

Zahnärztliches Instrument und ein Verfahren zur Planung einer dentalen Behandlung

Die Publikation betrifft ein zahnärztliches Instrument und
5 ein Verfahren zur Planung einer dentalen Behandlung.

Aus dem Stand der Technik sind mehrere Verfahren zur
Planung einer dentalen Behandlung bekannt, wobei eine
Computermaus oder eine Tastatur als Eingabemittel verwendet
werden, um innerhalb der aufgenommenen Bilddaten des
10 Patienten zu navigieren. Die aufgenommenen Bilddaten können
beispielsweise dreidimensionale Röntgendaten sein.

Darüber hinaus ist auch ein Verfahren zur Planung einer
dentalen Behandlung bekannt, wobei zur Navigation eine
Videokamera verwendet wird, wobei eine Blickrichtung der
15 Ansicht auf die dreidimensionalen Bilddaten des Patienten
abhängig von einer Aufnahmerichtung der Videokamera
verändert wird. Dadurch kann also ein bestimmter Ausschnitt
der dreidimensionalen Bilddaten des Patienten dargestellt
werden, auf den die Videokamera gerichtet ist.

20 Ein Nachteil der genannten Verfahren besteht darin, dass
die Planung aufwendig in mehreren Schritten erfolgt, wobei
der behandelnde Zahnarzt im ersten Schritt die Planung in
den dreidimensionalen Bilddaten des Patienten unter
Verwendung von Eingabemitteln, wie eine Maus und Tastatur,
25 durchführt. Anschließend wird dann die Behandlung unter
Verwendung eines zahnärztlichen Instruments durchgeführt,
wobei der behandelnde Zahnarzt die Behandlung unterbrechen
muss, um die Planung anhand der dreidimensionalen Bilddaten
des Patienten zu überprüfen.

30 Die Aufgabe des folgenden Projektes besteht daher darin,
ein zahnärztliches Instrument und ein Verfahren zur Planung

einer dentalen Behandlung bereitzustellen, die eine einfache und schnelle Planung ermöglicht.

Das Projekt betrifft ein zahnärztliches Instrument für eine
5 dentale Behandlung eines Objekts, wobei das zahnärztliche Instrument mindestens einen ersten Sensor aufweist, der die Lage und/oder die Beschleunigung des zahnärztlichen Instruments relativ zum Objekt ermittelt.

Das Objekt kann beispielsweise ein Unterkiefer, ein
10 Oberkiefer, eine Gruppe von Zähnen und/oder der gesamte Kopf eines Patienten sein. Das Objekt kann jedoch auch ein Abdruckmodell einer Zahnsituation sein, an dem eine Behandlungsplanung, wie eine Implantatbehandlung, durchgeführt wird.

15 Dadurch kann das zahnärztliche Instrument als ein Eingabemittel zur Navigation in einem Patientenmodell verwendet werden. Durch die Änderung der Lage oder der Beschleunigung des zahnärztlichen Instruments relativ zum Objekt kann beispielsweise die Blickrichtung auf das
20 dreidimensionale Patientenmodell oder die Lage eines Schnittbildes verändert werden.

Ein Vorteil eines solchen zahnärztlichen Instruments mit einem Sensor besteht darin, dass die Navigation im dreidimensionalen Patientenmodell und damit die Überprüfung
25 der Planung der dentalen Behandlung während der dentalen Behandlung erfolgen können. Der behandelnde Zahnarzt muss also die dentale Behandlung mittels des zahnärztlichen Instruments nicht unterbrechen, um die virtuelle Planung am dreidimensionalen Patientenmodell zu überprüfen.

30 Vorteilhafterweise kann der Sensor ein Magnetfeld-Sensor zur Bestimmung der Ausrichtung des zahnärztlichen

Instruments, ein Beschleunigungssensor zur Bestimmung der Beschleunigung und/oder ein Tracking-Sensor zur Bestimmung der genauen Lage des zahnärztlichen Instruments sein.

Der Magnetfeld-Sensor ist ein Sensor zur Messung einer
5 magnetischen Flussdichte des Erdmagnetfeldes. Dadurch kann die Verkippung und Ausrichtung des zahnärztlichen Instruments relativ zum Objekt ermittelt werden.

Der Beschleunigungssensor oder auch Kippsensor genannt, ist ein Sensor zur Messung der Beschleunigung, wobei die auf
10 eine Testmasse wirkenden Trägheitskräfte bestimmt werden. Somit kann beispielsweise bestimmt werden, ob eine Geschwindigkeitszunahme oder eine Geschwindigkeitsabnahme stattfindet. Als Beschleunigungssensoren können beispielsweise piezoelektrische Beschleunigungssensoren
15 oder Mikrosysteme mit Feder-Masse-Systemen verwendet werden. Bei Feder-Masse-Systemen wird anhand der Auslenkung einer Testmasse, die mit mindestens einer Feder verbunden ist, die Beschleunigung gemessen. Alternativ dazu können als Beschleunigungssensoren auch Dehnungsstreifen, die eine
20 auf die Testmasse wirkende Beschleunigungskraft vermessen, oder magnetische Induktionssensoren verwendet werden, bei denen eine an einer Feder aufgehängten Testmasse durch einen Magneten in einer Spule eine elektrische Spannung induziert.

