

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
30. Oktober 2003 (30.10.2003)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 03/090179 A2

- (51) Internationale Patentklassifikation⁷: **G09B**
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE03/01283
- (22) Internationales Anmeldedatum:
16. April 2003 (16.04.2003)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
102 17 630.2 19. April 2002 (19.04.2002) DE
- (71) Anmelder und
- (72) Erfinder: **RIENER, Robert** [DE/DE]; Werner-Egk-
Strasse 18, 85591 Vaterstetten (DE). **BURBKART,**
Rainer [DE/DE]; Pestalozzistrasse 27, 80469 München
(DE).
- (74) Anwalt: **SCHWEIZER, Joachim**; Dieselstrasse 1, 80993
München (DE).

- (81) Bestimmungsstaaten (*national*): AE, AG, AL, AM, AT,
AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR,
CU, CZ, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH,
GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC,
LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW,
MX, MZ, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE,
SG, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ,
VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.
- (84) Bestimmungsstaaten (*regional*): ARIPO-Patent (GH,
GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW),
eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ,
TM), europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE,
DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL,
PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI-Patent (BF, BJ, CF, CG,
CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

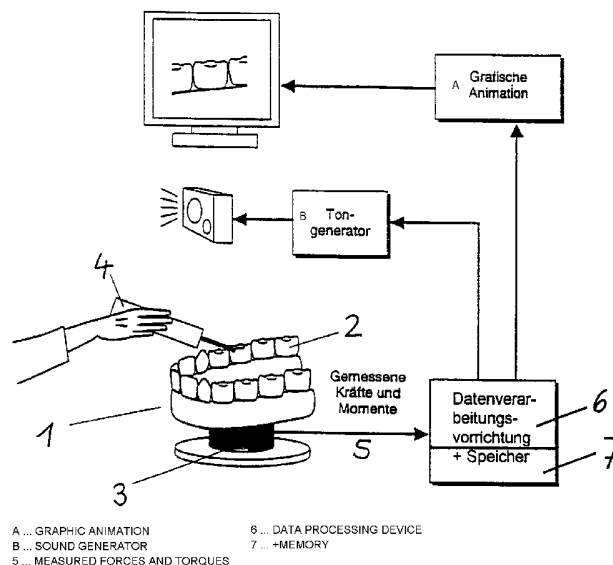
Veröffentlicht:

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu ver-
öffentlichen nach Erhalt des Berichts

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR LEARNING AND TRAINING DENTAL TREATMENT TECHNIQUES

(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUM ERLERNEN UND TRAINIEREN ZAHNÄRZTLICHER BE-
HANDLUNGSMETHODEN



(57) Abstract: The invention relates to a method and device for learning and training dental treatment techniques, according to which a force is applied to a tooth (2) preferably by means of tools (4) in order to examine or treat this tooth. A mandible (1) or the tooth (2) is coupled to a force measuring device (3) in a manner that enables the forces applied to the tooth (2) to be represented in the form of electric measurement signals (5) that are fed to a data processing device (6). Said data processing device has a data memory (7) in which a multitude of reference force/time courses of different force/time-determined tooth treatment steps can be stored in a manner that enables them to be retrieved, whereby the forces applied to the tooth (2) and their temporal course are compared with a reference force/time course.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



WO 03/090179 A2



Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Erlernen und Trainieren von zahnärztlichen Behandlungsmethoden, bei denen vorzugsweise mittels Werkzeuge (4) eine Kraft auf einen Zahn (2) aufgebracht wird, um diesen zu untersuchen oder zu behandeln, wobei ein Kiefer (1) oder der Zahn (2) mit einer Kraftmeßvorrichtung (3) gekoppelt ist, so daß die auf den Zahn (2) aufgebrachten Kräfte als elektrische Meßsignale (5) abbildbar sind, die einer Datenverarbeitungsvorrichtung (6) zugeführt werden, die einen Datenspeicher (7) aufweist, in dem eine Vielzahl von Referenz-Kraft-Zeitverläufe unterschiedlicher Kraft-Zeit determinierter Zahnbehandlungsschritte abrufbar gespeichert sind, wobei die auf den Zahn (2) aufgebrachten Kräfte und deren zeitlicher Verlauf mit einem Referenz-Kraft-Zeitverlauf verglichen wird.

5 **Verfahren und Vorrichtung zum Erlernen und Trainieren**
 zahnärztlicher Behandlungsmethoden

10 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Erlernen und Trainieren zahnärztlicher Behandlungsmethoden, bei denen vorzugsweise mittels verschiedener Werkzeuge eine Kraft auf einen Zahn aufgebracht wird, um diesen zu untersuchen oder zu behandeln. Die Erfindung betrifft weiterhin eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens.

