(19) **Bundesrepublik Deutschland**
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 698 15 155 T2** 2004.03.11

(12) # Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 1 041 939 B1**
(21) Deutsches Aktenzeichen: **698 15 155.0**
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/IL98/00593**
(96) Europäisches Aktenzeichen: **98 959 119.3**
(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 99/034747**
(86) PCT-Anmeldetag: **07.12.1998**
(87) Veröffentlichungstag der PCT-Anmeldung: **15.07.1999**
(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **11.10.2000**
(97) Veröffentlichungstag der Patenterteilung beim EPA: **28.05.2003**
(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **11.03.2004**

(51) Int Cl.[7]: **A61C 7/00**
A61C 7/12

(30) Unionspriorität:
12280797 30.12.1997 IL

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LI, LU, MC, NL, PT, SE

(73) Patentinhaber:
Cadent Ltd., Or Yehuda, IL

(74) Vertreter:
derzeit kein Vertreter bestellt

(72) Erfinder:
TAUB, Eldad, 71908 Reut, IL; KOPELMAN, Avi, 52233 Ramat-Chen, IL

(54) Bezeichnung: **VIRTUELLE ORTHODONTISCHE ZAHNBEHANDLUNG**

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 UND HINTERGRUND DER ERFINDUNG

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft im Allgemeinen das Gebiet der Kieferorthopädie.

[0002] Die WO94/10935 beschreibt ein System und ein Verfahren, durch welches kieferorthopädische Anwendungen automatisch geplant und aus digitalen Daten der Unterkiefer- und Zahnform der Person hergestellt werden.

[0003] Eine kieferorthopädische Behandlung hat die Ziele, sowohl zu funktionellen wie auch zu ästhetischen Zwecken die Zähne zu bewegen und neu zu orientieren. Bei einer solchen Behandlung platziert der Kieferorthopäde eine Reihe kieferorthopädischer Komponenten auf die Zähne, einschließlich Brackets, die fest an die Zähne befestigt werden, und andere Komponenten, umfassend Drähte, Spannfedern, etc., die Kräfte und Momente über die Brackets auf die Zähne aufbringen, wodurch verursacht wird, dass sich die Zähne bewegen. Ein hauptsächliches Problem, das sich dem Kieferorthopäden stellt, besteht darin, das endgültige Resultat der kieferorthopädischen Behandlung vorauszusagen. Ein weiteres Problem, das zu beachten ist, besteht darin, die Brackets an der richtigen Stelle zu platzieren und die richtigen Kraft induzierenden Komponenten auszuwählen, um das gewünschte Ergebnis bestmöglich zu erzielen. Derzeit basieren die Planung und die Vorhersage einer kieferorthopädischen Behandlung hauptsächlich auf dem persönlichen "Aussehen und Gesamteindruck" sowie auf der bisherigen Erfahrung und Fertigkeit des Kieferorthopäden. Dieser Ansatz ist nicht nur fehleranfällig, sondern ändert sich auch von einer Person zur anderen, was offensichtlich unerwünscht ist.

[0004] Demgemäß besteht im Stand der Technik ein Bedarf, für den Kieferorthopäden ein Werkzeug für die optische Darstellung, Planung und Vorhersage des möglichen Ergebnisses einer kieferorthopädischen Behandlung zu schaffen. Durch diese Erfindung wird ein Verfahren und ein System dafür geschaffen.

ALLGEMEINE BESCHREIBUNG DER ERFINDUNG

[0005] Im Zusammenhang mit der vorliegenden Beschreibung und den angefügten Ansprüchen bezieht sich der Ausdruck "Bewegung" oder "bewegen" auf die Neupositionierung der Zähne, die Neuorientierung der Zähne, oder auf beides. Der Ausdruck "kieferorthopädische Behandlung" bezieht sich auf eine Behandlung, die darauf abzielt, mindestens einen Zahn zu bewegen; namentlich ist zu verstehen, dass eine kieferorthopädische Behandlung ein Verfahren beinhaltet, bei dem alle oder nur ein Teil der Zähne (z. B. Zähne eines Kiefers, eine Gruppe von Zähnen in einem Abschnitt eines Kiefers, etc.) bewegt werden. Des Weiteren bezieht sich der Ausdruck "kieferorthopädische Behandlung" sowohl auf eine Behandlung, die auf das Erzielen einer Bewegung abzielt, um ein endgültiges, nahezu ideales Ergebnis der Behandlung zu erreichen, wie auch auf eine vorläufige Behandlung, die eine vorläufige Positionierung und Orientierung der Zähne ergibt. Mit anderen Worten umfasst der hierin erwähnte Ausdruck „kieferorthopädische Behandlung" sowohl eine Behandlung von einem Anfangsstadium, d. h. bevor die Behandlung begonnen hat, bis zu einem Endstadium; eine Behandlung von einem Anfangsstadium bis zu einem Zwischenstadium; sowie eine Behandlung von einem Zwischenstadium bis zu einem anderen Zwischen- oder Endstadium.

[0006] Der Ausdruck "virtuelle Behandlung" (gelegentlich auch als virtuelle kieferorthopädische Behandlung bezeichnet), wie er hierin verwendet wird, bedeutet eine kieferorthopädische Behandlung, wie sie auf einem Computer simuliert wird. Eine virtuelle Behandlung kann virtuelle Komponenten (d.. h.

[0007] "Komponente" in der virtuellen Computerumgebung), wie zum Beispiel Brackets, Drähte, Spannfedern oder Gummibänder, die realen Komponenten entsprechen, wie sie (in) einer wirklichen kieferorthopädischen Behandlung verwendet werden, kann aber auch Komponenten verwenden, die üblicherweise nicht in einer realen Behandlung verwendet werden; und auch Komponenten, die in einer realen Behandlung verwendet werden, die jedoch in der virtuellen Behandlung in einer anderen Weise verwendet werden. So kann zum Beispiel eine virtuelle kieferorthopädische Behandlung Drähte verwenden, die üblicherweise nicht in einer realen kieferorthopädischen Behandlung verwendet werden; kann Drähte mit einem anderen Querschnitt verwenden, als bei solchen, die in einer realen kieferorthopädischen Behandlung verwendeten, kann Drähte und Brackets in einer Art kombinieren, wodurch die Brackets in eine rotierende Bewegung um die Achse des Drahtes vorgespannt werden, was üblicherweise in einer wirklichen kieferorthopädischen Behandlung nicht gemacht wird, etc. Es ist daher einzusehen, dass das Ergebnis einer virtuellen Behandlung nicht notwendigerweise das Gleiche ist, wie die tatsächliche reale Behandlung.

[0008] Im Folgenden werden ein Verfahren und ein System für die virtuelle Behandlung offenbart. Manuelle Systeme können von einem Kieferorthopäden verwendet werden, um unterschiedliche alternative Behandlungsmuster zu prüfen und diese untereinander zu vergleichen, um zu sehen, welches das beste Ergebnis ergibt. Zum Beispiel kann der Kieferorthopäde eine Behandlung, wo ein oder mehrere Zähne gezogen werden, mit einer anderen Behandlung vergleichen, bei der alle Zähne intakt gelassen werden. Darüber hinaus können das System und das Verfahren es dem Kieferorthopäden auch erlauben, die kieferorthopädischen Komponenten, die er schließlich bei der realen Behandlung verwendet, auszuwählen, um den Verlauf, die Zeit und die Kosten der Behand-

lung vorherzusagen. All das wird aus der unten stehenden Offenbarung klar werden.

[0009] Aus der unten stehenden Offenbarung wird auch klar werden, dass die kieferorthopädische Behandlung so gemacht werden kann, um einer realen Behandlung ähnlich zu sein, wenn auch nicht notwendigerweise, und gelegentlich kann die kieferorthopädische Behandlung Komponenten verwenden oder einen Satz von Regeln anwenden, die nicht direkt auf die reale Behandlung anwendbar sind.

[0010] Die vorliegende Erfindung schafft durch einen ihrer Aspekte ein Verfahren zur virtuellen kieferorthopädischen Behandlung, welche die Schritte umfasst, dass:

(a) ein erstes virtuelles dreidimensionales Abbild geschaffen wird, welches ein dreidimensionales (3D)-Modell von Zähnen mindestens eines Kiefers anzeigt, wobei das Modell manipuliert werden kann, um so seine Betrachtung von einer gewünschten Richtung aus zu gestatten;

(b) ein virtueller Satz von kieferorthopädischen Komponenten ausgewählt wird, und diese Komponenten mit den Zähnen des ersten Abbildes verbunden werden, um so ein zweites Abbild des 3D- Modells mit den zu diesem zugehörigen Komponenten zu erhalten;

(c) ein Satz von Regeln verwendet wird, umfassend zumindest eine Regel, welche die Wirkung des Satzes von Komponenten auf die Zähne definiert, und die Berechnung der Art der Bewegung der Zähne als ein Ergebnis dieser Wirkung, um ein drittes Abbild zu erhalten, welches das Modell der Zähne umfasst, das der virtuellen Behandlung folgt.

[0011] Der Satz kieferorthopädischer Komponenten, der in Schritt (b) ausgewählt wurde, umfasst Komponenten, die dazu in der Lage sind, eine Bewegung zwischen zumindest zwei Zähnen zu gewähren. Zum Beispiel kann der Satz zumindest zwei Brackets und einen Draht umfassen, kann Gummibänder oder Spannfedern, welche die Zähne gegeneinander drücken, beinhalten, etc. Typischerweise umfasst der Satz kieferorthopädischer Komponenten, typischer- aber nicht notwendigerweise, etwa 5 bis etwa 10 Brackets im Fall eines Kiefers eines Kindes, und zwischen etwa 5 und etwa 16 im Fall eines Kiefers eines Erwachsenen.

