

FACHBEITRAG // „Wir müssen weiblicher, jünger und digitaler werden“, postulierten jüngst deutsche Parteien in ihren Wahlprogrammen. Zumindest der ersten und letzten Forderung wird in der Zahnheilkunde schon seit längerem verstärkt nachgekommen. So sind laut Bundeszahnärztekammer bereits mehr als zwei Drittel aller Studenten, die 2020 das Zahnmedizinstudium abschließen konnten, weiblich. In der Kieferorthopädie ist der Anteil mit über 70 Prozent sogar noch etwas höher.¹ Auch die Digitalisierung wurde bereits in den 1980er-Jahren durch die Entwicklung von zahnärztlichen CAD/CAM-Rekonstruktionen an der Universität Zürich mit der Vorstellung des CEREC 1-Systems von Siemens 1988 sehr frühzeitig aufgeschlagen.² Der folgende Beitrag soll mit Patientenberichten zeigen, wie sich heutzutage auch komplexe kieferorthopädische Behandlungen unter Anwendung rein digital basierter Analyse- und Herstellungsverfahren mit der Alignertherapie erfolgreich lösen lassen.

KIEFERORTHOPÄDIE IM DIGITALEN WANDEL

Dr. Thomas Drechsler, Wiesbaden

Speziell in der Kieferorthopädie hat es technologische Entwicklungen vor allem mit Erfindung einer digitalen Drahtbogen-Biegemaschine (Bending Arch System [BAS]) 1994 gegeben.³ Diese wurde auch Bestandteil des ersten vollkommen individuell hergestellten Lingualbracketsystems, das Dirk Wiechmann (Bad Essen) unter dem späteren Markennamen Incognito 2002 in der Fachwelt erstmals publizierte.⁴

Ein Jahr zuvor wurde eine weitere bedeutsame digitale „Revolution“ – diesmal aus den USA – den europäischen Kieferorthopäden und Zahnärzten vorgestellt. Align Technology aus San José, Kalifornien, präsentierte unter dem Produktnamen Invisalign eine neue Methode, Zähne „herausnehmbar, komfortabel und fast unsichtbar“ zu bewegen. Die Idee, durch Kraftapplikation auf das Parodon-

tium mittels einer Vielzahl von elastischen Minioplastschienen (sog. Positioner) eine gerichtete Zahnbewegung zu initialisieren, hatte bereits Harold Kesling aus Indiana 1945.⁵ Nur mussten zu dieser Zeit die dafür notwendigen Set-ups in mühsamer Handarbeit auf verschiedenen Gipsmodellen zeitaufwendig und wenig präzise einzeln erstellt werden. Erst die von Align Technology entwickelte patentierte

Abb. 1a–d: Vertikale Gesichtskonfiguration vor Behandlungsbeginn. **Abb. 2a–c:** Der intraorale Befund: skelettal zirkulär offener Biss.



