



Zusammenfassung

Ein digitales Set-up soll mittels 3-D-Druck hergestellt werden. Der darauf angefertigte Silikonschlüssel wird mit Provisorienkunststoff befüllt und in den Patientenmund überführt. Nach erfolgreicher Kontrolle von Funktion, Sprache und Ästhetik soll frästechnisch eine zahnfarbene Mock-up-Schiene aus Polycarbonat hergestellt werden.

Indizes

CAD/CAM, digitales Set-up, 3-D-Druck, Münchner Schienenkonzept, Polycarbonat



Vom digitalen Wax-up über den 3-D-Druck zur zahnfarbenen gefrästen Schiene

Das Münchner Schienenkonzept im Workflow 4.0

Clemens Schwerin, Matthias Kelch

Ein Wax-up auf dem Situationsmodell dient der Vorplanung und ist als solches von hoher Wichtigkeit für den Erfolg der definitiven Arbeit. Warum? Es enthält zahlreiche Informationen in drei Dimensionen, zeigt Machbarkeit und Grenzen auf, hilft dem Behandler bei der Kommunikation und dem Patienten dabei, sich das Ziel vorzustellen. Für das Team aus Arzt und Zahntechniker beantwortet es viele Fragen, zum Beispiel: Wie sind die Platzverhältnisse? Sind die ästhetischen und funktionellen Ziele umsetzbar? Wo und wie minimalinvasiv kann für die finale Versorgung präpariert werden? Wie gelingt es, diese Informationen möglichst verlustfrei im Team zu transportieren? Workflow 4.0 steht in der Zahntechnik für Vernetzung und damit für die Weitergabe der am Patienten festgestellten Informationen im Team. Einen in dieser Beziehung effizienten Workflow unter Einbeziehung der 3-D-Drucktechnologie in der Planungsphase sowie alltagsbewährten, frästechnisch hergestellten anatomischen Schienen aus zahnfarbenem Polycarbonat stellen die Autoren im Folgenden vor.

Einleitung



Abb. 1 Der 19 Jahre alte Patient stellt sich mit multiplen Nichtanlagen vor.



Abb. 2 Das Therapiekonzept sieht zunächst eine ausgedehnte provisorische Phase vor.

Patientenvorstellung

Der zu Behandlungsbeginn 19-jährige Patient wurde kurz vor Ende der kieferorthopädischen Behandlung an die Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik in München überwiesen, um das weitere Vorgehen zu planen. Es zeigten sich multiple Nichtanlagen in beiden Kiefern (Abb. 1). Die Ursache ist unbekannt, es konnte bei normaler körperlicher und geistiger Entwicklung weder ein Syndrom festgestellt werden, noch gab es Auffälligkeiten im Rahmen der Familienanamnese. Im Oberkiefer waren keine Molaren angelegt, auch die Zähne 12 und 15 fehlten. Als besonders auffällig zeigten sich zudem die Zapfenzähne 22 und 25 sowie eine Transposition der Zähne 23 und 24. Im Unterkiefer waren die Zähne 37, 38, 47 und 48 nicht angelegt, allerdings gelang hier eine lückenlose Ausformung des Zahnbogens durch kieferorthopädische Vorbehandlung. Die Einstellung der Oberkieferzähne war aufgrund der grazilen Wurzelanatomie nur eingeschränkt möglich, außerdem machte die geringe Zahnzahl ein prothetisches Konzept zur Wiederherstellung von Ästhetik und Kau-funktion unumgänglich.

Therapiekonzept

Das Therapiekonzept (Abb. 2) sah aufgrund des jungen Alters des Patienten zunächst eine ausgedehnte provisorische Phase vor. Sie sollte eine etwaige Implantation möglichst lange hinauszögern, da von einem noch nicht abgeschlossenen vertikalen Wachstum des Kiefers ausgegangen werden musste, welches sich negativ auf die implantatprothetische Versorgung auswirken könnte.⁵ In erster Linie sollte im Sinne einer provisorischen Versorgung eine „Probefahrt“ der neu einzustellenden vertikalen und horizontalen Kieferrelation stattfinden. Auch ästhetische Gesichtspunkte wie die Zahngröße, -form und -farbe sollten in dieser Phase ausgetestet werden und als Orientierung für eine vorhersagbare definitive Versorgung dienen. Die stattgefundenene kieferorthopädische Behandlung erforderte zudem eine Lösung, die die Zähne im Sinne eines Retainers in Position hält und stabilisiert. Die genannten Forderungen konnten durch die Anfertigung einer zahnfarbenen Schiene in idealer Weise umgesetzt werden, vor allem die vollständige Reversibilität ermöglichte dem Zahnarzt eine risikofreie Behandlung.

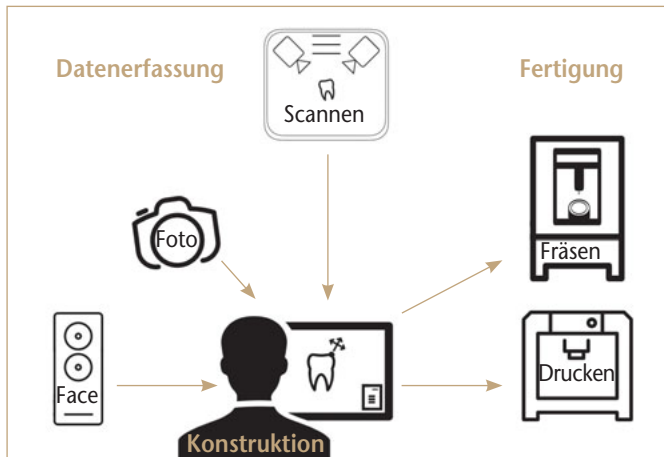


Abb. 3 Überblick: Datenerfassung, Konstruktion, Fertigung.