[0012] Der Satz kieferorthopädischer Komponenten kann als ein Abbild dargestellt werden, das dem Abbild der wirklichen kieferorthopädischen Komponente entspricht, wie sie in Wahrheit gesehen wird. Jedoch kann die kieferorthopädische Komponente auch durch beliebige andere grafische Darstellungen dargestellt werden. Zum Beispiel kann der Draht durch eine gerade oder gekrümmte Linie dargestellt werden, ein Bracket kann durch einen rechteckigen Rahmen dargestellt werden, etc.

[0013] In Übereinstimmung mit einigen Ausführungsformen der Erfindung umfasst der Satz von Komponenten Brackets und einen Draht, und die Regel diktiert, dass schließlich alle Schlitze, die den Draht aufnehmen, mit dem Draht ausgerichtet werden, wobei Letzterer als eine keilförmige Krümmung angeordnet ist, die das gewünschte Ergebnis der virtuellen Behandlung anzeigt. Mit anderen Worten, in diesem Fall stellt der Draht die gewünschten Ergebnisse der Ausrichtung aller Schlitze als Folge der virtuellen Behandlung dar. Daher wird bei einer solchen Ausführungsform eine Komponente, die eine reale Komponente darstellt, d. h. ein Draht, in einer anderen Weise als in der realen Behandlung verwendet, insofern, als sie das Ergebnis der Behandlung diktiert. Diese Ausführungsform illustriert daher ein allgemeines Prinzip in einigen Ausführungsformen der Endung, wobei während bei einer realen Behandlung Komponenten zusammenwirken, um Kräfte auf Zähne aufzubringen, und die Bewegung ein Ergebnis von solchen aufgebrachten Kräften ist, in einer virtuellen Behandlung die Komponenten ebenfalls das endgültige Ergebnis diktieren können. Dies schließt jedoch nicht eine Möglichkeit aus, in Übereinstimmung mit einigen anderen Ausführungsformen der Erfindung, in welchen die Bewegung der Zähne durch Kräfte und Momente diktiert wird, die in diesem Fall der Satz von Regeln sind, die auf die Zähne unter dem Einfluss der verschiedenen Komponenten wirken.

[0014] Daher können, wie zu erkennen sein wird, die Komponenten und der Satz von Regeln gelegentlich einander zugehörig sein. Nimmt man die zuvor illustrierte Ausführungsform als ein Beispiel, so besitzt die Komponente, die ein Draht ist, der eine keilförmige Krümmung definiert, eine zugehörige Regel, welche diktiert, dass sich die Brackets mit den zugehörigen Zähne bewegen sollten, vertikal aber möglicherweise auch horizontal, sodass alle Brackets schließlich so positioniert sind, dass sich ihre jeweiligen Schlitze auf der durch den Draht definierten keilförmigen Krümmung befinden. Zusätzlich zu dem gewünschten endgültigen Ergebnis kann der Satz von Regeln auch den Rechenalgorithmus angeben, der die Art der Bewegung der Zähne definiert, um das endgültige Ergebnis zu erzielen.

[0015] Der Satz von Regeln kann zum Beispiel unter bestimmten Umständen die Entfernung des Zahnes erlauben. Zum Beispiel kann im Fall eines Engstandes, d. h. nicht genügend Platz für alle Zähne, um eine ideale Lage und Orientierung einzunehmen (eine Lage und Orientierung, sodass die Spitze aller Zähne im Wesentlichen auf einer keilförmigen Krümmung liegt), ein störender Zahn entfernt werden. Das Entfernen kann in einer Ausführungsform automatisch erfolgen, in einer anderen Ausführungsform kann in einem solchen Fall der Benutzer entscheiden, welcher Zahn entfernt werden soll.

[0016] Wie unten in größerem Detail erklärt wird erklärt, ist der Satz von Regeln nicht auf eine spezifische Implementierung beschränkt. Daher kann beispielsweise der Satz von Regeln aus einer Datenbank mit einem statischen Satz von Regeln entnommen werden, oder, als weiteres Beispiel, aus einer

dynamischen lernenden Datenbank, die ein Regelwerk enthält, das abhängig von z. B. verschiedenen Eigenschaften des individuellen Patienten, welcher der Behandlung unterzogen wird, eingestellt werden kann.

[0017] Der Zweck der virtuellen kieferorthopädischen Behandlung kann darin bestehen, die relative Orientierung der Zähne zu verändern, einen Abstand zwischen den Zähnen verändern, die Inter-Okklusion des Abstandes zwischen Zähnen gegenüberliegender Kiefer zu verändern, etc.

[0018] In Übereinstimmung mit einem Beispiel, bei dem die Zähne so sind, dass sie nicht den gesamten Raum in einem Kiefer ausfüllen, (namentlich wenn sich der Rand eines Zahnes in der Nähe eines benachbarten Zahnes befindet), kann der Satz von Regeln auch die Hinzufügung eines Zahnes gestaten, der, im Fall eines Kiefers eines Kindes, einen Zahn darstellt, der noch nicht gewachsen ist, oder, im Fall eines Kiefers eines Erwachsenen, eine Krone darstellt, die in einer realen Behandlung implantiert werden kann.

[0019] Die Schritte (b) und (c) können viele Male wiederholt werden, bis ein erwünschtes Ergebnis der virtuellen Behandlung erhalten wird. In einem wiederholten Schritt (b) kann eine Komponente, die schon in einem früheren Schritt ausgewählt wurde, mit dem Zahnmodell auf eine unterschiedliche Weise in Verbindung gebracht werden, z. B. indem man sie auf einen unterschiedlichen Zahn anwendet, auf eine unterschiedliche Art auf einem Zahn orientiert, etc.; oder es können neue Komponenten, z. B. neue Brackets, neue Gummibänder, ein unterschiedlicher Draht, etc., ausgewählt werden.

[0020] Das 3D-Zahnmodell kann das aller Zähne eines Kiefers sein, kann das Modell von Zähnen beider Kiefer sein, oder kann das Modell eines Teils von Zähnen eines oder beider Kiefer sein.

[0021] Der Ausdruck "zugehörig", wie er hierin verwendet wird, bezeichnet den gesamten Bereich des Kombinierens kieferorthopädischer Komponenten mit Zähnen und typischerweise (aber nicht notwendigerweise) in einer Art, die eine Kombination davon in einer realen Behandlung simuliert. Typische, aber nicht ausschließliche Beispiele sind: Anbringen von Brackets an Zähnen in unterschiedlichen Lagen oder Orientierungen; Befestigen eines Drahtes in den Drahtaufnahmeschlitz eines Brackets; Verschieben von Bracket und Draht relativ zueinander; Verändern des Winkels des Drahtaufnahmeschlitzes innerhalb des Brackets, um so das Drehmoment oder das Moment zwischen dem Draht und dem Bracket zu verändern; Befestigen einer Spannfeder oder eines Bandes um zwei benachbarte Zähne herum; etc. Der Draht, der im Rahmen der virtuellen Behandlung ausgewählt wird, kann verschiedene Geometrien aufweisen, z. B. gerade oder keilförmig gebogen, und verschiedene Formen besitzen, z. B. kreisförmig, oval, rechteckig, etc. (normalerweise, um die ideale Krümmung der Kurve der Anordnung der Zähne in einem Kiefer nachzuverfolgen).

[0022] Gemäß einem anderen Aspekt der Erfindung wird ein Verfahren zur Planung einer kieferorthopädischen Behandlung von Zähnen von mindestens einem Kiefer geschaffen, umfassend:

(a) die Schaffung eines virtuellen dreidimensionalen Abbildes, welches ein dreidimensionales (3D) Modell der Zähne anzeigt, in einer Weise, dass das Modell zur Betrachtung aus einer gewünschten Richtung manipuliert werden kann;

(b) Auswählen eines virtuellen Satzes von kieferorthopädischen Komponenten, die jenen entsprechen, die für die kieferorthopädische Behandlung vorgesehen sind, und Verbinden der Komponenten mit den Zähnen des ersten Abbildes, um ein zweites Abbild des 3D-Modells mit den zu diesem zugehörigen Komponenten in einer Weise zu erhalten, welche die Art, in der die Komponenten und die Zähne in dieser kieferorthopädischen Behandlung kombiniert werden, darstellt;

(c) Verwenden eines Satzes von Regeln, umfassend zumindest eine Regel, welche die Art definieren, wie die Komponenten die Bewegung der Zähne beeinflusst, um ein drittes Abbild zu erhalten, welches das Modell der Zähne nach der durch die Komponenten beeinflussten Bewegung der Zähne umfasst,

(d) Wiederholen der Schritte (a) und (c), bis ein gewünschtes drittes Abbild erhalten wird, welches gewünschte dritte Abbild eine gewünschte Position und Orientierung von Zähnen als Folge der kieferorthopädischen Behandlung darstellt;

(e) Aufzeichnen des zweiten Abbildes, was auf Schritt (c) folgend das gewünschte dritte Abbild ergibt, und Verwenden dieses (Abbildes) als eine Basis zur Planung der kieferorthopädischen Behandlung.

[0023] Das Verfahren in Übereinstimmung mit dem zweiten Aspekt kann, außer dass es die Planung der Behandlung gestattet, auch verwendet werden, um die Länge der Behandlung sowie deren Kosten vorherzusagen.

