



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 697 37 726 T2** 2008.01.10

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 364 625 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **697 37 726.1**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **03 017 296.9**

(96) Europäischer Anmeldetag: **18.12.1997**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **26.11.2003**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **09.05.2007**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **10.01.2008**

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

(73) Patentinhaber:

**Technique d'Usinage Sinlab Inc., Lachenaie,
Quebec, CA**

(84) Benannte Vertragsstaaten:

CH, DE, ES, FR, GB, IT, LI, SE

(74) Vertreter:

Klunker, Schmitt-Nilson, Hirsch, 80797 München

(72) Erfinder:

Poirier, Michel, Quebec J8C 2G5, CA

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Herstellung einer Zahnimplantatbohrlehre**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

Beschreibung

Gebiet der Erfindung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Herstellen einer Zahnimplantat-Bohrführung.

Hintergrund der Erfindung

[0002] Aus dem Stand der Technik ist es bekannt, Zahnprothesen unter Verwendung von Zahnimplantaten zu befestigen, die ihrerseits im oberen oder unteren Kieferknochen angelegt sind. Aus dem Stand der Technik ist außerdem bekannt, ein Gestell oder einen Aufbau an einer Reihe von Plantaten anzubringen, wobei der Aufbau dazu dient, eine Gruppe von Ersatzzähnen oder Zahnprothesen gleichmäßig zu lagern. Die exakte Platzierung der Implantate innerhalb des Kieferknochens ist eine schwierige Aufgabe. Die internationale Patentanmeldung PCT/IT94/00059, veröffentlicht am 24. November 1994 als WO 94/26200, beschreibt eine einstellbare Führungseinrichtung zum Positionieren von Zahnimplantaten, bei der es möglich ist, daß der Zahnchirurg eine Bohrerachse für jedes Implantat einstellt, bevor die Führungseinrichtung oder eine Bohrlehre dazu eingesetzt wird, den Bohrer des Chirurgen zu führen, um das Bohrloch für das Implantat herzustellen. Die Führungseinrichtung nach der internationalen Anmeldung unterstützt den Zahnchirurgen bei seiner Entscheidung bezüglich der Bohrachse nach der Betrachtung von Durchleuchtungsbildern der für Durchleuchtung opaken, rohrförmigen Bohrführung, die der Knochenstruktur überlagert ist.

[0003] Im Stand der Technik hat der Kieferchirurg typischerweise Schwierigkeiten bei der Entscheidung bezüglich einer Bohrachse für die Implantate, da die ideale Lage für die Implantate in Kenntnis der Kieferknochenstruktur getroffen werden sollte, in die das Implantat eingesetzt werden soll, weiterhin in Kenntnis der Lage des Nervengewebes innerhalb der Kieferknochenstruktur, der Zahnfleischoberfläche und der erforderlichen Position und Abmessung der Ersatzzähne oder des Gebisses, welches von dem Zahnimplantat gehalten werden soll. Natürlich macht bei der herkömmlichen Art der Auswahl der Implantatachse der Zahnarzt oder der Kieferchirurg vor dem Hintergrund seiner Kenntnisse des Patienten die bestmögliche einfache Entscheidung. Dies führt allerdings in gewissen Fällen zu Unzulänglichkeiten bei der Zahnprothese. Die Unzulänglichkeiten können das Fehlen einer idealen Abstützung, eine ungünstige Angulation des Implantats aufgrund einer Schwäche in dem Implantat, welches mit der Zeit fehlerhaft wird, oder ein visuell wahrnehmbarer Defekt im Erscheinungsbild der Prothese sein.

[0004] Bei dem herkömmlichen Verfahren für den Aufbau des Zahnimplantats wird ein bauliches Modell

des Zahnfleisches und der Zahnimplantatköpfe des Patienten vorbereitet, auf dem der Aufbau von Hand mit Hilfe von Form und anderen Methoden gemäß Stand der Technik gebildet wird. Der Handwerker oder Techniker, der in der Fertigung derartiger Zahnimplantataufbauten geschult ist, berücksichtigt dabei Größe und Form der gewünschten Gebisse, die an dem Unterbau angebracht werden sollen, wenn letzterer erstellt wird. Das Prozedere bei der Fertigung von Zahnimplantataufbauten gemäß Stand der Technik ist zeitaufwendig und führt in einigen Fällen zu nicht perfekten Strukturen oder zu Mängeln im visuellen Erscheinungsbild der auf den Aufbau zu platzierenden Gebisse.

[0005] In der US-A-5 401 170 vom 28. März 1995 (Nonomura) sind ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Messen der Implantatköpfe der Implantate im Mund des Patienten mittels Kameraabbildung offenbart, dessen Zweck es ist, ein Gestell zuzuschneiden, an welchem die Prothesenzähne angeordnet und festgebacken werden. Bei dem dort dargestellten Verfahren erfolgt der Aufbau des Gestells oder des Unterbaus in Abwesenheit einer Bezugsgröße für die Form und die Lage der idealen Zähneposition des Patienten. Wenn somit die Gebisse oder künstlichen Zähne auf dem Gestell oder dem Unterbau modelliert werden, ist während dieser Handarbeit Aufmerksamkeit erforderlich, damit die Lage der Zähne an dem Gestell übereinstimmt mit dem gegenüberliegenden Satz von Zähnen im Mund des Patienten.

[0006] Die FR-A-2 687 947 zeigt ein Verfahren zum Herstellen einer Zahnimplantat-Bohrführung, bei dem eine Kieferknochen- und Gewebestruktur unter Bezugnahme auf eine Zahnfleischoberfläche abgebildet wird, um ein zweidimensionales graphisches Computermodell zu erstellen. Nach dieser Druckschrift wird ein Modell verwendet, um in den Schablonenkörper die Löcher zu bohren, die die vorgefertigten Bohrerführungs-Fassungen aufnehmen. Die Fassungen werden von Hand in den Schablonenkörper montiert. Ähnlicher Stand der Technik ist zum Beispiel in der DE-A-195 10 294 und DE-A-43 28 490 beschrieben.

[0007] Es ist ein Ziel der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren zum Herstellen einer Zahnimplantat-Bohrführung oder -Bohrlehre anzugeben, welches zu einer genauen und exakten Bohrerführung für ausgewählte Bohrlöcher führt, wobei Information über die Lage mehrerer Zahnimplantate in einem Kieferknochen, über die Zahnfleischoberfläche, die den Kieferknochen bedeckt, und die fixierte Gebissform bei einer Spezifikation der Form des Aufbaus berücksichtigt werden, bevor der Aufbau präzise hergestellt wird. Erreicht wird dies durch das Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1.

[0008] Die vorliegende Erfindung schafft ein Verfah-

ren zum Erzielen einer besseren Genauigkeit und rascherer Ergebnisse als bei herkömmlichen Verfahren. Die Erfindung schafft außerdem eine Zahnimplantat-Bohrführung, die präzise und einfach zu verwenden ist, so dass das Bohren von Zahnimplantat-Löchern keine hohe Qualifikation und Kenntnisse jenseits des Kenntnissbereichs eines allgemeinen Zahnchirurgen erfordert. Außerdem ist es ein Ziel der Erfindung, Werkzeuge anzugeben, die die Anzahl von Patientenbesuchen beim Zahnchirurgen zum Erhalten von Zahnimplantaten und eines eingesetzten Zahnimplantataufbaus reduzieren.

[0009] Bei dem Verfahren zum Fertigen einer Zahnimplantat-Bohrerführung gemäß der Erfindung ist der Patient typischerweise entzahnt, das heißt, dem Patienten sind sämtliche Zähne aus dem Kieferknochen gezogen, und der Kieferknochen hatte nach dem Ziehen der Zähne Zeit zum Heilen. Wenn sich der Patient entscheidet, mit Zahnimplantaten und der Platzierung eines Aufbaus oder Unterbaus zur sicheren Befestigung von Gebissen über dem Zahnfleisch weiterzumachen, gibt es eine Zeitspanne von etwa 12 Monaten nach dem Ziehen möglicher verbleibender Zähne aus dem Kieferknochen, bevor mit der Operation zum Einsetzen von Implantaten in den Kieferknochen weitergemacht wird.

