

Persönliche PDF-Datei für

Mit den besten Grüßen vom Georg Thieme Verlag

www.thieme.de

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

Verlag und Copyright:

Georg Thieme Verlag KG
Rüdigerstraße 14
70469 Stuttgart
ISSN

Nachdruck nur
mit Genehmigung
des Verlags



Kieferorthopädische Behandlungsplanung mit der computerunterstützten Behandlungsanalyse – CUBA

Orthodontic Treatment Planning by Computer-Aided Treatment Analysis

Autor

Ralph Bönning

Institut

Kieferorthopädische Fachpraxis, Haßfurt

Schlüsselwörter

Rezessionen, Dehiscenzen, virtuelles Setup, digitale Kieferorthopädie, individualisierte Bracketkonfiguration, DVT, kieferorthopädische Behandlungsplanung

Key words

recessions, dehiscences, digital setup, digital orthodontics, individual torque prescription, cone beam computed tomography, orthodontic treatment planning

Bibliografie

DOI <https://doi.org/10.1055/a-0602-9416>
 Inf Orthod Kieferorthop 2018; 50: 119–134
 © Georg Thieme Verlag KG Stuttgart · New York
 ISSN 0020-0336

Korrespondenzadresse

Dr. Ralph Bönning
 Dr. Stephan Schneider
 Kieferorthopädische Gemeinschaftspraxis
 Truchsessgasse 5
 97437 Haßfurt
 Tel.: +49/9521/61 511, Fax: +49/9521/61 711
www.kfo-team-hassfurt.de
info@kfo-team-hassfurt.de

ZUSAMMENFASSUNG

Die computerunterstützte Behandlungsanalyse (CUBA) erlaubt durch die Einbeziehung von DVT-Daten die Erstellung eines 3D-Modells aus Zähnen, Zahnwurzeln und Alveolarfortsätzen von Oberkiefer und Unterkiefer. Damit kann eine exakte anatomische Beurteilung stattfinden und eine kieferorthopädische Behandlungsplanung unter Berücksichtigung der idealen Wurzelpositionen und der biologischen Grenzen durchgeführt werden. Dieses Konzept wird anhand von 3 Patientenfällen näher beschrieben.

ABSTRACT

Computer-aided treatment analysis permits by integration of cone beam computed tomography data the setup of a 3-dimensional model of teeth, roots and alveolar bones of maxilla and mandible. This leads to an exact anatomical diagnosis and to an orthodontic treatment planning which includes ideal root positions and the biological limits. This concept will be described by means of 3 patient cases.

Einleitung

“Awareness is required during orthodontic treatment for any signs of gingival recessions, and the most appropriate treatment mechanics designed to retain the roots within the alveolar bony envelope is the key“[1].

Gingivale Rezessionen (► **Abb. 1**) können eine häufige Nebenwirkung einer kieferorthopädischen Behandlung sein [4, 9, 10, 12–14, 16, 18–20, 23, 24, 26–29, 32–34], wobei der zugrundeliegende knöcherne Defekt in der Regel wesentlich ausgeprägter ist, als es das klinische Bild der Rezession vermuten lässt [13]. Kieferorthopädisch behandelte Patienten weisen ein bis zu 4,48-fach häufigere

Vorkommen von Rezessionen auf als unbehandelte Patienten [12].

Wird die Wurzel während der kieferorthopädischen Behandlung durch Expansion des Zahnbogens oder entsprechende Torqueausprägung aus dem Alveolarfach heraus und durch die Kompakta bewegt, findet zunächst keine Knochenapposition statt, sondern der alveoläre Knochen baut sich entsprechend den vorherrschenden Druckverhältnissen ab und es entstehen knöcherne Dehiscenzen oder Fenestrationen. Das Periost bleibt in der Regel erhalten, verklebt mit der Wurzeloberfläche und stützt die daran befestigte Gingiva, so dass klinisch unauffällige Verhältnisse bestehen bleiben

[13–15]. In der Retentionsphase kann es nach Durchführung der Zahnbewegung durch subperiostale Knochenapposition wieder zu einem Aufbau der knöchernen Lamelle kommen [13, 14]. Dieser Vorgang unterliegt allerdings einer großen interindividuellen Variation [10, 14]. Eigene DVT-Aufnahmen bestätigen diese Befunde. In ► **Abb. 2** ist eine Dehiszenz an 24 und eine Fenestration an 26 – in diesem Fall nach Gaumennahterweiterung – zu sehen.

Kritisch ist dabei, dass die alveoläre Knochendicke insbesondere vestibulär im anterioren Bereich von Oberkiefer und Unterkiefer auch bei Jugendlichen eine sehr geringe Dicke von nur wenigen Zehntelmillimeter aufweist [11] (► **Abb. 3** und **4**).

Vor diesem Hintergrund ist die oben zitierte Empfehlung der Angle Society of Europe zu verstehen, die kieferorthopädische Behandlung so zu planen und durchzuführen, dass die Wurzelbewegungen die biologische Grenze der Alveolarknochen nicht überschreiten. Studien, die sich mit den Knochenumbauvorgängen während einer kieferorthopädischen Behandlung befassen, kommen zu dem gleichen Ergebnis [4, 5, 9, 13–16, 18, 19, 24, 27].

Die üblichen diagnostischen kieferorthopädischen Unterlagen lassen jedoch keinen ausreichenden Rückschluss auf die anatomischen Beziehungen zwischen Zahnwurzeln und Alveolarknochen

für die Planung und Durchführung der Behandlung zu [15]. Dazu ist ein 3-dimensionales Modell von Kronen, Wurzeln und Alveolarknochen notwendig, wie es z. B. aus einer DVT-Aufnahme gewonnen werden kann. Inzwischen wird ein solches Modell mit Behandlungsplanung oder als eigenständig zu nutzendes Programm von mehreren Seiten angeboten (suresmile [5], AirNivol [30], maestro3D [21]).

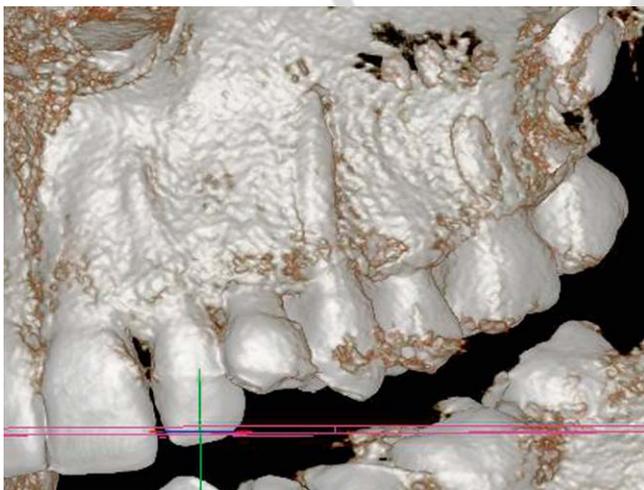
Wir haben schon vor einiger Zeit im Rahmen der computerunterstützten Behandlungsanalyse (CUBA) ein eigenes Programm entwickelt [6], mit dem sich aus dem eingescannten Patientenmodell bzw. Intraoralscan und den DVT-Daten ein Modell zur 3-dimensionalen Behandlungsplanung erstellen lässt. Dieses Konzept möchten wir im Folgenden anhand einiger Fallbeispiele erläutern.

Patientenfall 1

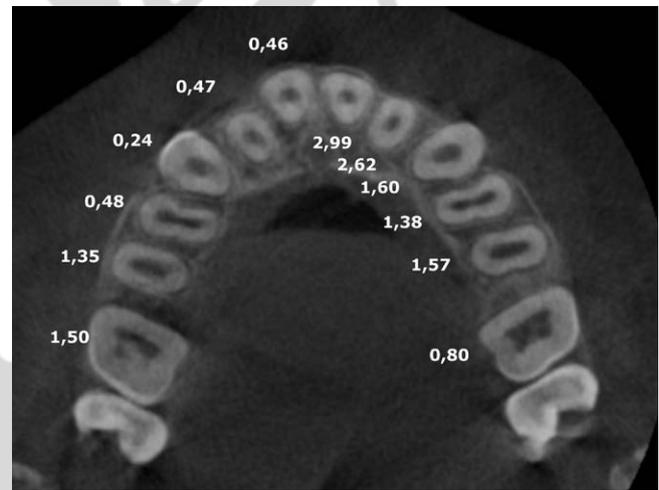
Die 14-jährige Patientin stellte sich insbesondere aufgrund des Platzmangels im oberen und unteren Eckzahnbereich vor.