[0024] Durch einen weiteren Aspekt schafft die vorliegende Erfindung ein System für eine virtuelle kieferorthopädische Behandlung, umfassend:

(a) ein Speichermittel, das in der Lage ist, ein erstes virtuelles dreidimensionales Abbild zu speichern, das ein dreidimensionales Modell von Zähnen zumindest eines, im Wesentlichen vollständigen Kiefers anzeigt;

(b) eine Benutrerschnittstelle zum Ermöglichen der Auswahl eines virtuellen Satzes kieferorthopädischer Komponenten;

(c) einen Prozessor, der in der Lage ist, zumindest:

(c1)das dreidimensionale Modell zu manipulieren, um dessen Betrachtung aus einer gewünschten Richtung zu gestatten

(c2)den Satz mit den Zähnen des ersten Abbildes zu verbinden, um ein drittes Abbild des dreidimensionalen Modells mit den zu diesem zugehörigen Komponenten zu erhalten, und

(c3)einen Satz von Regeln, umfassend zumindest

eine Regel, die eine Wirkung der Komponenten auf die Zähne bestimmt, anzuwenden, um eine virtuelle Bewegung der Zähne als ein Ergebnis der Verbindung mit den Komponenten zu verursachen, um ein drittes Zahnmodell zu erhalten; und
(d) ein Anzeigemittel zum Anzeigen der Abbilder.

[0025] Unabhängig von dem berücksichtigten Aspekt, kann die Erzeugung eines virtuellen dreidimensionalen Abbildes erhalten werden, z. B. indem man der Technik folgt, die in der PCT-Veröffentlichung Nr. WO 97/03622 beschrieben wird, deren Inhalt durch Verweis hierin aufgenommen wird.
[0026] Durch noch einen weiteren Aspekt schafft die Erfindung eine Vorrichtung mit einem Speicher, welcher ein digitales Abbild beinhaltet, das ein dreidimensionales Zahnmodell als Folge einer virtuellen kieferorthopädischen Behandlung darstellt, wobei das Abbild durch ein beliebiges der obigen Verfahren erzeugt wurde.
[0027] Durch einen weiteren Aspekt ist ein Speicher zum Speichern von Daten für den Zugriff durch ein Anwendungsprogramm vorgesehen, das die Schritte (b)–(c) in Übereinstimmung mit einem Verfahren eines jeden der obigen Aspekte implementiert; wobei das Anwendungsprogramm auf einem Datenverarbeitungssystem ausgeführt wird und die Daten ein erstes virtuelles dreidimensionales Abbild darstellen, welches das dreidimensionale Modell der Zähne von einem Kiefer anzeigt.. Auch ist ein Speicher zum Speichern von Daten vorgesehen, die ein zweites virtuelles dreidimensionales Abbild darstellen, das durch Implementierung des obigen Verfahrens erhalten wird.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0028] Zum besseren Verständnis wird die Erfindung nun beispielhaft nur unter Bezugnahme auf die angehängten Zeichnungen beschrieben, in welchen:
[0029] **Fig.** 1 zwei Komponenten, ein Bracket und einen Draht, zeigt, die vom Benutzer in einer virtuellen Behandlung in Übereinstimmung mit einer Ausführungsform dieser Erfindung ausgewählt werden können;
[0030] **Fig.** 2 eine Querschnittsansicht entlang der Linie I–I in **Fig.** 2 ist;
[0031] **Fig.** 3 die selbe Querschnittsansicht wie in **Fig.** 2 nach einer Änderung in dem Schlitzwinkel ist;
[0032] **Fig.** 4 eine Ansicht der Benutrerschnittstelle gemäß einer Ausführungsform der Erfindung zeigt;
[0033] **Fig.** 5A ein Blockdiagramm ist, das die Art illustriert, wie ein Bracket zur Verwendung im Rahmen der virtuellen Behandlung gemäß einer Ausführungsform der Erfindung definiert wird;
[0034] **Fig.** 5B–5D die Brackets zeigen, wie sie in verschiedenen Schritten des Auswahlprozesses gesehen werden;
[0035] **Fig.** 6A ein Blockdiagramm ist, das die Art illustriert, wie ein Draht für die Verwendung innerhalb des Rahmens einer virtuellen Behandlung gemäß einer Ausführungsform der Erfindung definiert wird;
[0036] **Fig.** 6B und **Fig.** 6C die Art zeigen , wie der Draht in verschiedenen Schritten des Verfahrens von **Fig.** 6A gesehen wird;
[0037] **Fig.** 7 ein Blockdiagramm ist, das die Art illustriert, wie in der virtuellen Behandlung gemäß einer Ausführungsform der Erfindung die Brackets auf den Zähnen angebracht werden;
[0038] **Fig.** 8 ein Blockdiagramm ist, das die Schritte des Anpassens der Drähte an die Kiefer und der vertikalen Bewegung der Zähne in eine Lage, die von dem Draht diktiert wird, illustriert;
[0039] **Fig.** 9 ein Blockdiagramm ist, das die Schritte der horizontalen Bewegung der Zähne im Fall eines Engstandes, d. h. wenn die Zähne aneinanderstoßen, illustriert;
[0040] **Fig.** 10A ein Blockdiagramm ist, das die Schritte des Anpassens der Drähte an einen Kiefer gemäß einer weiteren Ausführungsform der Erfindung und der Bewegung der Zähne als ein Ergebnis der virtuellen Kräfte, die vom Draht oder den Zähnen ausgeübt werden, illustriert; und
[0041] **Fig.** 10B und 10C die Art zeigen, wie die Verbindung zwischen dem Draht und den Zähnen in zwei Schritten des Verfahrens von **Fig.** 10A gesehen wird.

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG DER ERFINDUNG

[0042] Die vorliegende Erfindung schafft ein Verfahren und ein System zur virtuellen Bewegung von Zähnen unter Verwendung eines Rahmens oder eines Satzes von Regeln, die auf dem wirklichen Leben basieren, obwohl nicht notwendigerweise damit identisch.
[0043] Im Folgenden kann die Erfindung zeitweise unter Bezugnahme auf verschiedene physikalische Gegenstände, z. B. "Kiefer", "Bracket", "Draht", "Band", etc. beschrieben werden. Es sollte jedoch klar sein, dass sie in den meisten Fällen die Darstellung dieser Elemente, die in der virtuellen Behandlung verwendet werden, impliziert. Es gibt einige Ausnahmen, wo auf wirkliche physikalische Objekte Bezug genommen wird, wobei diese Tatsache auf Grund des Zusammenhanges klar abgeleitet werden kann.
[0044] Die Bewegung von Zähnen in einer virtuellen, computergestützten 3D-Umgebung zum Zwecke der Planung einer kieferorthopädischen Behandlung oder zu irgendeinem anderen Zweck ist eine komplizierte Aufgabe, wenn dies unter Verwendung bisher bekannter Techniken ausgeführt wird. Die Verwendung von Techniken, die dem Kieferorthopäden von einer realen kieferorthopädischen Behandlung bekannt sind, vereinfacht diese virtuelle kieferorthopädische Behandlung.
[0045] Die virtuelle Behandlung kann manchmal erforderlich sein, um dem Kieferorthopäden zu gestatten, ein mögliches Ergebnis einer kieferorthopädi-

schen Behandlung zu bestimmen. Für einen solchen Zweck muss die virtuelle Behandlung nicht unbedingt einem Verlauf folgen, dem man bei der wirklichen kieferorthopädischen Behandlung folgen muss, da das Hauptaugenmerk ausschließlich auf dem endgültigen Ergebnis liegt; namentlich auf der endgültigen Lage und Orientierung der Zähne als Folge der Behandlung. In einer solchen Behandlung kann der Kieferorthopäde kieferorthopädische Komponenten und Kombinationen zwischen solchen Komponenten verwenden, sogar solche, die in der realen kieferorthopädischen Behandlung nicht verwendet werden. Beispiele sind eine Auswahl eines Drahtes mit einer anderen Geometrie als der, wie sie in Wirklichkeit verwendet wird, oder die Veränderung des Schlitzwinkels innerhalb der Brackets, um so einen Drehimpuls auf die Zähne um die Achse des Drahtes (siehe **Fig.** 3) herum zu erzielen.

[0046] Wenn jedoch beabsichtigt ist, dass die virtuelle Behandlung die wirkliche Behandlung zum Zweck der Planung der Behandlung simuliert, werden vorzugsweise (aber nicht notwendigerweise) nur kieferorthopädische Komponenten verwendet, die diejenigen simulieren, die in der realen kieferorthopädischen Behandlung verwendet werden.

[0047] In einem typischen, aber nicht ausschließlichen Ablauf der Tätigkeiten in einer virtuellen Behandlung wählt der Benutzer zuerst Brackets aus und platziert diese an geeigneten Stellen an der Oberfläche der ausgewählten Zähne, normalerweise aller Zähne des Kiefers. In den meisten Fällen werden die Brackets auf der bukkalen Oberfläche der Zähne platziert, gelegentlich jedoch können in der virtuellen Behandlung die Brackets alternativ oder zusätzlich auf den lingualen Oberflächen der Zähne platziert werden (dieser Vorgangsweise kann man manchmal auch in der realen kieferorthopädischen Behandlung folgen).

[0048] In einem nächsten Schritt kann der Benutzer einen gewünschten endgültigen Abstand zwischen den Zähnen definieren (die Vorgabe ist normalerweise null), und wählt dann einen Bogendraht aus einer Bibliothek von solchen Drähten. Die Bibliothek kann Drähte unterschiedlicher Breiten, unterschiedlicher Querschnittsformen und unterschiedlicher Geometrien enthalten. Optional ist es möglich, auch die Geometrie des ausgewählten Drahtes zu verändern, z. B. um ihn dazu zu bringen, einem gewundenen Pfad in einer vertikalen und/oder einer horizontalen Ebene zu folgen, etc.

[0049] Danach kann der Draht dem Modell der Zähne zugeordnet/verbunden werden, z. B. indem dieser, mit virtuellen Brackets, die auf der Zahnoberfläche angepasst sind, kombiniert wird, oder indem dieser zuerst an virtuelle Verankerungs-Backenzähne angebracht wird, und dann an virtuelle Brackets, etc. Die Wirkung der Komponenten auf jeden Zahn wird danach von dem System basierend auf dem Satz von Regeln, um das Ergebnis der virtuellen Behandlung zu bestimmen, berechnet.