25 Der Tracking-Sensor ermöglicht nicht nur die Messung der Lageänderung sondern die Bestimmung der genauen Lage des zahnärztlichen Instruments relativ zum Objekt. Der Tracking-Sensor kann beispielsweise auf referenzbasierten Technologien, wie GPS-Tracking (engl.: Global Positioning
30 System), GSM-Tracking (engl.: Global System for Mobile Communications), optisches Tracking oder magnetisches Tracking, beruhen.

Beim optischen Tracking kann beispielsweise das
zahnärztliche Instrument mittels einer Videokamera
aufgenommen werden, wobei charakteristische Markierungen
oder charakteristische Strukturen des zahnärztlichen
5 Instruments in der Videoaufnahme erkannt werden und damit
die genaue Lage des zahnärztliches Instruments relativ zum
Objekt, wie einem Patientenkopf, bestimmt werden kann.

Als Sensor kann auch ein Inertialsensor verwendet werden.
Ein Inertialsensor ist mikro-elektromechanisches System
10 (MEMS) und besteht aus Drehraten-, Beschleunigungs- und
Magnetsensoren. Sie nutzen die Massenträgheit und das
Erdmagnetfeld für die Messung von Bewegungen,
Orientierungen und der Lage.

Vorteilhafterweise kann das zahnärztliche Instrument
15 mindestens eine Bedienungstaste aufweisen, die zur
virtuellen Navigation geeignet ist.

Die Bedienungstaste am zahnärztlichen Instrument kann dann,
wie bei einer Computermaus, zur Navigation im
dreidimensionalen Patientenmodell verwendet werden. Mittels
20 der Bedienungstaste können also bestimmte Punkte oder
Bereiche ausgewählt werden. Die Bedienungstaste kann auch
als ein Trigger verwendet werden, wobei die Ansicht des
Patientenmodells abhängig von der Lageänderung des
zahnärztlichen Instruments nur verändert wird, solange die
25 Bedienungstaste gedrückt bleibt. Sobald die Bedienungstaste
wieder losgelassen wird, wird das zahnärztliche Instrument
also nicht mehr als ein Eingabemittel zur Navigation,
sondern auf die herkömmliche Weise zur Durchführung der
dentalen Behandlung verwendet.

30 Vorteilhafterweise kann das zahnärztliche Instrument einen
zweiten Sensor zur genaueren Bestimmung der Lage und/oder

die Beschleunigung des zahnärztlichen Instruments relativ zum Objekt aufweisen.

Ein zweiter Sensor hat den Vorteil, dass die Ausrichtung und Lage des zahnärztlichen Instruments genauer bestimmt
5 werden kann. Der erste Sensor kann beispielsweise an einem Kopffende in der Nähe des eingespannten Werkzeugs angeordnet sein, wobei der zweite Sensor am gegenüberliegenden Ende des zahnärztlichen Instruments in der Nähe eines
Kabelanschlusses angeordnet sein kann. Dadurch ist der
10 Abstand zwischen dem ersten Sensor und dem zweiten Sensor innerhalb des zahnärztlichen Instruments möglichst groß gewählt, so dass die Messfehler bei der Bestimmung der Lageänderung und der Ausrichtung verringert werden.

Die Erfindung betrifft weiterhin ein Verfahren zur Planung
15 oder zur Überprüfung der Planung einer dentalen Behandlung eines Objekts mittels eines zahnärztlichen Instruments als Eingabemittel. Das zahnärztliche Instrument weist dabei mindestens einen ersten Sensor auf, der die Lage und/oder die Beschleunigung des zahnärztlichen Instruments relativ
20 zum Objekt ermittelt. Das zahnärztliche Instrument wird zur virtuellen Navigation innerhalb eines Patientenmodells, umfassend Bilddaten des Objekts, relativ zur Objekt bewegt. Dabei wird eine Blickrichtung der Ansicht auf das Patientenmodell oder die Lage einer Schnittansicht des
25 Patientenmodells abhängig von der Änderung der ermittelten Lage und/oder Beschleunigung während der Bewegung des zahnärztlichen Instruments verändert.

Die zu planende dentale Behandlung kann beispielsweise die Analyse der Zahnsituation auf erkrankte Bereiche und die
30 Bestimmung möglicher Therapien umfassen. Die Therapiemöglichkeiten können beispielweise durchzuführende Präparationen, auf Präparationen aufzusetzende

Zahnersatzteile, durchzuführende Implantatbohrungen, Wurzelkanalbehandlungen oder Weißheitszahnbehandlungen sein.

Das für die jeweilige dentale Behandlung geeignete
5 zahnärztliche Instrument weist dabei den ersten Sensor auf, so dass die Änderung der Lage und/oder der Beschleunigung relativ zum Objekt, wie einem Patientenkopf, ermittelt werden kann. Die Lage des zahnärztlichen Instruments kann auch relativ zu einem Behandlungsstuhl oder relativ zu
10 einem sonstigen festen Bezugspunkt ermittelt werden. Das zahnärztliche Instrument wird also als ein Eingabemittel für die virtuelle Navigation innerhalb des Patientenmodells verwendet, wobei das Patientenmodell unterschiedliche Bilddaten des Objekts, wie dreidimensionale Röntgendaten,
15 umfassen kann. Zur Navigation innerhalb des Patientenmodells wird also die Blickrichtung der Ansicht oder die Lage der Schnittansicht des Patientenmodells abhängig von der Lageänderung des zahnärztlichen Instruments verändert. Dadurch kann also durch
20 Lageänderungen, wie Translation und Rotation des zahnärztlichen Instruments, relativ zum Objekt auch die Ansicht des Patientenmodells verschoben oder gedreht werden.

