (ecuación 1) o (ecuación 2) de nuevo un diente. Un juego de datos dentales que se genera en general mediante una combinación lineal de ejes principales y eventualmente adición de diente promedio se denomina en este documento de patente juego de datos de modelos de dientes genérico o modelo de diente genérico con respecto al tipo de diente contemplado. Como sinónimo a esto, y en el sentido abstracto, asimismo en este documento de patente el juego de datos de modelos de dientes genérico o el modelo de diente genérico con respecto al tipo de diente contemplado se entiende como una combinación de juegos de datos de los ejes principales seleccionados y eventualmente con respecto al diente promedio. Esta combinación puede imaginarse p.ej. físicamente o bien como juegos de datos individuales que están unidos mediante vinculaciones o referencias, o bien mediante la unión a un juego de datos grande. Si ahora se desea una representación de este modelo de diente genérico o juego de datos de modelos de dientes genérico, solamente tienen que multiplicarse los factores lineales especiales con los ejes principales, y eventualmente sumarse al diente promedio. El modelo de diente genérico o el juego de datos de modelos de dientes genérico (en lo sucesivo en parte también abreviado "diente genérico") representan por lo tanto un tipo de descripción matemática de todo el espacio de diente del tipo de diente correspondiente.

El proceso de reconstrucción para el diente que necesita reparación o la situación de defecto puede realizarse mediante el modelo de diente genérico y también automatizarse en gran parte. La reconstrucción significa la nueva fabricación completa o al menos parcial de la funda externa que falta del diente que necesita reparación o de la situación de defecto. El diente que necesita reparación puede ser una preparación *inlay*, *onlay*, *overlay*, de coronas parciales, de coronas, puentes etc., en el caso de la situación de defecto se trata de llenar zonas con dientes que faltan, p.ej. miembros intermedios de puente, piezas superiores de puente o partes de las prótesis parciales o prótesis totales. En el caso del término situación de la dentadura restante en este documento de patente se trata de la información medida (en particular juegos de datos) del diente preparado o dientes (diente que necesita reparación o dientes) o situaciones de defecto y la inclusión adicional opcional de información medida de la sustancia dental residual, del maxilar opuesto, del registro de mordida funcional y estático/oclusal, del diente adyacente/ de los dientes adyacentes y/o del porcentaje de encía o de la cresta alveolar. En el caso del maxilar opuesto por lo general solamente es suficiente la inclusión de uno o varios dientes opuestos, es decir del diente o los dientes que están situados enfrente del diente que necesita reparación o de la situación de defecto. El término diente opuesto es sinónimo del término especializado antagonista. Sin embargo en este documento de patente adicionalmente bajo el término diente opuesto también se subsumen partes del maxilar opuesto o de todo el maxilar opuesto. Si en la preparación o situación de defecto en cuestión y situación de la dentadura restante circundante se seleccionan determinados puntos de construcción o puntos de correspondencia o estructuras de correspondencia, p.ej. puntas de cúspides o puntas de rebordes en la sustancia dental residual y/o posibles puntos de contacto con el diente opuesto o diente adyacente (Fig. 9 - 11), entonces al conocer los puntos y estructuras de correspondencia correspondientes en el modelo de diente genérico, diente promedio etc. puede realizarse la reconstrucción de la mejor manera posible mediante procesos de optimización. En el caso del diente promedio se averiguan por lo general parámetros de rotación, traslación y escalamiento, y eventualmente también parámetros de

transformaciones afines mediante los procesos de minimización. En el caso del diente genérico también se realiza adicionalmente la adaptación optimizada de los parámetros (factores lineales) de los ejes principales de manera que la inserción del diente genérico que se modificó de acuerdo con los parámetros se realiza de la mejor manera. Opcionalmente pueden incorporarse a este proceso también condiciones secundarias como p.ej. límite de la magnitud de los parámetros para que el resultado no quede demasiado fuera del espacio de diente, o la condición de que la superficie masticatoria opuesta o el registro funcional no pueda penetrarse pero toque los puntos de contacto. También pueden considerarse parámetros de calidad como espesores de capa mínimos para un material o diseño de superficie optimizado en cuanto a la carga.

Además de los puntos de correspondencia individuales pueden tomarse también en su totalidad todas las superficies de diente restante (p.ej. en *inlays*, *onlays*, coronas parciales), o también estructuras de correspondencia, es decir determinadas áreas y formas características, y tomarse todos los puntos de estas superficies de diente restante y/o estructuras para la correspondencia. Esto puede realizarse p.ej. de manera análoga a lo anterior de nuevo con el procedimiento del flujo óptico. Otra posibilidad es el emparejamiento con optimización de los parámetros de acuerdo con una función de calidad (p.ej. función de distancia). De nuevo es decisivo en este caso que el diente no se deforme de cualquier manera sino a lo largo de los ejes principales y con ello en la zona de la forma de los dientes naturales.

En general las superficies masticatorias genéricas y juegos de datos de la situación de defecto o del diente que necesita reparación no están situadas en el mismo sistema de coordenadas. Por lo tanto en el caso de la superficie masticatoria genérica, además de los parámetros a lo largo de los ejes principales (factores lineales) deben determinarse al menos también la rotación y traslación. La inclusión de un escalamiento es posible, pero en este caso, no necesariamente útil, dado este factor ya debería estar integrado en la representación de ejes principales. Una posibilidad para la resolución del problema consiste en pasar por el proceso de adaptación en dos etapas:

1. Rotación y traslación del diente promedio en el sistema de coordenadas del diente defectuoso mediante los puntos de correspondencia y/o sustancia dental residual. Esto puede llevarse a cabo con p.ej. el algoritmo según Umeyama (Umeyama S.: *Least-squares estimation of transformation parameters between two point patterns*. IEEE PAMI 13(4); 276-280, 1991), fijándose el factor de escalamiento igual a 1.

2. Mejora de la adaptación de los puntos de correspondencia mediante optimización de los parámetros de ejes principales (eventualmente añadidos mediante factores lineales de la rotación y traslación etc.).

Por ello para ambas etapas pueden emplearse procedimientos de resolución directos. En el caso general (también solución de una etapa) pueden emplearse también naturalmente procedimientos de resolución interactivos no lineales conocidos (p.ej. método de bajada de gradiente, de Levenberg-Marquardt etc.).

Si el juego de datos de la sustancia dental residual y/o puntos de correspondencia original se trasladó y se rotó en el sistema de coordenadas del diente promedio, con las propiedades de la superficie de diente genérico existen las condiciones de partida mejores posibles para la reconstrucción de superficies de diente. El objetivo consiste en que determinar parámetros (factores lineales)  $\alpha_i$  de manera que la combinación lineal resultante (es decir superficie masticatoria nueva) se adapta de la mejor manera posible a la situación existente. Esto se realiza p.ej. mediante la minimización de una función error.

Una optimización adicional de la adaptación consiste en permitir solamente aquellas combinaciones lineales que presentan una probabilidad muy elevada, es decir en dar preferencia a las formas de diente del espacio de diente más típicas posible. Con ello el resultado debe situarse con alta probabilidad en la funda convexa de los datos de diente. En este contexto es concebible de manera alternativa incluir una consideración de la teoría de la probabilidad. Deberían considerarse las siguientes condiciones:

- a) la superficie masticatoria que se busca debería presentar en el espacio de las superficies de diente una probabilidad lo más alta posible, es decir su forma debería ser lo más típica posible para una superficie masticatoria.

- b) los puntos medidos pueden presentar errores de medición (p.ej. mediante medición o al hacer clic). Para que un error de medición o de procesamiento en la selección de la superficie masticatoria no se pondere de manera excesiva se considerará también en este caso una probabilidad para un punto de medición, dependiendo del ruido o de fuentes de errores.

Un planteamiento de este tipo podría llevar a la maximización siguiente de la probabilidad:

$$P(\bar{c} | \bar{z}_{real}) = const \cdot P(\bar{z}_{real} | \bar{c}) \cdot P(\bar{c})$$

$$= const \cdot e^{-\frac{1}{2\sigma^2} \|\mathbf{M}\bar{c} - \bar{z}_{real}\|^2} \cdot e^{-\frac{1}{2} \|\bar{c}\|^2}$$

Esta probabilidad se maximiza cuando la función de calidad E se minimiza:

$$E = \|\mathbf{M}\bar{c} - \bar{z}_{real}\|^2 + \gamma \cdot \|\bar{c}\|^2 = \min, \quad \gamma = \frac{1}{\sigma^2}$$

con

5

$$\bar{z} = \sum_{l=1}^p \lambda_l c_l \vec{p}_l = \mathbf{M}\bar{c},$$

con la matriz  $\mathbf{M} = (\lambda_1 \vec{p}_1, \lambda_2 \vec{p}_2, \dots, \lambda_p \vec{p}_p)$  y el error de medición con una varianza de  $\sigma^2$ .

10 La superficie de diente genérica óptima averiguada se insertará de manera muy adecuada en la situación de la dentadura restante dada. En el caso de la situación de la dentadura restante se trata de la información medida (en particular juegos de datos) de diente preparado incluyendo la sustancia dental residual, maxilar opuesto, registro de mordida funcional y estático, dientes adyacentes, y/o también curso de la encía y cresta alveolar. No obstante por lo general resultarán todavía diferencias más pequeñas como p.ej. pequeños desniveles o huecos en la transición a la sustancia dental residual, lugares demasiado altos que penetran el registro de mordida o el diente adyacente, puntos de contacto todavía ausentes etc. Además posiblemente deban añadirse porcentajes de superficie ausentes como superficies proximales, superficies orales y vestibulares. Estos procesos resumidos denominados adaptación, que contienen en la mayoría de los casos solo modificaciones mínimas proporcionan entonces el juego de datos acabado que se utiliza para el control de una máquina.