[0050] Wenn die virtuelle Behandlung Komponenten verwendet, die reale Komponenten simulieren, können, sobald ein optimales Ergebnis der Behandlung erreicht ist, die Parameter, namentlich der Typ von Komponenten, die verwendet wurden, und die Art, in der sie miteinander und mit dem Modell der Zähne kombiniert wurden, aufgezeichnet werden, und dies kann dann verwendet werden, um eine Vorschrift für die kieferorthopädische Behandlung zu generieren. Eine solche Vorschrift kann den Typ der verwendeten Komponenten, die exakte Lage jeder Komponente, z. B. die Lage des Brackets auf jedem Zahn etc., spezifizieren.

[0051] Die virtuelle Behandlung kann offensichtlich auch ein Werkzeug vorsehen, um die Länge der Behandlung und ihre Kosten zu schätzen.

[0052] Die Erfindung wird nun unter Bezugnahme auf einige spezifische, nicht einschränkende Ausführungsformen weiter illustriert, unter Bezugnahme auf die angehängten Zeichnungen.

[0053] **Fig.** 1 – 3 zeigen Beispiele von einem Satz von Komponenten, die in Übereinstimmung mit einer Ausführungsform der Erfindung verwendet werden können. In dieser spezifischen Ausführungsform bestehen die Komponenten aus einem Bracket **20** und einem Draht **22**, die an einer Oberfläche eines Zahnes **24** befestigt sind, von welchem nur ein Abschnitt zu sehen ist, der durch ein Rechteck dargestellt ist. Der Benutzer hat die Freiheit der Wahl der exakten Lage der Befestigung des Brackets **20** auf der Oberfläche des Zahnes **24** und kann auch den Draht **20** entlang einer Längsachse innerhalb des Aufnahmeschlitzes **26** des Brackets bewegen, wie durch den bidirektionalen Pfeil **28** dargestellt.

[0054] Der Draht und das Bracket können in verschiedenen relativen Orientierungen miteinander verbunden sein. In den in den **Fig.** 1 und 2 gezeigten Beispielen wird der Draht, der in diesem Fall einen rechteckigen Querschnitt aufweist, in einem Schlitz mit Wänden, die parallel mit und normal zur Oberfläche des Zahnes sind, aufgenommen. Durch einige Ausführungsformen der Erfindung ist es möglich, den Winkel des Schlitzes **26** um seine Mittelachse herum zu verändern, wie durch den Pfeil **30** in **Fig.** 2 dargestellt, um einen Zustand wie den in **Fig.** 3 dargestellten zu erreichen, worin der Draht **22'** eine unterschiedliche Winkelorientierung in Bezug auf das Bracket **20'** aufweist, wodurch ein Moment auf den Zahn **24'** ausgeübt wird.

[0055] **Fig.** 4 zeigt ein Beispiel einer Ausführungsform von einer der vielen möglichen Varianten einer Benutrerschnittstelle zur Verwirklichung der anfänglichen Schritte der Auswahl der Komponenten. Der Benutzer kann Brackets aus einer Bibliothek von Brackets auswählen, und kann auf ähnliche Weise Drähte, Bänder, etc. aus entsprechenden Bibliotheken auswählen. Zusätzlich hat der Benutzer die Möglichkeit, die Art der Kräfte, die auf jeden Zahn wirken werden, und deren Richtung zu bestimmen.

[0056] **Fig.** 5A illustriert die Art, wie ein Bracket für

die Verwendung in einer nachfolgenden virtuellen Behandlung definiert wird. Bei diesem Vorgang wird das Bracket in Bezug auf ein relatives Koordinatensystems definiert, um seine nachfolgende Verbindung mit dem Draht zu erlauben, wodurch ein "SCHLITZ"-Bezugsrahmen definiert wird (in **Fig.** 5B und 5C grafisch illustriert), sowie um ein weiteres Koordinatensystem zu definieren, um das Anbringen der Brackets an die Zähne zu erleichtern, wodurch ein "VERBIN- DUNG"-Bezugsrahmen definiert wird (in **Fig.** 5D grafisch illustriert).

[0057] Obwohl die Schritte der Definition der Brackets typischerweise einmal ausgeführt werden, während die Bracket-Bibliothek geschaffen wird, können sie vor jedem virtuellen Behandlungsschritt wiederholt werden, während Brackets für die Behandlung ausgewählt werden.

[0058] **Fig.** 6A illustriert die Schritte des Auswählens eines Drahtes und des Definierens desselben, so dass er in der Folge im Rahmen der virtuellen Behandlung verwendet werden kann. Ein Draht wird ausgewählt, seine anfängliche Krümmung wird definiert (grafisch in **Fig.** 6B illustriert), und dann wird der Draht in einem relativen Koordinatensystem platziert (grafisch in

[0059] **Fig.** 6C illustriert), um so einen "DRAHT"-Bezugsrahmen für die anschließende Verwendung zu definieren. Offensichtlich sollten, wie einzusehen ist, das X-Y-Z-Koordinatensystem des "DRAHT"-Bezugsrahmens und das X-Y-Z-Koordinatensystem des "VERBINDUNG"-Bezugsrahmens einander entsprechen.

[0060] **Fig.** 7 illustriert die Schritte des Anbringens eines Brackets auf einen Zahn.

[0061] Ein Zahnmodell wird erhalten, die Brackets werden aus der Bibliothek ausgewählt und jedes Bracket wird unter Verwendung des "VERBINDUNG"-Bezugsrahmens auf einem Zahn platziert, so dass die Z-Achse des "VER- BINDUNG"-Bezugsrahmens senkrecht zur Oberfläche steht. Sobald das Bracket an der gewünschten Stelle platziert ist, wird es an dieser Stelle fixiert, und danach wird der Vorgang viele Male wiederholt in Übereinstimmung mit der Anzahl der Brackets, die auf den Zähne platziert werden sollen.

[0062] **Fig.** 8 illustriert die Schritte des Anpassens der Drähte an die Kiefer. Die Drähte werden aus einer Bibliothek ausgewählt, und so platziert, dass ihre keilförmige Krümmung mit jener des Kiefers übereinstimmt; oder ihre keilförmige Krümmung kann manchmal bearbeitet werden, um sie in Übereinstimmung mit den speziellen Parametern des Kiefers in einem speziellen Zahnmodell zu korrigieren. In dem gezeigten spezifischen Beispiel wird dieser Vorgang zuerst für den Oberkiefer und dann für den Unterkiefer durchgeführt, obwohl klar ist, dass dieser Ablauf verändert, z. B. umgekehrt, abwechselnd in dem Ober- und Unterkiefer durchgeführt, etc., werden kann.

[0063] In dieser spezifischen Ausführungsform diktieren die Orientierung und die Lage des Drahtes das Endergebnis, d. h. die endgültige Ausrichtung aller Schlitze in dem Bracket. Mit anderen Worten umfasst in dieser spezifischen Ausführungsform ein Satz von Regeln, der in der virtuellen Behandlung angewandt wird, als Minimum eine Forderung nach einer vertikalen Neuausrichtung der Schlitze, und damit der Zähne, an die sie angebracht werden, sodass alle Schlitze den Draht erreichen. Der Satz von Regeln diktiert auch, wie dieses Ergebnis erreicht werden kann. Anders gesagt verbleibt als ein Ergebnis der virtuellen Behandlung in der endgültigen Orientierung, die in dem resultierenden Zahnmodell erhalten wird, der Draht in der selben Lage und die Zähne bleiben verschoben, sodass der Draht in die Schlitze des Brackets schnappt. Dieser Vorgang wird in **Fig.** B. illustriert, wo der Satz von Regeln in den Blöcken **81** und **82** diktiert wird.

[0064] Ein weiterer Satz von Regeln kann im Fall des Aneinanderstoßens der Zähne, d. h. im Fall eines Engstandes, angewandt werden. Dies wird in **Fig.** 9 illustriert, wo die Zähne horizontal bewegt werden, indem sie den Draht entlang gleiten, um ein solches Aneinanderstoßen zu vermeiden.

[0065] Die Art, wie die virtuelle Behandlung durchgeführt wird, kann auch einige Eingriffe des Benutzers gestatten. Zum Beispiel kann der Benutzer einige Zähne definieren, die vielleicht auf ihrem Platz bleiben müssen und andere, denen es gestattet ist, sich zu bewegen. Alternativ kann das System einen ausgedehnteren Freiheitsgrad besitzen, um eine seitliche Bewegung aller Zähne zu gestatten. Wie ebenfalls in **Fig.** 9 illustriert, ist es bei diesem Vorgang möglich, dem Benutzer einen zusätzlichen Freiheitsgrad zu verschaffen, was das Verändern der Lage und/oder Orientierung des Brackets auf der Zahnoberfläche einschließt.

[0066] **Fig.** 10 illustriert eine weitere Ausführungsform der Bewegung der Zähne im Rahmen einer virtuellen Behandlung gemäß der Erfindung.. Wie in **Fig.** 10A illustriert, werden Drähte erhalten, die in der Nähe des Kiefers positioniert sind (in **Fig.** 10B für den Oberkiefer grafisch illustriert), wobei ihre Form so bearbeitet ist, dass sie an die Brackets auf den Zähnen angebracht werden (in **Fig.** 10C grafisch illustriert); dann werden die durch den Draht auf die Zähne aufgebrachten Kräfte berechnet, und die erhaltene endgültige Lage der Zähne kann dann gespeichert werden.

