



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2007 033 998 A1** 2008.04.10

(12)

## Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2007 033 998.6**

(22) Anmeldetag: **19.07.2007**

(43) Offenlegungstag: **10.04.2008**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **A61C 13/34** (2006.01)

**A61C 13/00** (2006.01)

**A61C 5/08** (2006.01)

**A61C 7/00** (2006.01)

(30) Unionspriorität:  
**11/458,485**      **19.07.2006**      **US**

(74) Vertreter:  
**Patentanwälte von Kreisler, Selting, Werner et col.,  
50667 Köln**

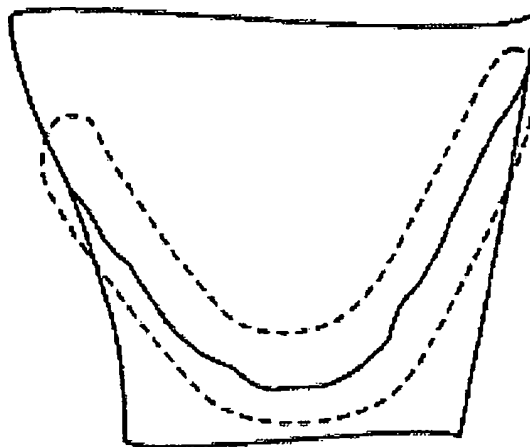
(71) Anmelder:  
**Align Technology, Inc., Santa Clara, Calif., US**

(72) Erfinder:  
**Matov, Vadim, San Jose, Calif., US; Cheng, Jihua,  
Cupertino, Calif., US**

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

(54) Bezeichnung: **System und Verfahren zur dreidimensionalen vollständigen Zahnmodellierung**

(57) Zusammenfassung: Es werden ein System und ein Verfahren zum Modellieren eines vollständigen Zahns, einschließlich der Wurzel und der Krone, eines Patienten bereitgestellt, um eine orthodontische Behandlung zu erleichtern, wobei eine Modellierung eines generischen Zahn mit einer Zahnkronen-Modellierung für einen Patienten kombiniert wird, um eine vollständige Zahnmodellierung zu erzielen. Gemäß einem Ausführungsbeispiel wird eine generische dreidimensionale Modellierung für einen bestimmten Zahn mit einem dreidimensionalen Modell der Krone des Patienten für den entsprechenden Zahn gemorphen, um ein vollständiges dreidimensionales Modell für diesen Zahn zu erhalten. Derartige Modellierungstechniken können mittels eines oder mehrerer computergestützter Systeme durchgeführt werden, wie z. B. mittels Systemen, die konfiguriert sind zum Speichern von Patienten-Daten und generischen Zahn-Daten, zum Morphen der Daten und/oder zum Erleichtern zusätzlicher Anwendungen zur orthodontischen Behandlung, und zwar unter Verwendung eines oder mehrerer Algorithmen. Eine weitere Anpassung des vollständigen Zahnmodells für den Zahn kann auf der Basis weiterer Patienten-Information wie z. B. Röntgenbilder vorgenommen werden, um Variationen der Wurzelform zwischen einer generischen Wurzel und der realen Wurzelform eines Patienten zu berücksichtigen.



Verknüpfen ohne Glätten

**Beschreibung**

## Technisches Gebiet

**[0001]** Die Erfindung betrifft generell das Gebiet der Zahnbehandlung und/oder orthodontischen Behandlung und insbesondere ein System und ein Verfahren zum dreidimensionalen Modellieren eines vollständigen Zahns oder mehrerer vollständiger Zähne des Patienten einschließlich der Wurzel und der Krone, um eine Zahnbehandlung und/oder orthodontische Behandlung zu erleichtern.

## Hintergrund der Erfindung

**[0002]** Die Möglichkeit zum Durchführen einer präzisen und vollständigen Modellierung eines Zahns bildet ein wichtiges Element auf dem zunehmend umfangreichen Gebiet der computerisierten Orthodontie und anderer computergestützter Zahnbehandlungssysteme. Die derzeitigen Techniken der auf Abdrücken basierenden computerisierten Orthodontie sind auf das Modellieren der Krone des Zahns des Patienten beschränkt, wie z.B. auf das Erfassen von Information zur Form der Zahnkrone und des Zahnfleischs, bieten jedoch nicht die Möglichkeit des Erfassens oder Verwendens entsprechender Information, welche die Zahnwurzel betrifft. Folglich wird bei diesen Abdrucktechniken die Wurzel-Komponente nicht in das vorliegende Zahnmodell einbezogen, und eine Bewegung der Wurzel sowie eine Interaktion der Wurzel mit dem Zahnfleisch können nicht berücksichtigt werden. Dies schränkt die Möglichkeit ein, mit Hilfe eines vollständigen Zahnmodells eine orthodontische Behandlung zu erleichtern. Die Ermangelung einer Möglichkeit des Berücksichtigens einer Wurzelbewegung kann auch zu einer Wurzelkollision führen, die den orthodontischen Behandlungsvorgang behindert.

**[0003]** Ein vollständiges Zahnmodell, das für jeden Zahn sowohl die Wurzel- als auch die Kronen-Komponente aufweist, wäre äußerst vorteilhaft zur Optimierung der Diagnostik und der Behandlungsplanung und -analyse, wie z.B. bei der phasenweisen Planung und Simulation, der Kollisionsdetektion, der Finite-Elemente-Analyse, oder bei Biometrie- und Masseeigenschaften-Berechnungen, um nur einige Aspekte zu nennen.

**[0004]** Ferner wäre ein derartiges vollständiges Zahnmodell von äußerstem Vorteil bei der Herstellung von Vorrichtungen, die an Zähnen appliziert werden, wie z.B. einem Aligner.

## Überblick über die Erfindung

**[0005]** Gemäß verschiedenen Aspekten der vorliegenden Erfindung werden zur Erleichterung einer Zahnbehandlung und/oder orthodontischen Behand-

lung ein System und ein Verfahren vorgeschlagen, die zum dreidimensionalen Modellieren eines oder mehrerer vollständiger Zähne eines Patienten unter Einbeziehung sowohl der Zahnwurzel als auch der Zahnkrone in der Lage sind, wobei ein generisches Zahnmodell, das generische Wurzel- und Kronen-Komponenten aufweist, mit einem nur die Krone umfassenden Modell eines oder mehrerer realer Zähne des Patienten kombiniert wird, um ein vollständiges Zahnmodell zu erhalten, das sowohl die Wurzel- als auch die Kronen-Komponenten umfasst. Gemäß einem Ausführungsbeispiel wird ein generisches dreidimensionales Zahnmodell für einen bestimmten Zahn generiert und dann automatisch mit einem dreidimensionalen Modell der realen Krone des Zahns des Patienten gemorphet, um ein vollständiges dreidimensionales Modell für diesen Zahn zu erhalten. Ein derartiges Verfahren kann in wirksamer Weise für jeden der verschiedenen Zähne eines Patienten angewandt werden, wie z.B. Molare, Prämolare, Eckzähne, oder jeden anderen Zahn eines Patienten. Zu den verschiedenen Ausführungsbeispielen zählen Verfahren und Systeme zum automatischen Generieren von Morphing-Landmarks, eine Modell-Segmentierung, eine Wurzel- und Kronen-Verknüpfung und/oder das Anpassen eines dreidimensionalen Wurzelmodells. Derartige Modellierungstechniken können mittels eines oder mehrerer computerbasierter Systeme durchgeführt werden, z.B. mittels Systemen, die ausgelegt sind zum Speichern der Daten des realen Patienten-Zahns und der Daten des generischen Zahns, zum Morphing von Daten des generischen Zahns mit den Daten des Patienten-Zahns, und/oder zum Erleichtern zusätzlicher, die orthodontische Behandlung betreffender Anwendungsfälle durch Verwendung eines oder mehrerer Algorithmen.

**[0006]** Gemäß einem Ausführungsbeispiel kann eine weitere Anpassung des vollständigen Zahnmodells für den Zahn auf der Basis zusätzlicher – z.B. in Form von Röntgenbildern oder dgl. vorliegender – Patienten-Information zu der realen Wurzel und/oder Krone durchgeführt werden, um die Wurzel betreffende Abweichungen zwischen einer gemorphten generischen Wurzel und einer realen Form der Patienten-Wurzel einzubeziehen und dadurch eine Wurzelform des Zahnmodells zu erhalten, die der realen Wurzelform des realen Zahns enger angepasst ist.

## Kurzbeschreibung der Zeichnungen

**[0007]** Ausführungsbeispiele der Erfindung werden anhand der beigefügten Figuren der Zeichnung, in denen gleiche Elemente durchgehend mit gleichen Bezugszeichen versehen sind, näher erläutert.

**[0008]** [Fig. 1A-Fig. 1C](#) zeigen schematische Darstellungen eines Systems und Verfahrens zum Modellieren der Zahnwurzel und der Zahnkrone eines

Patienten gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung;

[0009] [Fig. 2](#) zeigt ein Flussdiagramm eines Verfahrens zur Zahnmodellierung gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung;

[0010] [Fig. 3A-Fig. 3C](#) zeigen ein Flussdiagramm und graphische Darstellungen des Modellierens einer generischen Zahn-Schablone gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung;

[0011] [Fig. 4A-Fig. 4D](#) zeigen ein Flussdiagramm und graphische Darstellungen eines Verfahrens zur automatischen Landmark-Generierung für eine Zahnkrone gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung;

[0012] [Fig. 5A](#) und [Fig. 5B](#) zeigen ein Flussdiagramm und eine graphische Darstellung eines Verfahrens zur Wurzel- und Kronen-Gitter-Generierung gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung;

[0013] [Fig. 6A-Fig. 6F](#) zeigen ein Flussdiagramm und graphische Darstellungen und Kurven zur Veranschaulichung eines Verfahrens zum automatischen Verknüpfen der Krone mit der Wurzel gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung;

[0014] [Fig. 7A](#) und [Fig. 7B](#) zeigen Beispiele dreidimensionale Zahnmodelle zum Verknüpfen des Zahns und der Wurzel mit bzw. ohne Glättungsvorgänge gemäß Ausführungsbeispielen der Erfindung;

[0015] [Fig. 8A-Fig. 8C](#) zeigen ein Flussdiagramm und graphische Darstellungen und Kurven zur Veranschaulichung eines Verfahrens zur Morphing-Steuerung gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung;

[0016] [Fig. 9A](#) und [Fig. 9B](#) zeigen Beispiele vollständiger dreidimensionaler Zahnmodelle und ein Beispiel eines User-Interface zur interaktiven Wurzel-Anpassung gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung;

[0017] [Fig. 10A-Fig. 10C](#) zeigen schematische Darstellungen von Wurzel-Benutzeroberflächenmanipulationselementen gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung; und

[0018] [Fig. 11A-Fig. 11F](#) zeigen ein Beispiel eines Flussdiagramms und graphische Darstellungen einer automatischen vollständigen Zahnmodell-Anpassung unter Verwendung von Röntgen-Daten gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung.

Detaillierte Beschreibung

[0019] Die vorliegende Erfindung wird hier anhand

verschiedener Komponenten und Verarbeitungsschritten beschrieben. Es wird darauf hingewiesen, dass derartige Komponenten und Schritte durch eine beliebige Anzahl von Hardware- und Software-Komponenten realisiert werden können, die zum Durchführen der geeigneten Funktionen geeignet sind. Beispielsweise können bei der Erfindung verschiedene elektronische Steuervorrichtungen, optische Anzeigevorrichtungen und dgl. verwendet werden, die verschiedene Funktionen unter Steuerung durch ein oder mehrere Steuersysteme, Mikroprozessoren oder andere Steuervorrichtungen durchführen können. Ferner kann die Erfindung in einer beliebigen Anzahl orthodontischer oder dentaler Kontexte praktiziert werden, und bei den hier beschriebenen Ausführungsbeispielen eines Systems und Verfahrens zum Modellieren eines vollständigen Zahns eines Patienten handelt es sich nur um einige der Anwendungsbeispiele der Erfindung. Beispielsweise können die hier erläuterten Prinzipien, Merkmale und Verfahren im Kontext beliebiger orthodontischer Behandlungen oder Zahnbehandlungen oder entsprechender Vorrichtungen, Anwendungen oder Vorgänge eingesetzt werden.

[0020] Obwohl die verschiedenen Verfahren und Systeme, die als Beispiele für die Erfindung aufgeführt werden, im Zusammenhang mit einem einzelnen Zahn eines Patienten beschrieben werden, sollte ersichtlich sein, dass die hier anhand von Beispielen beschriebenen Verfahren und Systeme auch an mehr als einem einzigen Zahn und/oder an sämtlichen Zähnen eines Patienten wirksam implementiert werden können, wie z.B. an Molaren, Prämolaren, Eckzähnen, oder jedem anderen Zahn des Patienten. Beispielsweise können die hier exemplarisch beschriebenen Verfahren und Systeme implementiert werden, indem ein bestimmter Vorgang, eine bestimmte Operation oder ein bestimmter Schritt an einem oder mehreren Zähnen vorgenommen wird, bevor auf einen nachfolgenden Vorgang, eine nachfolgende Operation oder einen nachfolgenden Schritt übergegangen wird, oder indem sämtliche oder im Wesentlichen sämtliche Vorgänge, Operationen oder Schritte an einem bestimmten Zahn vorgenommen werden, bevor mit einem weiteren Zahn fortgefahren wird, oder es können auch beliebige Kombinationen dieser Möglichkeiten vorgesehen sein.

[0021] Gemäß verschiedenen Aspekten der vorliegenden Erfindung sind ein System und ein Verfahren zum Modellieren eines vollständigen Zahns eines Patienten einschließlich der Wurzel und der Krone vorgesehen, bei denen ein generisches Zahnmodell mit einem entsprechenden Zahnkronen-Modell eines Patienten kombiniert wird, um die Modellierung eines vollständigen Zahns zu ermöglichen. Zum Beispiel weist gemäß [Fig. 1A-Fig. 1C](#) entsprechend einer exemplarischen Ausführungsform ein System **100** zum Modellieren einer Zahnwurzel und -krone ein generi-

sches dreidimensionales Zahnmodell **102** für einen exemplarischen Zahn auf, das zur Kombination mit einem dreidimensionalen Modell **104** der Patienten-Krone für den entsprechenden Zahn konfiguriert ist, um ein generisches dreidimensionales Zahnmodell **106** für diesen Zahn zu bilden. Das generische Zahnmodell **102** ist zur Ermöglichung einer generischen dreidimensionalen Modellierung sowohl der Wurzel als auch der Krone eines bestimmten Zahns eines Patienten konfiguriert, wie etwa des generischen Zahnmodells **101**. Bei einer bevorzugten Ausführungsform ist das generische Zahnmodell **102** vom gleichen Zahn-Typ (z.B. Molar, Eckzahn, Prä-molar und dgl.) wie der reale Zahn, der mit dem Zahnmodell modelliert werden soll. Ferner kann es sich gemäß weiteren Ausführungsbeispielen bei dem generischen Zahnmodell **102** um den gleichen nummerierten Zahn handeln wie der reale Zahn des Patienten, wobei herkömmliche Systeme der Zahnnummerierung und -identifikation verwendet werden. Das Patienten-Zahnkronenmodell **104** lässt sich zweckmäßig durch verschiedene Techniken zur Zahnkronen-Modellierung generieren, um eine dreidimensionale Patienten-Zahnkrone **103** zu erzeugen, wie z.B. diejenigen Techniken, die in dem U.S.-Patent Nr. 6,685,469, erteilt an Align Technologie, Inc. (dem "469"-Patent) beschrieben sind, oder durch die Modellierungsvorgänge, die unter den Markenbezeichnungen **INVISALIGN®** und **CLINCHECK®** bekannt und vorgesehen sind, wobei diese über Align Technologie, Inc., ansässig in Santa Clara, California, verfügbar sind. Die Schaffung eines vollständigen Zahnmodells **106** ist zweckmäßig realisierbar durch ein automatisches Morphing des generischen Zahnmodells **102** und des Patienten-Zahnkronenmodells **104** wie z.B. mittels eines Computer-Algorithmus in einem Zahnmodellsystem **112**, um einen dreidimensionalen vollständigen Zahn **105** zu erzeugen, wobei derartige Vorgänge an jedem beliebigen oder sämtlichen Zähnen des Patienten angewandt werden können.