15 Lehr - und Übungsgeräte zur Simulation und Übung zahnärztlich-klinischer Arbeitsgänge sind aus dem Stand der Technik bekannt. So wird in der DE 39 41 332 ein solches Lehr – und Übungsgerät beschrieben, bestehend aus einem Schrank mit einem klappbaren Phantomkopf und diversen Schubladen zur Unterbringung von Werkzeugen. In dem japanische Dokument JP 05204300A ist
20 ein Kiefermodell mit künstlichen Zähnen beschrieben. Diese Zähne bestehen aus Materialien, die ähnliche mechanische Eigenschaften aufweisen wie natürliche Zähne. Die künstlichen Zähne sind auswechselbar befestigt, z. B. durch eine Schraubverbindung und werden nach einer Behandlungsübung, z. B. Bohren,
25 durch einen neuen Kunstzahn ersetzt.

Vorstehend genannte Lehr – und Übungsgeräte sind grundsätzlich geeignet, elementare zahnärztliche Arbeitsgänge zu erlernen. Der Lernerfolg wird dabei vorwiegend durch eine Ergebniskontrolle festgestellt, z. B. ob das gebohrte
30 Loch die optimale Form aufweist. Die Ergebniskontrolle ist jedoch schwieriger, wenn Arbeitsgänge erlernt werden sollen, bei denen der Zahn lediglich untersucht wird, wie z. B. beim Abtasten mittels eines mechanischen Instrumentes

zum Erkennen kariöser Stellen. Dazu ist es erforderlich, daß der ausbildende Zahnarzt die Tätigkeit des Studenten genau beobachtet. Eine Überprüfung, ob ein am Zahn simulierter Arbeitsgang, z. B. das Entfernen von Zahnstein, ordentlich durchgeführt wurde, ist jedoch schwierig. Es wäre theoretisch möglich, einen Kunstzahn mit einer Beschichtung zu versehen, die eine ähnliche mechanische Eigenschaft wie Zahnstein aufweist. Die Herstellung von Kunstzähnen mit derart spezifischen Eigenschaften erfordert jedoch einen hohen Aufwand und ist dementsprechend teuer. Es gibt weiterhin Kontrollhandlungen, die der Zahnarzt lediglich von Hand vornimmt, z. B. um festzustellen, wie fest ein Zahn sitzt. Eine solche Kontrollhandlung ist besonders schwer zu überprüfen, da der überwachende Zahnarzt nicht erkennen kann, mit welcher Kraft der Student den Zahn bewegt.

Zusammenfassend ist festzustellen, daß zahnärztliche Arbeitsschritte, bei denen an einem Zahn vorbestimmte Kräfte vorwiegend mittels eines Instrumentes bzw. Werkzeuges aufzubringen sind, nur unter Schwierigkeiten erlernt und kontrolliert werden können, da die durch die Kräfte erzeugten Bewegungen, Verschiebungen oder Effekte am Zahn relativ klein sind. Weiterhin kann aus dem Ergebnis der Zahnbehandlung nicht immer auf eine optimale Durchführung des betreffenden Arbeitsschrittes geschlossen werden. Wenn es z. B. erforderlich ist, eine Bohrung in der Nähe des Zahnnervs vorzunehmen, läßt sich ein Schmerz für den Patienten nicht vermeiden. Ein guter Zahnarzt wird daher die Bohrzeit, in welcher der Schmerz auftritt, auf ein Minimum reduzieren. Wenn also ein Student einerseits in der Lage ist, ein optimal geformtes Loch für eine Zahnfüllung in der Nähe des Zahnnervs zu bohren, dem Patienten andererseits durch zu zögerliches Bohren, d. h. lange Bohrzeit, unnötige Schmerzen zufügt, muß der Student noch besser ausgebildet werden.

Zum Erlernen und Trainieren derart komplexer Arbeitsschritte stehen bisher keine geeigneten Verfahren oder Vorrichtungen zur Verfügung.

Es ist daher die Aufgabe der Erfindung, für die Ausbildung von Zahnärzten geeignete Verfahren oder Vorrichtungen bereitzustellen, mit deren Hilfe kraftdeterminierte Arbeitsgänge am Zahn oder am Kiefer mit oder ohne Werkzeuge besser erlernt und trainiert werden können.

5

Diese Aufgabe wird mit einem Verfahren nach Anspruch 1 und einer Vorrichtung nach Anspruch 6 gelöst.