Bei einer ersten Anwendungsmöglichkeit kann ein Ausschnitt
25 des Patientenmodells vergrößert werden, wenn das zahnärztliche Instrument zum Objekt hin bewegt wird.

Bei einer zweiten Anwendungsmöglichkeit kann das zahnärztliche Instrument um das Objekt bewegt werden mit der Spitze auf einen bestimmten Punkt auf dem Objekt
30 zeigend, wobei ein Ausschnitt des Patientenmodells um diesen Punkt dargestellt wird. Dadurch kann der behandelnde Zahnarzt nur denjenigen relevanten Ausschnitt des

Patientenmodells betrachten auf den das das zahnärztliche Instrument zeigt.

Bei einer dritten Anwendungsmöglichkeit kann durch eine Rotation des zahnärztlichen Instruments um eine Längsachse 5 auch die Ansicht auf das Patientenmodell rotiert werden.

Bei einer vierten Anwendungsmöglichkeit kann ein Verkippen des zahnärztlichen Instruments um eine Mittelachse, die senkrecht zur Längsachse angeordnet ist, eine entsprechende Rotation des Patientenmodells um eine zur Mittelachse 10 parallele Achse erzeugen.

Ein Vorteil dieses Verfahrens liegt darin, dass der behandelnde Zahnarzt während der dentalen Behandlung innerhalb des dreidimensionalen Patientenmodells navigieren kann und dabei die Planung überprüfen kann.

15 Ein weiterer Vorteil dieses Verfahrens besteht darin, dass die ermittelte Lageänderung des zahnärztlichen Instruments verwendet werden kann, um Abstände der Zahnsituation, wie eine Eindringtiefe in einen Wurzelkanal, eine Taschentiefe oder eine Bohrungstiefe einer Implantatbohrung, zu 20 vermessen.

Vorteilhafterweise kann der erste Sensor ein Magnetfeld-Sensor zur Bestimmung der Ausrichtung des zahnärztlichen Instruments, ein Beschleunigungssensor zur Bestimmung der Beschleunigung und/oder ein Tracking-Sensor zur Bestimmung 25 der genauen Lage des zahnärztlichen Instruments relativ zum Objekt sein.

Dadurch wird mittels des Sensors die Änderung der Lage oder der Beschleunigung des zahnärztlichen Instruments relativ zum Objekt bestimmt. Bei referenzunabhängigen Sensoren 30 bleibt die Lage des Objekts, wie eines Patientenkopfs, unverändert. Im Regelfall wird dies bei dentalen

Behandlungen durch Fixierung des Patientenkopfes an einer Kopfstütze gewährleistet. Bei den referenzbasierten Tracking-Sensoren durch Verfahren, wie GPS-Tracking, GSM-Tracking, optisches Tracking oder magnetisches Tracking, 5 kann sowohl die Lage des zahnärztlichen Instruments als auch die Lage des Objekts bestimmt werden, so dass daraus die Lage des zahnärztlichen Instruments relativ zum Objekt ermittelt werden kann.

Vorteilhafterweise kann das zahnärztliche Instrument 10 mindestens eine Bedienungstaste aufweisen, wobei der Benutzer durch Betätigen der Bedienungstaste am zahnärztlichen Instrument einen virtuellen Trigger auslöst, wobei die aktuelle Lage des zahnärztlichen Instruments bestimmt und gespeichert wird, wobei eine anschließende 15 Lageänderung des zahnärztlichen Instruments relativ zum Objekt nach dem Triggern so an das Patientenmodell des Objekts gekoppelt wird, dass abhängig von der Richtung der Lageänderung die Blickrichtung der Ansicht auf das Patientenmodell oder die Lage der Schnittansicht verändert 20 wird.

Dadurch erfolgt die Kopplung der Lageänderung des zahnärztlichen Instruments an das Patientenmodell erst mit der Betätigung der Bedienungstaste. Beim Loslassen der Bedienungstaste wird diese virtuelle Kopplung also wieder 25 gelöst. Der behandelnde Arzt kann also nach dem Betätigen der Bedienungstaste durch die Lageänderung des zahnärztlichen Modells innerhalb des Patientenmodells navigieren und nach dem Loslassen der Bedienungstaste mit der dentalen Behandlung fortfahren.

30 Vorteilhafterweise kann das Patientenmodell dreidimensionale optische Oberflächendaten, dreidimensionale Röntgendaten, virtuelle Planungsdaten

und/oder MRT-Bilddaten zumindest eines Teils des Objekts umfassen.

Die dreidimensionalen optischen Oberflächendaten können beispielsweise durch ein Streifenprojektionsverfahren
5 erzeugt werden. Die dreidimensionalen Röntgendaten können beispielsweise durch ein DVT-Messverfahren oder ein Computertomographieverfahren (CT) erzeugt werden. Die Bilddaten des Patientenmodells können auch nur einen Teil des Objekts umfassen.

10 Falls das Objekt der gesamte Kopf des Patienten ist, können die Röntgendaten beispielsweise nur den Oberkiefer oder den Unterkiefer enthalten. Das Patientenmodell kann auch Röntgendaten einer zweidimensionalen cephalometrischen Röntgenaufnahme oder einer Panoramaaufnahme enthalten. Die
15 virtuellen Planungsdaten können beispielsweise Planungselemente, wie virtuelle Markierungen, Kommentare, einfache Zeichnungen oder Modelle von einzusetzenden Zahnersatzteilen und/oder Implantaten, umfassen, die eine feste Lagebeziehung zu der umgebenden Zahnsituation
20 bestehend aus Zähnen und Zahnfleisch aufweisen.