**[0022]** Die exemplarischen Modellierverfahren sind durchführbar mit einem oder mehreren computerbasierten Systemen, wie z.B. einem System **110**, das konfiguriert ist zum Speichern von Patienten-Daten und generischen Zahndaten, einem Zahnmodelliersystem **112**, das konfiguriert ist zum Generieren eines generischen Zahnmodells **102** und eines Patienten-Zahnkronenmodells **104** und zum Morphing von Daten und Information aus dem Modell **102** und dem Modell **104** zwecks Generierens eines vollständigen Zahnmodells **106**, und einem System **114**, das konfiguriert ist zur Erleichterung jeglicher anderer herkömmlicher Zahnbehandlungs-Applikationen, wie z.B. Verfahren oder Vorgänge zum Verfolgen von Zahnbewegung und -position, zum Auswerten von Gingival-Einwirkungen, oder anderer orthodontischer Behandlungsvorgänge von der Vorbehandlung bis zu den Abschlussphasen, oder jeglicher zwischenliegender Phasen einschließlich des Herstellens von

Alignern auf der Basis der genannten Modelle. Die Systeme **110**, **112** und/oder **114** können einen oder mehrere Mikroprozessoren, Speichersysteme und/oder Eingabe-/Ausgabevorrichtungen zum Verarbeiten von Modellierungsdaten und -information aufweisen. Zur Erleichterung des Modellierens einer Wurzel und einer Krone eines Patienten kann das Zahnmodelliersystem **112** einen oder mehrere Software-Algorithmen aufweisen, die zum Generieren eines vollständigen Zahnmodells **106** und/oder zum Durchführen anderer Funktionen konfiguriert sind, wie hier aufgeführt.

**[0023]** Gemäß einem Ausführungsbeispiel kann eine weitere Anpassung des vollständigen Zahnmodells für den Zahn durch detaillierte Anpassungs-Modellierung **108** erfolgen. Beispielsweise kann zusätzliche Patienten-Information, welche die reale Zahnwurzel eines Patienten betrifft, wie z.B. aus einem Radiogramm **107** erhaltene Röntgenbildinformation, zweckmäßigerweise von dem Zahnmodelliersystem **112** verwendet werden, um Abweichungen der Wurzelform zwischen einer generischen Wurzelform und einer realen Wurzelform eines Patienten zu berücksichtigen, um an dem vollständigen Zahnmodell **105** eine Wurzelform zu erzielen, die der realen Wurzelform des realen Zahns enger angeglichen ist. Derartige zusätzliche Wurzelinformation kann verschiedene Formate aufweisen und auf verschiedene Arten generiert werden. Beispielsweise kann die Röntgenbildinformation panoramische, periapikal-, Bitewing-, cephalometrische oder weitere ähnliche Information aufweisen, um eine noch detailliertere Modellierung zu erleichtern.

**[0024]** Das Flussdiagramm gemäß [Fig. 2](#) veranschaulicht ein exemplarisches computer-implementiertes Verfahren **200** zum Modellieren der Zahnwurzel und der Zahnkrone eines Patienten, wobei dieses Verfahren ein Verfahren **202** zum Generieren eines generischen Zahnmodells, ein Verfahren **204** zum Generieren eines Patienten-Zahnkronenmodells und ein Verfahren **206** zum Generieren eines vollständigen Zahnmodells durch Kombination eines gemorpheten generischen Wurzelmodells mit einem entsprechenden Patienten-Zahnkronenmodell enthält. Das Verfahren **200** ist zweckmäßig verwendbar zum Erzeugen sowohl generischer Zahnmodelle als auch Kronen-Zahnmodelle für jeden Zahn eines Patienten, so dass es den Erhalt eines vollständigen Zahnmodells für jeden beliebigen und/oder sämtliche Zähne eines Patienten ermöglicht, um die orthodontische Behandlung einschließlich des Herstellens eines Aligners oder eines Satzes von Alignern zu vereinfachen.

**[0025]** Das Verfahren **202** zum Modellieren eines generischen Zahns ist konfiguriert zum Erzeugen einer Referenz für die Ausgestaltung der vollständigen Zahnmodellierung, wie z.B. die Generierung eines

sowohl die Wurzel als auch die Krone aufweisenden generischen Zahns **101** für einen bestimmten Zahn. Gemäß einem Ausführungsbeispiel zählen zu der generischen Zahnmodellierung **202** die Generierung einer generischen Zahnmodell-Schablone (**208**), das Auto-Segmentieren einer generischen Krone aus der generischen Wurzel in dem generischen Zahnmodell (**210**), und die automatische Erzeugung von Landmarks an der generischen Krone (**212**).

**[0026]** Das Generieren einer generischen Zahnmodell-Schablone (**208**) ist konfiguriert zum Erleichtern der Erzeugung von Landmarks an dem generischen Zahnmodell, um das Morphing mit dem Patienten-Zahnkronen-Modell zu ermöglichen. Beispielsweise ist, um adäquat verteilte Landmarks zu generieren und um die Krone präzise von dem Zahn zu segmentieren, das Erstellen generischer Zahndaten vorgesehen, um eine generische Zahn-Schablone zu erzeugen. Wie in dem in [Fig. 3A](#) gezeigten Flussdiagramm angegeben, kann gemäß einem Ausführungsbeispiel ein Verfahren **300** zum Generieren einer generischen Zahnmodell-Schablone das Erfassen von Daten aus einem physischen Zahnmodell (**302**), das Dezimieren der Zahn-Modell-Daten (**304**), das Erstellen eines Koordinatensystems für einen generischen Zahn (**306**), das Ausbilden eines digitalen Modells für einen generischen Zahn (**308**), das Identifizieren von Gingival-Kurven (**310**), und das Erzeugen einer oder mehrerer dem generische Zahn zugeordneter Schablonen-Dateien (**312**) enthalten. Das Erfassen von Daten aus Daten eines physischen Zahnmodells (**302**) kann das Scannen eines Standard-Typodonten oder beliebiger andere dreidimensionaler Modelle enthalten, um die Ausrichtung eines Zahns in einem Patienten zu demonstrieren, damit Daten einer dreidimensionalen digitalen Schablone generiert werden können.

**[0027]** Derartige Typodonten oder Modelle, die zum Scannen verwendet werden, können sowohl eine exemplarische Wurzel als auch eine exemplarische Krone für einen einzelnen Zahn oder mehrere Zähne des Patienten aufweisen. Zudem können derartige Typodont- oder generischen Modelle zweckmäßigerweise auf verschiedenen Konfigurationen von Zähnen basieren, z.B. auf verschiedenen Größen, Formen und/oder Kappen, verschiedenen Typen von Zähnen wie z.B. Molaren, Prämolaren oder Eckzähnen, und/oder verschiedenen Okklusalmustern oder -eigenschaften wie z.B. Überbiss, Unterbiss, Schräglagen- oder andere ähnliche Fehlaufrichtungsmuster. Gemäß einem Ausführungsbeispiel kann die Wurzelform, -konfiguration oder -komponente für derartige Typodont-Modelle die gleiche generische Wurzelkonfiguration für sämtliche Typen von Zähnen aufweisen. Gemäß weiteren Ausführungsbeispielen kann die Wurzel-Komponente für derartige Typodont-Modelle eine typische generische Wurzel-Konfiguration für einen Zahn-Typ aufweisen,

z.B. kann eine typische Wurzelform oder -konfiguration für Molare, Prämolare und/oder Eckzähne vorgesehen sein, und zwar auf der Basis eines Typs für sämtliche Patienten, oder basierend darauf, ob der Patient ein Kind oder ein Erwachsener ist oder ob er männlich oder weiblich ist, oder einer beliebigen anderen demographischen Gegebenheit oder Eigenschaft, die verschiedenen Typen von Zähnen zugeordnet werden könnte. Ferner kann gemäß weiteren Ausführungsbeispielen die Wurzel-Komponente für derartige Typodont-Modelle eine typische generische Wurzelform oder -konfiguration für einen bestimmten realen Zahn aufweisen; beispielsweise kann eine spezifische Wurzelform für einen bestimmten Eckzahn mit der spezifischen Kronenform für diesen bestimmten Eckzahn verwendet werden, um das Typodont-Modell zu erzeugen, wiederum basierend auf einer Konfiguration für diesen bestimmten Zahn bei allen Patienten, oder basierend auf verschiedenen Konfigurationen für diesen bestimmten Zahn in Abhängigkeit davon, ob der Patient ein Kind oder ein Erwachsener oder ob er männlich oder weiblich ist, oder basierend auf einer beliebigen anderen demographischen Gegebenheit oder Eigenschaft, die verschiedenen Typen von Zähnen zugeordnet werden könnte.

**[0028]** Als solche können generische Modelle für jede Art von Zahneigenschaft oder -typ erstellt und zweckmäßig verwendet werden, was eine hohe Flexibilität bei der Spezialisierung hinsichtlich bestimmter Zahnstrukturen, -okklusionsmuster und -eigenschaften eines Patienten ermöglicht. Ferner können beliebige herkömmliche Vorrichtungen, Systeme und/oder Verfahren für das Abtasten physischer Modelle wie z.B. Typodonten, verwendet werden, um verwendbare Daten zu generieren, wie z.B. bekannte Techniken zum Generieren von Ausgangs-Digitaldatensätzen (IDDS) einschließlich derjenigen, die in dem an Align Technology, Inc. erteilten U.S.-Patent Nr. 6,217,325 beschrieben ist.

**[0029]** Um die Datenmenge zu reduzieren und/oder sämtliche unerwünschten Daten herauszufiltern, nachdem diese Datenerfassung aus dem Typodonten- oder generischen Zahnmodell erfolgt ist, kann ein Dezimieren von Daten (**304**) durchgeführt werden, wie z.B. das Entfernen oder Löschen von Daten oder auch das Auffinden optimaler Datenwerte durch die Beseitigung eines konstanten Anteils der Abtastdaten; jedoch kann das Daten-Dezimieren **304** auch je nach Zweckmäßigkeit entfallen oder durch beliebige Filterungs- oder Datenverbesserungstechniken ersetzt werden.

**[0030]** Unabhängig davon, ob die abgetasteten Daten dezimiert werden, kann die Entwicklung eines generischen Zahnkoordinatensystems (**306**) vorgenommen werden, wie z.B. das Erstellen oder Entwickeln eines generischen Zahnkoordinatensystems gemäß

**Fig. 3B.** Das Koordinatensystem kann automatisch erstellt werden und/oder manuell eingestellt werden, wobei sämtliche herkömmlichen oder später entwickelten Techniken für das Erstellen eines Koordinatensystems eines Objekts verwendet werden können. Bei der Erzeugung eines Koordinatensystems für einen generischen Zahn kann das Ausbilden eines digitalen Modells des generischen Zahns (**308**), das eine Wurzel und eine Krone aufweist, für einen einzelnen Zahn und/oder zwei oder mehr Zähne durchgeführt werden. Dieses Ausbilden digitaler Zahnmodelle kann jede Methodik oder jedes Verfahren zum Konvertieren abgetasteter Daten in eine digitale Repräsentation beinhalten. Zu diesen Methodiken oder Verfahren zählen z.B. diejenigen, die beschrieben sind in dem an Align Technology, Inc. erteilten U.S.-Patent Nr. 5,975,893 mit dem Titel "Method and System for Incrementally Moving Teeth". Beispielsweise wird unter Bezug auf ein Gesamtverfahren zum Erzeugen der inkrementalen Positionseinstellungsvorrichtungen für die nachfolgende Verwendung durch einen Patienten zum Repositionieren der Zähne des Patienten, wie es in dem U.S.-Patent Nr. 5,975,893 beschrieben ist, in einem ersten Schritt ein digitaler Datensatz erzeugt, der eine Anfangs-Zahnordnung repräsentiert, welche als IDDS bezeichnet wird. Ein derartiger IDDS kann auf vielfältige Art und Weise erhalten werden. Beispielsweise können die Zähne eines Patienten unter Verwendung bekannter Technologien, beispielsweise Röntgenstrahlen, dreidimensionaler Röntgenstrahlen, computerunterstützter tomografischer Bilder oder Datensätze, Magnetresonanzbilder und dergleichen, abgetastet oder abgebildet werden. Verfahren zum Digitalisieren derartiger herkömmlicher Bilder zur Erstellung von Datensätzen sind bekannt und in der Patentliteratur und der medizinischen Literatur beschrieben. Zum Beispiel ist gemäß einem Ansatz vorgesehen, zunächst einen Gipsabdruck der Zähne des Patienten durch bekannte Techniken herzustellen, wie sie z.B. beschrieben sind in Graber, "Orthodontics: Principle and Practice", zweite Ausgabe, Saunders, Philadelphia, 1969, S. 401-415. Nachdem der Zahnabdruck gefertigt worden ist, kann er mittels eines herkömmlichen Laserscanners oder eines anderen Bereichserfassungssystems abgetastet werden, um den IDDS zu erzeugen. Der von dem Bereichserfassungssystem erstellte Datensatz kann selbstverständlich in andere Formate umgewandelt werden, um mit der Software kompatibel zu sein, die zum Bearbeiten der Bilder des Datensatzes verwendet wird. Allgemeine Techniken zur Herstellung von Gipsabdrücken von Zähnen und zum Erzeugen digitaler Modelle unter Verwendung von Laserabtasttechniken sind beispielsweise in dem US-Patent 5,605,459 beschrieben.

