

Verfahren zur Optimierung eines Restaurationsmodells für eine dentale Restauration

Die Publikation betrifft ein Verfahren zur Optimierung
5 eines Restaurationsmodells für eine dentale Restauration,
wobei das Restaurationsmodell bereits vorhanden ist.

Aus dem Stand der Technik sind bereits mehrere Verfahren
zur Konstruktion von Restaurationen bekannt.

Aus der DE 10 2006 044 215 A1 ist ein Verfahren zur
10 Optimierung einer Einschubachsenrichtung eines als
digitales 3D-Modell zu konstruierenden Zahneratzteils für
eine als 3D-Modell in einer Betrachtungsrichtung
dargestellte Präparation oder Restauration offenbart. In
der Betrachtungsrichtung der Präparation verdeckte
15 Hinterschnittbereiche zwischen Präparation und Restauration
werden sichtbar gemacht, wobei anschließend der
Einschubachsenrichtung an die Betrachtungsrichtung
angepasst wird. In einem weiteren Verfahren werden mehrere
Einschubachsenrichtungen als Bereiche auf einer
20 Kugeloberfläche abgebildet und entsprechend der jeweiligen
Quantität und/oder Qualität der Hinterschnitt markiert,
insbesondere eingefärbt, dargestellt. In einem weiteren
Verfahren wird eine optimale Einschubachse automatisch
berechnet und vorgegeben.

25 DE 10 2005 033 738 B4 beschreibt ein Verfahren und eine
Vorrichtung zur Herstellung von Zahneratzteilen, wobei
Konstruktionsdaten des herzustellenden Zahneratzteils
vorliegen und nach einem Bearbeitungsschritt zur
Herstellung des Zahnersatzteils mit einer dreidimensionalen
30 Vermessungseinrichtung Vermessungsdaten des bearbeiteten
Zahnersatzteils aufgenommen und zusammen mit den

Konstruktionsdaten auf einer Anzeigevorrichtung dargestellt werden. In einer Ausführungsform werden die Vermessungsdaten zu den Konstruktionsdaten in Beziehung gesetzt und auf der Anzeige Unterschiede zwischen den
5 Vermessungsdaten und den Konstruktionsdaten angezeigt. Dies erleichtert den Abgleich mit den Konstruktionsdaten. Diese Unterschiede können auch farblich markiert sein.

Ein Nachteil der genannten herkömmlichen Verfahren ist, dass ein herkömmliches dentales CAD/CAM-System es dem
10 Anwender zwar ermöglicht, ein digitales Modell einer Zahnrestauration zu rekonstruieren, welches sich exakt auf eine Zahnpräparation, wie ein Zahnstumpf, einpassen lässt. Beim Herausschleifen der geplanten Zahnrestauration in einer Schleifmaschine aus einem Keramikblock kann es jedoch
15 wegen der Abmessungen der verwendeten Werkzeuge und der Freiheitsgrade der verwendeten Schleifmaschine vorkommen, dass bestimmte Strukturen, wie feine Fissuren oder Einkerbungen des digitalen Restaurationsmodells nicht herausgearbeitet werden. Abhängig von der verwendeten
20 Schleifmaschine können auch bestimmte unter sich gehende Hinterschnittbereiche eines Lumens der Restauration nicht herausgearbeitet werden. Daher kommt es zu Diskrepanzen zwischen dem geplanten Modell der Zahnrestauration und der ausgeschliffen Zahnrestauration. Dies kann dazu führen,
25 dass die hergestellte Restauration sich nicht mehr auf die Präparation aufsetzen lässt oder die Okklusalfäche wegen der fehlenden Fissuren nicht mehr den ästhetischen Anforderungen genügt.

Nach den herkömmlichen Verfahren wurde in so einem Fall die
30 mittels der Schleifmaschine herausgeschliffene Restauration nachträglich nachbearbeitet, um beispielsweise die Hinterschnittbereiche im Lumen der Zahnrestauration, die

eine optimale Passung verhindern, anzupassen. Hierfür wird die Präparation, wie beispielsweise ein präparierter Zahnstumpf, mit einem Farbspray eingesprüht und die hergestellte Restauration soweit wie möglich auf die
5 Präparation aufgesetzt. Dadurch überträgt sich die Farbe auf die nachzuschleifenden Bereiche im Lumen der Restauration, an denen die Präparation an einer Innenfläche des Lumens anliegt. In einem weiteren Schritt können die nicht herausgearbeiteten feinen Fissuren der Okklusalfäche
10 mit feinen Handschleifern nachbearbeitet und anschließend poliert werden.