20 En la reivindicación 5 se describe el uso de estos juegos de datos averiguados para la fabricación física. En principio pueden emplearse todos los procedimientos de acabado automatizados como fresado o rectificado CNC, tratamiento de láser, estereolitografía o procedimientos de sinterización litográficos. La variedad de materiales para la restauración dental, piezas de prótesis dentales o modelos de diente puede abarcar desde plástico pasando por metales (titanio, oro, acero etc.) hasta cerámica. En la odontología ya están disponibles una serie de materiales especialmente para el proceso CAD/CAM.

30 La reivindicación 5 contiene todo el proceso de fabricación, de medición a producción. Las variantes de implementación expuestas anteriormente pueden emplearse en este caso de manera análoga. De la descripción y los dibujos un experto puede deducir variantes adicionales que no están expuestas individualmente, de manera que también estas pueden contemplarse como incluidas en todo su contenido en este documento de patente.

35 La reivindicación 6 se refiere a un procedimiento para fabricar un juego de datos electrónico tridimensional de piezas de prótesis dentales o restauraciones dentales, en el que tras realizar la asociación de puntos y/o estructuras de correspondencia del diente que necesita reparación, y/o de la situación de defecto al juego de datos de modelo de diente genérico se optimizan los factores lineales para la parte empleada de los ejes principales, de manera que la nueva combinación lineal se adapta a la correspondencia o coincide de la mejor manera posible.

40 La reivindicación 7 se refiere a un procedimiento en el que se averiguan los factores lineales mediante la minimización de las distancias entre los puntos de correspondencia.

La reivindicación 8 se refiere a un procedimiento en el que los factores lineales se averiguan de manera que la probabilidad para la combinación lineal averiguada es lo más alta posible.

45 La reivindicación 9 se refiere a un procedimiento en el que la optimización considera la ponderación de determinados puntos de correspondencia y/o estructuras de correspondencia en forma de factores de ponderación.

50 La reivindicación 10 se refiere explícitamente a la consideración de registros de mordida funcionales y/o estáticos u oclusales. Una gran ventaja de toda la adaptación de la superficie masticatoria mediante modos de proceder consiste en que ya no tiene que llevarse a cabo toda la cadena de fabricación de la impresión del maxilar opuesto, la fabricación de un modelo de yeso, la articulación del maxilar opuesto y asociación al modelo serrado o de preparación, hasta la determinación y ajuste de los parámetros de articulación de la mandíbula. La alternativa representa en este caso la impresión directa de la situación de maxilar opuesto mediante el registro de mordida en la boca. El registro de mordida estático, a veces denominado también registro de mordida oclusal se obtiene mediante la introducción de material de impresión en el lugar deseado al morder el paciente en él y dejar los dientes mordidos en el mismo hasta que el material se separa. Mediante los movimientos de mandíbula se obtiene información, al realizar adicionalmente el paciente, antes de la separación del material de impresión introducido, el mayor número de movimientos posibles. Esto da como resultado el registro de mordida funcional, también denominado FGP (*function generated path*). Con este modo de proceder se obtienen informaciones 3D muy precisas a través de las trayectorias del diente enfrentado a la preparación, y con ello también líneas de limitación e indicaciones de construcción, donde podrían estar situados puntos de contacto y donde la superficie de diente reconstruida no debe expandirse o qué lugares pueden ser los más altos. En la reivindicación 11 se recurre exactamente a esta

información para el hallazgo de correspondencia y con ello para una adaptación más exacta del diente promedio o del diente genérico. Mediante la formulación matemática adecuada esta información puede incluirse en forma de condiciones marginales en los procedimientos de optimización o minimización. Esta condición podría ser p.ej.: puntos de contacto son puntos de roce (interpolación del punto con segunda derivada igual a 0) con el registro de mordida, mientras que las zonas restantes de la superficie reconstruida no deben rozarse.

En la reivindicación 12 se describe una posibilidad de la automatización del hallazgo de puntos de contacto con el diente opuesto (antagonista). Mediante la comparación del registro de mordida estático (oclusal) con el registro de mordida funcional que se tomaron ambos del paciente para la situación correspondiente, tal como se expuso anteriormente, y que se encuentran (están referenciados) como juegos de datos medidos en el mismo sistema de coordenadas las zonas en las que uno de los registros de mordida tiene una distancia reducida respecto al otro registro de mordida o ambos se rozan están especialmente marcadas. Estas áreas representan los candidatos posibles para los contactos con los antagonistas, en las otras zonas no puede situarse ningún punto de contacto. Si se sabe dónde se encuentran los puntos de contacto correspondientes en la superficie de diente genérica o en el diente promedio puede automatizarse la optimización de los factores lineales en la mayor medida.

En la reivindicación 13 para la configuración de superficie proximal (por ejemplo posición del contacto proximal, extensión, etc.) y para la selección de puntos o estructuras de correspondencia (p.ej. rebordes, formas de la superficie masticatoria etc.) se incluyen adicionalmente las informaciones medidas de los dientes adyacentes. Igualmente pueden aprovecharse puntos individuales (p.ej. puntos de contacto) o la forma y estructuras del diente opuesto para la formación de correspondencias y con ello la selección de la superficie de diente que mejor se adapta para la reconstrucción del diente que necesita reparación o situación de defecto. Igualmente puede recurrirse a la información del diente enfrentado simétricamente correspondiente, dado que a veces se parte del hecho de que estas formas de diente solamente están invertidas lateralmente pero por lo demás se asemejan notablemente. Particularmente esta reivindicación contiene la posibilidad de establecer las relaciones encontradas del análisis de eje principal o análisis de correspondencias entre dientes adyacentes del mismo paciente (p.ej. en la fabricación del modelo de diente genérico de dientes adyacentes) de la información del diente adyacente/ de los dientes adyacentes en la funda externa que va a añadirse o al menos partes de esta funda externa. Una posibilidad consiste en la optimización de los parámetros del juego de datos de modelos de diente genérico durante la adaptación al diente adyacente/dientes adyacentes, modificándose al mismo tiempo de manera correspondiente la superficie de diente que va a reconstruirse. El mismo procedimiento puede aplicarse también para el diente opuesto o el diente enfrentado simétricamente. En particular en esta reivindicación también se indica que la información de diente adyacente/dientes adyacentes, de diente opuesto y/o diente/dientes enfrentados simétricamente también puede componerse juegos de datos medidos de manera bidimensional. Partiendo de estos juegos de datos, mediante la ayuda de un modelo de diente genérico correspondiente mediante optimización de funciones de reproducción, de iluminación, de renderización y/o de proyección puede deducirse la estructura tridimensional (véase p.ej. Blanz, V., Romdhani, S.: Face Identification across different poses and illuminations with a 3D morphable model. Proc. Int. Conference on Automatic Face and Gesture Recognition, 202-207, 2002) y aprovechar estas a su vez para la reconstrucción. La ventaja de esta medición bidimensional reside en que puede crearse de manera relativamente sencilla p.ej. mediante una cámara intraoral o una cámara fotográfica en el paciente esta toma o juegos de datos.

Además es necesario realizar adaptaciones siempre y cuando estén presentes aun imperfecciones e interferencias tras calcular el diente genérico que mejor encaja o el diente promedio. Estas pueden ser pequeños desniveles o huecos en la transición a la sustancia dental residual, lugares demasiado altos, que penetran el registro de mordida o el diente adyacente, puntos de contacto todavía ausentes. En este caso son idóneos procedimientos que garantizan que las modificaciones están limitadas localmente y permanecen lo más pequeñas posible y al mismo tiempo dan como resultado una transición armónica y lisa a las zonas no modificadas. Esto puede realizarse mediante deformaciones y/o procedimientos morfológicos conocidos. Además eventualmente deben añadirse porcentajes de superficie todavía ausentes como superficies proximales, superficies orales y vestibulares. Los procedimientos posibles de un complemento automatizado de estas superficies se describen más adelante. En total estos procesos pueden realizarse automáticamente o de manera interactiva. En el caso de la manipulación interactiva el dentista o mecánico dentista puede optimizar aún más la configuración tras su concepción respectiva. Esta posibilidad debería estar implementada por lo general siempre en el procedimiento para fabricar piezas de prótesis dentales o restauraciones dentales. Con ayuda del diente genérico se logra la realización de diferentes conceptos de oclusión y de funcionales. En la técnica dental hay diferentes teorías sobre dónde deben situarse los puntos de contacto estáticos y funcionales con respecto al diente adyacente o antagonista. El diente genérico ofrece la posibilidad de decidir casi *online* el concepto que se desea utilizar y donde deberían situarse los puntos de contacto (Fig. 9-11). En este caso p.ej., o bien una vez para un determinado usuario o laboratorio que favorece un concepto determinado, o también antes de cada nuevo suministro se marcan los puntos de contacto deseados en el diente genérico, los puntos de correspondencia correspondientes sobre el registro de mordida y/o la sustancia dental residual o el diente adyacente. Mediante la adaptación de los parámetros con respecto a los puntos correspondientes se obtiene según el procedimiento de minimización de nuevo una superficie masticatoria natural configurada funcionalmente. Este procedimiento funciona solamente con dientes genéricos, dado que en el caso de bibliotecas de dientes puede seleccionarse solamente el mejor diente cuando durante la modificación de la situación de contacto/funcionamiento deben determinarse de nuevo los puntos de referencia correspondientes de todos los dientes, en el caso de un número elevado de dientes una tarea complicada. Por otro lado en el caso de deformación

solamente de un diente modelo, que no está generado sobre la base de un diente genérico y que no se llevó a cabo un análisis de componentes principales no se garantiza que se produzca un resultado armónico similar a un diente