Vorteilhafterweise kann das zahnärztliche Instrument ein dentaler Bohrer sein, wobei die Lageänderung des Bohrers während der Durchführung einer Implantatbohrung mitverfolgt wird.

25 Dadurch wird die Implantatbohrung während der Behandlung mitverfolgt, so dass der Verlauf der Implantatbohrung graphisch, beispielsweise anhand einer farblichen Simulation, innerhalb des Patientenmodells dargestellt werden kann. Dies erleichtert dem behandelnden Zahnarzt die
30 Kontrolle der geplanten Implantatbohrung.

Vorteilhafterweise kann durch das Betätigen der Bedienungstaste eine Anfangsposition der Implantatbohrung festgelegt werden, wobei anschließend während des Bohrvorgangs eine Bohrtiefe und/oder ein Bohrwinkel relativ
5 zur Objekt bestimmt werden.

Dadurch wird die Anfangsposition der Implantatbohrung definiert und ausgehend von dieser Anfangsposition die Bohrtiefe und der Bohrwinkel bestimmt. Die Bohrtiefe und der Bohrwinkel können auch graphisch innerhalb des
10 Patientenmodells dargestellt werden, um die visuelle Kontrolle der geplanten Implantatbohrung zu erleichtern.

Vorteilhafterweise kann die ermittelte Bohrtiefe und/oder der ermittelten Bohrwinkel mit Sollwerten aus einer vorangehenden Implantatplanung verglichen werden.

15 Dadurch kann das zur Implantatplanung verwendete Computersystem die gemessene Bohrtiefe und den gemessenen Bohrwinkel mit vorgegebenen Sollwerten aus der Implantatplanung vergleichen und gegebenenfalls eine akustische oder visuelle Warnmeldung abgeben, falls ein
20 vorgegebener Toleranzbereich überschritten wird.

Vorteilhafterweise kann das zahnärztliche Instrument ein Wurzelkanalinstrument sein, wobei die Lageänderung des Wurzelkanalinstruments während der Durchführung der Wurzelkanalbehandlung mitverfolgt wird.

25 Das Wurzelkanalinstrument kann beispielsweise eine flexible Feile zur Reinigung und Ausformung des Wurzelkanals oder ein flexibler Wurzelfüller zur Füllung des Wurzelkanals sein. Ausgehend von der ermittelten Lageänderung des Wurzelkanalinstruments kann also der Verlauf der
30 Wurzelkanalbehandlung simuliert werden. In Kenntnis des genauen Verlaufs des Wurzelkanals und in Kenntnis der

Eindringtiefe des Wurzelkanalinstruments kann also das Eindringen des flexiblen Wurzelkanalinstruments graphisch simuliert werden, wie beispielsweise mittels eines farblichen Modells des Wurzelkanalinstruments im
5 Patientenmodell.

Vorteilhafterweise kann durch das Betätigen der Bedingungstaste eine Anfangsposition eines zu behandelnden Wurzelkanals festgelegt werden, wobei anschließend während der Wurzelkanalbehandlung eine Eindringtiefe des
10 Wurzelkanalinstruments in den Wurzelkanal bestimmt wird.

Durch das Betätigen der Bedienungstaste wird also die Anfangsposition definiert und ausgehend von dieser die Eindringtiefe bestimmt. Die ermittelte Eindringtiefe kann computergestützt mit einer maximalen Soll-Eindringtiefe aus
15 der Planung der Wurzelbehandlung verglichen werden. Bei Überschreitung der maximalen Soll-Eindringtiefe kann eine Warnmeldung erzeugt werden.

Vorteilhafterweise kann eine Schnittansicht des Patientenmodells mittels einer Anzeigevorrichtung
20 dargestellt werden, wobei die Schnittansicht in einer Ebene verläuft, die senkrecht zu einer Wurzelkanalachse des zu behandelnden Wurzelkanals angeordnet ist, wobei die Lage der Schnittansicht entlang des Wurzelkanals abhängig von der Lageänderung des Wurzelkanalinstruments verändert wird.

25 Die Darstellung des Patientenmodells kann mittels einer beliebigen Anzeigevorrichtung, wie eines Monitors, erfolgen.

Die Schnittansicht wird also mit dem Voranschreiten der Wurzelbehandlung entlang des Wurzelkanals verschoben, so
30 dass der behandelnde Zahnarzt überwachen kann, ob die Wurzelbehandlung planmäßig abläuft.

Vorteilhafterweise kann die Lage der Schnittansicht mit der Lage einer vorderen Spitze des Wurzelkanalinstruments innerhalb des Wurzelkanals während der Wurzelkanalbehandlung übereinstimmen.

- 5 Die vordere Spitze des Wurzelkanalsinstruments ist beispielsweise die Spitze einer K-Feile, eines Reamers oder eines Wurzelfüllers.

Vorteilhafterweise kann das Patientenmodell ein erstes Kiefermodell eines Unterkiefers und ein zweites
10 Kiefermodell eines Unterkiefers umfassen, wobei zur Okklusionskontrolle eine Kaubewegung des ersten Kiefermodells relativ zum zweiten Kiefermodell simuliert wird, wobei die Kaubewegung abhängig von der Lageänderung des zahnärztlichen Instruments erfolgt.