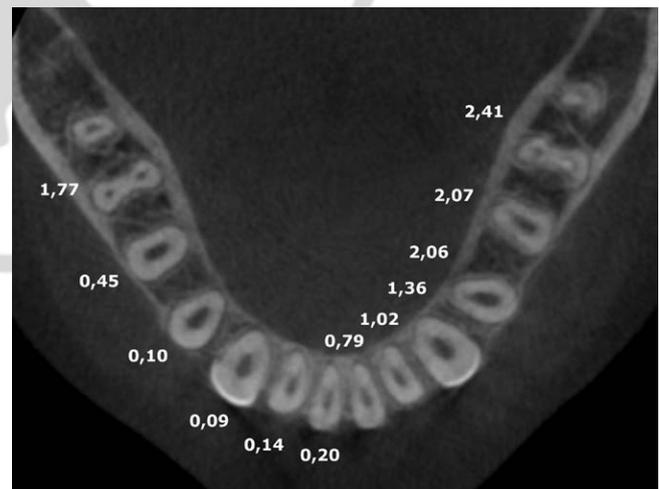
► **Abb. 1** Gingivale Rezessionen nach kieferorthopädischer Behandlung an 22, 23, 41, 44.



► **Abb. 2** Knöcherne Dehiszenzen an 24, Fenestration an 26 nach GNE.



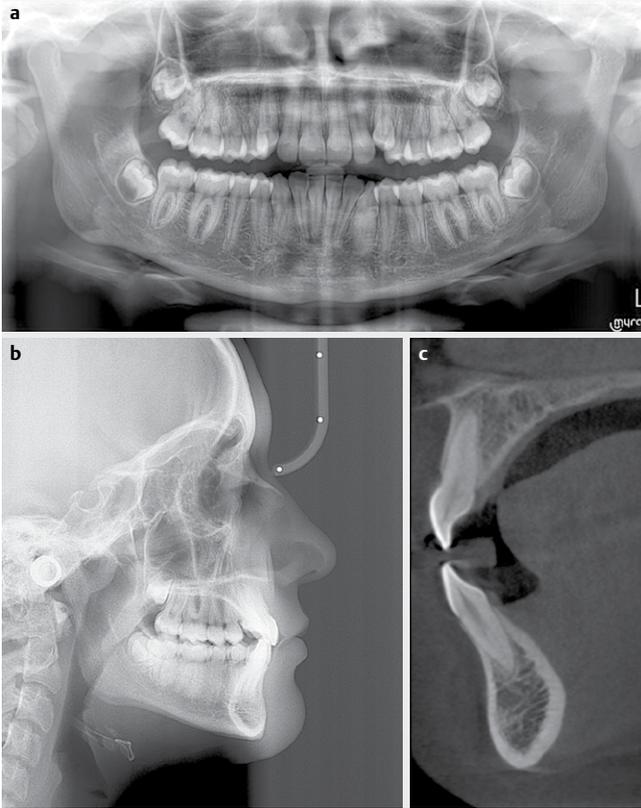
► **Abb. 3** Maxilla: Durchschnittsdicke in mm der bukkalen und lingualen Kortikalis 3 mm apikal der Schmelzzement-Grenze.



► **Abb. 4** Mandibula: Durchschnittsdicke in mm der bukkalen und lingualen Kortikalis 4 mm apikal der Schmelzzement-Grenze.

Laut OPG (► **Abb. 5a**) sind die Weisheitszähne angelegt. Die FRS-Auswertung (► **Abb. 5b**) ergibt folgende Werte:

- ANB: 3°
- Interbasenwinkel: 20°
- Inklination OK-Front > 1-NL: 69°
- Inklination UK-Front > 1-ML: 88°



► **Abb. 5 a–c** Röntgenbefund.

Modellbefund (► **Abb. 6a–e**)

Geringe Klasse II; eher knapper Überbiss, physiologische sagittale Frontzahnstufe, Außenstand der Eckzähne, Tiefstand der Eckzähne, Steilstand der Fronten, Engstand der Fronten, alveoläre Mittellinienverschiebung im OK nach links, distale Okklusionsverhältnisse links etwas ausgeprägter als rechts.

Behandlungsziele

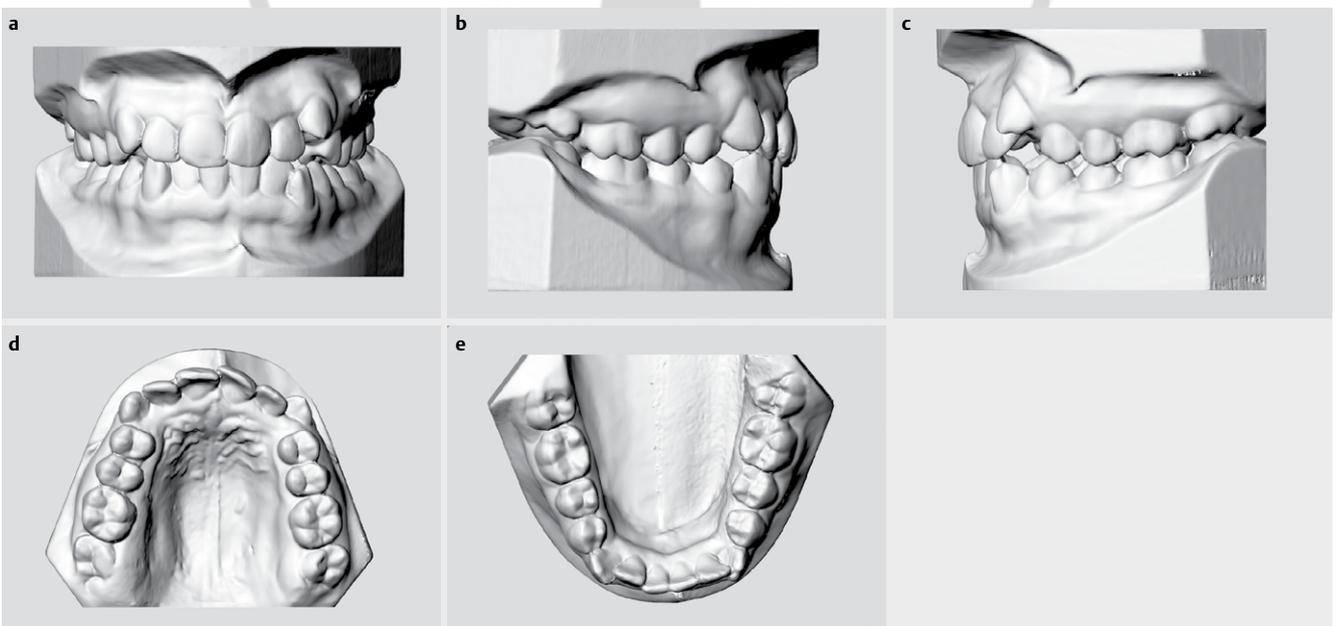
- Protrusion der OK- und UK-Front
- Einordnen der Eckzähne
- Mittellinienkorrektur im OK
- Einstellen einer Klasse-I-Okklusion
- Einstellen einer optimalen Wurzelposition

Zur Durchführung der computerunterstützten Behandlungsanalyse wurde zusätzlich ein DVT angefertigt.

Im sagittalen Schnitt (► **Abb. 5c**) erkennt man eine dünne labiale Knochenlamelle im Bereich der UK-Front, die Verhältnisse in der OK-Front sind etwas besser. Kritisch bei diesem Vorgehen ist natürlich die erhöhte Strahlenbelastung durch das DVT, die aber bei Verwendung eines strahlungsreduzierten DVTs auf ein Minimum zurückgefahren werden kann [31].

Um ein 3-dimensionales Modell zu erhalten, das die gewünschte Simulation der Behandlung virtuell erlaubt und eine korrekte anatomische Beurteilung ermöglicht, werden zunächst die Zahnkronen der eingescannten Modelle segmentiert (► **Abb. 7**), aus dem DVT 3-dimensionale Dateien der Zahnwurzeln erstellt, mit den Kronen verknüpft (► **Abb. 8**) und Maxilla und Mandibula aus dem DVT extrahiert (► **Abb. 9**).

