

Lukas Brämwig, Tamara Pollak, Marie-Theres Richter, Isabel Knaup, Michael Wolf

Erwachsenen-Kieferorthopädie – aktuelle Innovationen und interdisziplinäre Möglichkeiten*

Warum Sie diesen Beitrag lesen sollten?

Die Digitalisierung bringt auch in der Kieferorthopädie Innovationen und Weiterentwicklungen mit sich. Im Folgenden werden spannende neue Behandlungsmöglichkeiten aufgezeigt, die auch immer mehr bei interdisziplinären Fragestellungen Anwendung finden.

Einleitung: Die Behandlung erwachsener Patienten gehört mittlerweile zum klinischen Alltag des Kieferorthopäden. Bei der Indikationsstellung gibt es keinen Unterschied zu der Therapie von Kindern und Jugendlichen: Ziel ist die Verhütung und die Behandlung von Fehlstellungen der Kiefer und der Zähne zum Erreichen sowie Erhalten eines gesunden Kauorgans.

Diskussion: Dennoch gilt es, einige Besonderheiten zu berücksichtigen: Die Biomechanik sollte entsprechend des ggf. fortgeschrittenen Attachment-Verlustes angepasst werden. Gleichzeitig ist der Wunsch nach möglichst unauffälligen Behandlungsmethoden groß. Des Weiteren spielen interdisziplinäre Behandlungskonzepte eine weit größere Rolle als bei Kindern und Jugendlichen.

Ergebnisse: Für all diese Anforderungen ergeben sich Dank der Digitalisierung in der Kieferorthopädie neue und innovative Therapieoptionen. Durch mittels Intraoralscan erzeugter Datensätze bieten sich sowohl in der Diagnostik als auch in der Planung vielfältige Möglichkeiten, mit denen die Behandlung verbessert und für den Patienten komfortabler gestaltet werden soll. Hierfür werden spezielle kieferorthopädische Software-Lösungen benötigt, mit denen individualisierte Therapiekonzepte erarbeitet werden können. Über den Export von STL-Dateien können Behandlungsapparaturen mit verschiedenen Systemen gedruckt und für den Kieferorthopäden verfügbar gemacht werden. In den kommenden Jahren werden hier weitere Fortschritte erwartet, was die digitale Kieferorthopädie zu einem spannenden Arbeitsfeld macht.

Schlüsselwörter: digitale Kieferorthopädie; Erwachsenen-Kieferorthopädie; 3D-Druck; CAD/CAM-Versorgungen; interdisziplinäre Kieferorthopädie

Klinik für Kieferorthopädie, Uniklinik der RWTH Aachen: Dr. Lukas Brämwig, Tamara Pollack, Dr. Marie-Theres Richter, Dr. Isabel Knaup, Univ.-Prof. Dr. Michael Wolf

*Deutsche Version der englischen Erstveröffentlichung Brämwig L, Pollak T, Richter M, Knaup I, Wolf M: Orthodontics for adults – current innovations and interdisciplinary possibilities. Dtsch Zahnärztl Z Int 2020; 2: 174–180

Zitierweise: Brämwig L, Pollak T, Richter M, Knaup I, Wolf M: Erwachsenen-Kieferorthopädie – aktuelle Innovationen und interdisziplinäre Möglichkeiten. Dtsch Zahnärztl Z 2020; 75: 292–299

Peer-reviewed article: eingereicht: 18.03.2020, revidierte Fassung akzeptiert: 15.04.2020

DOI.org/10.3238/dzz.2020.0292-0299

Orthodontics for adults – current innovations and interdisciplinary possibilities

Introduction: At this point in time, treatment of adult patients is part of the everyday lives of orthodontists. There is no difference when determining the indication for therapy in children and adolescents: The goal is the prevention and treatment of misalignments of jaws and teeth, as well as maintaining a healthy masticatory system.

Discussion: Nevertheless, there are some characteristics that need to be taken into consideration: The biomechanics should be adjusted in accordance to the progressing loss of attachment. Simultaneously, there is a great desire for preferably subtle treatment options. Furthermore, interdisciplinary treatment concepts play a more important role in adults compared to children and adolescents.

Results: The digitalization in orthodontics resulted in new and innovative therapy options for all these requirements. Generated data records using intraoral scans offer various options in diagnosis as well as planning in order to improve treatments and patient comfort. Special orthodontic software solutions were necessary to establish individualized therapy concepts. Treatment appliances with different systems can be printed using the export of STL data and made available for orthodontists. Further advances are expected in the next few years, which makes digital orthodontics an exciting work field.

Keywords: digital orthodontics; orthodontics for adults; 3D-print; CAD/CAM restorations; interdisciplinary orthodontics

Einleitung

Die Kieferorthopädie ist längst nicht mehr auf Behandlungen von Kindern und Jugendlichen beschränkt. Auch die Therapie von erwachsenen Patienten gehört in diesem Fachgebiet der Zahnmedizin mittlerweile zum klinischen Alltag. Bereits in den Jahren 2012 bis 2014 waren in den USA und Kanada jeder vierte Patient, der sich in kieferorthopädischer Behandlung befand, über 18 Jahre alt [1]; die Tendenz ist steigend.