- 15 Dadurch kann die Okklusionskontrolle während der dentalen Behandlung virtuell durchgeführt werden. Beispielsweise kann ein Verkippen des zahnärztlichen Instruments um die Mittelachse, die senkrecht zu der Längsachse angeordnet ist, an die Kaubewegung gekoppelt sein, so dass beim
20 Verkippen des zahnärztlichen Instruments nach vorne die Kiefer geschlossen werden und beim Verkippen des zahnärztlichen Instruments nach hinten die Kiefer geöffnet werden.

Das Projekt wird anhand der Zeichnungen erläutert. Es
25 zeigt, die

Fig. 1 eine Skizze zur Verdeutlichung des Verfahrens zur Planung einer dentalen Behandlung, die

Fig. 2 eine Skizze zur Verdeutlichung einer alternativen Navigationsart mittels des
30 zahnärztlichen Instruments; die

Fig. 3 eine Skizze zur Verdeutlichung einer alternativen Navigationsart bei einer Implantatbohrung; die

Fig. 4 eine Skizze zur Verdeutlichung einer alternativen Navigationsart bei einer Wurzelkanalbehandlung.

Ausführungsbeispiel

Die Fig. 1 zeigt eine Skizze zur Verdeutlichung des Verfahrens zur Planung einer dentalen Behandlung mittels
10 eines zahnärztlichen Instruments 1 als Eingabemittel. Das zahnärztliche Instrument 1 weist einen ersten Sensor 2, einen zweiten Sensor 3 und eine Bedienungstaste 4 auf. Das zahnärztliche Instrument kann beispielsweise ein dentaler Bohrer, ein Instrument zur Wurzelkanalbehandlung, ein
15 Instrument zur Durchführung einer Implantatbohrung, ein Schleifer zum Bearbeiten einer Präparation, ein Scaler oder ein Instrument zur Karieskontrolle sein. Die Sensoren 2 und 3 können beispielsweise Magnetfeldsensoren oder Beschleunigungssensoren sein. Zusätzlich zur Überprüfung
20 der Lage des zahnärztlichen Instruments 1 relativ zu einem Objekt 5 ein Tracking-System verwendet werden, das eine Videokamera 6 umfasst, wobei die Videokamera 6 ein Bereich 7 aufnimmt, der durch die gestrichelten Linien 8 und 9 begrenzt ist. Dabei erfolgt das Tracking anhand von
25 charakteristischen Markierungen 10 am zahnärztlichen Instrument 1 und anhand von charakteristischen Strukturen des Objekts 5. Das Objekt 5 ist in diesem Fall ein Kopf eines Patienten, wobei die Lage des Kopfes 5 anhand von charakteristischen Strukturen, wie der Nase 11 oder des
30 Kinns 12 ermittelt werden kann. Mittels der Videokamera 6 wird also die genaue und die Lageänderung des zahnärztlichen Instruments 1 relativ zum Objekt 5 in

Kombination mit den Daten der Sensoren 2 und 3 ermittelt.
Zur Verbesserung des Trackingverfahrens können
beispielsweise im Wangenbereich am Kopf des Patienten 5
Markierungen 13 angebracht werden, die in der Videoaufnahme
5 der Videokamera 6 eindeutig erkannt werden können. Das
zahnärztliche Instrument 1 wird zur virtuellen Navigation
innerhalb eines Patientenmodells 14 verwendet, das
 Bilddaten des Objekts 5, wie dreidimensionale Röntgendaten
15, dreidimensionale optische Bilddaten, MRT-Bilddaten
10 und/oder auch virtuelle Planungsdaten 16 umfassen kann. Bei
den virtuellen Planungsdaten 16 handelt es sich um ein
geplantes Implantat-Modell 17, ein Abutment-Modell 16 und
ein Restorations-Modell 19. Während der Navigation im
Patientenmodell 14 ist das zahnärztliche Instrument 1 an
15 das Patientenmodell 14 virtuell so gekoppelt, dass beim
Bewegen des zahnärztlichen Modells 1 relativ zum Objekt 5
die Darstellung des Patientenmodells 14 mittels eines
Monitors 20 abhängig von der Änderungen der Lage und/oder
der Beschleunigung verändert wird. Die Messdaten der
20 Sensoren 2 und 3 sowie die Bilddaten der Videokamera 6
werden an einen Computer 21 weitergeleitet, der mit
Eingabemitteln, wie eine Tastatur 22 und eine Maus 23 sowie
dem Monitor 20 verbunden sein kann. Die Freiheitsgrade der
Navigation mittels des zahnärztlichen Instrumentes 1 als
25 Eingabemittel sind beispielsweise durch eine lineare
Bewegung 24 auf das Objekt 5 hin, durch eine
Schwenkbewegung 25 des zahnärztlichen Instruments 1 um das
Objekt 5 mit einer Mittelachse 26 auf das Objekt 5 zeigend,
durch eine Drehbewegung 27 des zahnärztlichen Instruments 1
30 um die Mittelachse 26 und eine Kippbewegung 28 um eine
Verkippsachse 29 definiert sein. Die Verkippsachse 29
kann dabei senkrecht zur Mittelachse 26 angeordnet sein.
Zur Verdeutlichung ist ein Koordinatenkreuz 30 mit einer x-

