



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2006 044 215 A1** 2008.03.27

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2006 044 215.6**

(22) Anmeldetag: **15.09.2006**

(43) Offenlegungstag: **27.03.2008**

(51) Int Cl.⁸: **A61C 13/00** (2006.01)

(71) Anmelder:

**Sirona Dental Systems GmbH, 64625 Bensheim,
DE**

(72) Erfinder:

Seibert, Frank, 64291 Darmstadt, DE

(74) Vertreter:

**Sommer, P., Dipl.-Wirtsch.-Ing., Pat.-Anw., 68165
Mannheim**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

EP 17 00 576 A1

EP 16 62 414 A2

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

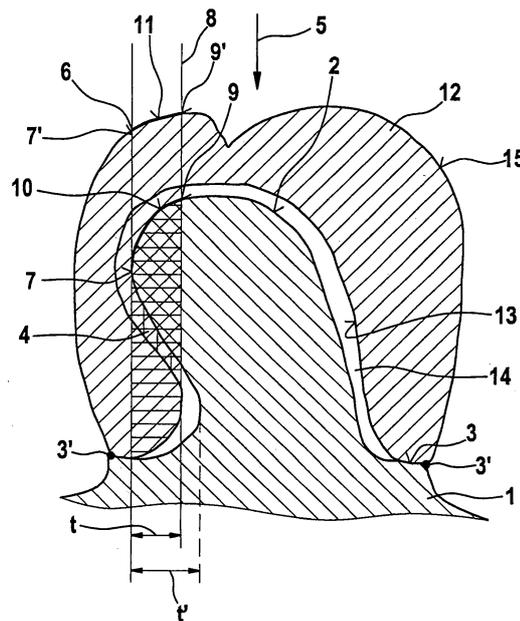
Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Optimierung einer Einschubachsenrichtung eines als digitales 3D-Modell zu konstruierenden oder konstruierten Zahnersatzteils zu einem als 3D-Datensatz vorliegenden Präparationsgebiet**

(57) Zusammenfassung: Bei einem Verfahren zur Optimierung einer Einschubachsenrichtung eines als digitales 3-D-Modell zu konstruierenden Zahnersatzteils für eine als 3-D-Modell in einer Betrachtungsrichtung 5 dargestellte Präparation 1 oder Restauration werden in der Betrachtungsrichtung 5 der Präparation 1 verdeckte Hinterschnittbereiche 4' zwischen Präparation und Restauration durch die Oberfläche 2-4 der Präparation 1 oder der Restauration hindurch sichtbar gemacht und wird die Einschubachsenrichtung an die Betrachtungsrichtung 5 angepasst.

In einem weiteren Verfahren werden mehrere Einschubachsenrichtungen als Bereiche auf einer Kugeloberfläche abgebildet und entsprechend der jeweiligen Quantität und/oder Qualität der Hinterschnitt markiert, insbesondere eingefärbt, dargestellt.

In einem dritten Verfahren wird eine optimale Einschubachse automatisch berechnet und vorgegeben/eingestellt.



Beschreibung

Technisches Gebiet

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Optimierung einer Einschubachsenrichtung eines als digitales 3D-Modell zu konstruierenden oder konstruierten Zahnersatzteils zu einem als 3D-Datensatz vorliegenden Präparationsgebiet.

[0002] Nach der Herstellung eines Zahnrestaurationsobjekts wie z.B. einem Inlay, einer Krone oder einer Brücke, auch als Zahnersatzteil bezeichnet, als Versorgung für ein Präparationsgebiet in einem Patientenmund oder einem Modell davon steht der Zahnarzt vor der Aufgabe, dieses Zahnrestaurationsobjekt im Mund des Patienten auf oder in den präparierten Zahn oder einen Zahnersatz einzusetzen. Dies ist allerdings bei einem dreidimensional konstruierten und produzierten Restaurationsobjekt nicht immer möglich, da die angestrebte optimale Passung zum präparierten Zahn auch kritische Bereiche des präparierten Zahns in das Restaurationsobjekt überträgt.

Stand der Technik

[0003] In der zahntechnischen Praxis werden zur Vermeidung von Einsetzproblemen bei einer genauen Anpassung an die Oberfläche des Präparationsobjekts entstehende Hinterschnidungen vor der Herstellung einer Restauration in einem von einem Abdruck hergestellten Gipsmodell ausgeblockt, d.h. das Gipsmodell wird für eine günstige lineare Einschubachse mit Material ausgefüllt. Beim Ausblocken wird Material, z.B. Wachs, im Gipsmodell aufgetragen, um in der typischen Einschubachse im Gipsmodell vorhandene Hinterschnittbereiche auszufüllen und damit in dem späteren Restaurationsobjekt zu verhindern.

[0004] Dies ist allerdings nur solange sinnvoll, wie durch das Auftragen nicht der Präparationsrand überdeckt wird. In diesem Fall müsste eventuell der Zahnarzt die Präparation am Patienten korrigieren.

[0005] Ein Restaurationsobjekt auf der Basis eines ausgeblockten Modells verfügt an den entsprechenden Stellen über einen Zwischenraum zur Präparation, der beim Einsetzen durch Kleber oder Zement ausgefüllt wird.

[0006] Dentale CAD/CAM-Systeme verwenden für die Konstruktion eines Zahnrestaurationsobjekts häufig ebenfalls eine lineare Einschubachse. Dies resultiert aus der Analogie zur bekannten und gewohnten Zahntechnik, aus der gewünschten einfachen Handhabbarkeit durch den Benutzer und gegebenenfalls aus begrenzten Freiheitsgraden bei der Herstellung des Zahnrestaurationsobjekts mit einer Bearbeitungsmaschine für den Dentalbereich.

[0007] Die Unterstützung des Benutzers bei der Bestimmung einer optimalen Einschubachse erfolgt in dentalen CAD/CAM-Systemen insbesondere dergestalt, dass die Visualisierung des Modells anstelle der vom Zahntechniker mit dem Auge gewohnten perspektivischen eine parallele Projektion verwendet. Dies entspricht einem weit entfernten Blickpunkt des Benutzers und ermöglicht ohne die perspektivischen Verdeckungen das bessere Erahnen von Hinterschnittbereichen in Blickrichtung.

[0008] Es ist bekannt, eine Visualisierung der Hinterschnittbereiche in Form eines Schattenwurfs in Richtung der aktuell eingestellten Einschubachse auf der Oberfläche der Hinterschnittbereiche selbst anzuzeigen. Diese Selbstbeschattung kann allerdings nur durch Drehen des Modells und dann wegen der Verdeckungen auch nur auf der jeweils sichtbaren Vorderseite des Modells begutachtet werden.

[0009] Die Einsetzbarkeit eines Restaurationsobjekts kann garantiert werden, wenn in mindestens einer linearen Einschubrichtung keine Selbstverdeckungen der gemeinsamen Grenzfläche von präpariertem Zahn und Restaurationsobjekt auftreten. Falls ein Hohlraum für Zement oder Kleber zwischen Präparation und Restauration berücksichtigt wird, trennt sich die gemeinsame Grenzfläche in zwei Oberflächen auf, nämlich in die Präparation einerseits und in den Innenbereich der Restauration andererseits. In diesem Fall darf der Restaurationsinnenbereich in Einschubrichtung betrachtet nicht durch die Präparation beschattet werden. Diese lineare Einschubrichtung kann dann für eine kollisionsfreie lineare Einsetzbewegung verwendet werden.

