

# Parodontal unterstützte Kieferorthopädie – ein neuer Blick auf die Kortikotomie des Alveolarfortsatzes

## Periodontally Facilitated Orthodontics – A New Perspective on Alveolar Corticotomy

### Autoren

R. Spena, D. Garganese

### Institut

Sezione di Odontoiatria, Università di Ferrara, Italia

### Schlüsselwörter

- beschleunigte Zahnbewegung
- unterstützte Zahnbewegung
- verkürzte Behandlungsdauer
- regionales Beschleunigungsphänomen

### Key words

- accelerated tooth movement
- facilitated tooth movement
- reduced treatment time
- RAP reaction

### Zusammenfassung

Die Dekortikation im Alveolarfortsatz wird im Zusammenhang mit kieferorthopädischen Behandlungen seit jeher mit einer Beschleunigung von Zahnbewegungen und einer Verkürzung der Behandlungsdauer verbunden. Die Beschleunigung von Zahnbewegungen ist dabei inzwischen gut abgesichert, die Verkürzung der Behandlungszeit jedoch immer noch umstritten. Diese ist sicherlich nicht vorhersehbar und nur schwer zu verifizieren. Vorgestellt wird ein etwas anderer Blick auf die biologischen und biomechanischen Vorteile dieses Verfahrens für die kieferorthopädische Behandlung.

### Abstract

Alveolar decortication has always been associated to orthodontic treatment to accelerate tooth movement and reduce treatment time. While acceleration of tooth movement has been clearly demonstrated, reduction of treatment time is still a discussed topic and is certainly unpredictable and difficult to evaluate. A different view of the biological and biomechanical orthodontic advantages of this surgical adjunct is proposed.

### Einführung

In den vergangenen beiden Jahrzehnten wurden einige neue Geräte und Verfahren vorgestellt, mit deren Hilfe sich die kieferorthopädische Bewegung von Zähnen verbessern und unterstützen lässt. Dabei handelt es sich unter anderem um die skeletale Verankerung und die Kortikotomie des Alveolarfortsatzes.

Minischrauben, genauer gesagt temporäre Verankerungsgeräte, stellen eine große biomechanische Hilfe zur Verringerung oder Vermeidung von unerwünschten Zahnbewegungen dar. Mit ihrer Hilfe lassen sich Zahnbewegungen durchführen, die mit konventionellen kieferorthopädischen Apparaturen nur schwer oder überhaupt nicht möglich wären.

Die Kortikotomie im Alveolarfortsatz ist schon lange Teil kieferorthopädischer Behandlungen. Mit ihrer Hilfe konnte die Bewegung von Zähnen beschleunigt und vereinfacht sowie unerwünschte Nebenwirkungen, wie etwa Wurzelresorptionen, Vitalitätsverlust, parodontale Probleme oder Rezidivbildung, verringert werden. Die früheren wissenschaftlichen und klinischen Vor-

stellungen von diesem Verfahren unterscheiden sich jedoch radikal von unseren heutigen. Aus den ursprünglichen rein mechanischen sind inzwischen biologische und physiologische Überlegungen geworden.

Die erste Erwähnung dieses Verfahrens in der Literatur datiert auf das Jahr 1892, in dem L. C. Bryan [1] einen Beitrag im Lehrbuch von S. H. Guilford veröffentlichte. Darin schlug er vor, den Alveolarfortsatz mit Rosen- und Fissurenbohrern aufzutrennen, um die Korrektur von fehlstehenden Zähnen bei erwachsenen Patienten zu unterstützen.

Im Jahr 1893 stellte Cunningham [2] die Behandlung von einigen erwachsenen Patienten auf dem International Dental Congress in Chicago vor. Bei diesen waren Zähne chirurgisch mithilfe von Zangen, Elevatoren und anderen Instrumenten reponiert worden, nachdem die Knochenkortikalis mithilfe von dünnen Kreissägen durchtrennt worden war. Um den Weg der Zähne zu ihrer endgültigen Position zu erleichtern, war dabei gelegentlich auch Knochen entfernt worden. Das Verfahren ähnelt dem, das Dr. Bryan vorgestellt hatte. Damit ließen sich Zähne zwar effektiv

### Bibliografie

DOI <http://dx.doi.org/10.1055/s-0035-1547305>  
 Inf Orthod Kieferorthop 2015; 47: 1–25  
 © Georg Thieme Verlag KG  
 Stuttgart · New York  
 ISSN 0020-0336

### Korrespondenzadresse

**Dr. Raffaele Spena**  
 Gastprofessor Università di Ferrara  
 Privatpraxis:  
 Via dei Mille 13  
 I-80121 Napoli  
 Tel.: +39/081/427 241  
 Fax: +39/081/427 241  
 rspen@tin.it

bewegen, die Methode hatte jedoch auch ihre Risiken und Nebenwirkungen.

Im Jahr 1959 nahm Köle [3] den Gedanken wieder auf, die kieferorthopädische Bewegung von Zähnen mithilfe einer Kortikotomie im Alveolarfortsatz zu beschleunigen. Er schlug vor, die Spongiosa zur Sicherung einer guten Blutversorgung intakt zu lassen und sprach sich gegen eine vollständige Osteotomie mit anschließender Luxation des Zahn-Knochen-Blocks aus. Köle war der Ansicht, die dicke und dichte Knochenkortikalis und deren langsam verlaufende Umbauvorgänge würden einer kieferorthopädischen Bewegung von Zähnen den größten Widerstand entgegensetzen. Er wollte unabhängige Knochenblöcke durch Unterbrechung der Kontinuität der Kortikalis mithilfe approximal vertikal geführter Schnitte bis in die Spongiosa (Kortikotomien) und tiefer horizontaler Osteotomien 1 mm unterhalb der Wurzelspitzen schaffen, die er dann einfach und schnell mithilfe großer Kräfte bewegen konnte. Die kieferorthopädischen Bewegungen wurden bei seinen Patienten innerhalb von 6–12 Monaten abgeschlossen und es kam im Vergleich zu früheren Erfahrungen zu weniger Komplikationen.

Bell u. Levy [4] überprüften Köles Verfahren im Jahr 1972 an insgesamt 49 Affen. Das chirurgische Verfahren unterschied sich gegenüber dem von Köle beschriebenen dahingehend, dass sie Osteotomien durchführten und sämtliche Segmente mobilisierten. Sie konnten nachweisen, dass die chirurgischen Eingriffe ischämische Regionen und Knochennekrosen zur Folge hatten, die ein Risiko für Zähne und Zahnhalteapparat in der oberen Frontzahnregion darstellten.

1975 führte Düker [5] bei 6 Hunden (Beagle) vertikale Kortikotomien in Verbindung mit horizontalen Osteotomien an den oberen Schneidezähnen durch. Die vertikalen Knochenschnitte wurden im Abstand von 2 mm zum knöchernen Alveolarrand angelegt, um die Parodontien zu schonen. Zwischen den beiden oberen mittleren Schneidezähnen wurde keine Osteotomie angelegt. Innerhalb von 8–20 Tagen konnte eine Bewegung der Zähne mithilfe starker Kräfte und einem Gesichtsbogen, der die Lippe von den Zähnen abhielt, um 4 mm erreicht werden.

Im Jahr 1983 stellte Suya [6] schließlich eine bedeutende Verbesserung für das chirurgische Verfahren nach Köle vor. Er führte an Stelle der horizontalen Osteotomie nur eine Kortikotomie durch, schonte bei den vertikalen Kortikotomien den knöchernen Alveolarrand und luxierte die Knochenblöcke nicht mehr. Er schlug diese „kortikotomieunterstützte Kieferorthopädie“ für die Behandlung von erwachsenen Patienten bei ankylosierten Zähnen und Dysgnathien mit Engständen vor, um die Extraktion von Prämolaren vermeiden zu können. Er stellte insgesamt 395 japanische Patienten vor, die er in 6–12 Monaten behandelt hatte. Genau wie Köle glaubte Suya, dass er Knochenblöcke präparieren würde. Er schlug vor, den Großteil der Zahnbewegungen innerhalb der ersten 3–4 Monate nach dem chirurgischen Eingriff durchzuführen, bevor sich diese Blöcke wieder verbinden würden (Heilung des Knochens).

In einigen Einzelfallberichten wurde über die weitere Anwendung von Suyas Verfahren berichtet. Anholm u. Mitarb. [7] schilderten die Behandlung eines erwachsenen Patienten innerhalb von nur 11 Monaten ohne Extraktion von Zähnen, und ohne dass parodontale Probleme entstanden wären. Gantes u. Mitarb. [8] verglichen die Behandlungsergebnisse von 5 Patienten, die nach dem Verfahren von Suya behandelt worden waren, mit Patienten, die konventionell kieferorthopädisch therapiert worden waren. In der Gruppe mit Kortikotomien betrug die Behandlungsdauer insgesamt 14,8 Monate, in der Kontrollgruppe 28,3

Monate. In der Untersuchungsgruppe konnten keine parodontalen Probleme, kein Vitalitätsverlust der Zähne und keine Wurzelresorptionen festgestellt werden.

Die Publikation von Wilcko u. Mitarb. [9] im Jahr 2001 hatte schließlich einen grundlegenden Wandel in den Vorstellungen über die kortikotomieunterstützte Bewegung von Zähnen zur Folge. In diesem bahnbrechenden Fallbericht wurde die Behandlung von 2 erwachsenen Patienten beschrieben, bei denen Kortikotomien selektiv durchgeführt und der Alveolarfortsatz mit resorbierbaren alloplastischen Materialien augmentiert wurde, um den Knochen zu erhöhen und das Risiko von Knochendehiszenzen zu verringern. Nach der Mobilisierung von lingualem und bukkalem Mukoperiostlappen wurde die Kortikalis mithilfe von rotierenden chirurgischen Instrumenten interproximal vertikal durchtrennt und mit vielen Löchern perforiert, um eine starke Blutung auszulösen. Durch die exakte Untersuchung mithilfe von vor und nach der Behandlung angefertigten computertomografischen Scans und, in einem Fall, auch von histologischen Schnitten war es den Autoren möglich, eine neue Hypothese darüber aufzustellen, was innerhalb des Knochens nach einer Kortikotomie tatsächlich vor sich geht. Dabei kommt es nicht zur Bewegung von Blöcken aus Knochen und Zähnen, sondern zu einer vorübergehenden Demineralisation des alveolären Knochengewebes und zu Veränderungen, die Frost [10–13] im Zusammenhang mit der Heilung von Knochenfrakturen beschrieben und als „regionales Beschleunigungsphänomen“ („regional accelerated phenomenon“) bezeichnet hatte.

Das von Wilcko u. Mitarb. vorgestellte chirurgisch-kieferorthopädische Verfahren ist inzwischen unter der Bezeichnung „parodontal beschleunigte osteoneogenetische Kieferorthopädie“ („periodontally accelerated osteogenic orthodontics“) patentiert worden.

Dieses Verfahren nimmt für sich in Anspruch zu folgenden Ergebnissen zu führen:

1. beschleunigte Bewegung von Zähnen und kürzere Behandlungsdauer,
2. osteoneogenetische Veränderungen mit Verschiebung der Knochenmatrix und nachfolgender Verbesserung der hart- und weichgewebigen Unterstüzung der kieferorthopädisch behandelten Zähne und
3. Verbesserung der Kurz- und Langzeitstabilität der kieferorthopädischen Behandlungsergebnisse.

Dies wurde inzwischen in einer großen Anzahl von Studien untersucht.

## Das regionale Beschleunigungsphänomen



Beim regionalen Beschleunigungsphänomen handelt es sich nach Frost um einen Heilungsprozess, bei dem durch eine komplexe Kaskade von Ereignissen 2 wichtige Veränderungen im Knochengewebe ausgelöst werden: a) eine Beschleunigung der Turnover-Rate von Weich- und Hartgeweben und b) eine vorübergehend verminderte regionale Knochendichte (Osteopenie).

Unter normalen Bedingungen ist die Anzahl der Osteoklasten und Osteoblasten in einer bestimmten Knochenregion ausreichend hoch, um die grundlegenden Vitalfunktionen zu garantieren. Nach einer ausreichend starken Schädigung des Knochengewebes (entweder traumatisch oder chirurgisch) reicht die vorhandene Menge an Zellen nicht aus, um eine Heilung sicherzustellen. Aus diesem Grund setzt das regionale Beschleunigungsphänomen ein. Dessen Intensität hängt von der Stärke der

Knochenschädigung ab. Es handelt sich dabei um einen Mechanismus, durch den die Anzahl der Zellen und deren notwendige Aktivität rasch ansteigen. Die erhöhte Aktivität der Osteoklasten hat dabei eine Verminderung der Knochendichte zur Folge und stimuliert auf diese Weise die Osteoblasten. Der Prozess setzt einige Tage nach dem Eintritt der Schädigung ein und erreicht innerhalb der ersten 30–60 Tage seinen Höhepunkt. In den darauf folgenden 4–5 Monaten nimmt diese Aktivität dann langsam wieder ab.

Was geschieht nun im Bereich des Alveolarknochens und auf welche Weise wird dadurch die kieferorthopädische Bewegung von Zähnen beeinflusst?

Erste Studien von Verna u. Mitarb. [15] konnten zeigen, dass die kieferorthopädische Bewegung von Zähnen bei Ratten mit der Turnoverrate des Alveolarknochens direkt in Verbindung steht. Shih u. Mitarb. [16] konnten bei Hunden (Beagle) und Yaffe u. Mitarb. an Wistarratten nach der Mobilisation von Mukoperiostlappen einen gesteigerten Knochenmetabolismus nachweisen.

In jüngerer Zeit wurde durch mehrere Untersuchungen an Tieren versucht, die Reaktionen des Alveolarknochens auf eine Dekortikation in Verbindung mit einer kieferorthopädischen Bewegung von Zähnen zu klären. Die Reaktionen des Knochens scheinen dabei bei großen und kleinen Tieren unterschiedlich auszufallen. Histologische Studien an Ratten [18–22] konnten nachweisen, dass es nach einer Kortikotomie zu einem dramatischen Anstieg der Osteoklasten, zu einer vorübergehenden Demineralisierung (Osteopenie) und zu Porositäten in der Kortikalis kommt. Dieser Demineralisierungsprozess konnte bisher weder bei Hunden [23–27] noch bei Katzen [28] beobachtet werden. Bei diesen Tieren sind außerdem unterminierende Resorptionen seltener und es kommt zu einer geringeren Hyalinisierung. Hier scheint eine Kortikotomie ein regionales Beschleunigungsphänomen auszulösen, das die Intervention von Makrophagen erhöht, wodurch Hyalin rasch abgebaut werden kann. Gleichzeitig erhöht sich die katabole Aktivität der Osteoklasten, wodurch die Kortikalis in der knöchernen Alveole rasch resorbiert und der Umbau des Knochens angeregt wird. Als Folge dieser Veränderungen lassen sich Zähne schneller bewegen.