También es posible fabricar prótesis dentales, partiendo de juegos de datos en 3D de la situación de maxilar opuesto (Fig.2) y de la preparación (Fig. 1) o varias preparaciones, que están referenciados unos con otros, al seleccionarse automáticamente (Fig. 5) de una biblioteca de dientes la superficie masticatoria que mejor encaja tras establecer las referencias los registros de mordida existentes con los juegos de datos de preparación mediante las posibles zonas de solapamiento (Fig. 3), tras seleccionar puntos de correspondencia (Fig. 4) adecuados. Un procedimiento de minimización de errores para la selección y adaptación de la superficie masticatoria de biblioteca que es muy adecuado para ello y no se realiza iterativamente se describe p.ej. en Umeyama (Umeyama S.: Least-squares estimation of transformation parameters between two point patterns. IEEE PAMI 13(4): 276-280, 1991). A continuación se eliminan interferencias o cruces existentes con la serie de dientes opuestos y /o dientes adyacentes, y en el caso de los inlays, onlays y en parte coronas parciales se considera también la sustancia dental residual t y las superficies externas ausentes se completan (Fig. 6 y 8) y entonces se adapta a la línea de preparación de manera que se realiza una transición armónica casi lisa (Fig.7). Mediante la fusión de las superficies externas e internas a lo largo de la línea de preparación (curva tangencial) puede fresarse entonces la pieza de implante dental. Por un lado es decisivo que, en comparación con los métodos anteriormente mencionados ya conocidos mediante la selección de muchos dientes diferentes de un biblioteca de dientes el diente no se adapte a la situación sino que se seleccione un diente que encaja muy bien ya para la situación, en el que entonces solamente deban realizarse adaptaciones solo muy pequeñas y por tanto que puedan automatizarse y que sean menos propensas a errores. Además se separan piezas importantes o complicadas de la superficie de diente de piezas menos importantes o más sencillas. A las primeras pertenecen la superficie masticatoria, a las segundas las superficies vestibulares, proximales y orales de los dientes. Mediante esta división puede limitarse a la mejor adaptación de las superficies más complicadas de la biblioteca de dientes, mientras que las superficies externas se completan automáticamente y se reconstruyen. Para las superficies externas es suficiente la indicación solamente de pocos puntos de construcción (Fig. 8 y 16). Una posibilidad de la implementación es el cálculo de superficies de Bezier Nurbs o B-Spline, que se unen constantemente y de manera lisa a las partes correspondientes del límite de preparación y al límite del juego de datos de biblioteca insertados, y en este caso interpolan los puntos de construcción (como p.ej. contacto proximal, convexidad de la superficie vestibular u oral).

Para la construcción de esta biblioteca de dientes es útil una estructura en la que a cada juego de datos dentales o bien mediante establecimiento de referencias o mediante un nombre correspondiente esté asociado un juego de datos que contiene el tipo y las características que deben considerarse para la selección. Adicionalmente la biblioteca debe componerse de superficies de diente que resultan de dientes naturales sin caries e intactos.

La forma más general de la biblioteca de dientes contiene la totalidad de todas las formas de dientes naturales que existen y también las artificiales. De manera útil la biblioteca de dientes se dividirá en grupos con tipos de diente diferentes. En el caso de esta agrupación secundaria según el tipo de diente puede tratarse por ejemplo de molares, premolares, caninos e incisivos. Como tipo de diente puede ser también el primer molar superior, el primer premolar inferior, primer incisivo superior. Además es posible una diferenciación según la edad y desgaste, según el sexo, según la etnicidad, según el tamaño de los dientes, según peculiaridades morfológicas etc., p.ej. los grupos segundo molar superior de edades entre 50 y 60 años, primer molar superior con o sin tubérculo de Carabelli, colmillo inferior en mujeres pueden representar un ejemplo para un tipo de diente. El término tipo de diente comprende por lo tanto una posibilidad de agrupación muy variable según el planteamiento.

En la creación del juego de datos de modelos de diente genérico puede considerarse el factor edad o grado de desgaste, debiendo presentarse superficies de biblioteca de dientes de un tipo de diente determinado en todos los niveles de edad o de desgaste y utilizar el o las combinaciones averiguadas de factores lineales y componentes principales que describen este factor para ajustar el desgaste para la situación respectiva de la dentadura restante de manera óptima.

Existe además la posibilidad en la fabricación de restauraciones dentales de averiguar automáticamente una propuesta para las posibles localizaciones de todos los puntos de roce con el diente opuesto/dentadura opuesta (es decir los puntos de roce con el maxilar opuesto). Para ello se mide un registro de mordida funcional y un registro de mordida estático u oclusal que referencia los juegos de datos en el mismo sistema de coordenadas, de manera que corresponde a la situación en el paciente o en el modelo, y a continuación filtra todas las zonas o puntos que presentan una distancia muy reducida de uno respecto a otro registro. Es decisivo que fuera de estas zonas no pueda ni deba situarse ningún punto de contacto. Por lo tanto incluso la configuración de puntos de contacto podría automatizarse o al menos simplificarse esencialmente.

Además es posible preparar los juegos de datos del diente promedio, del juego de datos dentales genérico, de las piezas de prótesis dentales reconstruidas, de las restauraciones dentales o de los modelos de diente mediante alisado (filtrado) o adaptación especial a las geometrías de herramienta o procesamiento para el proceso de fabricación. Entre ellos entran también correcciones de radio de fresado.

Todos los procedimientos presentados son adecuados para suministros de incrustaciones inlay, onlay, coronas

parciales, coronas y puentes de igual manera. Partiendo de la superficie masticatoria reconstruida es posible también una configuración reducida de superficie masticatoria para estructuras, que garantiza que el revestimiento después siempre presente más o menos el mismo espesor de capa. Esto puede alcanzarse al calcularse en una distancia constante de la superficie reconstruida la nueva superficie o al menos desplazarse mediante aplanamiento en la zona de las cúspides y fisuras la superficie masticatoria de manera correspondiente al espesor de capa en la dirección del diente preparado

En la reivindicación 14 se describe el uso de una máquina controlada numéricamente con cuya ayuda, controlada por los juegos de datos averiguados, se realiza la fabricación física de modelos de diente, restauraciones dentales y piezas de prótesis dentales. En principio pueden emplearse todos los procesos de producción automatizados posibles como fresado o rectificado CNC, tratamiento de láser, estereolitografía o procedimientos de sinterización litográficos. La variedad de material para la restauración dental, prótesis dentales o modelos de diente puede abarcar desde plástico pasando por metales (titanio, oro, acero etc.) hasta cerámica. En la odontología ya están disponibles una serie de materiales especialmente para el proceso CAD/CAM.

En las reivindicaciones 15 y 16 se describen dispositivos que posibilitan que, para el juego de datos de modelos de dientes genérico puedan modificarse los factores lineales de los componentes principales al menos más importantes mediante un dispositivo de regulación directamente y de manera interactiva. Al mismo tiempo la repercusión de esta modificación puede contemplarse y analizarse en una representación gráfica. En la Fig. 18 puede verse una primera forma de esta configuración. Los dispositivos mencionados pueden utilizarse p.ej. para en lugar de la reconstrucción y optimización automáticas ofrecer al dentista o mecánico dentista la posibilidad de adaptar de manera interactiva según ideas propias el juego de datos de modelos de dientes genérico a la situación del diente restante.

Además es posible llevar a cabo todas las reconstrucciones de superficie masticatoria sin tener que cortar en este caso explícitamente la sustancia dental residual o marcarla de manera particular. Más bien puede consultarse el juego de datos completo del diente que necesita reparación (Fig. 12). Al hacer clic en varios valores iniciales (puntos de correspondencia) sobre la sustancia dental residual se ofrece una propuesta mediante la cual se consideran para el proceso de iteración o adaptación adicional solamente aquellos puntos de correspondencia que se sitúan por debajo de una cierta distancia entre superficie de diente propuesta y diente que necesita reparación (Fig. 12). El umbral de distancia también puede variar o adaptarse de manera adaptativa. Por tanto con elevada probabilidad, en la reconstrucción no se consideran puntos en la cavidad o sobre las zonas rectificadas de la superficie de diente o no tienen importancia debido al número reducido. Por ello el complemento automático de la línea de preparación es posible. Tras realizar la reconstrucción y adaptación de la superficie masticatoria se buscan las zonas en las que se produce una transición de valores de distancia más pequeños (zonas donde todavía se encuentra sustancia dental residual; en este caso por lo general la superficie masticatoria presenta variaciones reducidas) con respecto a zonas con mayores distancias (zonas donde el diente se limó o se retiró la sustancia de diente). En estas zonas de transición debe situarse también el límite de preparación o al menos partes del mismo (Fig. 13). Este modo de proceder puede mejorarse más cuando en estas áreas se buscan lugares de la curvatura más intensa en la superficie del juego de datos del diente que necesita reparación, y uno de estos lugares de curvatura más intensa en estas zonas a una línea (p.ej. Fig. 14 y 15). Con ello desde la reconstrucción hasta un hallazgo de límite de preparación puede concebirse un proceso totalmente automático. Esto puede emplearse también como apoyo y presentación de propuestas para un tratamiento posterior interactivo adicional por parte del usuario.