**[0031]** Nach dem Erstellen des digitalen Modells des generischen Zahns (**308**) kann das Identifizieren der Gingival-Kurve (**310**) durchgeführt werden, um

die Zahnfleischlinien und/oder die Wurzelzuordnung zu identifizieren. Bei einer derartigen Identifikation kann jede beliebige herkömmliche rechnerische Orthodontie-Methodik oder -Verfahrensweise zum Identifizieren von Gingival-Kurven angewandt werden, die derzeit bekannt ist, oder eine Technik, die noch entwickelt wird. Zu diesen Methodiken und Vorgängen für das Identifizieren von Gingival-Kurven zählen z.B. diejenigen, die beschrieben sind in dem an Align Technology, Inc. erteilten U.S.-Patent Nr. 7,040,896 mit dem Titel "Systems and Methods for Removing Gingiva from Computer Tooth Modells" (dem "896"-Patent) und dem an Align Technology, Inc. erteilten U.S.-Patent Nr. 6,514,074 mit dem Titel "Digitally Modeling the Deformation of Gingiva" (dem "074"-Patent"), sowie in den verschiedenen Patenten, welche in den '896- und '074-Patenten aufgeführt sind. Gemäß dem 896'-Patent beispielsweise kann ein derartiger Vorgang zum Identifizieren von Gingival-Kurven ein computer-implementiertes Verfahren enthalten, mittels dessen ein Zahn von einer benachbarten Struktur wie z.B. einer Gingiva getrennt wird, indem eine Schneidfläche definiert wird und die Schneidfläche zwischen dem Zahn und der Struktur appliziert wird, um den Zahn in einem einzigen Schnitt abzutrennen. Gemäß dem '074'-Patent beispielsweise kann ein derartiger Vorgang zum Identifizieren von Gingival-Kurven beinhalten, dass mittels eines Computers ein digitales Modell der Dentition eines Patienten erstellt wird, einschließlich eines dentalen Modells, welches die Zähne des Patienten an einem Satz von Ausgangspositionen repräsentiert, und eines Gingival-Modells, welches das die Zähne umgebende Zahnfleischgewebe repräsentiert, wobei der Computer dann aus dem digitalen Modell eine erwartete Deformation des Zahnfleischgewebes bei Bewegung der Zähne aus den Ausgangspositionen zu einem anderen Satz von Positionen ableitet.

**[0032]** Nach dem Ausbilden des digitalen Modells des generischen Zahns (**308**) und dem Identifizieren der Gingival-Kurve (**310**) können ein oder mehrere Dateien für eine generische Zahn-Schablone erzeugt werden (**312**), wie z.B. die exemplarische generische Zahn-Schablone gemäß **Fig. 3C**, die im Wesentlichen einen vollständigen Satz von Zähnen eines Patienten aufweist. Derartige generische Zahn-Schablonen können dann zweckmäßig verwendet werden, um ein Segmentieren von Kronen und eine Landmark-Verteilung an dem generischen Zahn zu ermöglichen. Ferner können derartige generische Zahn-Schablonen zweckmäßig für eine oder mehrere Behandlungen verwendet werden und/oder nach Bedarf durch andere generische Zahn-Schablonen ersetzt oder aktualisiert werden. Zudem können derartige generische Zahn-Schablonen in geeigneter Weise erzeugt und/oder zur späteren Verwendung gespeichert werden, und sie können in Bezug auf verschiedene Differenzen bei Patienten konfiguriert werden, z.B. in Form von Schablonen auf Kinder-Ba-

sis und Schablonen auf Erwachsenen-Basis, wobei die Möglichkeit zum Erhalt mehrerer Schablonen besteht, die speziell für verschiedene Typen von Zähnen und mit diesen Typen zusammenhängende Eigenschaften, Größen, Formen und Okklusionsmuster oder andere Merkmale erzeugt werden.

**[0033]** Nochmals gemäß [Fig. 2](#) kann, nachdem die Schablonen für generische Zähne erzeugt worden sind, das automatische Segmentieren einer generischen Krone von der generischen Wurzel in der generischen Wurzel-Schablone (**210**) durchgeführt werden, um die generische Zahn-Schablone für die Landmark-Erzeugung vorzubereiten. In diesem Vorgang wird der Kronen-Abschnitt der generischen Zahn-Schablone zweckmäßigerweise parzelliert und/oder identifiziert, um das Mapping während der Landmark-Vorgänge zu ermöglichen.

**[0034]** Für den generischen Zahn kann die Kronen- und Wurzel-Geometrie aus dem generischen Zahnmodell extrahiert werden. Nach einer derartigen Extraktion und Segmentierung kann das Kronen-/Wurzel-Gitter in zweckmäßiger Weise generiert werden. Beispielsweise kann gemäß [Fig. 5A](#) und [Fig. 5B](#) ein Prozess **500** zur automatischen Kronen-/Wurzel-Gitter-Erzeugung die Ausbildung der 3D-Spline-Kurve (**502**) enthalten, wobei Steuerpunkte an dem Übergangsbereich zwischen Zahnkrone und -wurzel verwendet werden, z.B. wie in [Fig. 5B](#) gezeigt ist. Als nächstes kann die Projektion der 3D-Spline-Kurve an dem Zahn-Gitter-Modell (**504**) durchgeführt werden. Dann kann eine Berechnung des Schnittpunkts zwischen der projizierten Kurve und den Rändern von Dreieckflächen des Gitters (**506**) vorgenommen werden, um die Ausbildung neuer Dreiecke (**508**) zu erleichtern. In diesem Vorgang können die drei Original-Scheitel des geschnittenen Dreiecks und die beiden Schnittpunkte verwendet werden, um drei neue Dreiecke zu bilden, z.B. unter Verwendung des Maximale-minimale-Winkel-Kriteriums der Delaunay-Triangulation. Nach einer derartigen Ausgestaltung können die Re-Triangulation des alten geschnittenen Dreiecks und das Ersetzen des alten Dreiecks durch die drei neu generierten Dreiecke (**510**) durchgeführt werden. Nach der Re-Triangulation und dem Ersetzen kann das Generieren eines neuen Kronen-/Wurzel-Gitter-Modells (**512**) durchgeführt werden, indem sämtliche unterhalb/oberhalb der projizierten Kurve gelegenen Flächen entfernt werden, was in einer segmentierten generischen Zahn-Krone/-Wurzel resultiert. Die Vorgänge **502**, **504**, **506**, **508**, **510** und **512** können durch beliebige herkömmliche oder noch zu konzipierende Techniken zum Erfüllen dieser Funktionen durchgeführt werden.

**[0035]** Nachdem die Krone der generischen Zahn-Schablone segmentiert worden ist, kann die automatische Erzeugung von Landmarks an der generischen Krone (**212**) durchgeführt werden, bevor

das Morphing mit dem Patienten-Zahnkronen-Modell erfolgt. Gemäß einem Ausführungsbeispiel können, wie in [Fig. 4A-Fig. 4D](#) gezeigt, Landmarks an einer Kronen-Sphäre erzeugt werden (**402**), und dann können die Landmarks auf eine Kronen-Fläche projiziert werden (**404**). Beispielsweise kann eine Zahnkrone in zweckmäßiger Weise durch Zentralprojektion auf eine Sphäre gemappt werden, wie [Fig. 4B](#) zeigt. Das Erzeugen der Landmarks an der Sphäre kann durch geeignete Verteilung an jedem der mehreren Querschnitte, z.B. Querschnitten durch die Z-Achse, rechtwinklig zur X-Y-Ebene erfolgen. Beispielsweise können, wie in einem repräsentativen Querschnitt in [Fig. 4C](#) gezeigt, mehrere Landmarks **406** auf einer Sphäre **410** mit geeigneter Verteilung erzeugt werden. Die Anzahl der Landmarks **406** kann durch Parameter bestimmt werden, wie z.B. die Anzahl der Ebenen, die bei der Hindurchbewegung durch die Z-Achse berücksichtigt werden müssen, und die Anzahl der für jede Ebene gewählten Punkte. Nachdem dem Erzeugen der Landmarks **406** an der Kronen-Sphäre (**402**) können Landmarks zweckmäßig auf die Kronen-Fläche projiziert werden, wie z.B. die Landmarks **408**, die in [Fig. 4C](#) auf die Kronen-Fläche projiziert werden, und die in [Fig. 4D](#) gezeigten Landmarks, bei denen es sich um Landmarks **408** handelt, die auf einen Scan der Krone **420** des Patienten und eine generische Zahnkrone **430** projiziert werden, welche eine Wurzel- und Kronen-Schablone aufweist. Eine derartige automatische Erzeugung kann durch einen oder mehrere Algorithmen in einem Zahnmodellierungssystem erleichtert werden und kann für jeden Patienten-Zahn und generischen Zahn zweckmäßig berechnet werden. Die mehreren Landmarks **408** an der generischen Zahnkrone **430** und die entsprechenden Landmarks **408** an der Patienten-Zahnkrone **420** werden zum Berechnen der Morphing-Funktion verwendet.

**[0036]** Nochmals gemäß [Fig. 2](#) kann ein Verfahren zum Generieren eines Patienten-Zahnkronen-Modells die Generierung eines Anfangs-Patienten-Zahnkronen-Modells ohne Wurzel (**214**) enthalten, d.h. die Generierung eines Zahnkronenmodells, die automatische Detektion der Kronen-Geometrie (**216**) und die automatische Erzeugung von Landmarks an dem Patienten-Zahnkronen-Modell (**218**). Das Generieren des Kronen-Zahnmodells (**214**) kann in zweckmäßiger Weise durch verschiedene bekannte Verfahren oder Techniken realisiert werden, einschließlich verschiedener herkömmlicher Abtast-Techniken, die bei der rechnerischen Orthodontie zum Erzeugen eines IDDS und dgl. verwendet werden.

**[0037]** Beispielsweise ist ein derartiges IDDS ableitbar aus den oben erwähnten Verfahren und/oder gemäß der Weise, die in dem ebenfalls an Align Technology, Inc. erteilten U.S.-Patent Nr. 6,217,325 beschrieben ist. Gemäß einem Ausführungsbeispiel

können zum Erhalt eines IDDS die Zähne des Patienten mittels bekannter Technologien abgetastet oder abgebildet werden, wie z.B. mittels Röntgenstrahlen, dreidimensionaler Röntgenstrahlen, computerunterstützter tomografischer Bilder oder Datensätze, Magnetresonanzbilder etc. Verfahren zum Digitalisieren derartiger herkömmlicher Bilder zur Erzeugung von Datensätzen, die für die Zwecke der vorliegenden Erfindung geeignet sind, sind bekannt und in der Patentliteratur und der medizinischen Literatur beschrieben. Normalerweise jedoch beruht eine IDDS-Erstellung darauf, dass zuerst ein Gipsabdruck der Zähne des Patienten durch bekannte Verfahren hergestellt wird, wie in Graber, "Orthodontics: Principle and Practice", zweite Ausgabe, Saunders, Philadelphia, 1969, S. 401-415 beschrieben. Nachdem der Zahnabdruck gefertigt worden ist, kann er mittels eines herkömmlichen Laserscanners oder eines anderen Bereichserfassungssystems abgetastet werden, um den IDDS zu erzeugen. Der von dem Bereichserfassungssystem erzeugte Datensatz kann, um ihn mit der zum Bearbeiten der Bilder des Datensatzes verwendeten Software kompatibel zu machen, selbstverständlich in andere Formate konvertiert werden, wie in dem U.S.-Patent Nr. 6,217,325 detaillierter beschrieben ist. Allgemeine Techniken zur Herstellung von Gipsabdrücken von Zähnen und zum Erzeugen digitaler Modelle unter Verwendung von Laserabtastverfahren sind beispielsweise in dem US-Patent 5,605,459 beschrieben.

**[0038]** Ferner existieren verschiedene Bereichserfassungssysteme, die generell unter dem Aspekt kategorisiert werden, ob der Erfassungsvorgang einen Kontakt mit dem dreidimensionalen Objekt erfordert. Bei einem Bereichserfassungssystem des Berührungstyps wird eine Sonde verwendet, die mehrere Translations- oder Dreh-Freiheitsgrade aufweist. Durch Aufzeichnen der physischen Bewegung der Sonde, während diese über die Abtastoberfläche gezogen wird, wird eine computerlesbare Wiedergabe des Abtastgegenstands erstellt. Bei einer Bereichserfassungsvorrichtung des berührungslosen Typs kann es sich entweder um ein System des Reflexions-Typs oder um ein System des Transmissions-Typs handeln. Derzeit befinden sich verschiedene Reflektions-Systeme in Gebrauch. Bei einigen dieser Reflektions-Systeme werden Quellen nichtoptischer Einfallenergie wie z.B. Mikrowellen- oder Schallquellen verwendet. Bei anderen Systemen wird Lichtenergie verwendet. Diejenigen Systeme des berührungslosen Typs, die mittels reflektierter Lichtenergie arbeiten, weisen ferner spezielle Instrumente auf, die das Anwenden spezieller Messtechniken ermöglichen (z.B. Abbildungs-Radar, Triangulation und Interferometrie). Ein bevorzugtes Bereichserfassungssystem ist z.B. ein reflektiver optischer Scanner des berührungslosen Typs. Scanner des berührungslosen Typs werden bevorzugt, da sie inhärent nichtdestruktiv sind (d.h. den Abtastgegenstand nicht beschädigen),

sich generell durch eine höhere Erfassungsauflösung auszeichnen und eine Probe in einer relativ kurzen Zeitperiode abtasten. Ein derartiger Scanner ist das Cyberware Model 15, hergestellt von Cyberware, Inc., Monterey, California. Ferner können sowohl Scanner des berührungslosen Typs als auch Scanner des Berührungstyps eine Farbkamera enthalten, die, wenn sie mit den Abtastfunktionalitäten synchronisiert ist, eine Vorrichtung bildet, mit der sich eine farbige Wiedergabe des Abtastgegenstands in digitalem Format erfassen lässt.

**[0039]** Beim Erzeugen des Zahnkronen-Modells wird eine automatische Detektion der Kronen-Geometrie durchgeführt (**216**), um das Zahnmodell für die Erzeugung von Landmarks vorzubereiten. Für das Patientenzahn-Modell kann die Kronen-Geometrie aus dem gesamten Zahn durch Verwendung jedes herkömmlichen Verfahrens segmentiert werden, das zur Segmentierung von Kronen aus Zähnen geeignet ist. Beim Detektieren der Kronen-Geometrie kann die automatische Erzeugung von Landmarks an dem Patienten-Zahnkronen-Modell vorgesehen sein, wie z.B. die Techniken (**212**), die bei dem generischen Kronen-Modell verwendet werden, beispielsweise diejenigen gemäß [Fig. 4A-Fig. 4D](#).

**[0040]** Beim Erzeugen des generische Zahnmodells (**202**) und des Kronen-Zahnmodells (**204**) kann die Erzeugung des gesamten Zahnmodells (**206**) durch Kombination/Morphing des generischen Zahnmodells mit dem entsprechenden Patienten-Zahnkronenmodell durchgeführt werden. Gemäß einem Ausführungsbeispiel kann ein Verfahren zum Generieren eines vollständigen Zahnmodells (**206**) das Berechnen der Morphing-Funktion (**220**), das Berechnen der Patienten-Wurzel (**222**), das Verknüpfen der Patienten-Krone mit der Patienten-Wurzel (**224**), das Glätten des Wurzel-Kronen-Übergangsbereichs (**226**) und bei Bedarf das Durchführen einer interaktiven Anpassung der Patienten-Wurzel (**228**) enthalten. Derartige Vorgänge können für einen einzelnen Zahn vollständig durchgeführt werden, bevor auf einen anderen Zahn übergegangen wird, oder sie können gleichzeitig durchgeführt werden, oder es können auch beliebige Kombinationen dieser Möglichkeiten vorgesehen sein.