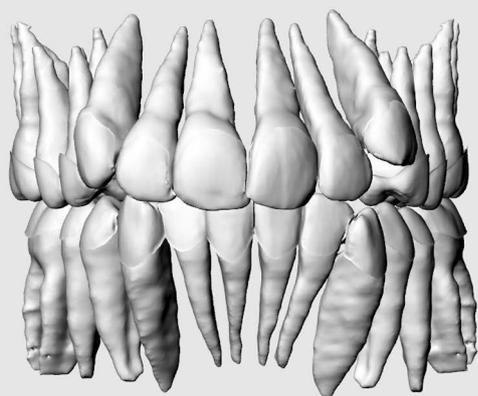
Ziel unserer Planung ist die Ausformung der Zahnbögen mit einer individualisierten, festsitzenden Apparatur unter Berücksichtigung der Okklusion, der Wurzelbewegungen und der Form der Alveolarfortsätze, sodass knöcherne Dehiszenzen vermieden werden und die vorhandene biologische Grenze nicht überschritten



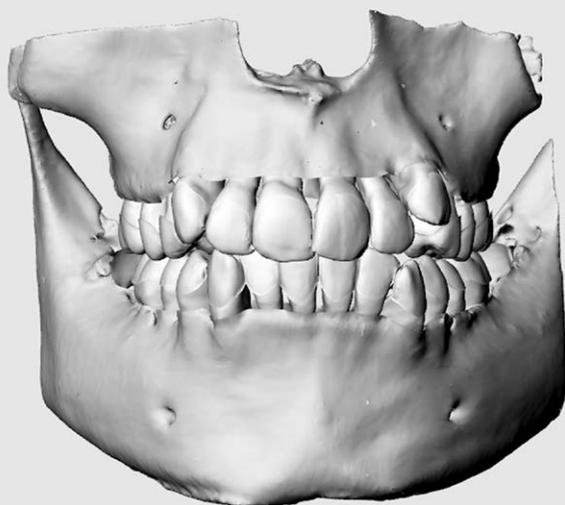
► **Abb. 6 a–e** Modellbefund.



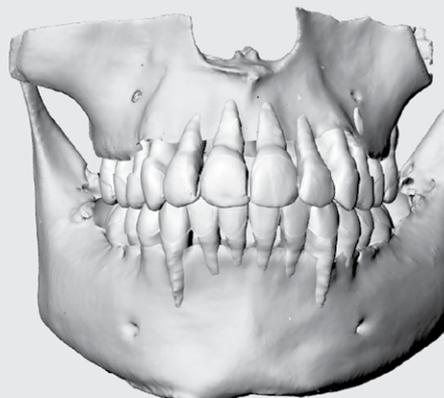
► **Abb. 7** Segmentierte Zahnkronen.



► **Abb. 8** Zahnkronen mit den 3D-Wurzeln verknüpft.



► **Abb. 9** Vollständiges 3D-Modell.

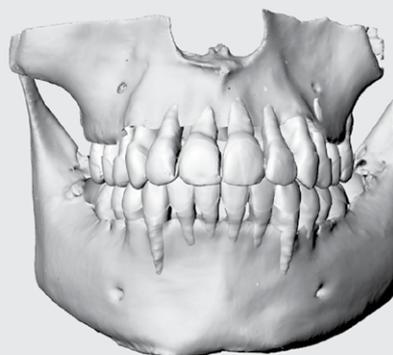


OK-Bogen: 018 x 018

Torque: MBT	-14	-14	-7	-7	-7	10	17	17	10	-7	-7	-7	-14	-14
	7	6	5	4	3	2	1	1	2	3	4	5	6	7
Torque: MBT	-10	-20	-17	-12	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-12	-17	-20	-10

UK-Bogen: 018 x 018

► **Abb. 10** Ausformung mit MBT-Konfiguration und 0,018×0,018“ Bogen.



OK-Bogen: 019 x 025

Torque: MBT	-14	-14	-7	-7	-7	10	17	17	10	-7	-7	-7	-14	-14
	7	6	5	4	3	2	1	1	2	3	4	5	6	7
Torque: MBT	-10	-20	-17	-12	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-12	-17	-20	-10

UK-Bogen: 019 x 025

► **Abb. 11** Ausformung mit MBT-Konfiguration und 0,019×0,025“ Bogen.

wird. Dabei verzichten wir auf individuelle Bracketbasen und robotergebogene Bögen, um eine klinische Umsetzung nahe am etablierten Behandlungsablauf zu erreichen.

Wir erstellen ein virtuelles Setup, in dem die oben genannten Behandlungsziele als Parameter eingegeben werden. Das Programm errechnet die Zahnbögen, die Okklusionsbeziehungen und die zu erwartenden Wurzelpositionen. Bei der Bestimmung der In-

Erst die Kombination des Bogens $0,021 \times 0,025''$ mit einer individualisierten Bracketkonfiguration (► **Abb. 13**), im Bild mit fettgedruckten Zahlen dargestellt, ergibt eine ideale Position der Wurzeln im Alveolarknochen.

Die von uns verwendeten SPEED-Brackets sind in 4 unterschiedlichen Torquekonfigurationen erhältlich, die sich untereinander mischen lassen, sodass sich eine für den Patienten ideale Bracketkonfiguration zusammenstellen lässt. Nur in der UK-Front haben wir

uns für unsere Analyse Brackets mit erhöhten Torquewerten von $+10^\circ$ und $+15^\circ$ herstellen lassen, die häufig Verwendung finden. ► **Abb. 14a–c** zeigen die Okklusion und Wurzelangulationen nach Feineinstellung.

Abschließend errechnet das Programm die Bracketpositionen (► **Abb. 15**), die wir mit einer 3D-gedruckten Übertragungsschiene auf den Patienten übertragen können.

Die Überlagerung (► **Abb. 16a, b**) des Anfangsmodells (gelb) und der Planung (weiß) macht deutlich, dass der benötigte Platzbedarf hauptsächlich durch die Protrusion der Oberkiefer- und Unterkiefer-Front erzielt wurde, im Unterkiefer fand zusätzlich noch eine geringe transversale Expansion statt.

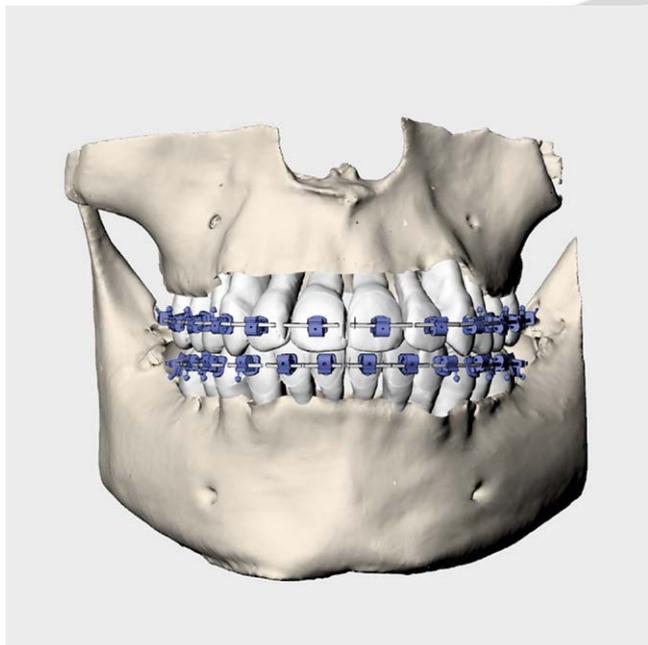
Patientenfall 2

Das Grundanliegen des 13-jährigen Patienten war der ausgeprägte Platzmangel im oberen anterioren Bereich, verbunden mit dem großen Abstand zwischen oberen und unteren Frontzähnen. Bei der klinischen Untersuchung wurde eine Unterlippenfehlfunktion deutlich.