[0010] Mit Hilfe von Röntgenbildern, MRI oder möglicherweise Nuklear-Bildgebungsverfahren wird zum Erzeugen eines dreidimensionalen Computergraphikmodells mit Bezugselement Zahnfleischoberfläche oder irgendeiner anderen fixen Referenzgröße bezüglich des Kieferknochens des Patienten ein medizinisches Bild des Kieferknochens und der Gewebestruktur gewonnen. Vorzugsweise wird eine radiographische Scannerführung verwendet, die so geformt ist, daß sie sich an die Form des Zahnfleisches des Patienten anpaßt, und die für Strahlung opake Kugeln enthält, deren Positionen bezüglich der Zahnfleischoberfläche bekannt sind.

[0011] Der Hauptvorteil der Erfindung besteht darin, daß der Kieferchirurg die optimale Position für die Zahnimplantate unter Verwendung des dreidimensionalen Computergraphikmodells des Kieferknochens und der Gewebestruktur auswählen kann. Die Auswahl der Bohrlochpositionen unter Verwendung des Computergraphikmodells wird auf eine CNC-Maschine übertragen, um fixierte Bohrführungssockel in dem Schablonenkörper für jede einzelne der Bohrlochstellen oder für die Bohrlochstelle zu schaffen, die mit Hilfe des Computergraphikmodells ausgewählt wurde. Während das Modell dreidimensional ist, kann es für die Auswahl der Bohrlochachse zweckmäßig sein, eine zweidimensionale Darstellung des Kieferknochens und der Gewebestruktur zu verwenden, wobei die zweidimensionale Ansicht mit einem vom Benutzer gesteuerten Schnittflächenwinkel dargestellt wird. Vorzugsweise wählt der Kie-

ferchirurg die Position für jedes Implantat-Bohrloch nicht nur zu dem Zweck aus, das Implantat an der optimalen Stelle innerhalb des Kieferknochens zu positionieren, sondern auch im Hinblick auf das Erzielen einer Position für die Abstützung, die sich zum Abstützen der Gebisse eignet. Deshalb ist es bevorzugt, wenn zusätzlich zu dem dreidimensionalen Computergraphikmodell des Kieferknochens und der Gewebestruktur die Gebisse des Patienten in der richtigen räumlichen Lagebeziehung zu dem Kieferknochen und der Gewebestruktur dargestellt werden. Dies macht eine Abbildung der Gebisse oder Zähne des Patienten und möglicherweise auch der Zahnfleischstruktur zusätzlich zu dem Kieferknochen und der Gewebestruktur in der Weise erforderlich, daß sämtliche Bilder in Bezug aufeinander referenziert sind, um zu ein und demselben dreidimensionalen Computergraphikmodell integriert werden zu können.

[0012] Während die Möglichkeit besteht, die Bohrerführung vorzubereiten und sie mit Bohrerführungssockeln auszustatten, indem man von einer CNC-Maschine Gebrauch macht, wird der Bohrerlenkörper vorzugsweise an einem physikalischen Modell der Zahnfleischoberfläche geformt, in welches Modell die CNC-Maschine zuvor die gewünschten Implantat-Bohrlöcher gebohrt hat. Die Bohrlöcher in dem baulichen Modell dienen dazu, eine Form für die Bohrerführungssockel aufzubauen. Dies erübrigt den Einsatz der CNC-Maschine zur Herstellung feiner Einzelheiten, ausgenommen die Präzisionsbohrung der Bohrlöcher.

[0013] Die Bilderzeugung der Gebisse oder Zähne, die auf der Zahnfleischoberfläche anzuordnen sind, und das Abbilden der Zahnfleischoberfläche können mit Hilfe von aus dem Stand der Technik bekannten, bildgebenden Laserkamera-Methoden durchgeführt werden. Diese Bilder werden vorzugsweise gewonnen unter Verwendung eines physikalischen Modells der Zahnfleischoberfläche des Patienten, und das physikalische Modell wird in der Weise abgebildet, daß die Bilder exakt zu den Bildern des Kieferknochens und der Gewebestruktur referenziert werden können.

[0014] Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren zum Herstellen eines Zahnimplantataufbaus werden die aktuellen Zahnimplantat-Positionsdaten vorzugsweise dadurch gewonnen, daß man unter Verwendung von an die Implantate gekoppelten Transfers einen Abdruck nimmt. Vorzugsweise wird der Abdruck unter Verwendung derselben Bohrerführung gemäß der Erfindung genommen, wobei die Sockel der Bohrerführung groß genug sind für die Aufnahme der Transfers und das umgebende Abdruckmaterial. Vorzugsweise werden die Positionen und Orientierungen der Transfers unter Bezugnahme auf die Bohrerführung gemessen, was die Möglichkeit bietet, die relativen Positionen der Implantate unter Bezugnahme auf ei-

nen Standard-Referenzrahmen kennenzulernen. Mit Hilfe des Standard-Referenzrahmens ist es möglich, ein Computergraphikmodell der Zahnfleischoberfläche, der Gebisse oder Zähne und der Zahnimplantate zu erstellen, welches es dem Kieferchirurgen oder dem Techniker ermöglicht, die beste Form für die überlagernde Brücke des Unterbaus auszuwählen.

[0015] Im Fall einer fixierten Zahnprothese, die an einem Implantat gelagert ist (das heißt Porzellan auf Metall), läßt sich die ideale Form des Unterbaus automatisch gestalten mit Hilfe des Computermodells unter Berücksichtigung der Form der mittels Laserkamera abgebildeten Zähne und durch Subtrahieren einer Porzellan-Dicke, die der Techniker zur neuen Erzeugung der Form der abgebildeten Zähne benötigt. Im Fall einer Zahnprothese, die von einem Aufbau oder Unterbau getragen wird (Übergebiß) läßt sich die Form des Unterbaus automatisch dadurch bestimmen, daß man die äußere Form der Prothese berücksichtigt und den Unterbau im Inneren der Prothese zirkuliert, wobei man sicherstellt, daß die notwendige Dicke für das Prothesenmaterial (beispielsweise Acrylmaterial) ringsherum verfügbar ist, um eine adäquat starke Prothese zu erhalten.

[0016] Bei der Präzisionsformung des Unterbaus ist es möglich, von verschiedenen Methoden Gebrauch zu machen. Bei einer Ausführungsform wird der gesamte Aufbau mit Hilfe einer CNC-Fräsmaschine geschnitten, die so programmiert ist, daß gemäß Formdaten geschnitten wird, die unter Verwendung des Computermodells spezifiziert sind. Bei einer anderen Ausführungsform werden die Formdaten dazu benutzt, ein 3D-WachsmodeLL zu spezifizieren, welches unter Verwendung von Stereolithographiemethoden erstellt wird, so daß der Aufbau dann gegossen werden kann, woraufhin die Stützflächen mit Hilfe einer CNC-Fräsmaschine präzisionsgefräst werden. Das Gießmetall kann Titan sein. Bei einer anderen Ausführungsform kann die CNC-Bohrmaschine mit einem Präzisionsbohrer ausgestattet sein und dazu dienen, ein Modell mit präzise positionierten Implantat-Stützhohlräumen zu schaffen. Die Form des Unterbaus kann dadurch geschaffen werden, daß die Hohlräume für den Rest des Unterbaus in dem Modell von Hand gefertigt werden. Diese Handfertigung kann geleitet werden von dem Computermodell. Der Aufbau kann dann zu dem Modell gegossen und fertig bearbeitet werden, wobei sich die Stützbereiche in ihrer exakten Position befinden.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0017] Weitere Ziele und Merkmale der Erfindung ergeben sich deutlicher aus der nachfolgenden detaillierten Beschreibung der bevorzugten Ausführungsform unter Bezugnahme auf die begleitenden Zeichnungen. Es zeigen:

[0018] [Fig. 1](#) eine perspektivische Ansicht eines Artikulators, der ein physikalisches Modell des oberen und des unteren Zahnfleisches mit daran angeordneten Gebissen eines Patienten trägt;

[0019] [Fig. 2](#) eine perspektivische Ansicht ähnlich der [Fig. 1](#), wobei die Gebisse durch eine radiographische Abtastführung ersetzt sind;

[0020] [Fig. 3](#) eine perspektivische Ansicht der radiographischen Abtastführung;

[0021] [Fig. 4](#) eine perspektivische Ansicht eines dreidimensionalen Computermodells des unteren Kieferknochens eines Patienten, wobei Teile weggebrochen sind und für Strahlung durchlässige Referenzkugeln und Referenzkoordinaten überlagernd angeordnet sind;

[0022] [Fig. 5](#) ein Flußdiagramm des Verfahrens zum Herstellen der Zahnimplantat-Bohrerführung gemäß der bevorzugten Ausführungsform;