[0067] Die vorliegende Erfindung wurde mit einem gewissen Grad an Besonderheit beschrieben; es sollte jedoch klar sein, dass verschiedene Modifikationen und Veränderungen möglich sind, ohne vom Schutzbereich oder dem Geist der Erfindung abzuweichen, wie durch die folgenden Ansprüche definiert:

Patentansprüche

1. Verfahren zur virtuellen kieferorthopädischen Behandlung, umfassend:

(a) die Schaffung eines ersten virtuellen dreidimensionalen Abbildes, welches das dreidimensionale (3D) Modell eines Zahnes zumindest eines Kiefers anzeigt, wobei das Modell so manipuliert werden kann, dass es aus einer gewünschten Richtung betrachtet werden kann;
(b) Auswählen eines virtuellen Satzes von kieferorthopädischen Komponenten und Verbinden der Komponenten mit den Zähnen des ersten Abbildes, um ein zweites Abbild des 3D-Modells mit den zu diesem zugehörigen Komponenten zu erhalten;
(c) Verwenden eines Satzes von Regeln, umfassend zumindest eine Regel, welche die Wirkung des Satzes von Komponenten auf die Zähne definiert, und Berechnen der Art der Bewegung der Zähne als ein Ergebnis dieser Wirkung, um ein drittes Abbild zu erhalten, welches das Modell der Zähne als Folge der virtuellen Behandlung umfasst,.

2. Verfahren nach Anspruch 1, worin die Schritte (b) und (c) mehrere Male wiederholt werden, bis ein gewünschtes Ergebnis der virtuellen Behandlung erhalten wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1, worin
(i) die virtuelle Behandlung zu dem Zweck durchgeführt wird, dass eine kieferorthopädische Behandlung von Zähnen zumindest eines Kiefers geplant wird;
(ii) Schritt (b) das Auswählen eines virtuellen Satzes kieferorthopädischer Komponenten, die jenen entsprechen, die zur Verwendung in der kieferorthopädischen Behandlung vorgesehen sind, und das Verbinden der Komponenten mit den Zähnen des ersten Abbildes, um ein zweites Abbild des dreidimensionalen Modells mit zu diesem zugehörigen Komponenten zu erhalten, in einer Weise, bei der die Komponenten und die Zähne in der kieferorthopädischen Behandlung kombiniert werden können, umfasst; und des Weiteren umfassend die Schritte:
(d) Wiederholen der Schritte (a) und (c), bis ein gewünschtes drittes Abbild erhalten wird, welches gewünschte dritte Abbild eine gewünschte Positionierung und Orientierung von Zähnen als Folge der kieferorthopädischen Behandlung darstellt:
(e) Aufzeichnen des zweiten Abbildes, was auf Schritt (c) folgend das gewünschte dritte Abbild ergibt, und Verwenden dieses Abbildes als eine Basis zur Planung der kieferorthopädischen Behandlung.

4. System zur virtuellen kieferorthopädischen Behandlung, umfassend:
(a) ein Speichermittel mit der Fähigkeit zur Speicherung eines ersten virtuellen dreidimensionalen Abbildes, das ein dreidimensionales Modell von Zähnen zumindest eines im Wesentlichen vollständigen Kiefers anzeigt;
(b) eine Benutrerschnittstelle zum Ermöglichen der Auswahl eines virtuellen Satzes kieferorthopädischer Komponenten;
(c) einen Prozessor, der in der Lage ist, zumindest:
(c1)das dreidimensionale Modell zu manipulieren, um dessen Betrachtung aus einer gewünschten Richtung zu gestatten
(c2)den Satz mit den Zähnen des ersten Abbildes zu verbinden, um ein drittes Abbild des dreidimensionalen Modells mit den zu diesem zugehörigen Komponenten zu erhalten, und
(c3)einen Satz von Regeln, umfassend zumindest eine Regel, die die Wirkung der Komponenten auf die Zähne bestimmt, anzuwenden um eine virtuelle Bewegung der Zähne als ein Ergebnis der Verbindung mit den Komponenten zu verursachen, um ein drittes Zahnmodell zu erhalten; und
(d) ein Anzeigemittel zum Anzeigen der Abbilder.

5. System nach Anspruch 4, ferner umfassend einen Speicher, der ein digitales Abbild enthält, welches ein dreidimensionales Zahnmodell, als Folge einer virtuellen kieferorthopädischen Behandlung darstellt, wobei das Abbild durch das Verfahren nach einem der Ansprüche 1–3 erzeugt wird.

6. System nach Anspruch 4, ferner umfassend einen Speicher zum Speichern von Daten für den Zugriff durch ein Anwendungsprogramm, welches die Schritte (b)–(c) nach einem der Ansprüche 1–3 implementiert, wobei das Anwendungsprogramm auf einem Datenverarbeitungssystem ausgeführt wird, und die Daten ein erstes dreidimensionales Abbild darstellen, das ein dreidimensionales (3D)- Modell von Zähnen zumindest eines Kiefers anzeigt.

