

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 547 889**

51 Int. Cl.:

**G06T 7/00** (2006.01)

**A61C 13/00** (2006.01)

**G06K 9/62** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.12.2011** **E 11794652 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **29.07.2015** **EP 2661732**

54 Título: **Procedimiento y sistema para la determinación de restauración de dientes para la determinación de restauración de dientes**

30 Prioridad:

**07.01.2011 DE 102011008074**

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

**09.10.2015**

73 Titular/es:

**STRAUMANN HOLDING AG (100.0%)  
Peter Merian-Weg 12  
4002 Basel, CH**

72 Inventor/es:

**TANK, MARTIN**

74 Agente/Representante:

**DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto**

**ES 2 547 889 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 y sistema para la determinación de restauración de dientes para la determinación de restauración de dientes

5 La invención se refiere a un procedimiento para la determinación de restauraciones virtuales de dientes en base de datos de escaneado de estructuras orales que pueden ser aplicados en sistemas CAD/CAM dentales. Con el paso del tiempo, tales sistemas se han establecido firmemente en la medicina dental, tecnología odontológica y ortodoncia, por lo cual se pueden encontrar descripciones de dichos sistemas en los documentos ejemplares US 5217375A, US 7708560 B2, US 7581953 B2, EP 06 34 150 A1, EP 09 13 130 A2, DE 10 2005 033 738 A1 y WO 0239056 A1. En el contexto de la presente invención se entienden bajo estructuras orales dientes con sus correspondientes estructuras anatómicas contiguas tales como encías, huesos maxilares, vías nerviosas, etc., pero también estructuras no naturales como implantes, pilares, demás sistemas de fijación, registros interoclusales estáticos y funcionales, etc. Además, la invención se refiere a un procedimiento para la generación de una base de datos de modelos para el uso en un procedimiento de este tipo y un sistema para la determinación de restauración de dientes para la determinación de restauraciones virtuales de dientes. Por lo demás, la invención se refiere a un procedimiento para la fabricación o selección de una pieza de restauración dental.

En el campo de la tecnología dental digital, los datos de escaneado de estructuras orales se determinan, ante todo, de forma óptica o radiológica. Muy difundidos y económicos son los escáner ópticos que miden directamente tridimensionalmente de estructuras superficiales intraorales o de impresiones extraorales. Por regla general se obtienen datos triangulados de superficies que en el caso de sistemas abiertos pueden ser almacenados en formato STL. Mediante escáner radiológicos tales como tomógrafos digitales volumétricos (DVT) o tomógrafos computados (CT) se generan registros de volumen de estructuras orales mediante el uso de rayos X. Las estructuras de superficies también se pueden extraer de dichos registros de datos volumétricos aplicando procedimientos de valores umbral en los cuales son analizados a continuación los valores de intensidad (medidos en unidades Hounsfield) de los elementos de escaneado individuales para determinar si superan un determinado valor umbral. Es así que de esta manera, las estructuras radiológicamente densas, tales como los dientes, se pueden seleccionar y usar como datos superficiales triangulados. Algo más complejos son los cálculos con datos de escaneado MR en los cuales, preferentemente, se aplican procedimientos de análisis de contornos, que trabajan en base a gradientes de elementos de escaneado adyacentes. Mediante los procedimientos de análisis descritos se pueden conseguir en los datos de escaneado datos superficiales triangulados de superficies límite deseadas para todas las modalidades (equipos de captación de imágenes). En el contexto de la presente invención, los datos de escaneado, por ejemplo todos los tipos de datos mencionados anteriormente independientemente de cómo fueron obtenidos, pueden incluir también otras estructuras algorítmicas y/o interactivas determinadas, tales como líneas de preparación, líneas de segmentación y referencias anatómicas, así como puntos de contacto deseados para la restauración virtual de dientes, etc.

35 Debido al gran nivel de precisión necesario, por regla general se usan datos de escaneado óptico para la determinación o el cálculo de restauraciones dentales. En el contexto de la presente invención, el término piezas de restauración dental incluye cualquier tipo de objetos que puede ser fabricado para el tratamiento de defectos dentales. A modo de ejemplo se mencionan aquí incrustaciones inlay, incrustaciones onlay, coronas parciales, coronas, coronas telescópicas, puentes, carillas estéticas, supraestructuras de implante, prótesis parciales y prótesis. Nuevamente debe enfatizarse que en el contexto de la presente invención, por motivos de simplicidad, también las piezas de reemplazo dentales caen bajo el concepto de piezas de restauración dental. Bajo el concepto de la "restauración virtual dental" (seguidamente también denominado más abreviado como "restauración dental") deben entenderse los correspondientes representaciones electrónicas de restauración dental, es decir representaciones tridimensionales de tales piezas de restauración dental. Por ejemplo, para la fabricación de una pieza de restauración dental se transmite un registro de datos CAD/CAM de la restauración virtual dental a una máquina fabricadora.

En el tratamiento de defectos dentales se produce, por regla general, una preparación de los dientes, es decir se eliminan las caries, el material de relleno viejo o las partes dentales defectuosas. De cada diente queda una sustancia remanente del diente cuya superficie se divide en una parte preparada (cavidad) y una parte no preparada. En este caso, la línea divisoria entre la superficie dental no preparada y la superficie dental preparada es denominada línea de preparación. Complementariamente respecto de las líneas de preparación sólo existentes en dientes preparados, cada diente tiene al menos una línea de segmentación que separa el diente de estructuras extradentales, por ejemplo de encías y/o dientes adyacentes y/o del hueso maxilar. De estas definiciones resulta que las líneas de segmentación y/o de preparación delimitan superficies dentales no preparadas. En el margen de la invención, dichas líneas límite pueden ser inscritas de manera interactiva en los datos de escaneado, por lo que, por regla general, para su determinación se usa un apoyo algorítmico basado en el análisis de curvaturas de superficie de los datos de escaneado.

Debido a la estructura compleja de los datos de escaneado y el sinnúmero de criterios funcionales y estéticos a respetar (ajuste a la dentición opuesta bajo la eventual consideración del movimiento mandibular, ajuste a la dentición adyacente considerando los puntos de contacto, ajuste a las líneas de preparación para conseguir un óptimo ajuste marginal, mantenimiento de espesores de material mínimos para conseguir una buena estabilidad

mecánica, consideración de las formas dentales deseadas en la zona de dientes frontal, etc.), la generación interactiva soportada por ordenador de restauraciones dentales con ayuda de una interfaz gráfica de usuario es frecuentemente dificultosa de realizar y unida a una gran inversión de tiempo. El uso de procedimientos basados en modelos constituye un perfeccionamiento, procedimientos en los cuales en el cálculo de restauraciones dentales entra un conocimiento morfológico previo respecto de las variantes anatómicas de las formas dentales naturales y los criterios funcionales y estéticos se respetan en forma de criterios de optimización para el ajuste de los modelos dentales a los datos de escaneado.

Debido a la relevancia económica del tratamiento dental protésico existe una serie de procedimientos basados en modelos para la determinación y/o cálculo de restauraciones dentales. En el caso de procedimientos CAD/CAM soportados por ordenador, la manera de proceder básica es similar en todos los procedimientos. Primero, los modelos dentales tridimensionales se ajustan a los datos de escaneado, siendo este proceso designado, habitualmente, también como "individualización" de modelos dentales. Después tiene lugar un cálculo de las restauraciones dentales en base a los modelos dentales individualizados y los datos de escaneado. Finalmente, las piezas de restauración dental apropiadas son mecanizadas en una máquina de acuerdo con las restauraciones dentales.

En el documento DE 102 52 298 B3 se describe un procedimiento en el cual la base de datos de modelos usada se basa en un análisis de componentes principales de una gran cantidad de escaneados dentales de objetos de ensayo. De tal manera, la parametrización de los modelos de dentales se compone de los factores lineales de los componentes principales más importantes. En la descripción de patente no es posible encontrar una estrategia específica de búsqueda para el uso de modelos dentales geométricos no deformables. Además, en este procedimiento, la individualización de modelos dentales es realizada para un solo tipo de diente deseado y no para grupos de modelos dentales enlazados de diferentes tipos de dientes. De tal manera, en esta descripción de patente el tipo de diente corresponde a un número de diente, pero también puede describir cantidades de modelos dentales según otros criterios (edad, propiedades morfológicas, etc. En el caso de que los modelos dentales de un número de diente se dividen en múltiples tipos de dientes, en este documento no se describe ninguna estrategia efectiva de búsqueda para la determinación automática del tipo de diente a usar. En particular, cuando se usan tipos de dientes definidos de acuerdo con propiedades morfológicas, queda abierto cual es el algoritmo automatizado usado para la asignación de modelos dentales a los tipos de diente.

En el documento US 2006/0183082 se propone otro procedimiento para el cálculo de restauraciones dentales en el cual los modelos dentales de una base de datos de modelos pueden ser clasificados según tipo, edad, género y/o pertenencia a un grupo étnico, y cada modelo dental tiene una línea de borde especial cerrada en el borde de la superficie oclusal. En esta descripción no se encuentra una mención de que de una base de datos de modelos se determinan automáticamente y efectivamente modelos dentales óptimos para la determinación de restauraciones dentales. La base de datos de modelos descrita tampoco contiene informaciones respecto de deformaciones geométricas admitidas de los modelos dentales. El foco de esta descripción es más bien la construcción de restauración dentales después de realizada una individualización. Para ello se combinan líneas de borde de modelos dentales individualizados con las líneas de preparación correspondientes de los datos de escaneado según reglas geométricas especiales, para construir las superficies laterales aún faltantes de las restauraciones dentales.

Mediante las descripciones de patentes DE 20 2007 014 550 U1, DE 20 2005 020 715 U1, DE 10 2006 043 284 A1, DE 10 2004 038 136 A1, DE 196 42 247 C1, DE 199 23 978 A1, DE 198 38 239 A1, EP 06 43 948 A1, US 2009/0148816 A1 y US 7433810 B2 se conocen procedimientos de cálculo en los que, por diversas razones, se producen formas no naturales de restauraciones dentales y/o en los cuales las restauraciones dentales determinadas pueden presentar deficiencias funcionales y estéticas. Ello se debe, en ocasiones, a la falta de automatización de los procesos, por que en la optimización de los modelos dentales se producen en parte considerables interacciones de usuarios. En particular se deben observar críticamente las deformaciones geométricas de gran escala de los modelos dentales controladas interactivamente (posicionamiento de líneas anatómicas de referencia, producción de puntos de contacto deseados, etc.), debido a que en gran medida son subjetivas y no reproducibles.

Es un objetivo de la presente invención describir un procedimiento basado en modelos y sistema de determinación de restauración de dientes para la determinación sencilla y segura de restauraciones dentales virtuales de tipos de dientes deseados que mantengan los criterios funcionales y estéticos, en el cual sea posible de manera satisfactoria la determinación con una a ser posible mínima interacción de operadores y reducida inversión de tiempo. De tal manera, el procedimiento debe poder usar modelos dentales tanto geoméricamente deformables como geoméricamente no deformables.

Dicho objetivo es conseguido mediante un procedimiento según la reivindicación 1, un procedimiento para la generación de una base de datos según la reivindicación 11, así como un sistema de determinación de restauración de dientes según la reivindicación 15.

En el contexto de la presente invención, los conceptos básicos tipo de diente y modelo dental deben entenderse de manera muy general. En el contexto de la invención, un tipo de diente debe entenderse como una posibilidad muy general de agrupamiento de dientes. Por ejemplo, un agrupamiento puede ser realizado según el número de diente

y/o la edad y/o la abrasión y/o la etnia y/o género y/o según particularidades morfológicas (número de raíces, número de cúspides, etc.). Sin embargo, un agrupamiento también puede ser realizado de acuerdo a la pertenencia a los dientes incisivos, dientes caninos, premolares, molares o al maxilar o a la mandíbula. También es posible un agrupamiento de dientes de diferentes números de diente en un tipo de diente complejo. En esta parte debe ponerse de relieve que en la práctica se prefiere el agrupamiento por medio del número de diente, es decir tipo de diente y número de diente pueden ser usados como sinónimos. Del mismo modo se usa de forma muy general el término modelo dental. De tal manera, un modelo de diente se puede componer de múltiples partes de modelo, por ejemplo de estructuras anatómicas como superficies dentales, encías, huesos mandibulares, estructuras nerviosas, etc., pero también de estructuras no naturales tales como implantes, pilares, demás sistemas de fijación, etc. Además de ello, un modelo dental puede incluir también líneas de preparación, líneas de segmentación, referencias anatómicas, ejes dentales, términos direccionales, zonas superficiales y otras estructuras geométricas características. Es importante que sean modelados al menos aquellas partes de los dientes que son requeridos para la determinación de restauraciones virtuales de dientes. Las demás partes de modelo se usan preferente y principalmente para la estabilización del proceso de individualización, ya que las mismas pueden ser ajustadas a las estructuras correspondientes en los datos de escaneado.

Para la determinación de restauraciones virtuales de dientes se usan modelos dentales parametrizados según la invención de una base de datos de modelos generada especialmente, en la cual para cada tipo de diente existe un número de modelos dentales. La cantidad de todos los modelos dentales de un tipo de diente se define a continuación como clase de modelo, pudiendo los modelos dentales de una clase de modelo diferenciarse por su resolución espacial y su estructura topológica, etc. (por ejemplo, triangulación diferente, partes de modelo diferentes, referencias anatómicas diferentes, etc.) La parametrización se produce mediante parámetros de modelos que comprenden parámetros de posición y/o de forma. De tal manera, los seis parámetros de posición de un modelo dental describen la posición espacial y orientación de un modelo dental en los datos de escaneado. Las variaciones anatómicas de formas útiles de cada modelo dental pueden, de tal manera, ser producidos opcionalmente mediante transformaciones geométricas parametrizadas que pueden ser diferentes de modelo dental a modelo dental y están guardados en la base de datos de modelos. Es decir, el número de parámetros de forma puede variar de modelo dental a modelo dental. Además, los parámetros de modelos pueden incluir a más de los parámetros de posición y/o de forma otros parámetros que, por ejemplo, parametrizan zonas y/o líneas límite en las superficies de los modelos dentales y/o propiedades de materiales.

Según la invención, un modelo dental óptimo con un valor cualitativo máximo de la individualización se determina para cada tipo de diente deseado a partir de una base de datos de modelos. Como individualización se entiende el ajuste de modelos dentales a datos de escaneado, con lo cual los criterios de optimización, por ejemplo el ajuste de modelos dentales a los dientes y/o sustancias remanentes de dientes, deberían ser cumplidos de la mejor manera posible. El valor cualitativo de una individualización describe entonces, cuantitativamente, cuán bien se han cumplido los criterios de optimización.