Die Aufgabe des vorliegenden Projektes besteht daher darin, ein Verfahren zur Konstruktion einer Restauration bereitzustellen, das eine nachträgliche Bearbeitung der in
15 der Bearbeitungsmaschine hergestellten Restauration nicht mehr oder nur in geringem Maße erfordert.

Die Publikation betrifft ein Verfahren zur Optimierung eines Restaurationsmodells für eine dentale Restauration. Das Restaurationsmodell ist dabei bereitgestellt. Unter
20 Berücksichtigung von Parametern einer zu verwendenden Bearbeitungsmaschine wird ein Simulationsmodell erstellt, das die herzustellende Restauration nach dem Herstellen mittels der Bearbeitungsmaschine simuliert.

Das erfinderische Verfahren kann mit einem beliebigen
25 CAD/CAM-System durchgeführt werden, wobei die folgenden dargestellten Verfahrensschritte zu den herkömmlichen Konstruktionsschritten hinzukommen, um die durch die Herstellung verursachten Abweichungen der hergestellten Restauration und der virtuell geplanten Restauration
30 möglichst gering zu halten und um dadurch eine nachträgliche manuelle Bearbeitung der hergestellten Restauration zu verhindern. Das vorliegende Verfahren kann

für eine beliebige dentale Restauration, wie für eine Frontzahnkrone, eine Backenzahnkrone, ein Brückengerüst oder eine anatomische Brücke, sein. Als Ausgangspunkt dient ein bereits geplantes Restauraionsmodell, das nach dem
5 vorliegenden Verfahren virtuell optimiert wird. Die Parameter der verwendeten Bearbeitungsmaschine können beispielsweise die Abmessungen der verwendeten Schleifwerkzeuge, die Freiheitsgrade der Bearbeitungsmaschine bedingt durch die Fahrmechanik der
10 Bearbeitungsmaschine und die programmierten Fahrwege der Werkzeuge sein. Bei der Erstellung des Simulationsmodells werden diese Parameter berücksichtigt, so dass das Simulationsmodell die Form der realen Restauration nach dem Herstellen möglichst genau wiedergibt.

15 Dadurch wird ein Abgleich des geplanten Restauraionsmodells mit dem Simulationsmodell ermöglicht, um virtuell Korrekturen des Restauraionsmodells bereits vor dem Herstellen durchzuführen.

Ein Vorteil des vorliegenden Verfahrens ist, dass durch den
20 Abgleich des geplanten Restauraionsmodells mit dem Simulationsmodell die Abweichungen markiert werden können und die betreffenden Bereiche, wie Hinterschnittbereiche in einem Lumen der Restauration oder feine Fissuren auf der Okklusalfäche der Restauration, nachträglich virtuell
25 entsprechend korrigiert werden können. Somit ist eine nachträgliche Bearbeitung der hergestellten Restauration, wie bei den herkömmlichen Verfahren, nicht mehr notwendig.

Vorteilhafterweise kann ein Werkzeugmodell für mindestens ein Bearbeitungswerkzeug einer Bearbeitungsmaschine erzeugt
30 werden, das die Abmessungen des Bearbeitungswerkzeugs und die Freiheitsgrade des Bearbeitungswerkzeugs relativ zur Bearbeitungsmaschine beschreibt.