[0023] [Fig. 6](#) eine Panoramaansicht des unteren Kieferknochens eines Patienten mit überlagerter Zahnfleischlinie und Gebissen;

[0024] [Fig. 7](#) eine Querschnittansicht entlang der Linie 7 in [Fig. 6](#);

[0025] [Fig. 8](#) ein Blockdiagramm der CNC-Bohrvorrichtung und des Dateneingabeterminals;

[0026] [Fig. 9](#) eine perspektivische Ansicht einer fünffachsigen CNC-Bohrvorrichtung;

[0027] [Fig. 10](#) eine Frontansicht eines physikalischen Modells mit vier dargestellten Bohrachsen;

[0028] [Fig. 11](#) eine ähnliche Ansicht wie [Fig. 10](#), in der eine Bohrerführung geformt wurde, bei der die fixierten Bohrsocket durch in die Bohrlöcher eingesetzte Stifte gebildet sind;

[0029] [Fig. 12](#) eine perspektivische Ansicht der Bohrerführung gemäß der bevorzugten Ausführungsform;

[0030] [Fig. 13](#) eine Schnittansicht der Bohrerführung beim Bohren in den Kieferknochen eines Patienten;

[0031] [Fig. 14](#) eine vergrößerte Schnittansicht eines Kieferknochens, der ein Implantat trägt, wobei die Bohrerführung oben auf der Zahnfleischoberfläche liegt, um als Abdruckbehälter zu dem Zweck zu dienen, einen exakten Abdruck der Implantatposition unter Verwendung eines Transfers zu machen;

[0032] [Fig. 15](#) ein Flußdiagramm des Verfahrens

zur zerspanenden Bearbeitung eines Aufbaus gemäß der bevorzugten Ausführungsform;

[0033] [Fig. 16](#) eine Schnittansicht eines Computermodells, welches den Sitz des Gebisses auf dem Zahnfleisch des Patienten veranschaulicht, wobei der Implantatkopf sich in der korrekten Relativlage befindet;

[0034] [Fig. 17](#) eine ähnliche Computergraphikabbildung wie [Fig. 16](#), hier für eine Stelle zwischen zwei Implantaten;

[0035] [Fig. 18](#) eine perspektivische Ansicht eines Unterkiefergebisses und eines unteren Implantataufbaus; und

[0036] [Fig. 19](#) eine Ansicht der in [Fig. 8](#) dargestellten, zusammengebauten Komponenten von unten.

Detaillierte Beschreibung der bevorzugten Ausführungsform

[0037] Wie in [Fig. 1](#) zu sehen ist, ist ein im Stand der Technik bekannter Artikulator **20** so eingerichtet, daß er ein unteres physikalisches Modell **21** und ein oberes physikalisches Modell **22** des Munds eines Patienten mit einem unteren und einem oberen Gebiß **23** bzw. **24**, abgestützt von dem physikalischen Modell und mit Zähnen der Gebisse in passender Ausrichtung trägt. Der Artikulator wird mit Hilfe der Justiereinrichtung **25** und **26** entsprechend dem Stand der Technik justiert. Wie in [Fig. 2](#) zu sehen ist, sind die Gebisse **23** und **24** entfernt, und eine Scannerführung oder Abtasterführung **27** ist von Hand exakt in den von dem oberen und dem unteren Gebiß belegten Raum eingepaßt. Für Strahlung opake Referenzkügelchen **28** bekannten Durchmessers sind an der Führung **27** angebracht, und zwar ein Kügelchen auf jeder Seite auf der Hinterseite und der Vorderseite. In der Darstellung der bevorzugten Ausführungsform sind die Kügelchen in der Nähe der unteren Kieferoberfläche dargestellt, weil es der Unterkiefer ist, welcher abgebildet werden soll. Die Kügelchen können in ähnlicher Weise in der Nähe der oberen Kieferoberfläche plazierte werden. Der Scanner-Führungskörper **27** ist in [Fig. 3](#) für sich dargestellt.

[0038] Der besondere Vorteil der Scannerführung **27** gemäß der Erfindung besteht darin, daß während des radiographischen Abtastens des Kiefers des Patienten der Patient in komfortabler Weise die Scannerführung **27** an Ort und Stelle hält, indem er auf sie beißt. Wie man sieht, könnte sich der Unterkiefer während der Bildgebung bewegen, er muß also fixiert werden, beispielsweise mit Hilfe der Scannerführung **27**. Der Kopf des Patienten wird während der radiographischen Abtastung mit einem aus dem Stand der Technik bekannten, geeigneten Stützapparat gehalten.

[0039] Wie in [Fig. 4](#) zu sehen ist, besteht das Ergebnis der radiographischen Abtastung darin, ein dreidimensionales Computergraphikmodell **29** vom Unterkiefer des Patienten zu erhalten. Bilder der Referenzkügelchen **28** erscheinen hier bei **33** und dienen als Referenzelement für Koordinatenachsen **32**. Der Kieferchirurg kann bei Betrachtung des Modells **29** den Nerv **37** erkennen, der sich von der Basis des Kiefers ausgehend erstreckt, bis er den Kieferknochen auf jeder Seite des Kinns verläßt. Eine Bohrachse **31** für jedes vorgeschlagene Bohrloch **34** wird an dem Computermodell ausgewählt. Der Endpunkt des Bohrlochs **36** wird ebenfalls ausgewählt.

[0040] Zur einfachen Auswahl der Bohrachse **31**, das heißt der Stelle des Raums am Endpunkt sowie der Winkellorientierung der Bohrachse **31**, kann es möglich sein, Schnitte des Computermodells **29** dem Kieferchirurgen oder Techniker anzubieten, für den es dann damit einfacher ist, die Parameter auszuwählen. Wie man sieht, sind zwei Winkel erforderlich, um die Orientierung der Bohrachse (oder Bohrerachse) **31** zu spezifizieren, beispielsweise kann ein erster Winkel θ einen Winkel für die Bohrachse **31** in Bezug auf die x-z-Ebene definieren, und ein zweiter Parameter ϕ kann den Winkel zwischen der Bohrachse **31** und der z-y-Ebene definieren.

[0041] Bei der bevorzugten Ausführungsform erfolgt die Auswahl der Bohrachse **31** für die Bohrlöcher **34** in Kenntnis der Relativlage der Zahnfleischoberfläche und der Relativlage der Gebisse oder Zähne. Wie in [Fig. 5](#) zu sehen ist, wird mit Hilfe von radiographischen 3-D-Abbildungsdaten, bei denen es sich um gut referenzierte Bilddaten von der Zahnfleischoberfläche handelt, und anhand von referenzierten Gebiß-Abbildungsdaten das 3-D-Computermodell **29** erstellt. In [Fig. 6](#) ist eine Panorama-Schnittansicht des 3-D-Modells **29** dargestellt, welches die Zahnfleischoberfläche **44** und die Gebisse **43** zeigt, die der kortikalen Knochenstruktur **41** und dem Knochenmark **42** überlagert sind.

[0042] Wie in [Fig. 7](#) gezeigt ist, ist es bei der bevorzugten Ausführungsform möglich, für eine ausgewählte Bohrachse **31** die daraus resultierende Implantatlage **49** zu ersehen und außerdem zu erkennen, wie diese in Beziehung zu der Knochenstruktur **41** und **42**, dem Nerv **37** – falls vorhanden – sowie der oberen und unteren Gebißstruktur **43** und **44** liegt. Wie man sieht, kann, wenn der gewünschte Winkel und die gewünschte Lage der Gebisse in Bezug auf die Zahnfleischoberfläche **46** eine Justierung von Lage und Winkel des Implantats **49** erfordern würden, der Kieferchirurg die optimale Tiefe, Position und Winkellorientierung für das Implantat **49** auswählen, wobei er sich vollständig auf das Computermodell verläßt. Nachdem die Daten für die Loch-Anschlußstelle und die Winkellorientierung für jedes der Bohrlöcher mit Hilfe des Computermodells ausge-

wählt sind, werden die Daten über eine Dateneingabe-einrichtung **51** eingegeben, um einen CNC-Bohrer **52** gemäß [Fig. 8](#) zu steuern, wobei zum besseren Verständnis auf die [Fig. 9](#) verwiesen wird.