La entrada del límite de preparación es posible de manera interactiva. A este respecto, en determinadas distancias se hace clic en puntos sobre la superficie de la imagen electrónica del diente que necesita reparación. Este clic puede realizarse con diferentes elementos de mando y de control, p.ej. el ratón del ordenador, teclado, palanca de mando o ratón en 3D. Entre estos puntos seleccionados se interpola en el espacio una línea de unión. Para que se reciban puntos de la superficie de diente medida la línea de unión se proyecta a la superficie (Fig. 14). En este caso es decisivo que la dirección de proyección para determinadas zonas de sección o también para cada sección pueda seleccionarse de diferente manera. Esto puede conseguirse p.ej. mediante valores programados previamente o mediante ajuste interactivo de la vista del juego de datos dentales (Fig. 14). Esto puede realizarse p.ej. al llevar a cabo también en la vista para marcar o hacer clic en el punto respectivo la proyección de la línea en la misma dirección. Para obtener un curso de curva lo más liso posible las líneas de unión, además de rectas pueden ser segmentos de curva spline o de parábola. También tras realizar la proyección en la superficie también los segmentos de curva spline o similares pueden alisar también las curvas eventualmente dentadas o disipadas. Una variante particularmente práctica consiste también en buscar cerca, o también entre los puntos donde se ha hecho clic, lugares con las mayores curvaturas. Debido al modo de proceder al preparar y limar un diente para el suministro con una restauración dental estos son los lugares donde debería encontrarse el límite de preparación. Mediante la unión de los lugares con las mayores curvaturas, es decir una línea con las mayores curvaturas, se obtiene ya una muy buena propuesta para el curso del límite de preparación (Fig. 15).

Eventualmente pueden encontrarse y cerrarse lugares defectuosos que aparecen en el juego de datos de la restauración dental o piezas de prótesis dentales. Tales lugares defectuosos pueden originarse al no recubrir la superficie masticatoria reconstruida o el juego de datos todo el porcentaje limado, o al no realizarse la adaptación en la zona del límite de preparación sin faltas, y por lo tanto el juego de datos en esta zona destaca o presenta errores (Fig. 6, 8, 15). Mediante la comparación automática de la línea de preparación con la curva tangente del juego de

datos reconstruido puede decidirse mediante el examen de distancia las zonas de las líneas o curvas que están situadas demasiado lejos unos de otras, y por lo tanto hacen necesario un reabastecimiento o complemento (Fig. 15). Ya que el punto inicial para la línea de preparación y la curva tangente no tienen que ser idénticos las secciones en cuestión de la curva tangente se asocian también automáticamente a las secciones correspondientes del límite de preparación. Para el cálculo de la superficie de complemento puede ser necesario añadir en la zona de transición de uno de los segmentos de curva al otro segmento de curva puntos adicionales de las respectivas curvas que ya anteriormente en el caso del examen de distancia no pudieron asignarse a la zona que va a completarse, y ahora posibilitan que se origine una línea lo más cerrada posible para el cálculo de la superficie de complemento. Estos lugares defectuosos pueden cerrarse (véase también Fig. 16).

El control del resultado o interacciones todavía necesarias que debería posibilitarse siempre al mecánico dentista o dentista puede realizarse para el usuario mediante la visualización con gafas 3D o monitores 3D etc. Esto es más familiar para el usuario inexperto.

La inclusión de los dientes adyacentes o antagonistas o de los tipos de diente enfrentados simétricamente en la selección de la mejor superficie masticatoria es posible asimismo mediante las superficies masticatorias genéricas y los componentes principales respectivos.

La invención está representada mediante los ejemplos de realización en la memoria descriptiva y en las ilustraciones únicamente a modo de ejemplo y no está limitada a ellos, sino que comprende todas las variaciones, modificaciones, sustituciones y combinaciones que el experto puede extraer de los presentes documentos, en particular en el ámbito de las reivindicaciones y de las representaciones generales, así como de la descripción de los ejemplos de realización y sus representaciones en las ilustraciones, y puede combinar con su conocimiento experto así como con el estado de la técnica, en particular incluyendo los contenidos de divulgación completos de las solicitudes más antiguas indicadas en esta memoria descriptiva. Particularmente pueden combinarse todas las características y posibilidades de combinación individuales.

En los dibujos muestran:

Fig. 1 un diente que necesita reparación;

Fig. 2 un registro de mordida que se refiere al diente que necesita reparación;

Fig. 3 el diente de acuerdo con la Fig. 1 representado con dientes adyacentes (arriba) y adicionalmente con registro de mordida de referencia (abajo);

Fig. 4 una representación del diente según la Fig. 1 con registro de mordida y puntos de correspondencia seleccionados;

Fig. 5 una superficie de diente seleccionada de una biblioteca de dientes mediante los puntos de correspondencia;

Fig. 6 representación girada de la situación según la Fig. 5 con lugares defectuosos reconocibles;

Fig. 7 restauración dental encajada y totalmente completada;

Fig. 8 superficie de diente encajada para preparación de corona con inclusión de puntos de interpolación para la reconstrucción de las superficies externas que faltan todavía;

Fig. 9 un ejemplo de una superficie de diente generada genéricamente con puntos de correspondencia;

Fig. 10 diente que necesita reparación con los puntos de correspondencia que corresponden a la Fig. 9;

Fig. 11 diente que necesita reparación con registro de mordida y con puntos de correspondencia que corresponden a la Fig. 9;

Fig. 12 ejemplo para la diferenciación de las zonas que pertenecen a la sustancia de diente limada y deben llenarse mediante una restauración dental, y zonas que pertenecen a la sustancia dental residual intacta mediante el examen de la distancia durante el proceso de reconstrucción y adaptación de la funda externa;

Fig. 13 ejemplo para la detección de límite de preparación en la transición entre las dos zonas anteriormente diferenciadas;

Fig. 14 ejemplo para el marcado interactivo del límite de preparación bajo vistas diferentes y proyección de la línea de unión en la superficie de diente;

Fig. 15 ejemplo para encontrar zonas que todavía van a completarse mediante la comparación de las dos curvas tangentes;

5 Fig. 16 una restauración dental completa en la que las áreas que todavía faltaban se añadieron automáticamente;

Fig. 17 ejemplo para una restauración dental elaborada de acuerdo con el procedimiento del modelo de diente genérico en una máquina;

10 Fig. 18 un ejemplo para un dispositivo de regulación para la modificación de los factores lineales y de la representación de la modificación simultánea;

15 Fig. 19 un diagrama de flujo para la creación de un juego de datos promedio o de un juego de datos de modelos de dientes genéricos;

Fig. 20 un diagrama de flujo para una reconstrucción de una funda externa;

Fig. 21 una continuación del diagrama de flujo de la Fig. 14 para una reconstrucción de una funda externa;

20 Fig. 22 un diagrama de flujo para una elaboración de una pieza de prótesis dental o de una restauración dental; y

Fig. 23 un diagrama de flujo para una elaboración de un modelo de diente.

Siguen ahora aclaraciones adicionales para la invención y formas de realización de la invención.

25 Fig. 1: muestra un diente que necesita reparación medido de manera tridimensional como juego de datos de altura.

30 Fig. 2: muestra un registro de mordida que se refiere a un diente que necesita reparación. Este registro de mordida contiene informaciones del antagonista. En este caso puede tratarse o bien de un registro de mordida estático y/o un registro de mordida funcional y/o de la serie de dientes opuestos. Solamente es importante que estas informaciones estén referenciadas en el mismo sistema de coordenadas que el diente.

35 Fig.3: muestra la misma situación que en la Fig. 2, aunque con dientes adyacentes (arriba) y registro de mordida adicional (abajo). Toda la disposición representa la situación de la dentadura restante. Los dientes adyacentes dan p.ej. la información para la extensión mesial-distal de la funda externa reconstruida. Además mediante la forma de los dientes adyacentes puede realizarse una selección para la superficie de diente (funda externa) que se consideraría para la reconstrucción en la situación correspondiente.

40 Según la Fig. 4: mediante el marcado de puntos sobre la superficie de diente restante y/o puntos de contacto sobre el registro de mordida (serie de dientes opuestos) y/o para el contacto proximal del diente adyacente las superficies de diente o bien de la biblioteca o mediante el diente genérico pueden adaptarse con componentes principales de manera óptima mediante minimización correspondiente de una función error. En lugar de las marcaciones de puntos puede seleccionarse también zonas mayores, como p.ej. sustancia dental residual y/o superficies de contacto, mediante las cuales las superficies de diente se adaptan mediante emparejamiento o flujo óptico. Existe además la posibilidad, de averiguar las localizaciones de posibles puntos de contacto automáticamente mediante comparación del registro de mordida funcional y del registro de mordida (oclusal) estático.

50 Fig. 5. muestra una superficie masticatoria seleccionada de la biblioteca y transformada a la posición o una superficie masticatoria genérica adaptada a la situación mediante optimización de los factores lineales de los componentes principales. En ambos casos se obtiene ya un resultado relativamente bueno que debe adaptarse mediante deformación todavía a los bordes y a la dentadura opuesta.