Das Verfahren nach Anspruch 1 dient dem Erlernen und Trainieren zahnärztlicher Behandlungsmethoden, bei denen mittels eines Werkzeuges oder auch von Hand auf einen Zahn Kräfte aufgebracht werden, um den Zahn zu untersuchen oder zu bearbeiten. Es kann sich dabei um einen künstlichen Zahn oder auch um einen natürlichen Zahn handeln. Der Zahn oder mehrere Zähne sind in einem künstlichen Kiefer angeordnet. An dem Kiefer oder auch an einem einzelnen Zahn ist eine Kraftmeßvorrichtung angeordnet, welche ein der aufgebrachten Kraft entsprechendes elektrisches Signal sendet. Die Kraftmeßvorrichtung wird vom Fachmann auf der Grundlage bestimmter Konstruktionsparameter und wirtschaftlicher Erwägungen konfiguriert. Kraftmeßvorrichtungen gehören zum Stand der Technik und werden als Module, wie z. B. Mehrkomponenten-Kraft-Sensoren angeboten. Wenn ein Mehrkomponenten-Kraft-Sensor dafür verwendet wird, in verschiedene Richtungen wirkende oder unterschiedlich orientierte Kräfte oder auch Momente zu messen, kann dieser mit dem Kiefer verbunden sein. Falls erforderlich, kann auch auf einem einzelnen Zahn eine Dehnungsmeßstreifenanordnung appliziert sein, welche in der Lage ist, in unterschiedliche Richtungen wirkende Kräfte zu messen. Eine solche Anordnung ist jedoch nur in Ausnahmefällen anwendbar, da bei der Behandlung dieses Zahnes mit einem Werkzeug die Gefahr der Beschädigung der Dehnungsmeßstreifen besteht.

Wenn der ausgebildete erfahrene Zahnarzt mit einem Werkzeug den Zahn abtastet oder mit einem Werkzeug, z. B. einem Bohrer oder einer Zange, Kräfte auf den Zahn einleitet, werden diese Kräfte von der Kraftmeßvorrichtung in

elektrische Meßsignale umgeformt, welche einer Datenverarbeitungsvorrichtung zugeführt und in dieser gespeichert werden. So entsteht für eine spezielle Handlung, z. B. das Abtasten des Zahnes mit einer Nadel oder das Bohren eines Loches, ein charakteristischer Referenz-Kraft-Zeit-Verlauf. Im Datenspeicher der Datenverarbeitungsvorrichtung sind eine Vielzahl von Referenz-Kraft-Zeitverläufen gespeichert, welche die unterschiedlichsten Untersuchungs- und Bearbeitungsschritte einer Zahnbehandlung abbilden. Die von einer auszubildenden Person, nachfolgend Student genannt, während der Untersuchung oder der Behandlung erzeugten Kraft-Zeitverläufe werden mit den Referenz-Kraft-Zeitverläufen verglichen und objektiv bewertet. Zur Bewertung des vom Studenten bei seiner Übung erzeugten Kraft-Zeit-Verlaufs wird dieser zusammen mit dem Referenz-Kraft-Zeitverlauf auf einem Bildschirm optisch vergleichbar dargestellt. Dazu können die aus dem Stand der Technik bekannten Visualisierungsverfahren eingesetzt werden, wie z. B. die Überlagerung von zwei Kurven, deren Abweichungen voneinander als farbige Fläche dargestellt werden. Eine objektive Bewertung erfolgt durch die Ermittlung eines Korrelationskoeffizienten zwischen den Kurven, wobei die Größe des Korrelationskoeffizienten ein Maß dafür ist, in wieweit der Student die handwerkliche Fertigkeit des ausgebildeten Zahnarztes erreicht hat. Es ist jedoch auch möglich, die Kraft-Zeit-Verläufe als Computeranimationen darzustellen. So kann z. B. das Aufbohren eines Zahnes als realitätsnahe Computeranimation auf dem Bildschirm dargestellt werden, um dem Studenten die Möglichkeit zu geben, die von ihm selbst erzeugte Bohrung mit der fachmännisch erzeugten Bohrung zu vergleichen. Auch hier werden Korrelationsmethoden eingesetzt, um einen Grad der Übereinstimmung zwischen dem abgespeicherten und dem aktuellen Kraft-Zeitverlauf oder den daraus ableitbaren Größen, wie z. B. Bewegungen oder Kraftangriffspunkte, zu ermitteln.

Ergänzend sei erwähnt, daß mit aus dem Stand der Technik bekannten Verfahren der visuellen Computeranimation eine Vielzahl von didaktisch wertvollen Zusatzeffekten erzeugbar sind. So können z. B. bei einer in der Realität blutend ablaufenden Zahnbehandlung Blut und Speichel simuliert und mit in

die Computersimulation aufgenommen werden, um eine möglichst realistische Simulation der Zahnbehandlung darzustellen.

Im einzelnen läuft das Verfahren in folgenden Schritten ab:

5

- Auswählen eines Referenz-Kraft-Zeitverlaufs, der einer zu erlernenden oder zu trainierenden Zahnbehandlung, z. B. die Vorbereitung eines Backenzahnes für eine Füllung entspricht. Dazu wird dem Studenten mitgeteilt, daß an einer vorbestimmten Stelle des Zahnes ein Loch mit einer vorbestimmten Form und
10 Größe zu bohren ist. Der Referenz-Kraft-Zeitverlauf bzw. die dazu angepaßte Computeranimation wird auf dem Bildschirm eingeblendet.

