

Persönliche PDF-Datei für Martin Butz

Mit den besten Grüßen vom Georg Thieme Verlag

www.thieme.de

Digitale Abformung und Funktion – ein sicherer Weg für die volldigitale Umsetzung aufwendiger Restaurationen

DOI 10.1055/a-1290-2980

ZWR – Das Deutsche Zahnärzteblatt 2020; 129:
614–625

Dieser elektronische Sonderdruck ist nur für die Nutzung zu nicht-kommerziellen, persönlichen Zwecken bestimmt (z. B. im Rahmen des fachlichen Austauschs mit einzelnen Kollegen und zur Verwendung auf der privaten Homepage des Autors). Diese PDF-Datei ist nicht für die Einstellung in Repositorien vorgesehen, dies gilt auch für soziale und wissenschaftliche Netzwerke und Plattformen.

Verlag und Copyright:

© 2020 by
Georg Thieme Verlag KG
Rüdigerstraße 14
70469 Stuttgart
ISSN 0044-166X

Nachdruck nur
mit Genehmigung
des Verlags



Digitale Abformung und Funktion – ein sicherer Weg für die volldigitale Umsetzung aufwendiger Restaurationen

Martin Butz

Trotz der fortschreitenden Entwicklung und Verbreitung der digitalen Abformung und der damit verbundenen Möglichkeiten für die digitale Interaktion mit dem zahntechnischen Labor wird der Großteil der komplexen Restaurationen noch in analoger Arbeitsweise gefertigt. Den Möglichkeiten der digitalen Technik stehen die Herausforderungen im Umgang mit Hard- und Software sowohl auf Zahnarzt- als auch auf Laborseite entgegen.

Um sich einer optimalen Versorgung unter Einbeziehung des zahntechnischen Labors zu nähern, sind unabhängig von der Abformmethode physische Modelle, eine korrekte Artikulation und gegebenenfalls ein Wax-up für eine interdisziplinäre Diskussion und funktionelle Fallplanung unerlässlich. Weiter bietet sich die digitale Abformung aktuell lediglich für festsitzenden zahn- oder implantatgetragenen Zahnersatz an, da große Schleimhautareale nur wenig Landmarken für die Bildüberlagerung bieten und bewegliche Schleimhautanteile die Genauigkeit des Scannergebnisses negativ beeinflussen.

Der Umweg über gedruckte oder gefräste Modelle ist bereits heute möglich. Die notwendigen Ressourcen sind allerdings noch nicht flächendeckend vorhanden und die Genauigkeit der auf diese Weise hergestellten Modelle ist der von klassischen Meistermodellen unterlegen.

Gleichzeitig bietet die Digitalisierung zahlreiche Möglichkeiten, die Übertragung der vertikalen Relation in die finalen Restaurationen einfacher als bisher zu gestalten und die Themen Form und Funktion durch Überlagerung der verschiedenen Bildkataloge besser in die definitive Arbeit einfließen zu lassen.

Mit dem vorliegenden Artikel soll anhand eines komplexen Fallbeispiels ein einfacher und nachvollziehbarer Weg für die digitale Versorgung komplexer Restaurationen aufgezeigt werden, der sich der Prinzipien und Vorteile beider Welten zur Minimierung von Fehlern bedient und sich zudem sicher und zugänglich in bestehende Behandlungskonzepte integrieren lässt.

Fallbeispiel

Ein Patient Mitte 40 stellte sich in unserer Praxis vor und gab an, dass er sich gerne kieferorthopädisch und anschließend prothetisch versorgen lassen wolle, um ein möglichst ästhetisches und funktionelles Erscheinungsbild zu erreichen. Besonders störten ihn die verschachtelte Stellung der Frontzähne im Unterkiefer und das mittlerweile durch zahlreiche konservative und prothetische Eingriffe unharmonisch wirkende Gesamtbild seiner Zähne. Die großflächigen Kompositaufbauten der Schneidezähne im Oberkiefer störten farblich und wiesen keinerlei Oberflächenkontur auf (► **Abb. 1** und **2**).

Anamnestisch wies der Patient keine Vorerkrankungen auf; der dentale und parodontale Befund war ebenso unauffällig wie das funktionelle Screening. Zur präprothetischen Vorbehandlung haben wir den Patienten an die uns angeschlossene Kieferorthopädie überwiesen, um auf eine prothetische Versorgung der ansonsten unberührten Unterkieferfront verzichten zu können. Nach Abschluss der kieferorthopädischen Regulierung im Unterkiefer mittels festsitzender Apparatur, mit deren Hilfe ein ausgeglichener Zahnbogen im Unterkiefer eingestellt werden konnte, stellte sich der Patient für die weitergehende Versorgung erneut vor (► **Abb. 3**). Die bestehende Klasse 2 wurde beibehalten; eine Umstellungsosteotomie kam für den Patienten nicht infrage, da er mit seinem Lippenbild und der Gesichtsphysionomie zufrieden war.



► **Abb. 1** En-face-Bild des Patienten nach Kieferorthopädie.



► **Abb. 2** Intraorale Aufnahme des Unterkieferzahnbogens vor Kieferorthopädie. Verschachtelte Stellung der Unterkieferfrontzähne.

Für die Planung der prothetischen Versorgung erfolgte mittels digitaler Abformung (Primescan, Dentsply Sirona, Bensheim, Deutschland) eine Aufnahme von Ober- und Unterkiefer sowie eine digitale Kieferrelationsbestimmung mittels bukkaler Aufnahme in Zentrik. Die Daten wurden als STL-Datei via Sirona Connect an ein zahntechnisches Labor verschickt, welches auf eine voll-digitale Arbeitsweise spezialisiert ist. Dort wurde der Datensatz mit einem im Labor angefertigten Face-Scan (priti face, priti-denta GmbH, Leinfelden-Echterdingen, Deutschland) des Patienten als digitale Alternative für den klassischen Gesichtsbogen gematcht und darauf basierend ein erstes

digitales Wax-up mittels der Zahndatenbank erstellt (CANDULOR PhysioStar Universal L, CANDULOR AG, Glattpark, Schweiz) (► **Abb. 4**). Das Wax-up wurde dann mittels 3-D-Druck (Formlabs 2, Berlin, Deutschland) in physische Modelle überführt, die verwendet werden können, um die Simulation mit dem Patienten zu besprechen; darüber hinaus wurde das Wax-up virtuell in den Face-Scan übertragen (► **Abb. 5**).