[0010] Wenn für eine vorgegebene Einschubachse Hinterschnitte auftreten, so scheitert daran nicht in jedem Fall die Konstruktion eines einsetzbaren Restaurationsobjekts. Entsprechende Bereiche können gegebenenfalls zugunsten anderer Kriterien toleriert und im weiteren Konstruktionsprozess entsprechend ausgeblockt werden.

[0011] Das Ziel der Erfindung ist die Unterstützung des Konstrukteurs bei der Minimierung von Einsetzproblemen durch ein dentales CAD/CAM-System, um nicht einsetzbare Restaurationsergebnisse frühzeitig zu vermeiden und Kosten und Arbeitszeit einzusparen.

Darstellung der Erfindung

[0012] Mit dem in Anspruch 1 angegebenen erfindungsgemäßen Verfahren zur Optimierung einer Einschubachsenrichtung eines als digitales 3D-Modell zu konstruierenden Zahnersatzteils für eine als 3D-Modell in einer Betrachtungsrichtung dargestellte Präparation werden in der Betrachtungsrichtung der Präparation abgeschattete Bereiche durch die Ober-

fläche der Präparation hindurch sichtbar gemacht, wobei und dass die Einschubachsenrichtung an die Betrachtungsrichtung anpassbar ist.

[0013] Mit dem in Anspruch 2 angegebenen erfindungsgemäßen Verfahren zur Optimierung einer Einschubachsenrichtung eines als digitales 3D-Modell konstruierten und in einer Betrachtungsrichtung dargestellten Zahnersatzteils werden in der Betrachtungsrichtung des Zahnersatzteils abgeschattete Bereiche auf Passflächen zu der Präparation durch die Oberfläche des Zahnersatzteils hindurch sichtbar gemacht, wobei die Einschubachsenrichtung an die Betrachtungsrichtung anpassbar ist.

[0014] Die Blickrichtung des Benutzers, also die Betrachtungsrichtung, entspricht jeweils auch der aktuellen Einschubachsenrichtung. Die normalerweise abgeschatteten Bereiche in Betrachtungsrichtung werden in Verbindung mit dem 3D-Modell der Präparation durch die Oberfläche hindurch sichtbar gemacht und die entsprechenden Bereiche können vorteilhafterweise markiert werden. Die abgeschatteten Bereiche stellen einen Hinterschnitt dar, der sich aus dieser Betrachtungsrichtung ergibt.

[0015] Aufgrund des direkten Ortsbezugs zwischen den markierten Bereichen und der Präparation wird eine Berücksichtigung individueller intuitiver Kriterien des Benutzers ermöglicht, wie z.B. eine unterschiedliche Relevanz von Hinterschnitten im buccalen im Vergleich zum linguale Zahnbereich.

[0016] Die Unterstützung durch ein CAD/CAM-System kann interaktiv unter zusätzlicher Berücksichtigung intuitiver und individueller Kriterien des Benutzers oder automatisch mittels Optimierung eines technischen Qualitätskriteriums erfolgen.

[0017] Diese Visualisierungsmethode ist auch für die Hinterschnittsituation zwischen den Passflächen, in der Regel eine Innenfläche von Restaurationen, und der Präparation sinnvoll. Diese Passflächen leiten sich zwar weitgehend aus der ursprünglichen Präparation ab, sind aber im Unterschied zur Präparation bearbeitbar. Eine Begutachtung der Bearbeitungswirkung in Form einer Hinterschnittvisualisierung ist daher ebenfalls sinnvoll.

[0018] Vorteilhafterweise kann sich die Markierung der Bereiche mit der Qualität und/oder mit der Quantität der Hinterschnittbereiche verändern. Die Größe und gegebenenfalls Farbe oder andere Formen der Markierung der Bereiche können dadurch die Hinterschnittproblematik durch den Röntgenblick verdeckungsfrei quantifizieren und/oder qualifizieren.

[0019] Wenn sowohl die Quantität als auch die Qualität, das ist z.B. die Lage, der kritischen Bereiche vom Benutzer in umfassender Weise beurteilt wer-

den können, werden auch intuitive Kriterien des individuellen Benutzers einbeziehbar und im weiteren Konstruktionsablauf können entsprechende Maßnahmen wie z.B. Ausblenden ergriffen werden.

[0020] Für die Feststellung der Quantität und der Qualität und die Umsetzung in anzeigbare Werte können neben den technischen auch kontextabhängige intuitive und ästhetische Kriterien eine Rolle spielen. Technische Kriterien können z.B. das jeweilige Hinterschnittvolumen sein, d.h. für einen Visualisierungsbildpunkt die Summe der Distanzen zwischen rückwärts- und vorwärtsgeneigten Oberflächen des Präparationsmodells und des Restora-tionsinnenbereichs, auch bezeichnet als Backface und Frontface, im Verlauf eines Durchstichs/Strahls in Einschubachsenrichtung, die dann beispielsweise minimiert werden könnte. Alternativ könnte auch der maximale Winkel der rückwärtsgeneigten Flächen entlang des Durchstichs/Strahls zur Einschubachsenrichtung verwendet werden. Ein weiteres wichtiges Kriterium bei der Bewertung der Relevanz eines Hinterschnitts ist der Abstand zum Präparationsrand, der maximiert werden könnte bzw. der ein Ausschlusskriterium bei Randüberschreitung darstellen könnte. Welche Kriterien letztlich in die Visualisierung einfließen, ist abhängig von der gewünschten Qualität und den für die einzelnen Methoden benötigten Rechenzeiten. Letztere sind bei einer interaktiven Optimierung besonders zu berücksichtigen.

[0021] Neben dem Ausblenden der Hinterschnitten als Problemlösung ist z.B. auch die Ermittlung nichtlinearer Einsetzbewegungen durch Einkippen oder Eindrehen geeignet, wie dies der Zahntechniker am Gipsmodell durch Probieren herausfinden kann.

[0022] Vorteilhafterweise ist die Beobachtungsachse interaktiv veränderbar und erfolgt eine direkte Anpassung der Darstellung des 3D-Modells der Präparation oder der Restauration an die geänderte Beobachtungsachse. Durch die interaktive Veränderung des Blickpunktes resultiert jeweils eine neue Einschubachse und die direkte Anpassung der Visualisierung ermöglicht dem Benutzer eine einfache, schnelle Optimierung der Gesamtsituation.

[0023] Diese Eigenschaften der Kopplung von Blickrichtung und Einschubachsenrichtung und der vollständigen Sichtbarkeit der daraus resultierenden Hinterschnittsituation unterscheiden den Ansatz wesentlich von Schattenvisualisierungen nach dem Stand der Technik.

[0024] Diese Visualisierung nach Art eines Röntgenblicks stellt eine einzelne Achsenrichtung der Hinterschnittsituation dar.

[0025] Ein weiterer Gegenstand der Erfindung ist

daher ein Verfahren zur Optimierung einer Einschubachsenrichtung eines als digitales 3D-Modell vorliegenden Zahnersatzteils oder einer als digitales 3D-Modell vorliegenden Präparation, wobei das 3D-Modell in einer Beobachtungsrichtung dargestellt ist, wobei mehrere Einschubachsenrichtungen auf eine Kugeloberfläche abgebildet und entsprechend eines jeweiligen Qualitätskriteriums der abgeschatteten Bereiche, etwa gebildet aus der Quantität und/oder der Qualität, markiert, insbesondere eingefärbt, dargestellt werden. Dazu wird beispielsweise aus der jeweiligen Quantität und/oder Qualität einer Einschubachsenrichtung ein Wert ermittelt. Dieser Wert kann das Volumen der Hinterschnittbereiche und die Distanz der Hinterschnittbereiche zum Präparationsrand enthalten. Zu den dargestellten Einschubachsen kann insbesondere auch die der Beobachtungsachse entsprechende Einschubachse gehören.

