Von A bis Z zu 100 Prozent digital behandelt

Dr. Thomas Drechsler

Literatur

Ein Beitrag von Dr. Thomas Drechsler, Kieferorthopäde aus Wiesbaden.

Zwar schreitet die Digitalisierung auch im Fachbereich Kieferorthopädie immer weiter voran, jedoch haben KFO-Praxen, die sich bei der Diagnose, Behandlungsplanung und Apparaturfertigung auf einen komplett digitalen Workflow stützen, noch immer Seltenheitswert. Der folgende Artikel zeigt das klinische Beispiel eines komplexen Falls mit skelettal offenem Biss, welcher mithilfe digitaler Analyse- und Herstellungsverfahren bei Anwendung kombiniert kieferorthopädisch-kieferchirurgischer Therapie erfolgreich behandelt werden konnte.

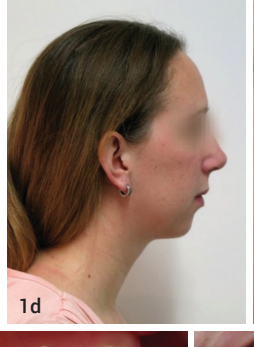


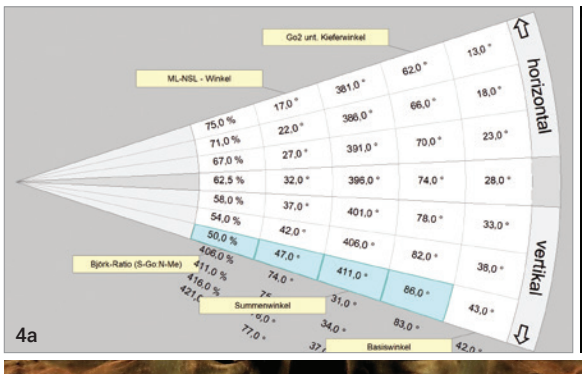
Abb. 1a–d: Die Gesichtsfotos zu Behandlungsbeginn zeigen eine vertikale Gesichtskonfiguration. **Abb. 2:** Es besteht ein gezwungener Lippenschluss bei 6 mm offenem Biss im Frontzahnbereich. **Abb. 3a und b:** Oberkieferaufsicht (a) und Unterkieferaufsicht (b) bei Behandlungsbeginn. **Abb. 3c–e:** Der intraorale Befund bei Behandlungsbeginn zeigt einen skelettalen, zirkulären offenen Biss.

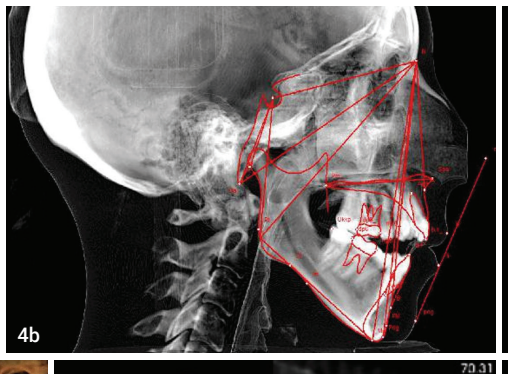
Wurden vor 20 Jahren digitales Röntgen oder intraorale Scantechniken in der Zahnheilkunde zunächst von besonders technikaffinen Kolleginnen und Kollegen interessiert aufgenommen, herrschte auch bei der Anwendung von in Großserie hergestellten thermoplastischen Polyurethan-Kunststoffschienen eines US-amerikanischen Herstellers seitens der Kieferorthopäden anfangs eher Zurückhaltung. Die sogenannte Alignertherapie war zu Beginn lediglich zur Korrektur kleiner bis moderater Zahnfehlstellungen gedacht.[1] Mittlerweile hat sich das Indikationsspektrum jedoch deutlich erweitert.[2]

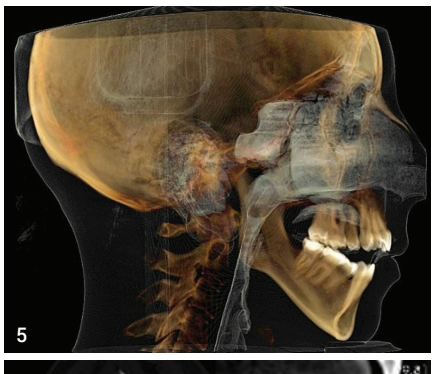
Der nachfolgende Patientenbericht beschreibt beispielhaft, wie sich heutzutage auch hochkomplexe kieferorthopädische Behandlungsaufgaben unter Anwendung rein digital basierter Analyse- und Herstellungsverfahren erfolgreich lösen lassen.