La determinación de un modelo dental óptimo a partir de la base de datos de modelos se produce, según la invención, usando un procedimiento iterativo. Para ello, primeramente, se escoge de la base de datos de modelos al menos un modelo dental inicial de un tipo de diente deseado y después, comenzando con este modelo dental inicial, un modelo dental se prueba en cada paso de iteración respecto de su valor cualitativo. Para ello se individualiza el modelo dental actual a probar mediante la variación de parámetros de modelos y se calcula un valor cualitativo para la individualización. A continuación o en paralelo se individualiza de igual manera al menos un modelo dental enlazado con el modelo dental a probar y se calcula un valor cualitativo. En base a los valores cualitativos calculados se produce, eventualmente, una selección de un nuevo modelo dental a probar del tipo dental deseado para el próximo paso de iteración, por ejemplo una comparación de los valores cualitativos puede indicar que otro modelo dental es más apropiado que el modelo dental actual a probar (o bien en el primer paso de iteración del modelo dental inicial), El cumplimiento de un criterio cualitativo determina si la iteración debe ser interrumpida, por ejemplo, al final de un paso de iteración.

Finalmente, al menos una restauración dental se determina de los modelos dentales óptimos y datos de escaneado. El entendido en la materia conoce los procedimientos correspondientes. Para ello, en principio, las líneas de preparación son unidas de manera apropiada con los modelos dentales correspondientes de la manera más continua y llana posible y, a continuación, agregadas las cavidades de los dientes preparados como límites inferiores. Como resultado se obtiene para las restauraciones dentales modelos tridimensionales de cuerpos abrasivos que pueden ser fabricados a máquina. Pero también es posible configurar las restauraciones dentales en varias partes, determinando primero una estructura de soporte y después una superestructura con las superficies oclusales. En particular, la fabricación de una forma negativa de la restauración dental determinada es, además, ventajosa para la fabricación de prótesis. Con su ayuda, en el margen de la fabricación de las prótesis las piezas de restauración dental pueden ser levantadas tridimensionalmente.

El procedimiento según la invención permite aplicar los modelos dentales con una complejidad de cálculo razonable y de manera más automatizada posible. En particular, debido a la estrategia especialmente iterativa efectiva mediante modelos dentales de un tipo de diente enlazados entre sí, el procedimiento puede ser usado para encontrar modelos dentales óptimos, incluso también con modelos dentales no deformables geométricamente. Ello es, ante todo, útil cuando una cantidad limitada de dientes artificiales preconfeccionados de fabricación económica

- (dientes de prótesis, dientes en bruto, etc.) deben ser usados para el tratamiento odontológico protésico. Un ejemplo de este tratamiento es la fabricación de prótesis completas. En el procedimiento de cálculo correspondiente soportado por ordenador, los modelos dentales ajustados a los dientes artificiales no deben ser sometidos a deformaciones geométricas. De tal manera, el número de los modelos dentales disponibles puede ser considerable, de manera que en este caso son especialmente importantes los criterios efectivos de búsqueda para la determinación de modelos dentales óptimos para la determinación de restauraciones dentales. Tales tratamientos odontológicos protésicos son interesantes en tanto que una fabricación de restauraciones dentales individuales está asociada a costes considerables.
- Las reivindicaciones dependientes y la siguiente descripción contienen, en cada caso, configuraciones y perfeccionamientos particularmente ventajosos de la invención, pudiendo en particular el sistema de determinación de restauración dental según la invención también estar perfeccionado de manera análoga a las características de las reivindicaciones de procesos dependientes. Además, las diferentes características de distintos ejemplos de realización pueden ser combinadas en el contexto de la invención para formar nuevos ejemplos de realización.
- En un perfeccionamiento preferente del procedimiento según la invención se selecciona, en primer lugar, de la base de datos de modelos al menos un modelo dental inicial para cada tipo de diente deseado de un grupo de tipos dentales para después testear en cada paso de iteración correspondiente un grupo de tipos dentales respecto de un valor cualitativo (valor cualitativo de grupos), comenzando con dichos modelos dentales iniciales. Para ello se individualiza el grupo de modelos dentales actuales a testear mediante la variación de parámetros de modelos y se calcula un valor cualitativo para la individualización. A continuación o en paralelo también se individualiza al menos un grupo adicional de modelos dentales (correspondiente al grupo de tipos dentales) y se calcula un valor cualitativo adicional. Dicho grupo adicional resulta de la variación del grupo actual a testear de tal manera que se reemplaza al menos un modelo dental del grupo actual a testear por un modelo dental enlazado con el mismo. En base a los valores cualitativos a calcular, a continuación se produce, eventualmente, una selección de un nuevo grupo de modelos dentales a testear del grupo deseado de tipos dentales. Aquí también, el cumplimiento de un criterio cualitativo determina si la iteración debe ser interrumpida, por ejemplo, al final de un paso de iteración. O sea, además de ajustar modelos dentales y globales a los datos de escaneado, este procedimiento también permite ajustar óptimamente grupos de modelos dentales a los datos de escaneado, lo que es especialmente ventajoso en el caso de construcciones de coronas y puentes.
- Preferentemente, la individualización de modelos dentales se produce mediante la definición y la solución de un problema de optimización. Para resolver el problema de optimización se varían los parámetros hasta que el valor de optimización es mínimo o se cumple un criterio de abortamiento. El valor de optimización del problema de optimización puede comprender de manera particularmente preferente un número de valores parciales de optimización que responden, cada uno, a determinados criterios de optimización deseados.
- Los valores parciales de optimización preferentes describen el ajuste de los modelos dentales a los dientes y/o a las sustancias dentales remanentes, es decir las superficies dentales modeladas de los modelos dentales deberían coincidir de la mejor manera posible con las superficies dentales no preparadas de los datos de escaneado. Otros valores parciales de optimización preferentes describen el ajuste de modelos dentales a la dentición opuesta y/o a registros interoclusales estáticos y/o a registros interoclusales funcionales, siendo posible también un ajuste de los modelos dentales a puntos y superficies de contacto deseados. En el cálculo de estos valores parciales de optimización también es posible incluir el movimiento mandibular. Otro valor parcial de optimización preferente describe el ajuste de los modelos dentales a los dientes adyacentes, debiendo, además del ajuste a los puntos y superficies de contacto deseados, formarse preferentemente también un espacio interdental óptimo. Se aspira a una forma en la cual se fijen los menos restos alimenticios posibles y, al mismo tiempo, sea posible una buena limpieza dental. En tanto en los datos escaneados existan líneas de preparación y/o segmentación y/o referencias anatómicas, también es posible calcular valores parciales de optimización para los modelos dentales, que describen el ajuste de los modelos mentales a las líneas de preparación y/o segmentación y/o referencias anatómicas. Otro criterio de optimización se refiere a la estabilidad mecánica de la restauración dental que se produce a partir de modelos dentales y datos de escaneado. El valor parcial de optimización correspondiente describe, preferentemente, el cumplimiento de espesores de material mínimos para garantizar la estabilidad mecánica de la restauración dental. Además de estos criterios de optimización funcionales mencionados a modo de ejemplo, también pueden tenerse en cuenta criterios de optimización estéticos que, ante todo, son importantes para restauraciones dentales en la zona de dientes frontal. De esta manera, el paciente puede preferir una forma especial (rectangular, triangular, cuadrada, forma de pala, etc.) de los dientes incisivos superiores. El valor parcial de optimización respectivo describe las desviaciones de los modelos dentales respecto de las formas referidas.
- Las estructuras de destino (dientes, sustancias dentales remanentes, dentición opuesta, registros interoclusales, dientes adyacentes, líneas de preparación y segmentación, referencias anatómicas, etc.) necesarios para la individualización de modelos dentales pueden ser determinados algorítmicamente y/o de manera interactiva en los datos de escaneado. Los correspondientes procedimientos son conocidos por el entendido en la materia, siendo particularmente ventajosos los procedimientos automatizados ya que permiten un proceder objetivo y rápido.
- Como descrito anteriormente, también se pueden individualizar grupos de modelos dentales, siendo enlazados, preferentemente, modelos dentales dentro de un grupo. A cada grupo de acoplamiento así formado puede

pertenecer un valor parcial de optimización adicional.

El tamaño de un grupo de acoplamiento puede ser determinado, básicamente, mediante una cantidad cualquiera de diferentes tipos dentales de la cantidad de tipos dentales deseados (por ejemplo mediante los tipos dentales 13 a 18 o, por ejemplo, mediante los tipos dentales 15 y 26), es decir que los modelos dentales correspondientes no necesariamente deben ser contiguos. En el caso de modelos dentales adyacentes, los modelos dentales adyacentes son acoplados, preferentemente, de tal manera que el valor parcial de optimización correspondiente describa la situación de contacto de los modelos dentales adyacentes. Además de ello, dentro de un grupo de acoplamiento, las posiciones y/o formas de los diferentes modelos dentales pueden ser acopladas de tal manera que se cumplan relaciones anatómicas útiles de los modelos mentales entre sí. Para ello, los parámetros de acoplamiento del grupo de acoplamiento pueden definir relaciones referenciales para los parámetros de posición y/o forma de los diferentes modelos dentales. El valor parcial de optimización para las diferentes posiciones relativas de modelos dentales resulta, preferentemente, de las relaciones espaciales de referencias anatómicas de los modelos dentales. De tal manera, los parámetros de acoplamiento pueden describir relaciones deseadas de las referencias entre sí y de las divergencias de estas relaciones puede calcularse el valor parcial de optimización para las relaciones de posición. Como ejemplo debe mencionarse la alineación de los bordes incisales del modelo dental. Aunque aquí las formas de modelos dentales pueden variar fuertemente (rectangulares, triangulares, etc.), la exigencia de que las referencias de los bordes incisales del modelo dental deben estar situados en una curva parametrizada brinda una buena alineación de los bordes incisales del modelo dental en la zona de dientes frontal. De manera similar es la situación con el valor parcial de optimización que describe las relaciones espaciales de las formas de modelos dentales. Preferentemente, una base de datos de modelos puede ser construida de escaneados de mandíbula de objetos de ensayo, en los cuales los modelos dentales producidos de un escaneado de mandíbula corresponden entre sí ya que todos provienen de un objeto de ensayo. El valor parcial de optimización para el acoplamiento de las formas de modelos dentales puede describir las desviaciones de las correspondencias dentro de un grupo de acoplamiento.

La extensión de al menos un grupo de acoplamiento debería, preferentemente, corresponder a la extensión de los dientes escaneados, para que por medio del procedimiento sea analizada la mayor sustancia dental y remanente dental posible. En particular, en el caso de preparación de dientes existentes, la forma de las restauraciones dentales se deduce de la sustancia dental y de la sustancia remanente dental de todos los dientes escaneados. De tal manera que, cuanto mayor es el defecto dental de un tipo de diente, tanto más importante es el análisis de las sustancias dentales y sustancias remanentes dentales de otros tipos de dientes. Sin embargo, especialmente cuando sólo existe un defecto mínimo, por ejemplo en una preparación de incrustaciones inlay sin participación de cúspides, el procedimiento propuesto por la invención funciona de manera excelente también con un único tipo de diente. Sin embargo, alternativamente, cuando se usan múltiples tipos de dientes, los valores parciales de optimización de acoplamiento de tipos de dientes con menores defectos dentales pueden ser ponderados de manera reducida e incluso con cero.

Finalmente, los diferentes valores parciales de optimización se combinan en un solo valor de optimización para la individualización. Preferentemente, ello se produce mediante el cálculo de una suma ponderada de los valores los valores parciales de optimización. De tal manera, las ponderaciones permiten un control de la influencia de los diferentes criterios de optimización. Según la invención se obtiene así un valor de optimización para cada registro paramétrico de modelo. Para la individualización de un modelo dental se varían entonces los parámetros de modelo hasta tanto el valor de optimización es cumplido mínimamente o se cumpla un criterio de abortamiento. El valor cualitativo de la individualización se determina, preferentemente, a partir del valor de optimización mínimo.

En una variante preferente del procedimiento, después de la determinación de los modelos dentales óptimos y antes de la determinación de las restauraciones dentales se realiza un ajuste fino de los modelos dentales óptimos entre sí y/o a los datos escaneados. Ello es ventajoso debido a que la variedad de formas de los modelos dentales es prácticamente restringida al número de modelos dentales en la base de datos de modelos y el número de parámetros de formas y porque las restauraciones dentales calculadas deben presentar una precisión máxima. Es ventajoso el uso de transformaciones de deformación localmente limitadas que realizan un ajuste fino de la situación de contacto de los modelos dentales entre sí y un ajuste fino a los dientes, sustancias remanentes de dientes, dientes adyacentes, dentición opuesta, registros interoclusales, líneas de preparación, líneas de segmentación, referencias anatómicas, puntos de contacto, etc. con valores de desplazamiento lo más reducidos posibles y que no produzcan bordes o arrugas.

Según la invención, la búsqueda de un modelo dental óptimo de un tipo de diente puede comenzar en uno o más modelos dentales iniciales. En múltiples modelos dentales iniciales, mediante el procedimiento se consigue para cada modelo dental inicial individual un modelo dental óptimo temporario con un valor cualitativo para la individualización. El modelo dental óptimo definitivo es entonces aquel modelo dental óptimo temporario con el mayor valor cualitativo.

En particular, al usar un único modelo dental inicial, el modelo dental inicial puede estar guardado en una base de datos de modelos, debiendo dicho modelo dental inicial ser, preferentemente, el modelo dental de valor medio del tipo de diente.

Asimismo, el modelo dental inicial también puede ser determinado a partir de un análisis geométrico de los datos de

escaneado. Para ello, las dimensiones geométricas pueden ser determinados para los dientes y/o de las sustancias remanentes de dientes existentes en los datos de escaneado, y usando las mismas pueden ser identificados en una base de datos de modelos un modelo dental inicial con dimensiones geométricas lo más similares posible.

5 La selección de múltiples modelos dentales iniciales para un tipo de diente puede ser realizado de manera análoga a la selección de un único modelo dental inicial. De tal manera, lo más sencillo es establecer los modelos dentales iniciales en una base de datos usada por el procedimiento, siendo ventajoso también en este caso que los modelos dentales iniciales sean modelos dentales de valores medios de subgrupos de modelos dentales de un tipo de diente. En este caso, los subgrupos deberían estar compuestos de modelos dentales del tipo de diente morfológicamente similares. En el caso que los modelos dentales iniciales deban ser determinados mediante un análisis geométrico de  
10 datos de escaneado, se selecciona un número de modelos dentales iniciales de la base de datos de modelos, cuyas medidas geométricas correspondan lo más correctamente posible a las dimensiones geométricas de dientes y/o sustancias remanentes de dientes en los datos de escaneado.