- Start der simulierten Zahnbehandlung, d. h. das Werkzeug wird wie ein herkömmlicher Bohrer auf den Zahn aufgesetzt und geführt,
15 - Messen der auf den Zahn aufgebrachten Kräfte und Ermitteln von Betrag und Richtung über der Zeit. Mittels aus der Meßwertanalyse bekannter Korrelationsverfahren wird ein Vergleich der gespeicherten Meßwerte mit den aktuellen Meßwerten vorgenommen und festgestellt, ob eine vorgegebene Korrelation erzielt wurde.

20

Nach Anspruch 2 werden aus den Kraftkomponenten der gemessenen Kräfte und aus den dazugehörigen gemessenen Momenten die Raumkoordinaten des Kraftangriffspunktes des Werkzeuges berechnet, so daß ein Bewegungs-Zeitverlauf des Werkzeug-Angriffspunktes ableitbar und darstellbar ist. Dieser
25 aktuelle Bewegungszeitverlauf wird mit dem gespeicherten Referenz-Bewegungs-Zeitverlauf mittels Korrelationsverfahren verglichen und festgestellt, ob eine vorbestimmte Bewegungs-Zeit-Korrelation erreicht wurde.

Nach Anspruch 3 werden während der simulierten Zahnbehandlung in Abhängigkeit von einem vorbestimmten Kraft-Zeit-Verlauf akustische Signalmuster
30 abgerufen und über eine akustische Ausgabevorrichtung, wie z. B. Lautsprecher oder Kopfhörer, hörbar gemacht, d. h. wenn z. B. errechnet wird, daß die

Bohrerspitze in den Bereich des Wurzelnervs eindringt, werden Schmerzenslaute abgespielt. Diese Sound-Samples sind in einer entsprechenden Datenbank abgespeichert. Um eine möglichst realitätsnahe Arbeitssituation zu erzeugen, können auch werkzeugetypische Geräusche, z. B. kraftabhängige Bohrgeräusche oder das bei der Zahnsteinentfernung entstehende Schleifgeräusch eingespielt werden.

Nach Anspruch 4 wird die räumliche Lage des Kraftangriffspunktes des Werkzeuges mittels eines Navigationssystems bestimmt. Aus dem Stand der Technik sind z. B. optischer Systeme bekannt, welche die Bewegung eines Werkzeuges oder darauf angeordnete Markierungen mittels einer oder mehrerer Kameras verfolgen und aufzeichnen. Weiterhin sind insbesondere aus der Robotertechnik Weg- und Winkelmeßsysteme bekannt, welche die Verschiebungen und Drehungen von Werkzeugen erfassen und aufzeichnen. Zur Ermittlung und Aufzeichnung von Raumkoordinaten und Raumorientierungen sind ferner auch akustische und magnetische Verfahren und Vorrichtung bekannt.

Nach Anspruch 5 ist an dem Werkzeug selbst ebenfalls ein Kraftmeßvorrichtung angeordnet, mit der Kräfte meßbar sind, deren Meßwerte zum Vergleich und zur Korrektur der am Zahn ermittelten Kräfte und Momente herangezogen werden.

Die Vorrichtung nach Anspruch 6 dient der Umsetzung des Verfahrens nach Anspruch 1, d. h. zum Erlernen und Trainieren zahnärztlicher Behandlungsmethoden, bei denen mittels eines Werkzeuges oder von Hand auf einen, in einem künstlichen Kiefer gehaltenen Zahn, Kräfte aufgebracht werden, um den Zahn zu untersuchen oder zu bearbeiten. Der Zahn oder der Kiefer ist mit einer Kraftmeßvorrichtung gekoppelt, welche auf den Zahn aufgebrachte Kräfte in entsprechende elektrische Meßsignale umwandelt. Diese Meßsignale werden einer Datenverarbeitungsvorrichtung zugeführt, die einen Datenspeicher aufweist, in dem eine Vielzahl von Referenz-Kraft-Zeitverläufe gespeichert sind. Diese unterschiedlichen Referenz-Kraft-Zeit-Verläufe entsprechen dem

Signalmuster von Zahnbehandlungsschritten, die von einem Spezialisten an der Vorrichtung ausgeführt worden sind. Dieses als Teaching bezeichnete Verfahren ist hinreichend bekannt und muß daher nicht näher erläutert werden. Die Meßwerte werden in Form von Wertetafeln gespeichert. Es ist weiterhin ein Steuerprogramm vorgesehen, welches die Datenverarbeitungsvorrichtung so steuert, daß ein ausgewählter Referenz-Kraft-Zeitverlauf und der aktuelle Kraft-Zeit-Verlauf der simulierten Zahnbehandlung auf einem optischen Display dargestellt werden. Die auf den Zahn aufgebrauchten Kräfte und der dazugehörige Zeitverlauf werden mittels eines Korrelationsverfahren mit den gespeicherten Meßwerten verglichen, wobei festgestellt wird, ob eine vorgegebene Korrelation erzielt wurde.