Eine Frage ist bisher allerdings noch offen: „Verläuft das regionale Beschleunigungsphänomen beim Menschen ähnlich oder anders als bei Tieren?“

Wie lange das regionale Beschleunigungsphänomen nach einer Kortikotomie im Alveolarknochen andauert, ist immer noch nicht bekannt. Es scheint allerdings zeitlich begrenzt zu sein. In einer Untersuchung von 13 erwachsenen Patienten [32] war die Retraktionsrate für obere Eckzähne in der kortikotomierten Kieferhälfte während der ersten beiden Monate doppelt so hoch, wie in der Vergleichshälfte. Diese verringerte sich im dritten Monat auf das 1,6-fache und im vierten Monat auf das 1,06-fache (also auf beiden Seiten etwa gleich schnell). Die Autoren sahen sich durch ihre Beobachtungen darin bestätigt, dass das regionale Beschleunigungsphänomen von vorübergehender Dauer ist. Dies wird von der Mehrzahl der Studien bestätigt, die sich mit den Veränderungen im Knochen nach einer Kortikotomie auf histologischer Ebene beschäftigt haben.

Wilcko [33–35], Dibart [22] und Murphy [32] waren der Ansicht, dass durch eine Kortikotomie das regionale Beschleunigungsphänomen angeregt wird. Durch die ausgeübten kieferorthopädischen Kräfte, die eine konstante mechanische Stimulation darstellen, wäre es möglich, den vorübergehend demineralisierten Zustand des Knochens länger aufrecht zu erhalten und damit

auch den Zeitraum zu verlängern, in dem Zähne schneller bewegt werden können. Um diesen Mechanismus auszulösen empfahlen sie, Patienten häufig (alle 2 Wochen) einzubestellen und dabei die kieferorthopädischen Kräfte jedes Mal zu aktivieren. Andernfalls würde der Heilungsprozess durch Remineralisierung des Knochens zum Abschluss kommen und der Knochenmetabolismus sich wieder auf ein normales Niveau einstellen. Diese Vorstellung konnte bisher jedoch weder klinisch noch histologisch bestätigt werden.

Andere Autoren [65] haben demgegenüber vorgeschlagen, diesen Effekt dadurch zu verlängern, dass der chirurgische Eingriff im Verlauf der kieferorthopädischen Behandlung mehrmals durchgeführt wird. Sanjideh u. Mitarb. [28] untersuchten Foxhounds im Rahmen einer Split-Mouth-Studie. Dabei wurden Extraktionslücken von Prämolaren in nur einer Kieferhälfte nach einer Kortikotomie geschlossen. Im Oberkiefer verlief die Zahnbewegung zwischen dem 22. und dem 25. Tag am schnellsten. In dieser Zeit bewegten sich die Zähne auf der kortikotomierten Seite um 85% schneller und doppelt so weit wie auf der Kontrollseite. Danach glichen sich die Werte kontinuierlich wieder an. Im Unterkiefer wurde 28 Tage nach der ersten eine weitere Kortikotomie durchgeführt. Dadurch bewegten sich die Zähne länger schneller und weiter. Die Unterschiede waren jedoch so gering, dass der zweite chirurgische Eingriff im Nachhinein nicht gerechtfertigt erschien.

Diese Vorschläge und Ergebnisse müssen allerdings noch durch weitere Studien untersucht werden, um mögliche Vorteile und Risiken abschätzen zu können.

Ein weiterer wichtiger Punkt bei der gezielten chirurgischen Schädigung des Knochens ist die Ausdehnung der Schädigung und die Stärke der dadurch ausgelösten Reaktionen. Nach den Untersuchungen an Tieren [28] scheint klar zu sein, dass die Veränderungen im Knochen mit der Stärke der Schädigung korrelieren (je stärker die Schädigung, desto stärker die Reaktion). Diese scheint jedoch auf die geschädigten Bereiche begrenzt zu sein. Dies könnte durchaus Einfluss auf die kieferorthopädische Bewegung von Zähnen haben.

### Das regionale Beschleunigungsphänomen und die Dauer einer kieferorthopädischen Behandlung



Beim Versuch, die Dauer einer kieferorthopädischen Behandlung zu beurteilen, spielen unterschiedliche Aspekte eine Rolle [41–44]. So hängt die Behandlungsdauer etwa von der Schwere der Dysgnathie und der Zahnfehlstellungen, dem Alter eines Patienten, von unterschiedlichen Reaktionen auf Behandlungsmaßnahmen, der Qualität des Behandlungsergebnisses und der Compliance des Patienten ab.

Auf der anderen Seite muss man sich darüber im Klaren sein, dass es in Hinblick auf die Bewegung von Zähnen große Unterschiede zwischen Patienten gibt. Es konnte nachgewiesen werden [15, 33–40], dass die Geschwindigkeit, mit der ein Zahn bewegt werden kann, von den Umbauvorgängen im Knochen und der individuellen Reaktion eines Patienten auf mechanische Kräfte bestimmt wird, nicht jedoch von der Stärke der ausgeübten Kräfte.

Inzwischen liegen viele Fallberichte vor, die zeigen, wie sich die Behandlungsdauer bei Patienten durch Kortikotomien verkürzen lässt. Solche Einzelfallberichte haben jedoch nur eine geringe wissenschaftliche Aussagekraft. Die einzige Möglichkeit, darüber allgemein gültige Aussagen zu treffen, wäre eine randomisierte

klinische Studie, in der vergleichbare Patienten mit und ohne Kortikotomie behandelt werden. Dabei müssten dieselben Apparaturen verwendet werden und die Behandlungsergebnisse qualitativ vergleichbar sein. Eine solche Studie ist bisher allerdings noch nicht durchgeführt worden.

Nach den Ergebnissen der oben besprochenen Studien scheint es so zu sein, dass der Knochenstoffwechsel nach einer Dekortikation 4–6 Monate lang beschleunigt ist. Daher kann auch die Bewegung von Zähnen während einer Behandlung nur in einem begrenzten Zeitraum beschleunigt werden.

Eine voraussichtlich lange dauernde Behandlung (klassisch bspw. 24–30 Monate) kann wahrscheinlich mithilfe der Kortikotomie um einige Monate verkürzt werden. Im umgekehrten Fall, also bei einer voraussichtlich eher kurzen Behandlungsdauer, wird eine Kortikotomie diesen Zeitraum wahrscheinlich ebenfalls verkürzen. Allerdings in welchem Ausmaß? Wie bereits ausgeführt, ist die Wirkung einer Kortikotomie kaum vorherzusehen. Aus ethischer Sicht ist die Dauer einer Behandlung sicherlich ein wichtiger Aspekt einer kieferorthopädischen Therapie. Allerdings darf die Geschwindigkeit unter keinen Umständen zulasten eines qualitativ guten Behandlungsergebnisses gehen. In jedem Fall ist sorgfältig abzuwägen, ob die Einsparung einiger Monate den Aufwand und die Risiken wirklich wert ist. Wir sind jedenfalls der Ansicht, dass Qualität immer wichtiger ist als Schnelligkeit.

Jetzt könnte man natürlich fragen, warum man eigentlich überhaupt eine Kortikotomie durchführen sollte. Ein Aspekt der chirurgischen Intervention und des damit einhergehenden regionalen Beschleunigungsphänomens, der bisher eher selten angesprochen wurde, ist die Tatsache, dass sich durch eine Kortikotomie der Widerstand gegen eine Bewegung von Zähnen verringert. Ein „kortikotomierter“ Zahn benötigt weniger Verankerung, um bewegt zu werden.

Spena u., Mitarb [60, 61] konnten in 2 Untersuchungen an insgesamt 12 erwachsenen Patienten mit Dysgnathien der Klasse II,

bei denen die oberen Molaren distalisiert wurden, zeigen, wie sich obere Molaren mit einfacher bukkaler Mechanik und ohne anteriore Verankerung bewegen lassen. Die Kortikotomien wurden dabei nur an den Zähnen durchgeführt, die bewegt werden sollten. Auf diese Weise konnte der Widerstand gegen die distalisierenden Kräfte und der Bedarf an Verankerung verringert werden.

Oliveira u. Mitarb. [77] kamen zu dem Schluss, dass Kortikotomien, obwohl ursprünglich zur Verkürzung der Behandlungsdauer angelegt, durchaus dazu dienen können, „die Durchführung mechanisch schwieriger kieferorthopädischer Bewegungen zu unterstützen und die Korrektur mittelschwerer bis schwerer skelettaler Malokklusionen zu erleichtern“. Wir können dieser Einschätzung nur zustimmen. Eine Dekortikation im Alveolarfortsatz sollte im Rahmen einer kieferorthopädischen Behandlung nicht nur mit dem Ziel durchgeführt werden, die Bewegung von Zähnen zu beschleunigen und die Behandlungsdauer zu verkürzen. Eine kürzere Behandlungsdauer sollte als zusätzlicher „Bonus“ angesehen werden, der sich ohnehin nur bei solchen „einfachen“ Fällen einstellt, die sowieso in kürzerer Zeit behandelt werden können.

### Parodontal unterstützte Kieferorthopädie

Die Bezeichnung „parodontal unterstützte Kieferorthopädie“ beschreibt ein Verfahren, das hauptsächlich die „Vereinfachung“ und die „Verbesserung“ von kieferorthopädischen Zahnbewegungen zum Ziel hat, die in biomechanischer und biologischer Hinsicht schwierig oder riskant sind. Dabei bestimmen in jedem einzelnen Fall die jeweils vorliegenden Probleme und die Behandlungsziele das chirurgische Vorgehen, die kieferorthopädische Therapie und die Biomechanik.



**Abb. 1** Schematische Darstellung der Schnittführung: Vertikal verlaufende interproximale Schnitte werden mit horizontal oberhalb der Wurzelspitzen verlaufenden Schnitten verbunden.

**Abb. 2** Kortikotomie mithilfe eines Ultraschallaufsatzes: vertikale und horizontale Schnitte.



**Abb. 3** Patient mit 8 fehlenden Prämolaren. Die oberen Eckzähne ließen sich nur schwer nach mesial bewegen. Zur Verbesserung der Beweglichkeit dieser Zähne wurden Kortikotomien mesial und distal sowie bukkal und palatinal durchgeführt. Nach dem operativen Eingriff ohne Aufklappung ließen sich die Eckzähne leichter bewegen, aber es kam zur Kippung der Zähne.

**Abb. 4** Patient mit 8 fehlenden Prämolaren. Die oberen Eckzähne ließen sich nur schwer nach mesial bewegen. Zur Verbesserung der Beweglichkeit dieser Zähne wurden Kortikotomien mesial und distal sowie bukkal und palatinal durchgeführt. Nach dem operativen Eingriff ohne Aufklappung ließen sich die Eckzähne leichter bewegen, aber es kam zur Kippung der Zähne.

## Das chirurgische Verfahren



### A. Kortikotomie

In der Mehrzahl der Fälle ist eine Lappenoperation die Methode der Wahl. Ein Mukoperiostlappen lässt sich leicht an den parodontalen Zustand eines Patienten anpassen. Das Ziel ist dabei ein einfacher Zugang zum Operationsgebiet, eine optimale Bedeckung des Augmentationsmaterials und die Ästhetik der Gingiva. Auf der bukkalen Seite wird ein solcher Lappen von koronal in voller Stärke bis zu 2–3 mm über den apikalen Bereich der Zähne (der Bereich, der kortikotomiert werden soll) hinweg mobilisiert. In den übrigen Bereichen wird dieser Lappen als Spaltlappen präpariert, um seine Mobilität sicherzustellen. Nach Abschluss des chirurgischen Eingriffs muss der Lappen zugreifbar adaptiert werden, damit der kortikotomierte Bereich optimal abgedeckt und die Heilung der Weichgewebe gefördert wird. Der Lappen wird schließlich mit nicht resorbierbarem Nahtmaterial aus Gore-Tex fixiert. Diese Nähte werden frühestens nach 10–14 Tagen entfernt.

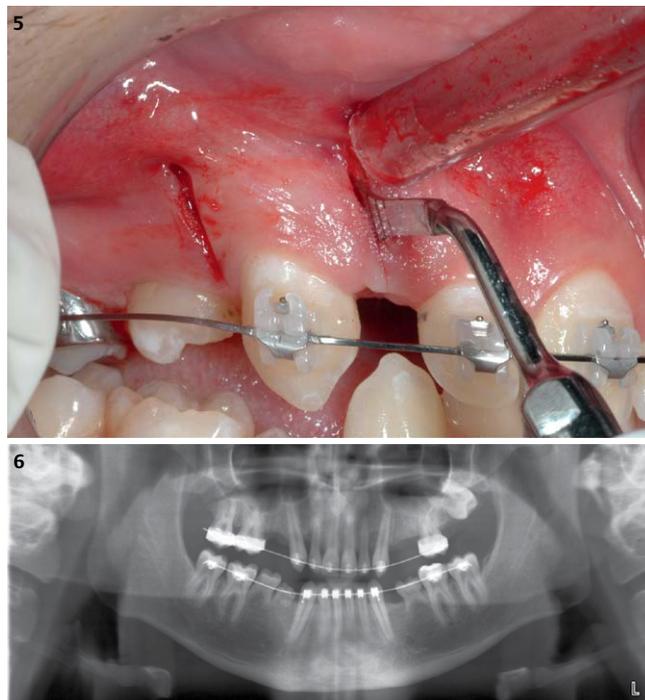
Die Dekortikation des Alveolarfortsatzes wird mit genormten Ultraschallaufsätzen durchgeführt. Seit Beginn dieses neuen Jahrhunderts ist die Ultraschallchirurgie in der Parodontal- und der Gesichtschirurgie weit verbreitet. Die Aufsätze zerteilen den Knochen mithilfe niederfrequenter Ultraschallwellen und erlauben gezielte Schnitte im Mikrometerbereich. Der durch die oszillierenden Spitzen verursachte Kavitationseffekt und eine gute Spülung verhindern die Entstehung von hitzegeschädigten oder nekrotischen Stellen. Studien am Tiermodell [44–47] konnten zeigen, dass ein chirurgischer Eingriff im Alveolarfortsatz mithilfe von Ultraschallaufsätzen eine aktivere Osteoneogenese und die Bildung von mehr internem knochenbildendem Gewebe anregt. Im Vergleich zu rotierenden Instrumenten kommt es auch zu geringeren Entzündungserscheinungen. Die Untersuchung einer großen Anzahl an Patienten [50] hat erst vor kurzem ergeben, dass nach einem ultraschallchirurgischen Eingriff weniger Fenestrationen und Dehiszenzen entstehen. Außerdem ist die Ultraschallchirurgie deutlich weniger traumatisch und mit geringeren Risiken für den Patienten behaftet. Ein weiterer Grund für die abnehmende Verbreitung von rotierenden chirurgischen Instrumenten ist die höhere Gefahr, mit ihnen Weichgewebe, Gefäße und Nerven zu schädigen.

Eine Dekortikation wird nur an den Zähnen durchgeführt, die schneller bewegt werden sollen. Dabei werden interproximal vertikale Schnitte von 2 mm unterhalb des knöchernen Alveolarrandes bis etwa 1–2 mm über den Apikalbereich eines Zahnes hinaus angelegt und mit horizontalen, jenseits des Apex verlaufenden, Schnitten verbunden (Abb. 1, 2). Diese Schnitte sind etwa 2–3 mm tief und reichen gerade in die Spongiosa hinein. Durch Abtragen der Kortikalis wird, im Gegensatz zu vielen Perforationen, ein starkes regionales Beschleunigungsphänomen ausgelöst und ein mit Blut gefülltes Lager erzeugt, in das schließlich das Augmentationsmaterial eingebracht wird.