Nach Reevaluation der Zahn- und Knochensituation sind vollkeramische Einzelzahnrestaurationen aus Lithiumdisilikatkeramik denkbar, welche nach minimalinvasiver Präparation adhäsiv befestigt werden könnten. Der Lückenschluss regio 12 könnte mithilfe einer einflügeligen Klebebrücke aus Zirkonoxid erfolgen. Um eine suffiziente Abstützung und eine ausgeglichene Okklusion zu gewährleisten, wäre außerdem die Insertion eines Implantates in regio 15 wünschenswert.

Das analoge Modellpaar dient als Ausgangspunkt im persönlichen Gespräch zwischen Arzt und Zahntechniker. Die heutige Zahnmedizin bietet gemeinsam mit modernem Zahntechnikerhandwerk multiple Möglichkeiten der Versorgung. Eine Herausforderung dabei ist, den Überblick zu behalten, analoges Wissen zu bewahren und gezielt neue digitale Werkzeuge einzusetzen, wenn sie den eigenen Weg konsequent weiterführen und sinnvoll unterstützen. So erhoffen wir uns mit dem Einsatz der 3-D-Druck-Technologie für die Fertigung des digitalen Mockup einen Mehrwert. Hierbei sollte jedoch stets auf den Einsatz von offenen Schnittstellen zwischen den einzelnen digitalen Hard- und Softwarekomponenten geachtet werden. Diese sind für die erfolgreiche Weitergabe von Informationen unabdingbar (Abb. 3).

Der Einsatz digitaler Werkzeuge

Im Fall dieses jungen Patienten bot sich das Münchner Schienenkonzept an. An der Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik der LMU München konnte die Arbeitsgruppe um Prof. Dr. Daniel Edelhoff und Josef Schweiger seit Ende 2012 bereits sehr gute Erfahrungen erzielen.^{1,2} Bei diesem Konzept wird auf Basis eines analog hergestellten Wax-ups eine digital konstruierte zahnfarbene vollanatomische Schiene gefräst. Die Autoren stellten sich die Frage, ob es nicht möglich oder sogar sinnvoll wäre, auch den Schritt des klassischen Wax-ups digital durchzuführen. So könnte der zeitaufwendige Aufwuchsprozess, mit dem eine Vorplanung hergestellt wird, mithilfe einer Konstruktionssoftware gelingen (Abb. 4). Es geht nicht primär darum, hierbei Zeit zu sparen, vielmehr geht es um den Mehrwert, wenn eine Vielzahl der Informationen über den Patienten bereits digital vorliegt, ein Foto zum Beispiel oder eben ein Scan des gesamten Gesichtes. Diese Informationen, wie Vermessungen der Gelenkbahnen, der Bezugsebenen für die Okklusion, der Mitte, der Nasenbreite

Virtuelle Zahnmodellation

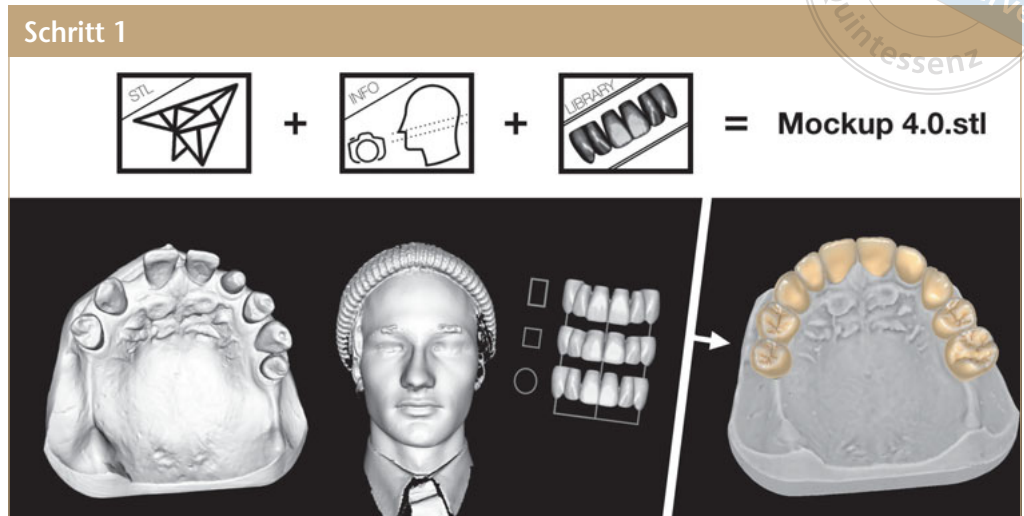


Abb. 4 Schritt 1: Erstellen eines digitalen Mock-ups mittels 3-D-Druck.



Abb. 5 Die Bissnahme erfolgt unter Zuhilfenahme eines frontalen Jigs.

und der Lachlinie, helfen einem Zahntechniker im Alltag außerordentlich weiter, da sich so das Risiko von Fehlschlägen minimiert und mehr Zeit für das Gelingen einer schönen, funktionellen Arbeit zur Verfügung steht.

Kieferrelationsbestimmung

Die Kieferrelationsbestimmung (Abb. 5) erfolgte in der vom Patienten gut tolerierten Höhe der bestehenden kieferorthopädischen Aufbisse. Vor deren Entfernung wurde daher ein frontaler Jig (LuxaBite, DMG, Hamburg) angefertigt, der die vertikale Relation festlegte und gleichzeitig eine einseitige Kompression der Kiefergelenke verhindern sollte. Über den Einbiss in ein darauf aufgetragenes thermoplastisches Registratmaterial (Bite Compound, GC, Tokio, Japan) wurde im Folgenden die zentrische Kondylenposition bestimmt, welche anschließend mit Luxabite verschlüsselt wurde. Zusätzlich wurde eine Gesichtsbogenübertragung durchgeführt.