**[0041]** Zum Berechnen der Morphing-Funktion (**220**) kann gemäß einem Ausführungsbeispiel eine Dünnpalten-Spline verwendet werden, um die Morphing-Funktion mittels der erzeugten Landmarks zu berechnen. Die Verwendung einer derartigen Dünnpalten-Spline kann die Auswirkungen von Verformungsenergie minimieren, z.B. den Grad oder das Maß an Biegung in der resultierenden Oberfläche zwischen erzeugten Landmarks minimieren. Zudem wird der Abstand der euklidischen Punkte oder kürzeste Flächen-Abstand zwischen Landmarks verwendet zur Berechnung der Morphing-Funktion



durch:

$$\iint_{\mathbb{R}^2} \left( \frac{\partial^2 f}{\partial^2 x^2} \right)^2 + 2 \left( \frac{\partial^2 f}{\partial x \partial y} \right)^2 + \left( \frac{\partial^2 f}{\partial^2 y^2} \right)^2 dx dy.$$

**[0042]** Nachdem die Morphing-Funktion berechnet worden ist (220), kann die Patienten-Wurzel-Geometrie in geeigneter Weise berechnet werden (222), wie z.B. durch Anwenden der Morphing-Funktion an dem generischen Wurzel-Modell.

**[0043]** In einigen Fällen besteht ein beträchtlicher Unterschied zwischen der Patienten-Krone und der generischen Zahnkrone. Wenn dieser Fall auftritt, ist es möglicherweise unzureichend, nur die Kronen-Landmarks für die Morphing-Steuerung zu verwenden, da die Wurzelform und -richtung möglicherweise schwierig zu steuern sind. Gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel kann eine verbesserte Morphing-Steuerung realisiert werden, indem Landmarks an der Wurzel-Mittelachse erzeugt werden. Beispielsweise können gemäß [Fig. 8A](#) in dem ersten Morphing-Vorgang die Kronen-Landmarks verwendet werden, um die Anfangs-Morphing-Funktion zu berechnen, die zum Erhalt einer gemorphten Mittelachse benutzt wird (802), wie [Fig. 8B](#) zeigt. Als nächstes kann die Mittelachse des generischen Zahns zweckmäßigerweise derart bewegt werden, dass sie die gemorphte Mittelachse tangiert (804), wie [Fig. 8C](#) zeigt. Nach der Bewegung der Mittelachse des generischen Zahns kann die neupositionierte Mittelachse des generischen Zahns zweckdienlich derart skaliert werden, dass ihre Länge gleich derjenigen der gemorphten Mittelachse in der Z-Richtung ist. Als Ergebnis können dann sowohl die Kronen-Landmarks als auch die Wurzel-Landmarks zum Berechnen der endgültigen Morphing-Funktion verwendet werden.

**[0044]** Nach der Berechnung der Patienten-Wurzel (222) durch Morphing der generischen Zahnwurzel wird die Patienten-Krone mit der Patienten-Wurzel verknüpft, um das vollständige 3D-Zahnmodell zu generieren (224). Zur Erleichterung des Verknüpfens werden das Kronen-Gitter und das Wurzel-Gitter in zweckmäßiger Weise fusioniert. Beispielsweise enthält gemäß [Fig. 6A](#) der Verknüpfungsvorgang das Projizieren der 3D-Schleifen auf die X-Y-Ebene (602), wie in [Fig. 6B](#) gezeigt ist. Da die projizierten Schleifen einem Kreis homogen sind, können die Schleifen-Scheitel auf Winkel-Basis neu sortiert werden, um eine fusionierte Schleife zu bilden (604), z.B. wie in [Fig. 6C](#) gezeigt. Als nächstes können die Re-Triangulation des Kronen-Gitters und des Wurzel-Gitters durchgeführt werden (606). Nach der Re-Triangulation können das Kronen-Gitter und das Wurzel-Gitter fusioniert werden (608), um ein topologisch korrektes vollständiges Zahnmodell zu erhalten.

**[0045]** Nach dem Verknüpfen (224) kann der Kronen-Wurzel-Übergangsbereich des vollständigen Zahnmodells zweckmäßig geglättet werden (226), um das Modell zu verbessern. Beispielsweise kann gemäß [Fig. 7A](#) nach dem Verknüpfungsvorgang der Übergangsbereich möglicherweise nicht sehr glatt sein. Durch Verwendung eines geeigneten Glättungs-Algorithmus jedoch kann die Verknüpfung in geeigneter Weise geglättet werden, wie [Fig. 7B](#) zeigt. Der Glättungs-Algorithmus arbeitet als Filter, um aus den verknüpften Punkten in dem Übergangsbereich das "Rauschen" im Wesentlichen zu entfernen. Zum Beispiel kann der Algorithmus einen ersten Punkt identifizieren oder avisieren und dann benachbarte Punkte beobachten, um den ersten Punkt in zweckmäßiger Weise zu optimieren oder anderweitig anzupassen und dadurch die Verknüpfung zu glätten. Der Algorithmus kann zweckmäßigerweise an jedem Zahn des Patienten angewandt werden. Ein derartiger Algorithmus kann ferner verschiedene Formate und Strukturen zum Durchführen der Glättungsfunktion aufweisen.

**[0046]** Nach dem Glätten des Kronen-Wurzel-Übergangs (226) kann eine interaktive Wurzel-Anpassung (228) vorgesehen sein. Gemäß [Fig. 9A](#) kann das gesamte 3D-Wurzelmodell hinsichtlich Länge oder Drehung je nach Bedarf angepasst werden. Beispielsweise können sämtliche Längen sämtlicher Wurzeln oder die X-Drehung sämtlicher Wurzeln angepasst werden, oder es kann eine Anpassung einer einzigen Wurzel durchgeführt werden. Ein derartiger Einstellvorgang kann zweckmäßigerweise durch ein User-Interface wie z.B. das in [Fig. 9B](#) gezeigte vorgenommen werden, und/oder der Vorgang kann automatisch durch das Modellierungssystem vorgenommen werden, um ein gewünschtes Kriterium zu erzielen. Als Ergebnis wird das vollständige Zahnmodell generiert, das zum Erleichtern des Behandlungsvorgangs einschließlich des Erzeugens eines Aligners oder eines Satzes von Alignern geeignet ist.

**[0047]** Wie kurz erläutert wurde, kann es in manchen Fällen geschehen, dass nach dem Erzeugen des vollständigen Zahnmodells die generierte Wurzelform aufgrund der individuellen Merkmale des Patienten von der realen Wurzelform abweicht. Nochmals gemäß [Fig. 1](#) kann entsprechend einem Ausführungsbeispiel eine weitere Anpassung des vollständigen Zahnmodells durch detaillierte Anpassungs-Modellierung 108 vorgesehen sein. Beispielsweise kann zusätzliche Patienten-Wurzel-Information über die Merkmale oder Eigenschaften der realen Wurzel, wie sie z.B. aus der von einem Radiographen 107 gelieferten Röntgenbildinformation erhalten werden kann, von dem Zahnmodelliersystem 112 zweckmäßig verwendet werden, um die Abweichungen der Wurzelform zwischen einer generischen Wurzel und einer realen Wurzelform eines Patienten zu berücksichtigen, damit man an dem vollständigen Zahnmo-

dell **105** eine Wurzelform erhält, die der realen Wurzelform des realen Zahns enger angepasst ist.

**[0048]** Diese zusätzliche Information zur realen Wurzel kann verschiedene Formate aufweisen und auf verschiedene Arten generiert werden. Beispielsweise kann die Röntgenbildinformation panoramische, periapikal-, Bitewing-, cephalometrische oder weitere ähnliche Information aufweisen, um eine noch detailliertere Modellierung zu erleichtern. Ferner kann, da diese Röntgenbildinformation generell ein 2D-Bild aufweist, die Röntgenbildinformation im Wesentlichen als eine 2D-Projektion von der Gesichts-Seite zu der Lingual-Seite aufgefasst werden. Als Ergebnis basiert die weitere detaillierte Anpassung auf One-View-Information, wobei der Algorithmus zweckmäßig bewirkt, dass die modellierte Wurzelform mit der auf dieser One-View-Information basierenden realen Wurzelform übereinstimmt.

**[0049]** Beispielsweise kann gemäß [Fig. 11A](#) ein Verfahren zur mit detaillierter Anpassung erfolgten Modellierung damit beginnen, dass das vollständige Zahnmodell, z.B. ein Zahnmodell, das abgeleitet wird nach dem Morphing/Kombinieren (**206**) des Verfahrens **200**, auf eine einzige Ebene projiziert wird, deren Normale von der Gesichts-Seite eines Zahns zu der Lingual-Seite des Zahns verläuft (**1102**). Als nächstes kann die Kontur des vollständigen Zahns berechnet (**1104**) und definiert werden, wie z.B. die in [Fig. 11B](#) gezeigte Zahnkontur A. Eine zweckmäßige Identifizierung des Patienten-Zahns kann auf der Basis der Röntgeninformation durchgeführt werden, wie z.B. des panoramischen Röntgenbilds (**1006**), und die Kontur des entsprechenden Zahns kann ebenfalls auf der Basis dieses Röntgenbilds berechnet (**1108**) und definiert werden, wie z.B. die in [Fig. 11C](#) gezeigte Kontur B.

**[0050]** Zum Bestimmen der Konturen des Zahns A und des Zahns B kann jede herkömmliche Methodik oder Verfahrensweise zur Berechnung und/oder Bestimmung von Konturen verwendet werden. Als nächstes können die Skalierung in der Größe zwischen der vollständigen Zahnkontur (z.B. der Kontur A) und der entsprechenden Patienten-Zahnkontur (z.B. der Kontur B) bestimmt werden (**1110**), und dann kann die entsprechende Patienten-Zahnkontur derart skaliert werden, dass sie die gleiche Kronen-Kontur aufweist wie die vollständigen Zahnkontur (**1112**). Gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel kann anstelle des Skalierens der vollständigen Zahnkontur (**1112**) eine auf Dünnpfatten-Spline basierende Morphing-Funktion verwendet werden, um die entsprechende Patienten-Zahnkronen-Kontur zu der vollständigen Zahnkronen-Kontur zu verformen. Beispielsweise kann die Morphing-Funktion mittels der Landmarks an der entsprechenden Patienten-Zahnkronen-Kontur und der vollständigen Zahnkronen-Kontur berechnet werden. Es können dann

Landmarks an der Wurzel-Domäne der vollständigen Zahnkontur (z.B. der Kontur A) und der entsprechenden Zahnkontur (z.B. der Kontur B) erzeugt werden (**1114**), wie anhand von [Fig. 11D](#) und [Fig. 11E](#) ersichtlich ist. Auf der Basis der generierten Landmarks und der Berechnung der Morphing-Funktion kann die vollständige Zahnkontur zweckmäßig auf eine Projektionsebene gemorphet werden (**1116**), wie z.B. [Fig. 11F](#) zeigt. Ein derartiges Morphing kann durch Vorgänge ähnlich denjenigen durchgeführt werden, die in Zusammenhang mit dem Morphing-/Kombinations-Ablauf **206** beschrieben wurden, z.B. durch Berechnen einer Morphing-Funktion (**220**) und Applizieren der Morphing-Funktion des Wurzel-Teils (**222**). Dementsprechend kann ein vollständiges Zahnmodell für jeden beliebigen Zahn und/oder sämtliche Zähne eines Patienten realisiert werden, wobei dieses Modell in zweckmäßiger Weise durch Einbeziehung der individuellen und/oder speziellen Merkmale und Eigenschaften des Patienten angepasst ist.

**[0051]** Die vollständigen Zahnmodelle, die Wurzel-Teile enthalten, können zur weiteren Erleichterung der Planungs- und Behandlungsvorgänge verwendet werden. Es können auch zusätzliche Schritte einbezogen werden, um die Planungs- und Behandlungsvorgänge weiter zu verbessern. Beispielsweise kann zum Erzeugen einer verbesserten, klinisch sinnvollen Bewegung ein Wurzel-Benutzeroberflächenmanipulationselement zur Verwendung beim Handhaben der Zähne erzeugt werden. Insbesondere kann gemäß [Fig. 10A-Fig. 10C](#) ein klinisch sinnvolles Wurzel-Benutzeroberflächenmanipulationselement am Widerstandszentrum eines Zahns erzeugt werden. Bei diesem Ausführungsbeispiel wird angenommen, dass die Drehmitte des Zahns bei ungefähr 1/3 der Zahnlänge vom Wurzel-Scheitel aus entlang der vertikalen Achse des Zahns liegt. Die Achse des Zahns kann durch jede herkömmliche Methodik oder Verfahrensweise zum Ausbilden von Achsen und/oder Koordinatensystemen in Zähnen erstellt werden.

**[0052]** Ein weiterer Behandlungsvorgang, der implementiert werden kann, ist das Überwachen der Geschwindigkeit der Zahnbewegung für einen Zahn, um festzustellen, welche Zähne sich relativ aggressiv bewegen. Die Verwendung der Wurzel-Geometrie kann problemlos genutzt werden, um diese Berechnung zu erleichtern. Beispielsweise ist die Bewegungsgeschwindigkeit von einer Stufe n zu einer Stufe n+1 definiert durch die Formel:

$$m = \int_s \text{dist}(x,y,z) ds$$

wobei (x,y,z) der Punkt an der Wurzeloberfläche und dist(x,y,z) der Bewegungsabstand dieses Punkts von der Stufe n zu der Stufe n+1 ist. Es lässt sich dist(x,y,z) berechnen durch die Länge des Bahnverlaufs des Punkts (x,y,z) aus seiner Position an der

Stufe n zu der Position an der Stufe n+1. Als Ergebnis können an Zähnen Behandlungs-Anpassungsvorgänge auf der Basis ihrer Wurzelbewegungsgeschwindigkeit und zudem die Produktion eines Aligners oder Satzes von Alignern durchgeführt werden, um den Behandlungsvorgang weiter zu verbessern.

**[0053]** Die vorliegende Erfindung wurde vorstehend anhand von verschiedenen Ausführungsbeispielen beschrieben. Fachleuten auf dem Gebiet wird jedoch ersichtlich sein, dass an den Ausführungsbeispielen Veränderungen und Modifikationen vorgenommen werden können, ohne vom Schutzzumfang der vorliegenden Erfindung abzuweichen. Beispielsweise können in Abhängigkeit von dem bestimmten Anwendungsfall die verschiedenen Betriebsschritte und die Komponenten zum Ausführen der Betriebsschritte auf alternative Weise implementiert werden, oder es können aufgrund eines bestimmten Kostenaufwands Funktionen, die mit dem Betrieb des Systems zusammenhängen, z.B. verschiedene der Komponenten und Methodiken und/oder der Schritte weggelassen, modifiziert oder mit anderen Komponenten, Methodiken und/oder Schritten kombiniert werden. Ferner versteht sich, dass verschiedene der hier offenbarten Verfahren und Schritte, wie z.B. das Generieren von IDDS, das Ausbilden von 3D-Spline-Kurven, das Identifizieren von Gingival-Kurven oder weitere Vorgänge auch andere, herkömmliche Techniken oder später entwickelte Techniken enthalten, um diese Verfahren und Schritte zu erleichtern. Diese und weitere Funktionen und Verfahren, Änderungen und Modifikationen fallen unter den Schutzzumfang der Erfindung, der in den folgenden Ansprüchen aufgeführt ist.