Wie bereits ausgeführt, beschränkt sich die Reaktion der Gewebe auf das geschädigte Areal [28]. Dies kann Einfluss auf die Art der Zahnbewegung haben. Bei einer gewünschten körperhaften Bewegung eines Zahnes sollten die Kortikotomien bukkal und lingual angelegt werden. Bei anderen Bewegungen werden Kortikotomien nur in Richtung der gewünschten Bewegung (auf der Kompressionsseite) durchgeführt. Aus diesem Grund sind Kortikotomien niemals gleichförmig. Ihr Verlauf muss sowohl vom Kieferorthopäden, als auch vom Chirurgen aufgrund des parodontalen Zustandes

eines Patienten und unter Berücksichtigung von biomechanischen und biologischen Überlegungen geplant werden.

Zur Verminderung der Invasivität der Dekortikation und zur Verringerung von postoperativen Beschwerden nach Mobilisierung des Schleimhautlappens sind Verfahren wie die Corticision [62,63] oder die Piezocision [64,65] vorgeschlagen worden. Diese Verfahren mögen zwar auf den ersten Blick attraktiv erscheinen, sie haben jedoch auch ihre chirurgischen und biomechanischen Grenzen. Zu den chirurgischen Grenzen zählen dabei etwa Risiken, die bei der Arbeit in Regionen mit Engständen auftreten können, eine eingeschränkte Sicht beim Anlegen der Schnitte, die Begrenzung des Schnittverlaufs auf den Interproximalbereich und das mittlere Zahnwurzeltriertel, Probleme, die Position des Augmentationsmaterial in vertikaler Richtung zu kontrollieren und die Notwendigkeit, die befestigte Gingiva optimal an die kortikotomierte Region zu adaptieren. Die biomechanischen Grenzen stehen in direktem Zusammenhang mit der Tatsache, dass eine Kortikotomie nur auf der bukkalen Seite und im Bereich des mittleren Wurzeltrietels durchgeführt wird. Damit kann sich das regionale Beschleunigungsphänomen nicht über die gesamte Wurzellänge ausdehnen und es kommt eher zu einem unkontrollierten Kippen als zur körperhaften Bewegung eines Zahnes. Die Abb. 3–6 zeigten einen Patienten, bei dem ein oberer Eckzahn mithilfe einer Piezocision an den seitlichen Schneidezahn heranbewegt werden sollte, um ausreichend Platz



**Abb. 5** Patient mit 8 fehlenden Prämolaren. Die oberen Eckzähne ließen sich nur schwer nach mesial bewegen. Zur Verbesserung der Beweglichkeit dieser Zähne wurden Kortikotomien mesial und distal sowie bukkal und palatinal durchgeführt. Nach dem operativen Eingriff ohne Aufklappung ließen sich die Eckzähne leichter bewegen, aber es kam zur Kippung der Zähne.

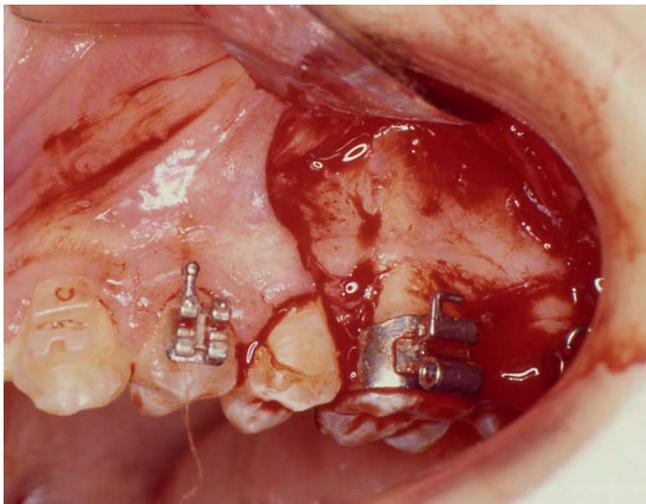
**Abb. 6** Patient mit 8 fehlenden Prämolaren. Die oberen Eckzähne ließen sich nur schwer nach mesial bewegen. Zur Verbesserung der Beweglichkeit dieser Zähne wurden Kortikotomien mesial und distal sowie bukkal und palatinal durchgeführt. Nach dem operativen Eingriff ohne Aufklappung ließen sich die Eckzähne leichter bewegen, aber es kam zur Kippung der Zähne.

für Implantate im Prämolarenbereich zu schaffen. Die erreichte Bewegung ist eine Kippung nach mesial. Handelt es sich bei diesen Verfahren eigentlich tatsächlich um minimalinvasive Eingriffe, wie von den Protagonisten der Methode propagiert wird?

## B. Augmentation

Die Augmentation des Alveolarfortsatzes wird in der Regel anhand klinischer und radiologischer Untersuchungen, der gewünschten Zahnbewegungen und der Auswirkungen auf das Parodont vor dem chirurgischen Eingriff geplant. Eine Augmentation ist allerdings nicht in jedem Fall erforderlich.

In Fällen mit dünnem Knochen und dünnem gingivalem Biotyp, bei denen riskante Zahnbewegungen wie etwa Expansionsbewegungen, labiale Protrusionen oder sagittale Zahnbewegungen in Knochen mit geringem Volumen durchgeführt werden sollen, kann eine Augmentation des Alveolarfortsatzes angezeigt sein, um die Entstehung von Fenestrationsen und Dehiszenzen zu verringern oder gar zu verhindern, um die Zahnwurzeln zusätzlich zu stützen und um die spätere Ästhetik und Stabilität zu verbessern. Fenestrationsen und Dehiszenzen im Alveolarfortsatz kommen bei jeder Form der Dysgnathie gehäuft vor (Abb. 7). Besonders oft treten sie bei Fällen der Klasse II und hyperdivergenten Fällen auf [82, 83].



**Abb. 7** Klinisches Fallbeispiel: Kortikotomie zur Unterstützung der Distalisierung von Molaren. Defekte im Alveolarfortsatz an der mesialen Wurzel des oberen ersten Molaren. Solche Dehiszenzen und Fenestrationsen treten sehr häufig auf und müssen augmentiert werden.



**Abb. 8** Kombiniertes Augmentationsmaterial mit Wachstumsfaktoren vermischt und auf einem kortikotomierten Bereich des Alveolarfortsatzes platziert.

Die Augmentation kann Hart- und Weichgewebe sowie autologe Wachstumsfaktoren beinhalten. Qualität und Quantität einer Augmentation können während des chirurgischen Eingriffs an den klinischen Zustand des Operationsgebietes angepasst werden. Generell lässt sich sagen, dass bevorzugt kombinierte Augmentationsmaterialien, bei denen allogener Knochen (Knochen aus menschlichen Leichen, gefriergetrocknet zur Verringerung der Abstoßungsreaktion und demineralisiert zur Freilegung des Kollagens und seiner Wachstumsfaktoren wie etwa knochenmorphogenetische Proteine, BMP) mit osteoinduktiven Eigenschaften zusammen mit xenogenem Knochen (in der Regel aus Rindern, stellt eine physikalische Matrix für die Bildung neuen Knochengewebes dar und verhindert seine rasche Resorption) mit osteokonduktiven Eigenschaften verwendet werden sollten (Abb. 8).

Bei dünnem Biotyp oder bestehenden Gingivarezessionen sollten zusätzlich auch die Weichgewebe augmentiert werden. Bei kleineren Defekten ist ein autologes Bindegewebestransplantat die Methode der Wahl. Größere Defekte werden besser mit allogener azellulärer dermaler Matrix versorgt. Diese steht in unterschiedlichen Größen und Dicken zur Verfügung und wird mit resorbierbaren Nähten fixiert (Abb. 9).

Die Augmentationsmaterialien aus Knochen- und Weichgewebe werden mit autologen Wachstumsfaktoren kombiniert. Mit zunehmendem Lebensalter nimmt die Anzahl der Stammzellen im Körper rapide ab. Diese Zellen spielen jedoch bei Verletzungen und Heilungsprozessen eine wichtige Rolle. Untersuchungen konnten nachweisen [55], dass Wachstumsfaktoren aus plättchenkonzentriertem Plasma (PDGF, VEGF, TGF- $\beta$ 1, TGF- $\beta$ 2) die Anzahl der verfügbaren Stammzellen deutlich erhöhen und deren Aktivität anregen können.



**Abb. 9** Dicke allogene menschliche dermale Matrix mit Wachstumsfaktoren über einem Knochentransplantat platziert.



**Abb. 10** Fibringerinnsel aus aktiviertem und erwärmtem PRGF. Eine solche Membran wird in der Regel über einem Knochentransplantat und unter einem Weichgewebstransplantat platziert.

Bei unseren Patienten kommen bei der Augmentation nach Kortikotomie 2 Verfahren zum Einsatz: das PRF (Platelet Rich Fibrin) [56,57] und das PRGF (Platelet Rich in Growth Factors) [58,59]. Bei beiden handelt es sich um Blutzentrifugate, bei denen die Plasmaplättchen von den weißen und roten Blutzellen abgetrennt wurden.

PRF enthält Leukozyten und erzeugt Membrane mit einer leichten Kompression der zentrifugierten Fraktion. PRGF erlaubt die Trennung von 3 Fraktionen mit unterschiedlich hohen Konzentrationen an Plättchen. Diese können mit knöchernem Augmentationsmaterial gemischt (dadurch erhöhen sich Viskosität und Haftigenschaften des Materials, was seine Applikation erleichtert) oder in Verbindung mit weichgewebigen Materialien verwendet werden. Durch Aktivierung und Erwärmung der PRGF-Fraktion bilden sich Gerinnsel bzw. Membrane aus Fibrin (Abb. 10), mit deren Hilfe die Knochentransplantate in ihrer Position stabilisiert werden.

Knochentransplantate allein oder in Verbindung mit nicht resorbierbaren Membranen [78,79] erlauben nur eine eingeschränkte Kontrolle ihrer Lage in vertikaler Richtung und es kann ein weiterer chirurgischer Eingriff erforderlich werden. Es kann auch vorkommen, dass das Volumen des Knochens im apikalen Bereich zunimmt, anstatt auf Höhe des knöchernen Alveolarrandes und der Schmelz-Zement-Grenze.

**C. Kieferorthopädische Behandlung**

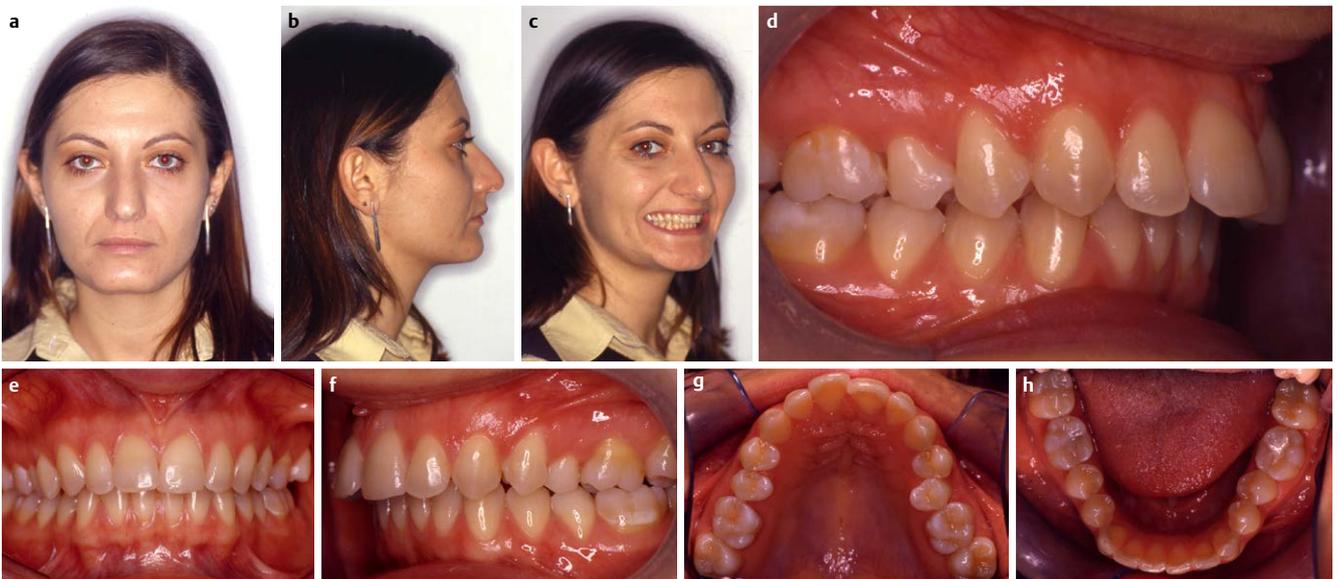
In Verbindung mit parodontal unterstützten kieferorthopädischen Verfahren kann eine Behandlung mit jeder festsitzenden oder herausnehmbaren Apparatur durchgeführt werden. Wir verwenden im Zusammenhang mit dem parodontal unterstützten

Verfahren festsitzende aktiv selbstligierende Apparaturen (Innovation®) mit dem neuen CCO-System [82]. Vorgehen und Wechsel der Drähte sind dabei mit jeder anderen kieferorthopädischen Behandlung vergleichbar. Zu Beginn sind keine großen Kräfte erforderlich. Für den Zeitpunkt der Bebänderung gibt es keine festen Regeln. In manchen Fällen werden die Apparaturen direkt nach Entfernung der Nähte eingesetzt. In anderen Fällen (etwa bei der Distalisierung oberer Molaren oder der Einstellung retinierter Zähne) werden die Geräte bereits mehrere Monate vor der Kortikotomie eingesetzt. Die durch das regionale Beschleunigungsphänomen ausgelöste raschere Bewegung der Zähne wird dabei genutzt, wenn sie gebraucht wird. Der Unterschied liegt darin, dass die Patienten nach dem chirurgischen Eingriff alle 2 Wochen einstellbar werden, anstatt, wie sonst üblich, alle 6–8 Wochen.

Das parodontal unterstützte kieferorthopädische Verfahren lässt sich auch einfach mit skelettalen Verankerungsgeräten kombinieren. Diese temporären Verankerungselemente dienen zur Erhöhung der Verankerung, während die Kortikotomien die Verankerung verringern.

Im vorliegenden Beitrag stellen wir insgesamt 7 unterschiedliche Fallbeispiele vor.

**Fall 1** (Abb. 11–23) stammt aus der ersten Gruppe von Patienten, die mithilfe der Segmentkortikotomie behandelt worden sind [61,62]. Diese erwachsene Patientin hatte eine Dysgnathie der Klasse II und wollte weder einen kieferorthopädisch-chirurgischen Eingriff durchführen, noch Zähne extrahieren lassen. Zu Beginn der Behandlung wurden alle 4 Weisheitszähne entfernt. Die Kortikotomien wurden bukkal und palatinal nur an den oberen ersten und zweiten Molaren durchgeführt, nachdem ein aktivierter rechteckiger Edelstahl Draht eingesetzt worden war.



**Abb. 11 a–h** Erwachsene Patientin mit schwerer Dysgnathie der Klasse II.



**Abb. 12 a, b** Orthopantomogramm und Fernröntgenseitenaufnahme vor Behandlungsbeginn. Die Patientin lehnte sowohl einen kieferorthopädisch-chirurgischen Eingriff als auch die Extraktion der oberen Prämolaren ab.