Die Gründe für diesen Trend sind vielfältig: In der heutigen Gesellschaft gibt es ein stärkeres Bewusstsein für Zahngesundheit und vor allem für erwachsene Patienten ist hier auch die Zahnstellung wichtig. So ist es gesellschaftlich etabliert, dass gerade und weiße Zähne attraktiv und gesund wirken, wohingegen Dysgnathien zu negativen Reaktionen im sozialen Umfeld führen können [18].

Die in den letzten Jahrzehnten optimierte zahnmedizinische Versorgungslage und der demografische Wandel führen zudem zwangsläufig zu einem Anstieg des Altersdurchschnitts in der kieferorthopädischen Praxis: Ein immer älter werdendes Patientenkollektiv hat einen erhöhten Bedarf, die Stellung der eigenen natürlichen Zähne zu optimieren.

Doch nicht nur aus ästhetischen Gründen wird der Kieferorthopäde von Erwachsenen aufgesucht: Beispielsweise aus parodontalprophylaktischer Sicht bietet es sich auch im fortgeschrittenen Alter an, Zahnfehlstellungen zu korrigieren und somit durch Fehlbelastungen begünstigte Knochenveränderungen vorzubeugen.

Auch bei anderen interdisziplinären Fragestellungen, wie der präprothetischen Pfeilerverteilung oder der prächirurgischen Ausformung der Zahnbögen, sollten die zahnärzt-

lichen Disziplinen Hand in Hand arbeiten, um das bestmögliche Ergebnis für den Patienten zu erreichen.

Durch bereits etablierte Behandlungsmöglichkeiten wie die Lingualtherapie oder auch die Alignertherapie lässt sich die kieferorthopädische Behandlung möglichst unauffällig gestalten, was von vielen Patienten, die im Berufsleben stehen und eine herkömmliche Therapie aufgrund der temporären ästhetischen Beeinträchtigung bislang abgelehnt haben, gewünscht wird. Mittels des Fortschritts in der digitalen Kieferorthopädie stehen zudem weitere neue spannende Ansätze für eine individuelle Behandlungsplanung und -durchführung bereit [6, 10, 11, 23].

Besondere Anforderungen in der Erwachsenen-Kieferorthopädie

Die kieferorthopädische Behandlung erwachsener Patienten unterliegt einigen Besonderheiten. Generell sollte – wie bei jedem Patienten – vor Beginn der Therapie ein parodontales Screening stattfinden und bei Behandlungsbedarf eine Überweisung an den Hauszahnarzt erfolgen. Dies ist unerlässlich, da andernfalls die kieferorthopädische Therapie im entzündeten Parodont zu einer Progression der PA-Destruktion beiträgt [20].

Mit steigendem Alter liegt zudem häufig eine dichtere Kortikalis, ein Attachmentverlust sowie eine geringere Vaskularisierung des Knochens vor, was teilweise mit einer Einschränkung von Zahnbewegungen einhergeht. Des Weiteren werden von erwachsenen Patienten vermehrt Medikamente eingenommen, die einen Effekt auf den Knochenmetabolismus haben und so auch die orthodontische Therapie mit beeinflussen (Tab. 1).

In Folge des häufig bereits eingetretenen Attachmentverlustes verlagert sich das Widerstandszentrum der Zähne weiter nach apikal, woraufhin die orthodontischen Kräfte angepasst werden müssen. Außerdem muss infolge dessen auch über weitere Verankerungsmaßnahmen nachgedacht werden, da die PA-geschwächten Zähne die Gegenkräfte im Rahmen der kieferorthopädischen Therapie häufig nicht mehr alleine



Abbildung 1–3 Behandlung eines erwachsenen Patienten mit einer vollständig individualisierten lingualen Apparatur

auffangen können. Abhilfe können hier u.a. Miniimplantate schaffen, auf die weiter unten näher eingegangen werden soll.

Der Wunsch der erwachsenen Patienten

Erwachsene Patienten suchen den Kieferorthopäden vor allem mit dem Wunsch auf, eine möglichst unauffällige und zeitlich absehbare Behandlung durchführen zu lassen. Die linguale Multibracket-Therapie stellt hierzu eine von den Patienten sehr gefragte Alternative zu der vestibulären festsitzenden Zahnsperre dar. Mittels einer komplett individualisierten Apparatur können Zahnbewegungen effizient in allen 3 Raumebenen durchgeführt werden (Abb. 1–3).

Durch die Etablierung der Aligner-Therapie wurde dem Kieferorthopäden zudem ein weiteres Werkzeug an die Hand gegeben, möglichst schonend Schritt für Schritt das gewünschte Behandlungsergebnis zu erreichen. Dennoch sei hier zu erwähnen, dass eine Selektion der geeigneten Patientenfälle sowie die Erfahrung des Behandlers mit dem System unabdingbar für den Behandlungserfolg mit Alignern sind.

Aktuelle Innovationen in der Kieferorthopädie

Um dem Wunsch der erwachsenen Patienten gerecht zu werden, bieten sich digitale Technologien an, mit denen eine möglichst präzise und individualisierte Planung durchgeführt werden kann.