Digitale Aufstellung

Bei der digitalen Modellanalyse zeigte sich eine leichte horizontale Verschiebung, die jedoch vor Beginn der Konstruktion in einer Teamentscheidung durch Anpassen des Unterkiefers (Abb. 6) korrigiert werden konnte. Die Bezugsebenen für die Okklusion sowie die

copyright by
all rights reserved
Quintessenz

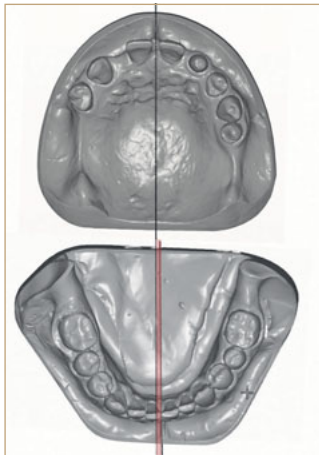


Abb. 6 In der Konstruktionssoftware wird die Mittellinie korrigiert.



Abb. 7 Der Gesichtsscan birgt eine Vielzahl an Informationen.

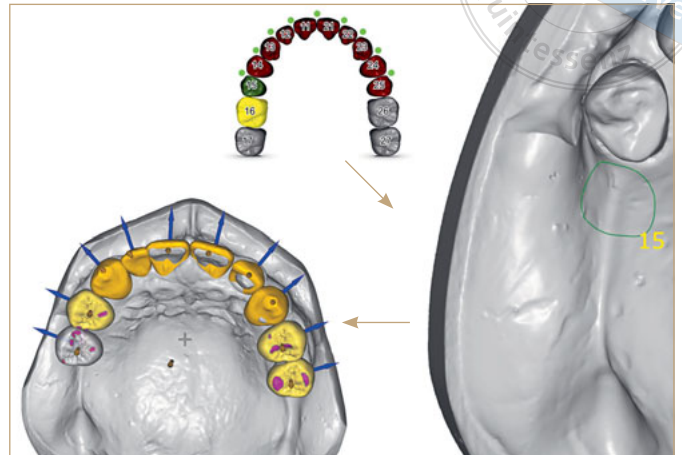


Abb. 8 Anlegen des Falls und Aufstellung der Bibliothekszähne.

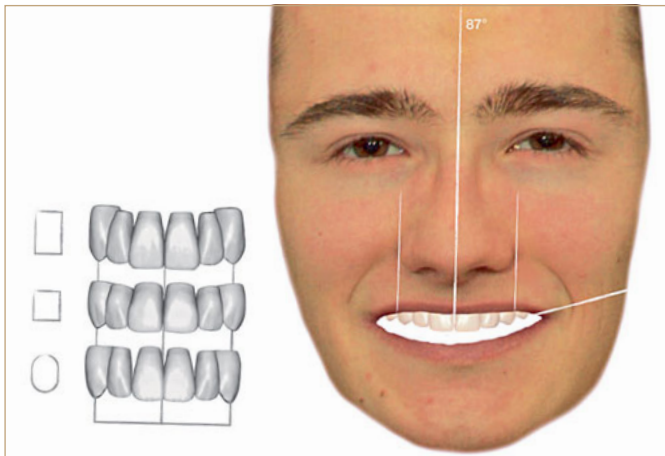


Abb. 9 Verschiedene Zahnformen können im Patientengesicht visualisiert werden.

anatomische Mitte des Gesichtes (Abb. 7) können dank des vorhandenen Gesichtsscans jederzeit im virtuellen Artikulator dargestellt und damit bei der Aufstellung (Abb. 8) berücksichtigt werden. Hierbei werden Bibliothekszähne sehr komfortabel in Pontic-Form aufgestellt, was maximale Freiräume bei der Modellation gewährleistet. Lediglich auf Zahn 15 musste eine Präparationslinie (versionsbedingt) angezeichnet werden. Der Vorteil einer digitalen Aufstellung gegenüber der analogen Aufstellung in Wachs: Es können ohne großen Zeitaufwand verschiedene Zahnformen ausprobiert und im Patientengesicht visualisiert werden (Abb. 9). Auf Zahn 25 wurde zunächst ein Molar aufgestellt, welcher später durch einen Prämolaren ersetzt wurde, um eine günstigere Verzahnung, sowie eine axiale Belastung des Zapfenzahns zu gewährleisten. Die fertige Aufstellung wurde im virtuellen Artikulator dynamisch an den Antagonisten angepasst und kann durch Ausblenden aller nicht benötigten Teile im offenen STL-Format abgespeichert werden. Wichtig für einen erfolgreichen 3-D-Druck: Die Unterseiten aller Objekte müssen geschlossen sein. Besser noch, das Modell sollte für einen effizienten sowie materialsparenden 3-D-Druck in der CAM-Software