Achse, einer y-Achse und einer z-Achse eingezeichnet. Ein weiterer Freiheitsgrad kann die parallele Verschiebung 31 des zahnärztlichen Instruments 1 in die y-Richtung sein. Durch die Lageänderung 24 wird ein Abstand 32 zwischen dem
5 zahnärztlichen Instrument 1 und dem Objekt 5 verändert. Abhängig von der Lageänderung 24 kann beispielsweise ein dargestellter Ausschnitt 33 vergrößert oder verkleinert werden, so dass der behandelnde Zahnarzt durch die Lageänderung 24 auf den Kopf 5 des Patienten hin, in den
10 betreffenden Bereich das Patientenmodell 14 hineinzoomen kann. Durch die Lageänderung 25 kann die Blickrichtung der Ansicht auf das Patientenmodell abhängig von der Ausrichtung der Mittelachse 26 verändert, so dass nur der jeweilige Ausschnitt 33 des Patientenmodells 14 dargestellt
15 wird, auf den die Mittelachse 26 des zahnärztlichen Instruments 1 zeigt. Durch die Lageänderung 28 und die Kippachse 29 könnte beispielsweise das gesamte Patientenmodell 14 oder ein ausgewähltes Planungselement, wie das Implantat-Modell 17, das Abutment-Modell 18 oder
20 das Kronen-Modell 19 verkippt werden.

Die Bedienungstaste 4 löst einen virtuellen Trigger aus, wobei beim Betätigen der Bedienungstaste 4 die aktuelle Lage des zahnärztlichen Instruments 1 bestimmt und gespeichert wird, wobei eine anschließende Lageänderung
25 nach dem Triggern so an das Patientenmodell 14 gekoppelt wird, dass die virtuelle Navigation in der beschriebenen Weise entlang der Lageänderungen 24, 25, 27, 28 und 31 erfolgen kann. Die Bedienungstaste 4 kann auch zum Auswählen bestimmter abgegrenzter Bereiche des
30 Patientenmodells 14 wie Zähne, oder zur Auswahl von Planungselementen 17, 18 oder 19 verwendet werden. Mittels des zahnärztlichen Instruments 1 als Eingabemittel kann durch das Betätigen der Bedienungstaste 4 eines der

Planungselemente 34 ausgewählt werden und in das
dargestellte Patientenmodell 14 eingefügt werden. Solange
die Bedienungstaste 4 gedrückt bleibt, kann das ausgewählte
Planungselement 17, 18 oder 19 verschoben und an einer
5 bestimmten Position relativ zum Patientenmodell 14
positioniert werden. Beim Loslassen der Taste 4 wird also
die genaue Position des jeweiligen Planungselements 17, 18
oder 19 definiert.

Die Fig. 2 zeigt eine Skizze zur Verdeutlichung einer
10 alternativen Navigationsart mittels des zahnärztlichen
Instruments 1. Durch das Betätigen der Bedienungstaste 4
wird im ersten Schritt ein Planungselement, wie im
vorliegenden Fall das Implantat-Modell 17 aus Fig. 1,
ausgewählt. Anschließend erfolgt eine Lageänderung des
15 zahnärztlichen Instruments, wie die Rotation 27 des
zahnärztlichen Instruments um die eigene Mittelachse 26,
wobei eine Blickrichtung 40, die symbolisch durch eine
virtuelle Kamera 41 verdeutlicht wird, abhängig von der
Rotation 27 so verändert wird, dass die virtuelle Kamera 41
20 um eine Mittelachse 42 des ausgewählten Implantat-Modells
17 geschwenkt wird, wobei die Blickrichtung auf die
Mittelachse 42 zeigt. Zur Verdeutlichung ist die virtuelle
Kamera 41 in einer Endposition 43 gestrichelt dargestellt.
Dadurch kann der behandelnde Zahnarzt durch die Rotation 27
25 das ausgewählte geplante Implantatmodell 17 innerhalb des
Patientenmodells 14 aus mehreren Richtungen betrachten, um
mögliche Komplikationen auszuschließen.

In Fig. 3 ist eine weitere Alternative
Anwendungsmöglichkeit der Navigation innerhalb des
30 Patientenmodells 14 aus Fig. 1 mittels des zahnärztlichen
Instruments 1 dargestellt. Das zahnärztliche Instrument 1
ist ein dentaler Bohrer, der mittels einer Bohrschablone 50

geführt wird, um eine geplante Implantatbohrung 51 mit einer Implantatachse 52 und einer geplanten Soll-Bohrtiefe 53 durchzuführen. Die Lageänderung des dentalen Bohrers 1 wird also während der Durchführung der Implantatbohrung 51 mitverfolgt, wobei durch das Betätigen der Bedienungstaste 4 eine Anfangsposition 54, die durch ein Kreuz dargestellt ist, festgelegt wird. Anschließend werden während des Bohrvorgangs eine aktuelle Bohrtiefe 55 und ein Bohrwinkel 56 ermittelt. Der Bohrwinkel 56 liegt zwischen der Mittelachse 52 und einer Zahnachse 57, wobei die Zahnachse 57 als eine senkrechte Achse zu Okklusalfächen 58 und 59 der Nachbarzähne 60 und 61 bestimmt wird. Mittels der Anzeigevorrichtung 20 kann also der Bohrvorgang grafisch dargestellt werden, wobei ein Implantatbohrungs-Modell 61 mit der Mittelachse 52 dargestellt wird. Die ermittelte Bohrtiefe 55 und der ermittelte Bohrwinkel 56 können mit der geplanten Bohrtiefe 53 und einem geplanten Bohrwinkel verglichen werden, wobei beim Überschreiten der Sollwerte eine visuelle Warnmeldung 62 oder eine akustische Meldung 63 mittels eines Lautsprechers 64 erzeugt werden kann. Dadurch wird der behandelnde Zahnarzt darauf hingewiesen, dass die geplante Soll-Bohrtiefe 53 überschritten wird oder vom geplanten Bohrwinkel abgewichen wird. Zur Verdeutlichung des Bohrvorgangs kann zusätzlich ein Bohrer-Modell 65 angezeigt werden.