Die digitale Kieferorthopädie setzt sich aus 3 Bausteinen zusammen:

1. Scan-System (Intraoralscanner oder Modellscanner)
2. CAD-Software
3. 3D-Druck

Scan-Systeme

Grundlage für einen digitalen Arbeitsablauf ist immer ein dreidimensionaler Datensatz, welcher in der Regel durch einen intraoralen Scanner generiert wird. Sollte kein Intraoralscanner zur Verfügung stehen, kann prinzipiell auch der Umweg über einen Modellscanner gewählt werden.

Verschiedene Scan-Systeme sind seit einigen Jahren in der Kieferorthopädie etabliert und mehr und mehr dabei, den konventionellen Abdruck zu verdrängen. Die Genauigkeit puderfreier intraoraler Scanner entspricht der des klassischen Abdrucks [13], bietet jedoch zugleich einen wesentlich höheren Patientenkomfort.

CAD-Software

Der so erzeugte Datensatz kann dann in eine geeignete CAD-Software importiert werden, mit der die weitere Verarbeitung erfolgt (Abb. 4).

Im Folgenden soll der voll-digitale Ablauf von der Diagnostik, über die Planung bis hin zur anschließenden Umsetzung der Therapie skizziert und die Vorteile der Digitalisierung aufgezeigt werden. Wir verwenden hierfür in unserer Klinik die Software OnyxCeph^{3TM} (Image Instruments).

Der Workflow in der digitalen kieferorthopädischen Diagnostik umfasst die digitale Fotografie, das digitale Röntgen und die bereits erwähnte digitale Abformung.

Anhand der so generierten Daten kann eine vollumfängliche Auswertung der Patientenunterlagen erfolgen, die durch die klinische Untersuchung ergänzt werden muss.

Die intra- und extraoralen Bilder sowie die Fern-Röntgen-Seitenbilder können am Computer vermessen und analysiert werden. Auch das dreidimensionale Modell lässt sich per

Software auswerten (Abb. 5). Studien zeigen, dass die Genauigkeit der Vermessung digitaler Modelle der konventionellen Auswertung am Gipsmodell ebenbürtig ist und früher oder später den neuen Goldstandard in der kieferorthopädischen Befundung darstellen wird [17].

Wenn die Diagnostik abgeschlossen und die Wahl auf ein geeignetes Therapiemittel gefallen ist, kann dieses auch digital geplant und designt werden.

Wie oben beschrieben, zählen zu den unauffälligen Behandlungsmethoden, welche von den erwachsenen Patienten präferiert werden, die Lingual- und die Aligner-Therapie.

Diese setzen in der Regel ein Set-Up voraus, welches die gewünschte Endposition der Zähne simuliert. Früher waren hierfür die allseits bekannten, aufwendigen händischen Arbeitsschritte am Sägemodell notwendig. Dies ist nun in einer wesentlich präziseren und effektiveren Vorgehensweise digital möglich (Abb. 6). Durch eine geeignete Software können Zähne einzeln segmentiert werden und anschließend in den Raumebenen entsprechend der gewünschten Zielposition frei bewegt werden.

In der Lingualtherapie können anhand des Ziel-Set-Ups auf den Patienten ausgerichtete, individualisierte Bögen berechnet werden. Diese können mittels einer ausgedruckten Schablone händisch nachgebogen werden. Alternativ dazu kann die Bogengeometrie im CSV-Format an einen Biegeroboter übermittelt werden, was zu einer Zeitersparnis und zu einer Erhöhung der Präzision führt. Die therapeutische transversale Expansion der Zahnbögen stellt in vielen Fällen ein Stabilitätsrisiko von

kieferorthopädischen Behandlungen dar [22]. Erste eigene Daten zeigen, dass in Folge einer individualisierten Therapie eine stabilere Zahnposition erreicht werden kann [Wolf et al., submitted].

Auch für die digitale Planung der Aligner-Therapie ist eine klinische Expertise unabdingbar, um Grenzbewegungen einschätzen und Hilfsmittel wie beispielsweise Attachments richtig planen zu können.

Zudem wird in vielen Fällen eine zusätzliche Verankerung benötigt. Sollte dieser Verankerungsbedarf maximal sein, kann hierfür eine skeletale Verankerung in Form eines Miniimplantates (TAD; temporary anchorage device) gewählt werden. Hierdurch können Zahnbewegungen vollzogen werden, die sonst nur unter großen Nebenwirkungen durchgeführt werden könnten. Beispiele hierfür sind Mesialisierungen und Distalisierungen von Molaren, Intrusionen einzelner elongierter Zähne, Enmasse-Retraktionen und Distraktionen einzelner impaktierter Zähne [3].

Die Insertion eines solchen TADs wird im Idealfall auch digital geplant. Je nach Verwendungszweck muss das Miniimplantat in eine andere Region inseriert werden. Die in der topografischen Umgebung naheliegenden anatomischen Strukturen wie Zahnwurzeln, Nervus alveolaris inferior und Arteria palatina müssen hierbei geschont werden. Um dies zu gewährleisten, bietet sich die Zuhilfenahme von Bohrschablonen an. Diese können konventionell im Labor oder über ein CAD/CAM-Verfahren hergestellt werden.