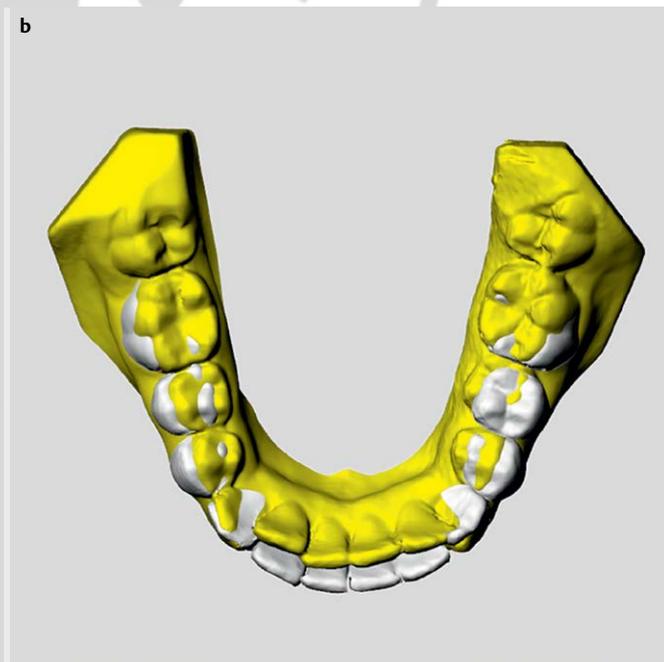
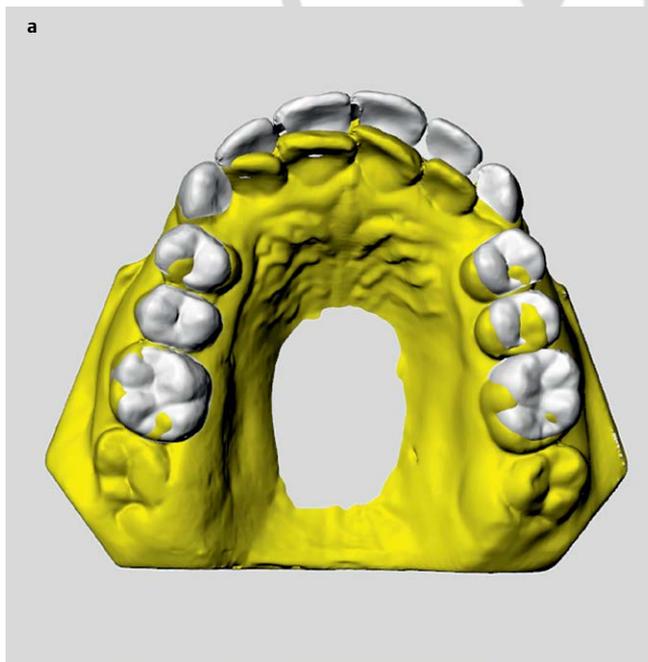
Die oberen Weisheitszähne sind laut **OPG** nicht angelegt (► **Abb. 17a**), die **FRS-Auswertung** (► **Abb. 17b**) ergibt folgende Werte:

- ANB: $5,7^\circ$
- Interbasenwinkel: $22,5^\circ$
- Inklination OK-Front > 1-NL: 63°
- Inklination UK-Front > 1-ML: 82°

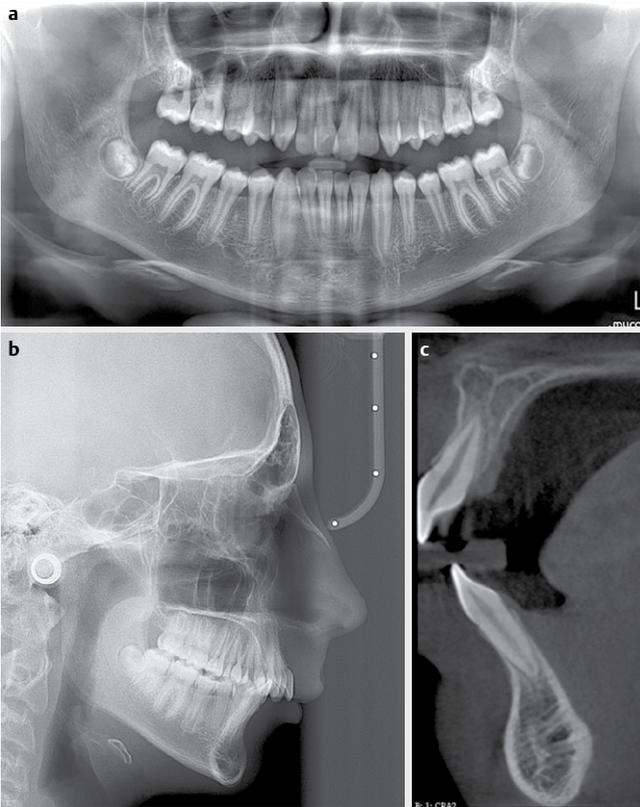
Der sagittale DVT-Schnitt (► **Abb. 17c**) zeigt eine schmale UK-Symphyse, die in vestibulo-lingualer Richtung kaum breiter ist als der Wurzeldurchmesser von 31. Im OK besteht eine dünne Knochenlamelle vestibulär, mehr Knochenangebot palatinal.



► **Abb. 15** Brackets positioniert.



► **Abb. 16 a, b** Überlagerung der Anfangsmodelle (gelb) mit der Planung (weiß).



► Abb. 17 a–c Röntgenbefund.

Modellbefund (► Abb. 18a–f)

Ausgeprägte Klasse II/1, Engstand der OK-Front, Außenstand von 13, 23, geringer Platzüberschuss im OK posterior, geringer Engstand der UK-Front und eine stark vergrößerte sagittale Frontzahnstufe bei einer Bisslage von einer Prämolarenbreite distal. Es besteht ein tiefer Biss mit Einbiss und eine ausgeprägte Spee'sche Kurve im UK mit deutlichem Hochstand der UK-Front.

Behandlungsziele

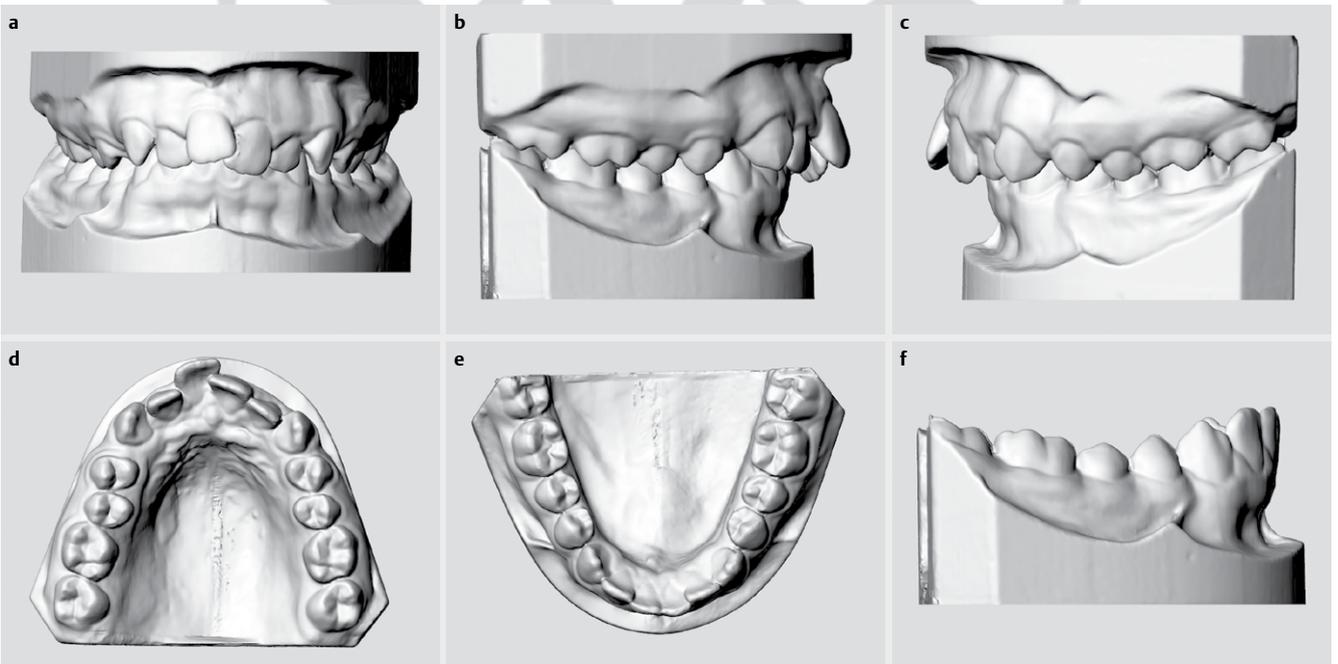
- Ausformung der OK-Front.
- Einordnen von 13 und 23.
- Ausformung der UK-Front und Intrusion der UK-Front.
- Einstellen einer Klasse-I-Okklusion.
- Einstellen einer optimalen Wurzelposition.

Die Behandlung soll mit einer individualisierten festsitzenden Apparatur durchgeführt werden unter Verwendung von intermaxillären Federn zur Korrektur der distalen Bisslage.

Zur Behandlungsplanung wird wieder ein 3D-Modell aus den segmentierten Zahnkronen, den Wurzeldateien und dem Alveolarknochen von Oberkiefer und Unterkiefer aus dem DVT erstellt (► Abb. 19a–c).

Das Vorgehen bei der Behandlungsplanung mit der computerunterstützten Behandlungsanalyse entspricht dem bereits oben vorgestellten Ablauf.

Unter Ausformung mit einem Bogen von $0,018 \times 0,018''$ und der Verwendung der MBT-Brackettkonfiguration kommt es zu knöchernen



► Abb. 18 a–f Modellbefund.