55 Según la Fig. 6. proporciona una adaptación de superficies masticatorias según la sustancia dental residual todavía presente a los huecos ausentes en la zona sobre todo por debajo del ecuador de diente. Estos huecos deben cerrarse todavía. Aunque la selección de superficies de diente completas (es decir incluyendo zonas externas) fuera posible es útil por el momento una adaptación separada de superficie masticatoria y superficies externas (superficie oral, vestibular, proximal). Por ello se tratan parámetros en la zona marginal separados de los parámetros en la zona de superficie masticatoria y por tanto en las zonas individuales se garantiza una mejor aplicación. Además el proceso de completar superficies masticatorias puede realizarse automáticamente.

60 De acuerdo con la Fig. 7 tras la adaptación al borde / diente opuesto y completar las superficies ausentes se obtiene el contorno externo total (funda externa) del diente. Es importante en este caso respectivamente la transición lisa en las zonas marginales. Al unir este juego de datos en el límite de preparación con el juego de datos de la cavidad/defecto medido el cuerpo de molde deseado está preparado para el procesamiento CNC y elaboración en una máquina de producción.

65

Fig. 8.: si no está presente ninguna sustancia dental residual, o solamente poca, (p.ej. preparaciones de corona), se realiza el complemento de las superficies externa que faltan por toda la zona circular. En este caso es útil especificar algunos puntos de construcción. El complemento por lo general se desarrolla de manera automatizada. El requisito adicional es una transición lisa en las zonas marginales.

5 Fig. 9. muestra un ejemplo de una superficie de diente generada genéricamente. En este caso se trata p.ej. de un diente promedio, que se calculó a partir de primeros molares superiores intactos de 200 jóvenes (primer molar superior).

10 Fig. 10. y 11: La superficie masticatoria genérica con los componentes principales puede adaptarse a su vez a la situación de dentadura restante mediante la utilización de la sustancia dental residual (Fig. 10) y/o mediante selección de determinados puntos en el registro de mordida (Fig.11) y/o dientes adyacentes etc. En oposición a la utilización directa de una biblioteca de dientes, mediante el juego de datos de modelos de dientes genérico puede realizarse la selección de determinadas estructuras o puntos de contacto y características directamente antes del cálculo y construcción, dado que es suficiente con marcar estos puntos en el diente genérico. En la biblioteca de dientes debería proveerse por el contrario a cada diente individual con los nuevos puntos de característica. Esto permite por lo tanto también un cambio rápido según la situación para implementar diferentes conceptos de oclusión y de formas.

15

**REIVINDICACIONES**

- 5 1. Procedimiento para fabricar un juego de datos electrónico de un modelo de diente genérico que puede utilizarse para la elaboración de una pieza de prótesis dental, de una restauración dental o de un modelo de diente, con las siguientes etapas de procedimiento:
- 10 a) mediante la medición de un número mínimo de dientes predeterminado del mismo tipo de diente se genera una pluralidad de juegos de datos electrónicos de este tipo de diente;
  - 10 b) se realiza una asociación al menos de un número de puntos de correspondencia y/o estructuras de correspondencia característicos para este tipo de diente en los juegos de datos electrónicos individuales;
  - 10 c) se lleva a cabo un análisis de ejes principales para los puntos de correspondencia y/o estructuras de correspondencia asociados de los dientes medidos;
  - 15 d) se lleva a cabo una combinación lineal de al menos una parte de los ejes principales resultantes para el tipo de diente contemplado y se facilita como juego de datos de modelos de dientes genérico.
- 15 2. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la asociación de los puntos de correspondencia y/o estructuras de correspondencia se realiza automáticamente.
- 20 3. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 o 2, en el que para la asociación de los puntos de correspondencia y/o estructuras de correspondencia se utiliza una combinación ponderada al menos de valores de altura y pendientes y/o curvaturas de los datos electrónicos correspondientes.
- 25 4. Uso de una representación electrónica de un modelo de diente genérico obtenida con el procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 3 como plantilla electrónica para una fabricación de modelos de diente físicos, restauraciones dentales o piezas de prótesis dentales mediante una máquina controlada de acuerdo con el juego de datos de modelos de dientes genérico o también mediante partes de estos juegos de datos.
- 30 5. Procedimiento para fabricar piezas de prótesis dentales físicas o restauraciones dentales para dientes que necesitan reparación o para situaciones de defecto utilizando una representación electrónica de un modelo de diente genérico obtenida con el procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 4, con las siguientes etapas:
- 35 a) se lleva a cabo una medición tridimensional de una preparación del diente que necesita reparación o una situación de defecto y se genera un juego de datos electrónico que representa la preparación o situación de defecto;
  - 35 b) de la información electrónica de la preparación medida o de la situación de defecto medida se seleccionan puntos de correspondencia y/o estructuras de correspondencia característicos para el tipo de diente del diente que necesita reparación o para el tipo de diente que encaja en la situación de defecto;
  - 40 c) los puntos de correspondencia y/o estructuras de correspondencia en el juego de datos electrónico de la preparación medida o situación de defecto se asocian a puntos de correspondencia y/o estructuras de correspondencia correspondientes en el juego de datos del modelo de diente genérico;
  - 40 d) los puntos de correspondencia y/o estructuras de correspondencia asociados unos a otros se aproximan en la mayor medida posible mediante un procedimiento de optimización;
  - 45 e) el juego de datos averiguado mediante la optimización se toma como base de una reconstrucción de la pieza ausente del diente que necesita reparación o para complementar la situación de defecto;
  - 45 f) se fabrica una pieza de prótesis dental física o una restauración dental física para el diente que necesita reparación o para la situación de defecto mediante una máquina que se controla de acuerdo con el juego de datos obtenido en la etapa e).
- 50 6. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 5 para la fabricación de un juego de datos electrónico tridimensional de piezas de prótesis dentales o restauraciones dentales, en el que tras realizar la asociación de puntos y/o estructuras de correspondencia del diente que necesita reparación y/o de la situación de defecto al juego de datos de modelos de dientes genérico, los factores lineales para la parte empleada de los ejes principales se optimizan de manera que la nueva combinación lineal se adapta de la mejor manera posible a las correspondencias o se hace coincidir.
- 55 7. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 6, en el que los factores lineales se averiguan mediante la minimización de las distancias entre los puntos de correspondencia.
- 60 8. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 6 o 7, en el que los factores lineales se averiguan de manera que la probabilidad para la combinación lineal averiguada es lo más alta posible.
- 65 9. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 5 a 8, en el que la optimización considera la importancia de determinados puntos de correspondencia y/o estructuras de correspondencia en forma de factores de ponderación.

10. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 5 a 9, en el que se consideran juegos de datos electrónicos de un registro de mordida funcional y/o un registro de mordida estático.
- 5 11. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 10, en el que se incluye la información del registro de mordida para la formación de los puntos de correspondencia y/o estructuras de correspondencia para la reconstrucción del diente que necesita reparación y/o de la situación de defecto.
- 10 12. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 10 u 11, en el que se averiguan las posibles zonas de los puntos de contacto con el diente opuesto/los dientes opuestos como puntos de correspondencia y/o estructuras de correspondencia, al seleccionarse mediante superposición del juego de datos del registro de mordida estático/oclusal con el juego de datos del registro de mordida funcional las zonas con distancias reducidas entre estos registros de mordida.
- 15 13. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 5 a 12, en el que se incluyen datos electrónicos derivados de al menos un diente adyacente y/o al menos un diente opuesto y/o al menos un diente enfrentado simétricamente para la formación de los puntos de correspondencia y/o estructuras de correspondencia para la reconstrucción del diente que necesita reparación y/o de la situación de defecto.
- 20 14. Uso de una máquina controlada numéricamente para la fabricación de modelos de dientes, restauraciones dentales o piezas de prótesis dentales, al controlarse la máquina de acuerdo con el juego de datos obtenido según el procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 13.
- 25 15. Dispositivo para la modificación de un juego de datos de modelos de dientes genérico obtenido con un procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 3, que presenta un dispositivo de regulación, mediante el cual pueden modificarse los factores lineales al menos de una parte de los componentes principales del juego de datos de modelos de dientes genérico.
- 30 16. Dispositivo de acuerdo con la reivindicación 15, con un dispositivo de representación acoplado con el dispositivo de regulación para la representación gráfica del diente genérico que corresponde al juego de datos de modelos de dientes genérico y para mostrar el efecto de una modificación de los factores lineales llevada a cabo por el dispositivo de regulación.