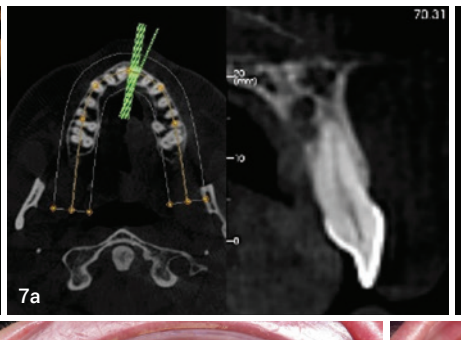
Klinischer Fall

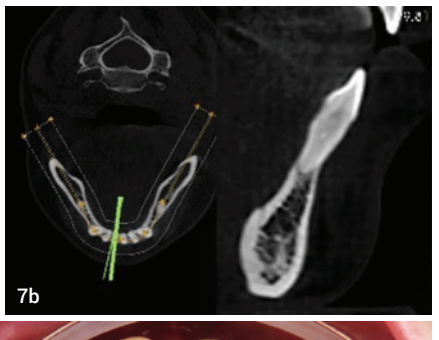
Eine 33-jährige Patientin stellte sich vor drei Jahren erstmals in der Fachpraxis für Kieferorthopädie des Autors vor. Das extraorale Erscheinungsbild (Abb. 1a–d.) deutete auf eine ausgeprägte vertikale Gesichtskonfiguration in Verbindung mit einem gezwungen wirkenden Lippenschluss hin (Abb. 2). Die strukturell vertikale Schädelkonstellation imponierte insbesondere mit einem zirkulär offenen Biss von knapp 6 mm im Frontzahnbereich, wobei sich bei maximaler Interkuspidation okklusale Kontakte beidseits erst auf den zweiten Molaren ergaben (Abb. 3a und b). Betrachtet man die Zahnbögen von okklusal, so bestand im Oberkiefer eine stark ausgeprägte transversale

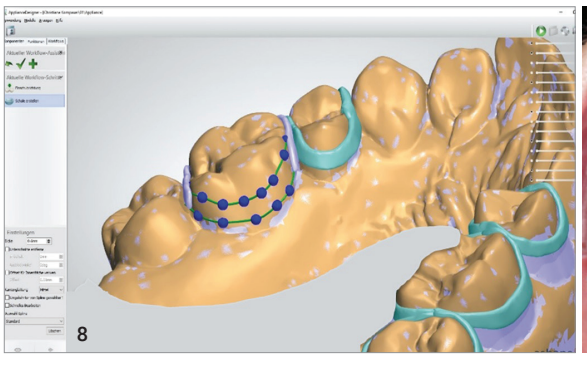












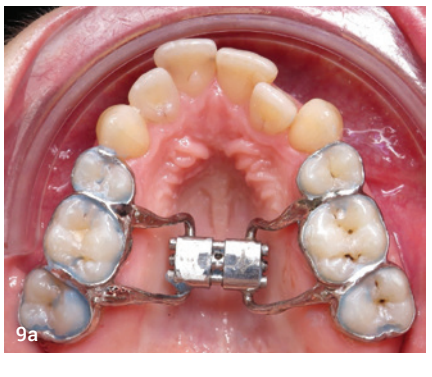
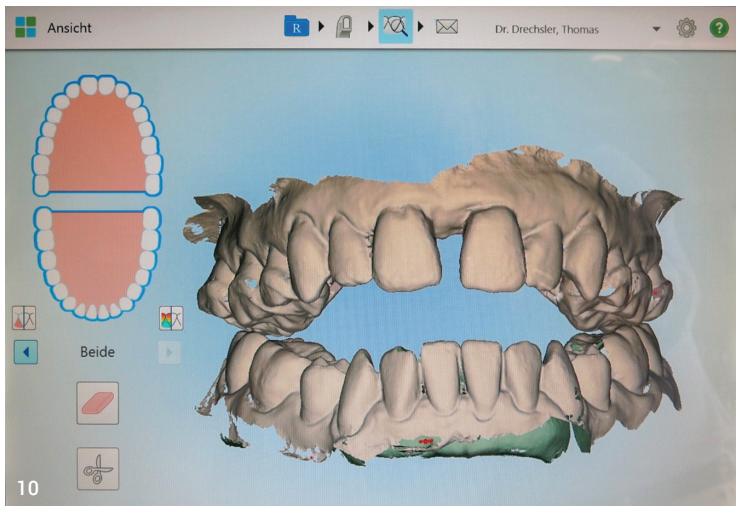
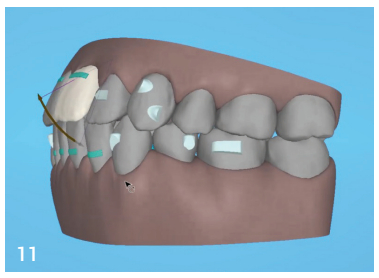