Damals wurden die Kortikotomien bei solchen Patienten noch mithilfe von rotierenden Instrumenten angelegt. Dabei wurden interdentale vertikal geführte Schnitte mit horizontal jenseits

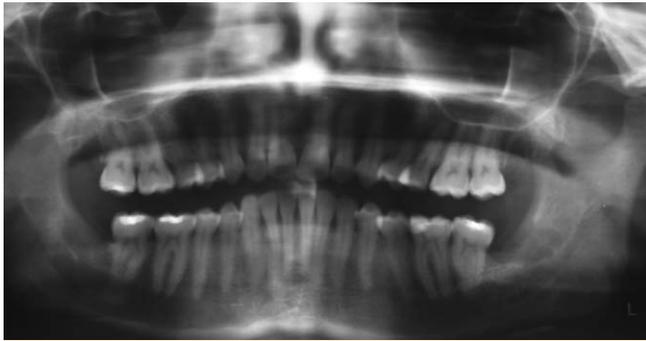


Abb. 13 Orthopantomogramm nach Entfernung der 4 Weisheitszähne.

der Wurzelspitzen verlaufenden Schnitten verbunden und die Kortikalis von bukkal und lingual mehrfach perforiert. Heutzutage schaben wir den Knochen mit Ultraschallaufsätzen und vermeiden solch riskante Perforationen des Knochens. Das Transplantat bestand aus Rinderknochen und wurde nur auf der bukkalen Seite eingebracht, um Dehiszenzen und die Perforationen zu überdecken. In dieser Region ist normalerweise keine Augmentation der Weichgewebe erforderlich. Die körperhafte Bewegung der Zähne nach distal wurde mithilfe von leicht komprimierten Federn aus NiTi-Draht zwischen den zweiten Prämolaren und den ersten Molaren durchgeführt. Dabei war keine Verankerung in der Front notwendig, was bestätigt, dass eine Kortikotomie den Widerstand von Molaren gegen eine Bewegung nach distal herabsetzt. Der Lückenschluss und die Verkleinerung der sagittalen Frontzahnstufe gelang mit einer Mechanik vom Begg-Typ.



Abb. 14 a–c Oberer und unterer Zahnbogen bebandert und mithilfe von 0,018×0,025 Drahtbögen aus Edelstahl ausgerichtet.

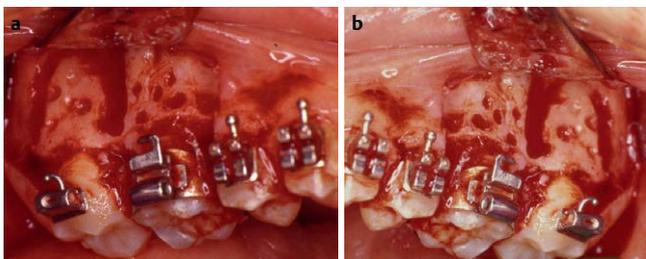


Abb. 15 a, b Bei diesem Fall wurden die Kortikotomien noch mit rotierenden chirurgischen Instrumenten durchgeführt. Interdentale vertikale Schnitte wurden mit horizontalen, oberhalb der Wurzelspitzen verlaufenden Schnitten verbunden und die Kortikalis bukkal und palatinal perforiert. Heutzutage wird die Kortikalis nicht mehr auf solch riskante Art perforiert, sondern mit Ultraschallaufsätzen abgeschabt.

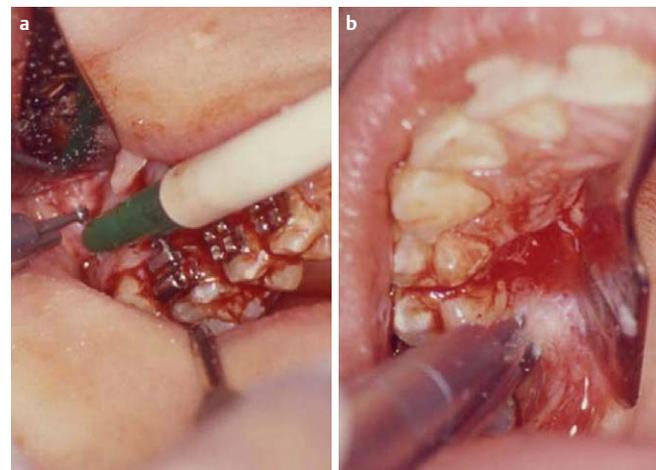


Abb. 17 a, b Die Kortikotomien werden stets bukkal und lingual angelegt, damit das regionale Beschleunigungsphänomen im Bereich der gesamten Zahnwurzel ausgelöst wird und der Zahn körperhaft bewegt werden kann.

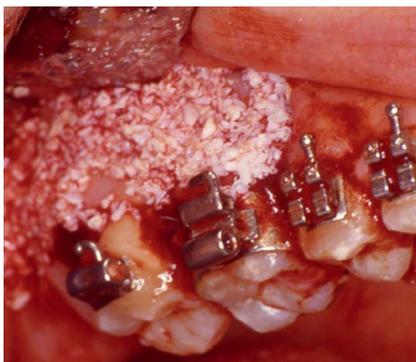
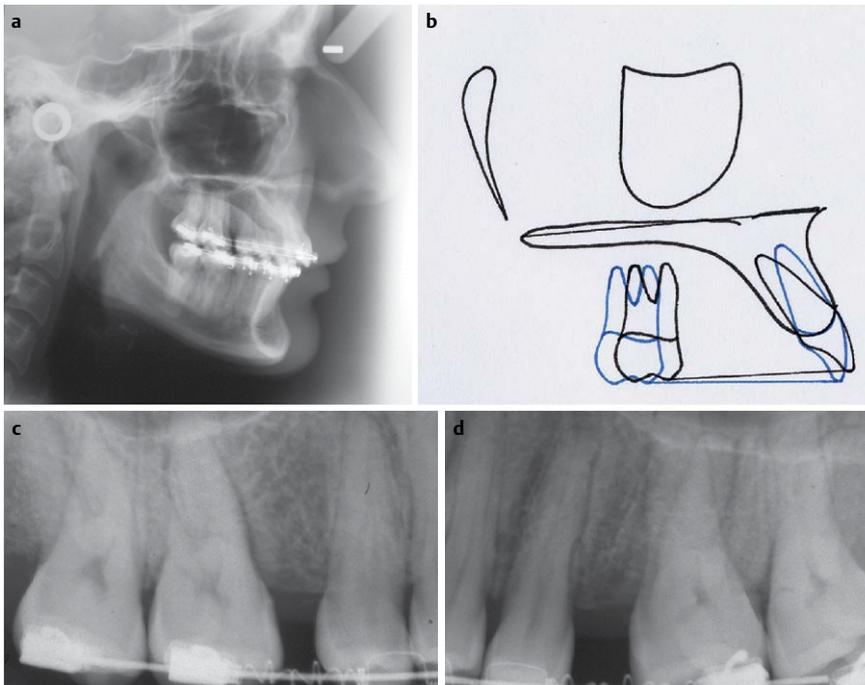


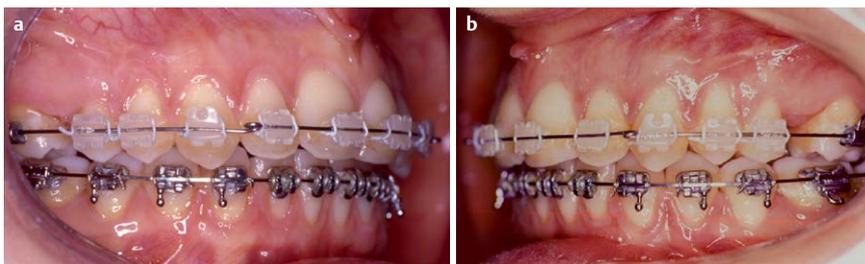
Abb. 16 Knöchernes Augmentationsmaterial bukkal zur Deckung von Dehiszenzen und den Perforationen. Zum Zeitpunkt dieses chirurgischen Eingriffs stand dafür nur Rinderknochen in Kochsalzlösung zur Verfügung. In dieser Region ist kein Weichteiltransplantat erforderlich.



**Abb. 18** a–c Distalisierung der oberen Molaren mit aktivierten NiTi-Federn ohne anteriore Verankerung.



**Abb. 19** a–d Die Fernröntgenseitenaufnahme, der Vergleich der Durchzeichnungen und die Einzelzahnaufnahmen zeigen, dass die Zähne körperhaft und ohne Anzeichen für Wurzelresorptionen bewegt werden konnten.



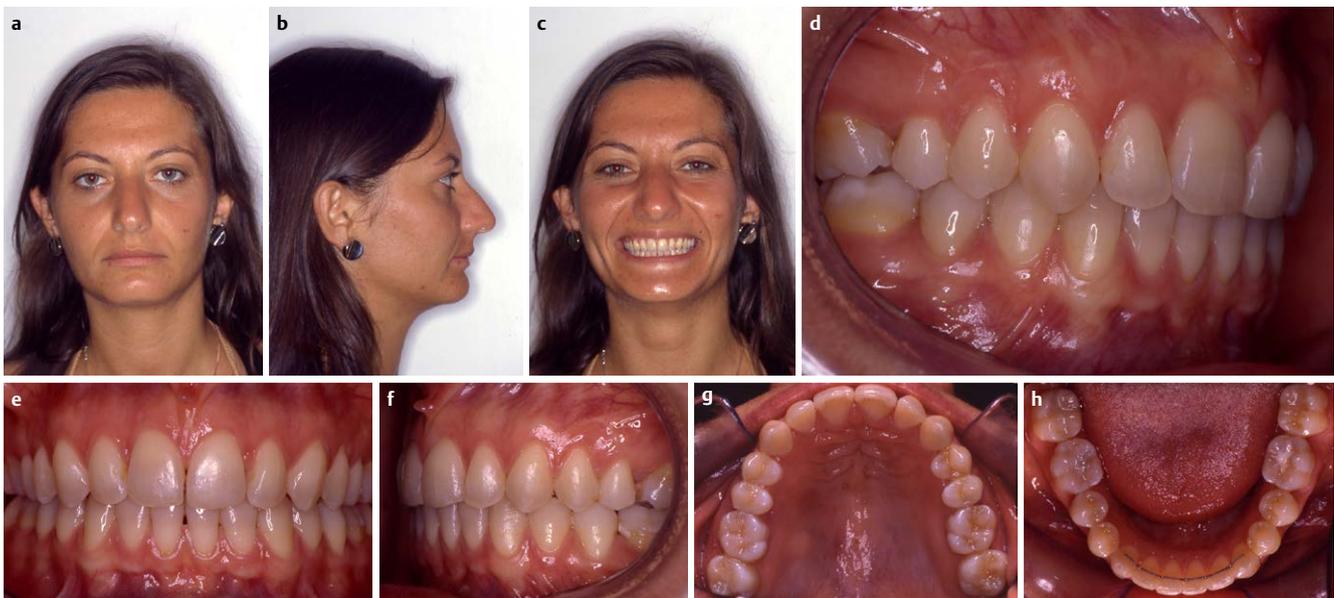
**Abb. 20** a, b Lückenschluss und Verkleinerung der sagittalen Frontzahnstufe mithilfe einer Mechanik vom Begg-Typ mit Verankerungskontrolle.

Bei **Fall 2** (☉ **Abb. 24–33**) handelt es sich um einen erwachsenen Patienten mit fehlenden oberen und unteren ersten Molaren. In den Extraktionsgebieten war der Knochen atrophiert und sollte wieder aufgebaut werden [85,86]. Bei der geplanten Behandlung sollten die Molaren mit einem Minimum an Verankerung nach mesial bewegt werden. Beim Schließen der Lücken im Unterkiefer gab es biomechanische Probleme. Die zu erwartende kieferorthopädische Bewegung der Zähne betrug etwa 0,30–0,50 mm monatlich und kann mit einem anterioren Verankerungsverlust und einer Verschiebung der Mittellinie einhergehen [88,89]. An den unteren zweiten Molaren wurde bukkal und lingual eine Dekortikation durchgeführt sowie im Alveolarfortsatz im Bereich der fehlenden ersten Molaren. Der Alveolarknochen wurde bukkal in Verbindung mit Wachstumsfaktoren in den Regionen augmentiert, in welche die Zähne nach mesial

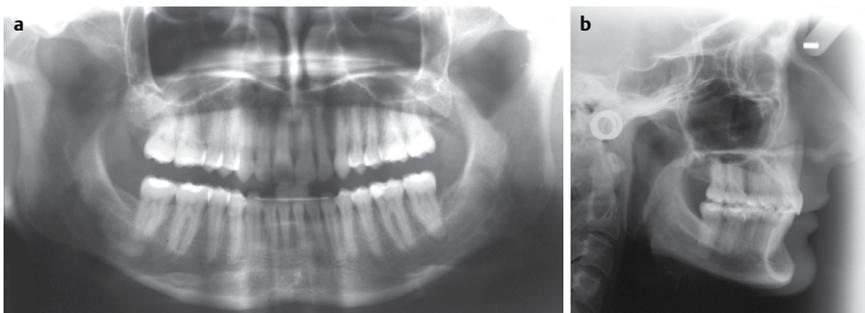
bewegt werden sollten. 10 Tage nach dem chirurgischen Eingriff wurde mit dem Schließen der Lücken mithilfe von selbstligierenden Apparaturen begonnen. Es kam keine anteriore Verankerung zum Einsatz. Nach erfolgreichem Lückenschluss wurde beschlossen, die anterioren Brackets um 180° zu versetzen und damit einen Torque von +6° an Stelle von -6° auszuüben. Auf diese Weise konnte die abschließende Ausrichtung der unteren Schneidezähne kontrolliert werden [90].