Es folgen 9 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

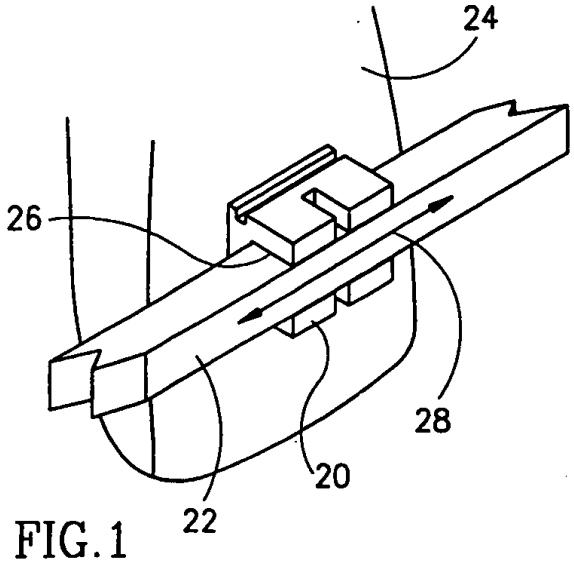

FIG.1

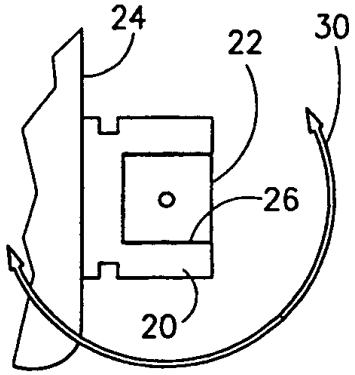

FIG.2

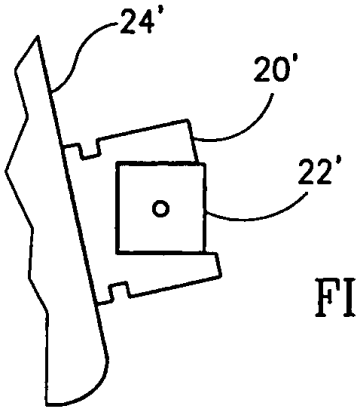

FIG.3

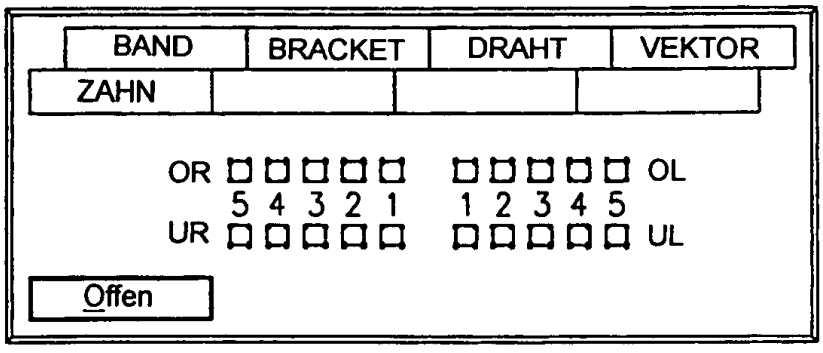

FIG.4

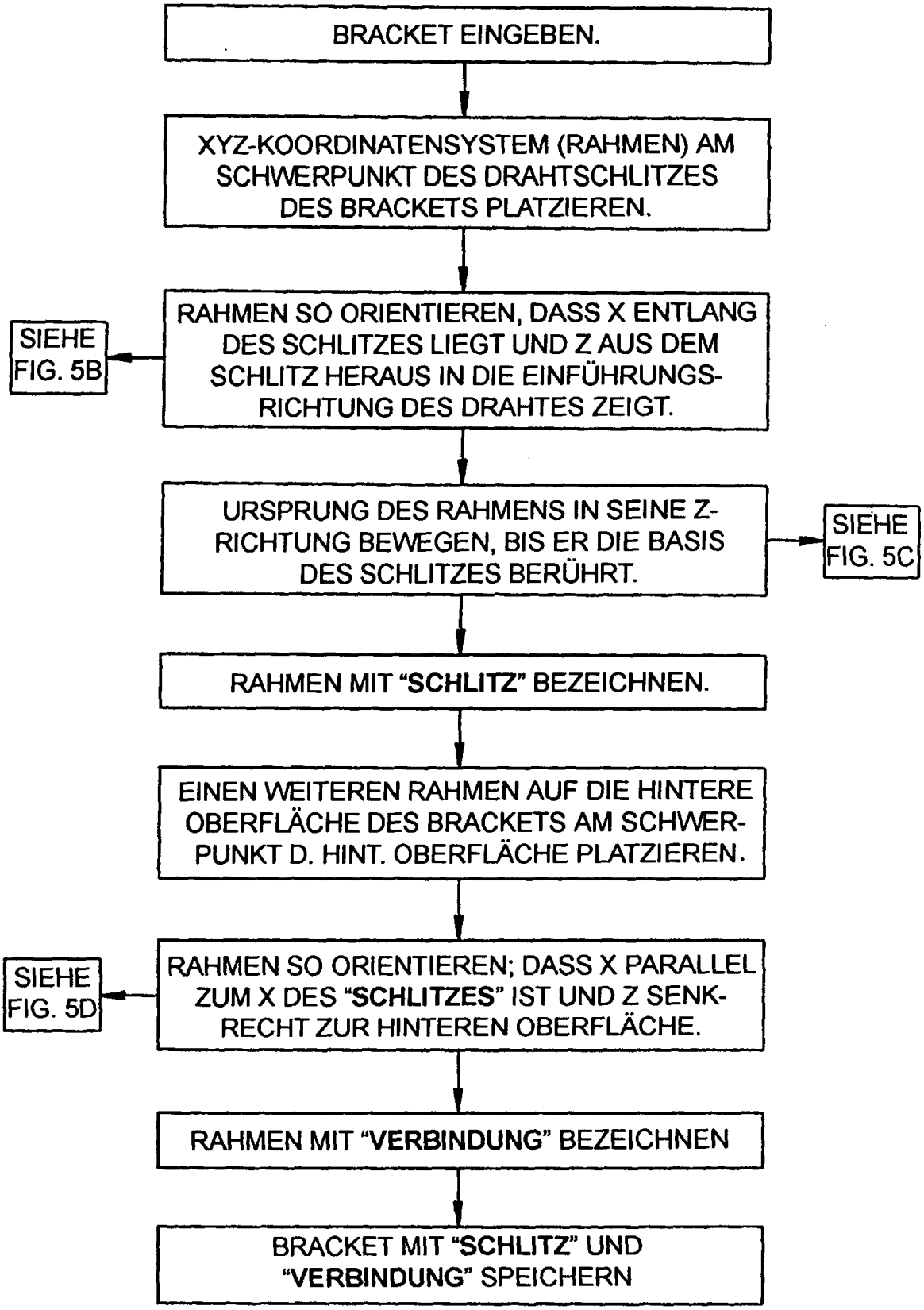
BRACKET EINGEBEN.
XYZ-KOORDINATENSYSTEM (RAHMEN) AM SCHWERPUNKT DES DRAHTSCHLITZES DES BRACKETS PLATZIEREN.
RAHMEN SO ORIENTIEREN, DASS X ENTLANG DES SCHLITZES LIEGT UND Z AUS DEM SCHLITZ HERAUS IN DIE EINFÜHRUNGS-RICHTUNG DES DRAHTES ZEIGT.
SIEHE FIG. 5B
URSPRUNG DES RAHMENS IN SEINE Z-RICHTUNG BEWEGEN, BIS ER DIE BASIS DES SCHLITZES BERÜHRT.
SIEHE FIG. 5C
RAHMEN MIT "SCHLITZ" BEZEICHNEN.
EINEN WEITEREN RAHMEN AUF DIE HINTERE OBERFLÄCHE DES BRACKETS AM SCHWER-PUNKT D. HINT. OBERFLÄCHE PLATZIEREN.
RAHMEN SO ORIENTIEREN; DASS X PARALLEL ZUM X DES "SCHLITZES" IST UND Z SENK-RECHT ZUR HINTEREN OBERFLÄCHE.
SIEHE FIG. 5D
RAHMEN MIT "VERBINDUNG" BEZEICHNEN
BRACKET MIT "SCHLITZ" UND "VERBINDUNG" SPEICHERN