[0026] Der Benutzer erhält durch diese Kugeldarstellung eine Gesamtübersicht über mehrere Einschubachsen und kann durch Rotation der Kugel oder Anklicken eines Oberflächenpunktes oder -bereichs die zugehörige Einschubachse gegebenenfalls auch direkt interaktiv einstellen und sich die Lage der Einschubachse durch Anpassung der Beobachtungsachse an die ausgewählte Einschubachse als 3D-Modell der Präparation darstellen lassen.

[0027] Diese Visualisierung der sphärischen Gesamtsituation für mehrere Einschubachsen kann die Darstellungsform des Röntgenblicks ergänzen oder ersetzen.

[0028] Die Erfindung ermöglicht durch eine effektive und vollständigere Visualisierung der aktuellen und globalen Hinterschnittsituation und die interaktive Veränderbarkeit der Betrachterposition eine einfache und schnelle Optimierung der Einschubachsenrichtung. Der erhaltene Ortsbezug zur Präparation erlaubt zusätzlich die Berücksichtigung individueller und intuitiver Kriterien einzelner Benutzer.

[0029] Die Erfindung ermöglicht weiterhin eine automatische Optimierung der Einschubachse durch das CAD/CAM-System. Die optimale Einschubachse ergibt sich z.B. aus dem Optimum des Qualitätskriteriums der abgeschatteten Bereiche in der berechneten Kugeldarstellung oder durch andere gegebenenfalls auch iterative Verfahren wie solche zur Minimierung einer Kostenfunktion.

[0030] Die sphärische Darstellung des Qualitätskriteriums verschiedener Einschubachsen ist die Grundlage der Kugeldarstellung. Innerhalb einer diskretisierten Darstellung kann durch eine Suche des Minimums bzw. des Maximums eine zu einer Einschubachse korrespondierende Stelle auf der Kugeloberfläche lokalisiert werden, die ein globales Op-

timium im Sinne des verwendeten Qualitätskriteriums darstellt, z.B. Minimierung der Volumina der Hinterschnittbereiche bei Maximierung der Distanz der Hinterschnittbereiche zum Präparationsrand. Im Falle lokal benachbarter Mehrfachoptima wie z.B. weiße Flächen in der Kugeldarstellung, kann deren Mittelpunkt verwendet werden.

[0031] Ein weiterer Gegenstand der Erfindung besteht in einem Verfahren zur Optimierung einer Einschubachsenrichtung eines als digitales 3D-Modell vorliegenden Zahnersatzteils oder einer als digitales 3D-Modell vorliegenden Präparation, bei dem mehreren Einschubachsenrichtungen jeweils mindestens ein Qualitätskriterium für die in dieser Richtung abgeschatteten Bereiche zugeordnet werden und bei dem die Einschubachsenrichtung durch eine Optimierung des Qualitätskriteriums festgelegt wird. Einer Darstellung des Qualitätskriteriums für unterschiedliche Einschubachsenrichtungen bedarf es bei dieser automatischen Festlegung der Einschubachsenrichtung dann nicht unbedingt.

[0032] In diesem Verfahren wird eine optimale Einschubachse automatisch berechnet und vorgegeben und gegebenenfalls angezeigt.

[0033] Eine iterative Optimierung kann unter Verwendung des oben erläuterten Qualitätskriteriums mit komplexeren Bewertungsfunktionen auf der Basis gängiger Optimierungsverfahren auch unabhängig von einer Kugeldarstellung, oder, wenn doch eine Kugeldarstellung vorhanden ist, mit einem daraus ermittelten Optimum als Ausgangspunkt, eine von der Diskretisierung der Präparation oder der Restauration unabhängige, beliebig genaue Lokalisierung ermitteln. Falls eine Präparation oder eine Restauration angezeigt ist, kann diese aus der Richtung der optimalen Einschubachse dargestellt werden.

[0034] Die beiden Komponenten der Visualisierungs- und Interaktionsmaßnahmen zur Optimierung einer Einschubachsenrichtung, nämlich Röntgenblick und sphärische Gesamtsituation, können wahlweise miteinander kombiniert werden.

[0035] Nicht einzusetzende Restaurationen können dadurch weitgehend verhindert bzw. durch minimiertes Ausblenden im Rahmen der gegebenen Präparation korrigiert werden.

Kurzbeschreibung der Zeichnung

[0036] Anhand der Zeichnung wird ein Ausführungsbeispiel der Erfindung näher erläutert. Es zeigt:

[0037] [Fig. 1A](#) einen Schnitt durch einen präparierten Zahn aus einem mit einem Zahnersatzteil in Form einer Krone zu versehenen Präparationsgebiet,

[0038] [Fig. 1B](#) einen Schnitt durch einen präparierten Zahn,

[0039] [Fig. 2A](#) eine Visualisierung einer Hinterschnittsituation einer Restauration,

[0040] [Fig. 2B](#) eine Hinterschnittsituation einer Präparation für eine Versorgung mit einer Krone,

[0041] [Fig. 3](#) die Hinterschnittsituation aus [Fig. 2B](#) im zugehörigen Gesamtüberblick über eine Kugeloberfläche,

[0042] [Fig. 4](#) einen Schnitt durch die Kugeloberfläche aus [Fig. 3](#),

[0043] [Fig. 5](#) eine Hinterschnittsituation einer Präparation für eine Versorgung mit einer dreigliedrigen Brücke,

[0044] [Fig. 6](#) die Hinterschnittsituation aus [Fig. 5](#) ohne Visualisierung,

[0045] [Fig. 7](#) die Hinterschnittsituation aus [Fig. 5](#) im zugehörigen Gesamtüberblick über eine Kugeloberfläche.

[0046] [Fig. 8](#) eine Prinzipskizze der Anzeige auf einem Rechner.

Ausführungsbeispiele

[0047] Die nachstehenden Figuren zeigen Ausführungsbeispiele für die Visualisierungsmethoden zur Optimierung der Einschubachsenrichtung in Form eines Röntgenblicks und der Darstellung der Gesamtsituation als Kugeloberfläche am Beispiel einer Präparation für eine Krone und für eine Brücke.

[0048] Die [Fig. 1A](#) zeigt einen Schnitt durch ein Präparationsgebiet, in dem eine Präparation in Form eines präparierten Zahns **1** mit einem Zahnersatzteil in Form einer Krone **12** zu versehen ist. Der präparierte Zahn **1** weist eine Oberfläche **2** auf, die eine Auflagefläche **3** für das Zahnersatzteil **12** umfasst, wobei die Auflagefläche **3** durch einen Präparationsrand **3'** gegenüber dem übrigen Präparationsgebiet begrenzt ist.

[0049] Das Zahnersatzteil **12** weist eine innere Oberfläche als Passfläche **13** auf, die in einem Abstand zu der Oberfläche des präparierten Zahns **1** angeordnet sein kann, sodass ein Spalt **14** ausgebildet ist. Zu einem frühen Zeitpunkt sind die Passfläche der Restauration und die Oberfläche **2** der Präparation identisch, bei der weiteren Konstruktion verändert sich in der Regel die Passfläche **13** der Restauration.