15 Otra variante preferente del procedimiento según la invención está caracterizada por que los tipos de dientes existentes de una base de datos de modelos son suministrados para la selección a una unidad de selección y con ayuda de una señal de selección, por ejemplo usando una interfaz gráfica de usuario, se selecciona los tipos de dientes deseados. Esta selección puede ser configurada claramente mediante el uso de un esquema gráfico dental.

20 Complementaria o adicionalmente, para poder influenciar también cuáles serán los modelos dentales de una base de datos de modelos que se usarán en el procedimiento según la invención, los modelos dentales de un tipo de diente deseado existente en la base de datos de modelos son preferentemente enviados para ser seleccionados a una unidad de selección, y los modelos dentales óptimos se seleccionan allí con la ayuda de una señal de selección. Por ejemplo, la estructura del enlace de modelos dentales de una base de datos de modelos y/o un ordenamiento lineal de modelos dentales de una base de datos de modelos son enviados, de manera particularmente preferente, a una unidad de selección para ser seleccionados, y con ayuda de una señal de selección se seleccionan los modelos dentales deseados. Este proceder es ventajoso en particular en la selección de modelos dentales de formas  
25 deseadas en la zona de dientes frontal o en la selección de modelos dentales para la fabricación de prótesis.

30 En una variante preferente de la invención, los modelos dentales de una base de datos de modelos se encuentran en diferentes niveles de resolución. Es entonces ventajoso iniciar el procedimiento según la invención con los modelos dentales del nivel de resolución más bajo, siendo, después del paso exitoso el nivel de resolución aumentado en próximas etapas. Ello permite, ante todo, un aumento de la velocidad del procedimiento. De tal manera, la base de datos también puede incluir, por ejemplo, registros completos de modelos dentales en diferentes niveles de resolución, o bien bases de datos parciales con, en cada caso, diferentes niveles de resolución, y después de una optimización completa, es decir después de la selección de un modelo dental óptimo de una base de datos o de una base de datos parciales con un nivel de resolución reducida, el procedimiento se realiza una vez más con una base de datos o base de datos parciales con un nivel de resolución mayor. De tal manera, el modelo dental óptimo de un paso anterior puede ser usado como modelo inicial para el paso siguiente. Asimismo, es posible trabajar en la solución del problema de optimización con diferentes niveles de resolución por cada paso de iteración.

40 Los modelos dentales geoméricamente deformables en una base de datos pueden estar estructurados según diferentes principios. Ya que las estructuras de destino en los datos de escaneado son, básicamente, superficies límite, los modelos de superficie son apropiados como modelos dentales. La modelación geométrica de las superficies de modelos se puede producir mediante la simple triangulación, o también usando modelaciones más complicadas de orden superior (modelos Bézier, NURBS, B-Spline, etc.). Contrariamente, el uso de modelos volumétricos (modelos voxel, FEM, etc.) va unido a mayores complicaciones matemáticas y de memoria que en los modelos de superficie. Así es posible una buena modelación de las estructuras interiores de dientes, pero también las propiedades mecánicas. En los modelos dentales es ventajosa la marcación de referencias anatómicas, ejes dentales, términos direccionales, zonas superficiales y/u otras estructuras geométricas características, ya que estas  
45 marcaciones pueden ser transferidas a los datos de escaneado después de la individualización exitosa de los modelos dentales.

50 Las transformaciones geométricas de modelos dentales son descritas mediante parámetros de forma, pudiendo dicha parametrización ser realizada de diferentes maneras. Preferentemente se usan transformaciones en las cuales los parámetros de formas de los modelos dentales están ordenados según su influencia en la geometría de modelo dental. Es decir, los parámetros de forma importantes están al tope de la lista de parámetros de formas y en la individualización de modelos dentales se optimizarán primero, antes de optimizar parámetros de formas que parametrizan detalles de los modelos dentales. De esta manera se consigue un aumento de velocidad y la estabilización de la individualización de modelos dentales. En este caso, la zona de definición de los parámetros de formas es, preferentemente, no arbitraria sino que es determinada, preferentemente, mediante el análisis de datos  
55 de entrenamiento. De esta manera se consigue que mediante los parámetros de formas solamente se produzcan modelos dentales anatómicamente útiles.

60 El uso de campos de transformación tridimensionales parametrizados para los modelos dentales es particularmente ventajoso para el procedimiento propuesto por la invención. Un campo de transformación tridimensional se compone de vectores de desplazamiento para los vértices (puntos de soporte) de un modelo dental. Estos vectores de

desplazamiento también pueden ser parametrizados, por ejemplo mediante el desplazamiento parametrizado de referencias anatómicas de un modelo dental. Los vectores de desplazamiento de todos los vértices se obtienen entonces, por ejemplo, de las distancias de los vértices a las referencias anatómicas desplazadas. De este modo, adicionalmente a la transformación de modelos dentales se consigue una reducción de la capacidad de memoria de la base de datos de modelos, ya que pueden ser eliminados de la base de datos aquellos modelos dentales que con un nivel de precisión suficiente se obtienen de otro modelo dental aplicando una transformación tridimensional parametrizada. Por otro lado, cuando usando el procedimiento propuesto, la rapidez de un resultado es más importante que la precisión, es conveniente el uso de parámetros de forma correspondiente a parámetros geométricos de construcción (por ejemplo, anchura de diente, profundidad de diente, distancias de cúspides, grosor de bordes incisales, longitud de raíces, etc.).

Sin embargo, el procedimiento propuesto según la invención también puede, tal como se menciona anteriormente, ser usado, particularmente, con modelos dentales no deformables geoméricamente. Ello es útil cuando los modelos dentales corresponden a dientes artificiales preconfeccionados, grupos de dientes o prótesis que antes del procedimiento son producidos masiva y económicamente. Como ejemplo debe mencionarse aquí la fabricación de prótesis en base a una biblioteca de dientes protésicos especificados.

En un procedimiento según la invención para la generación de una base de datos de modelos que para el uso en el procedimiento descrito anteriormente para diferentes tipos de dientes contiene, en cada caso, un número de modelos dentales parametrizados, la parametrización de produce mediante parámetros de modelos que incluyen parámetros de posición y/o de forma. Además, cada modelo dental es enlazado con un número de modelos dentales del mismo tipo de diente. De tal modo, una base de datos de modelos de este tipo para el procedimiento según la invención puede ser creada de diferentes maneras. Los procedimientos automatizados para la generación de una base de datos de modelos son ventajosos, ya que, particularmente, con un gran número de modelos dentales de un tipo de diente, la creación interactiva de un enlace y la transformación geométrica de los modelos dentales puede ser subjetiva y muy lenta.

Según un procedimiento preferente, todas las bases de datos de modelos o al menos partes de la base de datos de modelos son generadas mediante el análisis de una cantidad de datos de escaneado de estructura oral artificial y/o natural. En el sentido de la invención, las estructuras orales artificiales incluyen dientes artificiales, grupos de dientes, prótesis pero también implantes, pilares y otros sistemas de fijación. Por regla general, tales estructuras orales artificiales existen comercialmente con múltiples características preconfeccionadas ofrecidas por diferentes oferentes. Contrariamente, en el sentido de la invención, las estructuras orales naturales abarcan dientes naturales, grupos de dientes, dentaduras pero también encías, huesos maxilares, nervios y otras estructuras anatómicas. Preferentemente se obtienen los datos de escaneado de estructuras orales naturales de escaneados ópticos de impresiones de yeso del maxilar y mandíbula libres de caries y/o defectos. También se pueden usar datos de escaneado radiológico de maxilares, presentando los datos de escaneado una menor precisión que los datos de escaneado óptico, pero a cambio contienen estructuras subgingivales e intradentales.

Por regla general, los datos de escaneado, en particular cuando son datos de escaneado de estructuras orales naturales, primeramente deben ser segmentados en un primer paso del proceso para obtener datos de escaneado de un tipo de diente deseado. En datos de escaneado de estructuras orales artificiales, la mayoría de las veces se omite este paso, ya que generalmente existen separados físicamente y pueden ser escaneadas individualmente. En ambos casos se consiguen de la medición de estructuras orales físicas una cantidad de datos de escaneado de un tipo de diente deseado que puede ser empleada para la generación de una base de datos de modelos.

Según la invención, en un paso de proceso subsiguiente se generan los modelos dentales de una clase de modelos, es decir se ejecuta un ajuste de superficies y/o volumen de modelos dentales (de una resolución deseada) a los datos de escaneado de un tipo de diente deseado. Opcionalmente, es posible determinar referencias anatómicas, ejes dentales, términos direccionales, zonas de superficies y/u otras estructuras geométricas características para los modelos dentales.

Un enlace según la invención de modelos dentales de una clase de modelos puede ser generado de manera particularmente preferente, formando clúster de modelos dentales morfológicamente similares, estando los modelos dentales de un clúster y los clúster enlazados entre sí.

Para la determinación de los clúster con los correspondientes modelos dentales de valor medio se puede ejecutar previamente un análisis de las desviaciones morfológicas de los modelos dentales entre sí, calculando para cada par posible de modelos dentales un valor de desviación. Ello se consigue dado que los dos modelos dentales de un par coinciden de buen modo mediante la determinación de valores óptimos de traslación y rotación y porque el valor de desviación describe las desviaciones morfológicas todavía existentes de los modelos dentales.

Los modelos dentales se consideran preferentemente como morfológicamente similares y después son enlazados entre sí cuando los valores de desviación correspondientes están por debajo de un valor umbral. Es decir, según sea el valor umbral, la cantidad de todos los modelos dentales se descomponen en clúster. En este caso, cuanto menor ha sido escogido el umbral, tanto mayor es el número de clúster, estando los clúster, en términos de definición, todavía no enlazados entre sí en este estado.

Un enlace de los clúster puede tener lugar, preferentemente, en base a modelos dentales de valor medio de los clúster. Debido al análisis de desviaciones de los modelos dentales entre sí, se obtiene para cada una de los n modelos dentales (n-1) valores de desviación. Como modelo dental de valor medio se toma, preferentemente, el modelo dental cuya suma de los cuadrados de los valores de desviación es mínima. Después de la determinación de los modelos dentales de valor medio de los clúster, los mismos son enlazados apropiadamente para que se genere un enlace coherente de todos los modelos dentales de la clase de modelos. De tal manera, se enlazan, preferentemente, el modelo dental de valor medio del clúster perimetralmente más grande con todos los demás modelos dentales de valor medio de los demás clúster. Adicionalmente, también es posible agregar un enlace de modelos dentales de valor medio de los clúster morfológicamente similares. En un gran número de modelos dentales es apropiado un uso iterativo de dicho procedimiento. Los clúster que superan determinada magnitud, son divididos en clúster de segundo orden y los modelos dentales correspondientes enlazados apropiadamente.

En particular, al usar datos de escaneo de estructuras orales naturales para la generación de al menos una parte de la base de datos de modelos, en un paso de proceso final se agregan, preferentemente, transformaciones geométricas a los modelos dentales, para producir para la individualización también formas intermedias de modelos dentales. Para un modelo dental, las transformaciones geométricas apropiadas son definidas, preferentemente, mediante el requerimiento de que la forma del modelo dental pueda ser trasladado de manera continua a al menos un modelo dental enlazado con el mismo. Los parámetros de forma están ordenados, preferentemente, según su influencia en la geometría del modelo dental. Mediante este proceder se asegura que una transformación sólo se produce entre modelos dentales morfológicamente similares y que los parámetros de forma correspondientes pueden efectivamente ser variados.

Un sistema de determinación de restauración dental según la invención requiere para la realización del procedimiento una interfaz para la recepción de los datos de escaneo medidos de una modalidad, una unidad de selección para la selección de tipos de dientes a usar, un dispositivo de memoria con una base de datos de modelos que para diferentes tipos de dientes contiene, en cada caso, un número de modelos dentales parametrizados, ocurriendo la parametrización mediante parámetros de modelos que incluyen parámetros de posición y/o forma y en la cual cada modelo dental está enlazado con un número de modelos dentales del mismo tipo de diente. Además, el sistema de determinación de restauración dental necesita una unidad de optimización que esté configurada para determinar de la base de datos de modelos para cada tipo de diente un modelo dental óptimo mediante un procedimiento iterativo en el que, comenzando con un modelo dental inicial se testee con cada paso de iteración un modelo dental respecto de un valor cualitativo. La unidad de optimización incluye una unidad de carga, una unidad de individualización y una unidad de determinación de calidad. Mediante la unidad de carga se cargan modelos dentales de una base de datos de modelos y se transfieren a la unidad de individualización configurada para ajustar a los datos de escaneo mediante la variación de parámetros de modelos un modelo dental actual a testear y al menos un modelo dental enlazado con el modelo dental a testear. Dentro de la unidad de determinación de calidad se comprueban valores cualitativos para la individualización de modelos dentales y un criterio de calidad para la interrupción de la iteración. Finalmente, el sistema de determinación de restauración dental necesita una unidad de restauración para determinar de los modelos dentales óptimos y de los datos de escaneo al menos una restauración dental.

Las unidades de selección, optimización, carga, individualización, determinación de calidad y restauración del sistema de determinación de restauración dental pueden ser realizadas de manera particularmente preferente en forma de software en un procesador apropiado de un ordenador. Dicho ordenador debería presentar una interfaz correspondiente para la recepción de los datos de escaneo y un dispositivo de memoria apropiado para una base de datos de modelos. En este caso, dicho dispositivo de memoria no es necesario que sea componente integral del ordenador, sino que es suficiente que el ordenador pueda acceder a un adecuado dispositivo de memoria externo. Una realización del procedimiento según la invención en forma de software tiene la ventaja que incluso los sistemas de determinación de restauración dental existentes pueden ser correspondientemente reequipados de manera sencilla mediante actualizaciones apropiadas. El sistema de determinación de restauración dental según la invención también puede ser, particularmente, una unidad de control para la modalidad autoregistradora de los datos de escaneo, que presente los componentes necesarios para el procesamiento, según la invención, de los datos de escaneo.