[0043] Der CNC-Bohrer **52** besitzt eine Bohrspitze **53**, die in der Lage ist, entlang einer ersten vertikalen Richtung **54** bewegt zu werden und zu bohren. Das physikalische Modell **21** ist derart gelagert, daß es um zwei Richtungen **55** und **56** auf einer Plattform verschwenkt werden kann, die ihrerseits in die Richtungen **57** und **60** bewegt werden kann. Der CNC-Bohrer **52** kann sich um fünf Achsen bewegen. Damit die CNC-Bohrmaschine passend in Bezug auf das physikalische Modell **51** referenziert ist, kann eine Scannerführung oben auf dem physikalischen Modell **21** plziert werden, wobei dann eine an den CNC-Bohrer **52** angeschlossene Koordinatenmeßmaschine (CMM) dazu eingesetzt wird, exakt die Position jedes einzelnen Positions-Referenzkugelhens zu orten, um diese auf das Referenzgestell des CNC-Bohrers zu referenzieren. Der CNC-Bohrer **52** wird dann programmiert, um die Lage des Lochs und die Orientierungsdaten, die auf das Referenzgestell des Computermodells referenziert sind, umzuwandeln in Bezug auf den Referenzrahmen des CNC-Bohrers, so daß die Bohrlöcher in dem physikalischen Modell **21** ausgebildet werden können.

[0044] Wie in [Fig. 10](#) gezeigt ist, werden vier Bohrlöcher **58** in das Modell **21** gebohrt, welches an einer Basis **59** gelagert ist. Die Bohrlochachsen **31** sind an verschiedenen Stellen und in unterschiedlichen Orientierungen dargestellt.

[0045] Wie in [Fig. 11](#) zu sehen ist, werden Stifte **62** in die Löcher **58** eingeführt. Über die Stifte **62** werden Formteile **63** für die Sockelbildung geschoben, und um das physikalische Modell **21** herum wird eine (nicht gezeigte) umfassende Formstruktur plziert, damit der geformte Führungskörper **61** ausgebildet werden kann. Da die Löcher **58** verschiedene Höhen einnehmen, werden die Sockelbildungs-Formteile **63** in ihrer Größe derart justiert, daß der Abstand zwischen der kreisförmigen Flanschante und dem Ende der Stifte **62** konstant ist. Auf diese Weise hat die kreisförmige Flanschante **64** der Bohrerführungssockel einen fixen Abstand in Bezug auf den angestrebten Endpunkt des Bohrlochs.

[0046] Wie in [Fig. 12](#) gezeigt ist, besitzt der fertiggestellte geformte Bohrerführungskörper **62** mehrere Bohrerführungstuben **66**, die in die Bohrerführungssockel **68** eingeführt sind, und zusätzlich sind drei Löcher **67** vorgesehen für das vorübergehende Befestigen der Bohrerführung **61** an dem Kieferknochen des Patienten während des chirurgischen Eingriffs. Die Bohrerführungstuben **66** können herausgenommen und in die Bohrerführungssockel **68** wieder eingesetzt werden, um den Innendurchmesser der Bohrer-

führungstuben so zu ändern, wie es im Verlauf der Operation erforderlich ist, da das Implantat-Bohrloch mit einer Bohrspitze sehr kleinen Durchmessers begonnen wird und danach größere Bohrspitzen eingesetzt werden, bis das Implantat-Bohrloch voller Größe erreicht ist. Wie in [Fig. 13](#) zu sehen ist, ist der während der Operation verwendete Bohrer mit einem Kragen **69** ausgestattet, der gegen die Oberseite des Führungstubus **66** anschlägt, so daß die Distanz zwischen dem Boden des Kragens **69** und dem Ende der Bohrspitze **71** je nach Erfordernis fixiert ist. Bei der bevorzugten Ausführungsform ist der Kragen **69** einstückig mit der Bohrspitze **71** ausgebildet.

[0047] Wie man sieht, bereitet der Kieferchirurg die Implantatlöcher unter Verwendung der Bohrerführung **61** dadurch vor, daß er die kreisförmigen Abschnitte des Zahnfleisches (die Zahnfleisch-Bohrstellen) an den Implantatstellen entfernt. Bei dem herkömmlichen Verfahren zum Bohren von Implantatlöchern erfolgt eine als "flap-surgery" bekannte Prozedur, bei der ein Stück des den Kieferknochen an der Stelle bedeckenden Zahnfleisches, an der das Implantatloch gebohrt werden soll, eingeschnitten und zurückgeklappt wird, so daß der Kieferchirurg ungehinderten Zugriff zur Oberfläche des Kieferknochens hat. Bei der vorliegenden Erfindung hat der Chirurg die Option, von der Flap-surgery bei Bedarf Gebrauch zu machen, oder aber von der Umfangs-Chirurgie. Natürlich sollte im Fall der Ausführung einer konventionellen Flap-surgery eine modifizierte Version der Operationsführung stattfinden, das heißt, die Führung sollte bei Bedarf für die Ausführung der Flap-surgery entfernbare sein. Um die Führung wieder an derselben Stelle anzuordnen, wird der Einsatz von Zwischenimplantaten erforderlich, um die Führung nach Herstellung des Flaps wieder in ihrem Sitz anzuordnen. Wird von dem Kreisverfahren Gebrauch gemacht, besteht keine Notwendigkeit, die Führung während des chirurgischen Eingriffs zu entfernen, und durch Vermeiden der Flap-surgery läßt sich die Heilungszeit nach der Operation verkürzen.

[0048] Wie in [Fig. 14](#) gezeigt ist, schraubt der Kieferchirurg ein Implantat **72** in das mit Hilfe der Bohrerführung **61** hergestellte Loch. Dies kann mit Hilfe der Bohrerführung **61** geschehen, die an Ort und Stelle verbleibt, wobei die Implantate durch die Sockel **68** hindurch eingeführt werden. Die Oberseite des Implantats **72** ist nahezu bündig mit der Oberseite des kortikalen Äußeren **41** des Kieferknochens. Das Implantat **72** besitzt einen hohlen Gewindekern. Da das Implantat **72** von Hand in das Gewebe des Kieferknochens **42** eingeführt wurde, läßt sich seine exakte Lage nicht perfekt über das Bohrloch definieren, welches mit Hilfe der Bohrerführung geschnitten wurde.

[0049] Nachdem die Implantate an Ort und Stelle fixiert sind, wird über das Implantat **72** ein Transfer **73**

plaziert, und mit einer Mittelschraube **76** wird das Transfer **73** an dem Implantat **72** befestigt. In den Raum zwischen der Bohrerführungs-Ausnehmung **78** und dem Transfer **73** wird ein Abdruckmaterial **74** injiziert. Das Abdruckmaterial erhärtet nach kurzer Zeit, und der Kieferchirurg oder Zahnarzt entfernt die Schrauben **76**, wodurch die Bohrerführung **61** abnehmbar ist, während das Transfer **73** unter exakter Entsprechung der aktuellen Positionen der Implantate **72** im Kieferknochen des Patienten verbleibt. Wie in [Fig. 15](#) dargestellt ist, dienen die sicher innerhalb der Bohrerführung befindlichen Transfers als bauliche Aufzeichnung der Implantatstellen. Die Implantate werden dann mit Schrauben abgedeckt, und dem Patienten wird typischerweise eine Zeitspanne von einigen Monaten gelassen, um sich von dem Einbau der Implantate zu erholen. Während dieser Zeit kann der an den Implantaten zu befestigende Aufbau hergestellt werden.

[0050] Wie in [Fig. 15](#) gezeigt ist, erfordert das Verfahren zur spanenden Bearbeitung des Aufbaus gemäß der bevorzugten Ausführungsform das Vermessen der aktuellen Implantatlage unter Bezugnahme auf die Zahnfleischoberfläche. Dies geschieht dadurch, daß an jedem Transfer Implantat-Zweitstücke (Kopien der Implantate) befestigt werden. Dann werden mit dem auf dem Gebiet der Erzeugung von Mundhöhlenkopien verwendeten formbaren Spezial-Steinmaterial die Zweitstücke in dem formbaren Material eingebettet, bis es aushärtet. Nach dem Losschrauben sämtlicher Transfers von den Zweitstücken hat man ein Duplikat vom Mund des Patienten und von den Positionen der Implantate. Extensionen der Implantate, die exakt bearbeitet sind, um zu den Zweitstücken zu passen, werden in jedes Zweitstück zurückgeschraubt, und von den Extensionen werden CMM-Messungen gemacht. Die Extensionen, hier als "Targets" bezeichnet, werden deshalb verwendet, weil das Implantat-Zweitstück typischerweise zu klein für den CMM-Sensor ist und das Target dem Techniker eine zusätzliche Oberfläche für die Messung des oberen Bereichs des Targets und dessen Seiten bietet. Die Position des Implantats wird dann in Kenntnis der Lage jedes Targets berechnet, wobei die Targets exakt bekannte Form und Größe haben. Es sei angemerkt, daß durch Ändern der okkludierten (oberen) Fläche der Zweitstücke die Möglichkeit besteht, die Lage der Implantate mit Hilfe der CMM direkt an den Zweitstücken zu messen, ohne daß die Targets verwendet werden. Es sei auch angemerkt, daß man die gleiche Messung mit Berechnung erhalten könnte durch direktes Abtasten der Lage der Zweitstücke mit Hilfe der bereits erwähnten Laser-Abtastkamera.