Abb. 4a: Die Kieferwinkel-Analyse belegt eine ausgeprägt vertikale Gesichtskonfiguration. **Abb. 4b:** Kephalometrische Analyse des Ausgangsbefundes. **Abb. 5:** FRS-Darstellung als DVT-Rekonstruktion zu Behandlungsbeginn. **Abb. 6:** OPG-Rekonstruktion. **Abb. 7a und b:** Die Arch Section Rekonstruktion der Zähne 21 (a) und 31 (b) bei Behandlungsbeginn zeigt die schmale apikale Basis. **Abb. 8:** CAD-Konstruktion einer digital hergestellten GNE. **Abb. 9a:** Präoperativ eingesetzte GNE-Apparatur. **Abb. 9b:** GNE postoperativ bei bereits spontan erfolgtem Schluss des entstandenen Diastema mediale. **Abb. 10:** Der intraorale Scan zur Alignerherstellung erfolgte unter Belassung der GNE. **Abb. 11:** Individuelle Behandlungsplanung durch den Kieferorthopäden mittels ClinCheck-Software. **Abb. 12:** Ausformung der Zahnbögen mittels 28sten von 35 Alignern über der passiv getragenen GNE. **Abb. 13a und b:** Derotation der Prämolaren mittels zweitem Alignerset. **Abb. 14:** Dysgnathie-Planungssoftware NemoFAB *(Bild mit freundlicher Genehmigung von Dr. Bergen Pak)*. **Abb. 15:** Die primäre Fixation erfolgte über intraoperativ gesetzte Osteosyntheseschrauben.



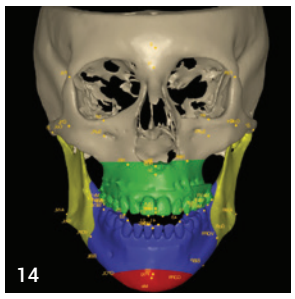
10


11

12

13a

13b


14

15

digitale Technologien stützen. So wurde auf konventionelle Abformungen verzichtet und stattdessen zur Modellherstellung, Auswertung, Therapieplanung und Alignerproduktion ein Intraoralscanner (i-tero® element, Align Technology, Inc.) verwendet.

Zur bildgebenden Diagnostik wurde eine digitale Volumentomografie (ProMax 3D MID, Planmeca) des Schädels angefertigt. Aus dem damit gewonnenen DICOM-Datensatz lassen sich u. a. neben den Darstellungen im FRS- und OPG-Modus (Abb. 5 und 6) auch sogenannte Arch-Sections von Einzelzähnen rekonstruieren. Diese zeigten am Beispiel des oberen linken mittleren Schneidezahns und des unteren linken zentralen Frontzahns die Inklination der Zähne in Relation zu ihrer jeweils sehr schmalen apikalen knöchernen Basis (Abb. 7a und b).

Zunächst wurde die Korrektur der transversalen Kompression des Oberkiefers mittels chirurgisch unterstützter Gaumennahterweiterung durchgeführt. Die anschließende Ausformung der Zahnbögen bis zum zweiten Schritt einer bimaxillären Umstellungsosteotomie sowie der finalen Feineinstellung der Okklusion erfolgte ausschließlich mit einem Alignersystem (Invisalign®, Align Technology, Inc.).

Der aus dem Intraoralscanner exportierte STL-Datensatz lieferte zunächst die Grundlage zur digitalen Herstellung einer Gaumennahterweiterungsapparatur. Mit einer entsprechenden Planungssoftware (z. B. OnyxCeph³™ Ortho Apps, Image Instruments) wurde die GNE in CAD-Technik designt (Abb. 8) und ein spezialisiertes zahntechnisches Labor stellte daraufhin mittels Laserschmelzverfahren (Selective Laser Melting, SLM) die hier gewünschte Apparatur her.

Um bei der Patientin eine forcierte transversale Erweiterung der Maxilla zu erzielen, wurde unmittelbar nach Einsetzen der GNE die geplante Osteotomie in der Le-Fort I-Ebene durchgeführt (Abb. 9a). Bei Erreichen ihrer maximalen Aktivierungsposition erfolgte die Sicherung der Dehnungsapparatur mit Kunststoff; sie wurde für weitere neun Wochen zur knöchernen Konsolidierung belassen (Abb. 9b).

Als sich daraufhin das zu erwartende temporär ausgeprägte Diastema mediale nicht weiter spontan verschloss, sollte der Restlückenschluss und die Ausformung der Zahnbögen mittels Alignern fortgesetzt werden. Ein Vorteil des berührungsfreien Scanverfahrens gegenüber konventionellen Abformungen ist u. a., dass sich fest angebrachte intraorale Apparaturen problemloser übertragen lassen, sodass die GNE zur Rezidivvermeidung beim Scanvorgang in situ verbleiben konnte.