Zur Berücksichtigung der Abmessungen des verwendeten Werkzeugs der Bearbeitungsmaschine wird das Werkzeugmodell erzeugt, das möglichst genau das verwendete Werkzeug beschreibt. Insbesondere kann der Durchmesser sowie die
5 Länge und die Arbeitsfläche des verwendeten Arbeitswerkzeugs, wie eines Schleifwerkzeugs, simuliert werden. Darüber hinaus können auch die Freiheitsgrade des verwendeten Bearbeitungswerkzeugs, wie die Bewegungsrichtungen und die Vertellmöglichkeiten des
10 verwendeten Bearbeitungswerkzeugs, berücksichtigt werden. Das Werkzeugmodell kann auch aus einer Datenbank unterschiedlicher Werkzeugmodelle für eine Vielzahl herkömmlich verwendeter Werkzeuge ausgewählt werden. Dadurch wird das Werkzeugmodell zur Erstellung des
15 Simulationsmodells verwendet.

Vorteilhafterweise kann ein Fahrwegmodell eines geplanten Fahrwegs des Bearbeitungswerkzeugs erzeugt werden, wobei mehrere Bearbeitungspunkte auf dem Restaurationsmodell festgelegt werden. Das Fahrwegmodell kann dabei eine
20 Zuordnung einer Einstoßtiefe des Bearbeitungswerkzeugs zu jedem der Bearbeitungspunkte auf dem Restaurationsmodell enthalten.

Das Fahrwerkmodell simuliert den Fahrweg des Bearbeitungswerkzeugs während dem Herausarbeiten der
25 geplanten Restauration aus einem Rohling mittels der Bearbeitungsmaschine. Dabei kann ein Fahrweg des Bearbeitungswerkzeugs entlang einer Werkzeugachse oder auch senkrecht zur Werkzeugachse simuliert werden. Insbesondere wird die Einstoßtiefe des Bearbeitungswerkzeugs an jedem
30 Bearbeitungspunkt des Restaurationsmodells simuliert. Das Endergebnis nach der Simulation des gesamten Bearbeitungsprozesses ist dann das Simulationsmodell.

Vorteilhafterweise kann anhand des Werkzeugmodells und des Fahrwegmodells das Simulationsmodell der herzustellenden Restauration erzeugt werden.

Dadurch wird zur Erzeugung des Simulationsmodells das
5 Werkzeugmodell virtuell nach dem Fahrwegmodell verfahren
und damit der gesamte Herstellungsprozess simuliert. Der
Herstellungsprozess kann für unterschiedliche
Werkzeugmodelle und unterschiedliche Fahrwegmodelle
simuliert werden, um anschließend zu entscheiden mit
10 welchem Werkzeug der tatsächliche Bearbeitungsprozess
durchgeführt werden soll. Feine Fissuren auf der
Okklusalfäche der geplanten Restauration können
beispielsweise mit einem feinen Schleifwerkzeug besser
herausgearbeitet werden, so dass eine manuelle
15 Nachbearbeitung nicht erforderlich oder nur in geringem
Maße erforderlich ist.

Vorteilhafterweise kann ein Differenzmodell erzeugt werden,
das eine Abweichung zwischen dem erstellten
Simulationsmodell und dem Restaurationsmodell beschreibt.

20 Das Differenzmodell enthält eine Zuordnung der Abweichung
zwischen dem Simulationsmodell und dem Restaurationsmodell
für jeden der Gitterpunkte des Restaurationsmodells. Das
Restaurationsmodell sowie das Simulationsmodell können
durch ein Gitternetz aus mehreren Punkten mit einer
25 beliebigen Auflösung gestaltet sein. Das Gitternetz kann
aus beliebigen Gitterelementen, die eine dreiecksförmige,
wabenförmige oder rechteckförmige Gestalt aufweisen,
gebildet sein. Durch die Verwendung der Farbcodierung wird
die Abweichung des Differenzmodells für jeden der
30 Gitterpunkte auf eine einfache Weise verdeutlicht.
Beispielsweise können die Bereiche mit der größten

Abweichung rot und mit der geringsten Abweichung grün markiert sein.

Vorteilhafterweise kann die Abweichung des Differenzmodells unter Verwendung einer Farbcodierung mittels einer
5 Anzeigevorrichtung angezeigt werden.

Dadurch kann der Anwender die Abweichungen des Differenzmodells auf der Anzeigevorrichtung visuell erkennen und die entsprechenden Bereiche des Restaurationsmodells entsprechend korrigieren.