Hierzu wird zunächst ein Röntgenbild mit dem intraoralen Scan überlagert (Abb. 7). Für palatinale Miniimplantate wird in der Regel ein Fern-Röntgen-Seitenbild verwendet. Soll ein TAD interradikulär inseriert werden, benötigt man für den Überlagerungsprozess ein DVT. Hierdurch lässt sich eine zielgenaue Positionierung der Miniimplantate unter Berücksichtigung der umgebenden anatomischen Strukturen digital planen. Sobald die gewünschte Position und Angulation des Miniimplantates festgelegt ist, wird ein gesondertes Modell errechnet, welches die Einschubrichtung definiert. Über dieses kann



Abbildung 4 Segmentiertes digitales Modell nach intraoralem Scan (3Shape TRIOS 3)

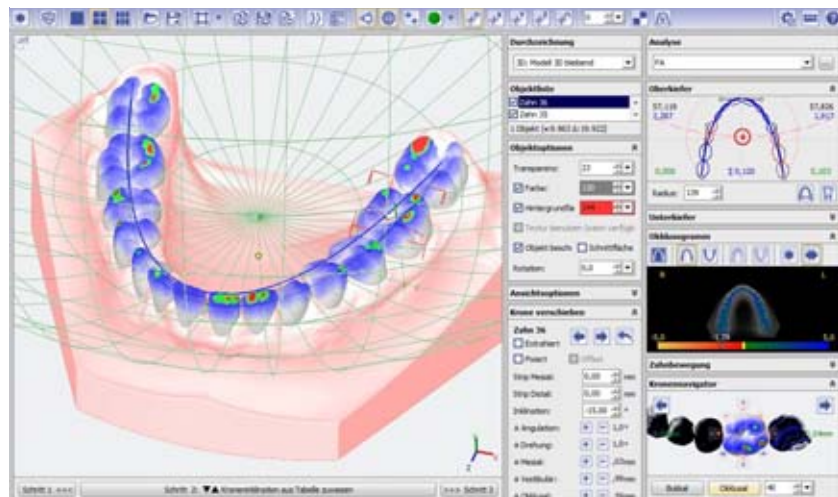


Abbildung 5 Kieferorthopädische Auswertung eines digitalen Modells mittels der kieferorthopädischen Software OnyxCeph^{3TM}

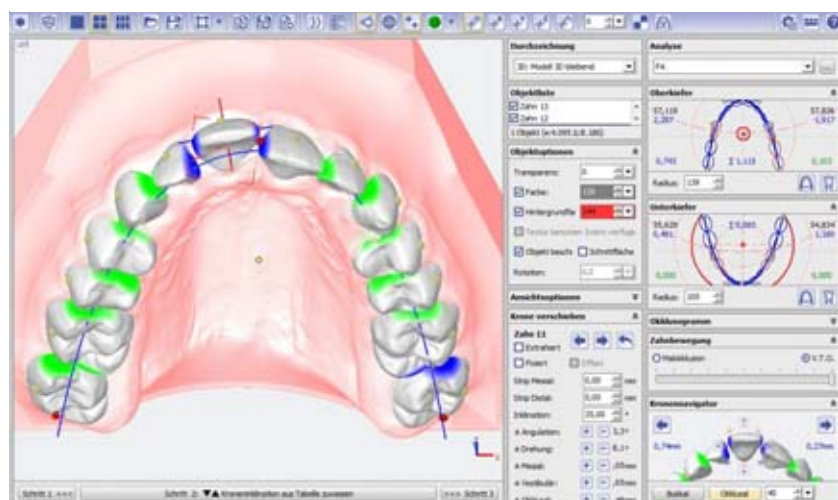


Abbildung 6 Erstellen eines digitalen Set-ups mittels der kieferorthopädischen Software OnyxCeph^{3TM}

Typ	Substanz	Auftreten/Einsatz	Effekte	Wirkung auf Knochen und Zahnbewegung
Medikamente	NSAID (Aspirin, Ibuprofen)	Analgetikum, antiinflammatorisch	Knochenresorption ↓	Zahnbewegung ↓
	Paracetamol	Analgetikum c	Kein Einfluss	Kein Einfluss
	Bisphosphonate	Osteoporose, Krebstherapie	Knochenresorption ↓	Zahnbewegung ↓
	Insulin, Metformin	Diabetes mellitus	Knochenstabilisierung ↑	Zahnbewegung ↓
	Vitamin D	Schwangerschaft, Stillzeit, Depressionen	Knochenresorption ↑	Zahnbewegung ↑
	Eicosanoide (Prostaglandine, Leukotriene etc.)	Mediatoren	Knochenresorption ↑	Zahnbewegung ↑
	Flourid	Osteoporose, Kariesprophylaxe	Knochenresorption ↓ Knochenmasse ↑ Knochendichte ↑	Zahnbewegung ↓

Tabelle 1 Medikamente und ihre Wirkung auf den Knochen und die Zahnbewegung

(Abb. 1–16; Tab. 1; L. Brämwig)



Abbildung 7 Überlagerung eines intraoralen Scans des Oberkiefers mit einem Fern-Röntgen-Seitenbild

nun eine Bohrschablone in der gewünschten Ausdehnung designt werden (Abb. 8–10).