Kompression, die zusammen mit dem hohen Palatinum zu einem bilateralen Kreuzbiss bei gleichzeitigen deutlichen Frontengständen führte (Abb. 3a). Der Unterkiefer wies einen breiten Zahnbogen mit einer besonders schmalen apikalen Basis bei Drehungen und Kippungen der Inzisiven auf (Abb. 3b). Zudem waren auch deutliche Mesiorotationen der zweiten Prämolaren zu diagnostizieren (Abb. 3c–e). Bemerkenswert war hierbei, dass in beiden Kiefern jeweils die ersten Prämolaren bei vollständigem Lückenschluss fehlten, was auf eine – anamnestisch bestätigte – vorausgegangene kieferorthopädische Behandlung in der Jugend zurückzuführen war. Nach normalem Ermessen war davon auszugehen, dass die nun vorliegende, sehr ausgeprägte Dysgnathie wohl kaum den damaligen Behandlungsabschluss repräsentierte. Vielmehr konnte angenommen werden, dass insbesondere die bis dato persistierende Zungendysfunktion bei tiefer Zungenlage und Dyslalie zu der besonderen Ausprägung dieser Malokklusion trotz orthodontischer Vorbehandlung geführt haben mag.

Dieser Befund bestätigt hier erneut auf eindrucksvolle Weise die elementare Wichtigkeit des Erkennens und die damit verbundene Indikation der frühzeitigen kausalen Therapie von orofazialen Dyskinesien zur kieferorthopädischen Rezidivprophylaxe.[3]

Die kephalometrischen Analysen (Abb. 4a und b) auf Basis des rekonstruierten Fernröntgenseitenbildes der angefertigten digitalen Volumentomografieaufnahme ließen gemäß dem äußeren Erscheinungsbild das Vorliegens einer hereditär bedingten skelettalen Diskrepanz der Kiefer zueinander erkennen (Abb. 5). Das große Ausmaß dieser Abweichung in vertikaler und sagittaler Dimension im Sinne einer High-Angle-Klasse II-Relation rechtfertigte hierbei die Maßnahmen einer kombiniert kieferorthopädisch-kieferchirurgischen Intervention.

> „Die gesamte orthodontische und chirurgische Behandlungsplanung sowie die Behandlungsmittelherstellung stützten sich zu 100 Prozent auf digitale Technologien."

Darüber hinaus wurde der Patientin aufgrund der zudem vorliegenden myofunktionellen Dysfunktion, welche in großem Maße für die ausgeprägte zirkuläre Infraokklusion mitverantwortlich war, eine Verordnung zur zwingend notwendigen begleitenden logopädischen Therapie ausgestellt. Die gesamte orthodontische und chirurgische Behandlungsplanung sowie die Behandlungsmittelherstellung sollten sich zu 100 Prozent auf

ANZEIGE

3M Science. Applied to Life.™

3M™ Ortholux™ Luminous

Polymerisationslampe.

Ergonomisch.
Leistungsstark.
Chic.