### Patentansprüche

1. Computer-implementiertes Verfahren zum Modellieren eines vollständigen Zahnes eines Patienten, mit folgenden Schritten:

Generieren mindestens eines digitalen Patienten-Zahnmodells, das eine Kronen-Komponente (**103**) aufweist;

Generieren mindestens eines digitalen generischen Zahnmodells, das dem mindestens einen digitalen Patienten-Zahnmodell entspricht, wobei das mindestens eine digitale generische Zahnmodell Wurzel- und Kronen-Komponenten aufweist; und

Morphing des mindestens einen digitalen Patienten-Zahnmodells mit dem mindestens einen digitalen generischen Zahnmodell zum Erzeugen eines vollständigen digitalen Zahnmodells des Patienten.

2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem das Generieren des mindestens einen digitalen generischen Zahnmodells folgende Schritte aufweist:

Bereitstellen einer generischen Zahnmodell-Schablone, die eine generische Wurzel und eine generische Krone aufweist;

Segmentieren der generischen Krone von der generischen Wurzel in der generischen Zahnmodell-Schablone; und  
automatisches Erzeugen von Landmarks an der generischen Krone.

3. Verfahren nach Anspruch 2, bei dem das Erzeugen der generischen Zahnmodell-Schablone folgende Schritte aufweist:

Erfassen von Daten, die ein physisches Zahnmodell repräsentieren;

Erstellen eines Koordinatensystem für den generischen Zahn;

Ausbilden eines digitalen Modells des generischen Zahns; und

Erzeugen einer oder mehrerer Schablonen-Dateien, die den generischen Zahn betreffen.

4. Verfahren nach Anspruch 3, bei dem das Erzeugen der generischen Zahnmodell-Schablone ferner das Identifizieren einer Gingival-Kurve des generischen Zahnmodells vor dem Erzeugen der einen oder mehreren den generischen Zahn betreffenden Schablonen-Dateien umfasst.

5. Verfahren nach Anspruch 3, bei dem das Erfassen von Daten, die ein physisches Zahnmodell repräsentieren, das Abtasten des physischen Zahnmodells zum Generieren dreidimensionaler Daten umfasst.

6. Verfahren nach Anspruch 5, bei dem das Abtasten des physischen Zahnmodells das Abtasten einer generischen Wurzelform für einen speziellen Zahntyp und einer generischen Kronenform für den speziellen Zahntyp zum Erzeugen der dreidimensionalen Daten umfasst.

7. Verfahren nach Anspruch 3, gekennzeichnet durch das Dezimieren der erfassten Daten.

8. Verfahren nach Anspruch 2, bei dem das Segmentieren der generischen Krone von der generischen Wurzel in der generischen Zahnmodell-Schablone das Zerstückeln einer generischen Kronen-Komponente zum Erleichtern des Mapping der generischen Kronen-Komponente während des Erzeugens von Landmarks umfasst.

9. Verfahren nach Anspruch 2, bei dem das Erzeugen von Landmarks an der generischen Krone das Erzeugen von Landmarks an einer Kronen-Sphäre für das generische Zahnmodell umfasst.

10. Verfahren nach Anspruch 9, bei dem das Erzeugen von Landmarks an einer Kronen-Sphäre für das generische Zahnmodell das im Wesentlichen unter Verteilung auf Schnittbereiche erfolgende Mapping der Landmarks auf der Kronen-Sphäre umfasst.

11. Verfahren nach Anspruch 2, bei dem das Erzeugen von Landmarks an der generischen Krone ferner das Projizieren der Landmarks auf eine Kronenoberfläche umfasst.

12. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem das Generieren mindestens eines Patienten-Zahnmodells folgende Schritte aufweist:  
Generieren eines Patienten-Kronen-Zahnmodells ohne eine Wurzel-Komponente;  
Detektieren der Kronen-Geometrie aus dem Patienten-Kronen-Zahnmodell; und  
automatisches Erzeugen von Landmarks an dem Patienten-Kronen-Zahnmodell.

13. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem das Morphing des mindestens einen Patienten-Zahnmodells mit dem mindestens einen generischen Zahnmodell folgende Schritte aufweist: Generieren einer Morphing-Funktion; Berechnen einer Patienten-Wurzelkomponente aus der Morphing-Funktion; und Verknüpfen einer entsprechenden Patienten-Kronenkomponente mit der Patientenwurzel-Komponente.

14. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem das Verknüpfen einer entsprechenden Patienten-Kronenkomponente mit der Patienten-Wurzelkomponente das Verknüpfen der Patienten-Kronenkomponente für einen bestimmten Zahn mit der diesem bestimmten Zahn entsprechende Patienten-Wurzelkomponente umfasst.

15. Verfahren nach Anspruch 14, bei dem das Verknüpfen der Patienten-Kronenkomponente für einen bestimmten Zahn mit der diesem bestimmten Zahn entsprechende Patienten-Wurzelkomponente für jeden Zahn eines Patienten durchgeführt wird.

16. Verfahren nach Anspruch 13, bei dem das Morphing ferner das Glätten des Wurzel-Kronen-Übergangsbereichs umfasst.

17. Verfahren nach Anspruch 13, bei dem das Morphing ferner das Durchführen einer interaktiven Anpassung der Patienten-Wurzelkomponente umfasst.

18. Verfahren nach Anspruch 13, bei dem das Berechnen einer Morphing-Funktion die Verwendung einer Dünnpalten-Spline umfasst.

19. Verfahren nach Anspruch 13, bei dem das Berechnen einer Patienten-Wurzelkomponente das Applizieren der Morphing-Funktion an das generische Zahnmodell umfasst.

20. Verfahren nach Anspruch 2, bei dem das Segmentieren der generischen Krone von dem generischen Gitter ferner das Generieren eines Kronen- und Wurzel-Gitters umfasst.

21. Verfahren nach Anspruch 20, bei dem das Generieren eines Kronen- und Wurzel-Gitters folgende Schritte aufweist:

Ausbilden einer dreidimensionalen Spline-Kurve durch einen Steuerpunkt an einem Übergangsbereich zwischen Patientenzahn-Krone und Wurzel;  
Projizieren der dreidimensionalen Spline-Kurve auf ein Zahn-Gitter mit Dreieck-Facetten;  
Berechnen einer Schnittstelle zwischen einer projizierten Kurve und Rändern der Dreieck-Facetten; und  
Ausbilden dreier neuer Dreiecke unter Verwendung dreier Original-Scheitelpunkte eines geschnittenen Dreiecks und zweier Schnittpunkte.

22. Verfahren nach Anspruch 21, bei dem das Generieren eines Kronen- und Wurzel-Gitters folgende Schritte aufweist:

Re-Triangulieren des geschnittenen Dreiecks und Ersetzen desselben durch die drei neuen Dreiecke; und Entfernen sämtlicher Flächen unter der projizierten Kurve zum Erzeugen eines neuen Zahn-Gitter-Modells mit Zahn-Krone.

23. Verfahren nach Anspruch 13, bei dem das Morphing ferner folgende Schritte umfasst:

Verwenden von Kronen-Landmarks zum Berechnen der Anfangs-Morphing-Funktion, die zum Bestimmen einer gemorphten Mittelachse verwendet wird;  
Neupositionieren einer Mittelachse des generischen Zahnmodells derart, dass sie die gemorphte Mittelachse tangiert;  
Skalieren der neupositionierten Mittelachse des generischen Zahnmodells derart, dass die der gemorphten Mittelachse in einer z-Richtung im Wesentlichen gleich ist; und  
Berechnen einer endgültigen Morphing-Funktion unter Verwendung sowohl der Kronen-Landmarks als auch der Wurzel-Landmarks aus dem generischen Zahnmodell und dem Patienten-Zahnmodell.

24. Verfahren nach Anspruch 23, bei dem das Ausbilden der Merged-loop-Struktur das Neusortieren von Scheitelpunkten der Merged-loop-Struktur umfasst.

25. Verfahren nach Anspruch 13, bei dem das Verknüpfen einer entsprechenden Patienten-Kronenkomponente mit der Patienten-Wurzelkomponente folgende Schritte umfasst:

Projizieren dreidimensionaler Loops auf eine x-y-Ebene;  
Ausbilden einer Merged-loop-Struktur; Re-Triangulieren eines Kronen-Gitters und eines Wurzel-Gitters; und  
Zusammenführen des Kronen-Gitters mit dem Wurzel-Gitter.

26. Verfahren nach Anspruch 13, bei dem das Durchführen der interaktiven Anpassung der Patienten-

ten-Wurzelkomponente ein Einstellen mittels Länge und/oder Drehung umfasst.

27. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem ferner ein mit detaillierter Anpassung erfolgreiches Modellieren des gesamten Zahnmodells durchgeführt wird.

28. Verfahren nach Anspruch 27, bei dem das mit detaillierter Anpassung erfolgende Modellieren auf der Basis realer Wurzel-Information zu einem bestimmten Zahn des Patienten erfolgt.

29. Verfahren nach Anspruch 28, bei dem das mit detaillierter Anpassung erfolgende Modellieren auf der Basis von Röntgen-Information des tatsächlichen bestimmten Zahns des Patienten erfolgt.

30. Verfahren nach Anspruch 28, bei dem das mit detaillierter Anpassung erfolgende Modellieren folgende Schritte aufweist:

Projizieren des gesamten Zahnmodells auf eine einzige Ebene von einer Gesichts-Seite zu einer Lingual-Seite;  
Berechnen einer Kontur des gesamten Zahnmodells;  
Lokalisieren des entsprechenden Patienten-Zahns auf der Basis der Röntgen-Information; Berechnen der Kontur des entsprechenden Patienten-Zahns;  
Bestimmen eines Maßstabs zwischen der Kontur des vollständigen Zahnmodells und der Kontur des entsprechenden Patienten-Zahns;  
Maßstabsanpassung der Kontur des entsprechenden Patienten-Zahns an die Kontur des vollständigen Zahnmodells.

31. Verfahren nach Anspruch 30, bei dem das mit detaillierter Anpassung erfolgende Modellieren folgende Schritte aufweist:

Generieren von Landmarks an Wurzel-Domänen der Kontur des vollständigen Zahnmodells und der Kontur des entsprechenden Patienten-Zahns; und  
Morphing der Wurzel-Domänen auf die einzige Ebene.

32. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 31, ferner gekennzeichnet durch Ausbilden eines Wurzel-Benutzeroberflächenmanipulationselements zum Manipulieren der Zahnbewegung.

33. Verfahren nach Anspruch 1, ferner gekennzeichnet durch Überwachen der Bewegungsgeschwindigkeit eines Zahns auf der Basis von Wurzel-Geometrie.

34. Computerisiertes System zum Modellieren der Zahnwurzel und -krone eines Patienten zwecks Erleichterung einer Zahnbehandlung und/oder kieferplastischen Behandlung, mit:

einem Mikroprozessor mit mehreren Algorithmen;  
einer Speichervorrichtung;  
wobei das computerisierte Modellersystem ausgebildet ist zum Erzeugen

eines dreidimensionalen digitalen Kronen-Modells für einen bestimmten Zahn des Patienten;  
und eines dreidimensionalen digitalen generischen Modells, das sowohl eine generische Kronen-Komponente als auch eine generische Wurzel-Komponente aufweist, wobei das dreidimensionale generische Modell für den bestimmten Zahn des dreidimensionalen Kronen-Modells konfiguriert ist; und  
wobei das computerisierte Modellersystem ausgebildet ist zum Morphing des dreidimensionalen Kronen-Modells mit dem dreidimensionalen generischen Modell zum Erzeugen eines vollständigen dreidimensionalen Wurzel- und Kronen-Zahnmodells für den bestimmten Zahn.

35. System nach Anspruch 34, bei dem das dreidimensionale generische Modell eine generische Zahn-Schablone aufweist, die durch Abtasten eines physischen Modells für den bestimmten Zahn erzeugt ist.

36. System nach Anspruch 35, bei dem das System konfiguriert ist zum Segmentieren der generischen Kronen-Komponente aus der generischen Wurzel-Komponente, und zur automatischen Erzeugung von Landmarks an der generischen Kronen-Komponente.

37. System nach Anspruch 36, bei dem das System konfiguriert ist zur automatischen Erzeugung von Landmarks an einer Kronen-Komponente des bestimmten Zahns.

38. System nach Anspruch 37, bei dem das System konfiguriert ist zum Applizieren einer Morphing-Funktion an einer generischen Wurzel-Komponente zwecks Erzeugens einer Patienten-Wurzelkomponente, und zum Verknüpfen der Kronen-Komponente des bestimmten Zahns mit der generischen Wurzel-Komponente zwecks Erzeugens des vollständigen dreidimensionalen Wurzel- und Kronen-Zahnmodells.

39. System nach Anspruch 38, bei dem das System konfiguriert ist zum Glätten des Kronen-Wurzel-Übergangsbereichs des vollständigen dreidimensionalen Wurzel- und Kronen-Zahnmodells.

40. System nach Anspruch 34, bei dem das System zur interaktiven Wurzel-Anpassung konfiguriert ist.

41. Digitale Repräsentationen mehrerer Zähne eines Patienten, wobei die digitalen Repräsentationen der Zähne durch folgenden Vorgang generiert werden:

Generieren mehrerer Modelle der realen Patienten-Zähne für jeden der mehreren Zähne, wobei jedes der mehreren Patienten-Zahnmodelle entsprechende Kronen-Komponenten aufweist;

Generieren mehrerer generischer Zahnmodelle, die den mehreren Patienten-Zahnmodellen entsprechen, wobei die mehreren generischen Zahnmodelle sowohl generische Wurzel-Komponenten als auch generische Kronen-Komponenten aufweisen; und Morphing jedes der mehreren Patienten-Zahnmodelle mit einem entsprechenden der mehreren generischen Zahnmodelle zum Erzeugen eines vollständigen Zahnmodells für die mehreren Zähne des Patienten.

42. Digitale Repräsentationen nach Anspruch 41, bei dem das Generieren mehrerer generischer Zahnmodelle das Generieren einer spezifischen Wurzel-Komponente für einen spezifischen Zahn-Typ umfasst.

43. Digitale Repräsentationen nach Anspruch 42, ferner gekennzeichnet durch ein mit detaillierter Anpassung erfolgreiches Modellieren auf der Basis realer Wurzel-Information zu einem bestimmten Zahn des Patienten.

44. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 43, bei dem das Modellieren zum Erleichtern einer Zahnbehandlung und/oder kieferplastischen Behandlung vorgesehen ist.

45. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 43, ferner gekennzeichnet durch den Schritt des Erzeugens eines Aligners.

46. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 43, ferner gekennzeichnet durch den Schritt des Erzeugens eines Sets von Alignern.

47. Aligner, bei dem er gemäß den Schritten nach einem der Ansprüche 1-46 hergestellt ist.

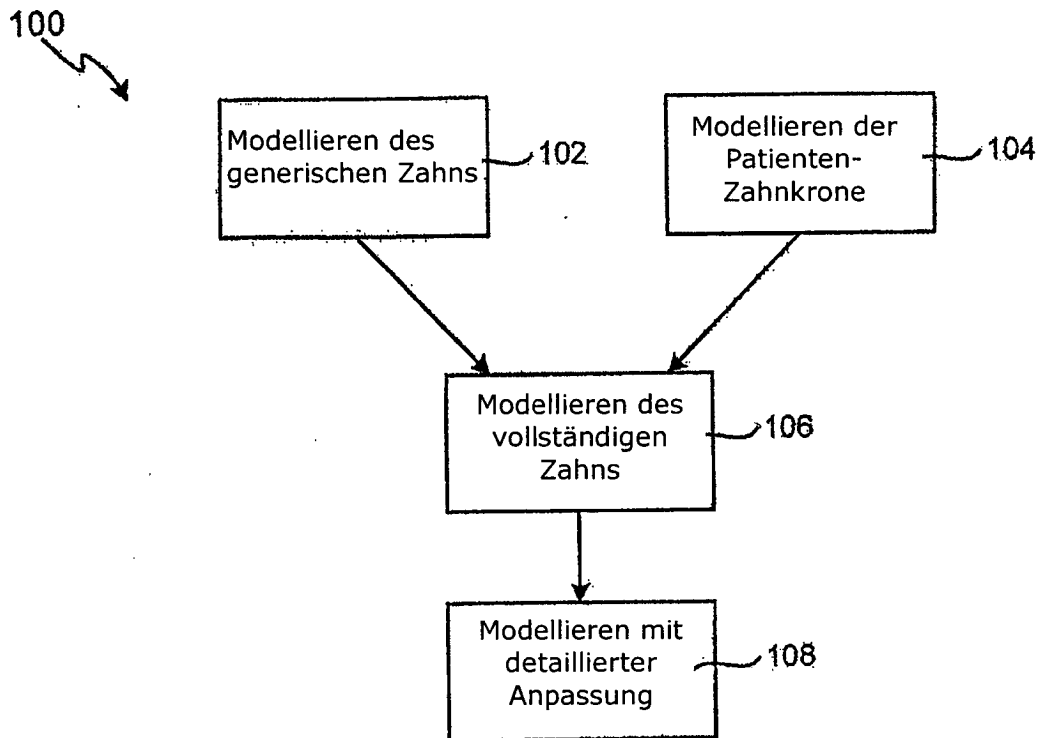
48. Aligner-Set, bei dem sie gemäß den Schritten nach einem der Ansprüche 1-46 hergestellt sind.

49. Verfahren im Wesentlichen gemäß den beigefügten Zeichnungen.

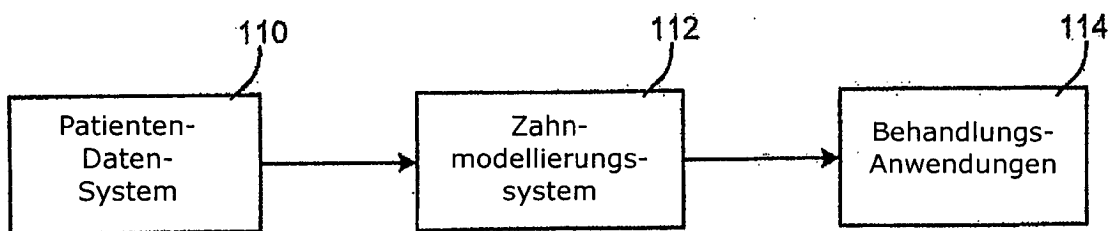
50. Verfahren im Wesentlichen gemäß der beigefügten Beschreibung.

Es folgen 14 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen



**FIG. 1A**



**FIG. 1B**

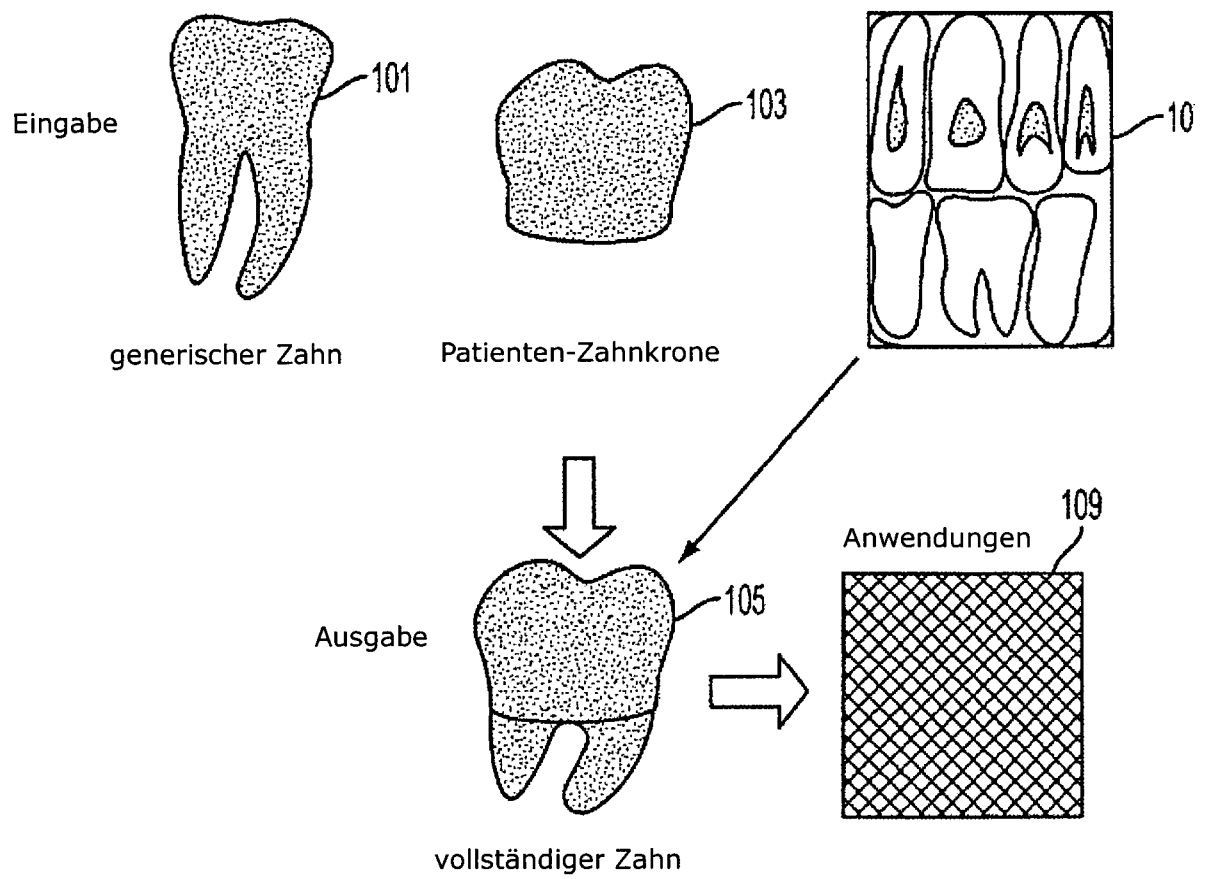


FIG. 1C



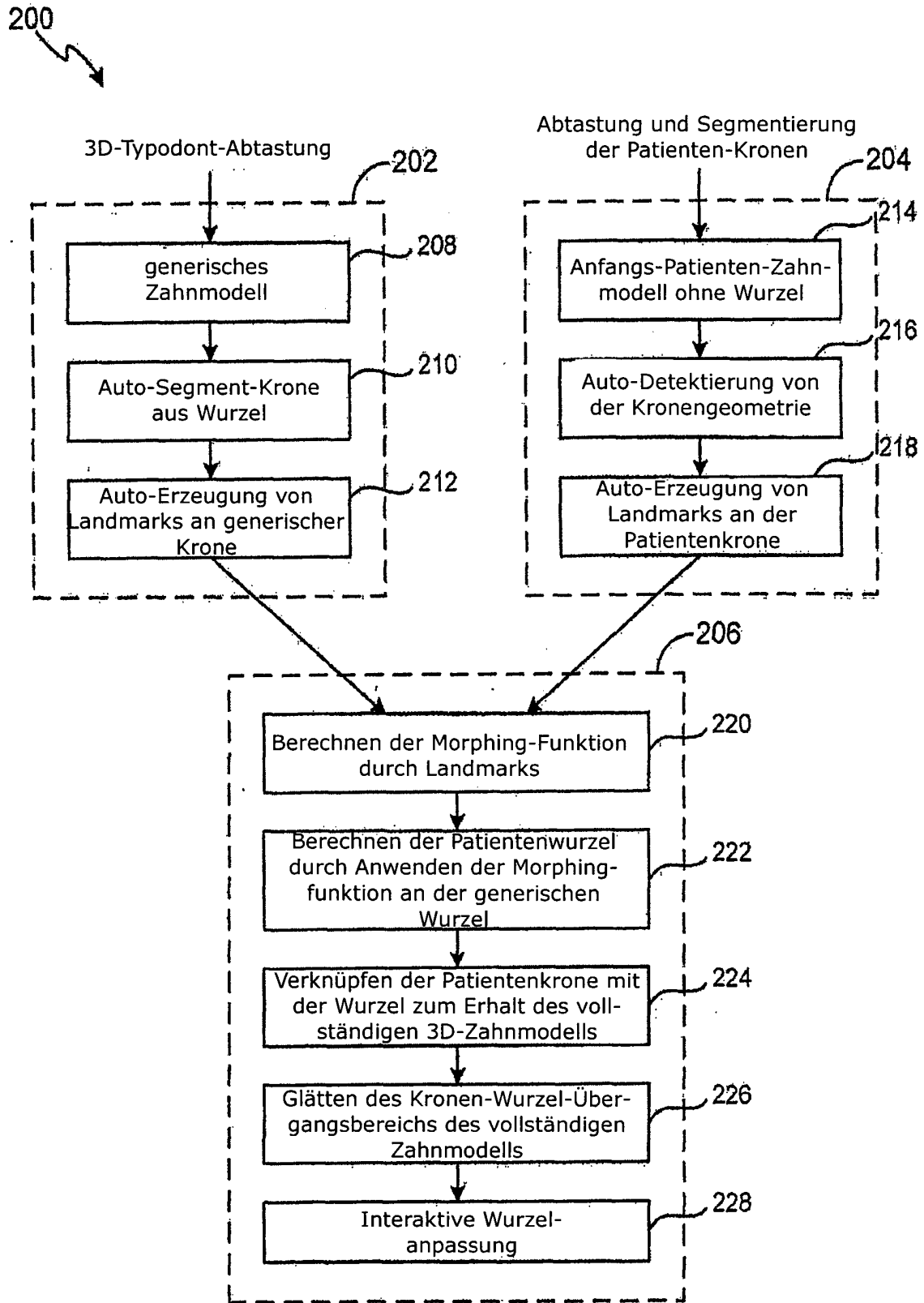
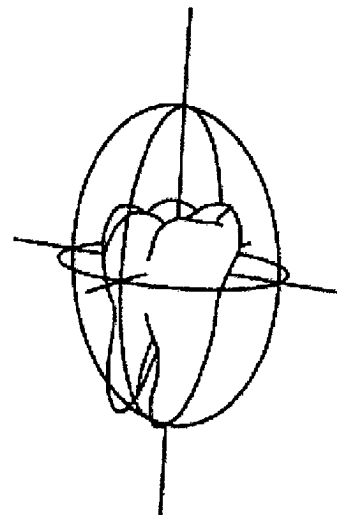
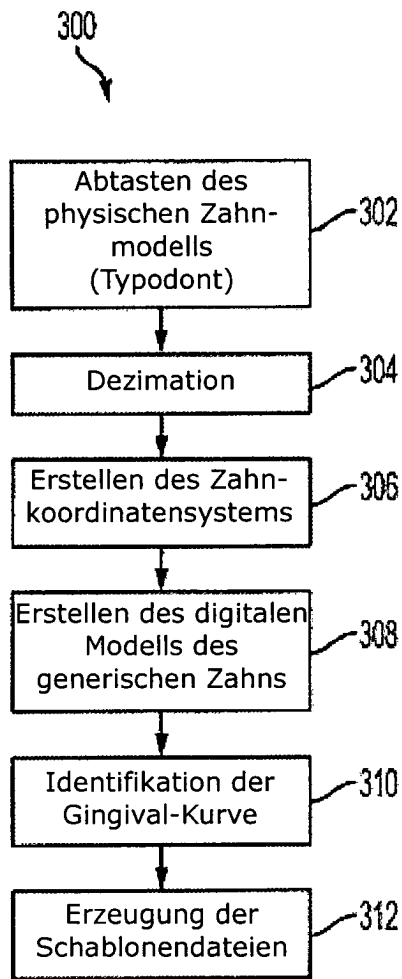