OK-Bogen: 021 x 025

Torque: MBT

	-14	-14	-7	-7	-7	10	17	17	10	-7	-7	-7	-14	-14
	7	6	5	4	3	2	1	1	2	3	4	5	6	7
Torque: MBT	-10	-20	-17	-12	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-12	-17	-20	-10
UK-Bogen: 021 x 025														

► **Abb. 22** Ausformung mit MBT-Konfiguration und 0,021 × 0,025" Bogen.

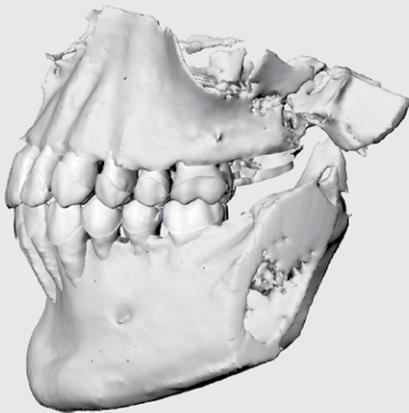


OK-Bogen: 021 x 025

Torque: Individuell

	-14	-14	-7	-7	-2	14	17	17	14	-2	-7	-7	-14	-14
	7	6	5	4	3	2	1	1	2	3	4	5	6	7
Torque: individuell	-10	-20	-17	-12	7	15	15	15	15	7	-12	-17	-20	-10
UK-Bogen: 021 x 025														

► **Abb. 24** Ausformung mit individueller Konfiguration und 0,021 × 0,025" Bogen.

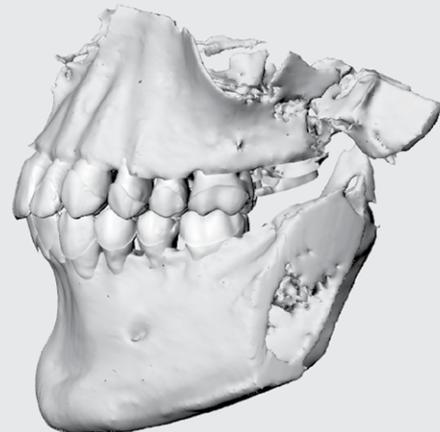


OK-Bogen: 021 x 025

Torque: MBT

	-14	-14	-7	-7	-7	10	17	17	10	-7	-7	-7	-14	-14
	7	6	5	4	3	2	1	1	2	3	4	5	6	7
Torque: MBT	-10	-20	-17	-12	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-12	-17	-20	-10
UK-Bogen: 021 x 025														

► **Abb. 23** Ausformung mit MBT-Konfiguration und 0,021 × 0,025" Bogen von lateral.



OK-Bogen: 021 x 025

Torque: individuell

	-14	-14	-7	-7	-2	14	17	17	14	-2	-7	-7	-14	-14
	7	6	5	4	3	2	1	1	2	3	4	5	6	7
Torque: individuell	-10	-20	-17	-12	7	15	15	15	15	7	-12	-17	-20	-10
UK-Bogen: 021 x 025														

► **Abb. 25** Ausformung mit individueller Konfiguration und 0,021 × 0,025" Bogen von lateral.

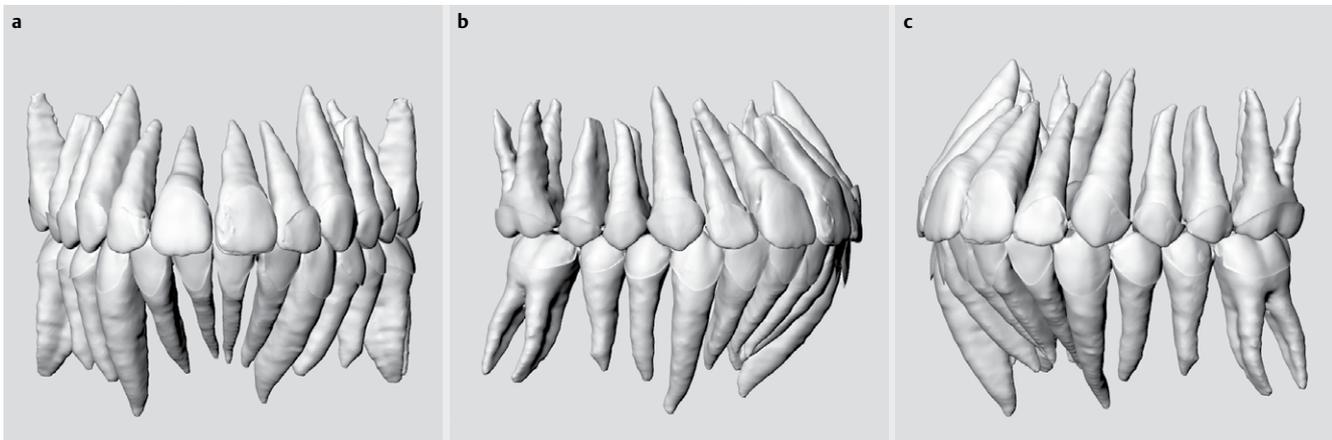
Patientenfall 3

Der 14-jährige Patient kam zur Korrektur des ausgeprägten Engstandes der oberen Schneidezähne zu uns.

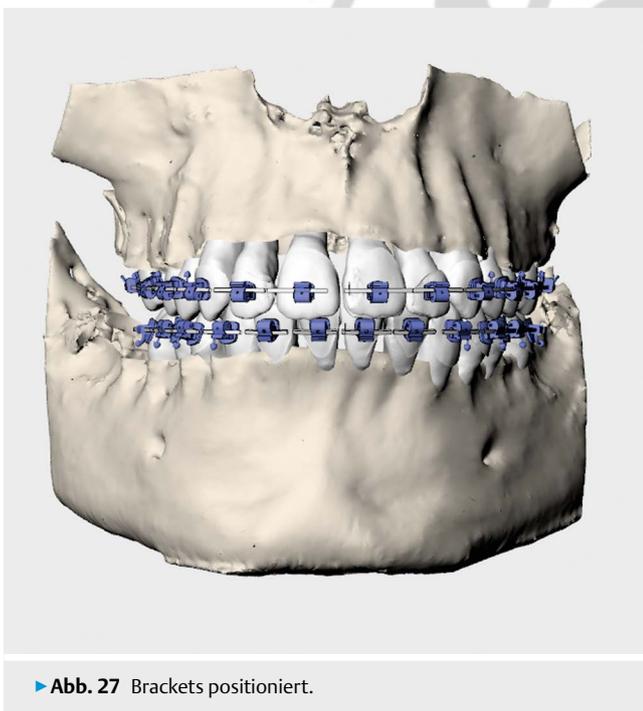
Generalisierte enge Platzverhältnisse mit bereits horizontal geneigten Kronen von 38 und 48 und kurze Wurzeln von 11 und 21 zeigen sich im OPG (► **Abb. 29a**).

Die **FRS-Auswertung** (► **Abb. 29b**) ergibt folgende Werte:

- ANB: 3,4°
- Interbasenwinkel: 18,2°
- Inklination OK-Front > 1-NL: 62°
- Inklination UK-Front > 1-ML: 81°



► **Abb. 26** a–c Okklusion und Wurzelangulationen nach Feineinstellung.



► **Abb. 27** Brackets positioniert.

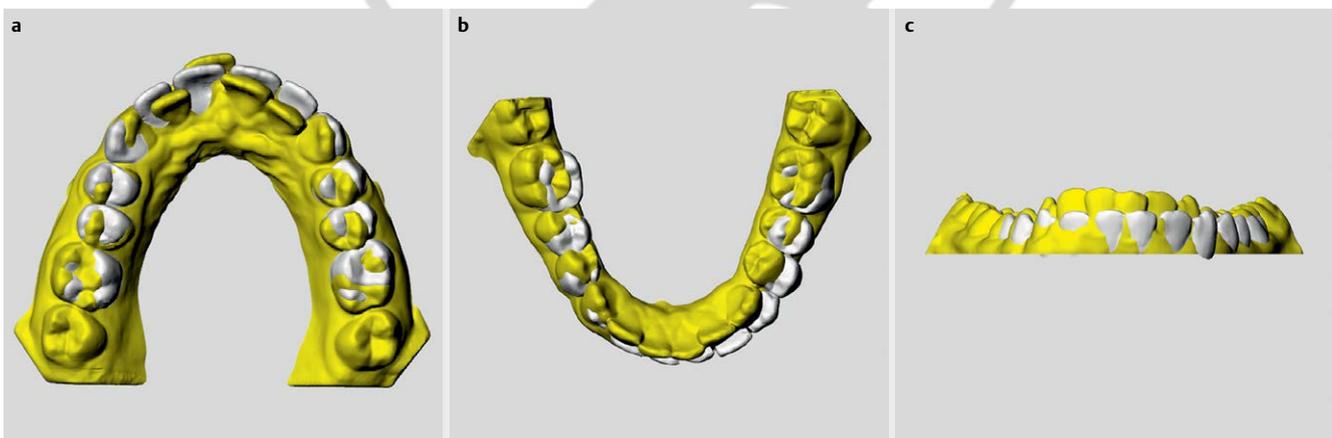
Der sagittale DVT-Schnitt (► **Abb. 29c**) zeigt im Unterkiefer im Bereich von 31 im oberen Wurzeltrittel typische dünne Knochenlamellen, ansonsten gute Verhältnisse, im Oberkiefer ein ausreichendes Platzangebot.