Die Verwendung einer CAD/CAM-Schablone gewährleistet eine bessere Kontrolle während der Insertion und reduziert das Risiko einer Abweichung vom geplanten Insertionspfad auch bei unerfahrenen Behandlern [2].

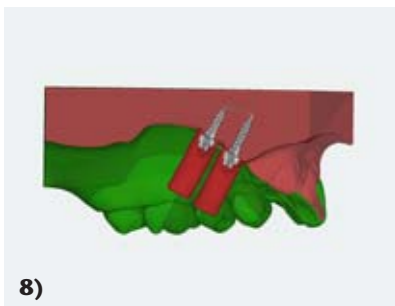
Eine weitere Indikation für die Anfertigung eines DVTs für die Planung von Miniimplantaten ist bei schwierigen anatomischen Situationen gegeben.

So konnten wir bei Patienten mit einseitiger Lippen-Kiefer-Gaumenspalte in eigenen Untersuchungen zeigen, dass es zu einer deutlich stär-

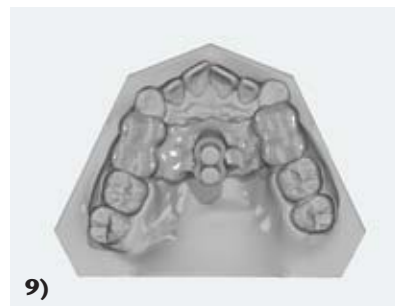
keren Schleimhautüberlagerung im anterioren Gaumen kommt und dass sich die beste Insertionsregion auf der nicht betroffenen Kieferhälfte am Übergang von Prämaxilla und Maxilla befindet [14] (Abb. 11 und 12).

Auch eine Kombination von Minipins und Alignern hat sich klinisch als praktikabel erwiesen und erweitert somit das Indikationsspektrum von Schienen-Behandlungen in ausgewählten Fällen [21].

Zusätzlich stehen für die herkömmliche vestibuläre Bracket-Behandlung digitale Werkzeuge zur Verfügung. Die korrekte Bracketpositionierung zu Beginn einer Behandlung hat einen entscheidenden Einfluss auf den kieferorthopädischen Be-



8)



9)



10)

Abbildung 8–10 Digitale Positionierung der Miniimplantate mit anschließendem Design der Bohrschablone

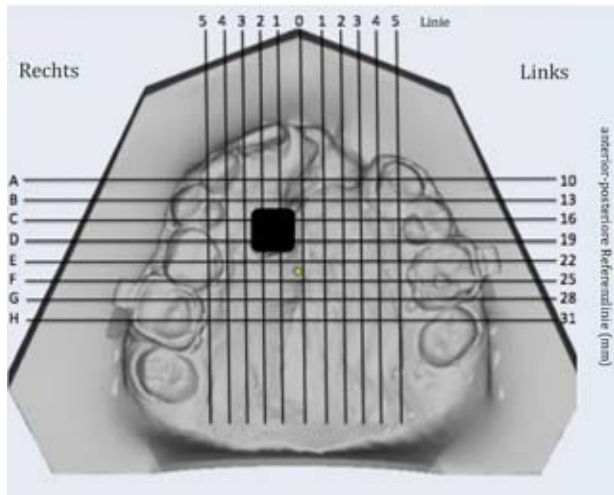


Abbildung 11 Bestmöglicher Insertionsort für Miniimplantate auf der nicht betroffenen Seite

handlungserfolg. Die konventionelle Bebänderung der Patienten läuft in der Regel durch ein direktes Klebverfahren am Patienten ab, bei dem jedes Bracket einzeln auf den Zahn gesetzt, ausgerichtet und lichtgehärtet wird. Alternativ hierzu können Übertragungstrays hergestellt werden, mit denen die Brackets kieferweise in den Patientenmund überführt werden können. Dies setzt einen Laborprozess voraus, bietet jedoch mit einer deutlich reduzierten Stuhlzeit einen Vorteil für Patienten und Behandler. Außerdem konnten Studien zeigen, dass durch das indirekte Kleben eine genauere Bracketpositionierung in der Vertikalen gewährleistet werden konnte [12].

Ein solches Übertragungstray lässt sich inzwischen ebenfalls digital planen und designen.

Auch hier dient als Grundlage ein per Software segmentiertes Modell, auf dem die Zahnwurzeln simuliert mit abgebildet werden können. Entsprechend der Zahnachse können nun virtuell die Brackets an die richtige Position platziert werden. Über die geplante Bracketposition kann dann eine Positionierungsschablone entworfen, als STL-Datensatz abgespeichert und an einen Drucker übermittelt werden (Abb. 13). In die CAD/CAM-Schablone können die Brackets platziert und anschließend indirekt in den Patientenmund überführt werden. Erste Untersuchungen aus unserer Klinik zeigen, dass hierdurch eine

gute Übertragung der digital geplanten Bracketposition erreicht werden kann.