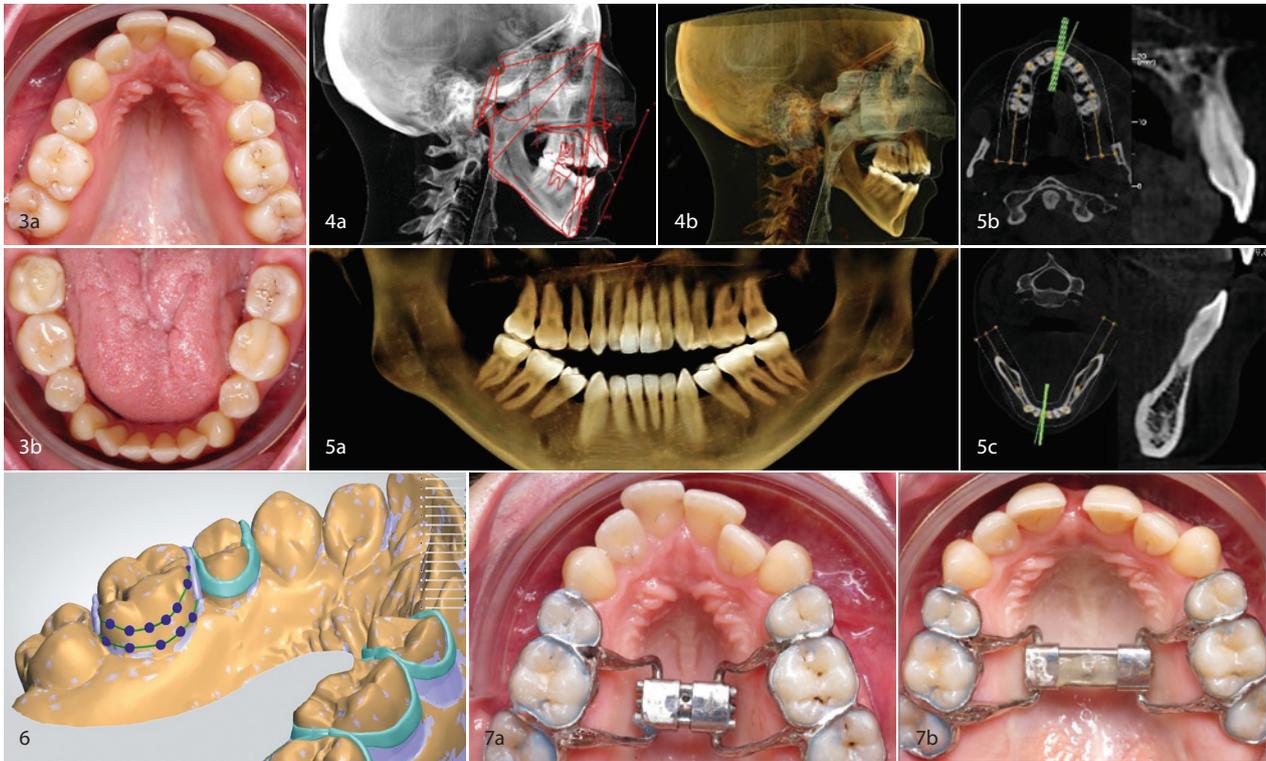


Abb. 3a und b: Oberkiefer- (a) und Unterkieferaufsicht (b) bei Behandlungsbeginn. **Abb. 4a:** Kephalemtrische Analyse des Ausgangsbefunds. **Abb. 4b:** Die FRS-Darstellung als DVT-Rekonstruktion. **Abb. 5a:** Die OPG-Rekonstruktion. **Abb. 5b und c:** Die Arch Section Rekonstruktion der Zähne 21 und 31 bei Behandlungsbeginn zeigt die schmale apikale Basis. **Abb. 6:** CAD-Konstruktion einer digital hergestellten GNE. **Abb. 7a:** Die präoperativ eingesetzte GNE. **Abb. 7b:** Die GNE postoperativ nach transversaler Dehnung.

Treatment-Software namens „ClinCheck“ und die nun zur Verfügung stehenden digitalen CAD/CAM-Technologien ermöglichten eine weltweite Verbreitung und klinische Anwendbarkeit dieser Methode im orthodontischen Alltag. Mittlerweile sind nach Ablauf wesentlicher Patente etwa einhundert verschiedene Aligner-

anbieter auf dem europäischen Dental- und Endverbrauchermarkt (Direct to Consumer [D2C]) etabliert.⁶

So hat sich der Indikationsbereich infolge einer über zwanzigjährigen Produktentwicklung und des Gewinns an klinischer Expertise bei entsprechender Indikation unter Berücksichtigung der er-

forderlichen biomechanischen Kenntnisse und fallbedingter Zuhilfenahme von Attachments, Knöpfen, Elastics oder der Anwendung kombinierter kieferorthopädisch-kieferchirurgischer Behandlungsmaßnahmen deutlich erweitert.