Modellbefund (► **Abb. 30a–e**):

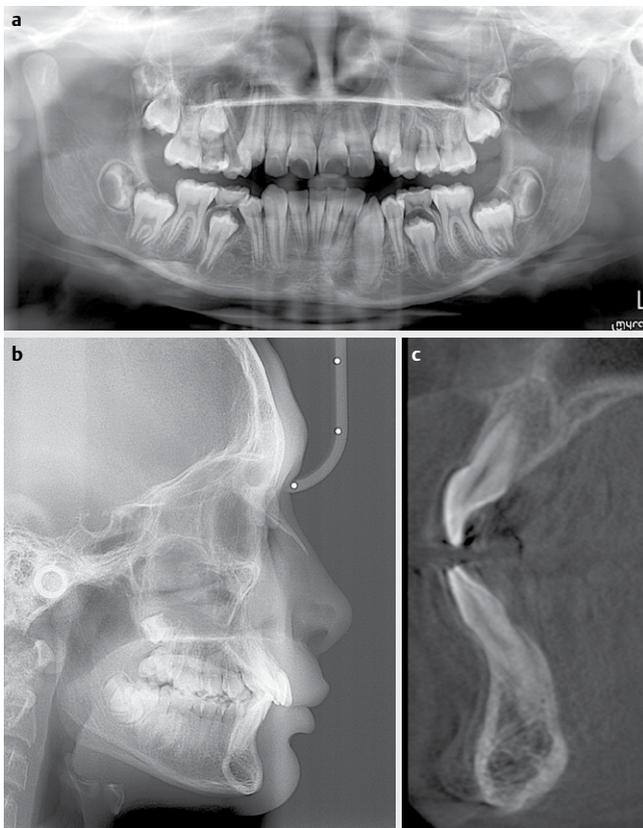
Angle-Klasse II, deutlicher Engstand im Oberkiefer anterior, Außenstand mit Platzmangel 13, 23, Engstand der UK-Front mit Platzmangel 33 und Drehstand 33, tiefer Biss, distale Okklusionsverhältnisse.

Behandlungsziele

- Ausformung der OK-Front durch Protrusion
- Einordnen von 13 und 23
- Ausformung und Protrusion der UK-Front, Intrusion der UK-Front
- Derotation und Einordnen von 33
- Einstellen einer Klasse-I-Okklusion
- Einstellen einer optimalen Wurzelposition



► **Abb. 28** a–c Überlagerung der Anfangsmoelle (gelb) mit der Planung (weiß).



► Abb. 29 a–c Röntgenbefund.

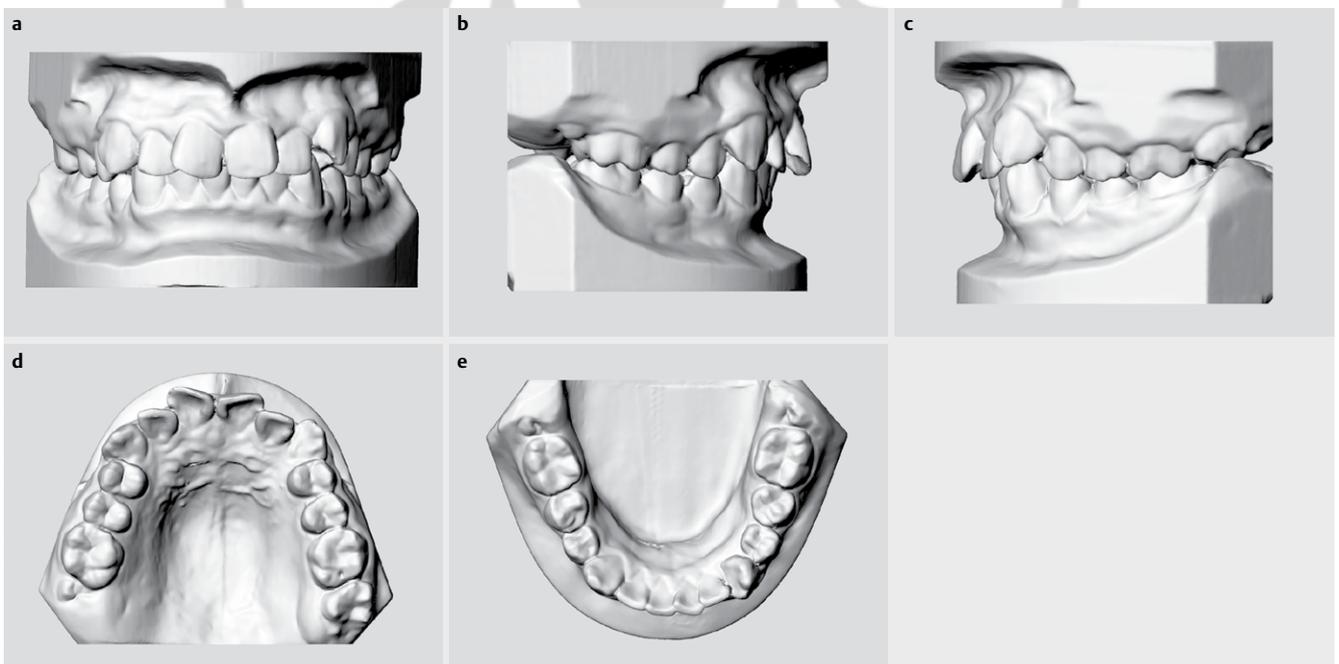
Die Behandlung soll wieder mit einer festsitzenden Apparatur durchgeführt werden, unter Verwendung von intermaxillären Federn zur Korrektur der distalen Bisslage.

Die Abbildungen (► Abb. 31a–c) verdeutlichen die Erstellung unseres virtuellen 3D-Modells.

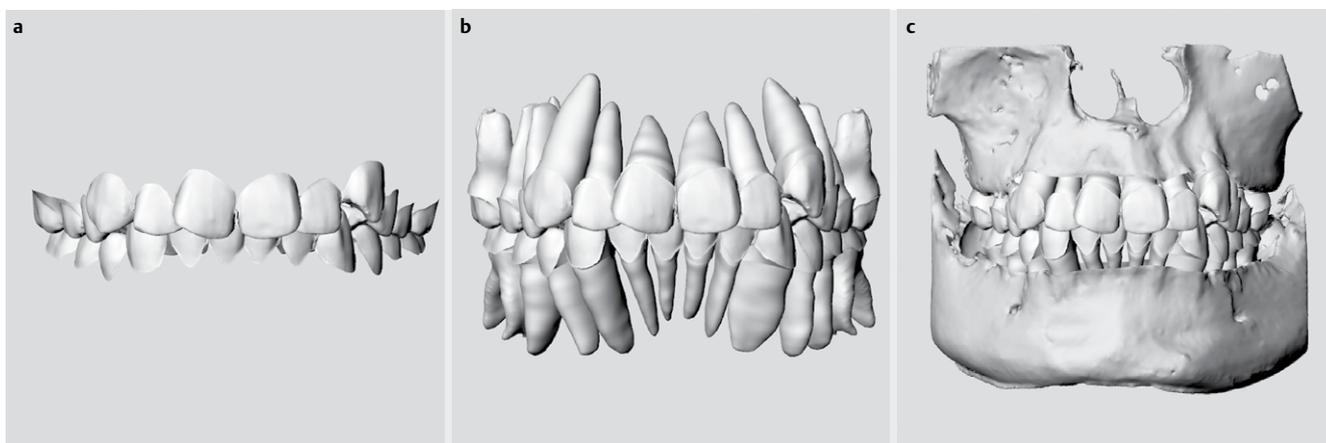
Nach Ausrichtung mit 0,018 × 0,018“ Bogen und MBT-Bracket-konfiguration (► Abb. 32) zeigen sich in der UK-Front die bereits bekannten Dehiszenzen, im Oberkiefer errechnen sich trotz der ausgeführten deutlichen Protrusion der OK-Front gute Wurzelpositionen. Diese Erfahrung machen wir immer wieder, dass im Oberkiefer aufgrund der in der Regel besseren knöchernen Verhältnisse eine umfangreiche Protrusion der OK-Front möglich ist, wobei sich natürlich die Frage stellt, bis zu welchem Grad ein Labialstand aus optischen Gründen sinnvoll erscheint. Dies lässt sich nicht durch diese Analyse beantworten, sondern muss aus der Erfahrung des Kieferorthopäden heraus entschieden werden.