10 Vorteilhafterweise kann das Simulationsmodell aus mehreren Simulationsmodellbereichen zusammengesetzt werden. Jeder der Simulationsmodellbereiche kann dabei die Simulation der Bearbeitung mit einem der Bearbeitungswerkzeuge darstellen.

Dadurch kann jeder der Simulationsmodellbereiche einzeln
15 erzeugt werden und anschließend durch Zusammenfügen dieser Simulationsmodellbereiche das Simulationsmodell gebildet werden. Alternativ kann jeder der Simulationsmodellbereiche eine Simulation der Bearbeitung einer Fläche eines quaderförmigen Rohlings darstellen. Die einzelnen
20 Simulationsmodellbereiche werden miteinander in Beziehung gebracht und miteinander verschmolzen, um das Simulationsmodell zu bilden. Dazu können bekannte Verfahren zur Mustererkennung und ein Matching-Verfahren verwendet werden.

25 Vorteilhafterweise kann das Bearbeitungswerkzeug ein zylinderförmiges Schleifwerkzeug sein, das eine kreisförmige vordere Werkzeugfläche aufweist.

Dadurch wird beim Eindringen des Bearbeitungswerkzeugs eine kreisförmige Vertiefung aus dem Rohling herausgeschliffen.

30 Die kreisförmige Schleiferspitze des Schleifwerkzeugs ist idealerweise parallel zur Oberfläche des quaderförmigen

Rohlings ausgerichtet. Durch eine Ansteuerung des Bearbeitungswerkzeugs wird dann die komplette Kontur der geplanten Restauration abgefahren und dadurch die Restauration aus dem Rohling herauszuschleifen. Das
5 Bearbeitungswerkzeug kann auch eine kegelförmige oder anders geartete Form der Schleiferspitze aufweisen.

Vorteilhafterweise kann das Werkzeugmodell aus einer Datenbank mit mehreren Werkzeugmodellen für herkömmliche Bearbeitungswerkzeuge ausgewählt werden.

10 Dadurch kann das passende Werkzeugmodell mit einer bestimmten Schleifergeometrie aus der Datenbank ausgewählt werden. Das Herausarbeiten der geplanten Restauration aus dem Rohling kann auch in mehreren Schritten mit unterschiedlichen Werkzeugen erfolgen. Beispielsweise kann
15 im ersten Schritt die grobe Kontur der Restauration mit einem zylinderförmigen Bearbeitungswerkzeug mit einer kreisförmigen Schleiferspitze herausgeschliffen werden und anschließend in einem zweiten Schritt die feinen Fissuren der Okklusalfäche mit einem zweiten Bearbeitungswerkzeug
20 mit einer kegelförmigen Schleiferspitze herausgearbeitet werden. Dadurch wird erreicht, dass das Simulationsmodell mit dem Restaurationsmodell besser übereinstimmt.

Vorteilhafterweise kann das bereitgestellte Restaurationsmodell unter Berücksichtigung des
25 Simulationsmodells in seiner Form so verändert werden, dass die Abweichung zwischen dem Restaurationsmodell und dem Simulationsmodell möglichst gering ist und dadurch ein optimiertes Restaurationsmodell erzeugt wird.

Dadurch kann noch bevor die Restauration aus dem Rohling
30 herausgeschliffen wird das Restaurationsmodell so angepasst werden, dass die Abweichungen zum Simulationsmodell möglichst gering sind. Der Anwender kann auch die

Präparation zum Aufsetzen der Restauration gezielt anpassen, so dass die geplante Restauration sich besser ausschleifen lässt. Die Präparation könnte beispielsweise trapezförmig gestaltet sein.

5

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

Fig. 1 eine dentale Röntgeneinrichtung; die

Fig. 2 eine Skizze eines Restaurationsmodells mit
10 einer Okklusalfläche, die feine Fissuren oder
Einkerbungen aufweist; die

Fig. 3 eine Skizze eines korrigierten
Restaurationsmodells; die

Fig. 4 eine Skizze eines ursprünglichen
15 Restaurationsmodells für eine Backenzahnkrone
mit feinen Fissuren; die

Fig. 5 eine Skizze eines Simulationsmodells für eine
Backenzahnkrone; die

Fig. 6 eine Skizze eines Differenzmodells für eine
20 Backenzahnkrone; die

Fig. 7 eine Skizze eines ursprünglichen
Restaurationsmodells für eine Frontzahnkrone;
die

Fig. 8 eine Skizze eines Simulationsmodells für eine
25 Frontzahnkrone; die

Fig. 9 eine Skizze eines Differenzmodells für eine
Frontzahnkrone; die

Fig. 10 eine Skizze eines ursprünglichen
Restaurationsmodells für ein Brückengerüst;
die

Fig. 11 eine Skizze eines Simulationsmodells für ein
5 Brückengerüst.