Fig. 1



Fig. 2

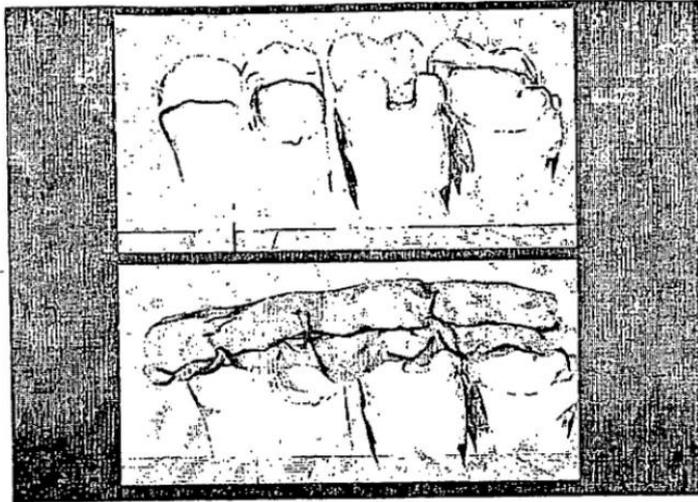


Fig. 3

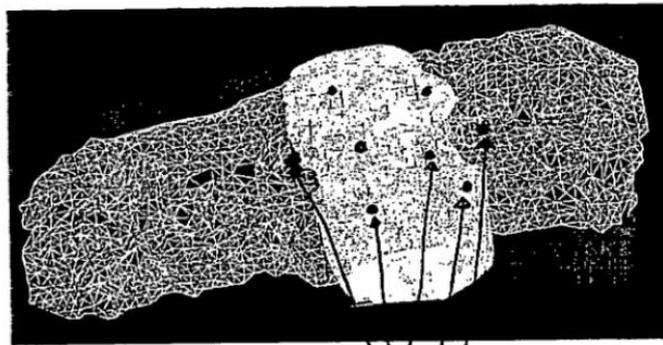


Fig. 4

P.ej. puntos de correspondencia

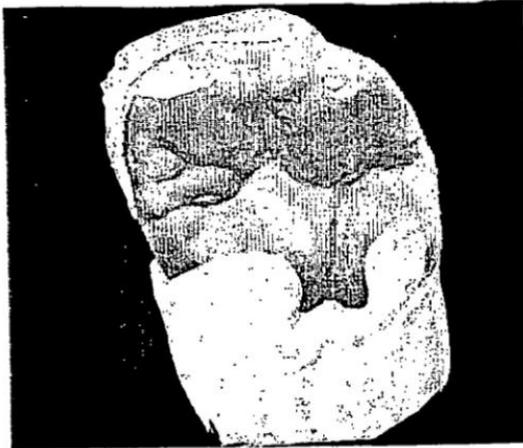


Fig. 5

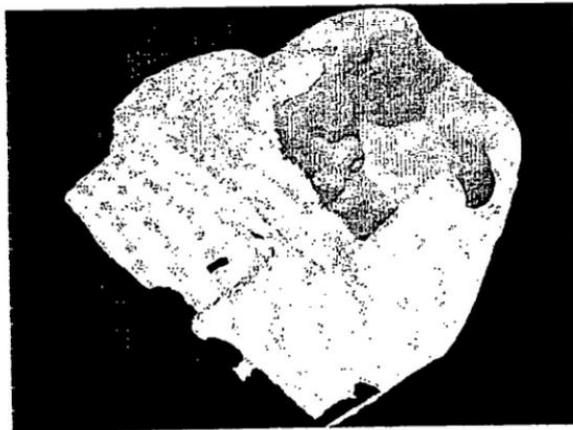


Fig. 6

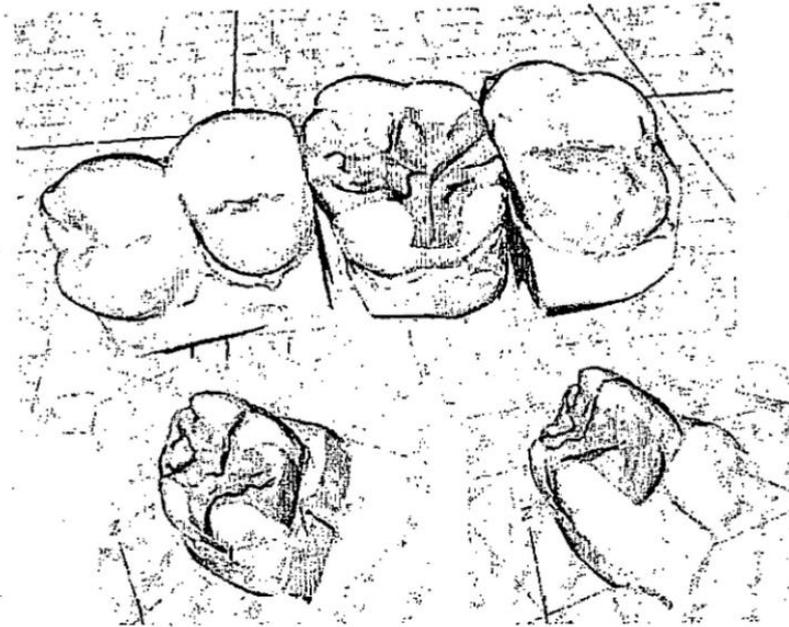


Fig. 7

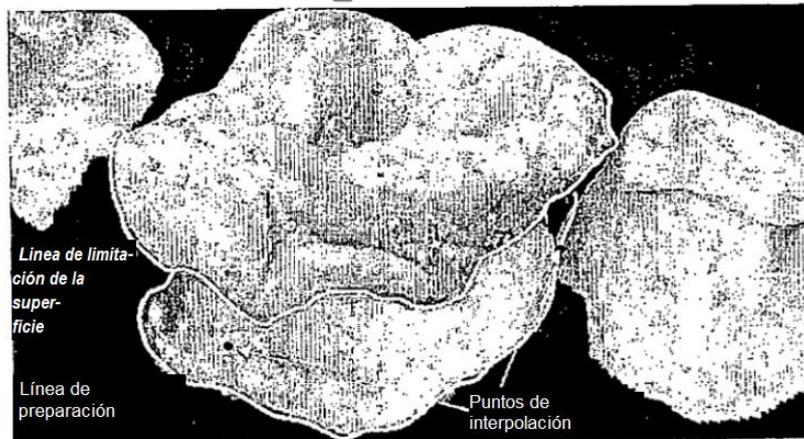


Fig. 8

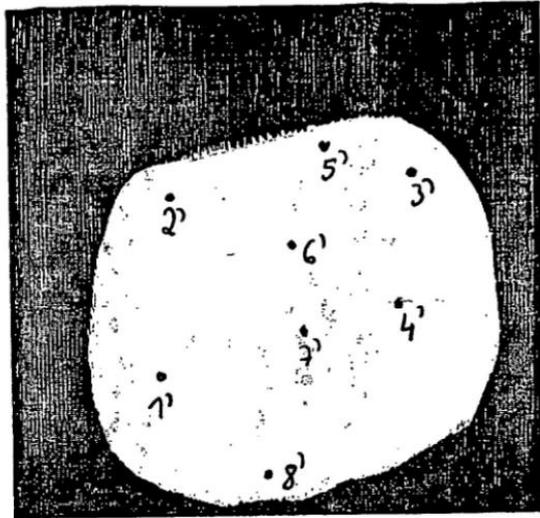


Fig. 9



Fig. 10