Interesse?
Rufen Sie uns an unter
08191/9474-5000

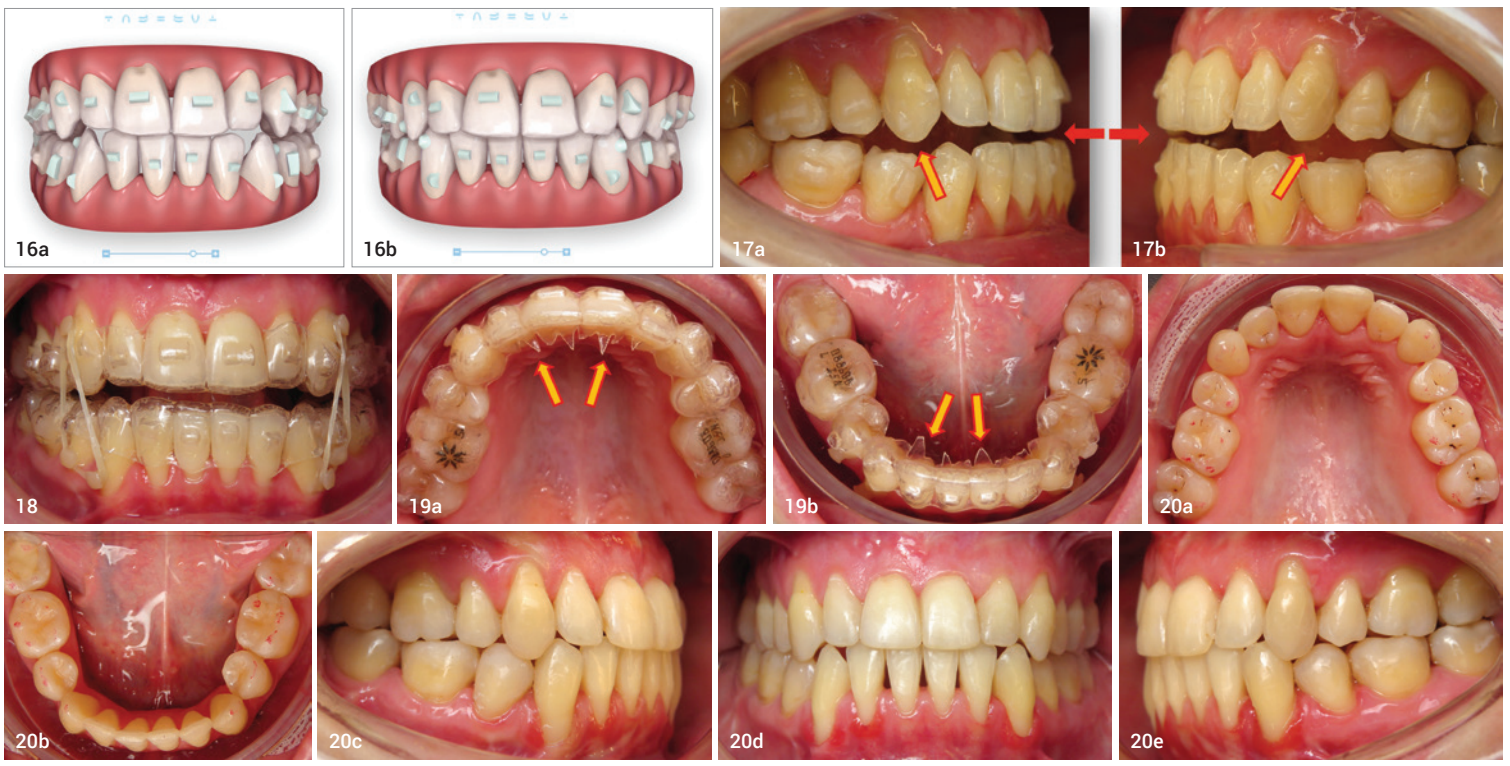


Abb. 16a: ClinCheck-Planung bei postoperativer Ausgangssituation zur okklusalen Feineinstellung. **Abb. 16b:** Geplantes Ergebnis der Feineinstellung post OP mit 30 Alignerschritten. **Abb. 17a und b:** Bissöffnung bei Aligner 10 durch persistierende Zungeninterposition. **Abb. 18:** Anbringung von Knöpfen und intermaxillären Gummizügen im Eckzahnbereich zum Schließen des offenen Bisses. **Abb. 19a und b:** Spikes an Alignern als Biofeedback-Maßnahme. **Abb. 20a und b:** Oberkiefer- (a) und Unterkieferaufsicht (b) mit markierten Okklusalkontakten bei Behandlungsabschluss. **Abb. 20c:** Intraorale rechte Seitenansicht bei Behandlungsende. Es gelang, den zirkulär offenen Biss vollständig zu schließen. **Abb. 20d:** Intraorale Frontansicht bei Behandlungsende. **Abb. 20e:** Intraorale linke Lateralansicht in maxillärer Interkuspidation bei Behandlungsabschluss. **Abb. 21a–c:** Finaler digitaler Modellbefund. **Abb. 22:** Das OPG zu Behandlungsabschluss zeigt die noch zu entfernenden Osteosyntheseplatten sowie die Ober- und Unterkiefer-Lingualretainer. **Abb. 23:** Die DVT-Rekonstruktion in FRS-Darstellung lässt die skelettalen Veränderungen durch die bimaxilläre Umstellungsosteotomie gut erkennen. **Abb. 24a und b:** Arch Section-Rekonstruktion bei Behandlungsabschluss. Die Zähne 21 (a) und 31 (b) konnten in ihrer Inklination orthoaxial auf der schmalen apikalen Basis eingestellt werden. **Abb. 25a und b:** Lifetime-Retention mittels digital hergestellter Lingualretainer in beiden Kiefern und zusätzlichen Retentionsschienen für nachts. **Abb. 26a–d:** Extraorale Ansicht zu Behandlungsabschluss. Es hat sich eine deutliche Verbesserung der Gesichtsproportionen ergeben. *(Fotos: © Dr. Thomas Drechsler)*

Übrigens

Das Spezialgebiet von Dr. Thomas S. Drechsler ist die unsichtbare Behandlung von Zahn- und Kieferfehlstellungen. Neben der Frühbehandlung von Kindern therapiert er insbesondere erwachsene Patienten mit hohen ästhetischen Ansprüchen unter besonderer Berücksichtigung der Kieferfunktion. Seit über fünfzehn Jahren ist Dr. Drechsler Clinical Speaker von Align Technology Europe und hat als Diamond II-Doctor bereits weit mehr als 2.000 Patienten erfolgreich mit der Invisalign®-Technik behandelt.

Dieser zweite Scan (Abb. 10) stellte damit die Grundlage zur kieferorthopädischen Planung und der darauf basierenden Herstellung der Aligner dar. Obwohl den Algorithmen der Invisalign Treatment Software zur Simulation des angestrebten Behandlungsergebnisses mittlerweile Datensätze von ca. 8,3 Millionen behandelten Patienten zugrunde liegen,[4] sollte unbedingt immer die finale Behandlungsplanung individuell auf Basis einer sorgfältigen Anamnese und Diagnostik durch den verantwortungsvoll behandelnden Kieferorthopäden erfolgen. Denn nur so kann unter fachgerechter Anwendung der interaktiven Simulationssoftware (aktuell ClinCheck® Pro 6.0) bei richtiger Indikationsstellung unter Berücksichtigung der biomechanischen Grundsätze und Einbeziehung der patientenindividuellen Eigenheiten wie skelettaler Konfiguration, biologischer Grenzen, Para- oder Dysfunktionen grundsätzlich ein weitgehend vorhersagbares Behandlungsergebnis geplant werden. Besondere Beachtung galt hier aufgrund des hohen schmalen Alveolarfortsatzes (wie im DVT erkennbar, Abb. 7a und b) der sorgfältigen Torqueeinstellung jedes einzelnen Inzisiven (Abb. 11) durch den Fachzahnarzt.