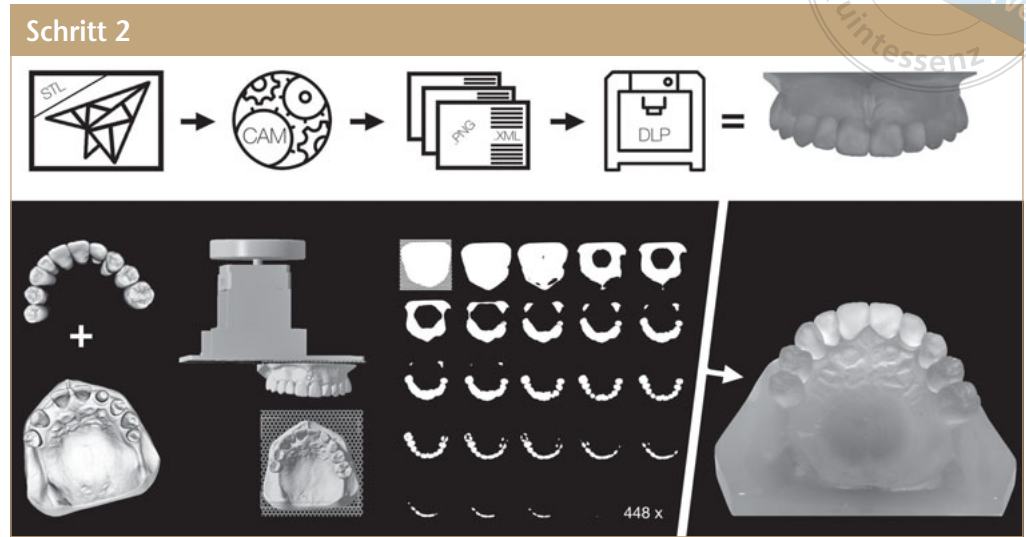


Abb. 10 Die Datensätze werden als druckfähige STL-Dateien abgespeichert.

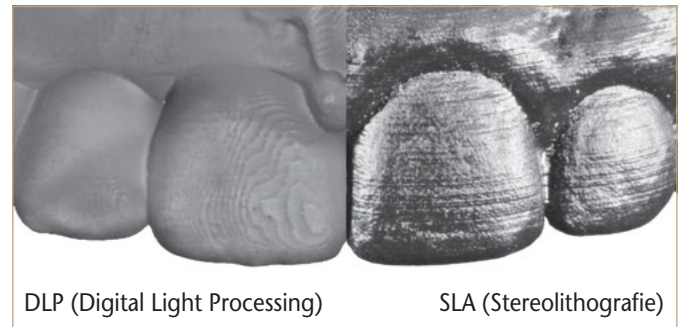


Abb. 11 Technologiebedingt unterschiedliche Ergebnisse (Bild: Josef Schweiger).

optimiert werden, zum Beispiel durch partielles Hohllegen in besonders massiven Bereichen. Bei der verwendeten DLP-(Digital Light Processing)Technologie des 3-D-Druckers SHERAeco-print 30 (Shera, Lemförde) werden die berechneten Druckdaten im Format TGZ ausgegeben. Ein Blick in die Datei zeigt 448 Bilddateien im Format PNG sowie dazugehörige XML-Dateien mit Informationen zu den Druckparametern, wie zum Beispiel der Zeit, Intensität und Schichtstärke (Abb. 10). Bemerkenswert: Deutlich günstigere Drucker, die auf die SLA-(Stereolithografie)Technologie setzen, wie beispielsweise der Form2 von Formlabs (Somerville, USA), erzeugen aufgrund ihrer Arbeitsweise waagrecht verlaufende Linien, die bei genauer Betrachtung dem natürlichen Zahnschmelz (Retzius-Streifen) optisch sehr ähnlich sind (Abb. 11).⁴

Mock-up und erste ästhetische Beurteilung

Eine erste Kontrolle der digitalen Planung am Patienten fand mithilfe eines Mock-ups statt. Der auf dem gedruckten Modell hergestellte Silikon Schlüssel (Twinduo extrahart, Picodent, Wipperfürth) mit einer Shorehärte von 99 diente hierbei als Übertragungsmedium (Abb. 12). Nach Befüllen mit Provisorienkunststoff (Protemp™4, 3M, Neuss) wurde dieser auf die Zahnreihe gedrückt und die chemische Aushärtung abgewartet. Im zähplastischen Zustand ließen sich die Überschüsse am vestibulären Gingivasaum mühelos entfernen. Nach Abnahme des Silikonsschlüssels konnte nun eine erste funktionelle und

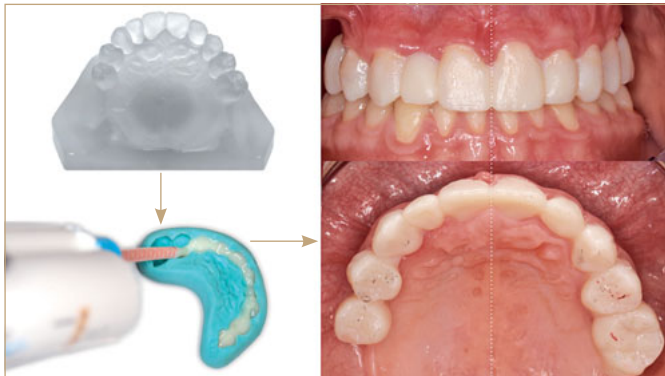


Abb. 12 Kontrolle der digitalen Planung am Patienten mithilfe eines Mock-ups.



Abb. 13 Mock-up nach Abnahme des Silikonschlüssels.