Die Gesamtplanung sah den Austausch der bestehenden Restaurationen zur Einstellung einer harmonischen Verzahnung unter Beibehaltung einer stabilen Fronteckzahnführung und den Austausch der bestehenden Goldrestaurationen durch vollkeramische Restaurationen vor. Da es der explizite Wunsch des Patienten war, ein in ästhetischer Hinsicht möglichst harmonisches Gesamtbild der im Alltag sichtbaren Zahnpartien zu erreichen, haben wir uns für die Fassung der sichtbaren Flächen der Zähne 1–6 in den jeweiligen Quadranten entschieden, auch wenn dies für die rein funktionelle Gestaltung nicht erforderlich gewesen wäre. Die Unterkieferfrontzähne sollten allerdings unverändert verbleiben, da sie keinerlei Füllungen aufwiesen und dem Patienten nach einem Bleaching ausreichend hell erschienen.

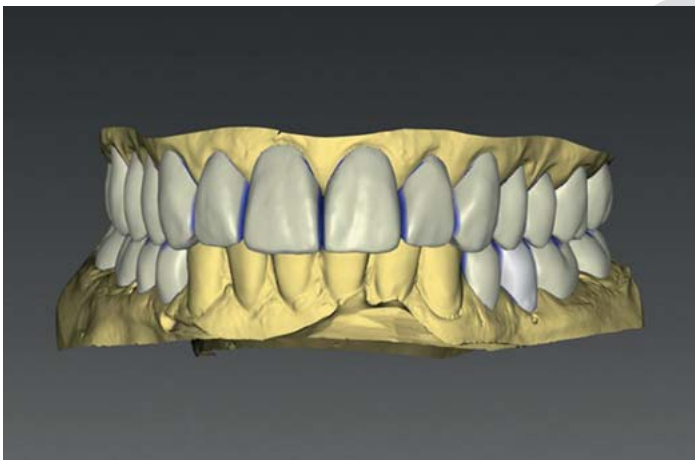
HINWEIS

An dieser Stelle sei erwähnt, dass es bei der prothetischen Versorgung im digitalen Workflow, welcher seine Vorteile unter anderem mithilfe der Überlagerung von Bildkatalogen erzielt, immer von Vorteil ist, wenn feste Referenzpunkte/Landmarken in den gescannten Arealen erfasst werden, die sich durch die Präparationsmaßnahmen nicht verändern. Im vorliegenden Fall bestanden die Referenzpunkte in den unbehandelten 2. Molaren des Oberkiefers, den Frontzähnen im Unterkiefer sowie einiger palatinaler Anteile an den für Teilkronen präparierten Frontzähnen im Oberkiefer. Auf diese Weise kann eine eindeutige Zuordnung und Überlagerung der verschiedenen Bildkataloge untereinander erfolgen, wie z. B. Ausgangssituation und Präparation oder provisorische Versorgung und Präparation.

Für die Sicherung der vertikalen und horizontalen Kieferrelation wurde über einen digitalen Ganzkieferscan eine adjustierte Aufbisschiene erstellt und nach festem Okklusionskonzept in den folgenden 12 Wochen regelmäßig kontrolliert und justiert, bis sich keine Unterschiede mehr zwischen den einzelnen Justage-Sitzungen zeigten und der Patient somit eine stabile und angenehme Unterkieferposition gefunden hatte (► **Abb. 6 und 7**).



► **Abb. 3** Intraorale frontale Aufnahme der Ausgangssituation vor Beginn der prothetischen Zahnbehandlung in Schlussbissstellung, Unterkieferzahnbogen nach Kieferorthopädie harmonisch ausgeformt.



► **Abb. 4** Digitales Wax-up auf Basis eines Ganzkieferscans von Ober- und Unterkiefer, Kieferrelation über Bukkalverschlüsselung.

Diese Position diene für alle weiteren Registrare als funktionelle Ausgangsposition und wurde mit einem Bukkal-scan digital an das zahntechnische Labor übertragen; dort erfolgte die virtuelle Absenkung der digitalen Modelle bis zum 1. Frühkontakt. Als Kontrolle für die korrekte Übertragung der auf diese Weise im virtuellen Artikulator identifizierten Okklusion diene der 1. geführte Frühkontakt im Mund des Patienten, die sich im vorliegenden Fall in Regio 13/14 zeigte und mit der klinischen Situation übereinstimmte. Im vorliegenden Fall haben wir uns dazu entschieden, den Kontakt auf Zahn 13 beizubehalten und von hier aus die Okklusion harmonisch auszugleichen statt mittels eines vorher angefertigten Einschleifprotokolls den Biss weiter abzusenken (► **Abb. 8** und **9**).

— Cave

Es empfiehlt sich, bei flachen Impressionen auf der Schiene den Biss mit Kunststoff oder einem festen Registriermaterial zusätzlich im Bereich der 1. Molaren und Eckzähne zu fixieren, um ein Verrutschen des Patienten beim seitlichen Einführen der Kamera in den seitlichen Wangenkorridor zu verhindern.

Die harmonische Verzahnung wird am einfachsten über Table Tops realisiert, für deren Konstruktion die zuvor ermittelte Kieferrelation beibehalten wurde. Softwareseitig wurden die Funktionsflächen unter Verwendung des virtuellen Artikulators konstruiert (► **Abb. 10** und **11**). Die Konstruktion wurde virtuell eingesetzt, entsprechende Modelle 3-D-gedruckt und eine Tiefziehfolie für die Schnellprovisorien der nachfolgenden Präparationssitzung angefertigt.



► **Abb. 5** Face-Scan des Patienten zusammen mit Ausgangssituation der Zahnbögen und dem virtuellen Wax-up.