[0050] Wird der präparierte Zahn **1** von seiner Oberseite her entlang einer Beobachtungsachse **5**, die

später einer Einschubachse des Zahnersatzteils entsprechen soll, betrachtet, so ergibt sich an der Oberfläche **2** ein von einer Einhüllenden **6** parallel zur Beobachtungsachse **5** nach außen begrenzter, abgeschatteter Bereich **4**, der von der Oberseite des Zahns **1** her gesehen einer Linie **7** entspricht. Der Bereich **4** ist nach innen durch einen Abschattungsrand **9** begrenzt, der von der Innenfläche **13** der Restauration **12** entlang einer Projektionslinie **8** parallel zur Beobachtungsachse **5** abgeleitet ist. Der Bereich **4** weist eine Dicke t auf.

[0051] Entsprechendes gilt für die Festlegung des Bereichs **11** auf der Oberseite **15** der Restauration, sodass dort eine Linie **7'** und ein Abschattungsrand **9'** vorhanden sind.

[0052] Falls eine Restauration noch nicht vorliegt oder falls der Spalt **14** auf Null verringert wird, entspricht die Dicke t vollständig der Tiefe t' der Hinterschneidung der Präparation **1**, dargestellt in [Fig. 1B](#) für eine Präparation ohne Restauration. Die Bezugszeichen entsprechen in ihrer Bedeutung denen aus [Fig. 1A](#).

[0053] Zur Visualisierung in Form eines Röntgenblicks werden alle normalerweise nicht sichtbaren abgeschatteten Bereiche **4** sichtbar gemacht, d.h. in umgekehrter Einschubachsenrichtung auf die Oberfläche des Präparationsbereiches bzw. der Restauration projiziert und dort als markierte Bereiche **10**, **11** dargestellt.

[0054] Der abgeschattete Bereich **10**, **11** definiert sich aus den Innenbereichen der Restauration, die bei Betrachtung aus Einschubachsenrichtung **5** von der Präparation verdeckt werden.

[0055] Die [Fig. 2A](#) zeigt eine Hinterschnittsituation der Restauration **12** für eine Versorgung einer Präparation mit einem Bereich **11** in Betrachtungsrichtung entlang einer möglichen Einschubachse als Röntgenblick.

[0056] Die [Fig. 2B](#) zeigt eine Hinterschnittsituation einer Präparation **1** für eine Versorgung mit einer Krone **12** als Restaurationsobjekt in einem Bereich **10** eines Zahnstumpfes **1** in Betrachtungsrichtung entlang einer möglichen Einschubachse als Röntgenblick. Die Krone bzw. Restauration selbst ist zum Zeitpunkt der Festlegung der Einschubachse noch nicht zwingend konstruiert oder vorhanden.

[0057] Im Rahmen dieser Visualisierung kann die Betrachtungs- und die Einschubrichtung direkt gekoppelt und orthogonal zur Bildebene und zum projizierten 3D-Modell der Präparation oder der Restauration sein. Dadurch ergibt sich eine einfache Handhabbarkeit der interaktiven Optimierung.

[0058] Technisch kann das Problem der Visualisierung für den Fall einer identischen Grenzfläche von Präparation und Restauration ohne Zwischenraum **14** durch zweifaches Zeichnen des 3D-Modells gelöst werden. Zunächst werden nur die Teile der Oberfläche **2–4** des 3D-Modells **1**, deren Vorderseiten von der Beobachtungsachse **5** aus zu sehen sind, dargestellt und anschließend werden die Teile der Oberfläche **2** des 3D-Modells **1**, deren Rückseiten von der Beobachtungsachse **5** aus zu sehen sind, überlagert. Diese Überlagerung kann in Form einer Markierung bestehen, um eine bessere Wahrnehmung zu ermöglichen.

[0059] Diese beschriebene Lösung erlaubt zunächst nur die binäre Entscheidung, ob ein Hinterschnitt oder ob kein Hinterschnitt an einer Bildposition vorliegt. Alternative Algorithmen, etwa um eine differenziertere Farbgebung/Markierung z.B. relativ zum Hinterschnittvolumen bereitzustellen, sind jedoch ebenso im Bereich des technisch möglichen.

[0060] Die Oberfläche **2** kann dazu aus Dreiecken bestehen, die sich aufteilen lassen in Dreiecke, deren Vorderseiten vom Betrachter aus zu sehen sind und in Dreiecke, deren Rückseiten zu sehen sind.

[0061] Die [Fig. 3](#) zeigt eine Hinterschnittsituation einer Präparation für eine Versorgung mit einer Krone im zugehörigen Gesamtüberblick über eine Kugeloberfläche **20**, wobei die aktuelle Betrachtungsrichtung **5** auf die Kugeloberfläche mit einem Fadenkreuz **11** angegeben ist, das hier im Mittelpunkt der Darstellung der Kugeloberfläche **20** liegt.

[0062] In der Darstellung der Kugeloberfläche sind verschiedene Bereiche **22–25** zu erkennen, die als Markierung unterschiedlich eingefärbt dargestellt sind. Jedem Punkt auf der Kugeloberfläche **20** ist eine Einschubachsenrichtung zugeordnet und die Markierung ist ein Hinweis auf die Qualität und/oder Quantität des Hinterschnitts zu dieser Einschubachsenrichtung.

[0063] Im Bereich **22** sind im konkreten Fall keine Hinterschnitte vorhanden, die Bereiche **23–25** weisen zunehmend größere Probleme bezüglich der Qualität und/oder der Quantität des Hinterschnitts in der zugehörigen Einschubachsenrichtung auf.

[0064] Die Kugel entspricht einem Richtungshistogramm und besteht mathematisch nur aus einer Oberfläche. Es gibt also keine direkte geometrische Entsprechung zwischen der aus Messpunkten bestehenden Präparation und der aus Richtungsvektoren und zugeordnete Farben gebildeten Kugel. Die Richtungsvektoren sind auf den Betrag 1 normiert und können so als Punkt auf einer Kugel mit Radius 1 interpretiert und visualisiert werden.

[0065] Jeder Oberflächenpunkt der Kugel entspricht einer bestimmten Rotation der Präparation und dessen Einfärbung einer sich aus der jeweiligen Rotation ergebenden Bewertung der Hinterschnittsituation.

[0066] Im konkreten Fall erfolgt die Einfärbung in zwei Schritten. Zuerst wird jedem Dreieck der Präparation oder der Restauration entsprechend seiner Normalen, also dem senkrecht auf dem Dreieck stehenden normierten Richtungsvektor, ein in der Realität diskreter Punkt auf einer Kugeloberfläche zugeordnet und dort die entsprechenden Dreiecksflächen akkumuliert.

[0067] In einem zweiten Schritt wird die resultierende Kugeldarstellung gebildet, indem die akkumulierten Dreiecksflächen im Kugelhistogramm auf eine 90-Grad-Umgebung winkelabhängig gewichtet verteilt werden. Dies entspricht einer Faltungsoperation. Diese Operation berücksichtigt den Sichtbarkeitsbereich und in Form der Gewichtung den jeweiligen Sichtbarkeitsgrad der Dreiecke.