Asimismo, en un ordenador también puede realizarse un procedimiento separado previo a la determinación de restauraciones dentales según la invención para la generación de al menos partes de una base de datos en forma de software apropiado. De tal manera, en particular, para la generación de al menos partes de una base de datos de modelos también es posible usar el sistema de determinación de restauración dental con el cual se realiza la determinación de restauraciones dentales. Por ejemplo, en determinados momentos en los cuales el sistema de determinación de restauración dental no está trabajando a pleno con trabajos actuales usar capacidad de cálculo disponible para generar modelos dentales y guardarlos en la base de datos de modelos para un uso ulterior.

El procedimiento según la invención y el sistema de determinación de restauración dental para la determinación de restauraciones dentales pueden aplicarse, ventajosamente, para la fabricación o selección de una pieza de restauración dental en un procedimiento según la invención. En este caso, tal como se ha descrito anteriormente se determina, primeramente, una restauración dental virtual mediante los datos de escaneo de estructuras orales. A continuación, basado en la restauración dental virtual determinada se puede fabricar la pieza de restauración dental.

Ello se produce, preferentemente de forma automática, mediante una máquina, por ejemplo un dispositivo de fresado, a la cual se transmite un registro de datos CAD/CAM que describe la restauración dental virtual. Alternativamente, también es posible seleccionar una pieza de restauración dental apropiada de una cantidad de piezas de restauración dental, por ejemplo mediante la edición de un número de identificación que está asignado inequívocamente a la pieza de restauración dental.

5 A continuación, la invención se describe en detalle con referencia a los dibujos adjuntos mediante ejemplos de realización. Muestran:

La figura 1, un diagrama de flujo para la representación de un desarrollo posible del procedimiento según la invención para la determinación de restauraciones dentales;

10 la figura 2, una representación esquemática de una base de datos de modelos DB con modelos dentales M enlazados para dos tipos de dientes 15, 16;

la figura 3, una representación en perspectiva de modelos dentales M de valor medio de una base de datos de modelos para tipos de dientes 18 a 48;

15 la figura 4, una representación tridimensional esquemática de datos de escaneado D de dientes  $T_{13}$  a  $T_{18}$  con datos antagonistas, líneas de preparación LP inscritas, líneas de segmentación LS inscritas y referencias anatómicas AL inscritas;

la figura 5, una representación esquemática bidimensional de datos de escaneado D de dientes  $T_{13}$  a  $T_{18}$  con modelos dentales M óptimos para una preparación de inlay, corona y puente;

20 la figura 6, una representación esquemática bidimensional de datos de escaneado D de dientes  $T_{13}$  a  $T_{18}$  con restauraciones dentales R para una preparación de inlay, corona y puente;

la figura 7, una representación en perspectiva de datos de escaneado D de un maxilar usados para la generación de una base de datos de modelos, siendo mostrado en la parte izquierda de la imagen el escaneado del maxilar, y a la derecha el escaneado de la mandíbula;

25 la figura 8, una representación en perspectiva de modelos dentales M de una clase de modelos que han sido construidos mediante el ajuste a los datos de escaneado de un tipo de diente provenientes de la segmentación de escaneados de maxilares;

la figura 9, una representación en perspectiva de una disposición de modelos dentales M de una clase de modelos, definido mediante los valores de desviación recíprocos, presentando los modelos dentales M morfológicamente similares en la disposición una menor distancia espacial entre sí;

30 la figura 10, una representación en perspectiva de un enlace L posible de modelos dentales M de una clase de modelos con un único clúster  $C_1$ ;

la figura 11, una representación en perspectiva de un enlace L posible de modelos dentales M una base de datos de modelos con cuatro clúster  $C_1, C_2, C_3, C_4$ ;

35 la figura 12, una representación en perspectiva de una ordenación lineal P de modelos dentales M de una clase de modelos mediante enlaces de modelos dentales M con las menores desviaciones morfológicas;

la figura 13, una representación en perspectiva de una disposición unidimensional de modelos dentales M de una clase de modelos, definida mediante una ordenación lineal y pertenencia a un clúster  $C_1, C_2, C_3, C_4$  según la figura 11;

40 la figura 14, una representación en perspectiva de una disposición bidimensional de modelos dentales M de una clase de modelos, definida mediante una ordenación lineal y pertenencia a un clúster  $C_1, C_2, C_3, C_4$  según la figura 11;

la figura 15, una representación de un esquema dental mediante el cual se definen los tipos de dientes a usar en el procedimiento y, opcionalmente, también los tipos de preparación correspondientes;

la figura 16, una representación reducida del esquema dental de la figura 15;

45 la figura 17, un ejemplo de realización mostrado esquemáticamente de un sistema de determinación de restauración dental según la invención.

El ejemplo de realización mostrado esquemáticamente en la figura 17 de un sistema de determinación de restauración dental 5 se compone, en lo esencial, de un ordenador 10 y una consola 6 o similar conectada al mismo con una pantalla 7, un teclado 8 y un dispositivo apuntador, en este caso un ratón 9. El ordenador 10 puede ser un ordenador estructurado de la manera convencional, por ejemplo un PC o un procesador que también puede ser

50

usado para otras evaluaciones de datos y/o para el control de captación de imágenes (modalidades) tales como escáneres ópticos, tomógrafos volumétricos digitales, tomógrafos computados, etc. Dentro de este ordenador 10 son componentes esenciales, entre otros, un procesador central 13 y una interfaz 11 para recibir datos de escaneado D de estructuras orales OS que han sido medidos por una modalidad 1, en este caso un escáner óptico. Mediante la interfaz 11 también pueden ser emitidos registros de datos CAD/CAM, determinados por el procedimiento, a una unidad de amolado 20 conectada al bus de datos 3 mediante la cual se pueden producir, por ejemplo, piezas de restauración dental.

En el ejemplo de realización mostrado en la figura 17, la modalidad 1 está conectada con un dispositivo de control 2 que, por su parte, está conectado con un bus de datos 3 al cual también está conectado el sistema de determinación de restauración de dientes 5. Además, a este bus de datos 3 están conectados una memoria masiva 4 para el almacenamiento intermedio o descargado permanente de los datos de escaneado D registrados por la modalidad 1 y/o de los datos de escaneado D procesados por el sistema de determinación de restauración de dientes 5. Por supuesto, en el bus de datos 3 formando una red mayor todavía pueden conectarse otros componentes, por ejemplo otras modalidades, memorias masivas, procesadores, equipos de salida tales como impresoras, filmadoras, unidades de amolado 20 o similares. Es posible, asimismo, una conexión con una red externa o bien con otros sistemas de determinación de restauración de dientes. En este caso, todos los datos de escaneado D son formateados, preferentemente, para la comunicación en el denominado estándar STL (STL = Surface Tessellation Language) y/o en el estándar DICOM (DICOM = Digital Imaging and Communication in Medicine).

El control de la modalidad 1 se produce de la manera habitual por medio del dispositivo de mando 2 que también adquiere los datos de la modalidad 1. El dispositivo de mando 2 puede presentar para la operación in situ una consola propia o similar que, sin embargo, no se muestra aquí. Sin embargo, también es posible que la operación se produzca, por ejemplo, por medio de un bus de datos mediante un procesador separado que se encuentre en proximidad de la modalidad.

A continuación se explica un desarrollo posible del procedimiento según la invención mediante la figura 1, remitiéndose a la figura 17 respecto de la estructura del sistema de determinación de restauración de dientes. En este caso, el procedimiento se compone de los pasos del proceso I a VI, existiendo un paso de iteración S de los pasos de proceso II a V. En este caso se parte seguidamente del hecho de que una determinación conjunta de modelos dentales óptimos se produce para un grupo de tipos de dientes, aun cuando según la invención se podría, en principio, determinar separadamente un modelo dental óptimo para cada tipo de diente.

En primer lugar, en un primer paso del proceso I, se seleccionan los datos de escaneado D y se determina la extensión de los tipos de dientes a usar. Por ejemplo, los datos de escaneado D pueden ser transmitidos directamente desde la modalidad 1 o de su dispositivo de control 2 al ordenador 10 por medio del bus de datos 3. Pero también pueden ser datos de escaneado D que ya han sido recibidos hace algún tiempo y almacenados en una memoria masiva 4. Opcionalmente, mediante el operador puede tener lugar un procesamiento interactivo de los datos de escaneado D, en el cual el operador marca en los datos de escaneado D estructuras que soportan el proceso de individualización de los modelos dentales M. En particular, es posible determinar líneas de preparación LP, líneas de segmentación LS, referencias anatómicas AL, puntos de contacto y marcaciones de dientes individuales, de manera interactiva o con ayuda algorítmica. Para ello, la figura 4 muestra una representación esquemática bidimensional de datos de escaneado D de dientes con datos antagonistas, líneas de preparación LP inscritas, líneas de segmentación LS inscritas y referencias anatómicas AL inscritas.

La extensión de los modelos dentales M a usar en el procedimiento se determinan, preferentemente, mediante la indicación de una cantidad de diferentes tipos de dientes. Para mayor claridad para el operador, dicha indicación se puede producir mediante una interfaz gráfica de usuario y un esquema dental mostrado, por ejemplo, en la figura 15. La figura 3 muestra los modelos dentales M de valor medio de los tipos de dientes 18 a 48. Preferentemente, la extensión de los tipos de dientes a usar deben corresponder a la extensión de los tipos de dientes de los dientes escaneados. Después de la determinación de los tipos de dientes deseados es ventajoso mostrar al operador el esquema dental en forma reducida (por ejemplo, tal como en la figura 16). A continuación se supone que el operador ha seleccionado múltiples tipos de dientes. En dicho caso es útil el uso de aquella variante del procedimiento según la invención en la cual se individualizan grupos de modelos dentales M.

Complementariamente, también la estructura del enlace L de la base de datos de modelos DB usada (tal como en la figura 2) y/o una ordenación lineal P de los modelos dentales de la base de datos de modelos DB (tal como en las figuras 13 y 14) puede ser transmitida para seleccionar a una unidad de selección y con ayuda de una señal de selección seleccionar modelos dentales M deseados que después son usados en el procedimiento. Mediante dicho proceder, el operador puede seleccionar subgrupos deseados de modelos dentales M de un tipo de diente, para, por ejemplo, suministrar al procedimiento modelos dentales M con propiedades morfológicas particulares. Dicho proceder puede ser ventajoso particularmente para el cálculo de restauraciones dentales en la zona de dientes frontal. Los procesos del primer paso de procedimiento se ponen en práctica mediante una unidad de selección 14, que en este caso está realizada en forma de un módulo de software en el procesador 13 del ordenador 10.

Para ello, la figura 2 muestra una representación esquemática muy simplificada de una base de datos de modelos DB con modelos dentales M enlazados para dos tipos de dientes 15, 16. A los círculos le corresponden modelos

dentales M que están provistos de transformaciones geométricas opcionales. En los círculos – también denominados nodos de la base de datos de modelos DB – están reproducidos los tipos de dientes y los índices de selección para la clase de modelo correspondiente. Por razones de claridad, se muestra sólo un número reducido de modelos dentales M y el enlace L (en forma de red para el tipo de diente 15, jerárquicamente para el tipo de diente 16) de los modelos dentales M es mantenido particularmente sencillo.

La determinación de los modelos dentales óptimos para los tipos de dientes deseados se produce en el ejemplo de realización descrito mediante un proceso con múltiples pasos de iteración S, en los cuales, comenzando con modelos dentales iniciales de los tipos de dientes deseados, se testea en cada paso de iteración S un grupo de modelos dentales respecto de un valor de calidad. En este caso, cada paso de iteración incluye múltiples pasos de proceso II, III, IV, V que son recorridos en forma de un bucle S. Dicho proceso de optimización se produce en la unidad de optimización 15 del sistema de determinación de restauración de dientes 5 que, en este caso, está realizado en forma de un módulo de software en el procesador 13 del ordenador 10.

Antes del primer ciclo del bucle S se determinan los modelos dentales iniciales para los tipos de dientes deseados y se posicionan en los datos de escaneado. Preferentemente, los modelos dentales iniciales están determinados en la base de datos de modelos y, de manera particularmente preferente, son modelos dentales de valor medio de los tipos de dientes deseados. Alternativamente, también es posible determinar de un análisis geométrico de los datos de escaneado los modelos dentales iniciales de tipos de dientes deseados. Una opción es la medición automática o manual de dientes y/o de sustancias remanentes de dientes en los datos de escaneado para después de la base de datos de modelos seleccionar modelos dentales iniciales con a ser posible similares dimensiones geométricas. Dimensiones geométricas típicas son, por ejemplo, anchura de diente, profundidad de diente, distancias de cúspides y grosor de borde incisales. Después de la selección de modelos dentales iniciales, los mismos deberían posicionarse aproximadamente respecto de los datos de escaneado antes del primer ciclo de bucle, es decir se realiza un posicionamiento previo de los modelos dentales iniciales. En los datos de escaneado radiológico (por ejemplo, datos de escaneado DVT) se conocen, por regla general, términos direccionales (anterior, posterior, etc.) del registro de datos y el volumen de recepción abarca, normalmente, la cavidad bucal con estructuras adyacentes. La situación del escaneado óptico de maxilares es similar. También allí se cumplen, por regla general, convenciones direccionales para los datos de escaneado. Las superficies oclusales de los dientes muestran una dirección axial definida y los arcos dentales parabólicos están abiertos orientados hacia otra dirección axial definida. En escaneados ópticos intraorales la situación es mínimamente diferente. También en este caso, las superficies oclusales de los dientes apuntan en una dirección axial definida y para los extremos de la parte medida de un arco dental se conocen los términos direccionales (por ejemplo, mesial, distal, etc.). Debido a estas informaciones direccionales implícitas y las dimensiones conocidas de los datos de escaneado, los modelos dentales iniciales pueden ser posicionados respecto de los datos escaneados al iniciar el proceso.

El bucle S comienza con el paso de proceso II en el que los grupos de modelos dentales actuales a testear y al menos otro grupo de modelos dentales de una base de datos de modelos son cargados mediante una unidad de carga 16 que está realizada aquí en forma de un módulo de software en el procesador 13 del ordenador 10. Para ello, el ordenador 10 presenta una memoria 12 con una base de datos DB. La figura 2 representa a modo de ejemplo un enlace L posible de modelos dentales M para los tipos de dientes 15 y 16 de una base de datos de modelos DB.