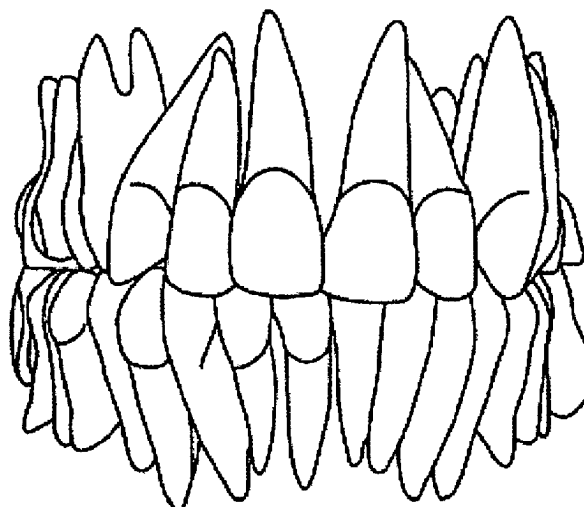
FIG. 2



Ausbildung des Zahnkoordinatensystems

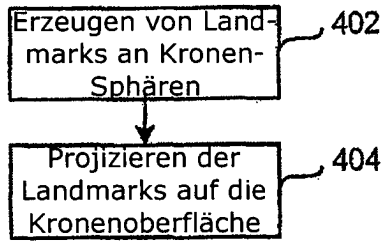
**FIG. 3B**

**FIG. 3A**

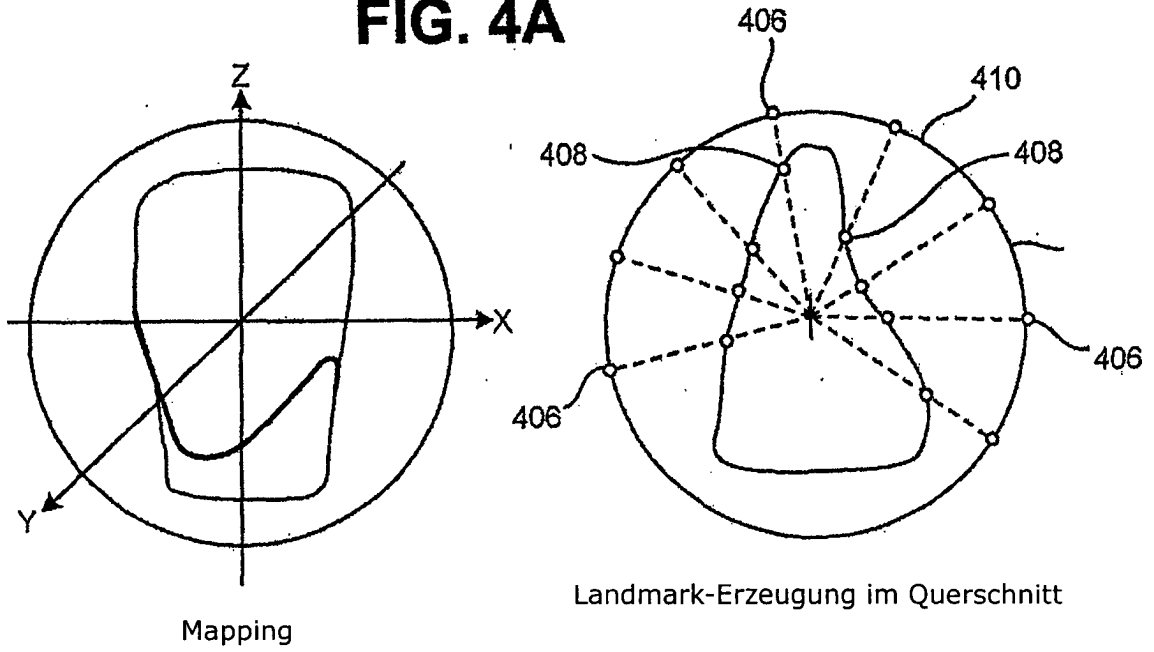


Schablone der generischen Zähne

**FIG. 3C**

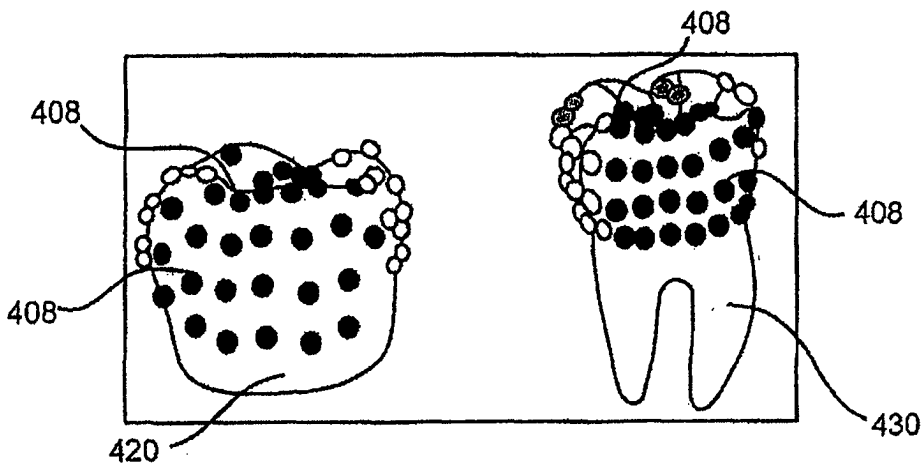


**FIG. 4A**

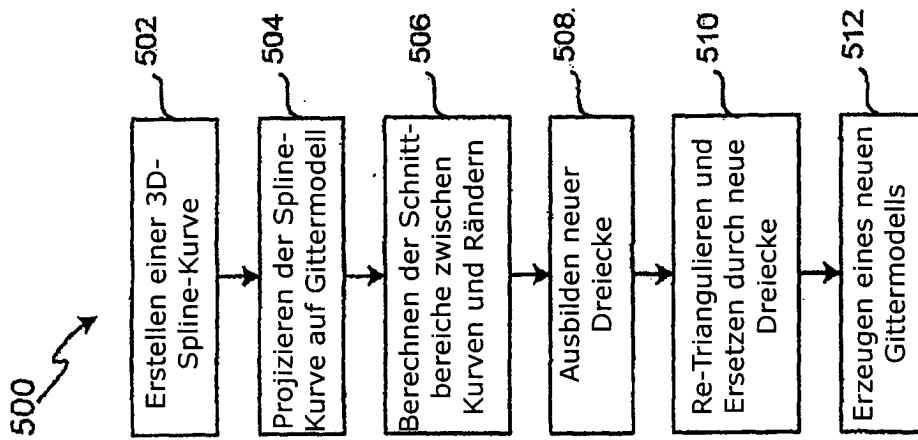


**FIG. 4B**

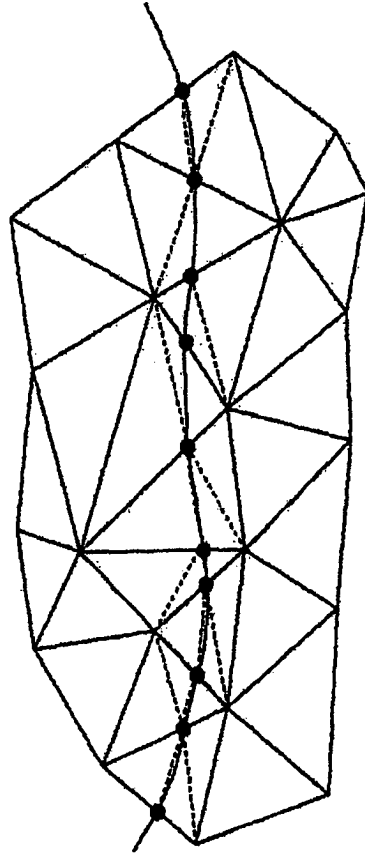
**FIG. 4C**



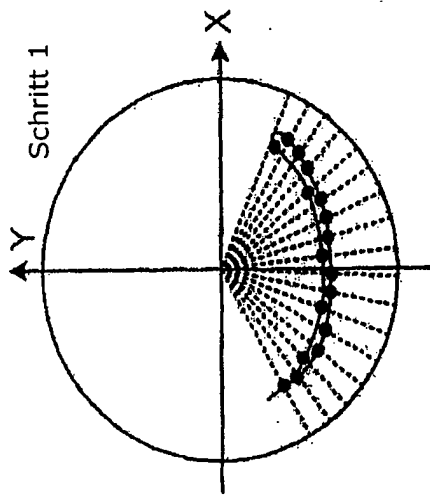
**FIG. 4D**



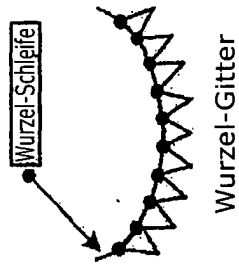
**FIG. 5A**



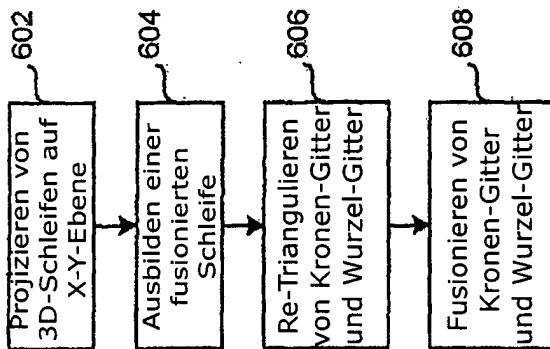
**FIG. 5B**



**FIG. 6C**



**FIG. 6A**



**FIG. 6D**

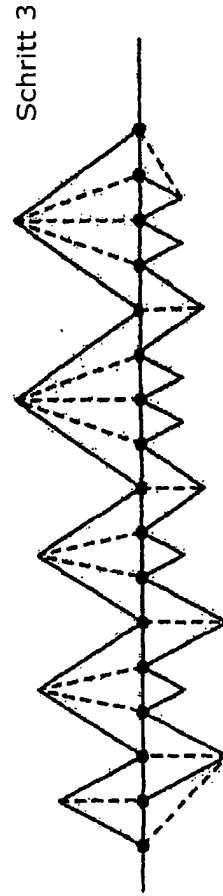
Mapping

Schritt 2



fusionierte Schleife

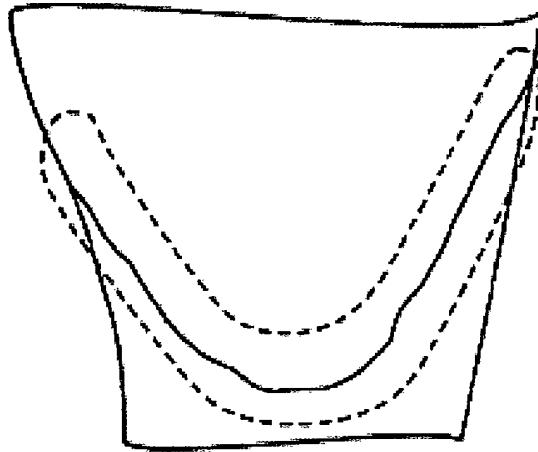
**FIG. 6E**



**FIG. 6B**

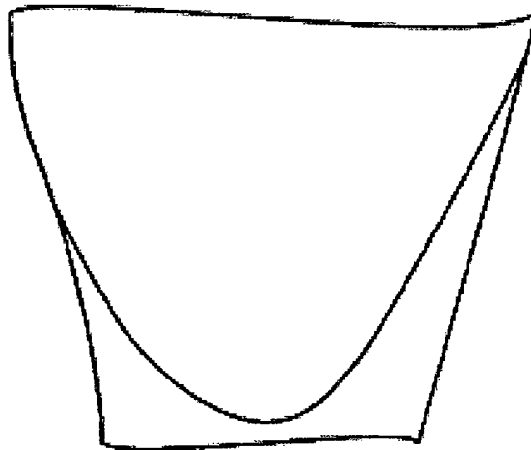