[0068] Anschließend wird aus dem Kugelhistogramm das Visualisierungsobjekt erzeugt. Dabei handelt es sich um eine farbige Kugel, die Histogrammwerte sind also in Farbwerte umgerechnet. Dazu werden die Histogrammwerte exponentiell in einen Qualitätswert umgeformt und in einen anzeigbaren Farbtonwert H transformiert. Histogrammwerte unterhalb einer einstellbaren Schwelle werden gesondert behandelt und auf die Farbe weiß abgebildet, um eine bessere Signalisierung praktisch unbedenklicher Einschubachsenbereiche zu erreichen.

[0069] Eine Einschubachse kann auch direkt über die Kugeldarstellung ausgewählt werden, etwa durch einen Positionsanzeiger **44** und eine Auswahlrichtung, beispielsweise eine Computermaus **43** ([Fig. 8](#)). Mit der Auswahl wird die Beobachtungsachse **5** aus der Darstellung gemäß [Fig. 2](#) an die ausgewählte Beobachtungsachse angepasst und die Präparation wird aus dieser Beobachtungsrichtung **5** dargestellt. Eine als geeignet beurteilte Beobachtungsachse kann dann als Einschubachse festgelegt werden.

[0070] Prinzipiell eignen sich auch andere Formen als eine dreidimensionale Kugeloberfläche für eine Darstellung, die sich aber letztlich von der Kugeloberfläche als Beschreibungsform aller möglichen linearen Einschubachsen ableiten lassen. Beispielsweise wäre eine zweidimensionale Landkartenabwicklung der Kugelvorderseite oder eine orthogonale Projektion vorstellbar, wobei beide Darstellungen im Unterschied zur dynamischen Bild-Projektion der konkreten Visualisierung der Kugeloberfläche statisch wären.

[0071] Eine orthogonale Projektion der Kugelvorderseite als Kreisdarstellung unterscheidet sich aber

nicht von der Darstellung der Kugel auf dem Bildschirm. In diesem Fall ist der Unterschied erst in der Dynamik erkennbar. Die Kugel ist drehbar mit fester, mittiger Cursorposition, eine Kreisdarstellung ist starr mit variabler Cursorposition.

[0072] Die [Fig. 4](#) zeigt einen Schnitt durch die Kugeloberfläche **20** aus [Fig. 3](#) zur Erläuterung des Prinzips. Das Zentrum des x-y-Koordinatensystems stimmt mit dem Fadenkreuz **21** aus [Fig. 3](#) überein. Man erkennt an der Kugeloberfläche **20** die Bereiche **22–25**, in denen jeweils ein Einschubachsenvektor r_1 bis r_4 eingezeichnet ist. Jeder Einschubachsenvektor r_1 bis r_4 ist in der Länge gleich und gibt eine Richtung einer Einschubachse vor und ist mit einem Wert s_1 bis s_4 eines Merkmals zur Beurteilung der Quantität und/oder der Qualität der in der Richtung der Einschubachse liegenden Hinterschnitte verknüpft.

[0073] Die Kugel wird für die Berechnung des Histogramms, wie auch als zugehöriges Darstellungsojekt diskret in Form einer Triangulierung repräsentiert. Auf der Kugeloberfläche **20** mit einem durch Normierung hervorgegangenen Radius mit dem Wert 1 werden gleichmäßig verteilt Knoten erzeugt, die untereinander in Form von Dreiecken verbunden sind. Jeder Knoten akkumuliert die Flächen der über die korrespondierenden Normalen zugeordneten Dreiecksmenge. Auch die Sichtbarkeitsfaltung erfolgt auf einer diskretisierten, typischerweise identischen Kugeloberfläche. Die entsprechenden Qualitätswerte werden in Farbwerte umgerechnet.

[0074] Letztlich liegt die Farbgebung der Kugel wie auch anderer aus Triangulierungen entstandener Flächen also nur punktuell diskretisiert vor. Die resultierende Visualisierung ergibt sich durch die Interpolation der Farbwerte innerhalb der Dreiecke aus deren Eckpunkt-Farben.

[0075] Bei entsprechender Verfeinerung der Diskretisierung repräsentiert die Darstellung zunehmend genauer die Hinterschnittssituation des verwendeten Beurteilungskriteriums. Bei größerer Anzahl von Dreiecken ergibt sich ein kontinuierlicher Farbverlauf. Die Bereiche **22–25** sind daher nicht jeweils homogen gefärbt, sondern werden durch Farb-Isolinien begrenzt, zwischen denen die Farben kontinuierlich ineinander übergehen.

[0076] Die [Fig. 5](#) zeigt eine Hinterschnittssituation einer Präparation **1.1** für eine Versorgung mit einer dreigliedrigen Brücke mit den Oberseiten **2.1**, **2.2** in Betrachtungsrichtung in zwei Bereichen **10.1**, **10.2** als Röntgenblick.

[0077] Die [Fig. 6](#) zeigt eine Hinterschnittssituation der Präparation **1.1** aus [Fig. 5](#) mit den Oberseiten **2.1**, **2.2** ohne Visualisierung der Bereiche mit einer Abschattung gemäß dem Stand der Technik. Hier

sind lediglich die Horizontlinien **7.1**, **7.2** zu erkennen und das Vorhandensein bzw. die Lage und der Umfang der abgeschatteten Bereiche lässt sich nur erahnen.

[0078] Die [Fig. 7](#) zeigt die Hinterschnittssituation der Präparation aus [Fig. 5](#) im zugehörigen Gesamtüberblick als Kugeloberfläche **30**, wobei die aktuelle Betrachtungsrichtung im Mittelpunkt mit dem Fadenkreuz **21** angezeigt ist. Bei der Visualisierung können beide Bereiche **10.1**, **10.2** zusammen berücksichtigt werden.

[0079] [Fig. 8](#) ist eine Prinzipskizze zur Erläuterung der gemeinsamen Darstellung der Visualisierungsmethode in Form des Röntgenblicks der Präparation **1.1** aus [Fig. 5](#) und der Gesamtsituation als Kugeloberfläche **30** aus [Fig. 7](#) auf einer Anzeigeeinheit **41** eines Rechners **42**. Über die mit dem Rechner **42** verbundene Computermaus **43** kann ein Mauszeiger **44** über die Kugeloberfläche **30** geführt werden und die Lage der Einschubachse ausgewählt werden, wodurch sich die Beobachtungsrichtung und damit die Darstellung der Präparation **1.1** ändert. Gleichzeitig dreht sich auch die Kugeloberfläche **30** auf den neuen Mittelpunkt.

[0080] Weiterhin kann die Darstellung der Präparation **1.1** mit Hilfe der Maus interaktiv rotiert werden. Die Darstellung der Hinterschnittssituation mit dem Röntgenblick passt sich der neuen Blickrichtung/Einschubachse ebenso an, wie die Kugeldarstellung derart rotiert, dass sich die zur aktuellen Betrachtungsrichtung korrespondierende Kugelposition mittig/im Fadenkreuz befindet.

[0081] Es wird nochmals darauf hingewiesen, dass beide Interaktions- bzw. Visualisierungsmethoden ebenso singular wie kombiniert verwendet werden können.