FIG.5A

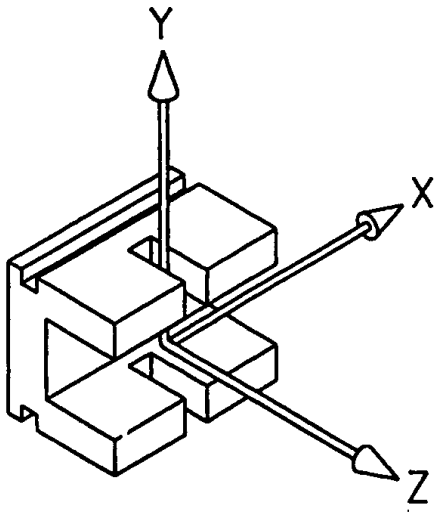

FIG.5B

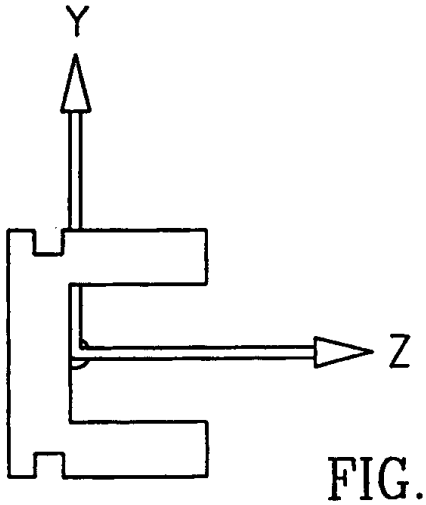

FIG.5C

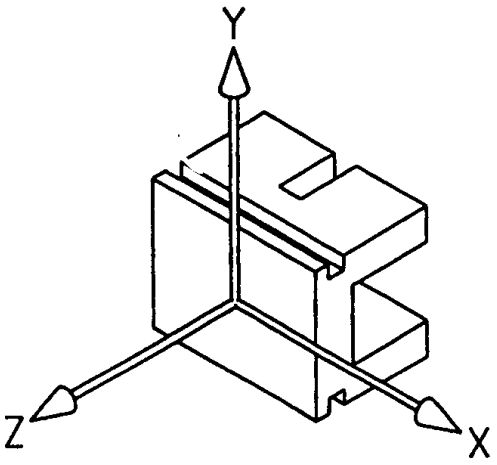

FIG.5D

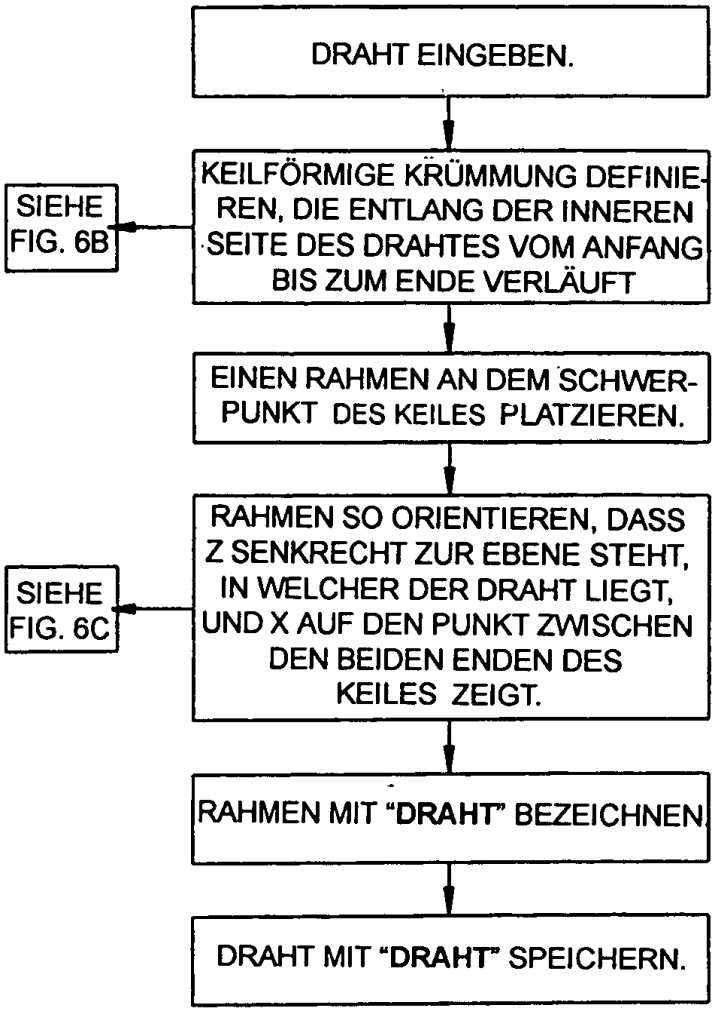

FIG.6A

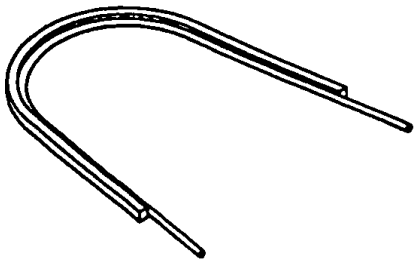

FIG.6B

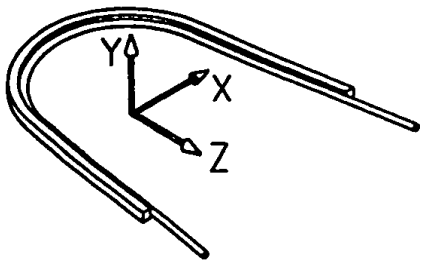

FIG.6C

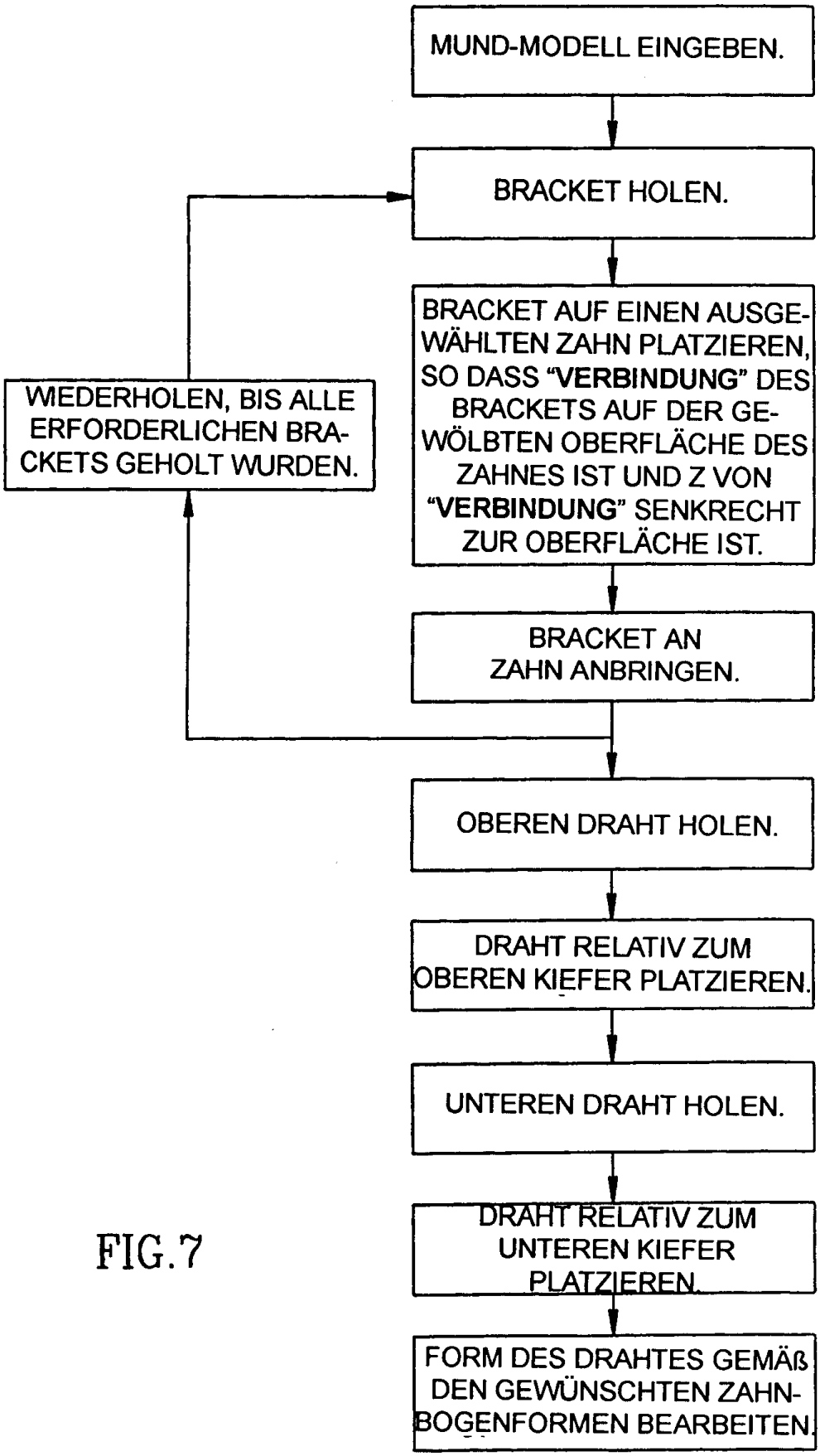
MUND-MODELL EINGEBEN.
BRACKET HOLEN.
BRACKET AUF EINEN AUSGEWÄHLTEN ZAHN PLATZIEREN, SO DASS "VERBINDUNG" DES BRACKETS AUF DER GEWÖLBTEN OBERFLÄCHE DES ZAHNES IST UND Z VON "VERBINDUNG" SENKRECHT ZUR OBERFLÄCHE IST.
BRACKET AN ZAHN ANBRINGEN.
WIEDERHOLEN, BIS ALLE ERFORDERLICHEN BRACKETS GEHOLT WURDEN.
OBEREN DRAHT HOLEN.
DRAHT RELATIV ZUM OBEREN KIEFER PLATZIEREN.
UNTEREN DRAHT HOLEN.
DRAHT RELATIV ZUM UNTEREN KIEFER PLATZIEREN.
FORM DES DRAHTES GEMÄß DEN GEWÜNSCHTEN ZAHNBOGENFORMEN BEARBEITEN.

FIG.7

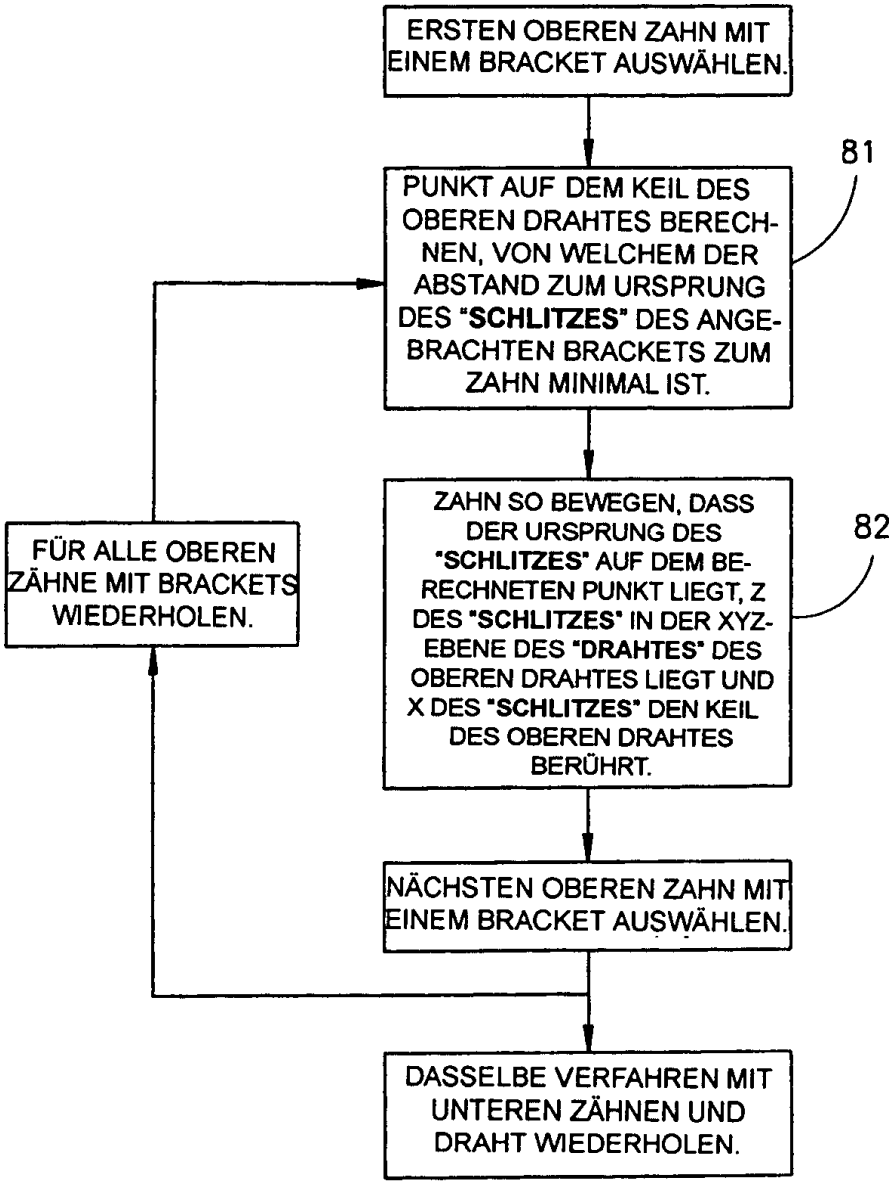
ERSTEN OBEREN ZAHN MIT EINEM BRACKET AUSWÄHLEN.
PUNKT AUF DEM KEIL DES OBEREN DRAHTES BERECHNEN, VON WELCHEM DER ABSTAND ZUM URSPRUNG DES "SCHLITZES" DES ANGEBRACHTEN BRACKETS ZUM ZAHN MINIMAL IST.
81
ZAHN SO BEWEGEN, DASS DER URSPRUNG DES "SCHLITZES" AUF DEM BERECHNETEN PUNKT LIEGT, Z DES "SCHLITZES" IN DER XYZ-EBENE DES "DRAHTES" DES OBEREN DRAHTES LIEGT UND X DES "SCHLITZES" DEN KEIL DES OBEREN DRAHTES BERÜHRT.
82
FÜR ALLE OBEREN ZÄHNE MIT BRACKETS WIEDERHOLEN.
NÄCHSTEN OBEREN ZAHN MIT EINEM BRACKET AUSWÄHLEN.
DASSELBE VERFAHREN MIT UNTEREN ZÄHNEN UND DRAHT WIEDERHOLEN.