In Fig. 4 ist eine weitere Anwendung der Navigation innerhalb des Patientenmodells 14 aus Fig. 1 mittels des zahnärztlichen Instruments 1 als Eingabemittel dargestellt. Das zahnärztliche Instrument 1 ist ein Wurzelkanalinstrument, wobei die Lageänderung unter Verwendung der Sensoren 2 und 3 während der Durchführung der Wurzelkanalbehandlung mitverfolgt wird. Durch das Betätigen der Taste 4 wird im ersten Schritt eine

Anfangsposition 70 eines zu behandelnden Wurzelkanals 71 festgelegt, wobei im zweiten Schritt während der Wurzelkanalbehandlung eine Eindringtiefe 72 in den Wurzelkanal 71 bestimmt wird. Mittels der

5 Anzeigevorrichtung 20 wird ein Ausschnitt des Patientenmodells 14 mit dem zu behandelnden Zahn 73 dargestellt, wobei eine Schnittansicht 74 des zu behandelnden Wurzelkanals 71 in einer Ebene 75 dargestellt wird, die senkrecht zu einer Wurzelkanalachse 76 des zu

10 behandelnden Wurzelkanals 71 angeordnet ist. Die Ebene 75 der Schnittansicht 74 wird dabei abhängig von der Lageänderung des Wurzelkanalinstruments 1 verändert. Die Ebene 75 der Schnittansicht 74 kann beispielsweise mit der Position einer vorderen Spitze 77 des

15 Wurzelkanalinstruments 1 übereinstimmen und mit dieser während der Wurzelkanalbehandlung mit verschoben werden. Dadurch sieht der behandelnde Zahnarzt die jeweilige Schnittansicht 74 des Patientenmodells 14 an der Spitze 77 des Wurzelkanalinstruments 1. Falls die ermittelte

20 Eindringtiefe 72 eine vorgegebene Soll-Eindringtiefe 78 überschreitet, kann die visuelle Warnmeldung 62 oder die akustische Warnmeldung 63 den behandelnden Zahnarzt darauf hinweisen.

Bezugszeichen

	1	zahnärztliches Instrument
	2	erster Sensor
	3	zweiter Sensor
5	4	Bedienungstaste
	5	Objekt
	6	Videokamera
	7	Bereich
	8	gestrichelte Linie
10	9	gestrichelte Linie
	10	Markierung
	11	Nase
	12	Kinn
	13	Markierung
15	14	Patientenmodell
	15	Röntgendaten
	16	Planungsdaten
	17	Implantat-Modell
	18	Abutment-Modell
20	19	Restaurations-Modell
	20	Monitor
	21	Computer
	22	Tastatur
	23	Maus
25	24	Lageänderung

	25	Schwenkbewegung
	26	Mittelachse
	27	Drehbewegung
	28	Kippbewegung
5	29	Verkippsachse
	30	Koordinatenkreuz
	31	Verschiebung
	32	Abstand
	33	Ausschnitt
10	40	Blickrichtung
	41	Kamera
	42	Mittelachse
	43	Endposition
	50	Bohrschablone
15	51	Implantatbohrung
	52	Implantatachse
	53	Soll-Bohrtiefe
	54	Anfangsposition
	55	Bohrtiefe
20	56	Bohrwinkel
	57	Zahnachse
	58	Okklusalfäche
	59	Okklusalfäche
	60	Nachbarzahn
25	61	Nachbarzahn

	62	Warnmeldung
	63	akustische Meldung
	64	Lautsprecher
	65	Bohrer-Modell
5	70	Anfangsposition
	71	Wurzelkanal
	72	Eindringtiefe
	73	Zahn
	74	Schnittansicht
10	75	Ebene
	76	Wurzelkanalachse
	77	Spitze
	78	Soll-Eindringtiefe

15 Zahnärztliches Instrument (1) für eine dentale Behandlung eines Objekts (5), wobei das zahnärztliche Instrument (1) mindestens einen ersten Sensor (2) aufweist, der die Lage und/oder die Beschleunigung des zahnärztlichen Instruments (1) relativ zum Objekt (5) ermittelt.

20 Zahnärztliches Instrument (1), wobei der Sensor (2) ein Magnetfeld-Sensor zur Bestimmung der Ausrichtung des zahnärztlichen Instruments (1), ein Beschleunigungssensor zur Bestimmung der Beschleunigung und/oder ein Tracking-Sensor zur Bestimmung der genauen Lage des zahnärztlichen
25 Instruments (1) ist.

Zahnärztliches Instrument (1), wobei das zahnärztliche Instrument (1) mindestens eine Bedienungstaste (4) aufweist, die zur virtuellen Navigation geeignet ist.