Bezugszeichenliste

1	präparierter Zahn
2	Oberseite des präparierten Zahns
3	Auflagefläche am Präparationsrand
3'	Präparationsrand
4	abgeschatteter Bereich
5	Beobachtungsachse
6	Einhüllende
7	Horizontlinie
8	Projektionslinie
9	Abschattungsrand
10	markierter Bereich
11	markierter Bereich
12	Restauration
13	Passfläche
14	Spalt, Zwischenraum
15	Außenfläche
20	Kugeloberfläche

21	Fadenkreuz
22	Bereich
23	Bereich
24	Bereich
25	Bereich
30	Kugeloberfläche
41	Anzeige
42	Rechner
43	Computermaus
44	Mauszeiger
t	Maß der Abschattung
t'	maximales Maß der Abschattung
r	Einschubachsenvektor
s	Merkmals- oder Qualitätswert
H	Farbtonwert

Patentansprüche

- Verfahren zur Optimierung einer Einschubachsenrichtung eines als digitales 3D-Modell zu konstruierenden Zahnersatzteils für eine als 3D-Modell in einer Betrachtungsrichtung (5) dargestellte Präparation (1), **dadurch gekennzeichnet**, dass in der Betrachtungsrichtung (5) der Präparation (1) abgeschattete Bereiche (4) durch die Oberfläche (2-4) der Präparation (1) hindurch sichtbar gemacht werden und dass die Einschubachsenrichtung an die Betrachtungsrichtung (5) anpassbar ist.
- Verfahren zur Optimierung einer Einschubachsenrichtung eines als digitales 3D-Modell konstruierten und in einer Betrachtungsrichtung (5) dargestellten Zahnersatzteils (12) für eine Präparation (1), dadurch gekennzeichnet, dass in der Betrachtungsrichtung (5) des Zahnersatzteils (12) abgeschattete Bereiche (4) auf einer Passfläche (13) zu der Präparation (1) durch die Oberfläche (2-4) des Zahnersatzteils (12) hindurch sichtbar gemacht werden und dass die Einschubachsenrichtung an die Betrachtungsrichtung (5) anpassbar ist.
- Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass abgeschattete Bereiche (4) durch entsprechende Bereiche (10, 12) auf der Oberfläche (2-4) der Präparation bzw. der Restauration markiert werden.
- Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Markierung der Bereiche (10, 11) sich mit der Qualität und/oder mit der Quantität des Bereichs (4) verändert.
- Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Beobachtungsachse (5) interaktiv veränderbar ist und dass eine direkte Anpassung der Darstellung des 3D-Modells an die geänderte Beobachtungsachse (5) erfolgt.
- Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass zunächst nur die Teile der Oberfläche (2-4) des 3D-Modells (1), deren Vorderseiten von der Beobachtungsachse (5) aus zu sehen sind, dargestellt werden und anschließend die Teile der Oberfläche (2-4) des 3D-Modells (1), deren Rückseiten von der Beobachtungsachse (5) aus zu sehen sind, überlagert und dargestellt werden.
- Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die überlagerten Teile der Oberfläche (2-4) markiert sind.
- Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Passflächen (13) veränderbar sind.
- Verfahren zur Optimierung einer Einschubachsenrichtung eines als digitales 3D-Modell vorliegenden Zahnersatzteils (12) oder einer als digitales 3D-Modell vorliegenden Präparation (1), wobei das 3D-Modell in einer Beobachtungsrichtung (5) dargestellt ist, dadurch gekennzeichnet, dass mehrere Einschubachsenrichtungen als Bereiche (22-24) auf einer Kugeloberfläche (20; 30) abgebildet und entsprechend eines Qualitätskriteriums für die in dieser Richtung abgeschatteten Bereiche (4) markiert, insbesondere eingefärbt, dargestellt werden.
- Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass durch Rotation der Kugeloberfläche (20; 30) oder Anklicken eines Oberflächenpunktes der Kugeloberfläche (20; 30) die zugehörige Einschubachse ausgewählt wird.
- Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Beobachtungsrichtung (5) an die ausgewählte Einschubachsenrichtung anpassbar ist und dass das 3D-Modell der Präparation oder der Restauration aus dieser Beobachtungsrichtung (5) dargestellt wird.
- Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass eine automatische Optimierung der Richtung der Einschubachse durch Verwendung einer Einschubachse aus der Kugeldarstellung und durch Optimierung des Qualitätskriteriums erfolgt.
- Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass die automatische Optimierung eine iterative oder direkte Optimierung des Qualitätskriteriums ist.
- Verfahren zur Optimierung einer Einschubachsenrichtung eines als digitales 3D-Modell vorliegenden Zahnersatzteils (12) oder einer als digitales 3D-Modell vorliegenden Präparation (1), dadurch gekennzeichnet, dass mehreren Einschubachsenrichtungen jeweils mindestens ein Qualitätskriterium für die in dieser Richtung abgeschatteten Bereiche (4) zugeordnet werden und dass die Einschubachsen-

richtung durch eine Optimierung des Qualitätskriteriums festgelegt wird.

15. Verfahren, gekennzeichnet durch die gleichzeitige Darstellung nach einem der Ansprüche 1 bis 8 und einem der Ansprüche 9 bis 14.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen

Fig. 1A

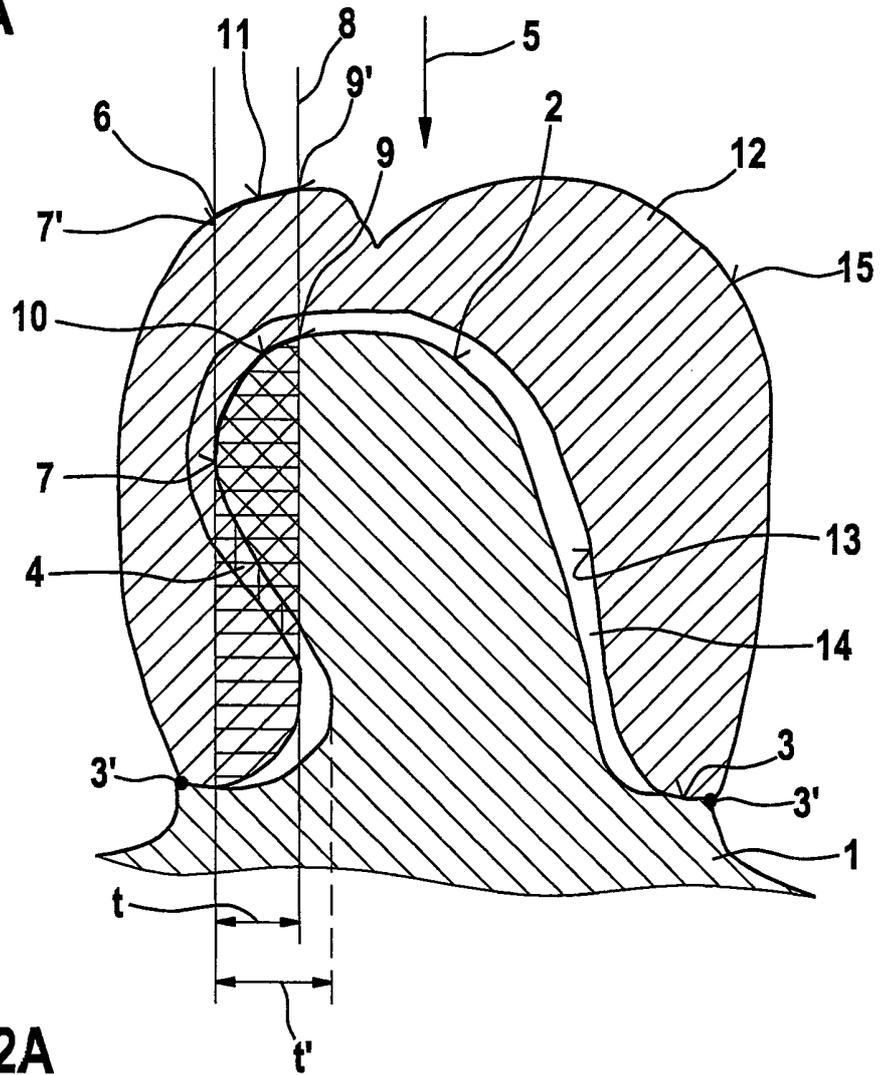


Fig. 2A

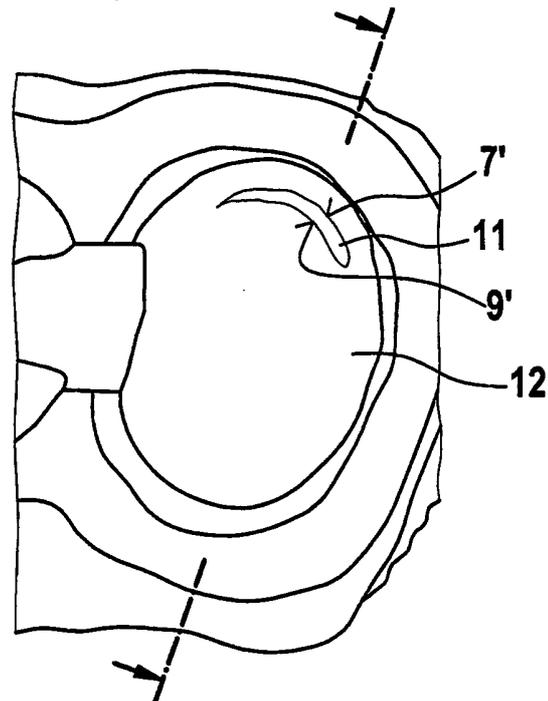


Fig. 1B

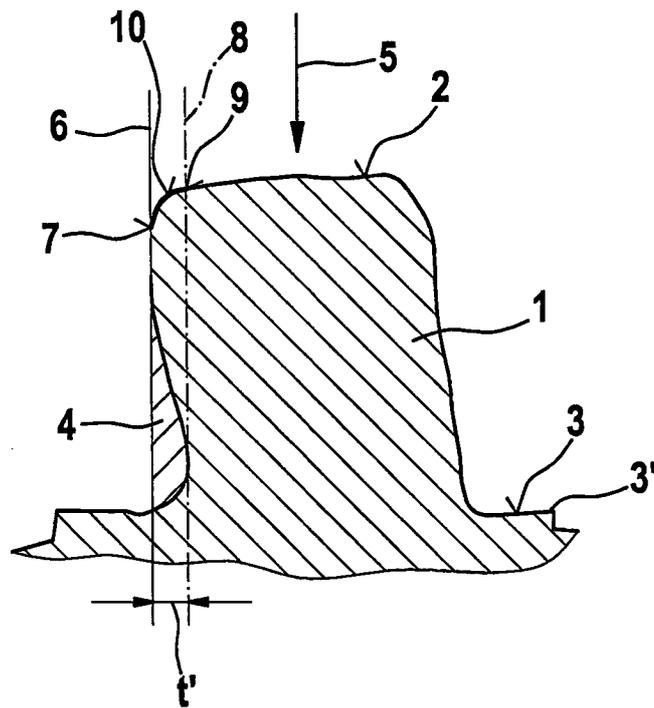


Fig. 2B

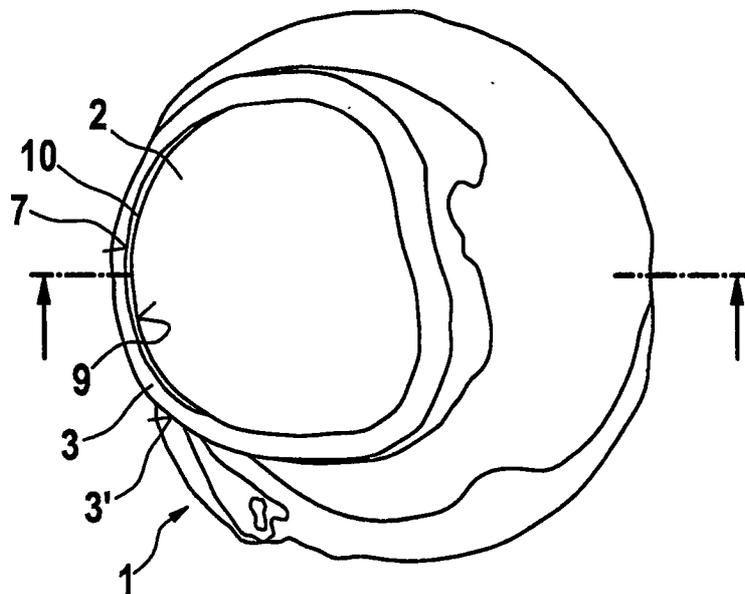


Fig. 3