Ähnliche Verhältnisse zeigen sich mit dem Bogen der Stärke 0,019 × 0,025“ (► Abb. 33).

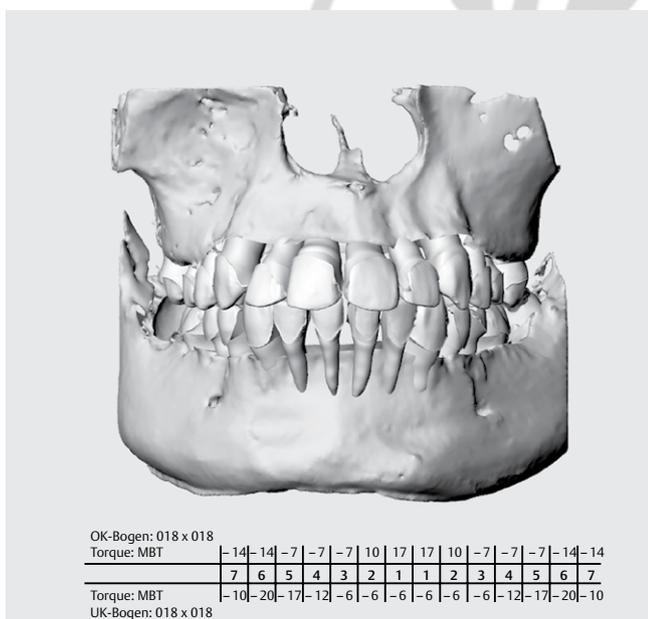
Bei dem Bogen 0,021 × 0,025“ imponiert die stärkere Torque-wirkung (► Abb. 34), diesmal auch im Oberkiefer, da aufgrund der labialen OK-Front auch im Oberkiefer ein labialer Wurzel-torque erzeugt wird und damit Dehiszenzen entstehen. Bei Patient 1 kam es dagegen zu einem palatinalen Wurzel-torque im Oberkiefer bedingt durch den Steilstand der OK-Front zu Beginn. Im Unterkiefer ist eine deutliche Vorwanderung der UK-Front vor den Alveolarfortsatz (► Abb. 35) zu erkennen.



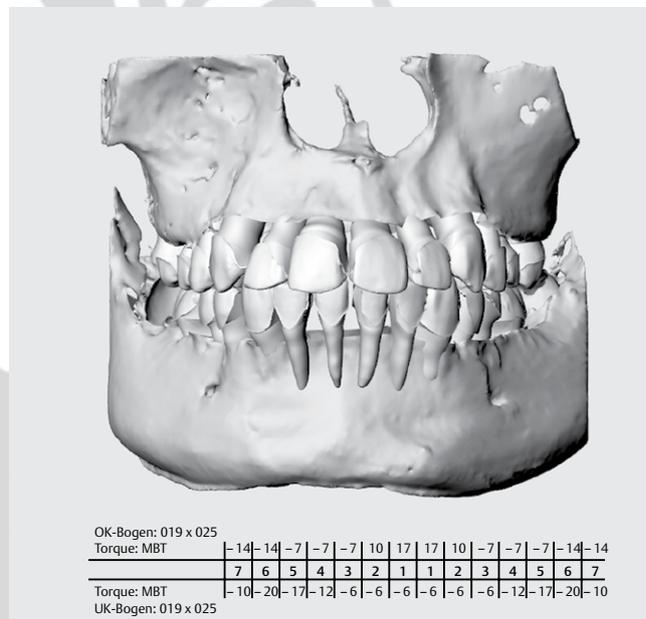
► Abb. 30 a–e Modellbefund.



► **Abb. 31** a–c Segmentierte Zahnkronen, Zahnkronen mit den 3D-Wurzeln verknüpft, vollständiges 3D-Modell.



► **Abb. 32** Ausformung mit MBT-Konfiguration und 0,018 x 0,018“ Bogen.



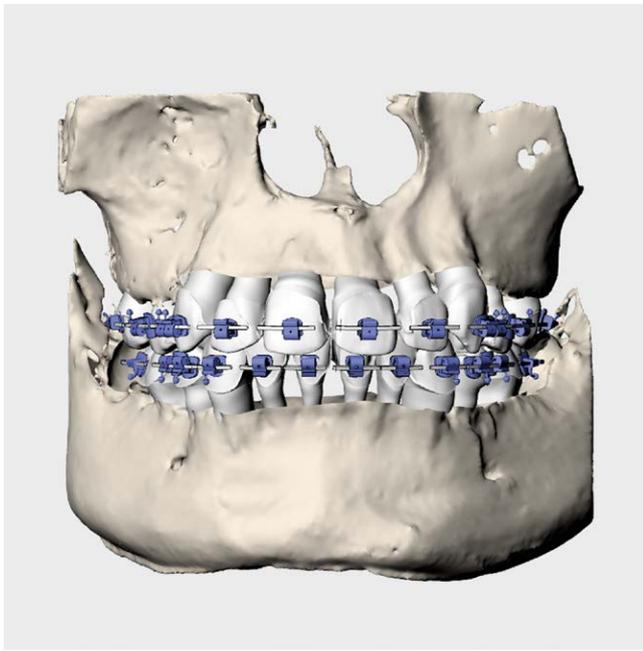
► **Abb. 33** Ausformung mit MBT-Konfiguration und 0,019 x 0,025“ Bogen.

Eine individualisierte Bracketkonfiguration zusammen mit dem Bogen 0,021 x 0,025“ erzeugt zwar eine Verbesserung der Verhältnisse, aber immer noch keine akzeptable Situation, von frontal (► **Abb. 36**) und von lateral (► **Abb. 37**).

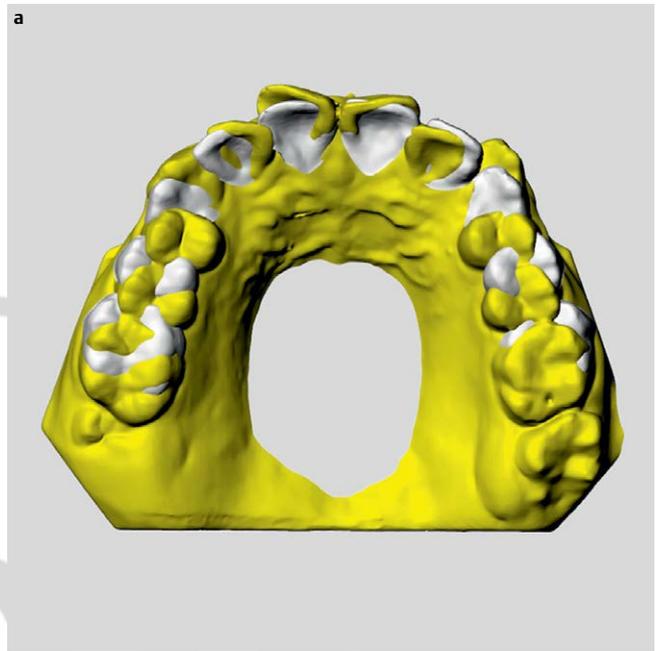
An diesem Punkt haben wir die oben genannten Behandlungsziele abgeändert und uns, trotz des konkaven Lippenprofils, zu einer Prämolarenextraktion entschlossen. Die Simulation nach Entfernung der ersten Prämolaren, Verwendung eines 0,021 x 0,025“ Bogens und einer angepassten Bracketkonfiguration zeigen ► **Abb. 38** und ► **Abb. 39**. Dehiszenzen konnten vermieden werden und die Inklination der Zähne folgt der Form der Alveolarfortsätze.

An den ► **Abb. 40a–c** sieht man die Ausrichtung und Angulationen der Wurzeln, bei ► **Abb. 41** die Endsituation zusammen mit den positionierten Brackets.