Die Fig. 1 zeigt eine Skizze einer CAD/CAM-Vorrichtung 1,
umfassend eine optische Vermessungsvorrichtung 2, einen
Computer 3 und eine Bearbeitungsmaschine 4. An den Computer
10 3 ist eine Tastatur 5, eine Maus 6 und ein Bildschirm 7
angeschlossen. Die dreidimensionale optische
Vermessungsvorrichtung 2 ist mit dem Computer 3 verbunden
und dient zur Vermessung einer Präparation 8 sowie der
Nachbarzähne 9 und 10 in der Mundhöhle eines Patienten. Die
15 Vermessungsvorrichtung 2 kann unter Verwendung eines
Triangulationsverfahrens ein Projektionsmuster in Form
eines Fächers 11 auf das zu vermessende Gebiet projizieren
und dadurch die Präparation 8 und die Nachbarzähne 9 und 10
dreidimensional erfassen. Die vermessenen Bilddaten werden
20 an den Computer 3 weitergeleitet, der mittels der Tastatur
5 und der Maus 6 bedient werden kann. Die vermessenen
Bilddaten werden auf den Bildschirm dargestellt.
Anschließend wird eine Restauration 12 unter
Berücksichtigung der Präparation 8 und der Nachbarzähne 8,
25 10 konstruiert. Das Restaurationsmodell 12 ist gestrichelt
dargestellt. Nach dem vorliegenden Verfahren wird dieses
Restaurationsmodell 12 unter Berücksichtigung von
Parametern der Bearbeitungsmaschine 4 optimiert, um eine
manuelle Nachbearbeitung der hergestellten Restauration
30 möglichst zu verhindern. Die Bearbeitungsmaschine 4 umfasst
ein erstes Schleifwerkzeug 13 mit einer zylinderförmigen
Form und mit einer kreisförmigen Schleiferspitze 14 sowie

ein zweites Schleifwerkzeug 15 mit einer kreisförmigen Schleiferspitze 16 auf. Das erste und das zweite Bearbeitungswerkzeug 13, 15 können entlang der eigenen Achse, wie durch die Pfeile 17 und 18 dargestellt ist, sowie senkrecht zur eigenen Achse, wie durch die Pfeile 19 und 20 dargestellt ist, gesteuert werden. Das erste und das zweite Bearbeitungswerkzeug 13, 15 werden mittels des Computers 3 so gesteuert, dass die Kontur des Restaurationsmodells 12 abgefahren wird und dadurch die Restauration aus einem Rohling 21 herausgeschliffen wird. Der Rohling 21 ist an einem Verstellmittel 22 angebracht, der eine Rotationsbewegung 23 des Rohlings 21 relativ zur Bearbeitungsmaschine 4 ermöglicht, wie durch den Pfeil 23 dargestellt ist. Die Bearbeitungsmaschine 4 kann auch drei, vier oder fünf Bearbeitungsachsen aufweisen. Nach den vorliegenden Verfahren werden die Parameter der verwendeten Bearbeitungsmaschine 4, wie die Abmessungen der Bearbeitungswerkzeuge 13, 15 sowie die Freiheitsgrade 17, 18, 19 und 20 dieser Werkzeuge, verwendet, um ein Simulationsmodell zu erstellen, das die herzustellende Restauration nach dem Herstellungsprozess mittels der Bearbeitungsmaschine 4 simuliert. Dieses Simulationsmodell kann dann mit dem ursprünglich geplanten Restaurationsmodell 12 verglichen werden und die Abweichungen können in einem Differenzmodell farblich markiert werden. Anschließend kann das ursprüngliche Restaurationsmodell 12 so angepasst werden, dass die Abweichung zum Simulationsmodell möglichst gering ist. Damit ist eine Nachbearbeitung der Restauration nicht mehr oder nur noch in geringem Maße erforderlich.