Bei **Fall 3** (☉ **Abb. 34–39**) – und **Fall 4** (☉ **Abb. 40–43**) handelt es sich um 2 Fälle von Transpositionen. Bei einem der beiden Fälle waren ein oberer Eckzahn und ein erster Prämolare betroffen, beim zweiten ein Schneide- und ein Eckzahn. Die Korrektur von transponierten Zähnen wird in der Fachliteratur kontrovers diskutiert [91–94]. Die Kombination von parodontal unterstützten Verfahren und Minischrauben zur skelettalen Verankerung ist

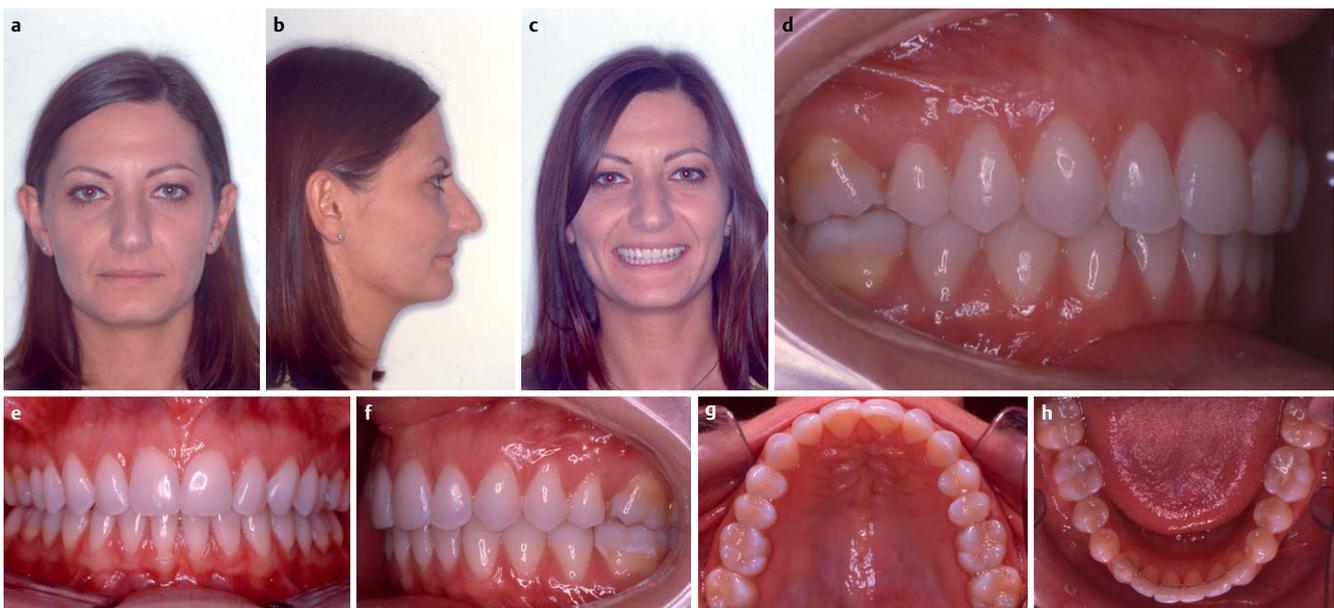
■ Korrektorexemplar: Veröffentlichung (auch online), Vervielfältigung oder Weitergabe nicht erlaubt! ■



**Abb. 21** a–h Intraoraler Zustand und Aussehen der Patientin nach Abschluss der Behandlung.



**Abb. 22** a, b Fernröntgenseitenaufnahme und Orthopantomogramm nach Abschluss der Behandlung.



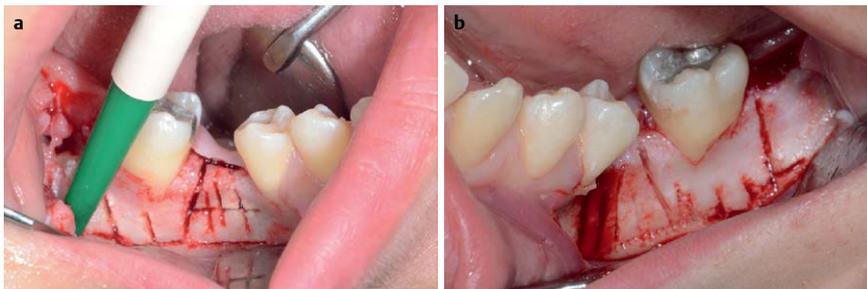
**Abb. 23** a–h Die Patientin 3 Jahre nach Abschluss der Behandlung. Die Okklusion ist sehr stabil.



**Abb. 24** a–g Jugendlicher Patient, 16 Jahre alt. Dysgnathie der Klasse II, alle 4 ersten Molaren fehlen.



**Abb. 25** a, b Röntgenaufnahmen vor Beginn der Behandlung.



**Abb. 26** a, b Kortikotomien an den unteren zweiten Molaren und im Bereich der extrahierten ersten Molaren.



**Abb. 27** Knöchernes Augmentationsmaterial und PRGF wurden nur von bukkal auf die kortikotomierten Bereiche aufgebracht. Es war kein Weichgewebsimplantat erforderlich.

dabei eine therapeutische Möglichkeit. Beim ersten Fall gelang die Mesialisierung des Eckzahnes durch Bewegung der Prämolarenwurzel nach palatinal mit einem Bracket am unteren Prämolaren, das einen Torque von  $-22^\circ$  aufwies.

**Fall 5** (Abb. 44–49) wurde auf speziellen Wunsch des Patienten mit herausnehmbaren Apparaturen behandelt, da aus beruflichen Gründen eine Behandlung mit festsitzenden Geräten nicht in Frage kam. In diesem Fall wurden die Apparaturen im Abstand von 6–7 Tagen aktiviert, an Stelle der sonst üblichen 2 Wochen.

Bei **Fall 6** (Abb. 50–58) und **Fall 7** (Abb. 59–65) handelt es sich wohl um die komplexesten klinischen Situationen, die im vorliegenden Beitrag vorgestellt werden. Dabei wurden die kieferorthopädischen Behandlungsmaßnahmen mit umfangreichen Kortikotomien und Augmentationsmaßnahmen für Knochen und Weichgewebe kombiniert, um Rezessionen zu decken und den knöchernen Alveolarrand in der Höhe aufzubauen. Die ausgeprägten skelettalen Störungen konnten ohne komplexe Biomechanik und mithilfe der Compliance der Patienten gut korrigiert werden.

Es zeigt sich, dass die Indikationen für ein parodontal unterstütztes Verfahren sehr unterschiedlich sein können und von den Behandlungszielen bestimmt werden. Es liegt in der Verantwortung des Kieferorthopäden und des Parodontologen, die vielfältigen Möglichkeiten dieses Verfahrens zu nutzen, den Patienten über die Möglichkeiten und die Risiken des chirurgischen Eingriffs aufzuklären und die Behandlung in der bestmöglichen Form durchzuführen.



**Abb. 28** a–q Kieferorthopädische Behandlung mit aktiven selbstligierenden Brackets und folgenden Drahtbögen: zuerst 0,016 Sentalloy, danach 0,020×0,020 Bioforce® und schließlich 0,019×0,025 Edelstahl mit Sentalloyfedern® zum Schließen der Lücken. Keine anteriore Verankerung.



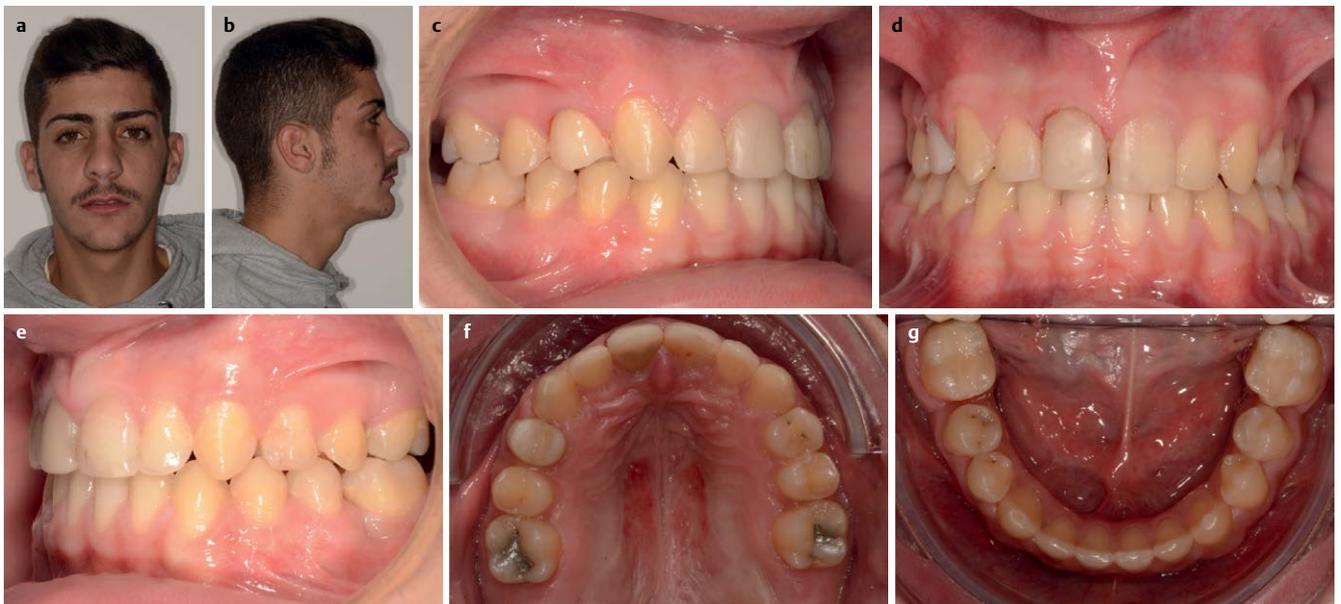
**Abb. 29** a, b Orthopantomogramm und Fernröntgenseitenaufnahme während der Behandlung zur Kontrolle des Lückenschlusses und der Verankerung. Der untere Schneidezahn befand sich in einer etwas vertikaleren Position.



**Abb. 30** Die Brackets an den unteren Schneidezähnen wurden gedreht, um einen Torque von +6° zu erhalten, mit dem die anteriore Verankerung verbessert werden konnte.



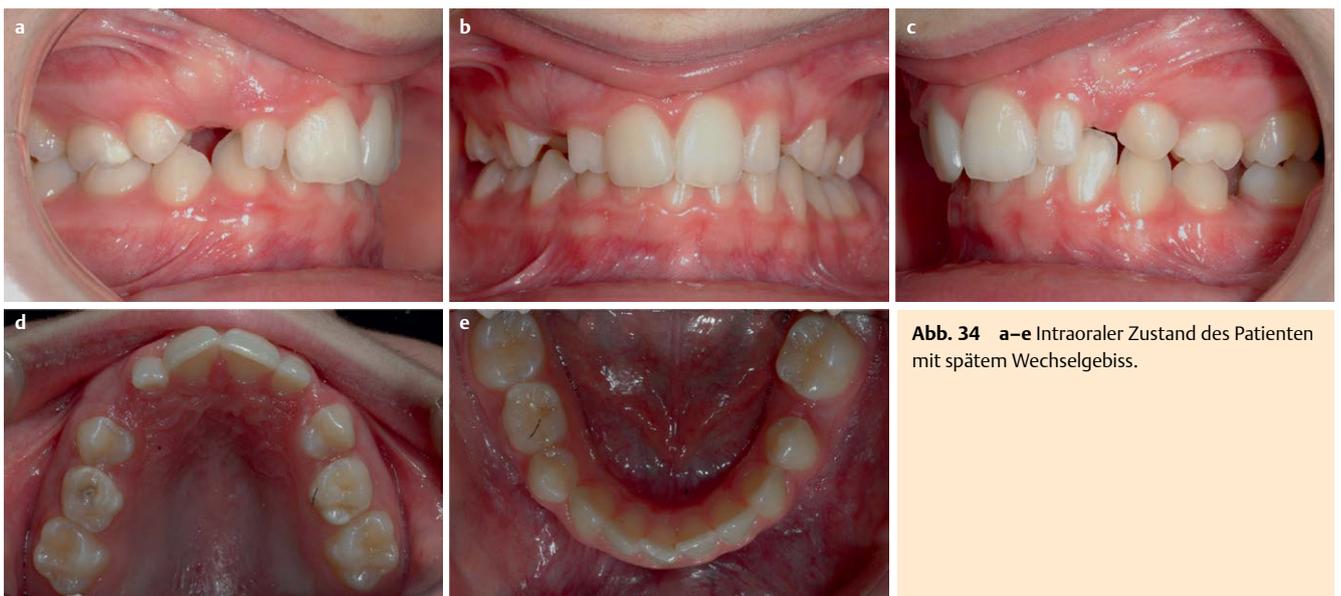
**Abb. 31** a–c Zustand nach erfolgreichem Lückenschluss.



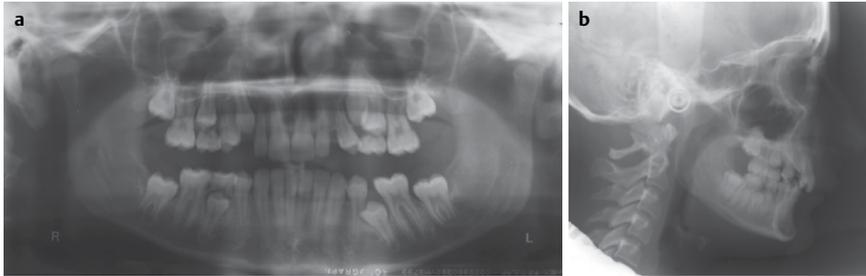
**Abb. 32** a–g Der Patient nach Abschluss der Behandlung. Die Lippen sind gut unterstützt.



**Abb. 33** a, b Röntgenaufnahmen nach Abschluss der Behandlung. Die Lücken konnten geschlossen und die anteriore Verankerung kontrolliert werden.



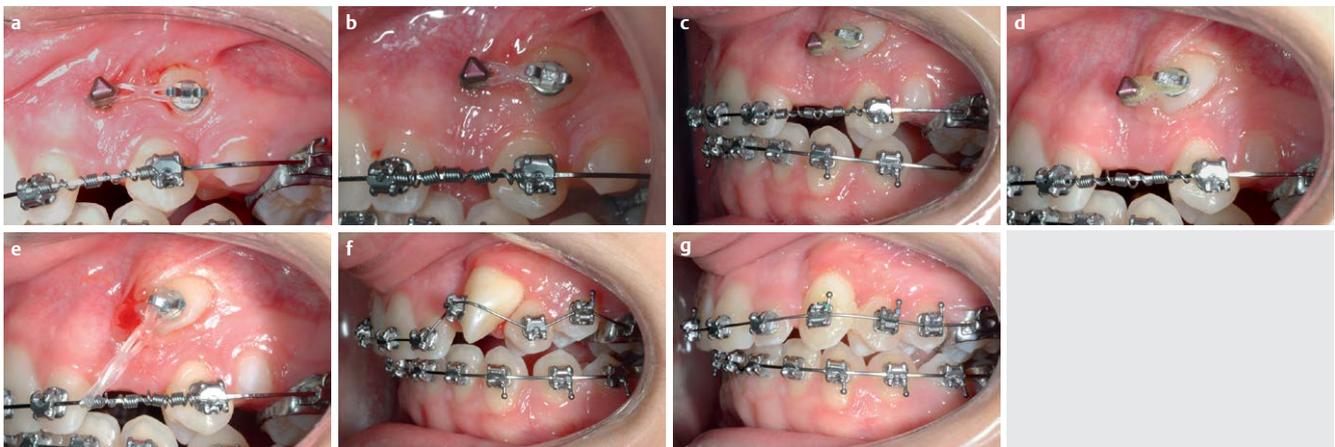
**Abb. 34** a–e Intraoraler Zustand des Patienten mit spätem Wechselgebiss.