Da im vorliegenden Fall Art und Umfang der prothetischen Versorgung bereits im Vorfeld mit dem Patienten besprochen und anhand von gedruckten Modellen und Face-Scan festgelegt worden waren, haben wir die ansonsten ohne Präparation minimalinvasiv und reversibel aufgebrauchten Table Tops zu einem ersten Langzeitprovisorium im Unterkieferseitenzahnggebiet erweitert. Damit konnten wir in einer ersten kurzen Präparationssitzung alle alten Goldrestaurationen entfernen und entsprechende präprothetische Maßnahmen (z. B. das Einbringen von Aufbaufüllungen) durchführen, um die nachfolgenden Sitzungen zur Herstellung des angestrebten 2. Langzeitprovisoriums im Ober- und Unterkiefer einfacher und kürzer zu gestalten.

Zusätzlich zur Präparation wurde die schädelbezügeliche Lage des Oberkiefers mittels Gesichtsbogen (SAM 3, SAM Präzisionstechnik GmbH, Gauting, Deutschland) übertragen und die gedruckten Modelle damit einartikuliert. Die vertikale Relation der gedruckten Modelle ist durch 3-Punkt-Abstützung mit entsprechenden Stützstiften im gedruckten Modell gesichert. Im Labor wurden die Table Tops über die präparierten Zähne in der bereits im Vorfeld ermittelten vertikalen und horizontalen Kieferrelation konstruiert und aus einem polychromatischen PMMA-Block (PMMA: Polymethylmethacrylat) gefräst. Im virtuellen Artikulator wurden die groben dynamischen Störkontakte bereits entfernt und die Table Tops im Hinblick auf Ästhetik und Funktion auf den montierten physischen Modellen (Gesichtsbogen und vertikale Verschlüsselung über Positionierungsstifte im Modell) optimiert.

Cave
Das Schnellprovisorium wurde über eine Tiefziehfolie erstellt, welches in der Form bereits den Table Tops entsprach, da im digitalen Workflow über den 3-D-Druck im Gegensatz zum analogen Workflow das Wax-up ohne Dubliermasse in physische Modelle übertragen werden kann. Dieser Vorgang hat den großen Vorteil, dass die Schnellprovisorien dann schon eine ähnliche Form und funktionelle Eigenschaften wie die nachfolgenden Table Tops aufweisen und der Patient bis zur Eingliederung der Table Tops auf die herausnehmbare Schiene verzichten kann.

Die aus polychromatischem PMMA (Multilayer PMMA A1, Dentsply Sirona, Bensheim, Deutschland) hergestellten Table Tops wurden mittels selbstadhäsiven Befestigungszements (Maxcem, Kerr Dental, Brea, CA, USA) eingegliedert und in den folgenden Wochen mehrfach nachkontrolliert. Auf diese Weise kann der Patient reversibel die angestrebte Kieferrelation im Sinne einer Probefahrt testen und der Behandler erhält die zusätzliche Sicherheit, dass die bisherigen Maßnahmen patientenseitig akzeptiert werden und eine Adaptation an die neue Kieferrelation erfolgt (► **Abb. 12**).



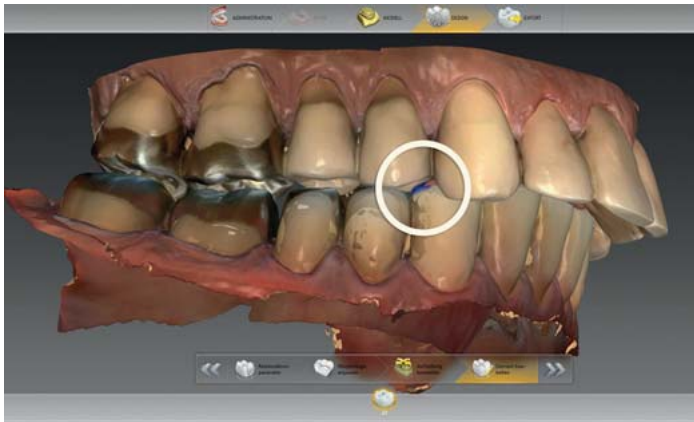
► **Abb. 6** Schleifvorschau der fertigen Konstruktion der Unterkieferaufbisschiene in Ronde.



► **Abb. 7** Gefräste adjustierte Aufbisschiene für den Unterkiefer in situ.



► **Abb. 8** Virtuelle Modelle Ober- und Unterkiefer, gesperrt in finaler vertikaler Kieferrelation auf Schiene.



► **Abb. 9** Virtuelle Modelle Ober- und Unterkiefer. Von Schienenokklusion virtuell abgesenkt auf den 1. Frühkontakt in Regio 13/14.



► **Abb. 10** Finales Design der Table Tops in frontaler Modellansicht.



► **Abb. 11** Verwendung des virtuellen Artikulators für eine störungsfreie dynamische Okklusion.

Am Ende dieser Phase ist aus einem initial komplexen Fall ein für die weiterführende prothetische Versorgung relativ alltäglicher Fall geworden. Der Patient kann jetzt in der Zentrik registriert werden; Höhe und Funktionsbewegungen sind bereits am Patienten über die Tragedauer erprobt und müssen für die Anfertigung des definitiven Zahnersatzes lediglich übertragen werden. Die bestehende Okklusion kann unabhängig von der Präparation und ohne Anästhesie in der eingestellten Zentrik gescannt, gespeichert und ans Labor übertragen werden, da neben der harmonischen Abstützung auch alle vorgenommenen Justagen in der Oberfläche der Table Tops enthalten sind und durch Überlagerung in den definitiven Zahnersatz aufgenommen werden können.

HINWEIS

Dieses Konzept zur direkten Übertragung von funktionellen Informationen aus dem Mund des Patienten kann in dieser Form rein analog nicht erfolgen und ist einer der größten Vorteile der digitalen Arbeitsweise in Praxis und/oder Labor. Die einzelnen Schritte zur Übertragung der vertikalen Kieferrelation in der Scansoftware sind in diesem Artikel beim finalen Schritt vom Langzeitprovisorium zur finalen Arbeit nochmals detailliert beschrieben und bebildert.

Nun erfolgte die finale Präparation der Zähne im Ober- und Unterkiefer (► **Abb. 13** und **14**) sowie die entsprechenden Scans mit der digitalen Aufnahmeeinheit (Primescan, Dentsply Sirona, Bensheim, Deutschland) (► **Abb. 15** und **16**). Die bestehende Situation und damit die feinjustierte Oberfläche der Table Tops wird sowohl in der Bukkalaufnahme als auch in den Bildordnern (BioCopy) festgehalten und via Hub (Sirona Connect) in das zahntechnische Labor übertragen. Für die Montage der finalen Präparationsmodelle wurde abermals ein konventioneller Gesichtsbogen verwendet (► **Abb. 17**).