Nach Anspruch 7 weist die Vorrichtung eine akustische Ausgabevorrichtung und einen Datenspeicher auf, in dem eine Vielzahl von Sound-Samples abrufbar gespeichert sind. Wenn bei der Simulation der Zahnbehandlung z. B. festgestellt wird, daß ein Behandlungsabschnitt erfahrungsgemäß Schmerzen verursacht, werden Schmerzlaute abgespielt. Diese Weiterentwicklung der Vorrichtung verbessert den Lerneffekt.

Nach Anspruch 8 ist an dem Werkzeug zur Zahnbehandlung wenigstens eine Kraftmeßvorrichtung angeordnet und so ausgebildet, um die mit dem Werkzeug auf den Zahn aufgebrauchten Kräfte zu messen. Diese Meßwerte werden einem Steuer- und Korrekturprogramm zugeführt, welches eine Meßwertkorrektur der am Zahn oder am Kiefer gemessenen Kräfte berechnet.

Nach Anspruch 9 ist ein Navigationssystem zur Positionsbestimmung des Werkzeugangriffspunktes vorgesehen. Derartige Navigationssysteme zur berührenden oder berührungslosen Abtastung von Körpern sind insbesondere aus der Robotertechnik bekannt. Diese Systeme sind haben eine hohe Auflösung und verbessern somit die Genauigkeit einer Meßwertkorrektur.

Zusammenfassend ist zu betonen, daß der Lern- und Trainingseffekt von zahnärztlichen Behandlungsmethoden durch die vorliegende Erfindung gegenüber allen bekannten Verfahren, Methoden und Vorrichtungen wesentlich verbessert wird. Durch die visuelle und akustische Interaktion erhält der Lernende oder Trainierende handmotorische und taktile Fähigkeiten von Spezialisten vermittelt und kann Handlungs- und Bewegungsabschnitte durch wiederholtes Ausführen mit zeitgleicher Ergebniskontrolle oder durch nachfolgende Ergebniskontrolle perfektionieren.

Es ist auch möglich, einen Handlungsablauf, der bisher noch nicht bekannt war, d. h. der lediglich theoretisch als optimal angesehen wird oder im Rahmen einer Optimierungsrechnung ermittelt wurde, mittels der Erfindung einem Auszubildenden oder auch einem Spezialisten zu vermitteln.

Die Erfindung wird nachfolgend an Hand von Ausführungsbeispielen und schematischer Zeichnungen näher erläutert:

Fig. 1 zeigt ein schematisches Blockschaltbild einer ersten Ausführungsform der Erfindung.

Fig. 2 zeigt einen Einzelzahn und ein Werkzeug mit einem Kraftsensor.

Fig. 3 zeigt die Erfindung mit einem optischen Navigationssystem.

Fig. 4 zeigt die Erfindung mit einem mechanischen Navigationssystem.

Die Fig. 1 zeigt ein schematisches Blockschaltbild einer ersten Ausführungsform der Erfindung. Ein Unterkiefermodell 1 mit künstlichen Zähnen 2 ist auf einem 6-Komponenten-Kraft-Moment-Sensor 3 befestigt. Wenn ein Werkzeug 4 einen Zahn 2 berührt, um diesen abzutasten oder zu bearbeiten, werden von dem 6-Komponenten-Kraft-Moment-Sensor 3 Kraft- und Momenten-Meßsignale 5 generiert und an eine Datenverarbeitungsvorrichtung 6 gesendet. Der zeitliche Verlauf der Kraft- und Momenten-Meßsignale 5, nachfolgend als Signalmuster 5 bezeichnet, ist charakteristisch für einen bestimmten Behandlungsschritt, wie z. B. das Abtasten eines Zahnes 2 nach kariösen Stellen

oder das Aufbohren eines Loches. Im Speicher 7 der Datenverarbeitungsanlage sind eine Vielzahl derartiger Signalmuster 5 gespeichert, nachfolgend als Referenzsignalmuster bezeichnet. Ein Referenzsignalmuster 5 wird erzeugt, in dem ein Spezialist einen bestimmten Behandlungsschritt durchführt, d. h. es erfolgt ein Teaching, wie es z. B. auch von Farbspritzrobotern bekannt ist, denen von Hand die optimale Führung der Farbpistole gelehrt wird. Es ist zu beachten, daß unterschiedliche Zähne 2 bei dem gleichen Behandlungsschritt unterschiedliche Signalmuster 5 aufweisen, d. h. die Signalmuster 5 unterscheiden sich hinsichtlich des speziellen Zahnes 2 und der Art der Behandlung.