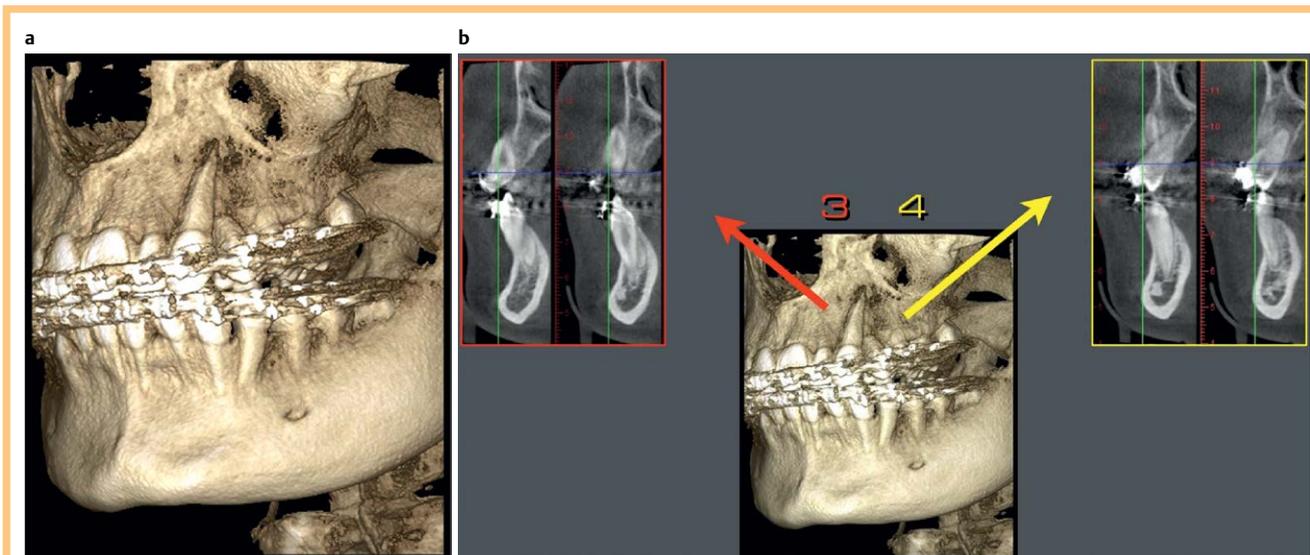
**Abb. 35** a, b Das Orthopantomogramm ließ eine Transposition des oberen linken Eckzahnes und des ersten Prämolaren erkennen.



**Abb. 36** a–c Nach einem halbmondförmigen Schleimhautschnitt konnten die Krone des Eckzahnes und die Wurzel des ersten Prämolaren freigelegt werden. Die Kortikotomie wurde mesial über die gesamte Wurzellänge ausgedehnt. Eine Augmentation war nicht erforderlich.



**Abb. 37** a–g Zwischen dem seitlichen Schneidezahn und dem Prämolaren wurde eine Minischraube eingesetzt. Ein Bracket für untere zweite Prämolaren wurde mit einem Torque von  $-22^\circ$  auf den oberen ersten Prämolaren geklebt. Der Eckzahn wurde mithilfe einer elastischen Kette nach mesial bewegt und danach in den Zahnbogen eingestellt.



**Abb. 38** a, b Das volumetomografische Bild (CBCT) zeigt die Position von Eckzahn und erstem Prämolaren direkt nach Korrektur der Transposition.

■ Korrektorexemplar: Veröffentlichung (auch online), Vervielfältigung oder Weitergabe nicht erlaubt! ■

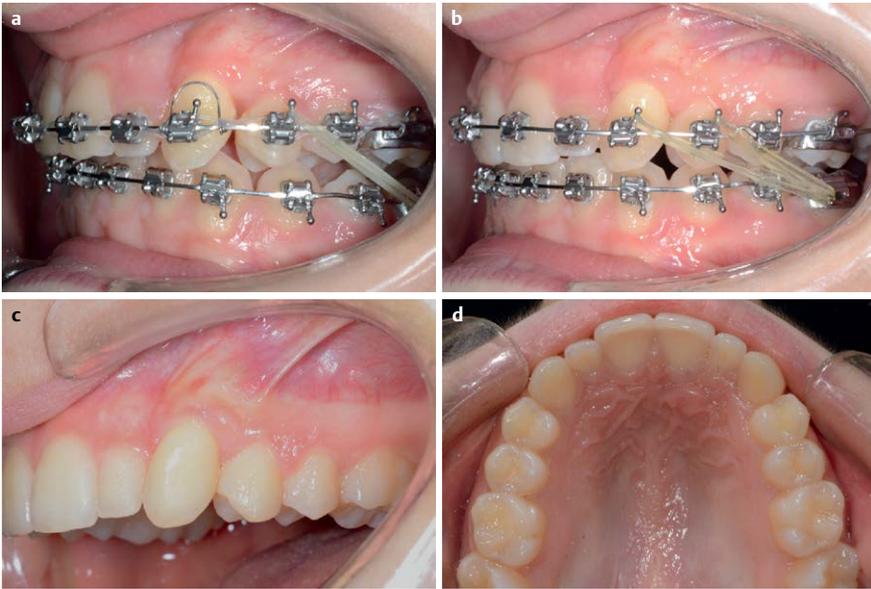


Abb. 39 a–d Abschließende Korrektur des Torque und Ergebnis der Korrektur.

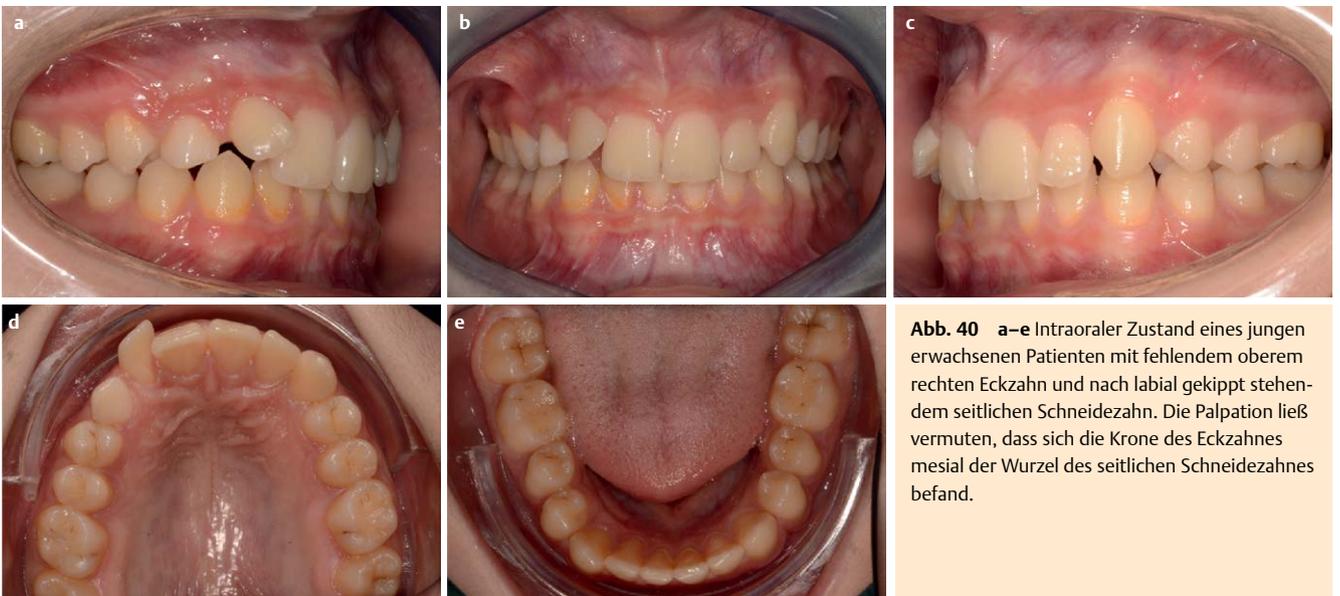


Abb. 40 a–e Intraoraler Zustand eines jungen erwachsenen Patienten mit fehlendem oberem rechten Eckzahn und nach labial gekippt stehendem seitlichen Schneidezahn. Die Palpation ließ vermuten, dass sich die Krone des Eckzahnes mesial der Wurzel des seitlichen Schneidezahnes befand.

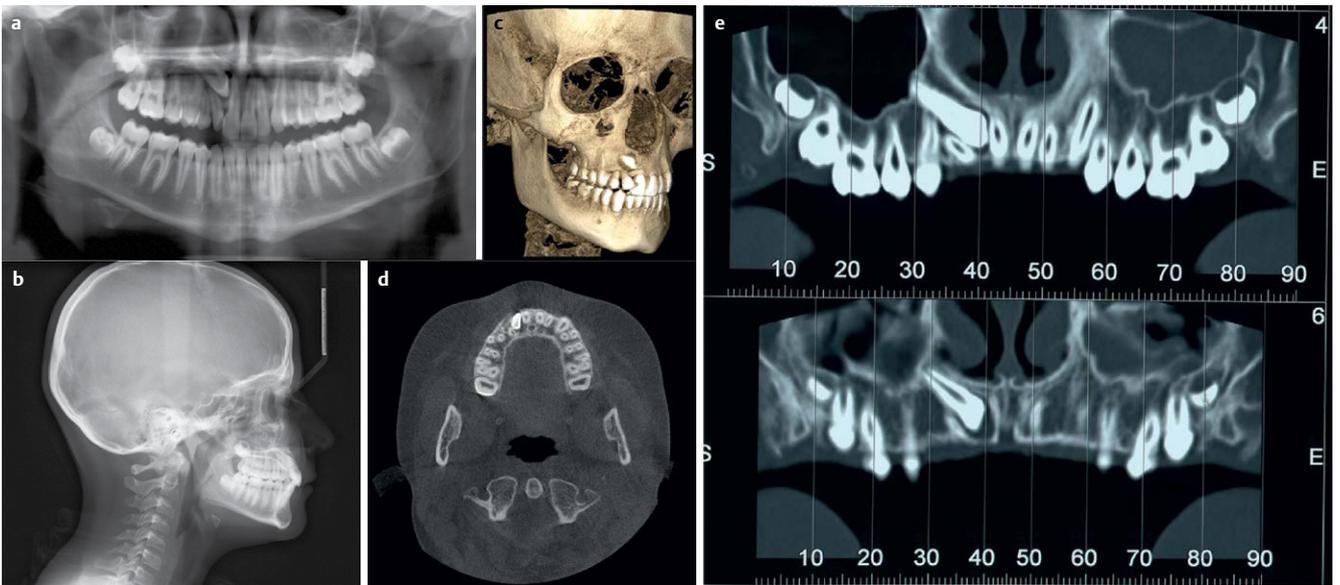
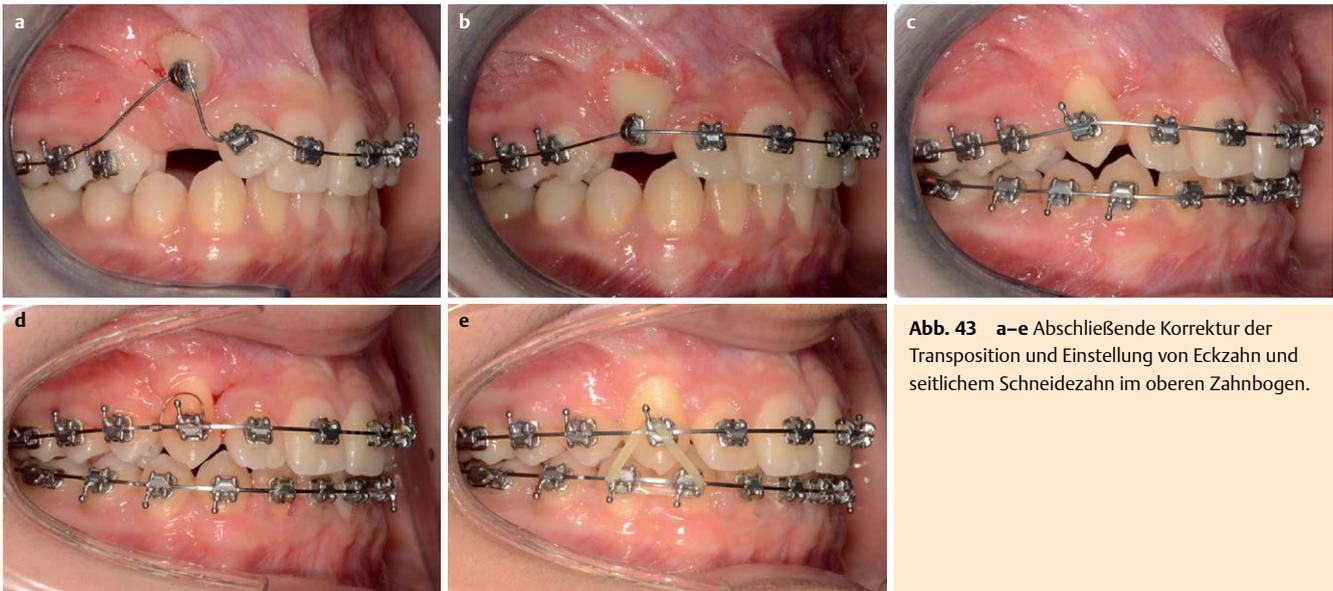


Abb. 41 a–e Röntgen- und volumetomografische Aufnahmen bestätigten die Transposition.

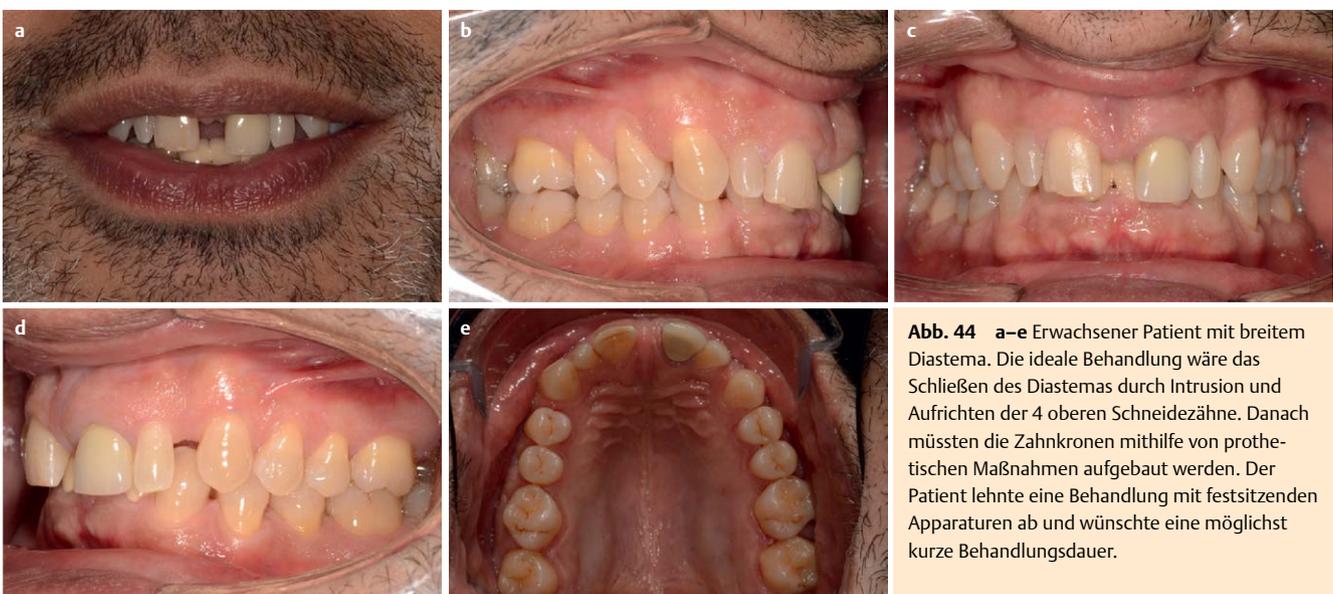
■ Korrektorexemplar: Veröffentlichung (auch online), Vervielfältigung oder Weitergabe nicht erlaubt! ■



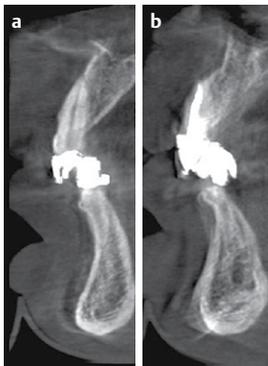
**Abb. 42** a–c Der obere Eckzahn wurde freigelegt und eine Kortikotomie an der distalen Seite seiner Zahnwurzel durchgeführt. Eine Augmentation war nicht erforderlich. Eine hoch im Vestibulum eingesetzte Minischraube half bei der Korrektur der Transposition.