Im zahntechnischen Labor wurden die finalen Restaurationen unter Berücksichtigung der funktionellen Aspekte, die in den intraoral eingeschliffenen Table Tops festgehalten waren, sowie den allgemeinen Regeln einer harmonischen Okklusion, Fronteckzahnführung und Ästhetik konstruiert und im virtuellen Artikulator überprüft. Die Langzeitprovisorien wurden wiederum aus einer polychromatischem PMMA-Ronde (Multilayer PMMA A1, Dentsply Sirona, Bensheim, Deutschland) im subtraktiven Verfahren gefertigt und über gedruckte Modelle ähnlich den Table Tops im Artikulator feinjustiert (► **Abb. 18**).



► **Abb. 12** Gefräste Table Tops im Unterkieferseitenzahngelände in situ, okklusale Ansicht.



► **Abb. 14** Finale Präparation der Oberkieferzähne mit stationärem Faden nach Blutstillung.



► **Abb. 13** Finale Präparation der Unterkieferseitenzähne mit stationärem Faden nach Blutstillung.



► **Abb. 15** Intraoraler Scan der finalen Präparation im Unterkiefer (CEREC-Software, Dentsply Sirona, Bensheim).

— Cave

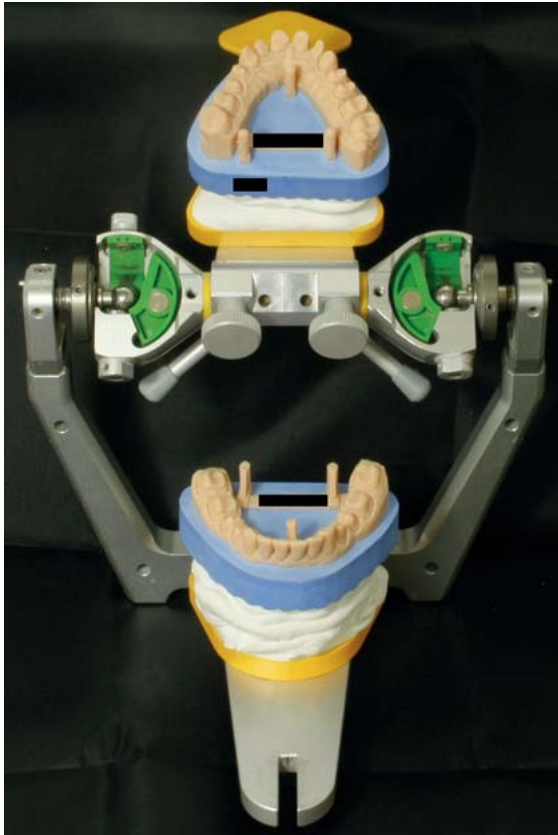
Die Qualität/Genauigkeit der gedruckten Modelle ist schlechter als das Schleifergebnis der Einzelrestaurationen. Aus diesem Grund werden die Modelle nur für die Überprüfung der dynamischen Okklusion und die Ausarbeitung/Bemalung sowie für die Schichtung von Keramik verwendet, nicht jedoch zum Aufpassen der Restaurationen auf die Stümpfe.

Die Langzeitprovisorien wurden schließlich reversibel (Temp-Bond, Kerr Dental, Brea, CA, USA) eingegliedert und innerhalb der Tragedauer regelmäßig hinsichtlich Passung, Farbe, Ästhetik und Funktion kontrolliert (► **Abb. 19**). Alle Änderungen, die hier über Justage und gegebenenfalls durch An- oder Abtragen an den Provisorien noch vollzogen werden müssen, erfolgen bis zur vollen Zufriedenheit direkt im Mund des Patienten und werden über einen schnell durchzuführenden Scan über die Langzeitprovisorien wieder an das zahntechnische Labor übertragen. Hierzu wird der bereits vorhandene Scan für die Table Tops nochmals geöffnet, die beiden Präparationsmodelle aus den eigentlich dafür vorgesehenen Bildkatalogen Ober- und Unterkiefer in die Bildkataloge



► **Abb. 16** Intraoraler Scan der finalen Präparation im Oberkiefer (CEREC-Software, Dentsply Sirona, Bensheim).

BioCopy verschoben und die alte Bukkaltaufnahme schließlich gelöscht. Anschließend wird der Scan der getragenen Langzeitprovisorien sowie deren Bissverschlüsselung (durch Bukkalscan) in die frei gewordenen Bildkataloge eingesetzt (► **Abb. 20**). Die Software verschlüsselt den Scan über die Langzeitprovisorien anhand der



► **Abb. 17** Gedruckte unterkehlte Meistermodelle (Formlabs 2, Formlabs Inc., Somerville, USA) im Artikulator (SAM 3, SAM Präzisionstechnik GmbH, Gauting, Deutschland).

neuen Bukkal Aufnahme, womit die feinjustierte vertikale Kieferrelation erfolgreich übertragen werden kann, ohne dass das Langzeitprovisorium abgenommen werden musste oder eine Überabformung erforderlich war. Die bereits im Vorfeld für die Table Tops gescannte Präparation von Ober- und Unterkiefer wurde sekundär durch Überlagerung des Scans über die Langzeitprovisorien und der Präparation in die richtige vertikale Kieferrelation eingefügt (► **Abb. 21**).

Mit dieser Vorgehensweise wird der systembedingte Fehler auf ein Minimum reduziert, da immer wieder funktionelle Informationen aus dem Mund mittels Überlagerungstechnik in denselben Fall aufgenommen werden können, ohne alle Abformungen oder Registrare zu wiederholen. Damit wird die finale Registrierung von der Präparationssitzung getrennt und dem Zahntechniker die Möglichkeit gegeben, sich schrittweise einer optimalen Verzahnung und Ästhetik zu nähern und diese gezielt zu korrigieren. Darüber hinaus kommt einer präzisen Registrierung zugute, dass der Patient zu diesem Zeitpunkt weder anästhesiert noch durch die lange Präparationssitzung oder das Abnehmen der Provisorien gestresst ist. Insofern durch die unmittelbare Justage ein funktionelles

und patientenseitig akzeptiertes Behandlungsergebnis mit den Langzeitprovisorien erreicht werden konnte, gibt es gegenwärtig keinen einfacheren Weg, diese Informationen direkt in die finale Arbeit einfließen zu lassen.