[0051] Um das Abbild der Zahnfleischoberfläche in exakte Überlagerung zu bringen mit dem Abbild der in Betracht kommenden Zähne, ist es erforderlich, zusätzlich zu den Positionen der aktuellen Implantate eine fixe Referenz bezüglich der Zahnfleischoberflä-

che bzw. des Kieferknochens des Patienten zu erhalten. Wie man erkennt, läßt sich dies auf vielerlei Weise erreichen. Bekannte Referenzpunkte können an der Bohrerführung vorgesehen sein, und diese lassen sich mit Hilfe der CMM-Vorrichtung messen, wenn die Bohrerführung an den Zweitstücken des Steinmaterial-Modells befestigt ist. Wenn die Scannerführung in der Lage ist, sich sicher an die Zahnfleischoberfläche des Modells anzulegen, in welchem die Implantat-Zweitstücke eingebettet sind, lassen sich die drei Kügelchen der Scannerführung vermessen, bevor die Targets an Ort und Stelle eingeschraubt werden.

[0052] Alternativ könnten die Implantatpositionen dadurch gemessen werden, daß man Meßtargets direkt an jedem Transfer befestigt, wobei man dann zusätzlich Referenzpunkte an der Bohrerführung mißt. Dies führt aber zu dem Problem des starren Befestigens und Lagerns der Bohrerführung an dem CMM-Tisch.

[0053] Das Ergebnis der CMM-Messung beginnend mit den in der Bohrerführung eingebetteten Transfers sind die aktuellen Implantatpositionsdaten mit einer Referenz bezüglich der Zahnfleischoberfläche.

[0054] Dann wird ein 3-D-Computermodell der Zahnfleischoberflächen-Implantatköpfe und der Zähne (Übergebisse) unter Verwendung des referenzierten Zahnfleischoberflächen-Abbilds **38** und des referenzierten Zähneabbilds **39** erstellt. Außerdem werden die Original-Bohrloch-Positionsdaten in das 3-D-Computermodell eingegeben, um die Verschiebungen zwischen den Soll- und den Ist-Implantatpositionen zu überwachen. Dies ermöglicht dem Kieferchirurgen außerdem, zu bestätigen, ob die aktuellen Implantatpositionen möglicherweise derart abweichen, daß es zu Problemen führen könnte. Es dient auch zum Bestätigen, daß die vermessenen Ist-Implantatpositionen exakt sind.

[0055] Wie schematisch in [Fig. 16](#) und [Fig. 17](#) gezeigt ist, kann das 3-D-Computermodell dazu benutzt werden, Schnittansichten quer durch das Gebiß und die Struktur des Oberkiefers zu zeigen, um die aktuelle Position des Implantats, der Zahnfleischoberfläche und der Zähnestruktur darzustellen. Wie in [Fig. 16](#) gezeigt ist, nimmt der Implantatkopf **49** einen Aufbau auf, der aus einem Widerlagerfuß **47** besteht, der sich nach unten auf die Oberseite des Implantats erstreckt und eine obere brückenähnliche Struktur **48** besitzt, die sich in das Innere des unteren Abschnitts **44** der Gebißstruktur erstreckt, möglicherweise auch in den oberen Bereich **43** der Gebißstruktur hinein. Wie in [Fig. 17](#) gezeigt ist, ist zwischen zwei Implantaten die Brückenstruktur **48** so ausgebildet, daß sie oberhalb der Zahnfleischoberfläche **46** liegt und innerhalb der Gebißstruktur. Wie man sieht, kann es bedingt durch die Begrenzungen und den Aufbau der

Mundhöhle des Patienten erforderlich sein, die Brückenstruktur **48** derart zu formen, daß sie eng an entweder die Innenwand oder die Außenwand der Gebißstruktur **43, 44** paßt. Auf diese Weise ist der Zahn-techniker im Stande, in dem Computermodell zu sehen, wie die Brückenstruktur und der Aufbau am besten hergestellt werden.

[0056] Wie in [Fig. 15](#) gezeigt ist, werden, nachdem der Zahn-techniker die Form für den Zahnimplantataufbau mit Hilfe des Computermodells ausgewählt hat, die Formdaten an eine Präzisionsformmaschine zur Gestaltung des Aufbaus weitergeleitet. Bei der bevorzugten Ausführungsform wird hierzu eine CNC-Fräsmaschine verwendet, ähnlich der in [Fig. 9](#) gezeigten CNC-Bohrmaschine. Das Ergebnis ist ein Aufbau, wie er in [Fig. 17](#) dargestellt ist, und der direkt an den Zahnimplantaten befestigt werden kann. Der in [Fig. 17](#) dargestellte Aufbau ist von dem Typ, der Gebisse durch eine Schnappverbindung aufnimmt, wie es in [Fig. 18](#) dargestellt ist. Der Aufbau wird vorbereitet aus einem massiven Stück handelsüblichen reinen Titans oder aus irgendeinem biokompatiblen Material wie zum Beispiel Porzellan, um Korrosion zwischen Implantaten und Aufbau zu verhindern.

[0057] Alternativ und insbesondere dann, wenn die Form des Aufbaus komplexer ist, wird mit Hilfe von Stereolithographie ein 3D-Aufbau aus Wachs erzeugt. Der Wachs-Aufbau kann mit Hilfe bekannter Verfahren dazu dienen, einen gegossenen Aufbaukörper gleicher Gestalt aus Titan oder einer Titanlegierung zu erhalten. Dann werden in dem Aufbaukörper mit Hilfe einer fünfschichtigen Fräsmaschine Präzisionslöcher und Sitze für die Implantate ausgearbeitet.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Fertigen einer Dentalimplantat-Bohrlehre, umfassend folgende Schritte:

- a) Abbilden eines Kieferknochens und einer Gewebestruktur unter Bezugnahme auf eine Zahnfleischoberfläche (**44**), um ein dreidimensionales Computergraphikmodell (**29**) zu erstellen;
- b) Auswählen mindestens einer Implantat-Bohrlochposition für mindestens ein Dentalimplantat (**72**) unter Verwendung des Modells (**29**), wobei die Position in drei Dimensionen spezifiziert ist, einschließlich eines Lochabschlußpunkts und Orientierung, wobei auf die Zahnfleischoberflächen-Bezugsgröße Bezug genommen wird;
- c) Eingeben mindestens einer Menge Implantat-Bohrloch-Positionskoordinaten in ein computer-gesteuertes Präzisionsfertigungsgerät (**52**);
- d) Bereitstellen eines Bohrschablonenkörpers (**61**) mit einer ersten Oberfläche, ausgebildet zur Auflage auf einer Zahnfleischoberfläche (**44**) des Kieferknochens in einer vorbestimmten Position in bezug darauf;

e) Verwenden des Präzisionsfertigungsgeräts (**52**) zum Schaffen eines eine feste Orientierung aufweisenden Bohrlehrensockels (**68**) in dem Schablonenkörper (**61**) für jede der mindestens einen Bohrlochposition, die im Schritt c) eingegeben wurde, mit entsprechender Position und Orientierung.

2. Verfahren nach Anspruch 1, weiterhin umfassend das Abbilden einer Zahnprothese (**43**) und Einbeziehen eines Bilds der Zahnprothese (**43**) in das Modell (**29**) derart, daß eine Position der Prothese (**43**) in bezug auf den Kieferknochen ersichtlich ist, wobei die mindestens eine Implantat-Bohrlochposition unter Berücksichtigung einer Position der Zahnprothese (**43**) in bezug auf den Kieferknochen und die Gewebestruktur ausgewählt werden kann.