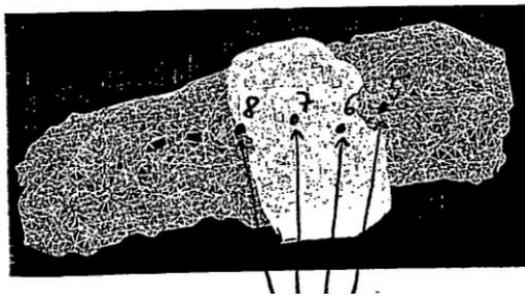


Fig. 11

P.ej. puntos de contacto con respecto a los antagonistas

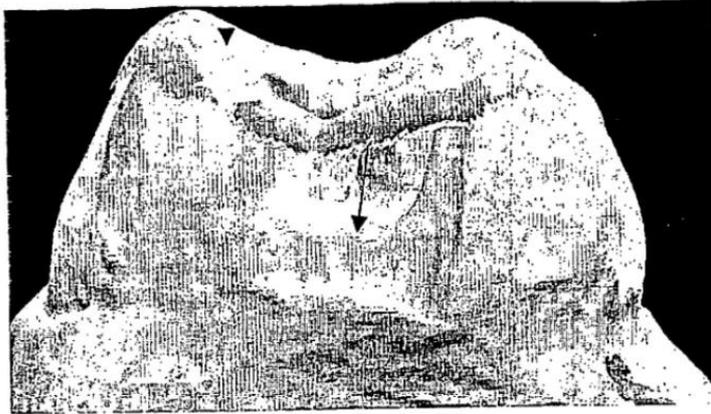


Fig. 12

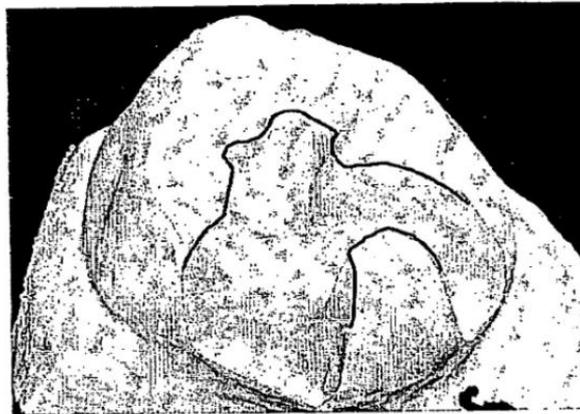


Fig. 13

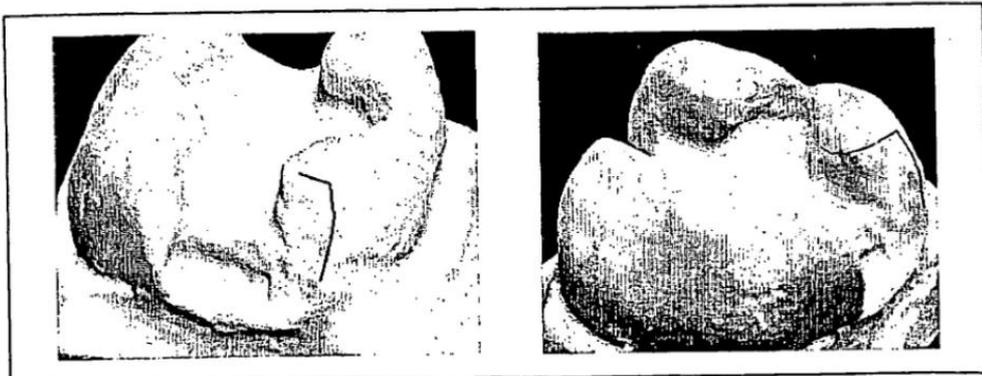


Fig. 14

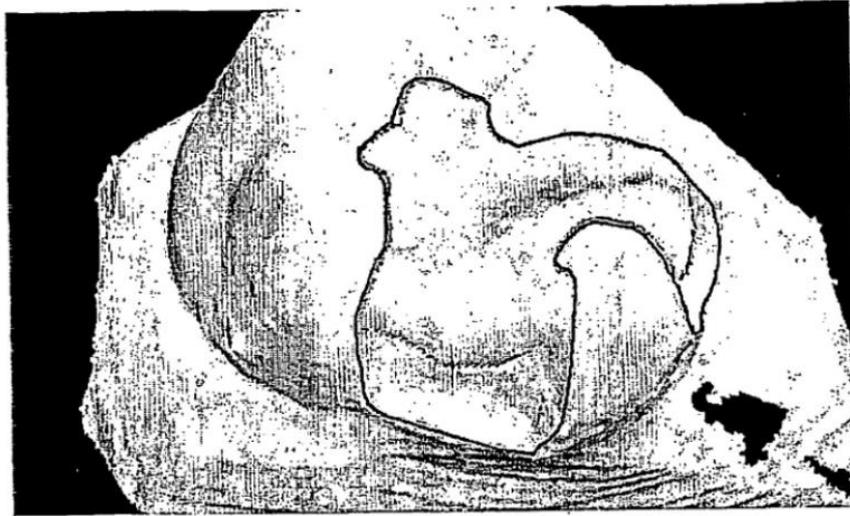


Fig. 15



Fig. 16

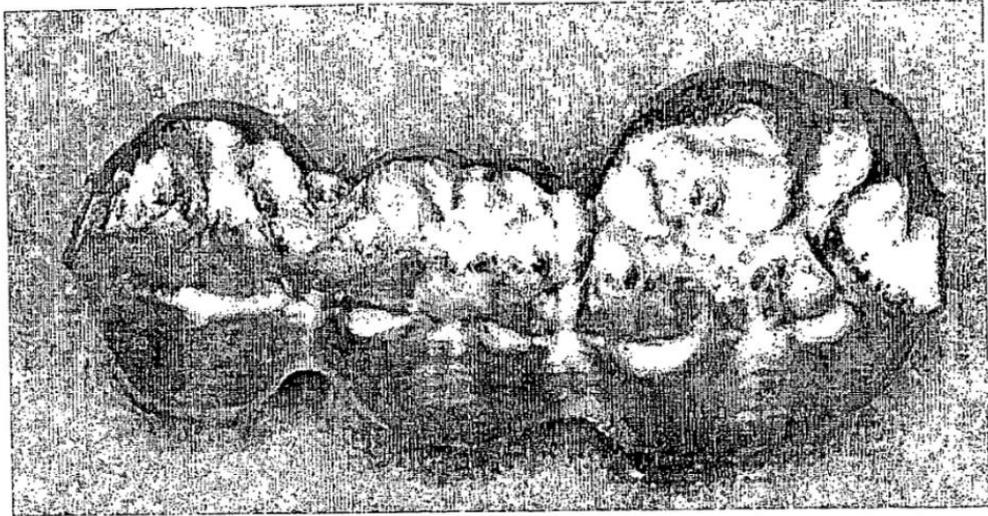


Fig. 17

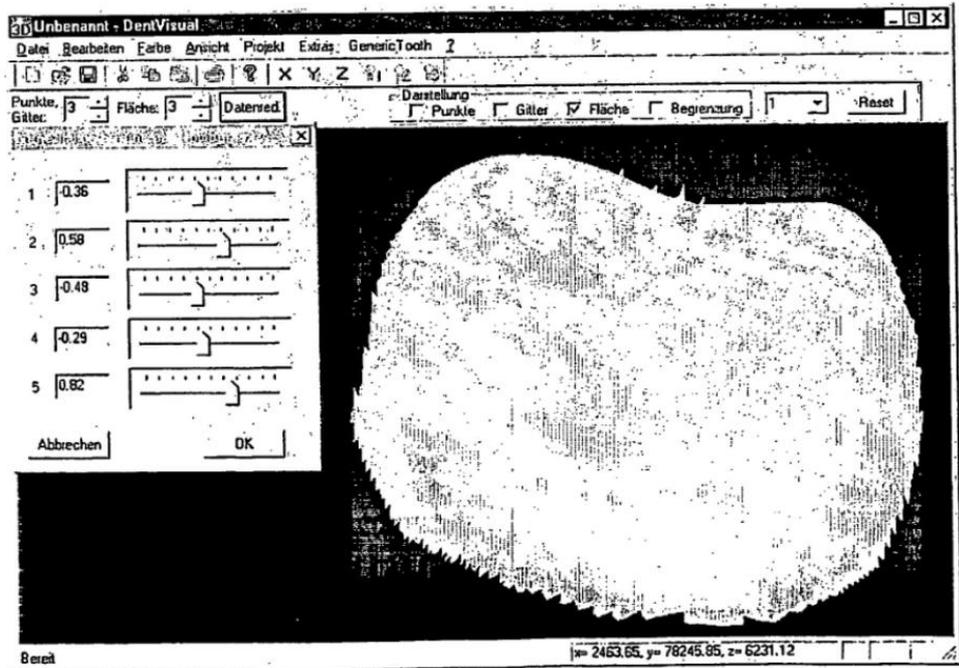