Dadurch ist es möglich, die Alignertherapie mit all ihren generellen Vorzügen

Abb. 8: Der intraorale Scan zur Alignerherstellung erfolgte unter Belassung der GNE. **Abb. 9:** Individuelle Behandlungsplanung mittels ClinCheck-Software. **Abb. 10:** Ausformung der Zahnbögen mittels 28. von 35 Alignern über der passiven GNE getragen. **Abb. 11:** Dysgnathie Planungssoftware NemoFAB (Bild mit freundlicher Genehmigung von Dr. Bergen Pack). **Abb. 12:** Die primäre Fixation mit intraoperativ gesetzten Osteosyntheseschrauben. **Abb. 13a:** Die ClinCheck-Planung bei postoperativer Ausgangssituation zur okklusalen Feineinstellung. **Abb. 13b:** Das geplante Ergebnis mit 30 Alignerschritten. **Abb. 13c:** Anbringung von Knöpfen und intermaxillären Elastics im Eckzahnbereich zum Schließen des offenen Bisses.





Abb. 14a: Die intraorale rechte Seitenansicht bei Behandlungsende. Es gelang, den zirkulär offenen Biss vollständig zu schließen. **Abb. 14b:** Die intraorale Frontansicht bei Behandlungsende. **Abb. 14c:** Die intraorale linke Lateralansicht in maximaler Interkuspitation bei Behandlungsabschluss. **Abb. 15a und b:** Oberkieferaufsicht (a) und Unterkieferaufsicht (b) mit markierten Okklusalkontakten bei Behandlungsabschluss.

gen nicht nur auf die Korrektur geringgradiger bis moderater Engstände oder Einzelzahnfehlstellungen zu limitieren, sondern exemplarisch auch zur Behandlung von ausgeprägten kraniofazialen Dyskinesien bis hin zum Lückenschluss oder zur adäquaten Platzverteilung vor Implantation zu nutzen.

Klinische Darstellungen

Patientenfall 1

Eine 33-jährige Patientin stellte sich vor drei Jahren erstmals in der Fachpraxis für

Kieferorthopädie vor (Abb. 1a–d). Die strukturell vertikale Schädelkonstellation imponiert insbesondere mit einem zirkulär offenen Biss von knapp 6 mm im Frontzahnbereich, wobei sich bei maximaler Interkuspitation okklusale Kontakte ausschließlich auf den zweiten Molaren ergeben (Abb. 2a–c). Im Oberkiefer besteht eine stark ausgeprägte transversale Kompression bei einem bilateralen Kreuzbiss mit gleichzeitig deutlichen Frontengständen (Abb. 3a). Der Unterkiefer weist einen breiten Zahnbogen mit einer besonders schmalen apikalen Basis bei Kippungen der Inzisiven und deutlichen Rotationen

der Prämolaren auf (Abb. 3b). Das auf Basis einer digitalen Volumentomografie (DVT) rekonstruierte Fernröntgenseitenbild lässt das große Ausmaß der hereditär bedingten skelettalen Diskrepanz der Kiefer in vertikaler und sagittaler Dimension im Sinne einer High-Angle-Klasse II-Relation erkennen und rechtfertigt die Maßnahmen einer kombiniert kieferorthopädisch-kieferchirurgischen Intervention. (Abb. 4a und b). Zudem ist aufgrund einer persistierenden Zungendysfunktion eine begleitende logopädische Therapie indiziert.

Die gesamte orthodontische und chirurgische Behandlungsplanung sowie die

Abb. 16a: Die DVT-Rekonstruktion in FRS-Darstellung lässt die skelettalen Veränderungen durch die bimaxilläre Umstellungsosteotomie gut erkennen. **Abb. 16b:** Das OPG zu Behandlungsabschluss zeigt die noch zu entfernenden Osteosyntheseplatten sowie die Ober- und Unterkiefer-Lingualretainer. **Abb. 17a–d:** Extraorale Ansicht zu Behandlungsabschluss. Es hat sich eine deutliche Verbesserung der Gesichtsproportionen ergeben.