Eine weitere Möglichkeit mittels entsprechender Software-Angebote kieferorthopädische Behandlungsgeräte zu gestalten, ist die Planung und das Design individualisierter metallischer Apparaturen. Ein patientenspezifisches Anpassen von Behandlungsgeräten war durchaus auch bereits zuvor möglich. Jedoch ging die Verwendung von konfektionierter Ware bei anatomischen Gegebenheiten, die stark von der Norm abweichen, stets mit Einschränkungen einher. Auch hier zeigen sich durch digitale Methoden effiziente Lösungsansätze, sodass möglichst grazile Apparaturen individuell angepasst und anschließend hergestellt werden können (Abb. 14 und 15). Neben dem Vorteil der hoch präzisen Passung können hierdurch auch Terminketten verkürzt werden, da beispielsweise das für konventionelle Bänder not-

Schleimhaut

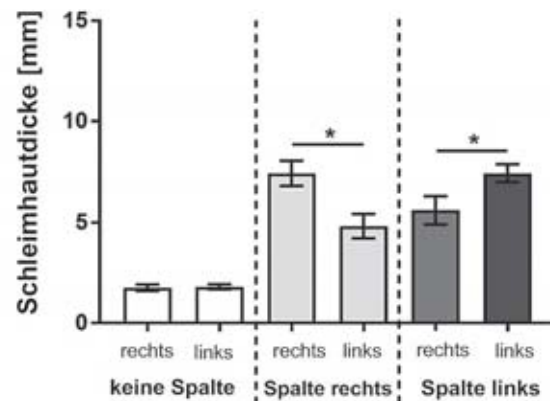


Abbildung 12 Geringere Schleimhautdicke bei Nicht-Spalt-Patienten im Vergleich zu Spalt-Patienten

wendige Separieren bei digital hergestellten Bandapparaturen nicht notwendig ist und somit entfällt.

3D-Druck

Alle im vorherigen Abschnitt dargestellten Verfahren der Therapieplanung und des Designs von Behandlungsapparaturen mittels einer CAD-Software münden im 3D-Druck.

So können die Zahnkränze für Aligner, Bohrschablonen für Miniimplantate oder auch Bondingtrays für die Bracket-Übertragung als STL-Datensatz abgespeichert und an einen Drucker übermittelt werden.

Je nach Indikation stehen hierfür verschiedene Verfahren zur Verfügung, von denen sich in der Zahnmedizin vor allem der SLA- (Stereolithographie), DLP- (Digital Light Processing) und der FDM-Druck (Fused Deposition Modeling) etabliert haben. Resin-Drucker können in der Regel mit kürzeren Druckzeiten punkten, wohingegen bei den Filament-



Abbildung 13 Digitale Positionierung von Brackets mit anschließendem Design eines Übertragungstrays

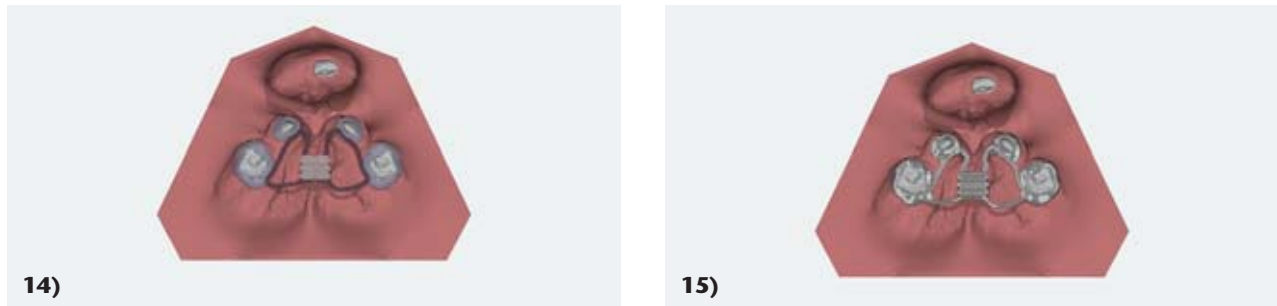


Abbildung 14 und 15 Individualisiertes Design einer Gaumennahterweiterungs-Apparatur bei einem Patienten mit beiseitiger LKG-Spalte

Druckern das Post-Processing in Form von Alkoholisieren und Nachhärten entfällt. Für kieferorthopädische Fragestellungen kann mit allen Systemen eine klinisch zufriedenstellende Präzision erreicht werden [5, 9], wenngleich in den nächsten Jahren noch mit einem weiteren Fortschritt zu rechnen ist.

Eine weitere Form des 3D-Drucks stellt der SLM-Druck (Selective Laser Melting) dar, mit dem metallische Apparaturen hergestellt werden können. Der Erwerb eines solchen Druckers ist für die Einzelpraxis jedoch derzeit noch zu kostenintensiv, ein externer Druck über größere Labore wird aber bereits angeboten. In einem additiven Fertigungsverfahren wird der zu verarbeitende Werkstoff in Pulverform Schicht für Schicht verschmolzen. Bei kieferorthopädischen Apparaturen handelt es sich

hierbei meist um eine Cobalt-Chrom-Legierung.