Im Speicher der Datenverarbeitungsanlage sind weiterhin Sound-Samples gespeichert. Dabei es handelt sich um charakteristische Geräusche, die bei einem bestimmten Behandlungsschritt entstehen. Im vorliegenden Beispiel wird ein Klopf- und Kratzgeräusch eingespielt. Wenn ein Loch zu bohren ist, wird dementsprechend ein typisches Bohrgeräusch eingespielt, das sich in Abhängigkeit von der auf den Zahn aufgebrauchten Kraft verändern kann.

Wenn ein Student beginnt, den ausgewählten Zahn 2 nach einem ausgewählten Behandlungsschritt zu behandeln, d. h. wenn der betreffende Zahn 2 mit dem Werkzeug 4 berührt wird, startet das Verfahren, und das aktuelle Signalmuster wird auf einem Bildschirm oder auch auf einer halbdurchlässigen Datenbrille visualisiert. Gleichzeitig sieht der Student das optimale Referenz-Signalmuster des Spezialisten. Er wird versuchen, seine Arbeitsweise so zu verändern, daß das von ihm erzeugte Signalmuster dem Signalmuster des Spezialisten ähnlich wird. Wenn der Behandlungsschritt abgeschlossen ist, wird durch eine Korrelationsrechnung der Grad der Übereinstimmung objektiv bestimmt. Folgende Aussagen zur Bewertung der studentischen Leistung sind an Hand des Signalmustervergleichs möglich:

- Übereinstimmung des Endergebnisses:

Es kann eine quantitative Bewertung in Form einer Prozentzahl ausgegeben werden, die z. B. aussagt, daß der Student 70% der Gesamtleistung des Spezialisten erreicht hat. Diese Aussage bezieht sich lediglich auf das Arbeitsergebnis und berücksichtigt nicht die Zeit, in der das Arbeitsergebnis erbracht wurde.

- Übereinstimmung in der Reihenfolge einzelner Teilabschnitte:

Es kann ausgegeben werden, ob der Student die einzelnen Teilabschnitte in der richtigen Reihenfolge abgearbeitet hat.

- Bewertung der Qualität der Teilabschnitte:

Es kann ausgegeben werden, in welcher Qualität der Student die einzelnen Teilabschnitte bearbeitet hat.

- Zeitliche Übereinstimmung bis zum Erreichen des Endergebnisses

Es kann ausgegeben werden, ob der Student die einzelnen Teilabschnitte in einer adäquaten Gesamtzeit – im Vergleich zum Spezialisten – ausgeführt hat.

- Zeitliche Übereinstimmung der einzelnen Teilabschnitte.

Es kann ausgegeben werden, ob der Student die einzelnen Teilabschnitte im adäquaten Zeitverhältnis zueinander ausgeführt hat.

Die Fig. 2 zeigt einen Einzelzahn 2 und ein Werkzeug 4 mit einem Kraftsensor 8. Wenn der Student den Zahn 2 abtastet, werden die am Werkzeug 4 durch die Handkraft entstehenden Kräfte kontinuierlich gemessen und zur Meßwertkorrektur der vom 6-Komponenten-Kraft-Moment-Sensor 3 ermittelten Kräfte herangezogen.

Die Fig. 3 zeigt die Erfindung mit einem optischen Navigationssystem mit zwei Kameras 9, 10. Das Werkzeug 4 weist Markierungen 11 auf, deren Bewegungen von den Kameras 9, 10 verfolgt und aufgezeichnet werden. Die ermittelten Raumkoordinaten des Werkzeugs 4 werden Informationen abgeleitet, die zur Erstellung von grafischen Animationen dienen. Die Raumkoordinaten können auch für die Korrektur der vom 6-Komponenten-Kraft-Moment-Sensor 3 ermittelten Kraftangriffspunkte des Werkzeuges 4 herangezogen werden.

Die Fig. 4 zeigt die Erfindung mit einem mechanischen Navigationssystem, wobei das Werkzeug 4 mit einer beweglichen Stabkonstruktion 12, in deren Gelenkpunkten 13 Winkelmeßsysteme angeordnet sind. Mit dieser Anordnung ist ebenfalls eine Ermittlung der aktuellen Raumkoordinaten des Werkzeuges 4 und deren Aufzeichnung möglich.

Es ist darauf hinzuweisen, daß die im Ausführungsbeispiel beschriebenen Anwendungen der Erfindung von einem Fachmann modifiziert oder erweitert werden können, ohne den Grundgedanken der Erfindung nach den Ansprüchen 1 und 6 zu verlassen.