Die Fig. 2 zeigt eine Skizze des Restaurationsmodells 12 mit einer Okklusalfäche 30, die feine Fissuren 31 oder Einkerbungen aufweist. Auf der gegenüberliegenden Seite des

Restaurationsmodells 12 ist ein Lumen 32 konstruiert, der schraffiert dargestellte Hinterschnittbereiche 33 und 34 aufweist. Das erste Bearbeitungswerkzeug 13 wird durch ein erstes Werkzeugmodell 35 und das zweite

5 Bearbeitungswerkzeug 15 ist durch das zweite Werkzeugmodell 36 simuliert. Das erste Werkzeugmodell 35 kann entlang der eigenen Achse 37, wie durch den Pfeil 17 dargestellt, und senkrecht dazu, wie durch den Pfeil 19 dargestellt, bewegt werden. Das zweite Werkzeugmodell 36 kann wie das

10 simulierte zweite Bearbeitungswerkzeug 15 entlang der eigenen Achse 38, wie durch den Pfeil 18 dargestellt, und senkrecht dazu, wie durch den Pfeil 20 dargestellt, bewegt werden. Unter Berücksichtigung der Abmessungen der beiden Werkzeugmodelle 35, 36 und deren Freiheitsgrade 17, 18, 19,

15 20 können die Fissuren 31 sowie die Hinterschnittbereiche 33, 34 nicht herausgeschliffen werden, so dass diese Bereiche Abweichungen zwischen dem Simulationsmodell und dem ursprünglichen Restaurationsmodell 12 darstellen.

Die Fig. 3 zeigt eine Skizze eines korrigierten

20 beziehungsweise optimierten Restaurationsmodells 40, wobei die Fissur 31 entfernt wurde und das Lumen 32 konisch aufgeweitet wurde, so dass das optimierte Restaurationsmodell nicht oder nur noch kaum vom Simulationsmodell abweicht. Zur Verringerung der Abweichung

25 zwischen dem Restaurationsmodell 12 und dem Simulationsmodell kann auch die Präparation 8 entsprechend angepasst werden. Vorteilhafterweise sollte die Präparation 8 eine konische Form aufweisen, so dass das Lumen 32 als Gegenstück zur Präparation 8 mittels des zweiten

30 Bearbeitungswerkzeugs 15 herausgearbeitet werden kann. Eine Ausführungsform des erfinderischen Verfahrens läuft in mehreren Verfahrensschritten ab. Im ersten Verfahrensschritt wird ein Restaurationsmodell 12 aus Fig.

1 bis Fig. 3 bereitgestellt, das aus mehreren Teilbereich
zusammengesetzt sein kann. Im zweiten Schritt wird das
Werkzeugmodell 35, 36 der Bearbeitungswerkzeuge 13, 15
erzeugt, das die Abmessungen des Bearbeitungswerkzeugs und
5 die Freiheitsgrade des Bearbeitungswerkzeugs beschreibt. Im
dritten Schritt wird ein Fahrwegmodell eines geplanten
Fahrwegs der Bearbeitungswerkzeuge 13, 15 erzeugt, wobei
das Fahrwegmodell eine Zuordnung der Eindringtiefe des
Bearbeitungswerkzeugs zu jedem Punkt einer
10 Bearbeitungsfläche des Rohlings 21 oder alternativ dazu zu
jedem Punkt des Restaurationsmodells 12 enthält. Im vierten
Schritt wird anhand des Werkzeugmodells und des
Fahrwegmodells das Herausschleifen der Restauration 12 aus
dem Rohling 21 simuliert und als Endergebnis ein
15 Simulationsmodell erzeugt. Im fünften Schritt wird ein
Differenzmodell gebildet, das eine Abweichung zwischen dem
Simulationsmodell und dem Restaurationsmodell beschreibt.
Diese Abweichung kann auch mittels einer Farbcodierung
angezeigt sein. Im letzten Schritt kann der Anwender
20 virtuell das ursprüngliche Restaurationsmodell 12 anpassen
und das optimierte Restaurationsmodell 40 erzeugen, so dass
die Abweichungen aus dem Differenzmodell möglichst gering
sind. Alternativ dazu kann auch die Präparation 8 so
nachbearbeitet werden, dass die darauf anzubringende
25 Restauration 12 mittels der Bearbeitungsmaschine 4 ohne
eine manuelle Nachbearbeitung hergestellt werden kann.