Zahnärztliches Instrument (1), wobei das zahnärztliche Instrument (1) einen zweiten Sensor (3) zur genaueren Bestimmung der Lage und/oder die Beschleunigung des zahnärztlichen Instruments (1) relativ zum Objekt (5) aufweist.

Verfahren zur Planung oder zur Überprüfung der Planung einer dentalen Behandlung eines Objekts (5) mittels eines zahnärztlichen Instruments (1), wobei das zahnärztliche Instrument (1) mindestens einen ersten Sensor (2) aufweist, der die Lage und/oder die Beschleunigung des zahnärztlichen Instruments (1) relativ zum Objekt (5) ermittelt, wobei das zahnärztliche Instrument (1) zur virtuellen Navigation innerhalb eines Patientenmodells (14), umfassend Bilddaten des Objekts (5), relativ zur Objekt (5) bewegt wird, wobei eine Blickrichtung (40) der Ansicht auf das Patientenmodell (14) oder die Lage einer Schnittansicht (74) des Patientenmodells (14) abhängig von der Änderung (24, 25, 27, 28, 31) der ermittelten Lage und/oder Beschleunigung während der Bewegung des zahnärztlichen Instruments (1) verändert wird.

Verfahren, wobei der erste Sensor (2) ein Magnetfeld-Sensor zur Bestimmung der Ausrichtung des zahnärztlichen Instruments (1), ein Beschleunigungssensor zur Bestimmung der Beschleunigung und/oder ein Tracking-Sensor zur Bestimmung der genauen Lage des zahnärztlichen Instruments (1) relativ zum Objekt (5) ist.

Verfahren, wobei das zahnärztliche Instrument (1) mindestens eine Bedienungstaste (4) aufweist, wobei der Benutzer durch Betätigen der Bedienungstaste (4) am zahnärztlichen Instrument (1) einen virtuellen Trigger auslöst, wobei die aktuelle Lage des zahnärztlichen Instruments (1) bestimmt und gespeichert wird, wobei eine

anschließende Lageänderung (24, 25, 27, 28, 31) des
zahnärztlichen Instruments (1) relativ zum Objekt (5) nach
dem Triggern so an das Patientenmodell (14) des Objekts (5)
gekoppelt wird, dass abhängig von der Richtung der
5 Lageänderung (24, 25, 27, 28, 31) die Blickrichtung (40)
der Ansicht auf das Patientenmodell (14) oder die Lage der
Schnittansicht (74) verändert wird.

Verfahren, wobei das Patientenmodell (14) dreidimensionale
optische Oberflächendaten, dreidimensionale Röntgendaten
10 (15), virtuelle Planungsdaten und/ oder MRT-Bilddaten
zumindest eines Teils des Objekts (5) umfasst.

Verfahren, wobei das zahnärztliche Instrument (1) ein
dentaler Bohrer ist, wobei die Lageänderung (24, 28) des
Bohrers während der Durchführung einer Implantatbohrung
15 (51) mitverfolgt wird.

Verfahren, wobei durch das Betätigen der Bedienungstaste
(4) eine Anfangsposition (54, 70) der Implantatbohrung (51)
festgelegt wird, wobei anschließend während des
Bohrvorgangs eine Bohrtiefe (55) und/oder ein Bohrwinkel
20 (56) relativ zur Objekt (5) bestimmt werden.

Verfahren, wobei die ermittelte Bohrtiefe (55) und/oder der
ermittelten Bohrwinkel (56) mit Sollwerten aus einer
vorangehenden Implantatplanung verglichen werden.

Verfahren, wobei das zahnärztliche Instrument (1) ein
25 Wurzelkanalinstrument ist, wobei die Lageänderung (24, 28)
des Wurzelkanalinstruments während der Durchführung der
Wurzelkanalbehandlung mitverfolgt wird.

Verfahren, wobei durch das Betätigen der Bedienungstaste
eine Anfangsposition (54, 70) eines zu behandelnden
30 Wurzelkanals (71) festgelegt wird, wobei anschließend

während der Wurzelkanalbehandlung eine Eindringtiefe (72) in den Wurzelkanal (71) bestimmt wird.

Verfahren, wobei eine Schnittansicht (74) des Patientenmodells (14) mittels einer Anzeigevorrichtung (20) 5 dargestellt wird, wobei die Schnittansicht (74) in einer Ebene (75) verläuft, die senkrecht zu einer Wurzelkanalachse (76) des zu behandelnden Wurzelkanals (71) angeordnet ist, wobei die Lage der Schnittansicht (74) entlang des Wurzelkanals (71) abhängig von der Lageänderung 10 (24, 28) des Wurzelkanalinstruments verändert wird.

Verfahren, wobei die Lage der Schnittansicht (74) mit der Lage einer vorderen Spitze (77) des Wurzelkanalinstruments innerhalb des Wurzelkanals (71) während der Wurzelkanalbehandlung übereinstimmt.

15 Verfahren, wobei Patientenmodell (14) ein erstes Kiefermodell eines Unterkiefers und ein zweites Kiefermodell eines Unterkiefers umfasst, wobei zur Okklusionskontrolle eine Kaubewegung des ersten Kiefermodells relativ zum zweiten Kiefermodell simuliert 20 wird, wobei die Kaubewegung abhängig von der Lageänderung (28) des zahnärztlichen Instruments (1) erfolgt.