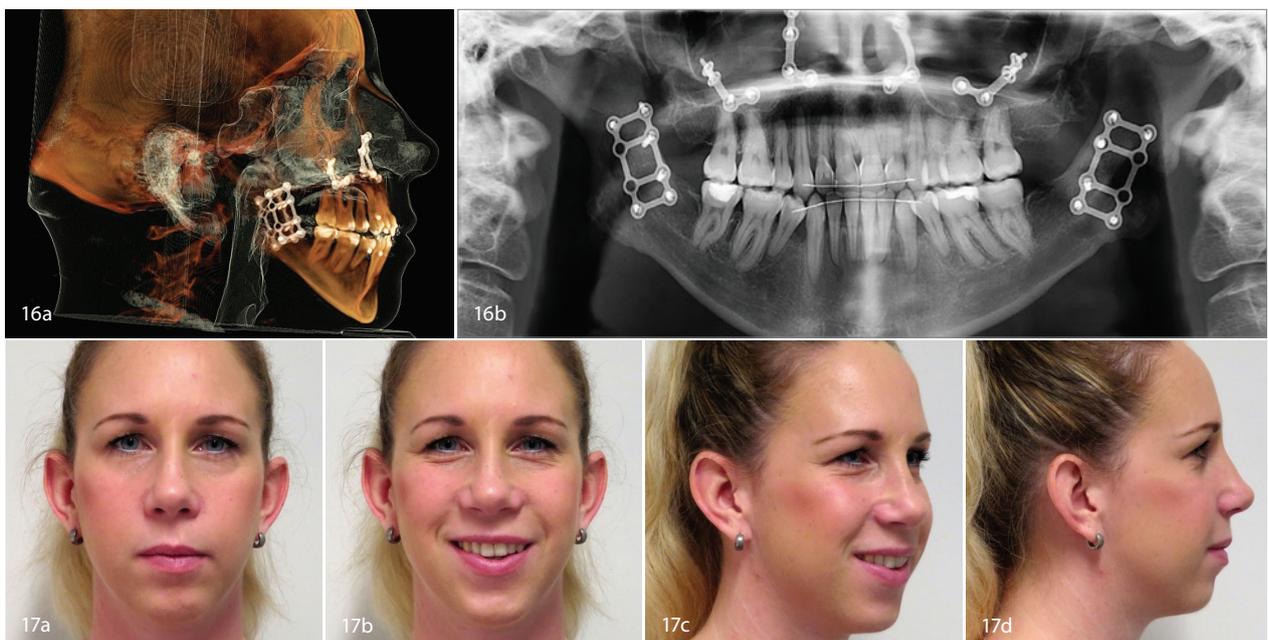




Abb. 18a–d: Extraorale frontale Ansicht bei vertikaler Gesichtskonfiguration (a), frontale Ansicht lächelnd (b), schräg seitliche Ansicht (c), Profilansicht (d). **Abb. 19a:** OPG-Rekonstruktion zu Behandlungsbeginn. **Abb. 19b:** DVT mit Rekonstruktion des Fernröntgenseitenbilds. **Abb. 20a:** Beim Lächeln zeigt der Patient zu Behandlungsbeginn eine ungünstige Zahnform und Asymmetrie der Oberkieferfront bei Aplasie 22. **Abb. 20b–d:** Intraorale Frontalansicht mit frontalem Kreuzbiss (b), seitlichem Kreuzbiss rechts (c) und lateralem Kreuzbiss links (d) zu Behandlungsbeginn.

Mittelherstellung sollte sich zu 100 Prozent auf digitale Technologien stützen. Aus dem DICOM-Datensatz des DVT lassen sich neben den Darstellungen im FRS- und OPG-Modus auch sogenannte Arch-Sections von Einzelzähnen zur exakten Bestimmung der Wurzel-/Knochenrelation rekonstruieren (Abb. 5a–c). Seit 2012 verwenden wir zur Erfassung der intraoralen Situation und Weiterbearbeitung routinemäßig die digital optische Erfassung mittels Intraoralscanner (iTero). Inzwischen gibt es eine gut zweistellige Anzahl von Scannersystemen auf dem Markt, die abhängig ihrer Bauweise, Software und Schnittstelle für den zahnärztlichen und kieferorthopädischen Bereich entsprechend gut geeignet sind.