FIG.8

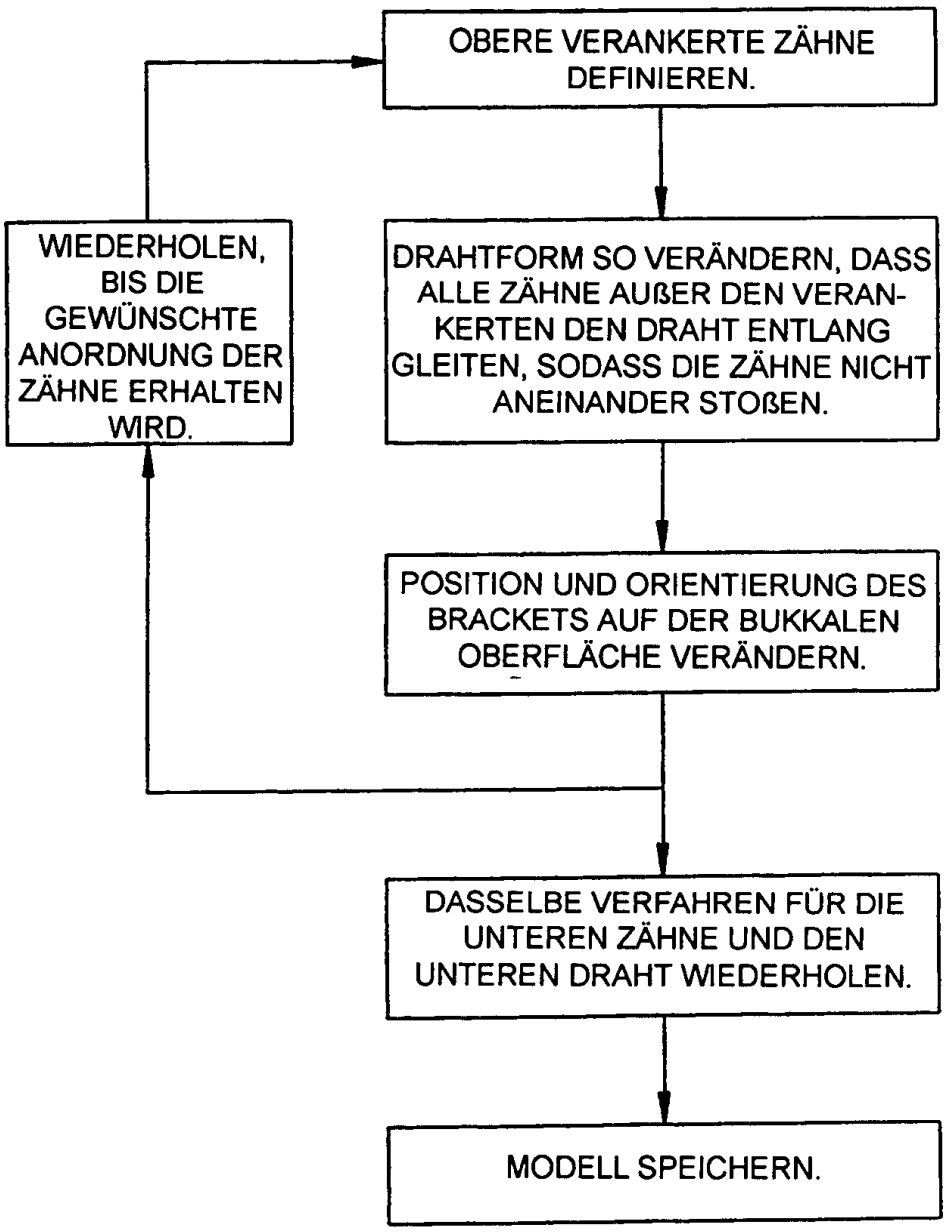
OBERE VERANKERTE ZÄHNE DEFINIEREN.
DRAHTFORM SO VERÄNDERN, DASS ALLE ZÄHNE AUßER DEN VERANKERTEN DEN DRAHT ENTLANG GLEITEN, SODASS DIE ZÄHNE NICHT ANEINANDER STOßEN.
POSITION UND ORIENTIERUNG DES BRACKETS AUF DER BUKKALEN OBERFLÄCHE VERÄNDERN.
WIEDERHOLEN, BIS DIE GEWÜNSCHTE ANORDNUNG DER ZÄHNE ERHALTEN WIRD.
DASSELBE VERFAHREN FÜR DIE UNTEREN ZÄHNE UND DEN UNTEREN DRAHT WIEDERHOLEN.
MODELL SPEICHERN.

FIG.9

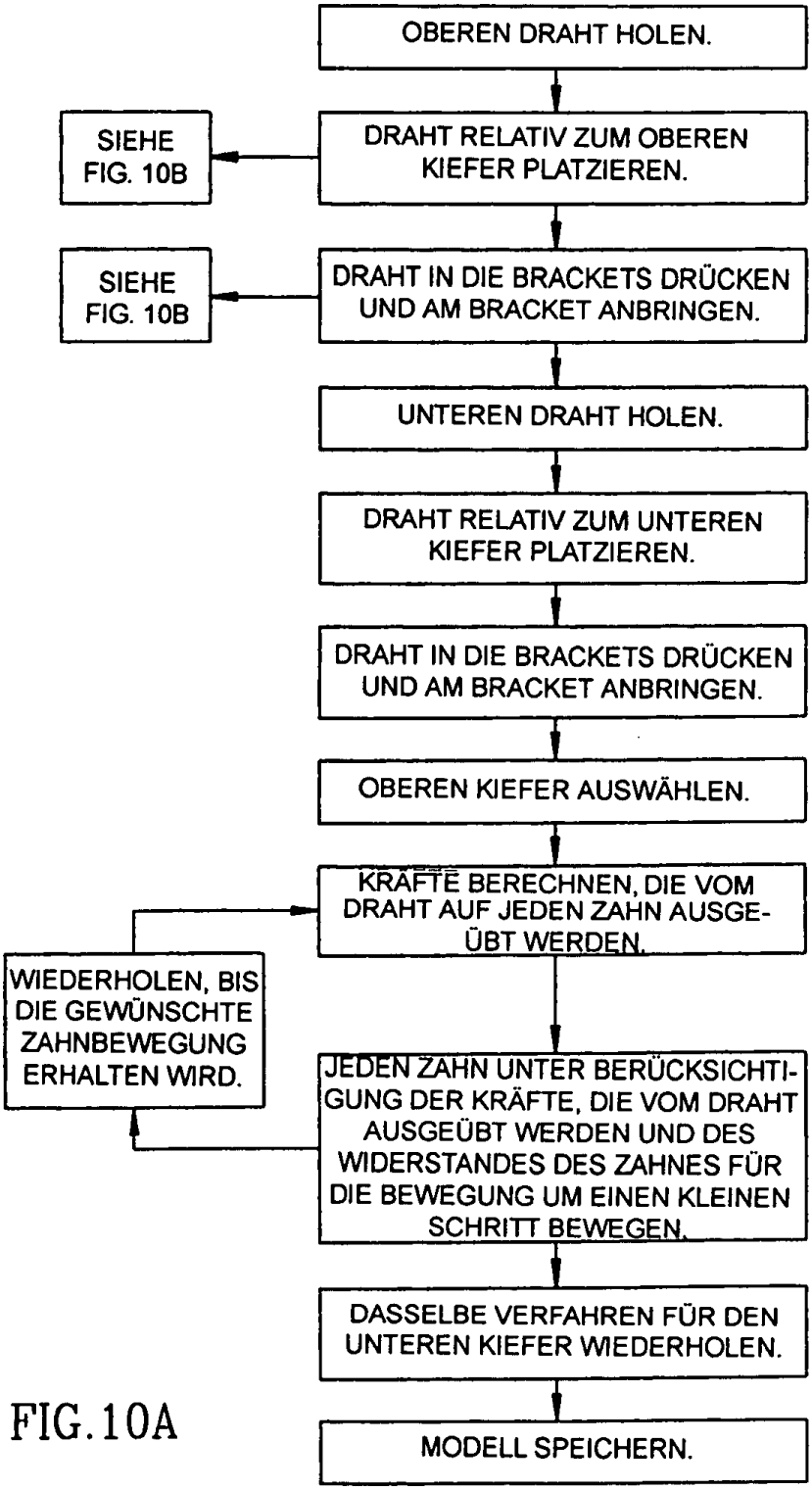
OBEREN DRAHT HOLEN.
SIEHE FIG. 10B
DRAHT RELATIV ZUM OBEREN KIEFER PLATZIEREN.
SIEHE FIG. 10B
DRAHT IN DIE BRACKETS DRÜCKEN UND AM BRACKET ANBRINGEN.
UNTEREN DRAHT HOLEN.
DRAHT RELATIV ZUM UNTEREN KIEFER PLATZIEREN.
DRAHT IN DIE BRACKETS DRÜCKEN UND AM BRACKET ANBRINGEN.
OBEREN KIEFER AUSWÄHLEN.
KRÄFTE BERECHNEN, DIE VOM DRAHT AUF JEDEN ZAHN AUSGEÜBT WERDEN.
WIEDERHOLEN, BIS DIE GEWÜNSCHTE ZAHNBEWEGUNG ERHALTEN WIRD.
JEDEN ZAHN UNTER BERÜCKSICHTIGUNG DER KRÄFTE, DIE VOM DRAHT AUSGEÜBT WERDEN UND DES WIDERSTANDES DES ZAHNES FÜR DIE BEWEGUNG UM EINEN KLEINEN SCHRITT BEWEGEN.
DASSELBE VERFAHREN FÜR DEN UNTEREN KIEFER WIEDERHOLEN.
MODELL SPEICHERN.

FIG.10A

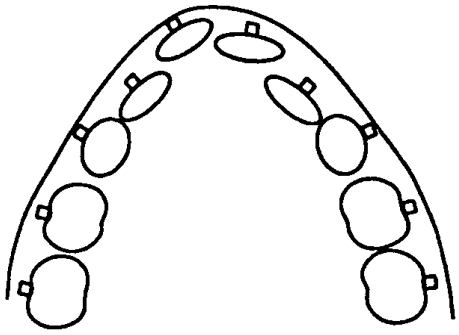

FIG.10B

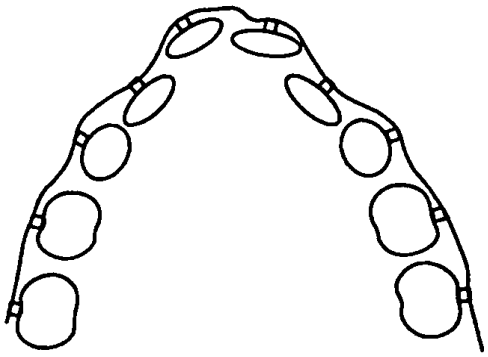

FIG.10C