A continuación, en el paso de proceso III se ajustan grupos de modelos dentales a los datos de escaneado mediante la variación de parámetros de modelo. Dicho proceso de individualización se produce en la unidad de individualización 17 que, en este caso, está realizado en forma de un módulo de software en el procesador 13 del ordenador 10. La individualización de modelos dentales se realiza, preferentemente, mediante la solución de un problema de optimización en el cual el valor de optimización se obtiene a partir de un número de valores parciales de optimización que corresponden a los criterios de optimización deseados. Los diferentes valores parciales de optimización son reunidos después de su cálculo en un único valor de optimización. Preferentemente, ello se produce mediante el cálculo de una suma ponderada de los valores parciales de optimización. De tal manera, los factores de ponderación permiten un control de la influencia de los diferentes criterios de optimización. De esta manera, por ejemplo, un factor de ponderación elevado para el ajuste de los modelos dentales a la dentición opuesta en combinación con un factor de ponderación bajo para el ajuste a los dientes adyacentes puede producir modelos dentales óptimos que están ajustados muy bien a la dentición opuesta pero, a cambio, no presentan una situación de contacto completa con los dientes adyacentes. Preferentemente, los factores de ponderación son escogidos de tal manera que todos los criterios de optimización se cumplan igualmente bien. La solución del problema de optimización generalmente no lineal se puede producir mediante el procedimiento conocido por el experto en la materia. Una opción sencilla es la determinación del valor mínimo de optimización mediante el método de gradiente descendente.

Un importante valor parcial de optimización describe el ajuste de un modelo dental a la estructura dental y/o estructura remanente dental correspondiente en los datos de escaneado. Dicha estructura objetivo es definida preferentemente mediante las líneas de preparación y/o líneas de segmentación determinadas en los datos de escaneado. Los procedimientos automáticos y/o interactivos necesarios para la determinación de las líneas límite son conocidos por el entendido en la materia. Opcionalmente, también se puede producir una marcación directa de la estructura dental y/o estructura remanente dental por medio del operador. El cálculo del valor parcial de

optimización se produce, preferentemente, mediante la suma de los cuadrados de valores de las distancias de vértices del modelo dental a la estructura objetivo. Como valores de distancias se pueden tomar las distancias mínimas de los vértices de modelo dental a la estructura objetivo, pero también las distancias a lo largo de las normales de superficie de los vértices de modelo dental a la estructura objetivo.

5 En el presente ejemplo de realización, otro valor parcial de optimización importante describe el contacto de un modelo dental con la dentición opuesta. En este caso, la dentición opuesta se mide directa o indirectamente mediante un registro interoclusal. En ambos casos se obtienen los llamados datos antagonistas. Para la descripción de la situación de contacto de un modelo dental respecto de un antagonista correspondiente se sugiere el uso de valores de distancia signados. Un signo negativo para un valor de distancia de un vértice de modelo dental es cuando está dentro del antagonista, por el contrario recibe un signo positivo. Ahora, en el caso de determinar el mínimo de los valores de distancia se obtiene para un modelo dental un único valor de distancia de contacto signado. En caso de ser positivo no existe una penetración, si es cero, existen uno o más puntos de contacto, si es negativo, existe una penetración. El valor parcial de optimización es, entonces, preferentemente el cuadrado del valor de distancia de contacto. Opcionalmente, el operador también puede fijar interactivamente puntos y/o superficies de contacto deseados respecto del antagonista. Las distancias de los correspondientes elementos de escaneado al modelo dental se incorporan, entonces, adicionalmente al cálculo del valor parcial de optimización. De manera completamente análoga a la indicación propuesta de cálculo para la descripción del contacto con la dentición opuesta se puede calcular el valor parcial de optimización para el contacto de los modelos dentales entre sí y/o respecto de la dentición adyacente.

20 El cálculo de un valor parcial de optimización para el ajuste de un modelo dental a líneas de preparación y/o de segmentación también se puede producir mediante el uso de valores de distancia signados. Para ello se determinan, preferentemente, valores de la distancia de los vértices de líneas límite al modelo dental. Un signo negativo indica que el vértice se encuentra dentro del modelo dental, un signo positivo en cambio muestra que el vértice se encuentra fuera. Como valor de distancia de línea límite se define, preferentemente, el máximo de los valores de distancia positiva y forma su cuadrado para obtener el valor parcial de optimización correspondiente.

Otro valor parcial de optimización describe el ajuste de un modelo dental a referencias anatómicas en los datos de escaneado. La determinación de dichas referencias se puede producir automática y/o interactivamente y es conocida por el entendido en la materia. En una variante preferente para el cálculo del valor parcial de optimización se calculan las distancias de las referencias anatómicas en los datos de escaneado respecto de las referencias correspondientes del modelo dental. El valor parcial de optimización resulta entonces por medio de la suma del cuadrado de dichos valores de distancia.

35 Asimismo, según el principio de los valores de distancia signados es posible un cálculo sencillo y robusto de un valor parcial de optimización para la estabilidad mecánica de la restauración dental perteneciente a un modelo dental. Para ello se construye, preferentemente, a partir de los datos de escaneado y de la línea de preparación correspondiente a un modelo dental un objeto auxiliar que define el espesor del material mínimo para la restauración dental. Debe impedirse la penetración del modelo dental mediante este objeto minimalista. Es decir, en un valor de distancia de contacto positivo de un modelo dental respecto del objeto minimalista correspondiente, el valor parcial de optimización es cero, de otra manera el cuadrado del valor de distancia de contacto.

40 Además de los valores parciales de optimización funcionales mencionados como ejemplo, también puede determinarse para un modelo dental un valor parcial de optimización estética, preferentemente para un modelo dental de dientes frontales. Para este cálculo se selecciona, preferentemente de manera automática y/o interactivamente, una forma deseada (rectangular, triangular, cuadrada, con forma de pala, etc.) del modelo dental y se calcula un valor parcial de optimización que describe la desviación del modelo dental de la forma deseada. Una opción de cálculo preferente para la desviación consiste en la determinación del contorno del modelo dental en dirección lingual y oral y subsiguiente ajuste de dicho contorno a la forma preferente mediante traslación, rotación o escalamiento. Después, para los puntos de contorno de la forma preferente se determinan las distancias mínimas respecto del contorno ajustado del modelo dental. El valor parcial de optimización a calcular es entonces, preferentemente, la suma del cuadrado de dichos valores de distancia.

50 Un acoplamiento de modelos dentales es tenido en cuenta, preferentemente, mediante valores parciales de optimización que describen las relaciones espaciales de las posiciones y/o formas de los modelos dentales vinculados. El valor parcial de optimización para las relaciones espaciales de las posiciones puede ser calculado mediante las relaciones espaciales de referencias anatómicas de modelos dentales vinculados. La determinación de referencias apropiadas se produce, preferentemente, durante la generación de una base de datos de modelos y se puede realizar de manera interactiva y/o algorítmica. Un método de cálculo propuesto para el valor parcial de optimización se basa en la premisa de que las referencias anatómicas de modelos dentales vinculados deben estar situadas sobre curvas tridimensionales parametrizadas. Preferentemente, la suma de los cuadrados de los valores de distancia de las referencias a las curvas es determinada como valor de optimización. Por ejemplo, los bordes incisales y cúspides de los dientes superiores deberían estar situados sobre una curva de Spee. Las interrelaciones relativas de las formas de los modelos dentales entre sí son igualmente importantes para el acoplamiento de modelos dentales. Se propone que al menos partes de una base de datos de modelos sea generada en base a una cantidad representativa de datos de escaneado de ensayos. Es así que a un modelo dental de un tipo de diente

corresponden aquellos modelos dentales de los demás tipos de diente que proceden del mismo ensayo. El valor parcial de optimización para el acoplamiento de las formas de modelos dentales resulta, preferentemente, del cálculo de desviaciones de las correspondencias de los modelos dentales. Para ello se determina, primeramente, para cada modelo dental a individualizar los modelos dentales correspondientes de la base de datos de modelos, cuyo tipo de dientes están incluidos en el grupo de acoplamiento. A continuación se produce un cálculo de los valores de desviación morfológica de los modelos dentales correspondientes determinados respecto de los modelos dentales individualizados apropiados. El cálculo de un valor de desviación morfológica se puede producir de manera sencilla y robusta por medio de la suma de los cuadrados de los valores de distancia de los vértices de dos modelos dentales a comparar, después que ambos modelos dentales coincidan de manera a ser posible óptima mediante traslación y rotación. El valor de desviación determinado de esta manera es denominado, a continuación, como valor de desviación de correspondencia. El valor parcial de optimización para el acoplamiento de las formas de los modelos dentales está dado entonces como la suma de los cuadrados de los valores de desviación de correspondencia entre sí de todos los modelos dentales a individualizar.

En el paso de proceso IV, dentro de una unidad de determinación de calidad 18 se produce el cálculo de valores de calidad para grupos individualizados de grupos de modelos dentales que aquí están realizados en forma de un módulo de software en el procesador 13 del ordenador 10. El valor cualitativo de 100% debería ser usado para la individualización de un grupo de modelos dentales en los cuales todos los criterios de optimización están totalmente cumplidos. Valores porcentuales menores describen una individualización en la cual diferentes criterios de optimización no son cumplidos o sólo lo son en parte. Preferentemente, el valor cualitativo es determinado del valor de optimización del grupo correspondiente de modelos dentales mediante un cálculo de conversión. El valor de optimización mínimo posible corresponde en este caso a un valor cualitativo de 100% y el valor de optimización máximo posible al valor cualitativo de 0%.

En el extremo del bucle S se decide en el paso de proceso V si en base a los valores cualitativos calculados se selecciona de la base de datos de modelos un nuevo grupo de modelos dentales a testear de los tipos de dientes deseados para el próximo paso de iteración S o si se interrumpe la iteración. Ello depende de si se ha alcanzado un criterio de calidad especificado. Tal criterio de calidad puede ser, por ejemplo, que el valor cualitativo del grupo actual a testear de modelos dentales ha superado un valor umbral o se ha alcanzado un número predeterminado de pasos de iteración.

Si debe realizarse otro paso de iteración, un nuevo grupo a testear de modelos dentales puede ser determinado por un valor cualitativo correspondiente es mejor que el valor cualitativo del grupo actual a testear de modelos dentales. Para ello, los valores cualitativos de grupos de modelos dentales pueden ser calculados sucesivamente, con lo cual los grupos se obtienen mediante la variación del grupo actual a testear, de tal manera que al menos un modelo dental del grupo actual a testear es suplantado por un modelo dental enlazado al mismo, hasta tanto que se encuentre un valor cualitativo mejor. En el caso que no se encuentre un valor cualitativo mejor o el valor cualitativo del grupo actual a testear de modelos dentales es suficiente, se interrumpe asimismo la iteración S. Al respecto, el hecho de que no se puede encontrar ningún otro modelo dental o bien otro grupo de modelos dentales con un valor cualitativo mejor, puede considerarse como el haber cumplido un criterio de calidad para la interrupción de la iteración.

En el paso de proceso final VI se determina, finalmente, al menos una restauración dental R de los modelos dentales M óptimos y datos de escaneado D mediante procedimientos estándar conocidos por el entendido en la materia. Para ello, en principio, las líneas de preparación de los datos de escaneado D son unidas de manera apropiada, lo más continua y llanamente posible, con los modelos dentales M óptimos y, a continuación, agregadas las cavidades como límites inferiores. Como resultado se obtiene para las restauraciones dentales R modelos tridimensionales de cuerpos abrasivos que pueden ser fabricados por mecanizado. Pero también es posible configurar una restauración dental R segmentada, determinando primero una estructura de soporte y después una construcción superior con la superficie oclusal. Para aumentar la precisión de las restauraciones dentales R a determinar se puede realizar antes de su construcción un ajuste fino entre sí de los modelos dentales M óptimos y/o a los datos de escaneado D. Es ventajosa la aplicación de transformaciones de deformación localmente limitadas a los modelos dentales óptimos M que realizan un ajuste fino de los modelos dentales M entre sí y, asimismo, a los dientes, sustancias remanentes de dientes, líneas de preparación, líneas de segmentación, registros interoclusales, puntos de contacto, etc. con valores de desplazamiento lo más reducidos posibles y, de esta manera, no producir bordes o arrugas. Los cálculos del paso de proceso VI tienen lugar dentro de la unidad de restauración 19 que, en este caso, está realizado en forma de un módulo de software en el procesador 13 del ordenador 10. En la figura 5 se muestran, a modo de ejemplo, datos de escaneado D con modelos dentales M óptimos para preparaciones de inlay, coronas y puentes. La figura 6 muestra las restauraciones dentales R correspondientes.

A continuación se produce la fabricación o selección de al menos una pieza de restauración dental basada en las restauraciones dentales determinadas.

Un ejemplo de realización de un procedimiento según la invención para la generación de al menos partes de una base de datos está caracterizado por que un análisis de una cantidad representativa de datos de escaneado D es realizada de maxilares y mandíbulas sin defectos. Se recomienda el uso de impresiones de yeso de los maxilares, las cuales de manera económica y precisa pueden ser escaneadas ópticamente. La figura 7 muestra datos de

escaneado D producidos de esta manera. Para el análisis de las variaciones de forma de los dientes individuales es ventajoso segmentar los datos de escaneado D en un primer paso de la generación de la base de datos, pudiendo dicha segmentación ser realizada, preferentemente de manera interactiva, con la ayuda de una interfaz gráfica de usuario. Como resultado de la segmentación de datos de escaneado D de maxilares se obtienen para cada tipo de diente (en este caso número de diente) una cantidad de registros de datos de escaneado de dientes que pueden ser usados para la generación de al menos una parte de una base de datos de modelos.

La construcción de modelos dentales M de una clase de modelos tiene lugar en el segundo paso de la generación de la base de datos. Según la resolución espacial deseada, para cada registro de escaneado de dientes se genera un modelo dental M. Para ello es posible generar primero un modelo dental M que se compone de una superficie triangulada en forma de un paralelepípedo con las dimensiones del registro de datos de escaneado de dientes, resultando la triangulación de una resolución deseada mediante la sucesiva subdivisión de las caras laterales del paralelepípedo. A continuación, se produce un ajuste del modelo dental generado inicialmente al registro de datos de escaneado de dientes, por ejemplo mediante la minimización de la suma de los cuadrados de los valores de distancia de los vértices del modelo dental a la superficie dental en el registro de datos de escaneado de dientes. La figura 8 muestra modelos dentales M de una clase de modelos construidos de esta manera.