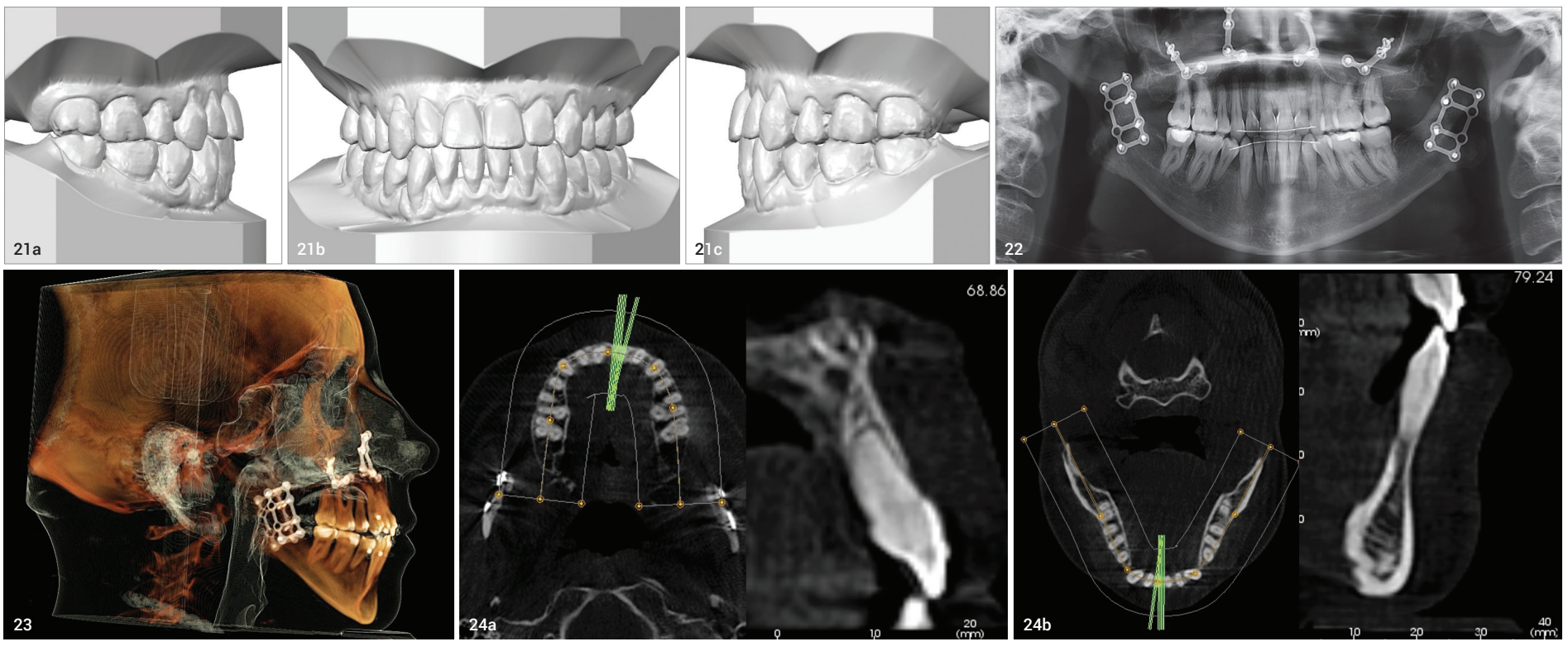
Nach entsprechenden Modifikationen des ClinCheck® erfolgte die Freigabe zur automatisierten Fertigung einer Serie von zunächst 35 Alignern, die im wöchentlichen Wechsel unter Verbleib der passiven GNE über dieser zur Zahnbogenausformung getragen wurden (Abb. 12). Ein dritter Scan nach Entfernung der Dehnungsapparatur wurde notwendig, um mit einen weiteren Alignerset von 20 Schienen die Kippung der Oberkiefermolaren zu kompensieren und mithilfe zusätzlich angebrachter Kunststoffknöpfchen und Power chains die Derotation der unteren Prämolaren vor der geplanten Umstellungsosteotomie zu unterstützen (Abb. 13a und b).