15

20

25

30

5

Ansprüche

- 10 1. Verfahren zum Erlernen und Trainieren zahnärztlicher Behandlungsmethoden, bei denen mittels eines Werkzeuges **(4)** oder von Hand auf einen, in einem künstlichen Kiefer **(1)** gehaltenen Zahn **(2)**, Kräfte aufgebracht werden, um den Zahn **(2)** zu untersuchen oder zu bearbeiten, wobei der Kiefer **(1)** oder der Zahn **(2)** mit einer Kraftmeßvorrichtung **(3)** gekoppelt ist, welche die auf
- 15 den Zahn **(2)** aufgebrachten Kräften in elektrische Meßsignale **(5)** umwandelt, die einer Datenverarbeitungsvorrichtung **(6)** zugeführt werden, die einen Datenspeicher **(7)** aufweist, in dem eine Vielzahl von Referenz-Kraft-Zeitverläufen unterschiedlicher Zahnbehandlungsschritte abrufbar gespeichert sind, wobei das Verfahren nachfolgende Schritte aufweist:
- 20 - Auswählen eines Referenz-Kraft-Zeitverlaufs, der einer zu lernenden oder zu trainierenden Zahnbehandlung entspricht,
- Start der simulierten Zahnbehandlung,
- Messen der mittels eines Werkzeuges oder von Hand auf den Zahn **(2)** aufgebrachten Kräfte mittels der mit dem Kiefer **(1)** oder dem Zahn **(2)** gekoppel-
- 25 ten Kraftmeßvorrichtung **(3)** und Ermitteln von Betrag und Richtung über der Zeit, wobei
- dieser aktuelle Kraft-Zeitverlauf gleichzeitig mit dem ausgewählten Referenz-Kraft-Zeitverlauf oder daraus abgeleitete Werte auf einem optischen Display dargestellt wird und
- 30 - Ermitteln, ob die Kraft-Zeit-Verläufe oder daraus abgeleitete Größen eine vorbestimmte Korrelation zueinander aufweisen.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß** der gemessenen Kraft-Zeitverlauf in einen Bewegungs-Zeitverlauf umgewandelt, visualisiert und einem gespeicherten Referenz-Bewegungs-Zeitverlauf verglichen wird.
- 5 3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, daß** in Korrelation mit dem gemessenen Kraft-Zeit-Verlauf abgespeicherte akustische Signalmuster aufgerufen und über eine akustische Ausgabeeinheit abgegeben werden.
- 10 4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, daß** die räumliche Lage des Kraftangriffspunktes des Werkzeuges (4) mittels eines Navigationssystems (9, 10, 11, 12) bestimmt wird.
- 15 5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, daß** an dem Werkzeug (4) wenigstens ein Kraftsensor (8) angeordnet ist, dessen Meßsignal dem Meßsignal (5) der Kraftmeßvorrichtung (3) am Zahn (2) oder am Kiefer (1) zur Meßwertkorrektur zugeführt wird.
- 20 6. Vorrichtung zum Erlernen und Trainieren zahnärztlicher Behandlungsmethoden, bei denen mittels eines Werkzeuges (4) oder von Hand auf einen in einem künstlichen Kiefer (1) gehaltenen Zahn (2) Kräfte aufgebracht werden, um den Zahn (2) zu untersuchen oder zu bearbeiten, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Zahn (2) oder der Kiefer (1) mit
- einer Kraftmeßvorrichtung (3) gekoppelt ist, die auf den Zahn (2) auf-

25 brachte Kräfte in elektrische Meßsignale (5) umwandelt, die

 - einer Datenverarbeitungsvorrichtung (6) zugeführt werden, die
 - einen Datenspeicher (7) aufweist, in dem
 - eine Vielzahl Referenz-Kraft-Zeitverläufe unterschiedlicher Zahnbehandlungsschritte als Wertetafel abrufbar gespeichert sind und

30 - ein Programm vorgesehen ist, das die Datenverarbeitungsvorrichtung (6) so steuert, daß ein ausgewählter Referenz-Kraft-Zeitverlauf und der aktuelle Kraft-Zeitverlauf der simulierten Zahnbehandlung auf

- einem optischen Display darstellbar sind.

7. Vorrichtung nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, daß** eine akustische Ausgabevorrichtung vorgesehen ist und in dem Datenspeicher (7) eine
5 Vielzahl von Sound-Samples gespeichert sind, wobei mittels eines Programms in Abhängigkeit vom aktuelle Kraft-Zeitverlauf der simulierten Zahnbehandlung ein dazugehöriges Sound-Sample abspielbar ist.