A continuación, en un tercer paso de la generación de base de datos se produce un análisis de las desviaciones morfológicas de los modelos dentales M de una clase de modelos entre sí, calculando un valor de desviación para cada par posible de modelos dentales M. Para ello se hacen coincidir ambos modelos dentales M de un par preferentemente de tal manera mediante una traslación óptima y rotación, que la suma de los cuadrados de los valores de distancia de los vértices de modelo dental sea mínima. Como valor de distancia de un vértice del modelo dental del primer modelo dental M de un par se puede usar la distancia mínima del vértice a la superficie del segundo modelo dental M del par. El valor de distancia media de los vértices del modelo dental aún remanente después del ajuste puede ser usado como valor de desviación para el par de modelos dentales. Una visualización de los resultados se produce, preferentemente, mediante una disposición bidimensional de los modelos dentales M, tal como se muestra en la figura 9. Dicha disposición se define porque las distancias de los modelos dentales M entre sí, a excepción de un factor de escala común, corresponden, a ser posible, a los valores de desviación correspondientes de los modelos dentales M.

En el cuarto y quinto paso de la generación de la base de datos se produce un enlace L de los modelos dentales M de una clase de modelos. Para ello se generan clúster de modelos dentales M morfológicamente similares, en los cuales la prescripción de generación se basa, según la invención, en valores de desviación morfológica entre los modelos dentales M. Para la generación se anticipa, preferentemente, primero un valor umbral para los valores de desviación de los modelos dentales M y se enlazan aquellos modelos dentales M cuyos valores de desviación sean menores a dicho umbral. Entonces, un clúster es una cantidad coherente de modelos dentales M morfológicamente similares enlazados entre sí. Las figuras 10 y 11 muestran ejemplos de una cantidad de modelos dentales M con un clúster  $C_1$  (según la figura 10) o bien cuatro clúster  $C_1, C_2, C_3, C_4$  (según la figura 11). Un valor indicativo aproximado para el valor umbral resulta, preferentemente, de la exigencia de que la magnitud del clúster mayor corresponde, más o menos, a la mitad del número total de modelos dentales M de la clase de modelos. A continuación se produce una determinación de modelos dentales M de valor medio de clúster determinando para cada clúster el modelo dental M cuya suma de los cuadrados de los valores de desviación a los otros modelos dentales M del clúster es mínima. De importancia particular es aquel modelo dental M de valor medio de clúster que tiene una desviación mínima – nuevamente definida por medio de la suma de los cuadrados de los valores de desviación – a todos los modelos dentales M existentes de la clase de modelos. Dicho modelo dental M es considerado, entonces, como modelo dental M de valor medio de la clase de modelos. Para que los modelos dentales M estén enlazados completamente de manera coherente, se agregan, finalmente, enlaces L del modelo dental M de valor medio a todos los modelos dentales M de valores medios de clúster.

En el sexto paso final de la generación de la base de datos, todavía se agregan transformaciones geométricas a los modelos dentales, preferentemente configurados de tal manera que la forma de un modelo dental puede ser trasladado de manera continua a todos los modelos dentales del mismo clúster enlazados con él. Ello se consigue, preferentemente, mediante la generación de una transformación parametrizada para cada modelo dental. En este caso, el primer paso consiste en una subdivisión de la caja límite de un modelo dental en celdas axialmente paralelas y del mismo tamaño. Los vectores de traslación de los nodos de celda definen una transformación trilineal de los vértices de los modelos dentales. Esta posición se explica en detalle en el trabajo de promoción "Individualisierung von digitalen anatomischen Modellen durch Computertomographie" (Tank M., 2002, Institut für Rechtsmedizin der Universität Heidelberg) y referido también como método celular. Como resultado se obtiene una transformación en la que los parámetros de transformación están ordenados jerárquicamente según su importancia. Los parámetros de transformación para un enlace de dos modelos dentales resultan de la exigencia de que la suma de los cuadrados de los valores de distancia del modelo dental transformado al modelo dental enlazado sea mínima y las características superficiales locales se mantengan tanto como sea posible. Una combinación lineal de parámetros de transformación conseguidos de esta manera da por resultado variaciones morfológicas útiles de un modelo dental, ya que se usan como objetivos de transformación solamente los modelos dentales enlazados que provienen del mismo clúster y, por lo tanto, son morfológicamente similares. Los parámetros de forma de un modelo dental incluyen entonces los factores lineales definidos de esta manera.

Además de la generación de al menos partes de una base de datos de modelos en base a datos de escaneo de estructuras orales, también es posible usar datos de escaneo de estructuras orales artificiales. Los procedimientos de generación para la base de datos de modelos correspondiente se corresponden con el procedimiento de generación para estructuras orales naturales y se realiza de manera completamente análoga. Es así que se puede prescindir del primer y/o último paso de la generación de una base de datos. Por regla general, el primer paso de la generación de la base de datos, es decir la segmentación de los datos de escaneo, no es necesario, ya que las estructuras artificiales orales (por ejemplo, dientes artificiales tales como dientes protésicos o dientes en bruto) existen de manera físicamente separada y son escaneables individualmente. Debido a la exigencia opcional de no usar transformaciones geométricas para los modelos dentales, también se puede prescindir del último paso de la generación de la base de datos. Debido a similitudes morfológicas, un ordenamiento lineal P de los modelos dentales M de una clase de modelos es ventajoso, en particular, para la selección interactiva de modelos dentales M. Para la generación de un ordenamiento se puede iniciar el ordenamiento con el modelo dental M de valor medio y agregar iterativamente otros modelos dentales M de la clase de modelos. El último modelo dental M agregado es, en este caso, denominado modelo dental M actual. El criterio de ordenamiento puede estar definido por que siempre se agrega el modelo dental M que tiene el menor valor de desviación respecto del modelo dental M actual y se encuentra dentro del clúster correspondiente. Cuando todos los modelos dentales M de un clúster están enganchados, se continua el procedimiento para aquél clúster cuyo modelo dental M de valor medio de clúster tiene el menor valor de desviación respecto del modelo dental M actual. La figura 12 muestra una ruta de ordenamiento P así conseguida para una clase de modelos. Dos maneras claras de representación del ordenamiento P se muestran en las figuras 13 y 14. Según la figura 13, los modelos dentales M se disponen de manera unidimensional y el operador puede seleccionar uno o más modelos dentales M del ordenamiento P, por ejemplo con la ayuda de entradas de ratón de una interfaz gráfica de usuario. En la estructura bidimensional más compacta según la figura 14, el ordenamiento P es compaginado por hileras, preferentemente definido mediante la pertenencia a un clúster C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub>, C<sub>4</sub>. En este caso, el operador puede seleccionar uno o más modelos dentales M con la ayuda de entradas de ratón de una interfaz gráfica de usuario.

En este lugar debe señalarse nuevamente con énfasis que las arquitecturas de sistemas y procesos mostrados son solamente ejemplos de realización que en detalle pueden ser modificados sin más por el entendido en la materia. En particular, el dispositivo de mando, en tanto esté equipado de una consola apropiada, puede presentar todos los componentes relevantes del ordenador, para realizar allí directamente el procesamiento de datos de medición de acuerdo con el procedimiento según la invención. Consecuentemente, en este caso el sistema de mando mismo forma el sistema de determinación de restauración dental, y un procesador o bien un ordenador separado no es necesario. Por lo demás, tampoco es necesario forzosamente que los diferentes componentes de un sistema de determinación de restauraciones dentales estén realizados en un procesador o en un ordenador o similar, sino que los diferentes componentes pueden estar distribuidos sobre varios procesadores u ordenadores enlazados entre sí. Para complementar se señala que el uso del artículo indefinido "un" o "una" no excluye que las características respectivas puedan estar presentes de manera múltiple. Asimismo, los términos "dispositivo", "equipo", "unidad", "módulo", etc. no excluye que los mismos estén compuestos de varios componentes que, incluso, pueden estar distribuidos espacialmente.

Por lo demás, es apropiado reequipar con una unidad de mando de proceso según la invención los sistemas de determinación de restauraciones dentales existentes en los que ya se encuentran implementados procesos de posprocesamiento, para que también dichos equipos puedan ser usados de acuerdo con el proceso según la invención descrito anteriormente. En muchos casos es eventualmente suficiente una actualización del software de mando con módulos de software de mando apropiados.

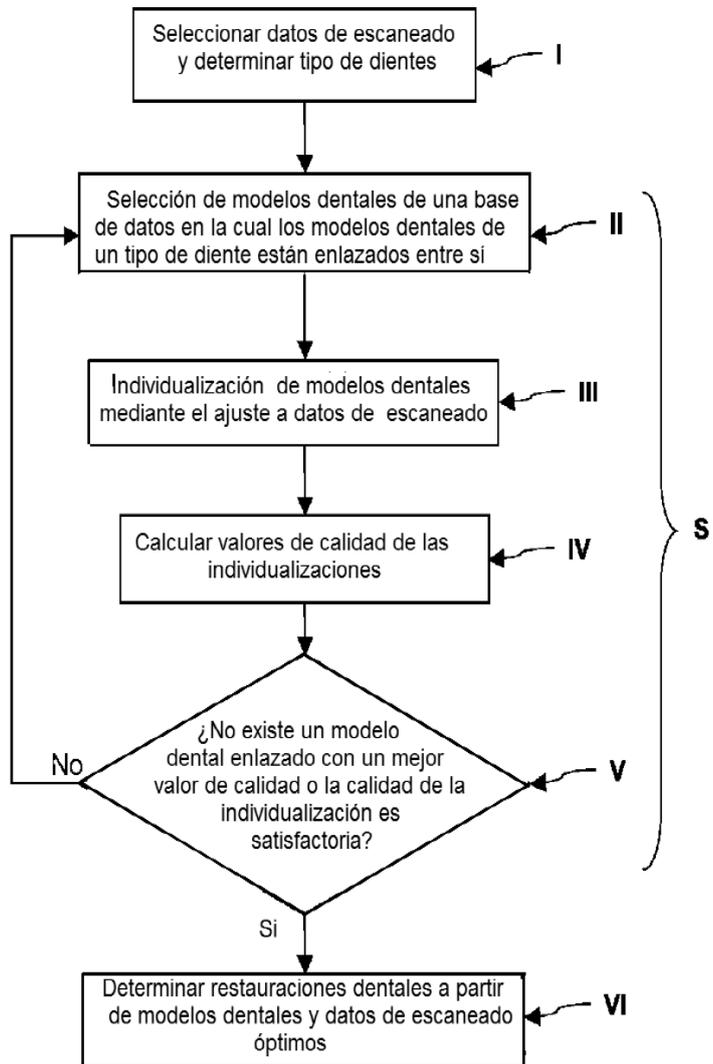
**REIVINDICACIONES**

1. Procedimiento para la determinación de restauraciones dentales virtuales en base a datos de escaneado (D) de estructuras orales, en el cual
- 5 - se usa una base de datos de modelos (DB) que, en cada caso, contiene para diferentes tipos dentales un número de modelos dentales (M) parametrizados, produciéndose la parametrización mediante parámetros de modelos que comprenden parámetros de posición y/o forma, y estando cada modelo dental (M) enlazado con un número de modelos dentales (M) morfológicamente similares del mismo tipo de diente (L),
  - 10 - para cada tipo de diente deseado se determina un modelo dental (M) óptimo de una base de datos (DB) mediante un procedimiento iterativo en el cual, primeramente, se escoge de la base de datos de modelos (DB) al menos un modelo dental (M) inicial de un tipo de diente deseado y después, comenzando con este modelo dental (M) inicial, se testea en cada paso de iteración (S) un modelo dental (M) respecto de su valor cualitativo, siendo
  - 15 - para la individualización mediante la variación de parámetros de modelos, el grupo de modelos dentales (M) actuales a testear ajustado a los datos de escaneado (D) y calculando un valor cualitativo para dicha individualización,
  - 15 - para la individualización mediante la variación de parámetros de modelos enlazado al menos un modelo dental (M) con el modelo dental (M) a testear también ajustado a los datos de escaneado (D) y calculado un valor cualitativo adicional para dicha individualización,
  - seleccionado en base a los valores cualitativos calculados, dado el caso, de la base de datos de modelos (DB) un nuevo modelo dental (M) a testear del tipo de diente deseado para el siguiente paso de iteración (S),
  - 20 - la iteración interrumpida al alcanzar un criterio de calidad,
  - y, finalmente, determinada de los modelos de dientes (M) y datos de escaneado (D) óptimos una restauración virtual de dientes (R).
2. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado por que para cada tipo de diente deseado de un grupo de tipos de diente se determina un modelo dental (M) óptimo de una base de datos (DB) mediante un procedimiento iterativo, en el cual, primeramente, se escoge de la base de datos de modelos (DB) para cada tipo de diente deseado al menos un modelo dental (M) inicial y después, comenzando con este modelo dental (M) inicial, se testea en cada paso de iteración (S) un grupo modelos dentales (M) respecto de un valor cualitativo (de grupo), en el cual
- 25 - para la individualización mediante la variación de parámetros de modelos, el grupo de modelos dentales (M) actuales a testear es ajustado a los datos de escaneado (D) y se calcula un valor cualitativo para dicha individualización,
  - 30 - para la individualización de parámetros de modelos al menos otro grupo de modelos dentales (M) también es ajustado a los datos de escaneado (D) y se calcula otro valor cualitativo, siendo que para la formación del otro grupo reemplazado al menos un modelo dental (M) del grupo actual a testear por un modelo dental (M) enlazado con él,
  - 35 - en base a los valores cualitativos calculados se selecciona, dado el caso, de la base de datos de modelos (DB) un nuevo grupo de modelos dentales (M) a testear de los tipos de diente deseados para el siguiente paso de iteración (S),
  - la iteración es interrumpida al alcanzar un criterio de calidad.
3. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 2, caracterizado por que la individualización de modelos dentales (M) se realiza mediante la solución de un problema de optimización en el cual el valor de optimización se obtiene a partir de un número de valores parciales de optimización, estando al menos los valores parciales de optimización individuales seleccionados de tal manera que al menos describan uno de los siguientes criterios de optimización:
- 40 - el ajuste de modelos dentales (M) a los dientes y/o sustancias remanentes de dientes,
  - el ajuste de modelos dentales (M) a la dentición opuesta,
  - 45 - el ajuste de modelos dentales (M) al registro interoclusal,
  - el ajuste de modelos dentales (M) a dientes adyacentes,
  - el ajuste de modelos dentales (M) a líneas de preparación (LP) y/o líneas de segmentación (LS),
  - el ajuste de modelos dentales (M) a referencias anatómicas (AL),
  - la estabilidad mecánica de las restauraciones dentales (R) virtuales pertenecientes a los modelos dentales (M),