Fig. 18

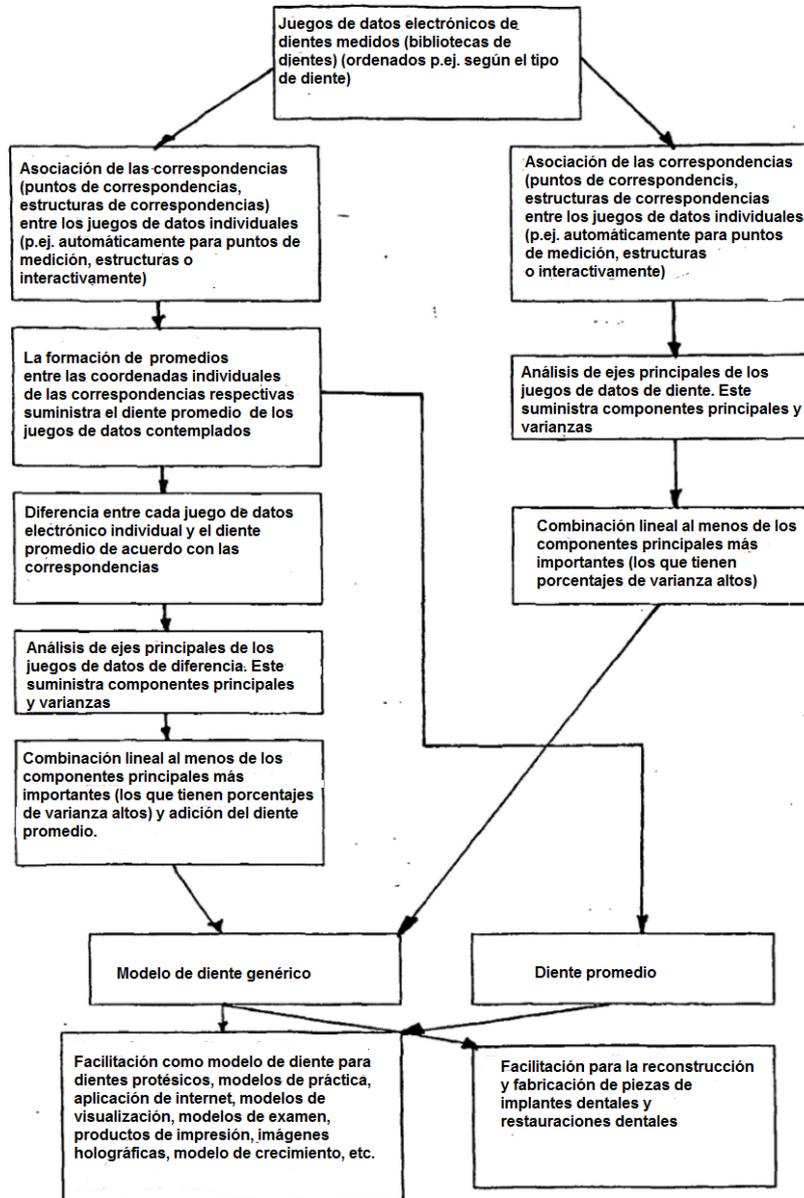


Fig. 19

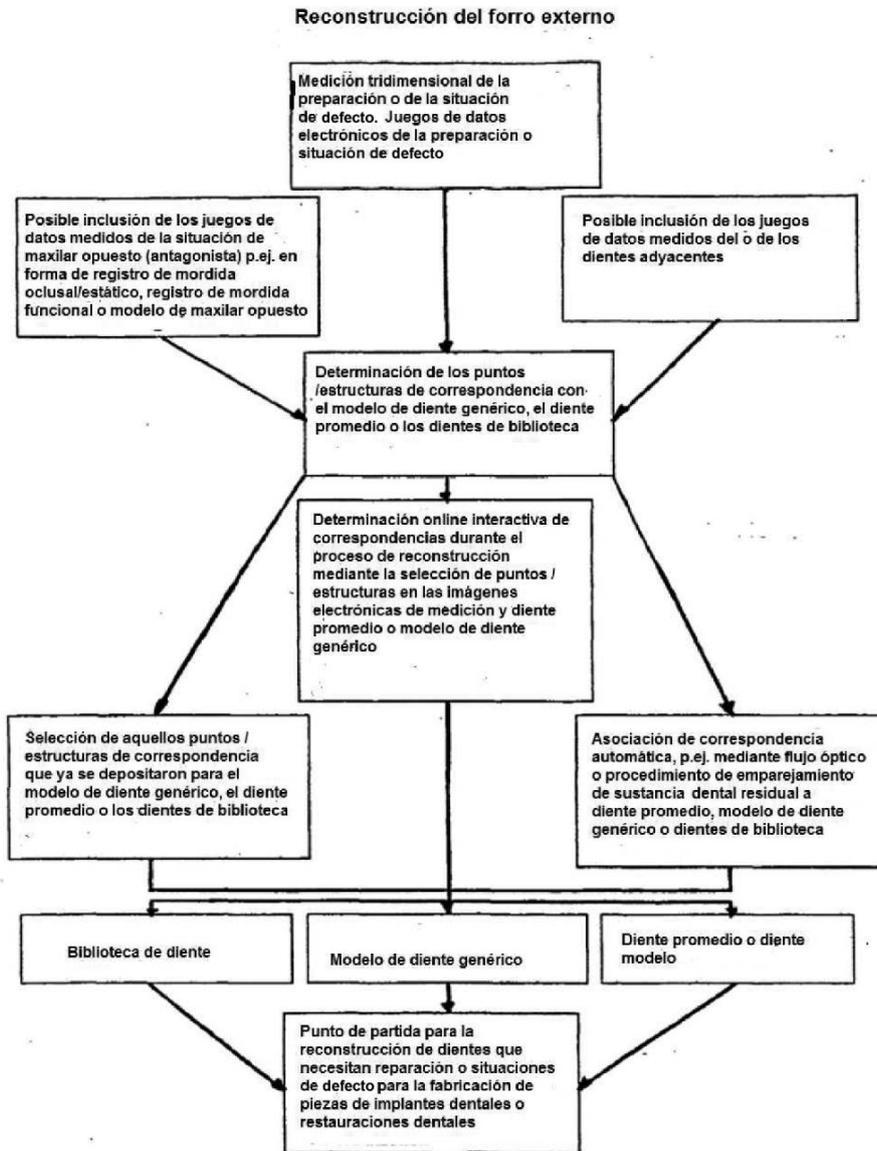


Fig. 20

Reconstrucción del forro externo

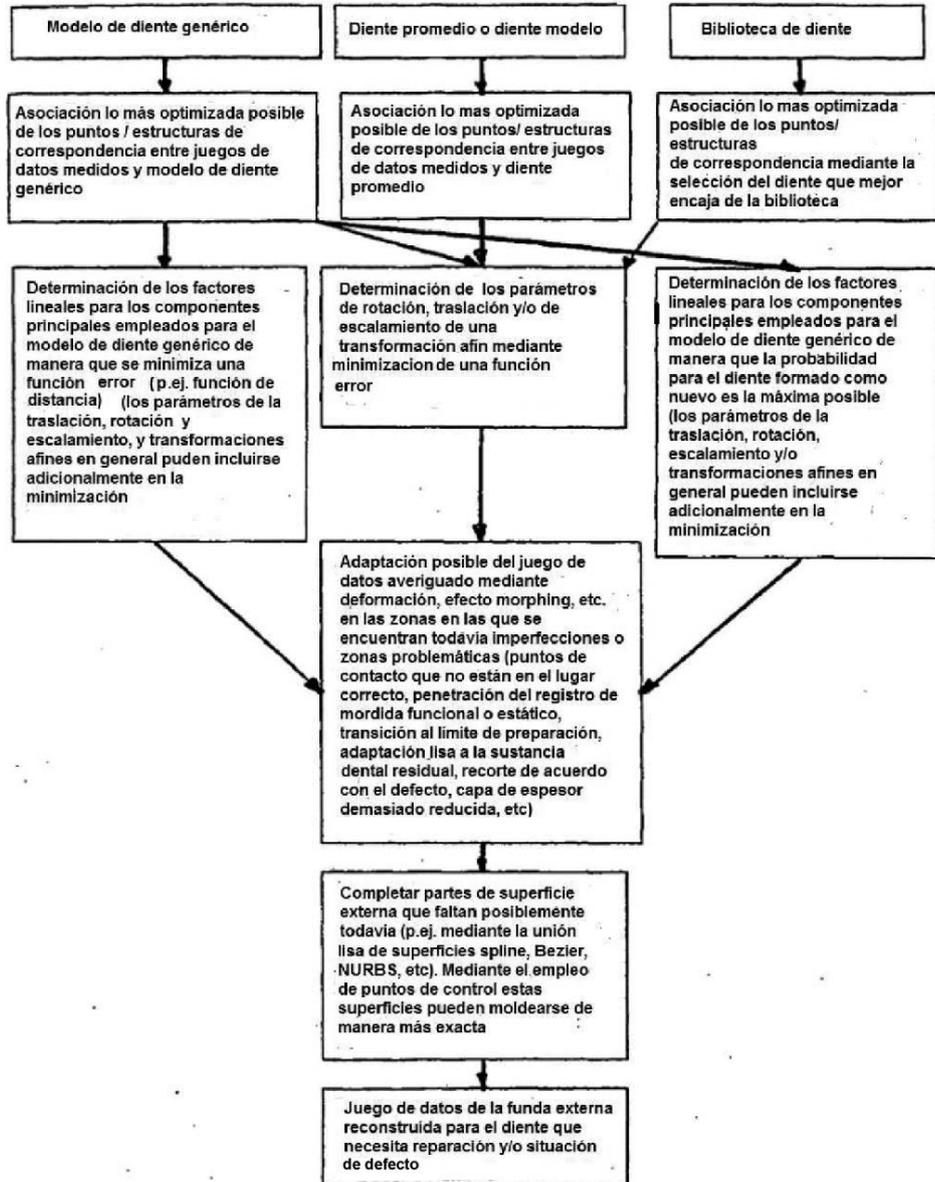


Fig. 21

Elaboración de una pieza de implante dental o de una restauración dental

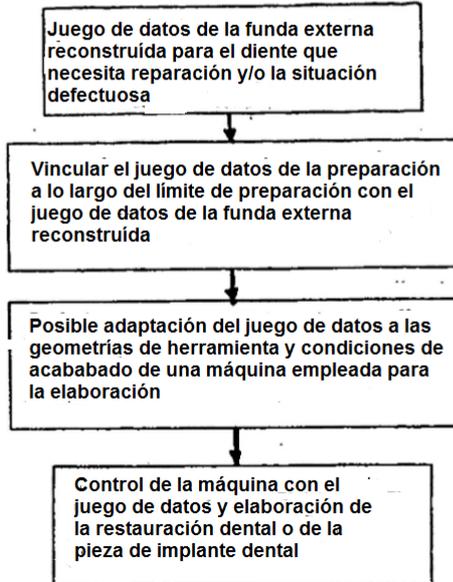


Fig. 22

Elaboración de un modelo de diente

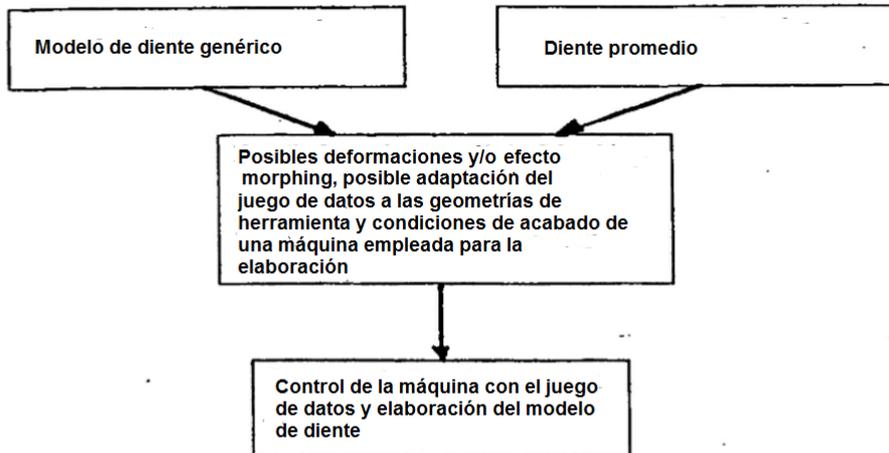


Fig. 23