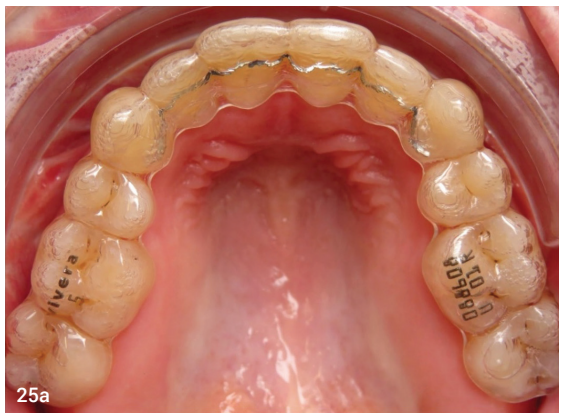
Als die letzte Alignerstufe erreicht war, sollte auch die gesamte Operationsplanung auf digitaler Basis erfolgen. Hierzu wurden die DICOM-Daten der präoperativen digitalen Volumentomografie und die STL-Daten des Intraoralscans mithilfe der Chirurgie-Planungssoftware NemoFAB der spanischen Firma Nemotec fusioniert (Abb. 14). Dieses Programm ermöglicht dem Operateur durch Separation und Verschiebung der skelettalen Segmente eine 3D-Simulation seines gesamten geplanten Eingriffes durchzuführen. Als Operationsziel wurde die bimaxilläre Osteotomie mit Advancement und Impaktion des Oberkiefers in Verbindung mit einer Vorverlagerung des Unterkiefers definiert. Der erzeugte Datensatz erlaubte daraufhin die digitale Herstellung der Operationssplinte im 3D-Drucker zur klinischen Umsetzung der virtuellen Planung.

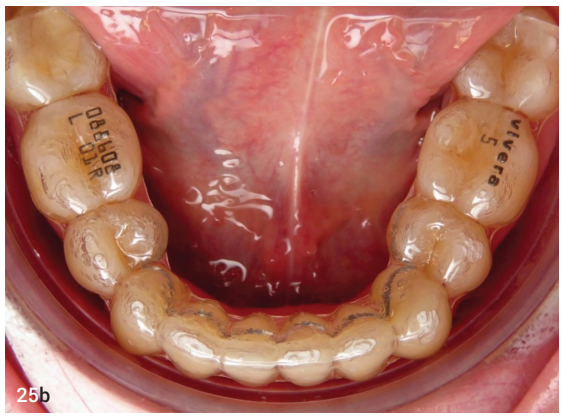
Intraoperativ gesetzte Osteosynthese-Schrauben sorgten nach komplikationslosem OP-Verlauf unter Verwendung des letzten präoperativen Alignerpaares in Kombination mit intermaxillären Gummizügen für eine primäre Funktionsstabilität (Abb. 15) in den ersten 14 Tagen. Sobald die postoperativ anfänglich eingeschränkte Mundöffnung es zuließ, erfolgte der vierte Intraoralscan zur Planung der okklusalen Feineistellung und Herstellung des nächsten Schienensets mit 30 Alignern, die jeweils im wöchentlichen Wechsel getragen werden sollten.

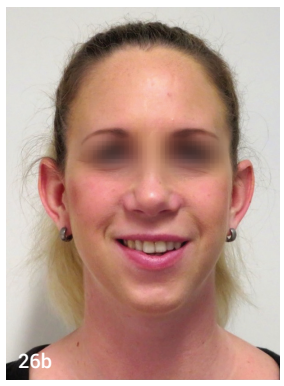
Da der frontale Overbite dental noch weiter reduziert werden sollte, fanden spezifische voraktivierte, Software-determinierte Extrusionsattachments ihre Anwendung. Sie sind im ClinCheck® jeweils an den oberen und unteren Inzisiven in der postoperativen Ausgangssituation zu erkennen (Abb. 16a) und sollten bis zur finalen Ausformung bei Aligner 30 verbleiben (Abb. 16b). Diese leicht auffälligen Attachments werden ab einer geplanten körperlichen Extrusion von größer 0,5 mm von der Invisalign®-Software automatisch platziert,[5] um die klinische Umsetzung der vertikalen Bewegung zu verbessern.[6]

Ab Aligner 10 des letzten Schienensets ließ sich trotz unzweifelhafter Compliance der Patientin allerdings statt des geplanten weiteren Schließens des offenen Bisses eine fortschreitende deutliche Bissöffnung beobachten. Die Ursache dieser ungewollten negativen Entwicklung war schnell in der nach wie vor per-









sistierenden Zungeninterposition zu finden (Abb. 17a und b). Dies veranlasste uns sofort dazu, weitere intensive logopädische Maßnahmen zu rezeptieren und durch Anbringung von Knöpfen mit Applikation von vertikalen Gummizügen in den Eckzahnbereichen entsprechend gegenzusteuern (Abb. 18). Zusätzlich präparierten wir die nächsten sechs Alignerpaare mithilfe der sogenannten Shark-Zange (Fa. Hammacher) insofern, dass im lingualen Bereich multiple spitze, hervorstehende Spikes entstanden (Abb. 19a und b). Diese zugegebenermaßen etwa rigide Vorgehensweise im Sinne einer „Zungenumerziehung" nach dem Biofeedback-Prinzip erwies sich allerdings in Verbindung mit den anderen beschriebenen Maßnahmen in kurzer Zeit als wirksame Gegentherapie.