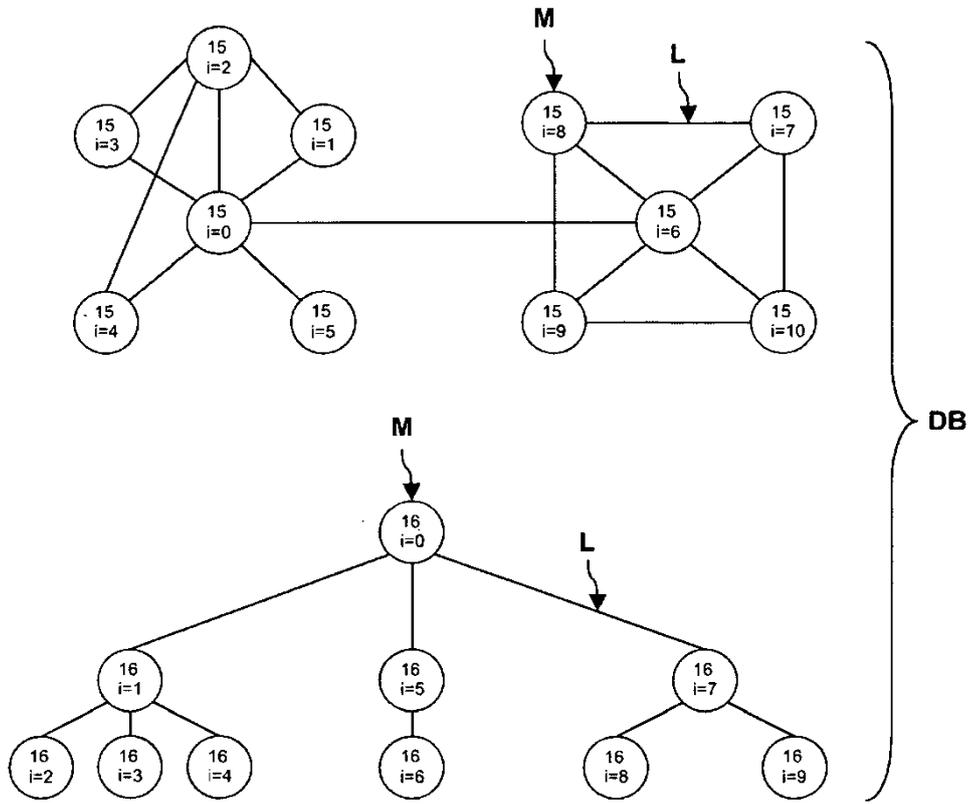
- el efecto estético de las restauraciones dentales (R) virtuales pertenecientes a modelos dentales (M),
  - los contactos de modelos dentales (M),
  - las relaciones espaciales de las posiciones de modelos dentales (M),
  - las relaciones espaciales de las formas de modelos dentales (M).
- 5 4. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 3, caracterizado por que después de determinar los modelos dentales (M) óptimos y antes de la determinación de las restauraciones dentales (R) virtuales se produce un ajuste fino de los modelos dentales (M) óptimos entre sí y/o a los datos de escaneado (D).
5. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 4, caracterizado por que la búsqueda de un modelo dental (M) óptimo de un tipo de diente comienza en al menos un modelo dental (M) inicial,
- 10 - que está almacenado en la base de datos (DB) de modelos y/o
- que es un modelo dental (M) de valor medio de modelos dentales (M) del tipo de diente y/o
  - que es determinado mediante un análisis geométrico de los datos de escaneado (D).
6. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 5, caracterizado por que la búsqueda de un modelo dental (M) óptimo de un tipo de diente comienza en múltiples modelos dentales (M) iniciales del tipo de diente
- 15 - que están almacenados en la base de datos (DB) de modelos y/o
- que en los modelos dentales (M) de valores medios son de subgrupos de modelos dentales (M) del tipo de diente y/o
  - que son determinados mediante un análisis geométrico de los datos de escaneado (D).
7. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 6, caracterizado por que los tipos de dientes existentes de una base de datos (DB) de modelos son suministrados para la selección a una unidad de selección y con ayuda de una señal de selección se seleccionan tipos de dientes deseados y el procedimiento es realizado en base a los tipos de diente así seleccionados.
- 20 8. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 7, caracterizado por que los tipos de diente y/o modelos de diente (M) de un tipo de diente existentes en la base de datos (DB) de modelos son suministrados para la selección a una unidad de selección y seleccionados con ayuda de una señal de selección tipos de diente y/o modelos dentales (M) deseados y sobre dicha base determinados los modelos dentales (M) óptimos.
- 25 9. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 8, caracterizado por que los parámetros de formas de los modelos dentales (M) están ordenados de acuerdo con su influencia en la geometría del modelo dental y/o por que los parámetros de forma de los modelos dentales (M) parametrizan campos de transformación tridimensionales para los modelos dentales (M) y/o son parámetros geométricos de construcción.
- 30 10. Procedimiento para la fabricación o selección de una pieza de restauración dental, en el cual, en primer término, en base a datos de escaneado (D) de estructuras orales se determina una restauración dental (R) virtual mediante un procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 9 y, después, basado en la restauración dental (R) virtual determinada se fabrica la pieza de restauración dental o se selecciona de una cantidad de piezas de restauración dental prefabricadas.
- 35 11. Procedimiento para la generación de una base de datos de modelos (DB) que, en cada caso, contiene para diferentes tipos dentales un número de modelos dentales (M) parametrizados para el uso en un procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 9, produciéndose la parametrización mediante parámetros de modelos que comprenden parámetros de posición y/o forma, y estando cada modelo dental (M) enlazado con un número de modelos dentales (M) morfológicamente similares del mismo tipo de diente (L).
- 40 12. Procedimiento según la reivindicación 11, caracterizado por que al menos partes de la base de datos de modelos (DB) son generadas mediante el análisis de una cantidad de datos de escaneado (D) de estructuras orales artificiales y/o naturales, en el cual para un tipo de diente deseado
- 45 - los datos de escaneado (D) son segmentados opcionalmente para conseguir datos de escaneado (D) del tipo de diente deseado,
- los modelos dentales (M) de la base de datos de modelos (DB) son construidos mediante un ajuste a los datos de escaneado (d) del tipos de diente deseado,
  - se realiza un análisis de desviaciones morfológicas de modelos dentales (M) entre sí, calculando un valor de desviación para cada par posible de modelos dentales (M),

- se forman clúster (C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub>, C<sub>4</sub>) de modelos dentales (M) morfológicamente similares mediante el análisis de los valores de desviación de los modelos dentales (M) entre sí,
  - se produce un enlace (L) de modelos dentales (M) dentro de los clúster (C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub>, C<sub>4</sub>) o de los modelos dentales (M) de valor medio de los clúster (C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub>, C<sub>4</sub>) entre sí.
- 5 13. Procedimiento según la reivindicación 12, caracterizado por que a los modelos dentales (M) se agregan transformaciones geométricas parametrizadas, definidas por que la forma de un modelo dental (M) puede ser transferido de manera continua a al menos un modelo dental (M) del mismo clúster (C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub>, C<sub>4</sub>) enlazado con él.
- 10 14. Programa de ordenador que puede ser cargado directamente a una memoria de un ordenador, con medios de códigos de programa para realizar todos los pasos de un procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 13 cuando el programa es ejecutado en el ordenador.
15. Sistema de determinación de restauraciones dentales (5) para la determinación de restauraciones dentales virtuales en base a datos de escaneado (D) de estructuras orales, con
- una interfaz (11) para la recepción de datos de escaneado (D) medidos por un dispositivo de medición,
  - una unidad de selección (14) para determinar los tipos de diente a usar por el procedimiento,
- 15 - un dispositivo de memoria (12) con una base de datos de modelos (DB) que, en cada caso, contiene para diferentes tipos dentales un número de modelos dentales (M) parametrizados, produciéndose la parametrización mediante parámetros de modelos que comprenden parámetros de posición y/o forma, y estando cada modelo dental (M) enlazado con un número de modelos dentales (M) morfológicamente similares del mismo tipo de diente (L),
- 20 - una unidad de optimización (15) que esté configurada para determinar de la base de datos de modelos (DB) para cada tipo de diente un modelo dental (M) óptimo mediante un procedimiento iterativo en el que, comenzando con al menos un modelo dental (M) inicial se testee con cada paso de iteración (S) un modelo dental (M) respecto de un valor cualitativo,
- 25 - una unidad de carga (16) configurada para cargar modelos dentales (M) de una base de datos de modelos (DB),
- una unidad de individualización (17) configurada para que para la individualización ajustar a los datos de escaneado (D) mediante la variación de parámetros de modelos al menos un modelo dental (M) actual a testear y al menos un modelo dental (M) enlazado con el modelo dental (M) a testear.
- 30 - una unidad de determinación de calidad (18) configurada para determinar valores cualitativos para la individualización de modelos dentales (M) y comprobar criterios de calidad para la interrupción de la iteración,
- y una unidad de restauración (19) configurada para de los modelos dentales (M) y datos de escaneado (D) óptimos determinar al menos una restauración dental (R) virtual.