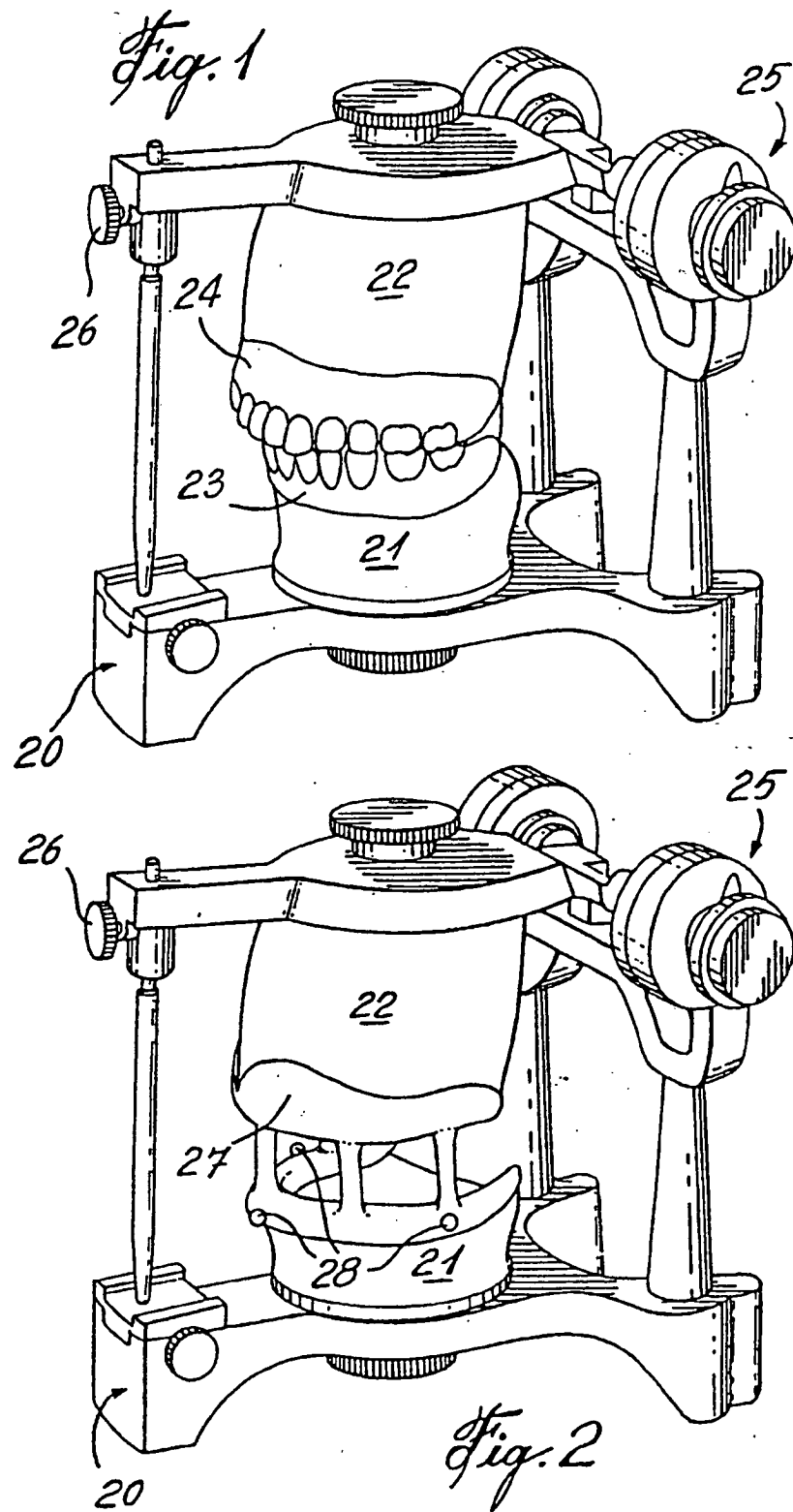
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, bei dem der Bohrführungssockel (**68**) Bohrführungsröhrchen (**66**) mit veränderlichem Innendurchmesser aufnimmt.

4. Verfahren nach Anspruch 1, 2 oder 3, bei dem der Schritt e) das Bohren der Implantat-Bohrlöcher (**58**) in ein bauliches Modell (**21**) unter Verwendung eines CNC-Bohrgeräts (**52**) beinhaltet, ferner das Einbringen eines Bohrführungssockels-Formteils (**63**) in das Loch (**58**) des baulichen Modells, das Bereitstellen einer Formstruktur um das bauliche Modell (**21**) herum, und das Formen des Bohrschablonenkörpers (**61**) mit dem eine feste Orientierung aufweisenden Bohrführungssockel (**68**) in dem Körper (**61**).

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, bei dem der Schritt a) aufweist: Erstellen einer Scanner-Referenzführung (**27**) und Durchführen einer radiographischen Abbildung des Kieferknochens und der Gewebestruktur mit Hilfe der Scanner-Referenzführung (**27**), die in bezug auf die Zahnfleischoberfläche (**44**) festgelegt ist, und das Umwandeln des radiographischen Bilds in Daten, um das dreidimensionale Computergraphikmodell (**29**) zu erstellen.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, bei dem der Schritt b) aufweist: Auswählen von mindestens zwei Implantat-Bohrlochpositionen für mindestens zwei Dentalimplantate (**72**) unter Verwendung des Modells (**29**), der Schritt c) das Eingeben mindestens zweier Mengen von Implantat-Bohrloch-Positionskoordinaten beinhalten und der Schritt e) die Verwendung des Präzisionsfertigungsgeräts (**52**) zum Schaffen eines eine fixierte Orientierung aufweisenden Bohrlehrensockels (**68**) in dem Schablonenkörper (**61**) für jede der mindestens zwei Bohrlochpositionen beinhaltet.