Interdisziplinäre KFO

Neben den oben angesprochenen Innovationen der Digitalisierung in der Kieferorthopädie bieten sich auch im interdisziplinären Austausch Vorteile. So können sich beispielsweise die zahnärztlichen Kollegen anhand eines digitalen Modells zeitgleich über die entsprechende Fragestellung an ihren Arbeitsplätzen beraten, ohne dabei auf das Gipsmodell zurückgreifen zu müssen.

Und nicht nur in den rein kieferorthopädischen, sondern auch in fachübergreifenden Behandlungen der Patienten bieten sich Schnittstellen, die Dank digitaler Technologien zu einem Behandlungsfortschritt geführt haben.

So können beispielsweise anhand von 3D-Datensätzen Operations-Splinte über ein CAD/CAM-Verfahren zunächst designt und anschließend ausgedruckt werden. Studien konnten zeigen, dass im Vergleich zu konventionellen Splints eine gleiche bzw. höhere Präzision bei einem geringeren Zeitaufwand in der Herstellung erzielt werden konnte [7, 8, 24, 25].

Des Weiteren kann bei kieferorthopädisch-kieferchirurgisch zu behandelnden Patienten ein sogenanntes VTO (visual treatment objective) erstellt werden, um prätherapeutisch eine Prognose für das Weichgewebsprofil nach der Umstellungsosteotomie erstellen zu können. Dieses Tool kann zur Demonstration und Patientenkommunikation genutzt werden, sollte dennoch vorsichtig eingesetzt werden, um nicht unrealistische Erwartungen zu schüren [15]. Ein solches VTO kann entweder anhand von zwei-

dimensionalen oder durch dreidimensionale Datensätze erzeugt werden, wobei mit letzterem genauere Prognosen erstellt werden können [19].

Auch in einem weiteren Arbeitsgebiet zwischen chirurgisch tätigen Zahnärzten und Kieferorthopäden bieten sich neue und spannende Ansätze, um die Versorgung von Patienten zu verbessern. Bei Patienten mit Nichtanlagen oder vorzeitigem Zahnverlust ist teilweise ein Lückenschluss aus kieferorthopädischer Sicht nicht anzuraten. Um eine solche Lücke dennoch zu schließen, wird häufig auf bewährte prothetische Versorgungen zurückgegriffen, mit denen zweifelsohne gute Ergebnisse erzielt werden können. In ausgewählten Fällen bietet sich jedoch auch die autogene Transplantation eines Zahnes in die aplastische Region als vorhersagbare Therapievariante an [16]. Liegt ein dreidimensionales Röntgenbild vor, kann im Vorfeld der OP der zu transplantierte Zahn aus dem DICOM-Datensatz des DVTs herausgerechnet und präoperativ ausgedruckt werden. Das so erstellte Template wird dann während der OP in die zu versorgende Region anprobiert. Dies hat den Vorteil, dass der Knochen optimal auf den zu transplantierten Zahn vorbereitet werden kann, was mit einem geringen Knochenverlust einhergeht. Des Weiteren wird die extraalveoläre Zeit des Zahnes während des Eingriffes und eine Beschädigung der PDL-Zellen minimiert, was zu einer verbesserten Prognose der Versorgung führen soll [4].

Auch bei anderen zahnmedizinischen Versorgungen zeigen sich neue Behandlungswege auf. Besteht bei der Therapie subgingivaler Defekte seitens des Zahnarztes der Wunsch



Abbildung 16 Individualisierte Aufrichte-Apparatur zur Extrusion des Zahnes 37 für spätere Versorgung eines subgingivalen Defektes

an den Kieferorthopäden, den betroffenen Zahn zu extrudieren, sollte bei einem nichtbeendeten Patienten eine möglichst starke Verankerung gewählt werden, um unerwünschte Nebeneffekte auf benachbarte Zähne zu vermeiden. Durch den SLM-Druck lassen sich, wie oben beschrieben, starre und dennoch sehr grazile Apparaturen hierfür gestalten, mit denen die gewünschten Zahnbewegungen ohne einen Verankerungsverlust durchgeführt werden können (Abb. 16). Nach erfolgter Extrusion kann vom Zahnarzt die weitere Versorgung des Zahnes vorgenommen werden.

Schlussfolgerungen

Mittels digitaler Behandlungsmethoden sind in der Kieferorthopädie vielfältige neue Ansätze gegeben, mit denen die Therapie erleichtert und verbessert werden kann. Darüber hinaus zeigen sich neue Behandlungsspektren auf, die auch bei interdisziplinären Fragestellungen und Therapieplanungen genutzt werden und somit einen Beitrag zum Behandlungserfolg leisten können. Die nächsten Jahre werden Dank des zu erwartenden Fortschritts in der 3D-Druck-Technologie zu weiteren spannenden Innovationen führen.

Interessenkonflikte

Die Autoren erklären, dass kein Interessenkonflikt im Sinne der Richtlinien des International Committee of Medical Journal Editors besteht.