In Fig. 4 ist das ursprüngliche Restaurationsmodell 12 für
eine Backenzahnkrone mit feinen Fissuren 31 auf der
Okklusalfläche 30, wie in Fig. 2, dargestellt. Unter
30 Berücksichtigung des ersten Werkzeugmodells 35 aus Fig. 2
wird ein Simulationsmodell 50 erzeugt, das in Fig. 5
dargestellt ist, wobei statt der feinen Fissuren 31
breitere Kanäle 51 mit der Breite der Schleiferspitze 14

aus Fig. 1 erzeugt werden. Die Achse 37 des Werkzeugmodells 35 zeigt in die Zeichenebene.

In Fig. 6 ist ein Differenzmodell 52 mit farblichen Markierungen 53 dargestellt, die die Abweichungen zwischen dem Restaurationsmodell 12 aus Fig. 4 und dem Simulationsmodell 50 aus Fig. 5 anzeigen. Bereiche 54 mit der höchsten Abweichung sind rot markiert, Bereiche 55 mit einer mittleren Abweichung sind gelb markiert und Bereiche 56 mit einer fehlenden Abweichung oder einer sehr geringen Abweichung sind grün markiert.

Die Fig. 7 zeigt ein Restaurationsmodell 12 einer Fronzahnkrone aus der Sicht von unten in das Lumen 32 blickend. Im Lumen 32 ist ein schmaler Schlitz 60, der schraffiert dargestellt ist, angeordnet. Dieser Schlitz 60 kann mittels des ersten Werkzeugs 13 nicht herausgearbeitet werden. Daher weist das Simulationsmodell 50 aus Fig. 8 anstelle des Schlitzes 60 eine ebene Fläche 61 auf. Die Achse 38 des zweiten Werkzeugmodells 36 zeigt in die Zeichenebene.

In Fig. 9 ist das Differenzmodell 52 dargestellt, dass die Abweichung zwischen dem Restaurationsmodell 12 aus Fig. 7 und dem Simulationsmodell 50 aus Fig. 8 in Form farblicher Markierungen 53 darstellt. Die Bereiche 54 mit der größten Abweichung sind rot markiert, die Bereiche 55 mit einer mittleren Abweichung sind gelb markiert und die Bereiche 56 mit der geringsten oder fehlenden Abweichung sind grün markiert.

Die Fig. 10 zeigt eine Skizze eines Restaurationsmodells 12 für ein Brückengerüst, das Stützen 70 und 71 zum Aufsetzen auf präparierte Zahnstümpfe und Verbinder 72, 73 aufweist. Die Verbinder 72, 73 weisen an der Unterseite hinterschneidende Bereiche 74 und 75 auf, die mittels der

Bearbeitungswerkzeuge 13, 15 aus Fig. 1 nicht herausgearbeitet werden können.

Fig. 11 zeigt ein Simulationsmodell 50, das unter Berücksichtigung des Restaurationsmodells 12 aus Fig. 10, 5 des ersten Werkzeugmodells 35 und des zweiten Werkzeugmodells 36 erzeugt wurde. An der Stelle der hinterschneidenden Bereiche 54, 75 des Restaurationsmodells 12 aus Fig. 10 weist das Simulationsmodell 50 eine ebene Fläche 80 auf, die schraffiert dargestellt ist.