So gelang es schließlich, mit den verbliebenen letzten 14 Alignern vier Monate später den vormals zirkulär weit offenen Biss mittels Dysgnathieoperation und Alignertherapie vollständig zu schließen (Abb. 20c–e). Auf den finalen Aufsichtsaufnahmen stellen sich in maximaler Interkuspidation die gleichmäßig über die gesamte Dentition verteilten okklusalen Kontakte rot markiert dar (Abb. 20a und b), was die Patientin nach eigenen Angaben zum ersten Mal in ihrem Leben dazu befähigte, Marshmallows abzubeißen und zu zerkauen.

Zusammen mit den digitalen Abschlussmodellen (Abb. 21a–c) dokumentiert auch die radiologische Bildgebung den erfolgreichen Abschluss dieser komplexen Behandlungsaufgabe. Die DVT-Rekonstruktion in der FRS-Darstellung lässt die positiven skelettalen Veränderungen durch die bimaxilläre Umstellungsosteotomie deutlich wahrnehmen (Abb. 23). Auf dem OPG sind zum Behandlungsende neben einer weitgehend orthognathen Wurzelausrichtung sowohl die später noch zu entfernenden Osteosyntheseplatten als auch die auf Dauer zu verbleibenden Lingualretainer im Ober- und Unterkiefer sichtbar (Abb. 22).

„Die Software ist zwar der Rennwagen und der Behandler der Fahrer, jedoch stehen im Mittelpunkt unsere Patienten, von deren Kooperation und Vertrauen der Erfolg unserer Arbeit entscheidend mitgetragen wird."

Zu Behandlungsabschluss wurden wiederum aus dem DVT-Datensatz Arch Sections derselben Zähne 21 und 31 wie zu Behandlungsbeginn rekonstruiert (Abb. 24a und b.) Dabei gelang es mithilfe der digitalen Planung, einen physiologischen Overjet und Overbite herzustellen und die Inklination der Frontzähne orthoaxial auf der schmalen knöchernen Basis auszurichten (vergleiche Abbildung 7a und b). Es lässt sich hierbei aber auch eine leichte iatrogene Wurzelverkürzung der oberen zentralen Inzisiven erkennen.

Aufgrund dieser fragilen Konstellation, insbesondere im Zusammenhang mit der latenten Zungendysfunktion, war daher ein stabiles Rezidivkonzept unabdingbar. Deshalb wurde hier mittels eines weiteren Scans zunächst ein digital hergestellter Retainer (MEMOTAIN®, CA Digital) im Oberkiefer von Eckzahn zu Eckzahn und im Unterkiefer von Prämolar zu Prämolar dauerhaft inseriert (Abb. 25a und b). Zusätzlich bekam die Patientin (Abb. 26a–d) nach dem Gürtel- und Hosenträger-Prinzip nach Rathenow zum Abschluss auf Basis eines letzten Intraoralscans herausnehmbare Vivera-Positioner zum nächtlichen Tragen auf unbestimmte Zeit ausgehändigt.

Zusammenfassung

Insgesamt wurden für die rein digital durchgeführte Behandlungsplanung und die CAD/CAM-Herstellung der Behandlungsmittel zur kombiniert kieferorthopädisch-kieferchirurgischen Therapie eines skelettal offenen Bisses sechs Intraoralscans benötigt. Diese dienten zur Herstellung der Diagnostikmodelle, zur Fertigung einer GNE im Laserschmelzverfahren sowie zur Produktion dreier Sets von Alignerserien zur orthodontischen Zahnbewegung.

Es wurde eine bimaxilläre Umstellungsosteotomie vorgenommen und zur Retention digital erzeugte fixe und herausnehmbare Retainer inseriert. Es kamen keine konventionellen Abformungen zum Einsatz; ebenso wurden keinerlei Brackets oder Bögen verwandt. Die Behandlungszeit betrug 25 Monate.

So reizvoll sich die Möglichkeiten moderner digitaler Diagnose- und Behandlungstechniken in unserem kieferorthopädischen Fachbereich auch darstellen mögen, gilt es doch Folgendes zu beachten: Die Software ist zwar der Rennwagen und der Behandler der Fahrer, jedoch stehen im Mittelpunkt unsere Patienten, von deren Kooperation und Vertrauen der Erfolg unserer Arbeit entscheidend mitgetragen wird.

kontakt

Dr. Thomas Drechsler
Wilhelmstraße 40, 65183 Wiesbaden
Tel.: 0611 39666
Fax: 0611 39655
dr.drechsler@kfo-wiesbaden.de
www.kfo-wiesbaden.de

ANZEIGE

3M Science. Applied to Life.™

3M™ Clarity™ ULTRA SL
Selbstligierendes Vollkeramikbracket

Brillante Ästhetik. Vielfältig. Stabil.

3M.com/ClarityUltra