Es folgen 9 Blatt Zeichnungen



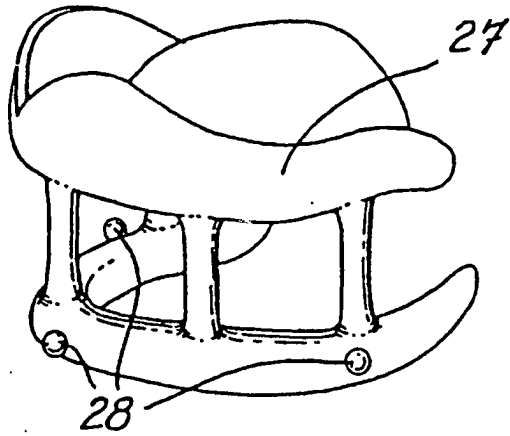


Fig. 3

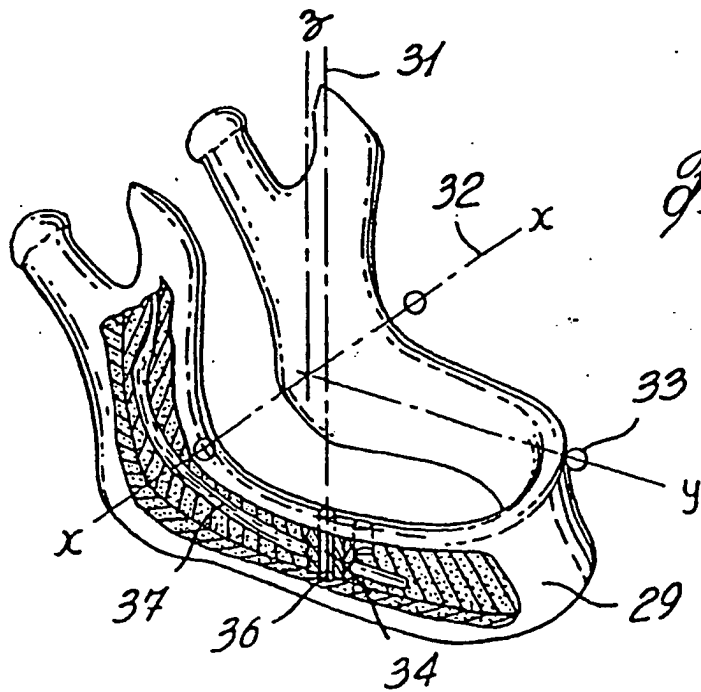
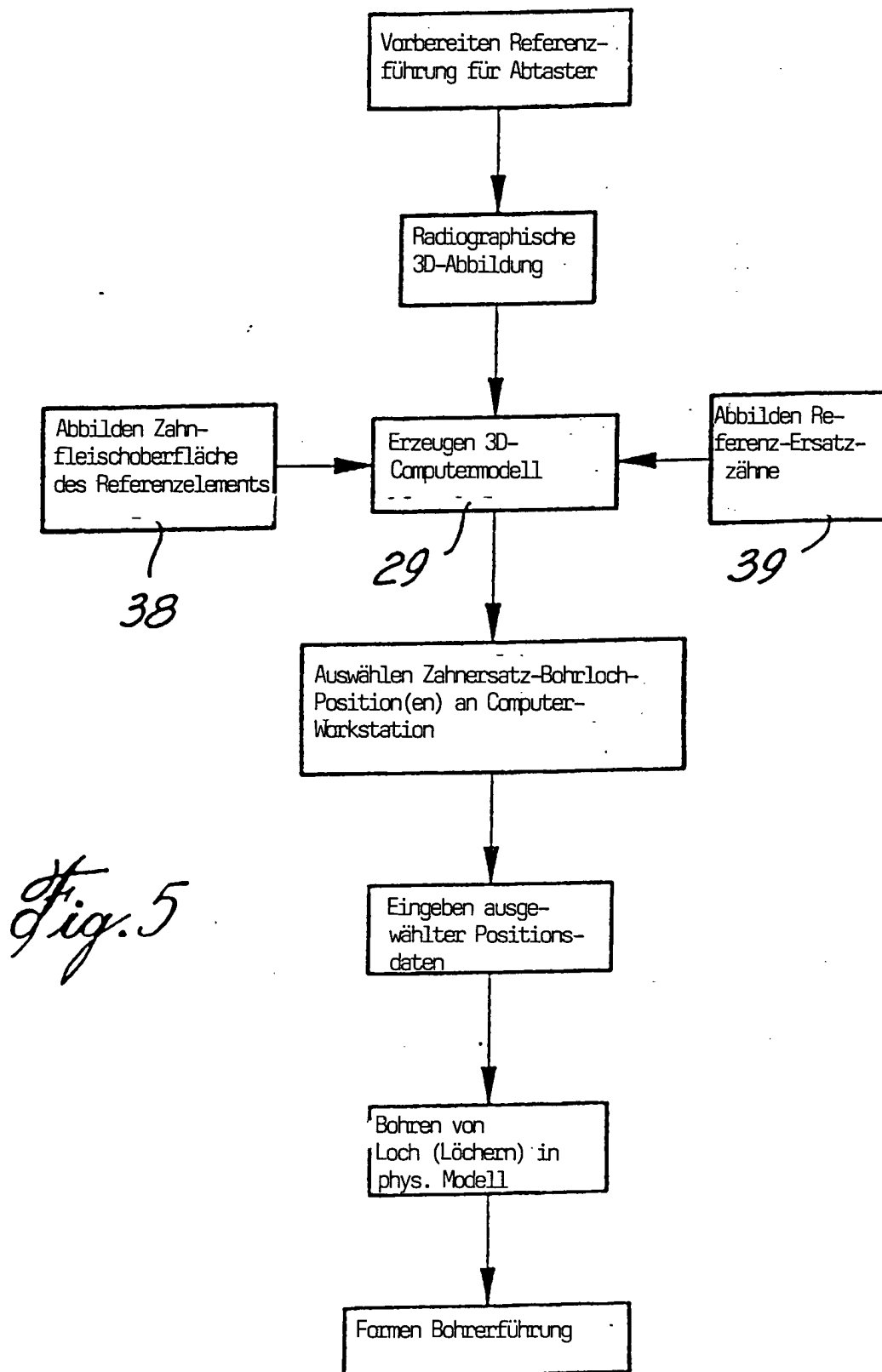
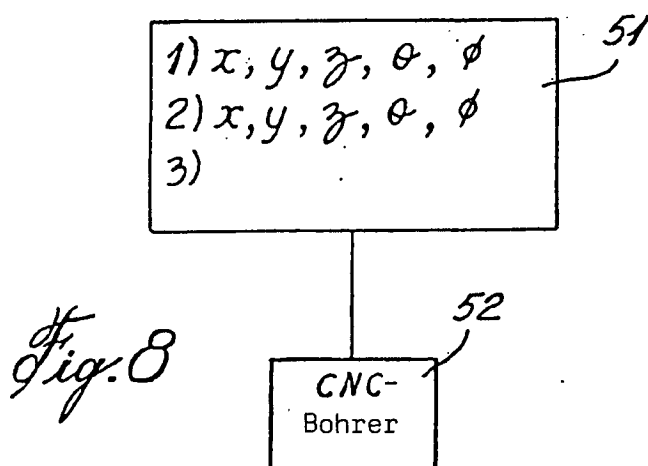
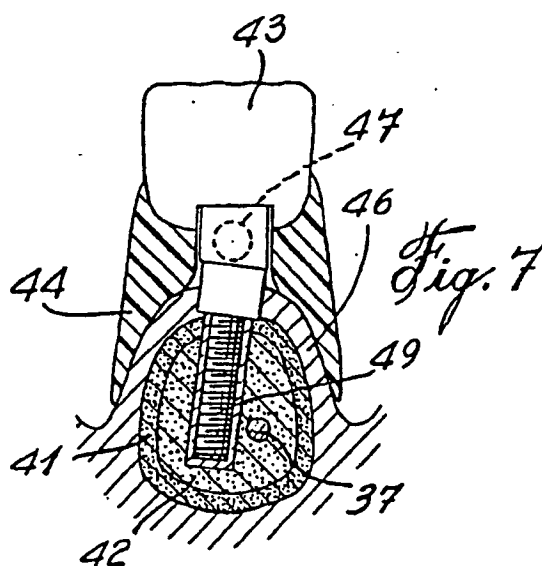
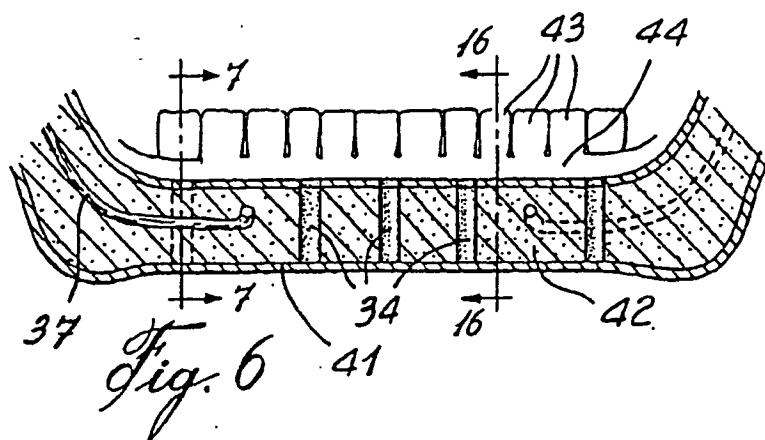
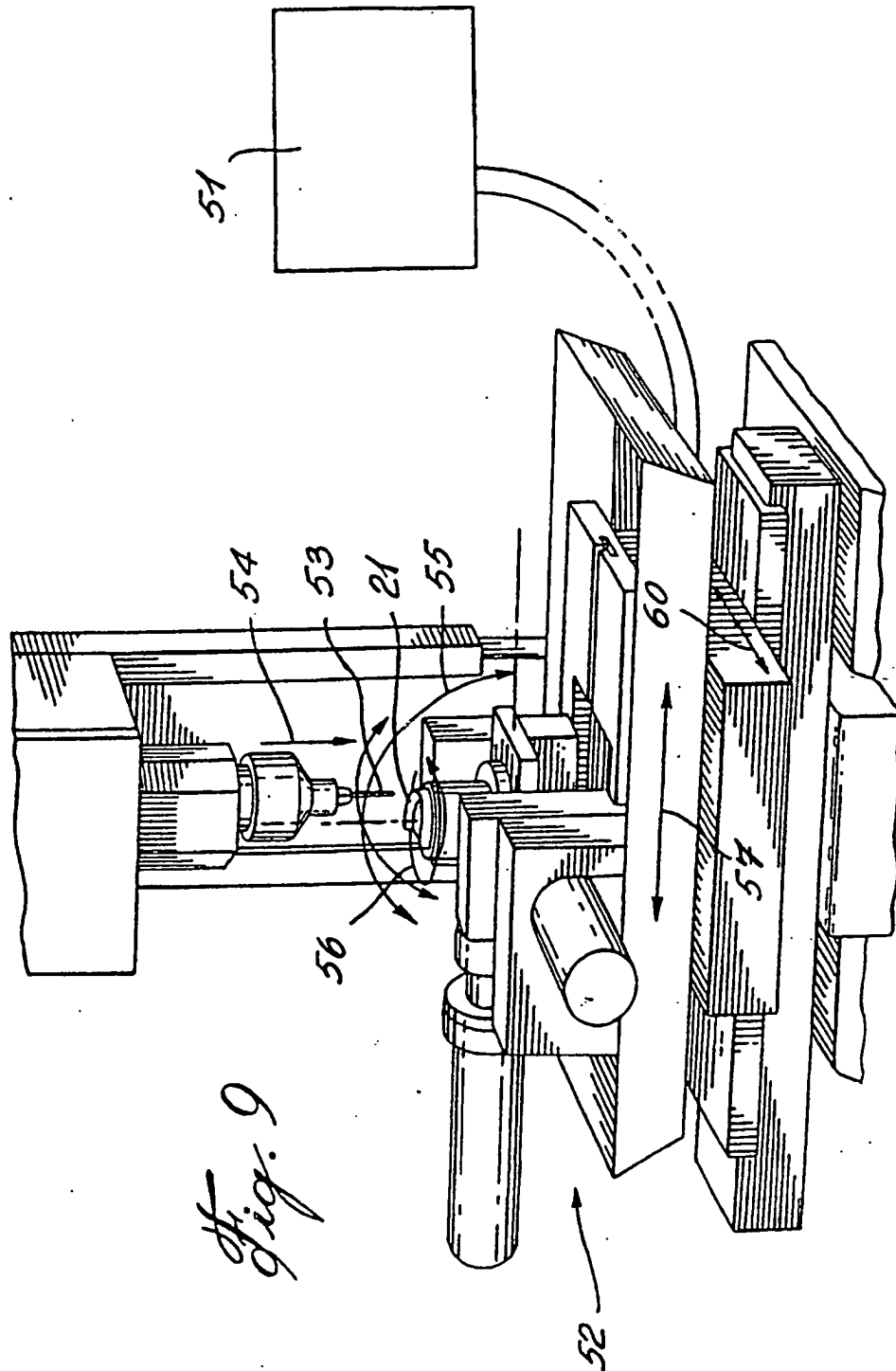
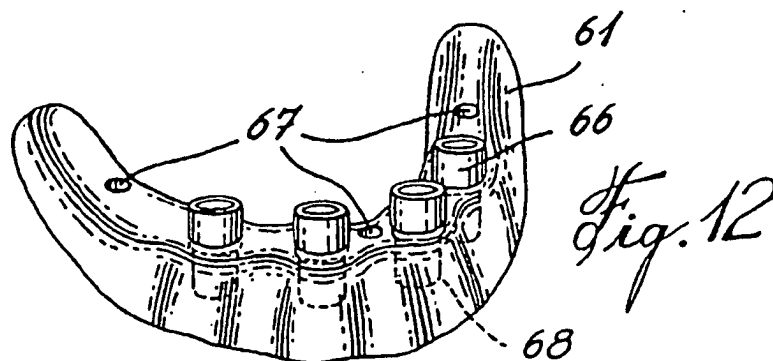
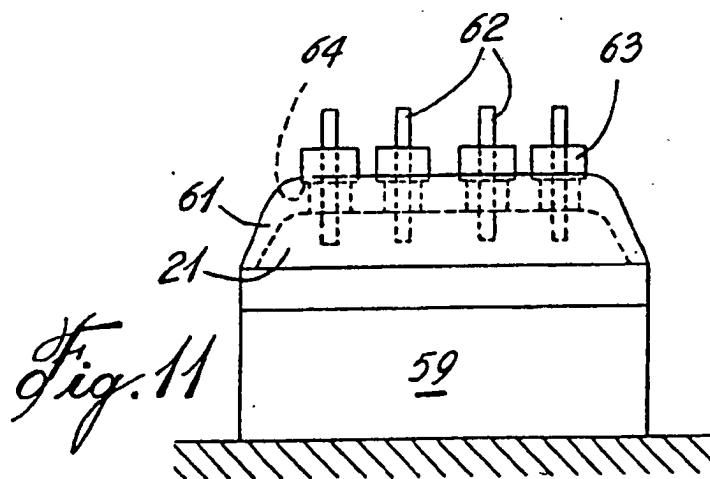
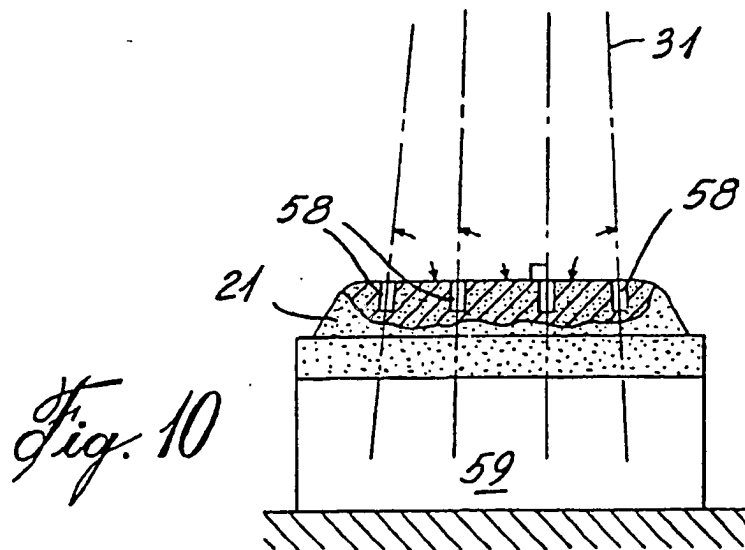