Besteht keine Indikation zur Änderung der Präparation kann nun die definitive Restauration mit vollkeramischen Werkstoffen erfolgen. Da die korrekte Form, Länge und Ausrichtung der Zähne sowie die funktionellen Parameter bereits im Vorfeld festgelegt worden sind, können die Versorgungen im Ober- und Unterkiefer nun gegeneinander modelliert und angepasst werden, wobei sich der Zahntechniker in vollem Umfang auf eine ästhetische Optimierung fokussieren kann (► **Abb. 22–25**).

Diskussion

Digitale Abformung

Die Präzision der intraoralen Scanner hat sich seit der Einführung des CEREC-Systems im Jahr 1985 mit jeder neuen Maschinengeneration kontinuierlich verbessert. Jede neue Scannergeneration übertrifft bislang die vorherige in puncto Schnelligkeit und Genauigkeit. Mittlerweile sind intraorale Scanner der analogen Abformung mit Polyethermassen in Quadrantengröße mindestens ebenbürtig oder übertreffen deren Genauigkeit sogar [1]. Allerdings kann der digitalen Technik für die Abformung großer Areale und kompletter Kiefer in vivo bislang nach aktueller Studienlage im Vergleich zur analogen Abformung keine uneingeschränkte Freigabe in puncto Genauigkeit gegeben werden, obwohl die modernsten Intraoralscanner in vitro eine allgemein als klinisch akzeptabel betrachtete Abformgenauigkeit von 50 µm bei Ganzkieferscans erreichen [1, 2]. Beim direkten Vergleich von analoger und digitaler Abformtechnik in vivo wird deutlich, dass es auch bei der digitalen Abformung zu relevanten Verzügen kommen kann, die mit der Größe des gescannten Areals zunehmen [3].

Die höchste Genauigkeit erreichen Intraoralscanner innerhalb ihres sogenannten Scanfensers (Field of View, FoV); dieses beschreibt den Bereich, den die Kamera statisch durch die Linse am Kamerakopf erfassen kann. Hier müssen seitens der Software keine Bildüberlagerungen vorgenommen werden, wie sie beim Scansvorgang von größeren Bereichen stattfinden. Bei der Bildüberlagerung kommt es systemunabhängig zu Überlagerungsfehlern, die sich über den ganzen Zahnbogen akkumulieren können [4]. Diese erreichen je nach Scanner und Handhabung Werte über 400 µm, was klinisch im Hinblick auf die Herstellung einer funktionellen Rehabilitation nicht akzeptabel erscheint. Zur Minimierung derartiger Fehler spielt neben der verwendeten Hardware- und Softwarevariante das Handling der Kamera und damit die Scanstrategie eine entscheidende Rolle [5]. Hier hat es sich als günstig erwiesen, sich an die herstellerseitigen An-

wendungsprotokolle zu halten und diese zu trainieren. Aus Anwendersicht sollte der Scan so einfach wie möglich gehalten werden und durch sauberes und gezieltes Scannen sollten Artefakte und zusätzliche Fehler durch ein Anhäufen unnötiger Datenmengen möglichst vermieden werden.

Cave

Folgende Punkte gilt es besonders zu beachten:

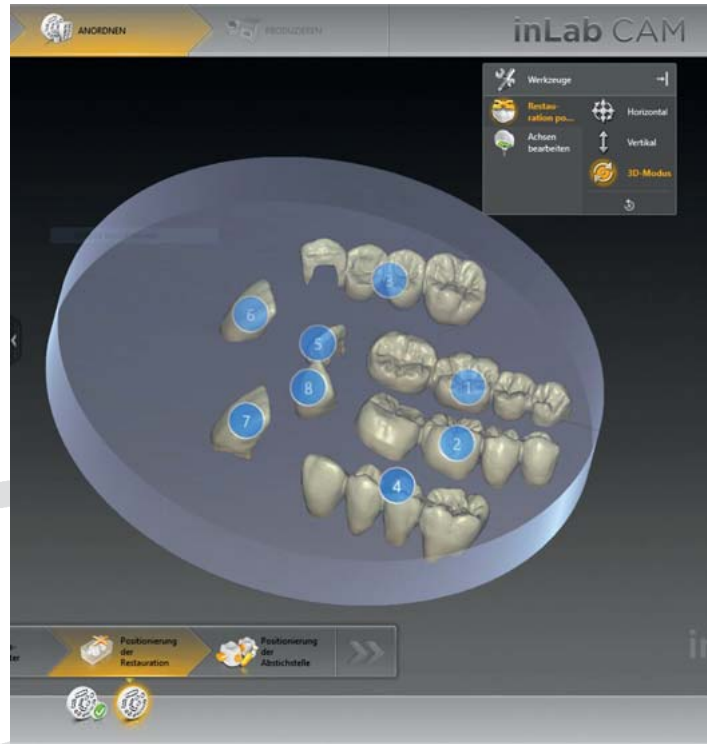
- Verwendung eines kalibrierten Scanners
 - Verwendung eines Wangenhalters
 - ausreichende Trocknung der Zahnoberflächen
 - dünnes Auftragen von Scanspray für stark unter sich gehende Bereiche, stark spiegelnde oder glatte Oberflächen oder auf Arealen, welche die vom Hersteller angegebene optimale Scantiefe überschreiten
 - Geschulte Assistenz für das zusätzliche Abhalten von Weichgewebsteilen wie der Zunge im Unterkiefer
- Prinzipiell gilt: je einfacher, kürzer und sauberer der Scan, umso besser das Ergebnis.