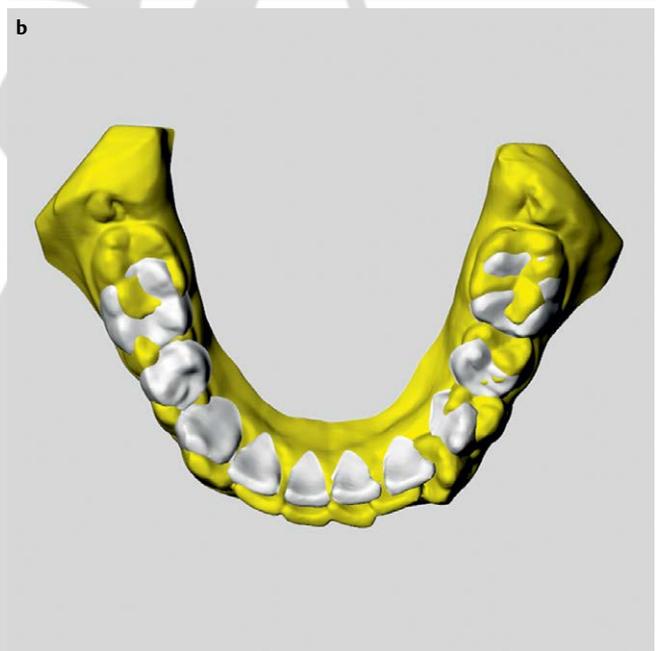
In der Modellaufsicht (► **Abb. 42a**) wird deutlich, dass nur eine geringe Retrusion der OK-Front erforderlich ist. Damit hoffen wir, dass das Lippenprofil nicht stärker konkav wird. Im Unterkiefer kommt es zu einer stärkeren Retrusion der Front (► **Abb. 42b**), die aber durch die geplante Ventralentwicklung des UK in der Sagittalen wieder kompensiert wird.



► **Abb. 41** Brackets positioniert.



a



b

► **Abb. 42 a, b** Überlagerung der Anfangsmodelle (gelb) mit der Planung (weiss)

Literatur

- [1] Ama J, Katsaros C, Kiliaridis S et al. State of the science on controversial topics: orthodontic therapy and gingival recession. A report of the Angle Society of Europe 2013 meeting. *Progress in Orthodontics* 2013; 14: 16 doi:10.1186/2196-1042-14-16
- [2] Archambault A, Lacoursiere R, Badawi H et al. Torque Expression in Stainless Steel Orthodontic Brackets. *Angle Orthod* 2010; 80: 201–210. doi.org/10.2319/080508-352.1
- [3] Badawi M, Toogood R, Carey J et al. Torque expression of self-ligating brackets. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2008; 133: 721–728. doi.org/10.1016/j.ajodo.2006.01.051
- [4] Bertl K. Kieferorthopädie und gingivale Rezessionen. *ZWR Zahnarztl Welt Zahnarztl Rundsch* 2016; 125: 416–422. doi:10.1055/s-0042-112214
- [5] Bittner W. SureSmile 7.0 – Digitale kieferorthopädische Behandlung. www.suresmile.com
- [6] Bönning R. Die computerunterstützte Behandlungsanalyse – CUBA. *KN Kieferorthopädische Nachrichten* Oktober 2017; 10: 1–13
- [7] Brauchli LM, Senn C, Wichelhaus A. Active and passive self-ligation: a myth? Part 1: torque control. *Angle Orthod* 2011; 81: 312–318. doi:10.2319/041310-205
- [8] Cash AC, Good SA, Curtis RV, McDonald F. An Evaluation of Slot Size in Orthodontic Brackets – Are Standards as Expected? *Angle Orthod* 2004; 74: 450–453
- [9] Castro LO, Castro JO, De Alencar AHG, Valladares-Neto J, Estrela C. Cone beam computed tomography evaluation of distance from cemento-enamel junction to alveolar crest before and after non-extraction orthodontic treatment. *Angle Orthod* 2016; 86: 543–549. doi.org/10.2319/040815-235.1
- [10] Capps CJ, Campbell PM, Benson B, Buschang PH. Can posterior teeth of patients be translated buccally, and does bone form on the buccal surface in response? *Angle Orthod* 2016; 86: pp 527–534. doi.org/10.2319/072015-491.1
- [11] Ferreira M. Avaliação da espessura da tábua óssea alveolar vestibular e lingual dos maxilares por meio da tomografia computadorizada de feixe cônico (Cone Beam). Dissertação. São Paulo: Universidade da Cidade de São Paulo; 2010
- [12] Renkema A, Fudalej P, Renkema A et al. Gingival labial recessions in orthodontically treated and untreated individuals: a case-control study. *J Clin Period* 40: 631–637. doi.org/10.1111/jcpe.12105
- [13] Fuhrmann R. Three-Dimensional Evaluation of Periodontal Remodeling During Orthodontic Treatment. *Semin Orthod* 2002; 8: 23–28. doi.org/10.1053/sodo.2002.28168

- [14] Gamba Garib D, Sayako Yatabe M, Okada Ozawa T, da Silva Filho OG. Alveolar bone morphology under the perspective of the computed tomography: Defining the biological limits of tooth movement. *Dental Press J Orthod* 2010; 15: 192–205. doi.org/10.1590/S2176-94512010000500023
- [15] Hagge C. A Novel Technique to Measure Changes in Alveolar Bone Coverage of Lower Incisor Roots Before and After Orthodontic Treatment Utilizing CBCT. Thesis, University of California, 2017
- [16] Handelman CS. The anterior alveolus: its importance in limiting orthodontic treatment and its influence on the occurrence of iatrogenic sequelae. *Angle Orthod* 1996; 66: 95–110
- [17] Huang Y. Numerische Analyse des Torqueverhaltens von selbstligierenden Brackets im Vergleich zu konventionellen kieferorthopädischen Brackets. Dissertation, Universität Bonn, 2009
- [18] Jäger F. Veränderungen des periodontalen Knochenangebotes in dreidimensionalen Röntgenbildern während einer festsitzenden kieferorthopädischen Behandlung. Dissertation, Charité – Universität Berlin, 2015
- [19] Kapila S, Nervina J. CBCT in orthodontics: assessment of treatment outcomes and indications for its use. *Dentomaxillofacial Radiology* 2015, doi.org/10.1259/dmfr.20140282
- [20] Lund H, Gröndahl K, Gröndahl HG. Cone beam computed tomography evaluations of marginal alveolar bone before and after orthodontic treatment combined with premolar extractions. *Eur J of Orthod* 2012; 120: 201–211. doi.org/10.1111/j.1600-0722.2012.00964.x
- [21] Maestro3D Broschüre 2017. www.maestro3D.com
- [22] McLaughlin, Bennet. McLaughlin, Bennet 5.0 Broschüre, Forestadent, 2017
- [23] Melsen B. Biological reaction of alveolar bone to orthodontic tooth movement. *Angle Orthod* 1999; 69: 151–158
- [24] Mostafa Y, Sharaby F, Beialy A. Do alveolar bone defects merit orthodontists respect? *World J of Orthod* 2009; 10: 16–20
- [25] Pour R. In-vivo Evaluation der Torqueübertragung im Oberkiefer. Poster DGKFO 2016
- [26] Rebele S, Schaller D. Rezessionsdeckung: Was ist neu? – Update plastische Parodontalchirurgie. *BZB* 2017; 10: 58–68
- [27] Renkema A, Padmos J, Quincey G. Gingivarezessionen und Kieferorthopädie. *Inf Orthod Kieferorthop* 2017; 49: 99–104. doi.org/10.1055/s-0043-111195
- [28] Renkema A. Development of labial gingival recessions in orthodontically treated patients. *Eur J Orthod* 2013; 143: 206–212. doi.org/10.1016/j.ajodo.2012.09.018
- [29] Vasconcelos G, Kjellsen K, Preus H, Vandevska-Radunovic V, Frode Hansen B. Prevalence and severity of vestibular recession in mandibular incisors after orthodontic treatment. *Angle Orthod* 2012; 82: 42–47. doi.org/10.2319/021411-108.1
- [30] D'Antò V, Rationale AV, Savignano R, Barone S. Das AirNivol-System in der kieferorthopädischen Praxis. *Kieferorthop* 2017; 31: 389–398
- [31] Währisch K. Strahlenbelastung konventioneller orthodontischer Röntgenaufnahmen (KOR) und indikationsabhängiger dosisreduzierter DVTS. Poster DGKFO 2016
- [32] Wehrbein H, Fuhrmann R, Diedrich P. Human histologic tissue response after long-term orthodontic tooth movement. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1994; 107: 360–371. doi.org/10.1016/S0889-5406(95)70088-9
- [33] Wehrbein H, Fuhrmann R, Diedrich P. Periodontal conditions after facial root tipping and palatal root torque of incisors. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 1995; 106: 455–462. doi.org/10.1016/S0889-5406(94)70067-2
- [34] Wehrbein H, Bauer P, Diedrich P. Mandibular incisors, alveolar bone, and symphysis after orthodontic treatment. A retrospective study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 1996; 110: 239–246. doi.org/10.1016/S0889-5406(96)80006-0