Zunächst wurde die Korrektur der transversalen Kompression des Oberkiefers mittels chirurgisch unterstützter Gaumenerweiterung (GNE) durchgeführt. Die anschließende Ausformung der Zahn-

bögen bis zum zweiten Schritt einer bimaxillären Umstellungsosteotomie sowie der finalen Feineinstellung der Okklusion erfolgte ausschließlich mit dem Alignersystem Invisalign.

Der aus dem Intraoralscanner exportierte STL-Datensatz lieferte zunächst die Grundlage zur digitalen Herstellung einer Gaumenerweiterungsapparatur. Mit einer entsprechenden Planungssoftware (OnyxCeph™, Dentaurum) wurde die GNE in CAD-Technik designt (Abb. 6), und ein spezialisiertes zahntechnisches Labor stellte daraufhin mittels Laserschmelzverfahren (SLM) die gewünschte Apparatur her (Abb. 7a und b).

Nach erfolgreicher chirurgisch unterstützter GNE stellte der zweite Intraoralscan die Grundlage für die kieferorthopädische Planung und die darauf basierende Herstellung der Aligner dar (Abb. 8).

Mit entsprechenden Modifikationen des ClinChecks (Abb. 9) durch den Fach-

zahnarzt erfolgte unter besonderer Berücksichtigung der skelettalen Strukturen und vorläufigen Beibehaltung der GNE die Freigabe zur Fertigung einer Serie von zunächst 35 Alignern, die im wöchentlichen Wechsel getragen wurden (Abb. 10).

Nach Beendigung des zweiten Alignersets sollte auch die gesamte Operationsplanung auf digitaler Basis erfolgen. Hierzu wurden die DICOM-Daten des präoperativen DVT und die STL-Dateien des Intraoralscans mithilfe der Chirurgie-Planungssoftware „NemoFAB“ (NEMOTEC) fusioniert (Abb. 11). Als Operationsziel wurde die bimaxilläre Osteotomie mit Advancement und Impaktion des Oberkiefers in Verbindung mit einer Vorverlagerung des Unterkiefers definiert. Intraoperativ gesetzte Osteosyntheseschrauben sorgten nach komplikationslosem Operationsverlauf unter Verwendung des letzten präoperativen Alignerpaars in