8. Vorrichtung nach den Ansprüchen 6 oder 7, **dadurch gekennzeichnet, daß**
10 an dem Werkzeug (4) wenigstens eine Kraftmeßvorrichtung (8) angeordnet und so ausgebildet ist, um die mit dem Werkzeug (4) aufgebrachte Kraft zu messen und weiterhin ein Steuer- und Korrekturprogramm vorgesehen ist, welches eine Meßwertkorrektur der am Zahn (2) oder am Kiefer (1) gemessenen Kräfte berechnet.

15 9. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 6 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, daß** das ein Navigationssystem (9, 10, 11, 12) zur Positionsbestimmung des Werkzeugangriffspunktes vorgesehen ist.

20

25

30

1/2

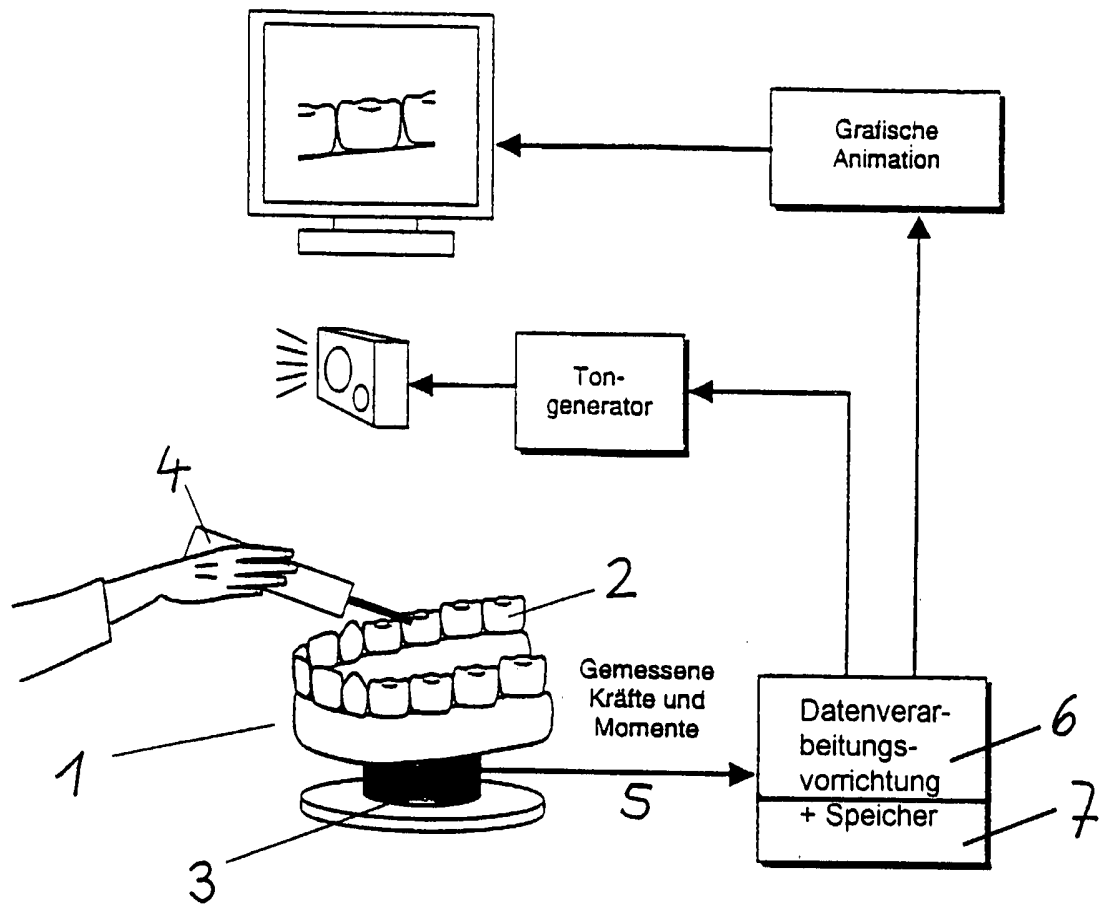


Fig. 1

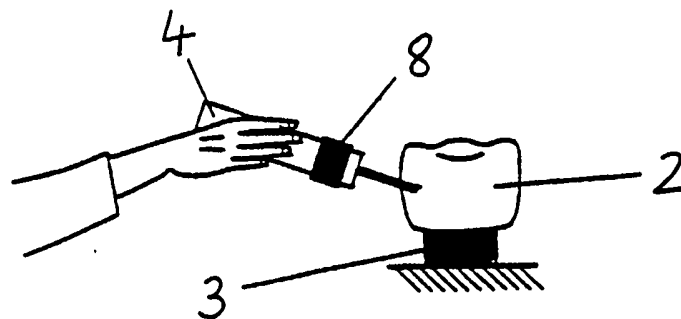


Fig. 2

2/2