Modellherstellung

Ein weiterer zentraler Punkt für die erfolgreiche Erstellung komplexer Restaurationen sind präzise Meistermodelle. Aktuell können verschiedene Modellarten einschließlich Zahnfleischmasken und Modellanaloge sowie Sägemodelle, die aus einem digitalen Datensatz entstehen, bei unterschiedlichen Anbietern bestellt oder selbst mittels 3-D-Druck in Labor und Praxis hergestellt werden. Ursprünglich nur für die Alignertechnik in der Kieferorthopädie verwendet, erschließen sich damit gedruckte oder gefräste Modelle immer mehr das Feld der komplexen Prothetik. Dabei ist die Genauigkeit und Dimensionstreue des zugrunde liegenden Modells essenziell für die Anfertigung von passgenauen Restaurationen [6].

Die Genauigkeit eines klassischen Meistermodells hängt von sehr vielen verschiedenen Faktoren ab; dazu gehören die Vorbereitung und Erfahrung von zahnärztlichen Behandler und Zahntechniker. Besonders bei großen prothetischen Arbeiten mit vielen präparierten Einzelzahnstümpfen kommt es auch bei Gipsmodellen zu Verzügen und partiellen Ungenauigkeiten durch behandler- und/oder patientenspezifische Umstände wie Speichelfluss oder unzureichende Blutstillung, welche die Abformqualität beeinträchtigen [7,8]. Diese patientenspezifischen Faktoren gelten gleichermaßen für die digitale Abformung und das daraus resultierende Modell unabhängig von seiner Herstellungsart, weshalb die vorbereitenden Maßnahmen wie Blutstillung und Trockenlegung und die saubere Darstellung aller relevanten Strukturen sowohl für die analoge als auch die digitale Abformung unerlässlich sind.

Etlche Laborstudien bestätigen den konventionellen Meistermodellen im Hinblick auf die Genauigkeit einen

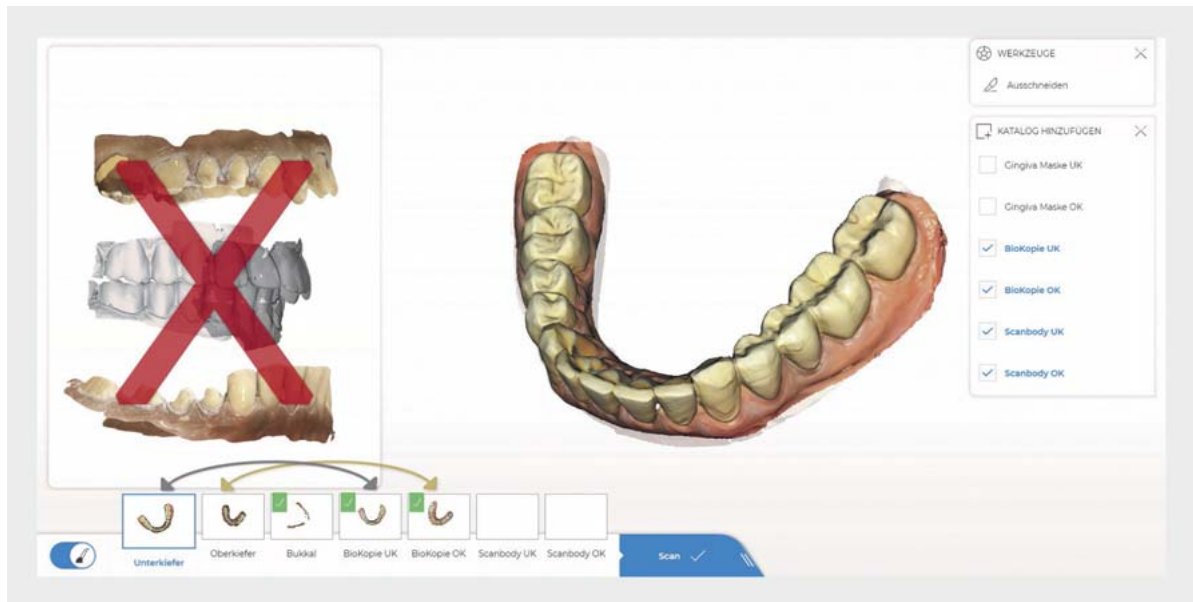


► **Abb. 18** Fertig konstruierte Langzeitprovisorien in der Schleifvorschau, Positionierung der Restaurationen in der Runde.



► **Abb. 19** Intraorale Fotografie der Langzeitprovisorien im Ober- und Unterkiefer in Schlussbissstellung.

Vorteil im Vergleich zu ihrem digitalen Pendant, wobei dieser besonders bei großen Spannweiten und Ganzkieferabformungen zum Tragen kommt. Hierbei wird allerdings nicht unterschieden, ob der Fehler der Modelle auf digitaler Basis durch den Scan, die Software oder den Drucker entsteht. Vielmehr erscheint allerdings für die Praxis entscheidend, ob die Modelle genau genug sind, um auf ihnen große Versorgungen mit der erforderlichen Qualität anzufertigen. Die mittlere Abweichung vom Referenzmodell war in den einzelnen Studien meistens deutlich geringer als 100 µm [9, 10]. Einige Autoren kommen in ihren Untersuchungen zu dem Schluss, dass sich gedruckte Modelle für die Herstellung von Zahnersatz verwenden lassen [6].



► **Abb. 20** Reguläre Verwendung der Bildkataloge in der CAD-Software lässt keine Verschlüsselung von Ober- und Unterkiefer über das im Mund justierte Langzeitprovisorium zu; aus diesem Grund Tausch der Bildkataloge wie im Text beschrieben.



► **Abb. 21** Ansicht der Bissverschlüsselung über das Langzeitprovisorium in der CEREC-Software, die Präparationskataloge sind sekundär überlagert und werden nach der Bissverschlüsselung in der richtigen Kieferrelation angezeigt.

Im beschriebenen Fall wurden die gedruckten Modelle aufgrund der möglichen Ungenauigkeiten nicht für Passungskontrollen oder Kontaktpunktgestaltung, sondern lediglich für die Einstellung und Überprüfung von Ästhetik und dynamischer Okklusion im Artikulator verwendet. Dadurch müssen die übrigen Kontrollen direkt im Mund erfolgen und gegebenenfalls justiert werden.