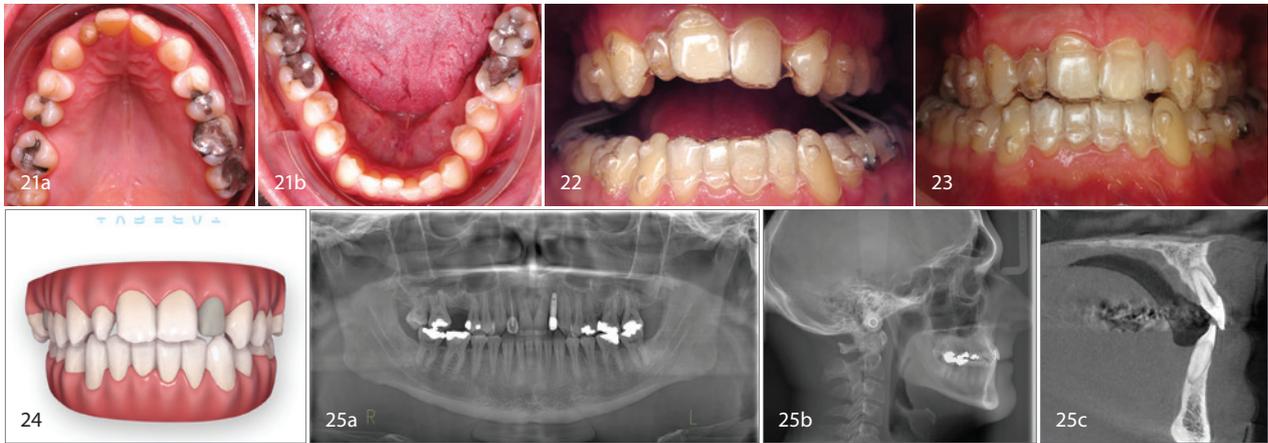


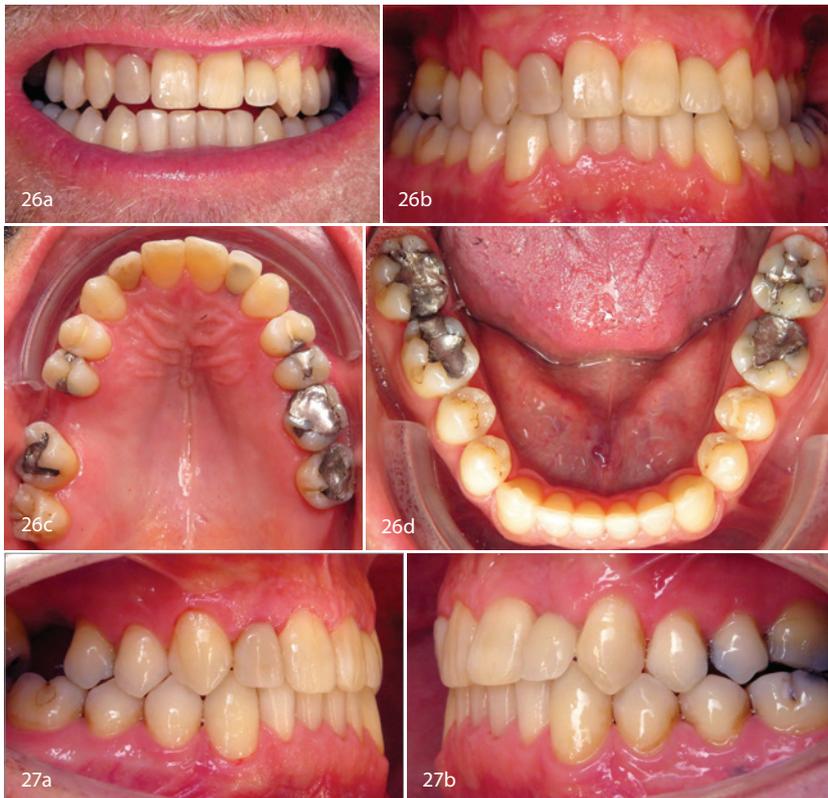
Abb. 21a und b: Intraorale, okklusale Oberkieferaufsicht bei Lückeneinengung Regio 16 und 22 (a) und des breiten Unterkiefers (b) zu Behandlungsbeginn. **Abb. 22:** Applikation intermaxillärer Criss-Cross-Gummizüge ab dem dritten Alignerpaar. **Abb. 23:** Pontic Regio 22 zur Kaschierung der kontinuierlichen Lückenöffnung beim 38. Alignerpaar. **Abb. 24:** ClinCheck-Behandlungsplanung mit 60 Alignerpaaren zur Lückenöffnung Regio 16 und 22. **Abb. 25a:** Das OPG mit finaler Implantatversorgung Regio 22 durch Operateur Dr. Daniel Tegtmeyer (Wiesbaden). **Abb. 25b:** Das FRS bei Behandlungsende. **Abb. 25c:** Die Arch-Section der Zähne 11, 42 zeigt die orthoaxiale Frontzahnaufrichtung bei Behandlungsabschluss.