**Abb. 43** a–e Abschließende Korrektur der Transposition und Einstellung von Eckzahn und seitlichem Schneidezahn im oberen Zahnbogen.



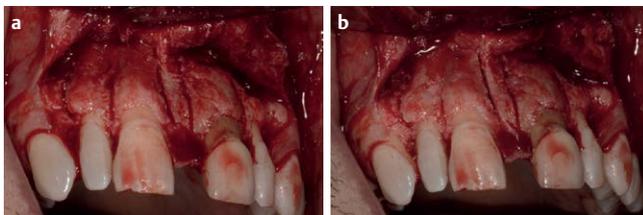
**Abb. 44** a–e Erwachsener Patient mit breitem Diastema. Die ideale Behandlung wäre das Schließen des Diastemas durch Intrusion und Aufrichten der 4 oberen Schneidezähne. Danach müssten die Zahnkronen mithilfe von prothetischen Maßnahmen aufgebaut werden. Der Patient lehnte eine Behandlung mit festsitzenden Apparaturen ab und wünschte eine möglichst kurze Behandlungsdauer.



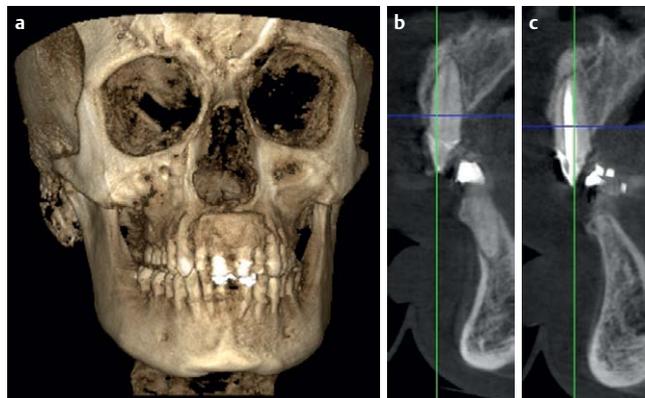
**Abb. 45** a, b Vor Behandlungsbeginn angefertigte volumetomografische Aufnahmen ergaben, dass der Alveolar-knochen an beiden mittleren Schneidezähnen bukkal sehr dünn war. Eine der beiden Zähne war nach einem Trauma im jugendlichen Alter wurzelbehandelt worden.



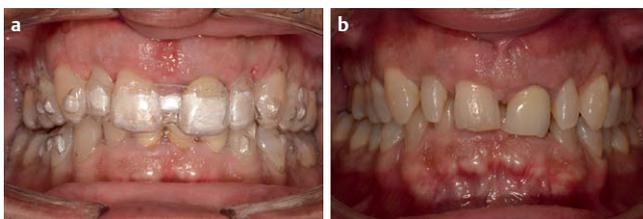
**Abb. 48** a, b Das abschließende Ergebnis mit 4 eingesetzten provisorischen Kronen.



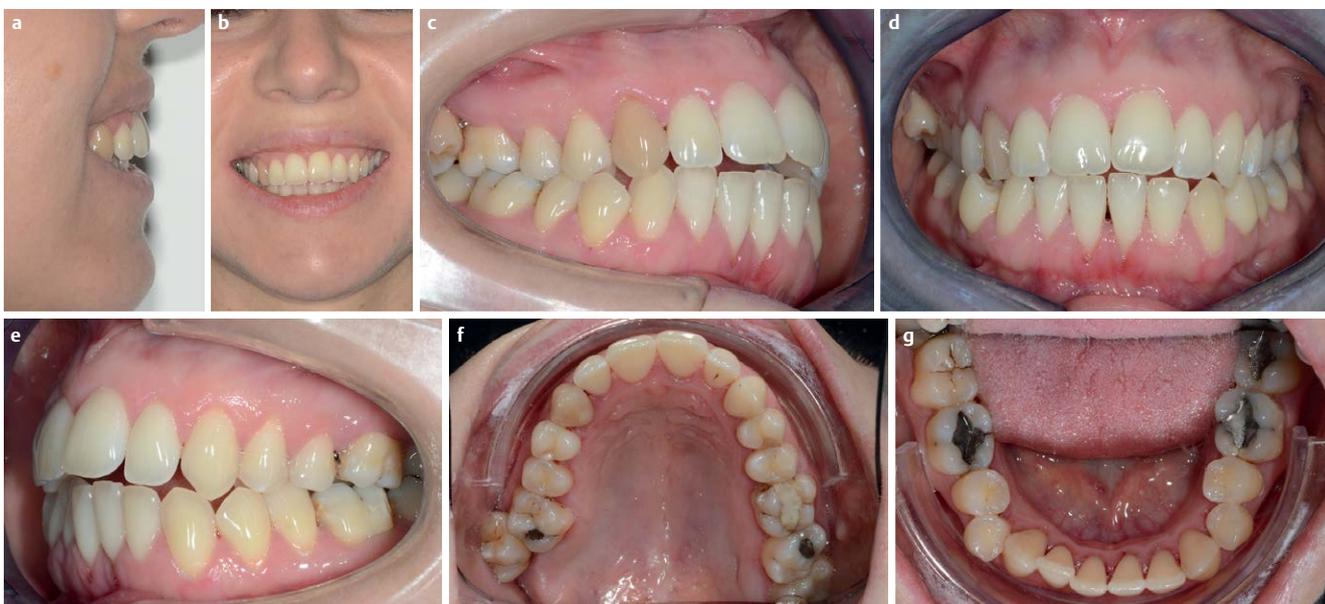
**Abb. 46** a, b Im Rahmen eines parodontal geführten Verfahrens wurden großzügige Kortikotomien zwischen den beiden mittleren Schneidezähnen durchgeführt. Im Anschluss daran wurde der Knochen ebenfalls großzügig mit Knochen und PRGF augmentiert.



**Abb. 49** a–c Die abschließenden volumetomografischen Aufnahmen zeigen ein gutes parodontales Ergebnis. Anstatt die Schneidezähne aufzurichten, hatte sich labial über den Zahnwurzeln neuer Knochen gebildet.

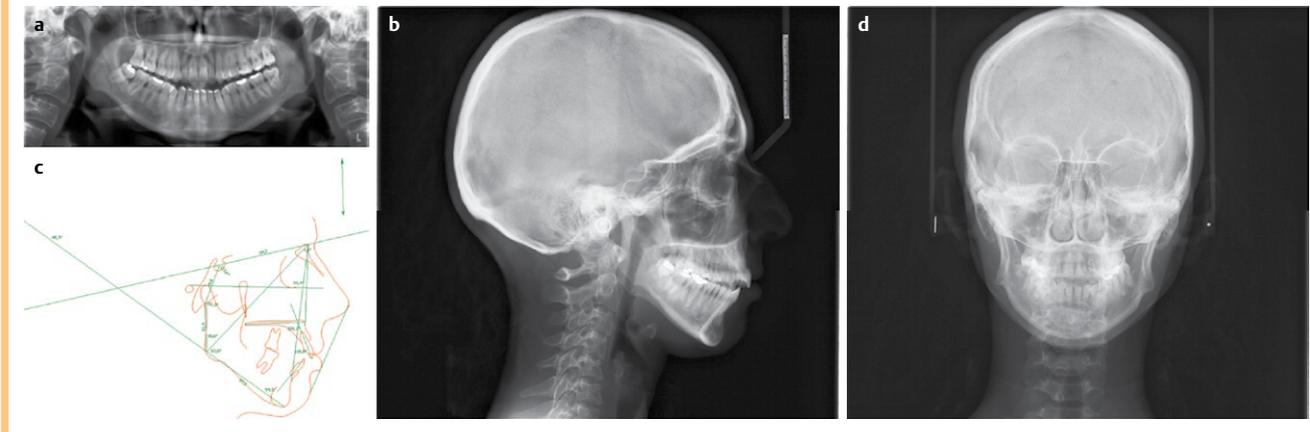


**Abb. 47** a, b Die Behandlung wurde mit Kunststoffschienen durchgeführt, die alle 5–6 Tage neu angepasst wurden und konnte innerhalb von 2 Monaten abgeschlossen werden.



**Abb. 50** a–g Ansicht und intraoraler Zustand einer jungen erwachsenen Patientin nach 2 erfolglosen kieferorthopädischen Behandlungsversuchen. Unbefriedigende Stellung der Zähne und schlechter Zustand der Parodontien.

■ Korrektorexemplar: Veröffentlichung (auch online), Vervielfältigung oder Weitergabe nicht erlaubt! ■



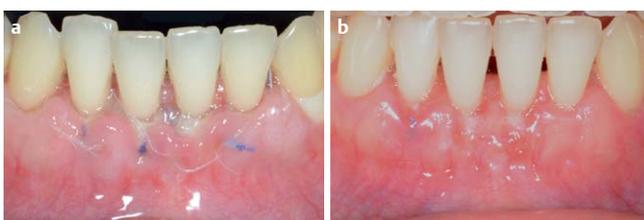
**Abb. 51** a–d Röntgenbilder und Durchzeichnung der Fernröntgenseitenaufnahme vor Beginn der Behandlung. Der Patientin wurde eine kieferorthopädisch-chirurgische Behandlung vorgeschlagen, die sie jedoch ablehnte. Daher blieb als Alternative nur die Extraktion der 3 noch vorhandenen Weisheitszähne und eine kieferorthopädische Kompensation.



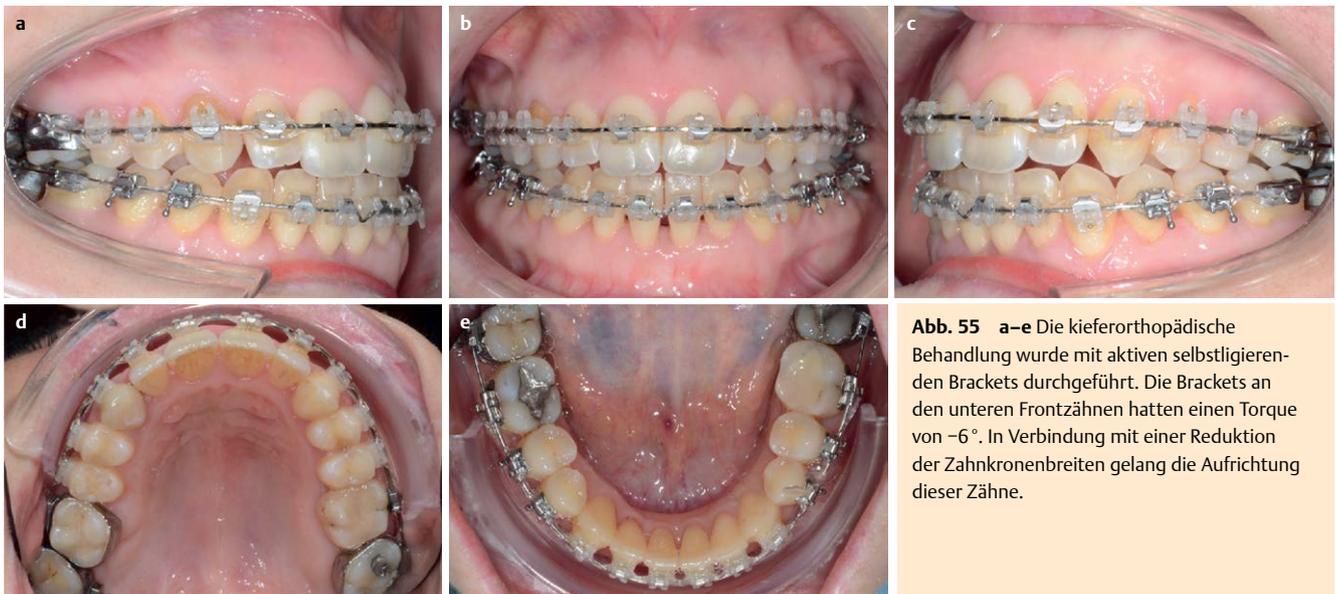
**Abb. 52** Zustand der Parodontien nach Entfernung von Plaque und Behandlung der Entzündungen.



**Abb. 53** a–e Im Bereich der unteren Front wurde ein parodontal geführtes Verfahren durchgeführt (Kortikotomie, Knochen- und Weichgewebstransplantate mit Wachstumsfaktoren). Damit konnte der parodontale Zustand der Zähne verbessert und die kieferorthopädische Bewegung der unteren Frontzähne erleichtert werden.



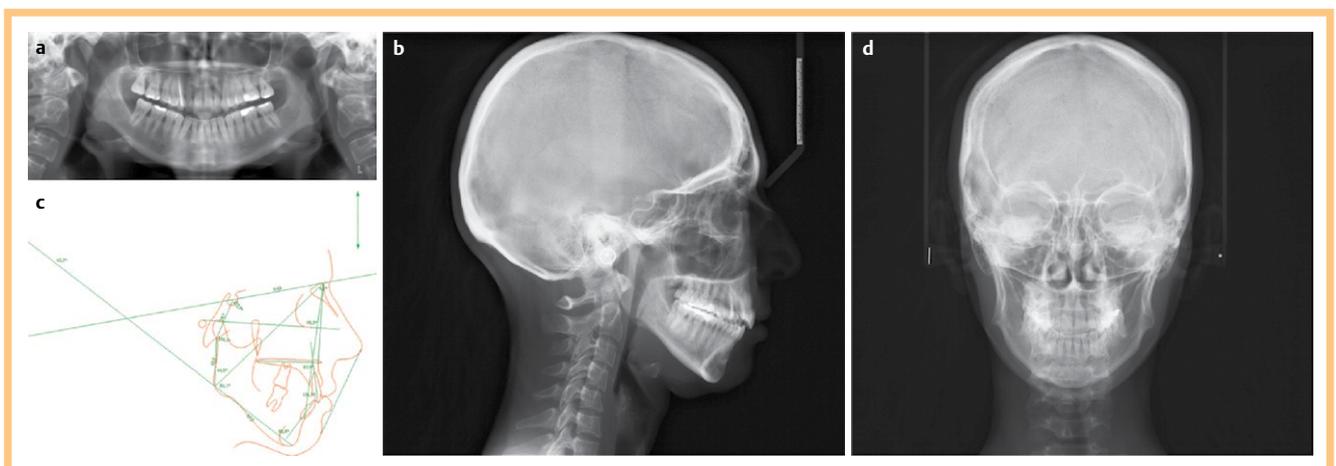
**Abb. 54** Der postoperative Heilungsverlauf a nach 2 und b nach 4 Wochen.



**Abb. 55** a–e Die kieferorthopädische Behandlung wurde mit aktiven selbstligierenden Brackets durchgeführt. Die Brackets an den unteren Frontzähnen hatten einen Torque von  $-6^\circ$ . In Verbindung mit einer Reduktion der Zahnkronenbreiten gelang die Aufrichtung dieser Zähne.