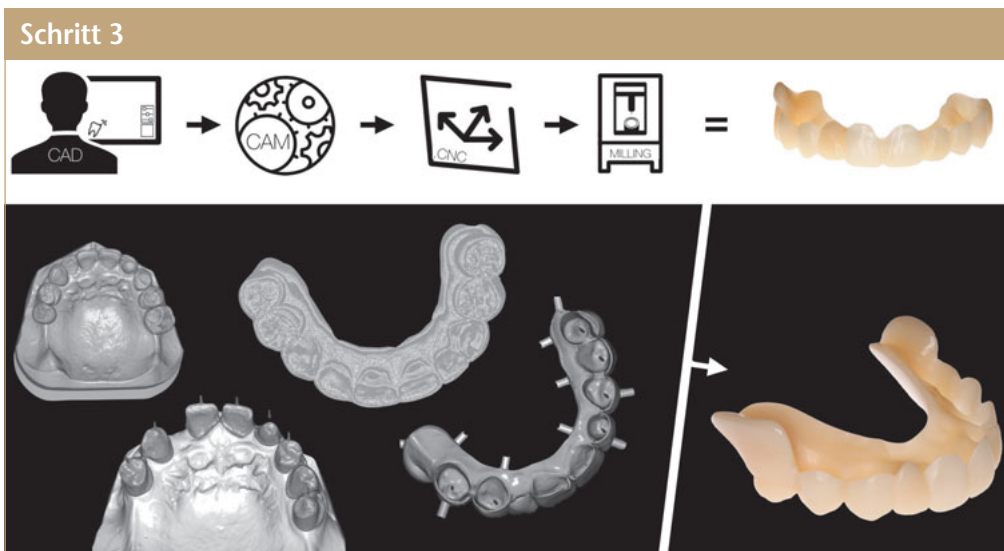


Abb. 14 Schritt 3: Herstellung der gefrästen anatomischen Schiene aus Polycarbonat.

ästhetische Beurteilung erfolgen (Abb. 13). Vor allem für den Patienten ist diese erste Visualisierung eine große Motivation für das Erreichen des Therapieziels. Gemeinsam mit dem Patienten werden Änderungswünsche besprochen und für die anschließende Konstruktion der Schiene dokumentiert (Abb. 14).

Der Fall wurde zunächst als Schiene für die CAD-Software (Modellier, Zirkozahn, Gais, Italien) angelegt (Abb. 15). Die bereits gescannten Kiefer mit der konstruierten Anatomie wurden importiert und das Oberkiefermodell ohne Zementspalt in Einschubrichtung ausgeblockt (Abb. 16). Das dadurch erstellte Modell wurde für die kommenden Arbeitsschritte als neues Meistermodell gespeichert (Abb. 17). Nun konnte der Fall mit anatomischen Kronen, Pontic sowie Prettau-Brückenelement (Abb. 18) angelegt werden, was später die Option offen ließ, eine linguale Verstärkung zu konstruieren. Nachdem die Präparationsgrenzen definiert waren, wurden die Zähne dank Situationsmodell an die bestehende Konstruktion angepasst (Abb. 19). Lediglich auf Zahn 25 wurde eine neue Zahnform aufgestellt. Durch

Konstruktion der Schiene

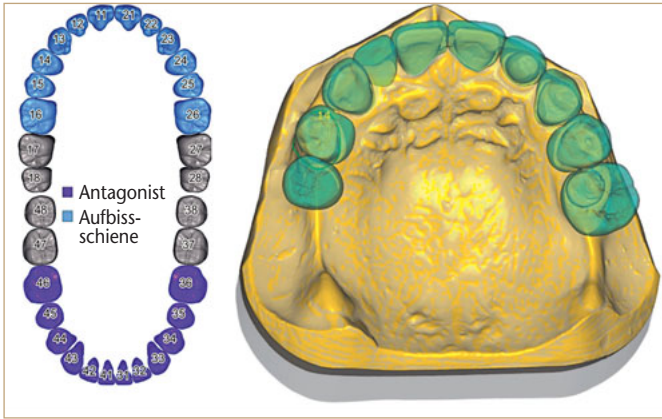


Abb. 15 Anlage des Falls als klassische Schiene und Import der Konstruktion.

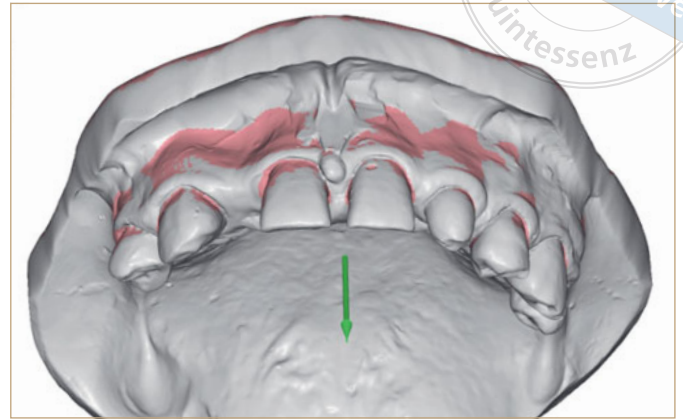


Abb. 16 Natürliche Zähne zeigen im Schmelzmantel waagrecht verlaufende Wachstumslinien, die sogenannten Perikymatien oder Retzius-Streifen.

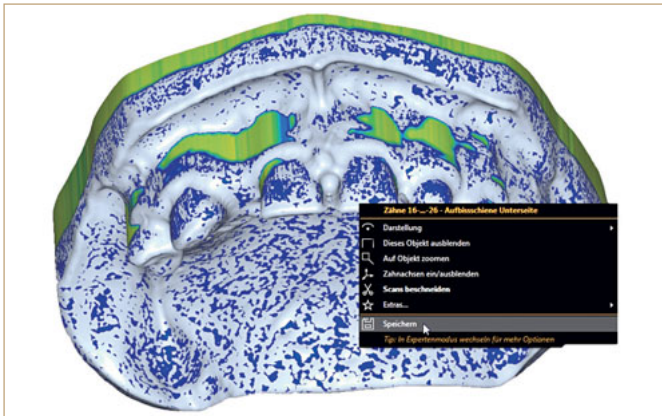


Abb. 17 Aufgrund des schichtweisen Bauprozesses mithilfe des Laserstrahles entstehen bei SLA-Druckern, wie beispielsweise dem Form 2 von Formlabs, ebenfalls horizontal verlaufende Linien, die den Retzius-Streifen optisch sehr ähnlich sehen.