Kombination mit intermaxillären Gummizügen für eine primäre Funktionsstabilität (Abb. 12) in den ersten Tagen. Postoperativ erfolgte mit dem nächsten Intra-

oralscan die okklusale Feineinstellung bei weiterer Reduktion des Overbites durch Extrusions-Attachments und Elastics bei weiteren 30 Alignern (Abb. 13a–c).

So gelang es ohne Anwendung fest-sitzender Apparaturen, den vormalig zirkulär weit offenen Biss mittels Dysgnathieoperation und Alignertherapie vollständig zu schließen und die Zahnbögen zueinander zu koordinieren (Abb. 14a–c). Auf den finalen Aufsichtsaufnahmen stellen sich in maximaler Interkuspitation die gleichmäßig über die gesamte Dentition verteilten okklusalen Kontakte rot markiert dar (Abb. 15a und b). Die DVT-Rekonstruktion lässt die positiven skelettalen Veränderungen durch die bimaxilläre Umstellungsosteotomie deutlich wahrnehmen (Abb. 16a). Auf dem OPG sind zu Behandlungsende neben einer weitgehend orthognathen Wurzelaufrichtung bei leichter Verkürzung der zentralen oberen Inzisiven, sowohl die später noch zu entfernenden Osteosyntheseplatten als auch die auf Dauer zu verbleibenden digital hergestellten Nitinol-Lingualretainer im Ober- und Unterkiefer sichtbar (Abb. 16b). Mithilfe einer präzisen digitalen Planung und zuverlässiger Compliance der Patientin ließ sich neben der exakten Inklination der Frontzähne auf der schmalen apikalen Basis (Abb. 16c) auch eine deutliche Harmonisierung ihrer Gesichtsproportionen klinisch umsetzen (Abb. 17a–d).

Abb. 26a: Eine harmonische Frontzahn-situation bei Behandlungsabschluss. **Abb. 26b:** Komposit-Rekonstruktion der Zähne 12 bis 21 und Implantatversorgung Regio 22 bei Behandlungs-ende. **Abb. 26c und d:** Okklusalaufnahme des Oberkiefers mit Frontzahnrekonstruktion (c) und des Unterkiefers mit Ausformung des Zahn-bogens (d) bei Behandlungsabschluss. **Abb. 27a und b:** Intraorale Lateralaufnahme rechts (a) und links (b) mit Kreuzbissüberstellung bei Behandlungsabschluss.



Patientenfall 2

Das nächste Beispiel zeigt einen zu Behandlungsbeginn 48 Jahre alten Patienten, der eine Verbesserung seines dentalen Erscheinungsbilds möglichst komfortabel und ohne optische oder phonetische Einschränkungen während der Behandlungs-



Abb. 28a–d: Extraorale frontale Ansicht (a), natürlich wirkendes Lächeln (b), schräg seitliche Ansicht (c) und Profilsicht (d) bei Behandlungsabschluss.

zeit wünschte (Abb. 18a–d). Es findet sich auch hier eine, dem vorherigen Kasus vergleichbare, wenn auch milder ausgeprägte vertikale Gesichtskonfiguration bei bilateralem, fast zirkulärem Kreuzbiss mit einer Tendenz zum frontal offenen Biss (Abb. 19a und b). Zusätzlich lässt sich eine hereditäre Aplasie in Regio 22, auf der kontralateralen Seite ein hypoplastischer seitlicher Schneidezahn und die Kippung des Zahns 17 infolge der unversorgt gebliebenen Exzision des ersten rechten Molaren im Oberkiefer diagnostizieren (Abb. 20a–d). Trotz der gewissen skelettalen Gleichartigkeit wurde hier auf invasive Maßnahmen verzichtet und eine rein dentoalveoläre Kompensation nur mittels Aligner (Invisalign) ohne chirurgische Intervention geplant.