Die Entwicklung des Modelldrucks steht noch am Anfang. Es ist davon auszugehen, dass sich relevante Parameter wie die Genauigkeit in Zukunft weiter verbessern und der Workflow stetig effizienter wird. Bereits heute lassen sich Modelle mit Implantatanalogen und Gingivamaske kostengünstig bestellen; auf diese Weise kann die zeitraubende Modellherstellung einfach aus dem Labor ausgelagert werden. Es ist zu erwarten, dass die Möglichkeiten der digitalen Modellherstellung in Bezug auf Passung und Geschwindigkeit sowie im Hinblick auf zusätzliche Informationen wie eine etwaige Farbdarstellung der Nachbarzähne in der Zukunft zum Durchbruch der digitalen Modellherstellung führen werden.

Vorteile der digitalen Bildverarbeitung bei der Übertragung der vertikalen Kieferrelation

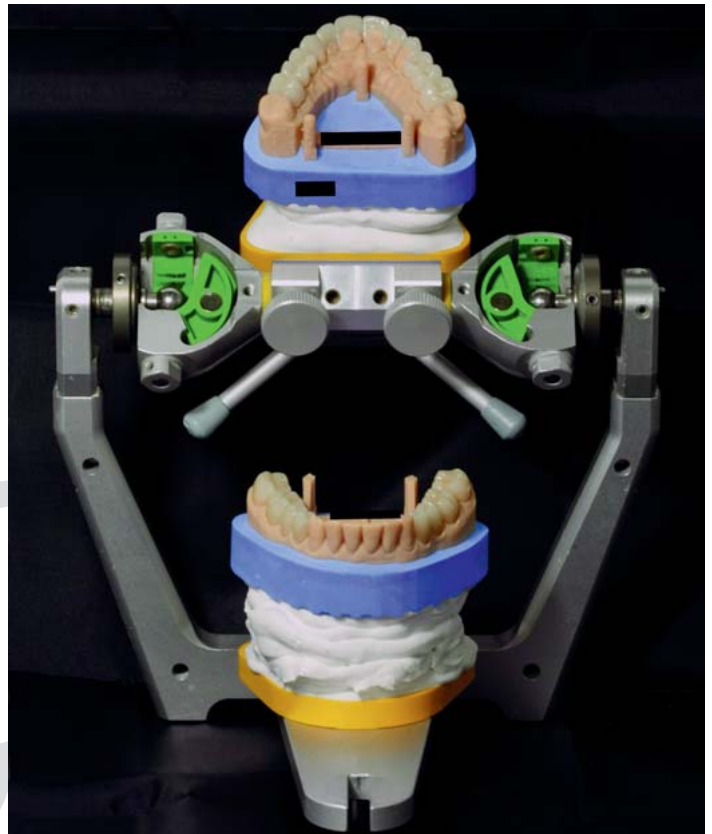
Grundsätzlich ergibt sich bei größeren Restaurationen mit Auflösung der bestehenden Abstützung im Seitenzahngebiet immer die Frage nach der richtigen Herangehensweise bei der Einstellung und Übertragung der richtigen Kieferrelation. Für die digitale Arbeitsweise kommt erschwerend hinzu, dass das bukkale Bissregistrar lediglich die Statik berücksichtigt und dynamische Kontakte in der Software nur unzureichend angezeigt und bearbeitet werden können. Zwar bieten einige Her-

steller mittlerweile einen virtuellen Artikulator an; viele funktionelle Aspekte wie die Einstellung der Okklusion unter Beachtung entsprechender Kompensationskurven (Spee-Kurve, Wilson-Kurve) sollten jedoch weiterhin unter Verwendung von physischen Modellen im Artikulator erfolgen oder wenigstens kontrolliert werden [11]. Eine bewährte und einfache Methode für die korrekte Erfassung der statischen Okklusion und gegebenenfalls auch von dynamischen Okklusionsbahnen ist die präprothetische Schienentherapie, mithilfe derer der Patient eine angenehme und muskulär entspannte vertikale und horizontale Unterkieferposition selbst über Zeiträume von 3–12 Monaten simulieren kann [12].

Bei diesem Verfahren wird die Schiene in den Kontrollsituationen so lange nach einem festen Okklusionsprotokoll (Fronteckzahnführung und ausgeglichene Zentrik im Seitenzahngeweb) justiert, bis sich eine gleichbleibend stabile Bisslage ohne Hinweise auf parafunktionale Aktivitäten auf der Schiene einstellt. Zu diesem Zeitpunkt kann von einer guten Adaption der Kieferrelation seitens des Patienten ausgegangen werden [13].

Die klassische Übertragung dieser Kieferrelation auf der Schiene an das zahntechnische Labor erfolgt in analoger Weise über eine direkte Bissnahme auf der justierten Aufbisschiene und anschließender Reartikulation der Schienenmodelle im Artikulator. Der digitale Weg ist schneller und einfacher, wobei der Biss auf der Schiene mittels Scan im Mund erfasst und direkt an das Zahnlabor übertragen wird. Im Gegensatz zur analogen Arbeitsweise kann sich der Zahntechniker die Schiene mithilfe der Überlagerungstechnik immer wieder im Datensatz anzeigen lassen und anhand der im Mund eingeschliffenen Oberflächen konstruieren. Damit enthält der digitale Datensatz direkte funktionelle Informationen, die in der analogen Arbeitsweise nur durch aufwendige Registrare, eine penible Arbeitsweise von Behandler und Labor und großes Wissen im Umgang mit dem Artikulator einzubringen sind. Im hier vorgestellten Fall handelte es sich um eine adjustierte Aufbisschiene im Unterkiefer, welche unter Verwendung eines voll digitalen Workflows hergestellt wurde. CAD/CAM-gefräste Schienen sind nicht nur form- und farbstabil, sondern besitzen neben der hohen Biokompatibilität auch eine verbesserte Passgenauigkeit im Vergleich zu konventionellen Schienen [14].

Die Anfertigung der Table Tops erfolgt auf diese Weise im digitalen Workflow schon nach funktionellen Maßgaben, wobei im vorliegenden Fall lediglich der Gesichtsbogen in konventioneller Weise verwendet wurde. Der große Vorteil des digitalen Workflows liegt unter anderem darin, dass Modelle und Daten in der digitalen Arbeitsweise keinem physischen Verschleiß unterliegen. Der Scan der Präparation erfolgte so schon für das Langzeitprovisorium und kann nach dieser Phase wieder für die definitive



► **Abb. 22** Finale Restaurationen in Keramik (e.max CAD, Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein) auf gedruckten Modellen im Artikulator (SAM 3, SAM Präzisionstechnik GmbH, Gauting, Deutschland).