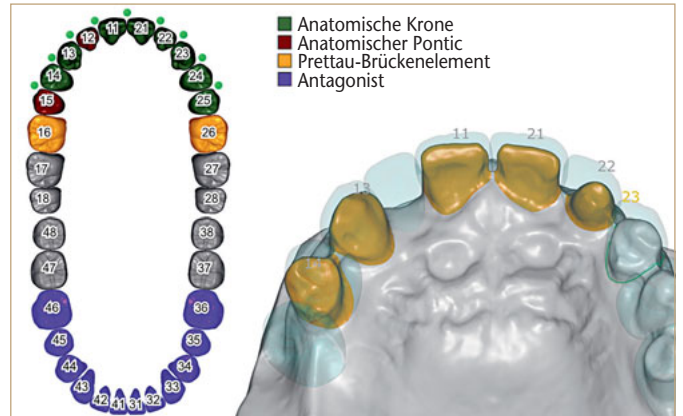


Abb. 18 Neuanlage des Falls mit optionalem Prettau-Brückenelement.

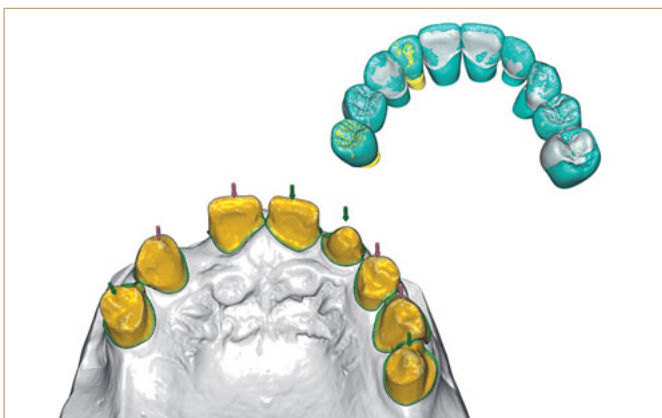


Abb. 19 Definieren der Präparationsgrenzen und Anrechnen der Zähne.



Abb. 20 Anpassen der Anatomie unter Berücksichtigung der erfolgten Fotodokumentation.



Abb. 21 Rückschlag: Die Schiene war nach wenigen Tagen in vier Teile zerbrochen.

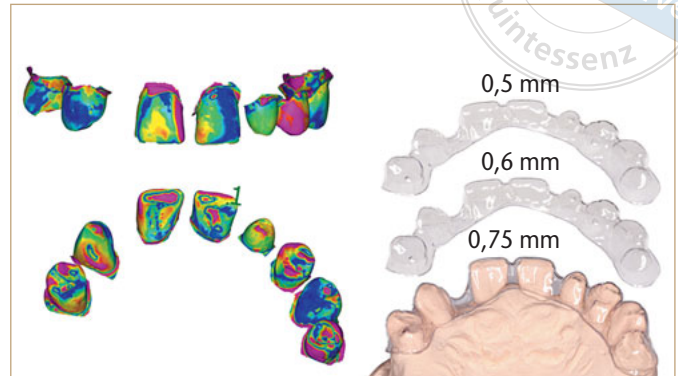


Abb. 22 Analyse und Stabilisierung durch Tiefziehfolien auf dem Originalmodell.

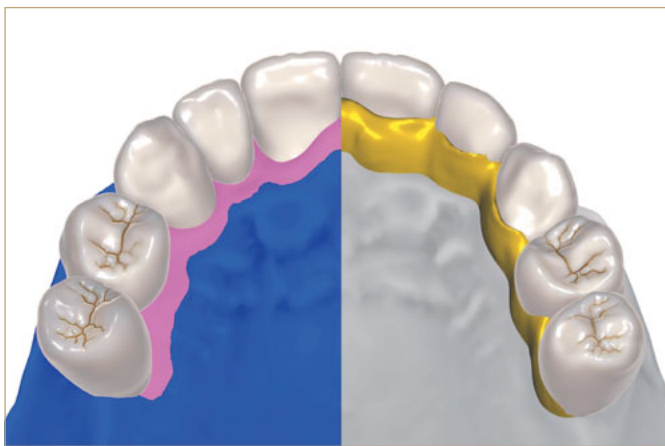


Abb. 23 Anlegen einer lingualen Verstärkung mittels Prettau-Brückenelement.

Importieren und Skalieren eines Patientenbildes mit Mock-up (Abb. 20) konnten die zuvor dokumentierten Änderungen durch Freiformen der Anatomie umgesetzt werden.

Bereits nach kurzer Tragedauer stellte sich der Patient mit einer in vier Teile zerbrochenen Schiene vor (Abb. 21). Seiner Aussage nach hatte er sich derart wohl mit seiner Schiene gefühlt, dass er schlichtweg vergaß, sie beim Essen herauszunehmen. Die Folge: ein mehrfacher Bruch der Schiene. Die Schwierigkeit: Die auf dem bestehenden Datensatz reproduzierte Schiene passte im Mund nicht mehr. Die Erklärung lieferte eine erneute Abformung, die auf das vorherige Meistermodell angerechnet wurde (Abb. 22). Da der Patient erst nach seinem Sommerurlaub vorstellig worden war, hatten seine Zähne vier Wochen lang weder horizontale, noch vertikale Stabilisierung und konnten sich somit bewegen. Durch die Funktion „Best Fit“ wurden die Abweichungen farblich dargestellt und Bewegungen aufgezeigt. In Absprache mit der Poliklinik für Kieferorthopädie der LMU München konnte durch Tiefziehfolien, die auf dem Originalmodell in den Schichtstärken 0,5 mm, 0,6 mm sowie 0,75 mm hergestellt wurden, die Bewegung vollständig rückgängig gemacht werden.