Bezugszeichenliste

	1	CAD/CAM-Vorrichtung
	2	Vermessungsvorrichtung
	3	Computer
5	4	Bearbeitungsmaschine
	5	Tastatur
	6	Maus
	7	Bildschirm
	8	Präparation
10	9	Nachbarzahn
	10	Nachbarzahn
	11	Fächer
	12	Restaurationsmodell
	13	erstes Schleifwerkzeug
15	14	Schleiferspitze
	15	zweites Schleifwerkzeug
	16	Schleiferspitze
	17	Pfeil; Freiheitsgrad
	18	Pfeil; Freiheitsgrad
20	19	Pfeil; Freiheitsgrad
	20	Pfeil; Freiheitsgrad
	21	Rohling
	22	Verstellmittel
	23	Rotationsbewegung
25	30	Okklusalfäche

	31	Fissuren
	32	Lumen
	33	Hinterschnittbereich
	34	Hinterschnittbereich
5	35	erstes Werkzeugmodell
	36	zweites Werkzeugmodell
	37	Achse
	40	Restaurationsmodell
	50	Simulationsmodell
10	51	Kanal
	52	Differenzmodell
	53	Markierung
	54	erster Bereich
	55	zweiter Bereich
15	56	dritter Bereich
	60	Schlitz
	61	ebene Fläche
	70	erste Stütze
	71	zweite Stütze
20	72	erster Verbinder
	73	zweiter Verbinder
	74	Hinterschnittbereich
	80	ebene Fläche

25 Verfahren zur Optimierung eines ursprünglichen
Restaurationsmodells (12) für eine dentale Restauration,

wobei das Restaurationsmodell (12) bereitgestellt ist,
wobei unter Berücksichtigung von Parametern einer zu
verwendenden Bearbeitungsmaschine (4) ein Simulationsmodell
(50) erstellt wird, das die herzustellende Restauration
5 nach dem Herstellen mittels der Bearbeitungsmaschine (4)
simuliert.

Verfahren, wobei ein Werkzeugmodell (35, 36) für mindestens
ein Bearbeitungswerkzeug (13, 15) einer
Bearbeitungsmaschine (4) erzeugt wird, das die Abmessungen
10 des Bearbeitungswerkzeugs (13, 15) und die Freiheitsgrade
des Bearbeitungswerkzeugs (13, 15) relativ zur
Bearbeitungsmaschine (4) beschreibt.

Verfahren, wobei ein Fahrwegmodell eines geplanten Fahrwegs
des Bearbeitungswerkzeugs (13, 15) erzeugt wird, wobei
15 mehrere Bearbeitungspunkte auf dem Restaurationsmodell (12)
festgelegt werden, wobei das Fahrwegmodell eine Zuordnung
einer Einstoßtiefe des Bearbeitungswerkzeugs (13, 15) zu
jedem der Bearbeitungspunkte auf dem Restaurationsmodell
(12) enthält.

20 Verfahren, wobei anhand des Werkzeugmodells (35, 36) und
des Fahrwegmodells das Simulationsmodell (50) der
herzustellenden Restauration erzeugt wird.

Verfahren, wobei ein Differenzmodell (52) erzeugt wird, das
eine Abweichung zwischen dem erstellten Simulationsmodell
25 (50) und dem Restaurationsmodell (12) beschreibt.

Verfahren, wobei die Abweichung des Differenzmodells (52)
unter Verwendung einer Farbcodierung mittels einer
Anzeigevorrichtung (7) angezeigt wird.

Verfahren, wobei das Simulationsmodell (50) aus mehreren
30 Simulationsmodellbereichen zusammengesetzt wird, wobei

jeder Simulationsmodellbereich die Bearbeitung mit einem der Bearbeitungswerkzeuge (13, 15) simuliert.

Verfahren, wobei das Bearbeitungswerkzeug (13, 15) ein zylinderförmiges Schleifwerkzeug (13, 15) ist, das eine 5 kreisförmige vordere Werkzeugfläche (14, 16) aufweist.

Verfahren, wobei das Werkzeugmodell (35, 36) aus einer Datenbank mit mehreren Werkzeugmodellen für herkömmliche Bearbeitungswerkzeuge ausgewählt wird.

Verfahren, wobei das bereitgestellte Restaurationsmodell 10 (12) unter Berücksichtigung des Simulationsmodells (50) in seiner Form so verändert wird, dass die Abweichung zwischen dem Restaurationsmodell (12) und dem Simulationsmodell (50) möglichst gering ist und dadurch ein optimiertes Restaurationsmodell (40) erzeugt wird.