Re-Triangulieren und Verknüpfen

**FIG. 6F**



Verknüpfen ohne Glätten

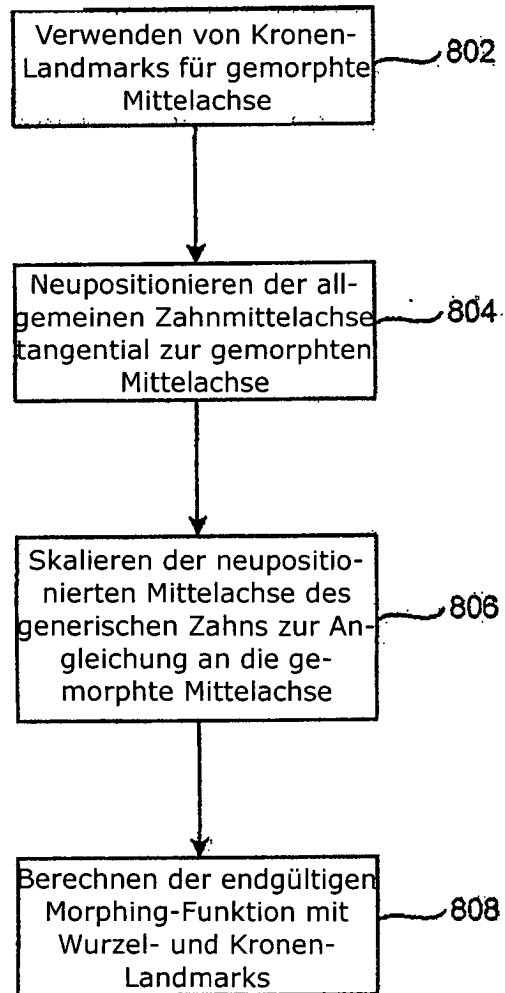
**FIG. 7A**



Verknüpfen mit Glätten

**FIG. 7B**

800 ↘



**FIG. 8A**

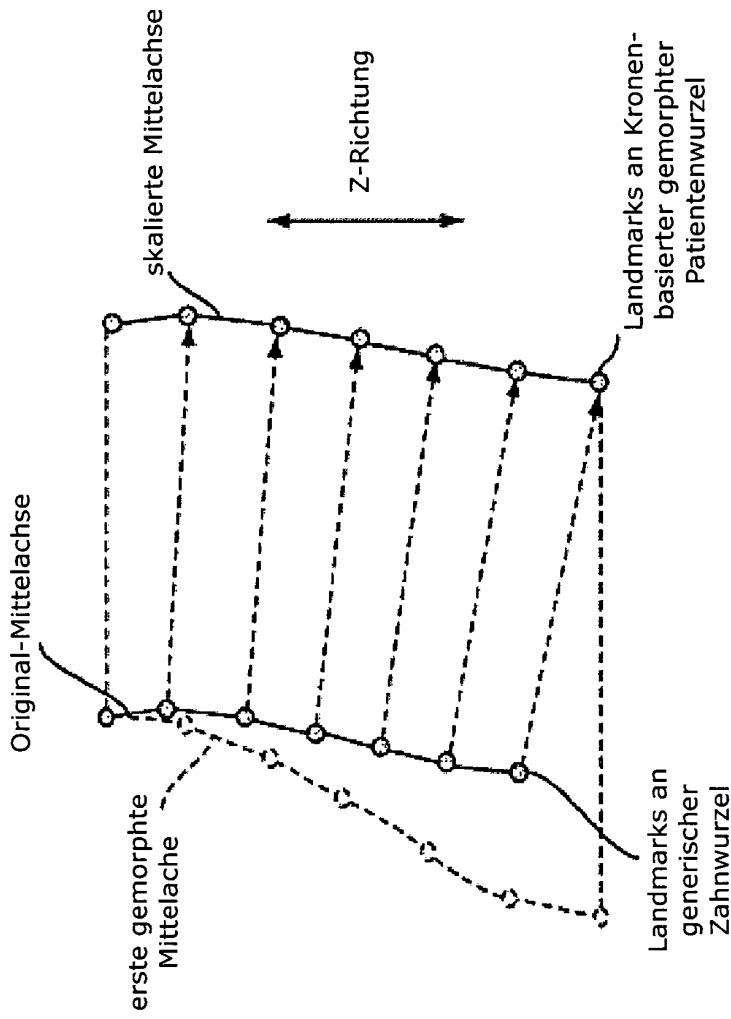


FIG. 8C

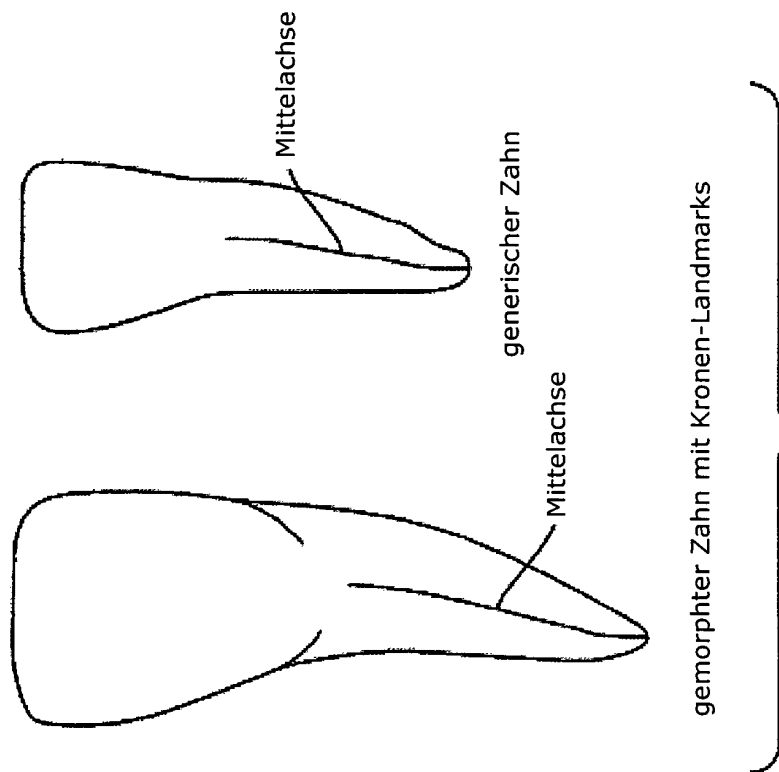


FIG. 8B



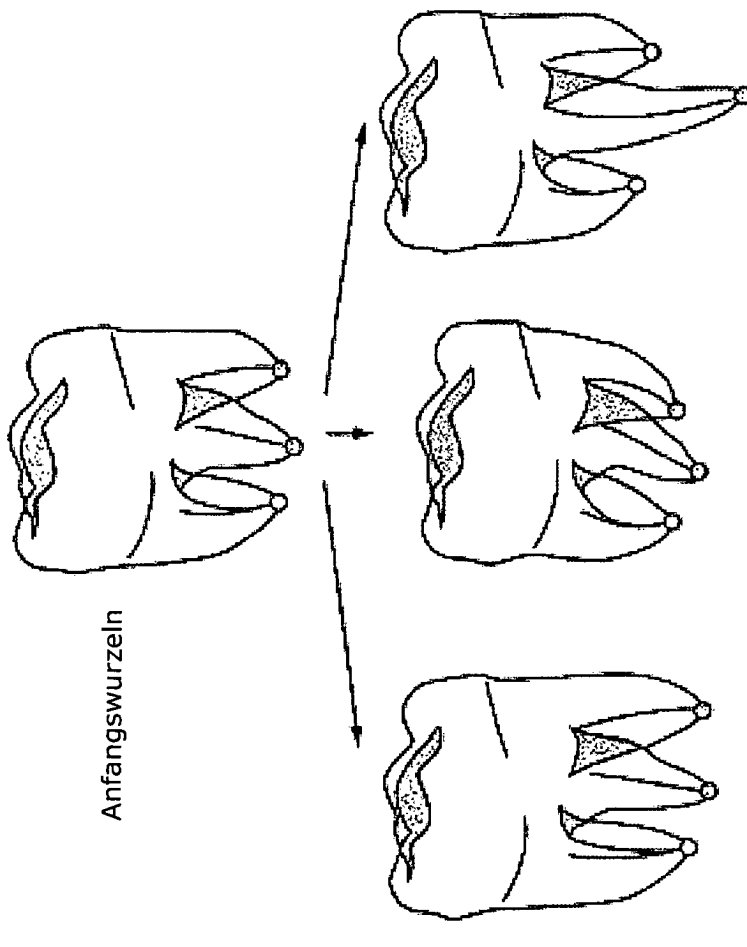


FIG. 9A

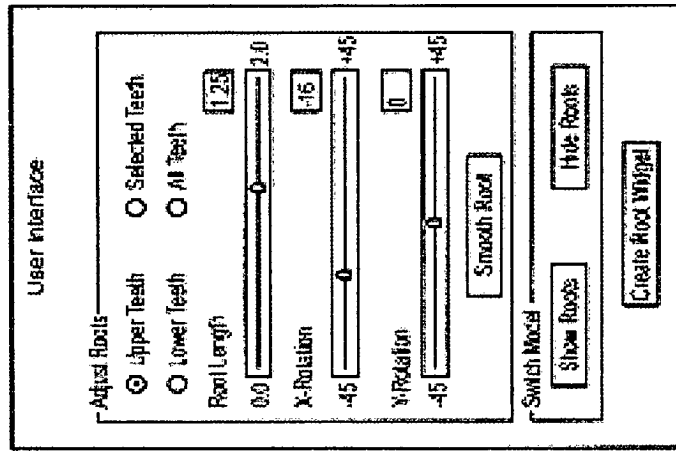


FIG. 9B

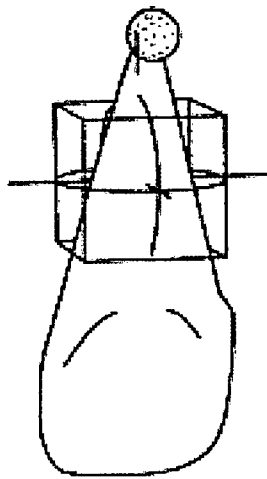


FIG. 10A

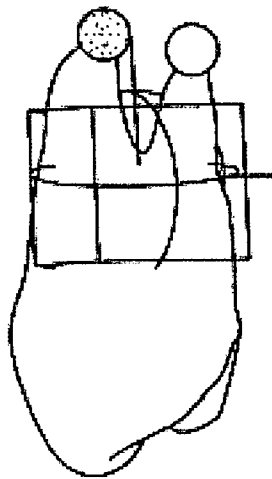


FIG. 10B

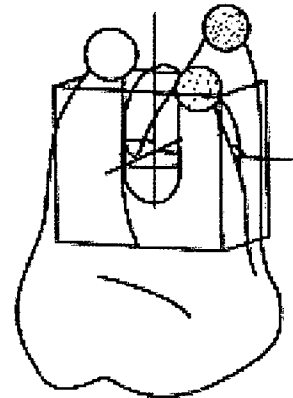
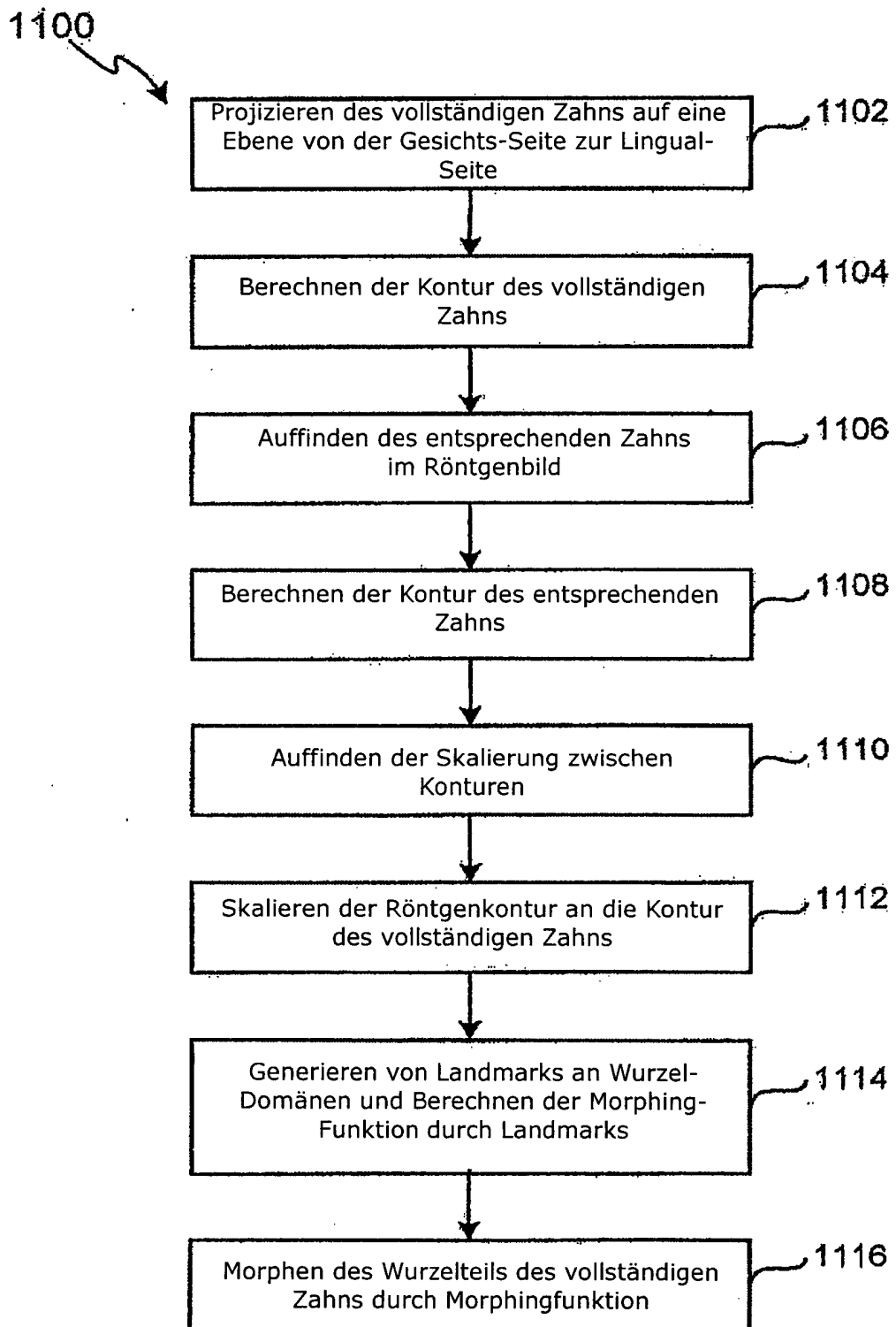
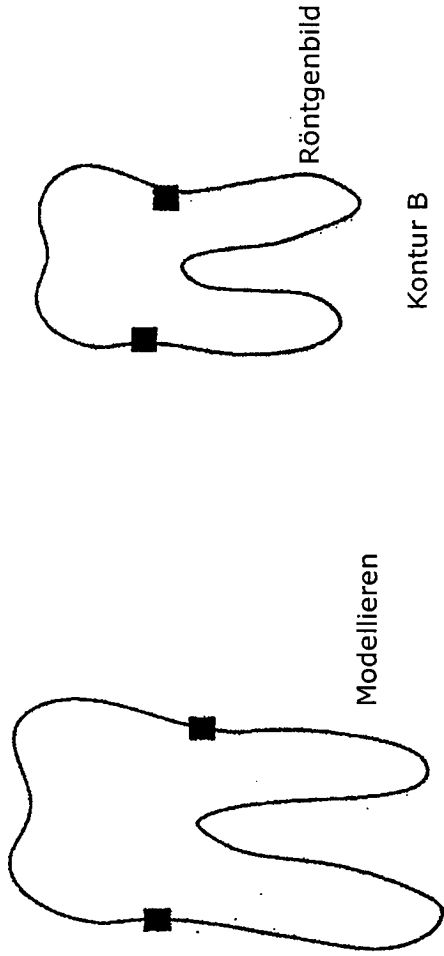


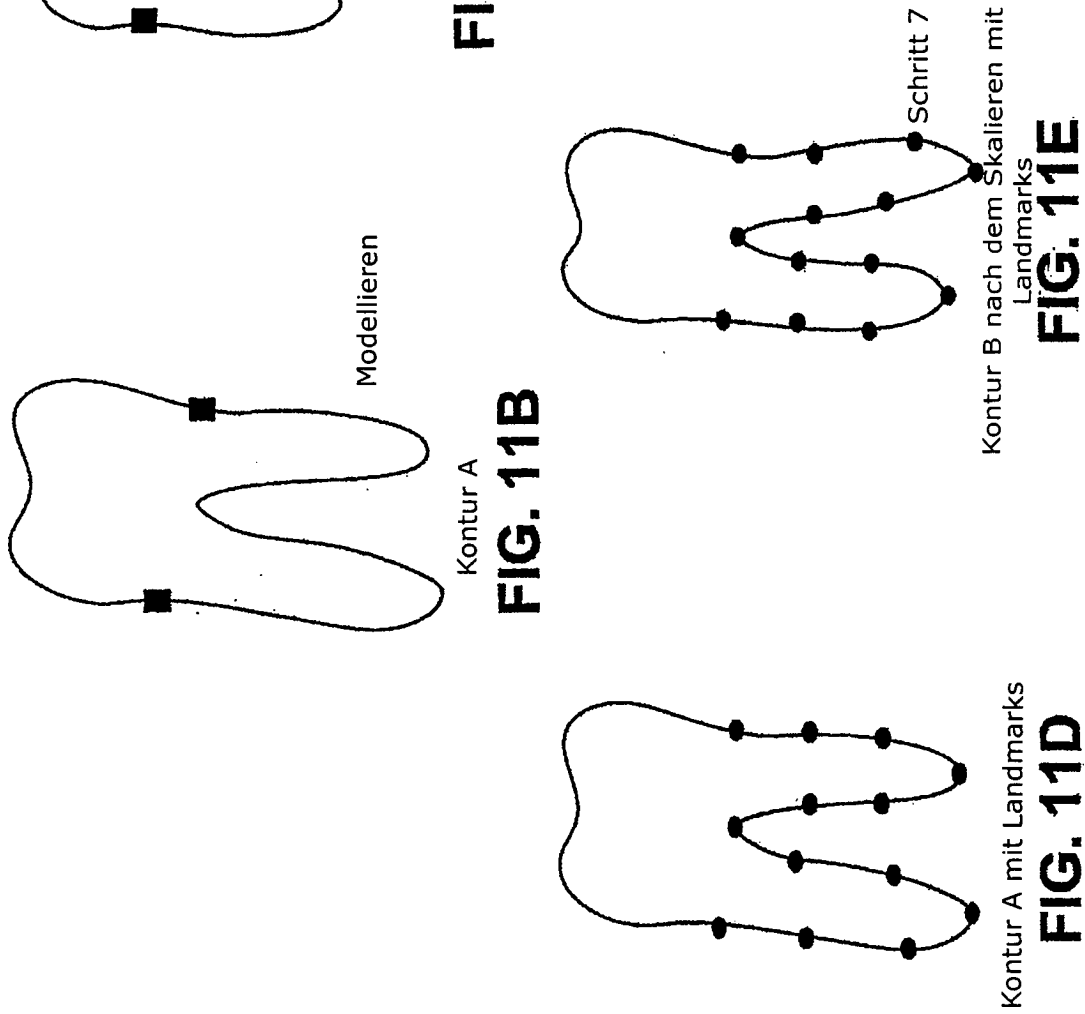
FIG. 10C



**FIG. 11A**



**FIG. 11C**



**FIG. 11B**

Kontur B nach dem Morphing  
**FIG. 11F**

**FIG. 11E**

**FIG. 11D**