Die nun erneut angefertigte Schiene wurde lingual verstärkt gefertigt (Abb. 23), um einen erneuten Bruch zu verhindern. Das perfekt anliegende Lingualband wirkte sich aufgrund

Anfertigung einer verstärkten Schiene

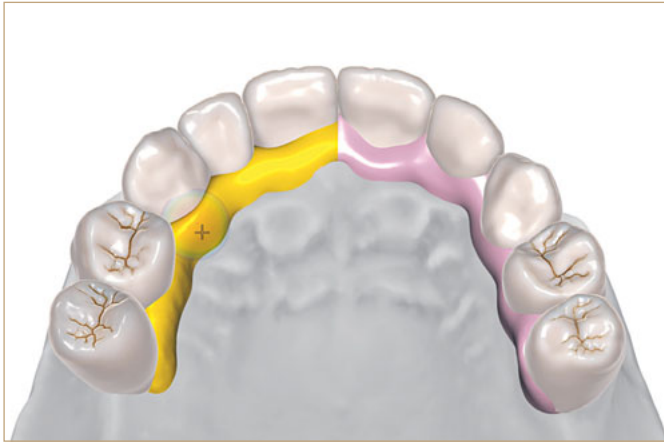


Abb. 24 Durch die Verstärkung konnte die Bruchfestigkeit enorm gesteigert werden.

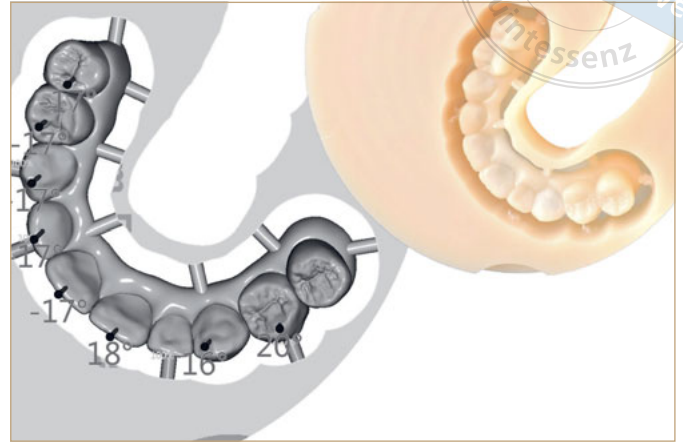


Abb. 25 Die Fräsbahnberechnung berücksichtigt spezielle, einschneidige Fräser.



Abb. 26 Die zweite ausgearbeitete und polierte Schiene aus Polycarbonat.

seiner bewährten Statik positiv auf die Bruchfestigkeit aus (Abb. 24). Nach abschließender Prüfung der statischen und dynamischen Okklusion wurde ein offener STL-Datensatz ausgegeben. Die Fräsbahnen wurden mit einem einschneidigen 2-mm- und 1-mm-Fräser berechnet, der Abtrag von kürzeren Materialspänen beugte ein Verschmieren und Brechen der Fräser vor. Abschließend wurde mit einem 0,3-mm-Fräser abgearbeitet, um ein bestmögliches Ergebnis zu erzielen (Abb. 25). Die Mindestschichtstärke von 0,5 mm der ausgearbeiteten und polierte Schiene wurde im Auflicht sichtbar. Durch die linguale Verstärkung war dennoch eine hohe Stabilität gewährleistet (Abb. 26). Die im Vergleich zu PMMA-Schienen sehr aufwendige Politur macht die Zähigkeit des verwendeten Materials deutlich. Eine hohe Langzeitstabilität von Form und Farbe sowie ein deutlich geringerer Verschleiß rechtfertigen jedoch den Mehraufwand und stellen einen echten Mehrwert für den Patienten dar.³

Eingliederung Die zahnfarbene Schiene wurde nach erfolgreichem Redesign erneut im Patientenmund einprobiert. Nach Überprüfung der Passung mit einem dünnfließenden Silikon (Xantopren L blue,