► **Abb. 23** Finale Restaurationen nach dem Einsetzen mit Kompositzement (RelyX Ultimate, 3M Deutschland GmbH, Neuss, Deutschland), frontale Ansicht in Schlussbissstellung und beim lachenden Patienten.



► **Abb. 24** Extraorale Aufnahme der finalen Restaurationen im Oberkiefer bei leicht geöffnetem Mund, rechts-laterale Ansicht.



► **Abb. 25** Portraitaufnahme des zufriedenen Patienten im Anschluss an die Behandlung.

Arbeit verwendet werden. Die direkte Überlagerungsmöglichkeit der justierten Table Tops und des Langzeitprovisoriums mit der Präparation stellt damit den Schlüssel zur Herstellung von funktionellen Kauflächen dar. Da Bissnahme und Präparation nicht zusammen stattfinden müssen, hat der Behandler mehr Zeit und Sicherheit; die wichtigen und für die Funktion entscheidenden Arbeitsschritte finden nicht mehr wie früher ausschließlich im Artikulator, sondern direkt im Mund des Patienten statt.

Abschließend lässt sich zusammenfassen, dass sowohl bei der digitalen als auch bei der analogen Arbeitsweise verfahrensbedingte Fehler auftreten, die sich zu einem Gesamtfehler addieren. Dieser nimmt mit der Komplexität der Versorgung zu und ist damit bei der Versorgung ganzer Kiefer am größten. Durch ein schrittweises Vorgehen, wie es im vorliegenden Fall detailliert beschrieben wurde, bestehen verschiedene Möglichkeiten zur Kontrolle und Korrektur im Mund; auf diese Weise lässt sich der entstehende Fehler klinisch sehr gut beherrschen und minimieren. Die zahlreichen Vorteile des digitalen Workflows überwiegen den aktuell noch vorhandenen Genauigkeitsverlust bei Abformung und Modellherstellung, wobei es nur eine Frage der Zeit sein dürfte, bis die digitale Technik auch klinisch die schon in Laborstudien erreichte Genauigkeit erreicht.

Danksagung

Wir bedanken uns herzlich bei der cera-Technik GmbH, insbesondere bei Bastian Heinloth und Ashok Patel für die laborseitige Unterstützung und die gemeinsame Erschließung eines innovativen Weges für die Herstellung umfangreicher Sanierung in volldigitaler Arbeitsweise.

Interessenkonflikt

Die Autorinnen/Autoren geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Autorinnen/Autoren



Dr. med. dent. Martin Butz
Dr. Butz & Partner, München

Korrespondenzadresse

Dr. med. dent. Martin Butz
Zahnarzt Dr. Butz & Partner
Theaterstraße 15
80333 München
Deutschland
Tel.: 08998 0889, Fax: 08998 272 30
martin.butz@zahnarzt-fuenfhoefe.de

Literatur

- [1] Ender A, Zimmermann M, Mehl A. Accuracy of complete- and partial-arch impressions of actual intraoral scanning systems in vitro. *Int J Comput Dent* 2019; 22: 11–19
- [2] Ahlholm P, Sipilä K, Vallittu P et al. Digital versus conventional impressions in fixed prosthodontics: a review. *Int J Prosthodont* 2014; 27: 433–438
- [3] Schmidt A, Klussmann L, Wöstmann B et al. Accuracy of Digital and Conventional Full-Arch Impressions in Patients: An Update. *J Clin Med* 2020; 9: 688

- [4] Weise T, Wismer T, Leibe B et al. Online loop closure for real-time interactive 3D scanning. *Computer Vision and Image Understanding* 2011; 115: 635–648
- [5] Giménez B, Özcan M, Martínez-Rus F et al. Accuracy of a digital impression system based on parallel confocal laser technology for implants with consideration of operator experience and implant angulation and depth. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2014; 29: 853–862
- [6] Jin SJ, Jeong ID, Kim JH et al. Accuracy (trueness and precision) of dental models fabricated using additive manufacturing methods. *Int J Comput Dent* 2018; 21: 107–113
- [7] Schaefer O, Schmidt M, Goebel R et al. Qualitative and quantitative three-dimensional accuracy of a single tooth captured by elastomeric impression materials: An in vitro study. *J Prosthet Dent* 2012; 108: 165–172
- [8] Christensen CJ. Impressions are changing: Deciding on conventional, digital or digital plus in-office milling. *J Am Dent Assoc* 2009; 140: 1301–1304
- [9] Rungrojwittayakul O, Kan JY, Shiozaki K et al. Accuracy of 3D Printed Models Created by Two Technologies of Printers with Different Designs of Model Base. *J Prosthodont* 2020; 29: 124–128
- [10] Choi JW, Ahn JJ, Son K et al. Three-Dimensional Evaluation on Accuracy of Conventional and Milled Gypsum Models and 3D Printed Photopolymer Models. *Materials (Basel)* 2019; 12: 3499
- [11] Ahlers MO. Determination of vertical dimension when using repositioning onlays for second stage restorative treatment after functional therapy. *J CranioMand Func* 2014; 6: 131–148
- [12] Edelhoff D, Schweiger J, Prandtner O et al. CAD/CAM splints for the functional and esthetic evaluation of newly defined occlusal dimensions. *Quintessence Int* 2017; 48: 181–191
- [13] Behr M, Fanghänel J, Rauch A. Changing the bite position in a patient with tooth hard substance loss. *Dtsch Zahnärztl Z Int* 2020; 2: 003–007
- [14] Edelhoff D, Probst F, Ehrenfeld M et al. Interdisciplinary full-mouth rehabilitation for redefining esthetics, function, and orofacial harmony. *J Esthet Restor Dent* 2019; 31: 179–189

Bibliografie

ZWR – Das Deutsche Zahnärzteblatt 2020; 129: 614–625
 DOI 10.1055/a-1290-2980
 ISSN 0044-166X
 © 2020. Thieme. All rights reserved.
 Georg Thieme Verlag KG, Rüdigerstraße 14,
 70469 Stuttgart, Germany