Fig. 4









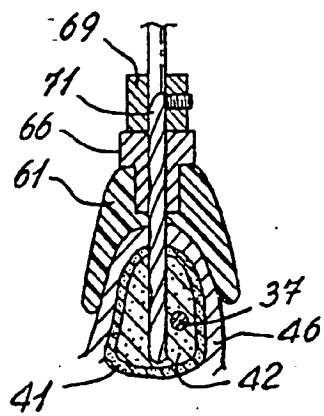


Fig. 13

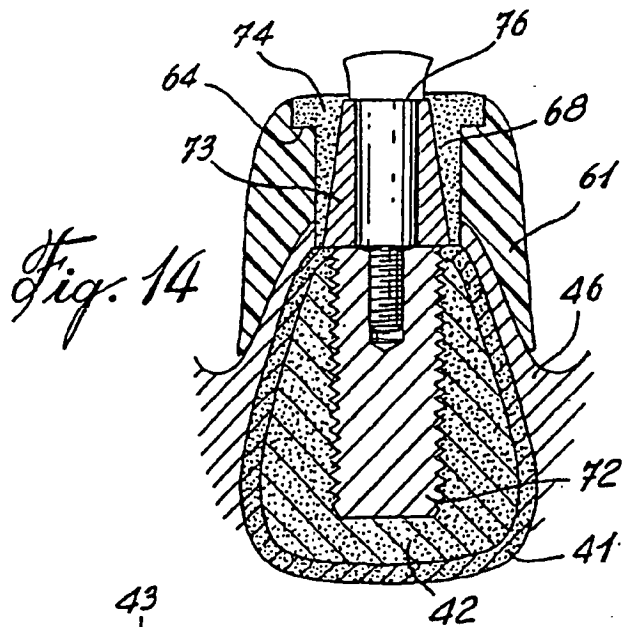


Fig. 14

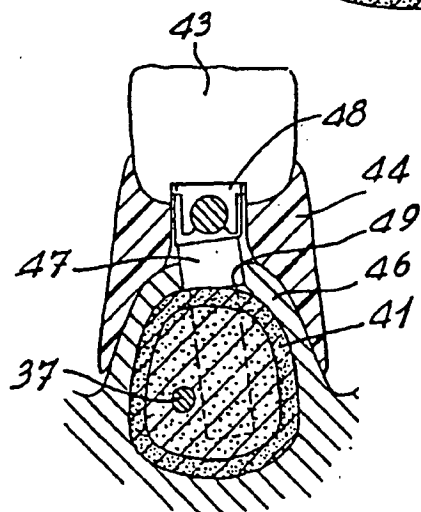


Fig. 16

Fig. 15