Der Fokus lag dabei auf einem adäquaten Lückenmanagement der Front- und Seitenzähne zur späteren implantologischen Versorgung. So sollte die nur 1,3 mm große Lücke in Regio 22 und die nur 2,4 mm breite Distanz mesial 17 ausreichend erweitert werden, bei gleichzeitiger Aufrichtung der Seitenzähne und Proklination der oberen Inzisiven zur Überstellung des zirkulären Kreuzbisses (Abb. 21a und b). Durch die Applikation von intermaxillären Criss-Cross-Gummizügen im posterioren Bereich wurde die transversale Erweiterung suffizient unterstützt (Abb. 22), da die Rückstellkräfte des Alignermaterials allein hierzu nicht ausreichend wären.

Um die kontinuierliche frontale Lückenöffnung während des kieferorthopädischen Prozesses optisch zu kaschieren, wurde das sich erweiternde Pontic mit einem zahnfarbenen elastisch bleibenden Kunststoffmaterial im Aligner gefüllt (Abb. 23).

Insgesamt kamen zweimal 60 Alignerpaare bei einer Wechselfrequenz zwischen fünf bis sieben Tagen zum Einsatz (Abb. 24), sodass nach einer aktiven orthodontischen Behandlungszeit von 23 Monaten zwischen dem linken mittleren Front- und Eckzahn zur Insertion eines 11 mm langen Implantats (CAMLOG Promote plus) mit 3,8 mm Durchmesser final ein ausreichender Situs geschaffen werden konnte (Abb. 25a). Auf der Fernröntgenaufnahme und der Arch-Section-Darstellung der Zähne 11 und 42 lässt sich die orthoaxiale Inklination der Zahnwurzeln in Relation zum Alveolarfortsatz erkennen (Abb. 25b und c). Die Intraoralfotos zeigen die definitive prothetische Versorgung nach kieferorthopädischer Lückenöffnung Regio 22, wobei der hypoplastische, rechte seitliche Schneidezahn sowie die zentralen Inzisiven mit Kompositmaterial Venus Diamond Flow (Kulzer) vom Autor rekonstruiert wurden (Abb. 26a–d). Außerdem konnte der zirkuläre Kreuzbiss dentoalveolär überstellt und eine physiologische Frontzahnstufe etabliert werden (Abb. 27a und b). Insgesamt konnte auf diese Weise die orale Gesamtsituation deutlich verbessert werden (Abb. 28a–d). Ausstehend ist noch die Implantation Regio 16 zu einem späteren Zeitpunkt.

Schlussfolgerung

Die beiden Beispiele zeigen bei unterschiedlichen Behandlungskonzepten die vielfältigen und komplexen Einsatzmöglichkeiten der modernen Alignertherapie in interdisziplinärer Zusammenarbeit zwischen Kieferchirurgen, Zahnarzt und Kie-

ferorthopäden. Obwohl den Algorithmen beispielsweise der Invisalign-Treatment-Software zur Simulation des angestrebten Behandlungsergebnisses mittlerweile Datensätze von über 10 Millionen behandelten Patienten zugrunde liegen,⁷ sollte unbedingt die individuelle Planung immer auf Basis einer sorgfältigen Anamnese und Diagnostik durch den verantwortungsvollen Zahnarzt oder Kieferorthopäden erfolgen. Denn nur so kann bei fachgerechter Anwendung moderner digitaler Techniken unter Berücksichtigung der biomechanischen Grundsätze und biologischen Grenzen unter Einbeziehung der patientenindividuellen Charakteristika, wie Lebensgewohnheiten, Alter, skelettale Konfiguration und Para- oder Dysfunktionen, ein vorhersagbares funktionell und ästhetisch anspruchsvolles Behandlungsergebnis zum Wohle des Patienten erreicht werden.

Hinweise: Aus Gründen der besseren Lesbarkeit verwendet der Autor das generische Maskulinum.

Literatur kann in der Redaktion unter dz-redaktion@oemus-media.de angefordert werden.

DR. THOMAS DRECHSLER

Fachpraxis für Kieferorthopädie
Wilhelmstraße 40
65183 Wiesbaden
Tel.: +49 611 39666
dr.drechsler@kfo-wiesbaden.de
www.kfo-wiesbaden.de