Literatur

- American Association of Orthodontists (2014). Adults are seeking orthodontic treatment in record numbers. <https://us.dental-tribune.com/news/adults-are-seeking-orthodontic-treatment-in-record-numbers/>
- Cassetta M, Altieri F, Di Giorgio R, Barbato E: Palatal orthodontic miniscrew insertion using a CAD-CAM surgical guide: description of a technique. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2018; 47: 1195–1198
- Chang HP, Tseng YC: Miniscrew implant applications in contemporary orthodontics. *Kaohsiung J Med Sci* 2014; 30: 111–115
- Curtis JMT, Foster EC, Ananth S et al.: Autotransplantation of a surgically removed canine using a customised 3D-printed surgical template. *J Orthod* 2020; 47: 82–90
- Dawood A, Marti Marti B, Sauret-Jackson V, Darwood A: 3D printing in dentistry. *Br Dent J* 2015; 219: 521–529
- Elnagar MH, Aronovich S, Kusnoto B: Digital workflow for combined orthodontics and orthognathic surgery. *Oral Maxillofac Surg Clin North Am* 2020; 32: 1–14
- Gateno J, Xia J, Teichgraeber JF, Rosen A, Hultgren B, Vadnais T: The precision of computer-generated surgical splints. *J Oral Maxillofac Surg* 2003; 61: 814–817
- Hammoudeh JA, Howell LK, Boutros S, Scott MA, Urata MM: Current status of surgical planning for orthognathic surgery: traditional methods versus 3D surgical planning. *Plast Reconstr Surg Glob Open* 2015; 3: e307
- Hazeveld A, Huddleston Slater JJ, Ren Y: Accuracy and reproducibility of dental replica models reconstructed by different rapid prototyping techniques. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2014; 145: 108–115
- Knaup I, Wagner Y, Wego J, Fritz U, Jäger A, Wolf M: Potential impact of lingual retainers on oral health: comparison between conventional twistflex retainers and CAD/CAM fabricated nitinol retainers: a clinical in vitro and in vivo investigation. *J Orofac Orthop* 2019; 80: 88–96
- Knösel M, Klang E, Helms HJ, Wiechmann D: Lingual orthodontic treatment duration: performance of two different completely customized multi-bracket appliances (Incognito and WIN) in groups with different treatment complexities. *Head Face Med* 2014; 10: 46
- Koo BC, Chung CH, Vanarsdall RL: Comparison of the accuracy of bracket placement between direct and indirect bonding techniques. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1999; 116: 346–351
- Kurz M, Attin T, Mehl A: Influence of material surface on the scanning error of a powderfree 3D measuring system. *Clin Oral Invest* 2015; 19: 2035–2043
- Moscarino S, Scholz J, Bastian A, Knaup I, Wolf M: Bone and soft tissue palatal morphology and potential anchorage sides in cleft palate patients. *Ann Anat* 2019; 224: 41–46
- Peterman RJ, Jiang S, Johe R, Mukherjee PM: Accuracy of Dolphin visual treatment objective (VTO) prediction software on class III patients treated with maxillary advancement and mandibular setback. *Prog Orthod* 2016; 17: 19
- Regoje A: Erfolgsraten nach Zahntransplantation. Eine retrospektive Studie. Diplomarbeit Medizinische Universität Graz (2014)
- Rossini G, Parrini S, Castrolforio T, Deregibus A, Debernardi CL: Diagnostic accuracy and measurement sensitivity of digital models for orthodontic purposes: a systematic review. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2016; 149: 161–170
- Scheffel DLS, Jeremias F, Fragelli CMB, Dos Santos-Pinto LAM, Hebling J, de Oliveira OB Jr.: Esthetic dental anomalies as motive for bullying in schoolchildren. *Eur J Dent* 2014; 8: 124–128
- Van Hemelen G, Van Genechten M, Renier L, Desmedt M, Verbruggen E, Nadjmi N: Three-dimensional virtual planning in orthognathic surgery enhances the accuracy of soft tissue prediction. *J Craniomaxillofac Surg* 2015; 43: 918–925
- Wennström JL, Stokland BL, Nyman S, Thilander B: Periodontal tissue response to orthodontic movement of teeth with infrabony pockets. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1993; 103: 313–319
- Wilmes B, Nienkemper M, Drescher D: Der Beneslider zur Distalisierung im Oberkiefer. *Inf Orthod Kieferorthop* 2013; 45: 42–50
- Wolf M, Schulte U, Küpper K et al.: Post-treatment changes in permanent retention. *J Orofac Orthop* 2016; 77: 446–453
- Wolf M, Schumacher P, Jäger F et al.: Novel lingual retainer created using CAD/CAM technology: evaluation of its positioning accuracy. *J Orofac Orthop* 2015; 76: 164–174
- Wrzosek MK, Peacock ZS, Laviv A et al.: Comparison of time required for traditional versus virtual orthognathic surgery treatment planning. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2016; 45: 1065–1069
- Zinser M, Zoeller J: Computer-designed splints for surgical transfer of 3D orthognathic planning. *Facial Plast Surg* 2015; 31: 474–490



(Foto: L. Brämswig)

DR. LUKAS BRÄMSWIG
Klinik für Kieferorthopädie
Uniklinik RWTH Aachen
Pauwelstr. 30
52074 Aachen
sbraemswig@ukaachen.de