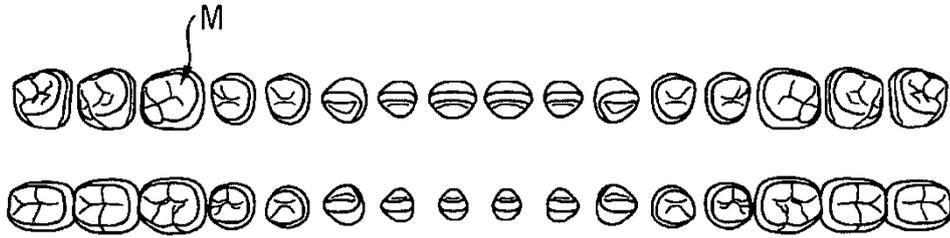
Fig. 1



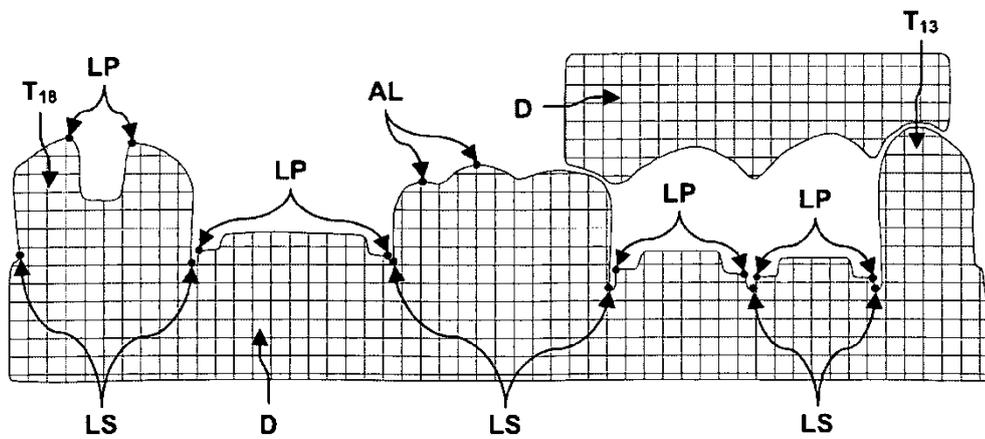
**Fig. 2**



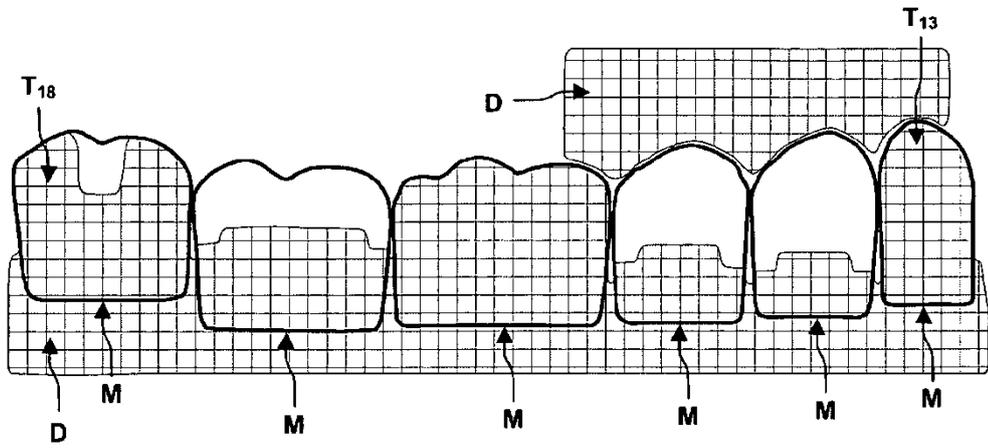
**Fig. 3**



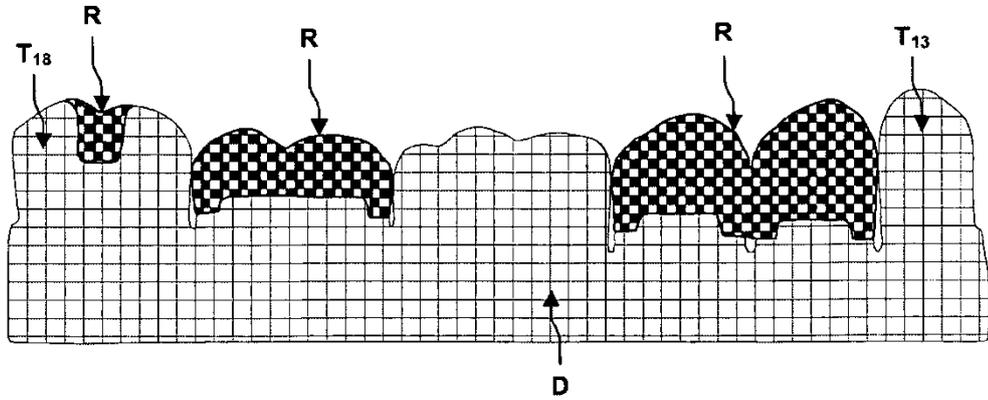
**Fig. 4**



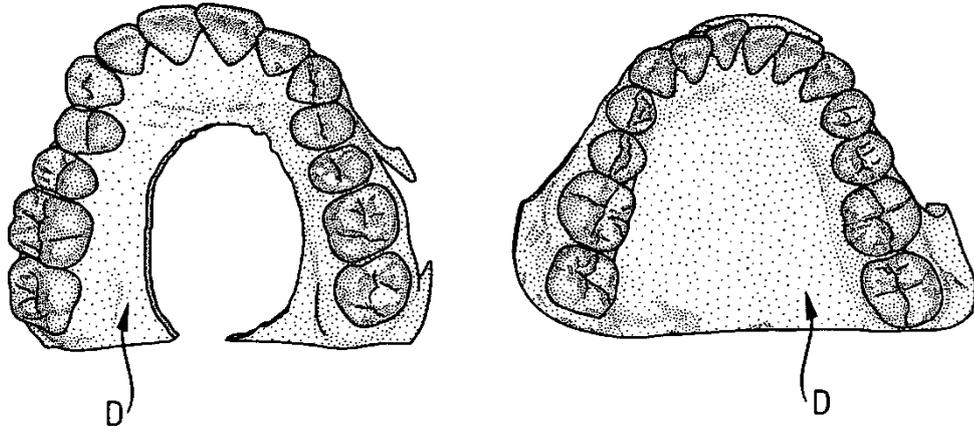
**Fig. 5**



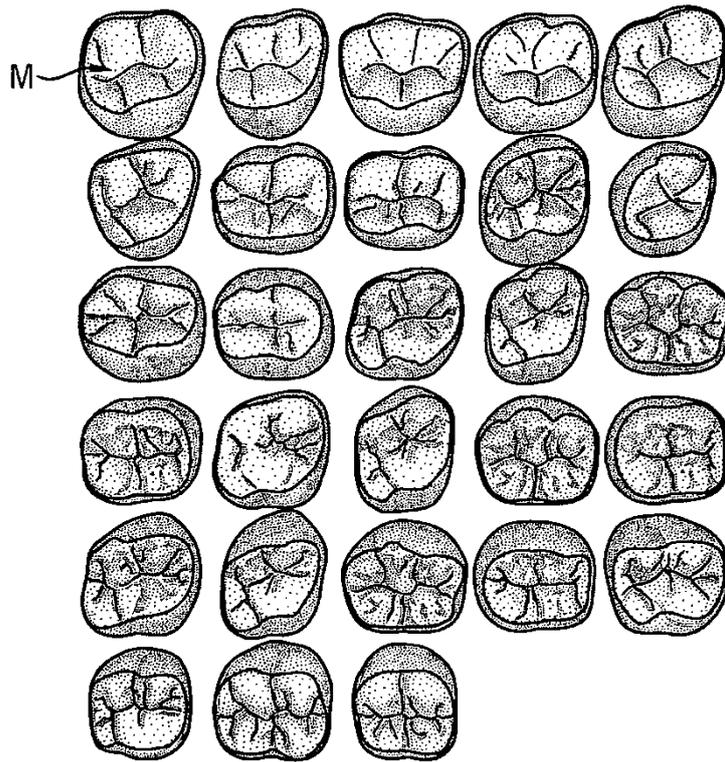
**Fig. 6**



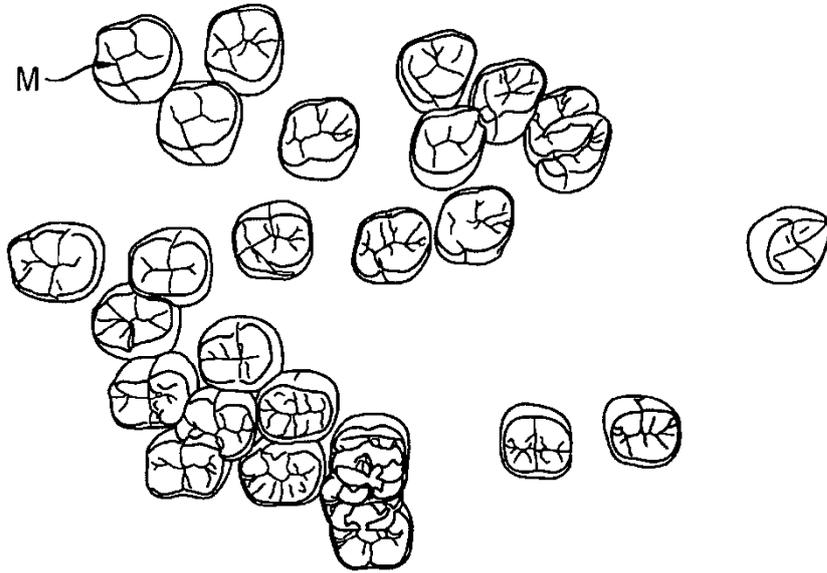
**Fig. 7**



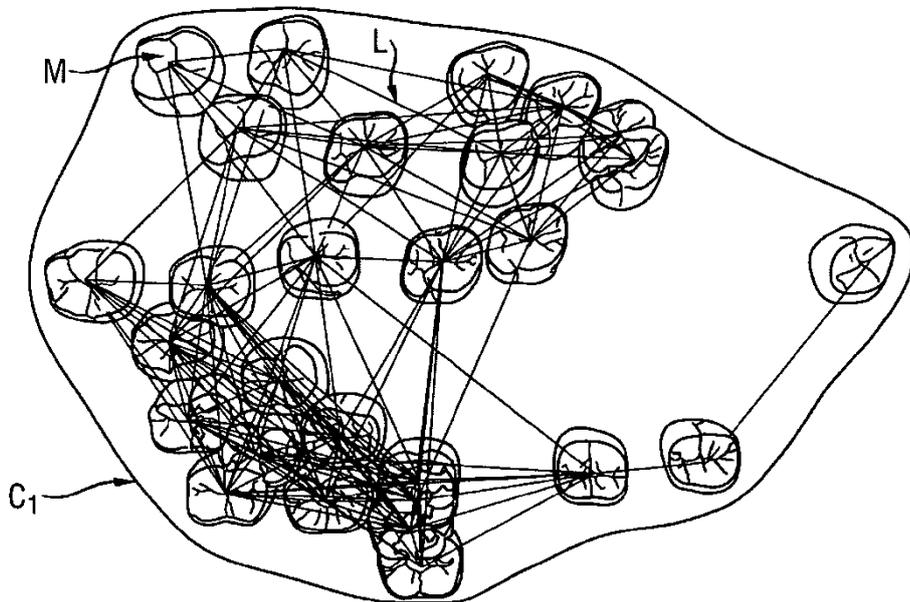
**Fig. 8**



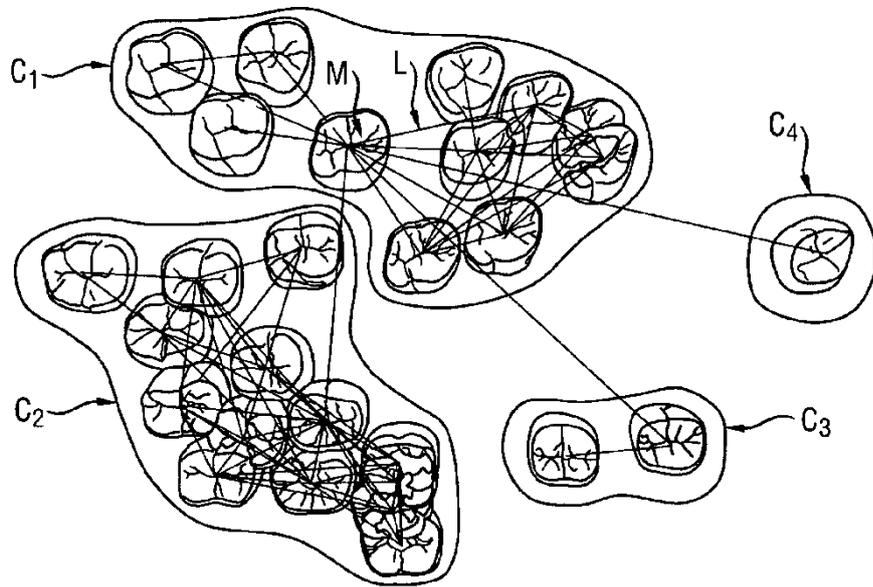
**Fig. 9**



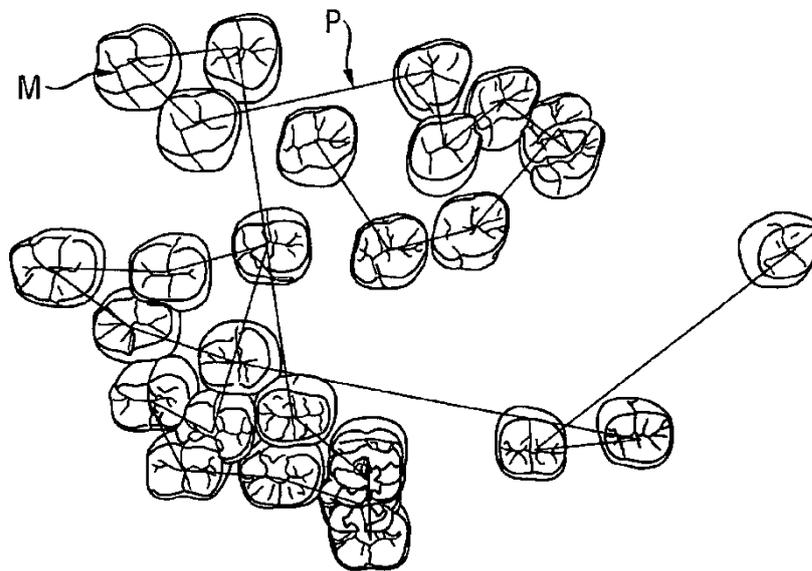
**Fig. 10**



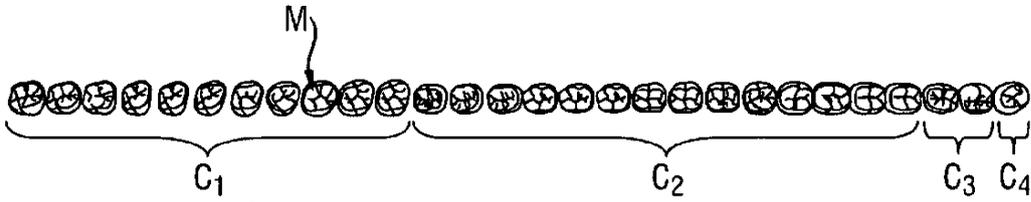
**Fig. 11**



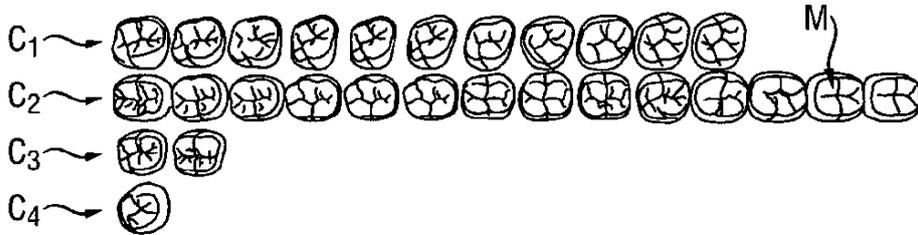
**Fig. 12**



**Fig. 13**



**Fig. 14**



**Fig. 15**

18	17	16	15	14	13	12	11	21	22	23	24	25	26	27	28
Inlay	Corona	Diente	Puente	Puente	Diente	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
48	47	46	45	44	43	42	41	31	32	33	34	35	36	37	38
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

**Fig. 16**

18	17	16	15	14	13
Inlay	Corona	Diente	Puente	Puente	Diente

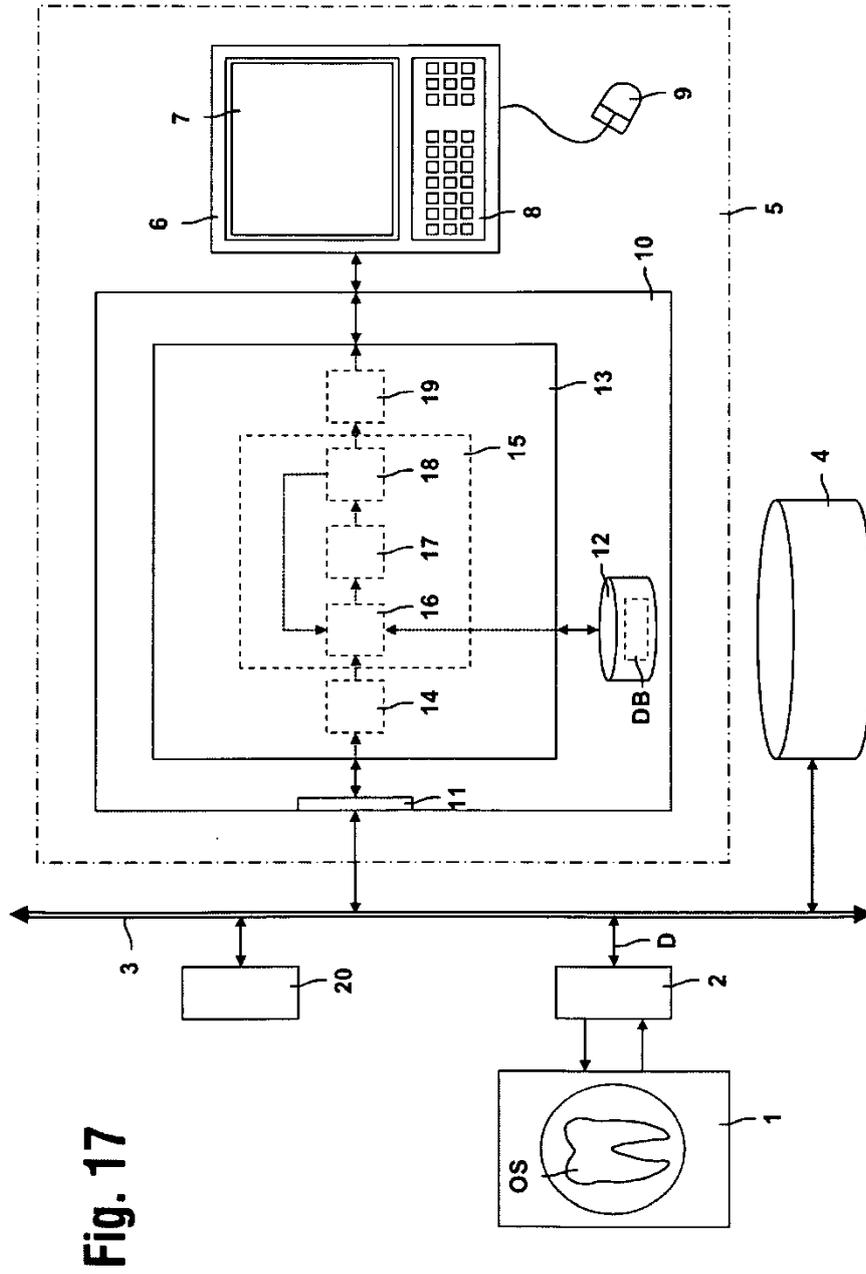


Fig. 17