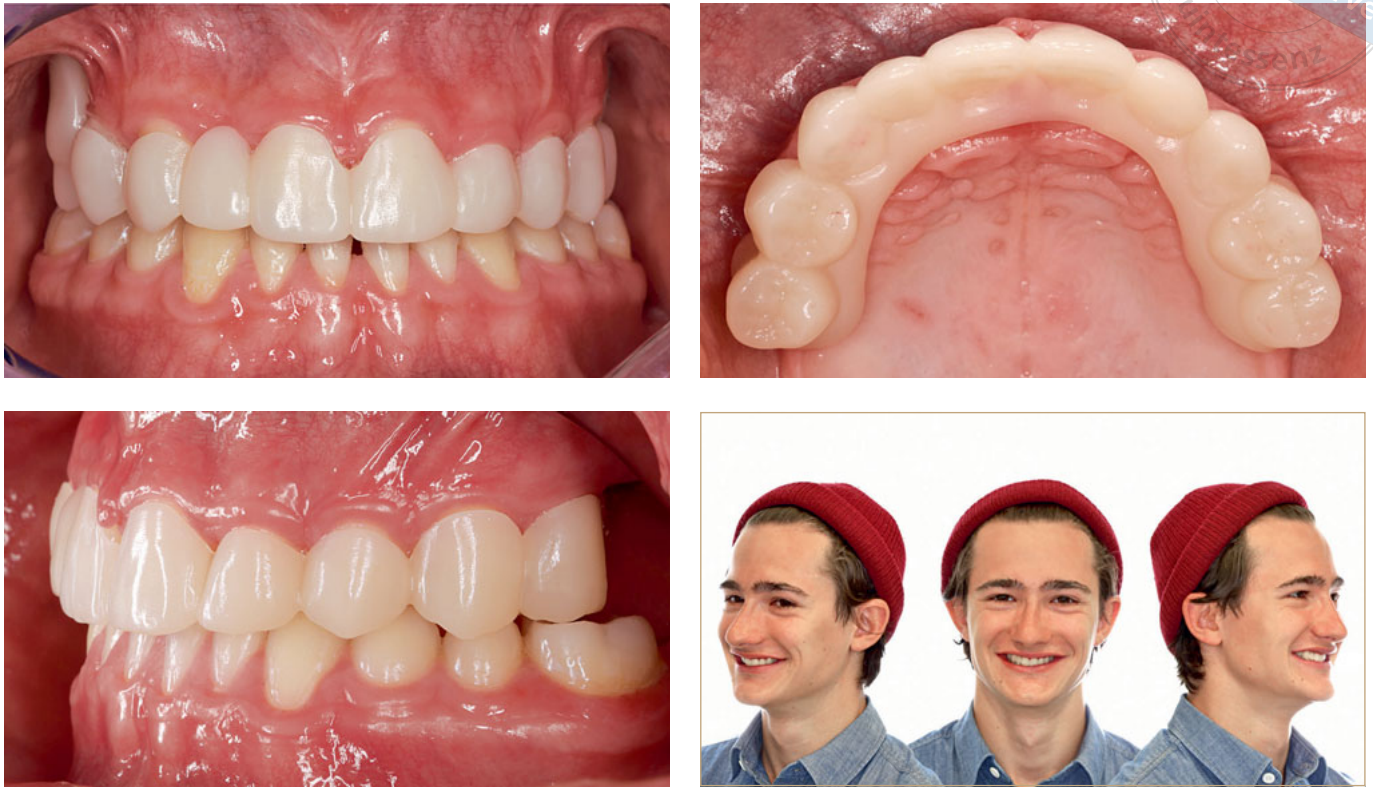


Abb. 27 bis 29 Die Schiene im Mund des Patienten.

Kulzer, Hanau) wurden Okklusion und Ästhetik kontrolliert und die Schiene schlussendlich eingesetzt (Abb. 30 bis 34). Um ihre Langlebigkeit auf ein Maximum zu erhöhen, wurde zusätzlich eine zweite Schiene aus transparentem Polycarbonat für die Nacht angefertigt, welche aus demselben Datensatz gefräst wurde. Der Patient wurde zudem instruiert, die Schiene zum Essen herauszunehmen, um Belastungsspitzen zu vermeiden. Bis eine Implantation und eine damit einhergehende definitive Versorgung sinnvoll erscheint, sind engmaschige Kontrolltermine geplant (Tab. 1).

Tab. 1 Münchner Schienenkonzept – Workflow.

Zahnarzt	Zahntechniker
1. Zahnstatus erheben, PA-Befund, CMD-Kurz-befund, Röntgenbefund, Anamnese, Therapiekonzept planen und kommunizieren, OK/UK-Präzisionsabformung, Kieferrelationsbestimmung und Gesichtsbogenübertragung	2. Fall anlegen, 3-D-Gesichtsscan erstellen, Modelle ausgießen, einartikulieren, Modelle scannen, Wax-up konstruieren, drucken, Stützkonstruktionen entfernen und das Modell final auspolymerisieren, Silikonschlüssel erstellen
3. Mock-up im Mund des Patienten, funktionelle und ästhetische Evaluation, Änderungswünsche besprechen und fotodokumentieren	4. Konstruktion der Schiene, Fräsen und Ausarbeiten der Schiene, Okklusionskontrolle im Artikulator, Politur
5. Kontrolle von Passung und Okklusion, Eingliederung der Schiene	



- Literatur*
1. Edelhoff D, Schweiger J. CAD/CAM tooth-colored occlusal splints for the evaluation of a new vertical dimension of occlusion: Case Report. QDT 2014;59-70.
 2. Edelhoff D, Schweiger J. CAD/CAM-gefertigte zahnfarbene Schienen zur ästhetischen und funktionellen Evaluierung einer neuen Vertikaldimension der Okklusion. Quintessenz Zahntech 2013;39:2-15.
 3. Edelhoff D, Schweiger J, Prandtner O, Trimpl J, Stimmelmayer M, Güth J. CAD/CAM-Schienen zur funktionellen und ästhetischen Evaluierung neu definierter Bisslagen. Quintessenz 2016;67:1195-1209.
 4. Schweiger J, Trimpl J, Schwerin C, Güth J, Edelhoff D. Effizienter Einsatz von Additive Manufacturing (AM) im Dentalbereich. Der aktuelle Stand im Jahr 2018. Quintessenz Zahntech 2018;44:2-24.
 5. Thilander B. Dentoalveolar development in subjects with normal occlusion. A longitudinal study between the ages of 5 and 31 years. Eur J Orthod 2009;31:109-120.



ZTM Clemens Schwerin

Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik
 des Klinikums der Ludwig-Maximilians-
 Universität München
 Goethestr. 70
 80336 München
 E-Mail: Clemens.Schwerin@med.
 uni-muenchen.de

Dr. Matthias Kelch

(Adresse wie oben)