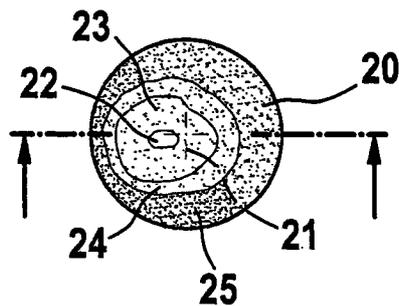


Fig. 4

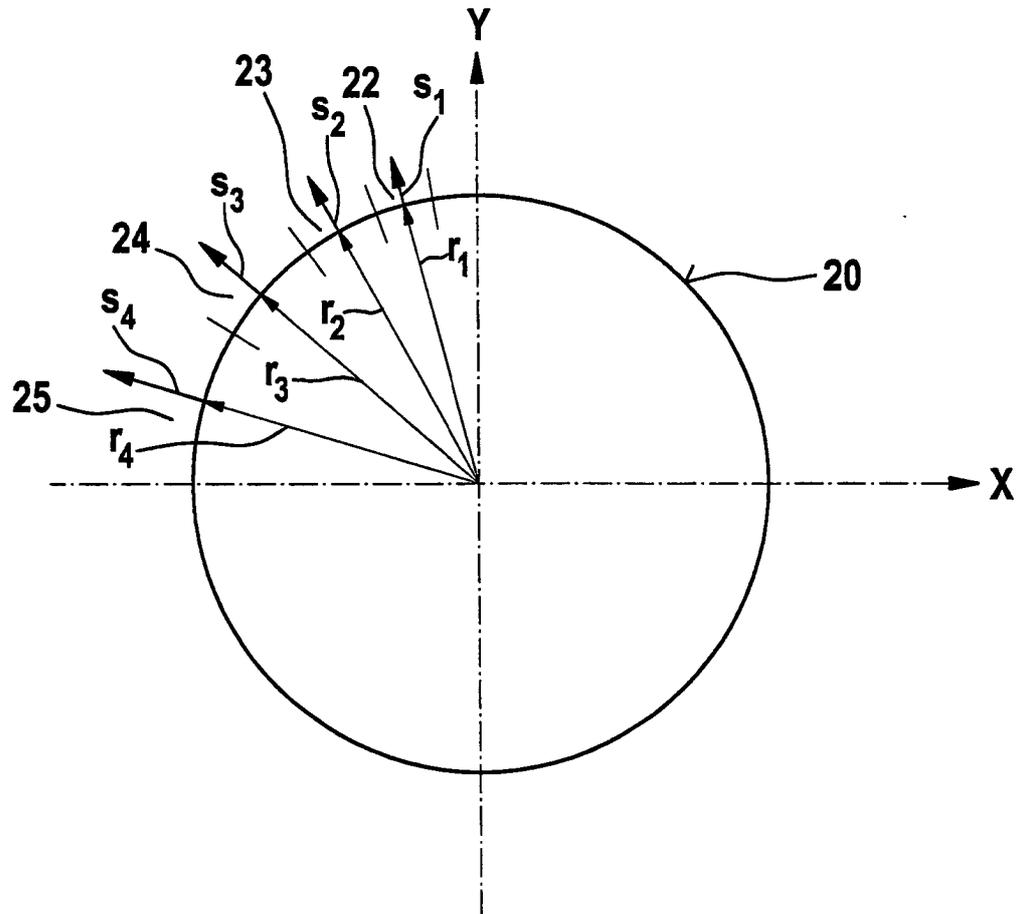


Fig. 8

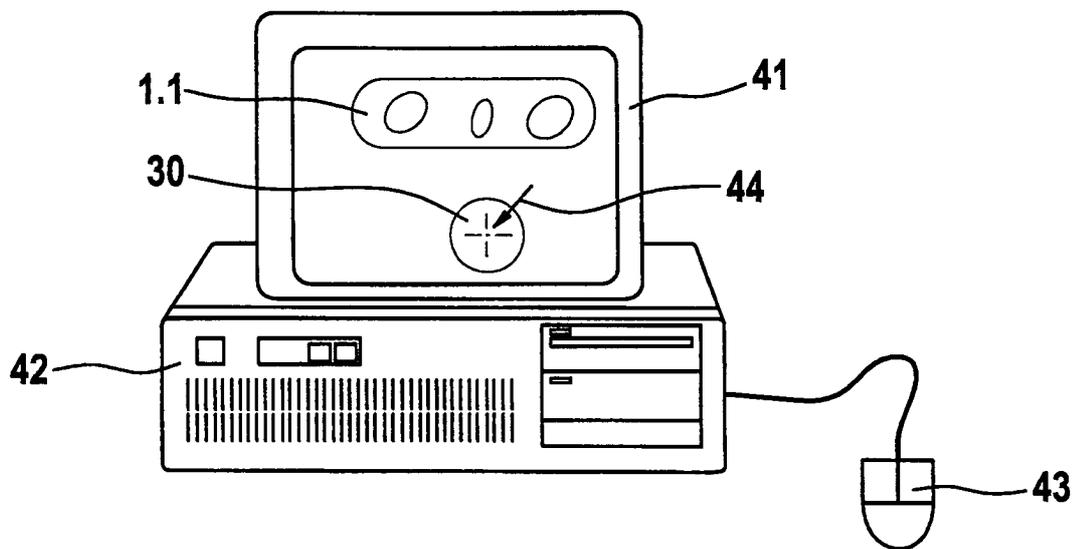


Fig. 5

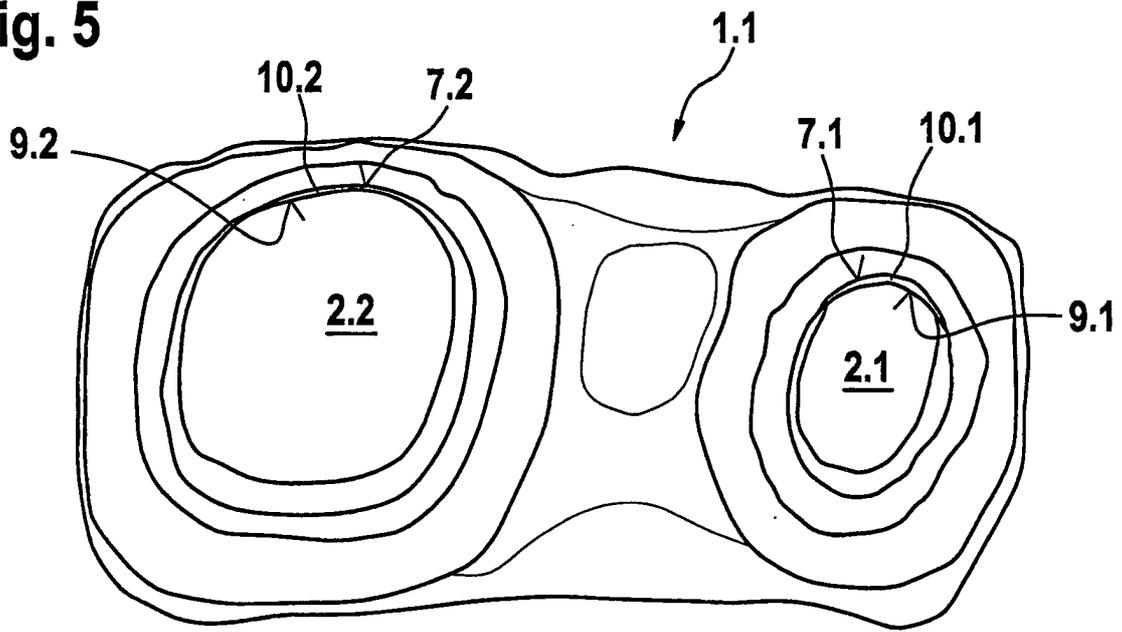


Fig. 6

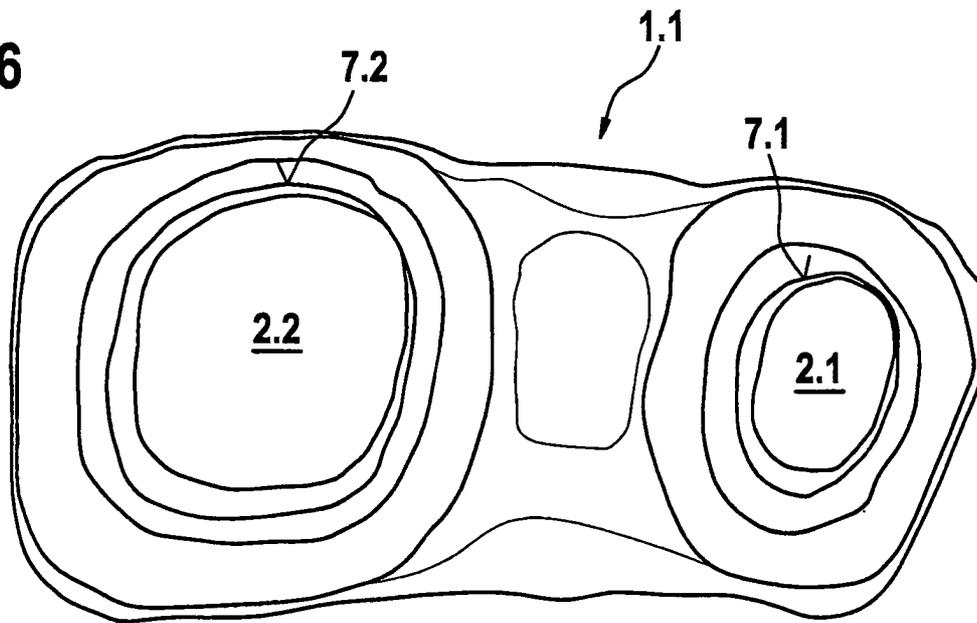


Fig. 7