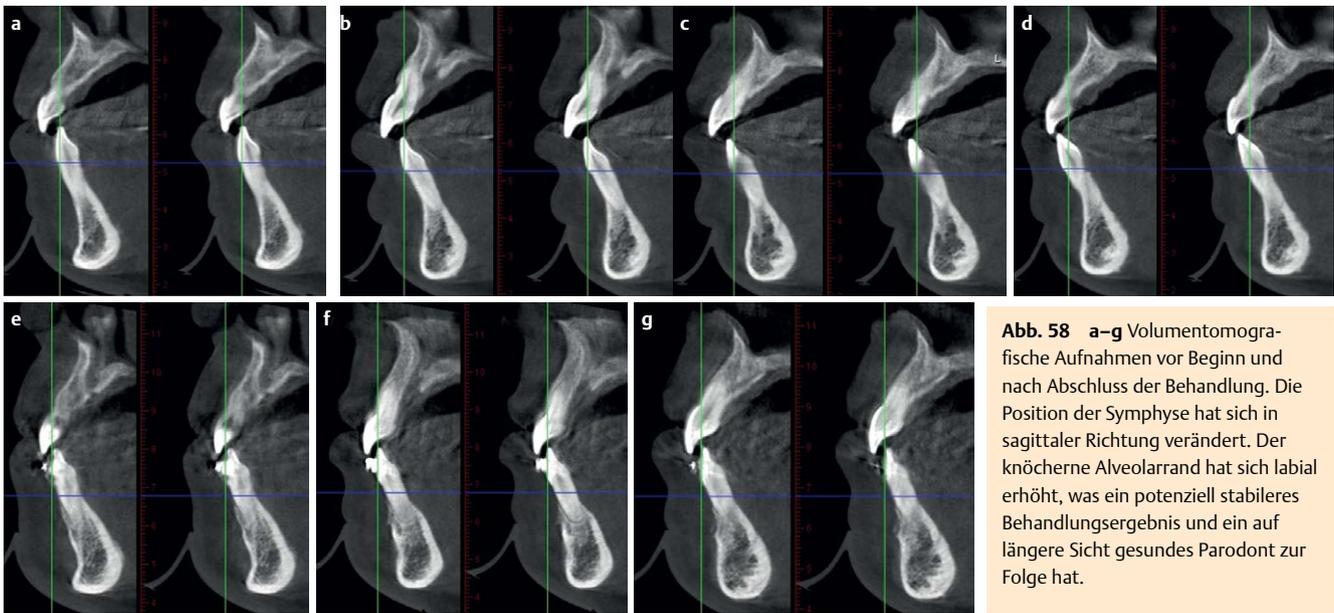


**Abb. 56** a–g Zustand nach Abschluss der Behandlung. Die Stellung der Zähne und der Zustand der Parodontien haben sich deutlich verbessert.



**Abb. 57** a–d Röntgenaufnahmen und kephalometrische Durchzeichnung nach Abschluss der Behandlung. Die skelettalen und dentalen Verhältnisse haben sich verbessert.

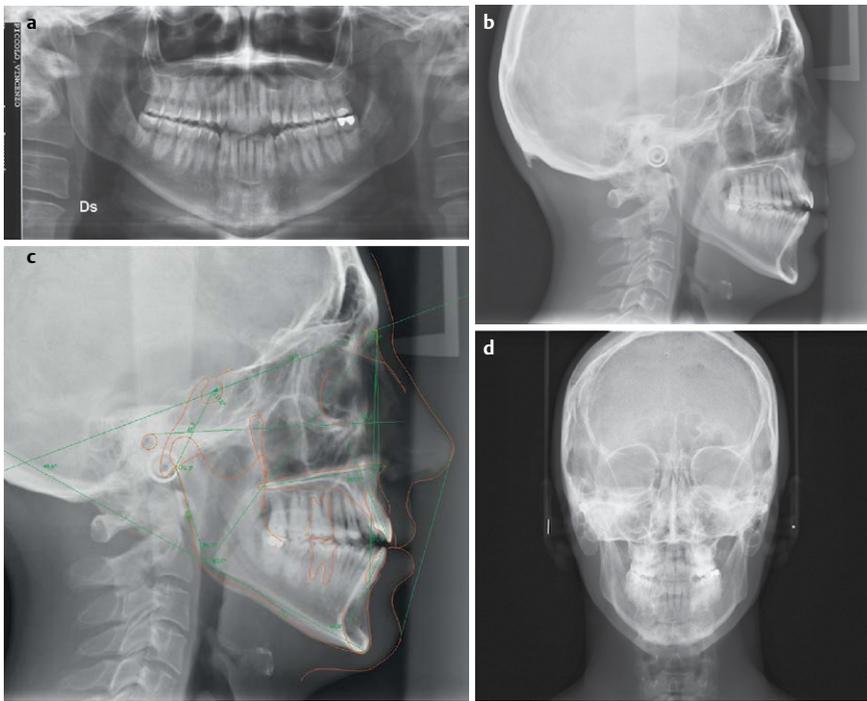
■ Korrektorexemplar: Veröffentlichung (auch online), Vervielfältigung oder Weitergabe nicht erlaubt! ■



**Abb. 58** a–g Volumentomografische Aufnahmen vor Beginn und nach Abschluss der Behandlung. Die Position der Symphyse hat sich in sagittaler Richtung verändert. Der knöcherne Alveolarrand hat sich labial erhöht, was ein potenziell stabileres Behandlungsergebnis und ein auf längere Sicht gesundes Parodont zur Folge hat.



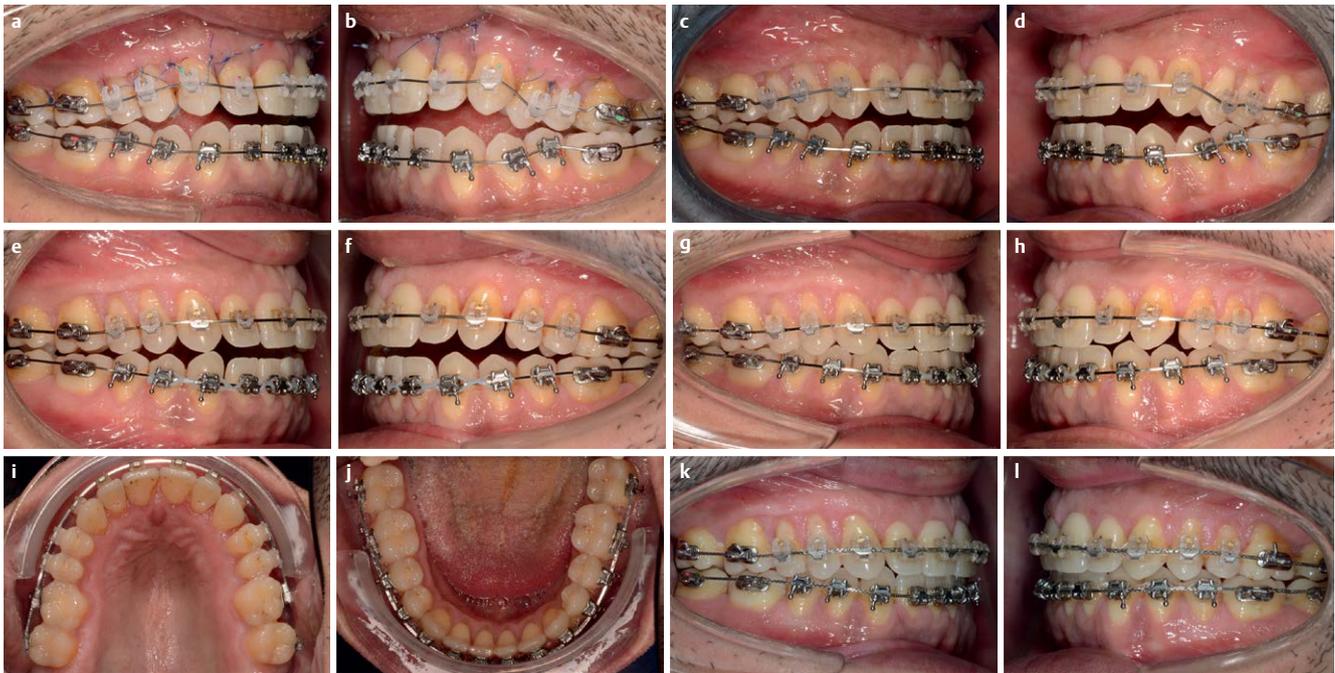
**Abb. 59** a–i Erwachsener Patient mit skelettal zu engem Oberkiefer und frontal offenem Biss. Bei diesem Patienten war bereits eine kieferorthopädisch-chirurgische Korrektur vorgegangen. Er wollte jedoch eine zweite Meinung einholen und sich über mögliche nicht chirurgische Behandlungsmaßnahmen informieren.



**Abb. 60** a–d Röntgenaufnahmen und kephalometrische Durchzeichnung vor Beginn der Behandlung. Dem Patienten wurde ein parodontal geführtes Verfahren (Kortikotomie und Augmentation von Knochen und Weichgeweben) im gesamten Oberkiefer vorgeschlagen. Damit sollten die parodontalen Verhältnisse verbessert und die Expansion des oberen Zahnbogens ermöglicht werden. Als erste Maßnahme war eine Intrusion der oberen Molaren mithilfe von skelettaler Verankerung geplant.



**Abb. 61** a–d 10 Tage nach dem chirurgischen Eingriff hatte der Patient nur moderate Schwellungen und nur geringe Beschwerden. Der Heilungsprozess verlief gut.

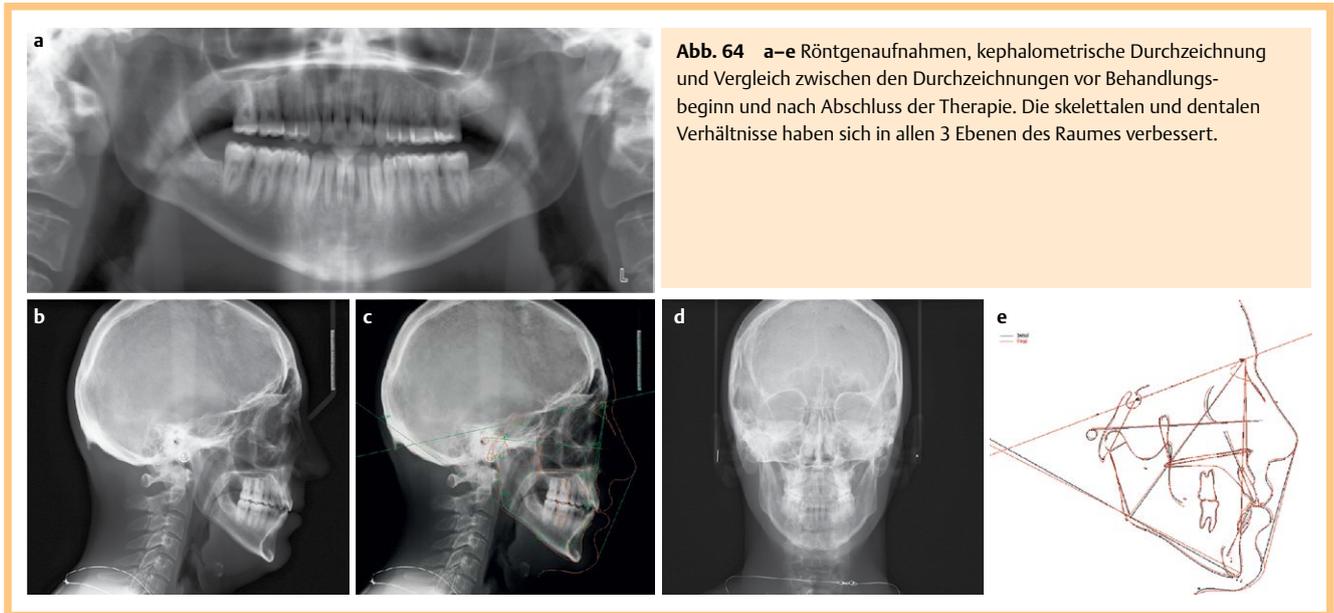


**Abb. 62** a–l Verlauf der kieferorthopädischen Behandlung. Oberer und unterer Zahnbogen wurden 10 Tage nach dem chirurgischen Eingriff behandelt. Die Behandlung wurde mit folgenden Drahtbögen durchgeführt: zuerst 0,016 Sentalloy®, danach 0,020×0,020 Bioforce®, gefolgt von 0,019×0,019 Edelstahl und schließlich 0,021×0,025 verseilt. Die ursprünglich geplante skelettale Verankerung war nicht erforderlich. Die transversalen und vertikalen Korrekturen wurden durch Koordination des oberen und unteren Zahnbogens erreicht und eine gute Interkuspitation herbeigeführt.

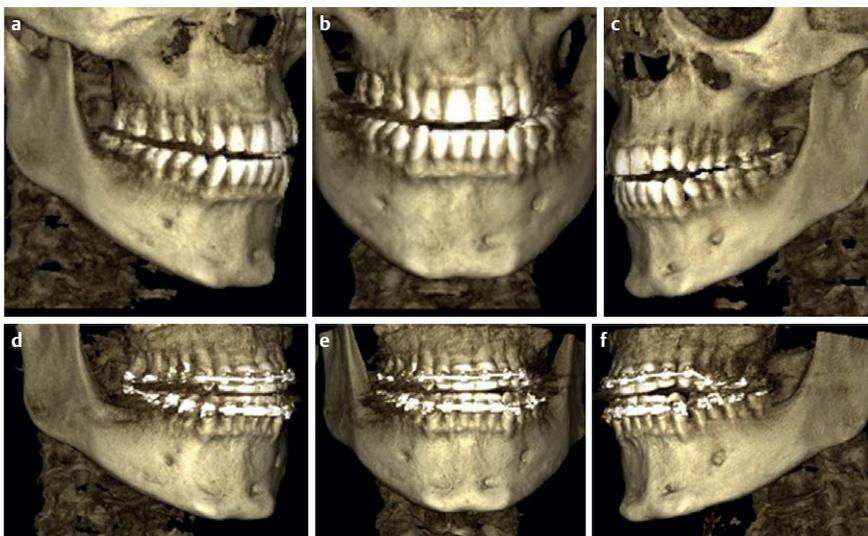


**Abb. 63** a–i Zustand nach Abschluss der Behandlung.

■ Korrektorexemplar: Veröffentlichung (auch online), Vervielfältigung oder Weitergabe nicht erlaubt! ■



**Abb. 64** a–e Röntgenaufnahmen, kephalometrische Durchzeichnung und Vergleich zwischen den Durchzeichnungen vor Behandlungsbeginn und nach Abschluss der Therapie. Die skelettalen und dentalen Verhältnisse haben sich in allen 3 Ebenen des Raumes verbessert.



**Abb. 65** a–f Volumetomografische Aufnahmen bei Behandlungsbeginn und kurz vor Abschluss der Therapie. Das Volumen des Knochens hat im gesamten oberen Zahnbogen deutlich zugenommen.

## Schlussfolgerungen

In einer erst vor kurzem erschienenen systematischen Übersichtsarbeit untersuchten Long u. Mitarb. [95] insgesamt 5 Verfahren zur Beschleunigung von Zahnbewegungen. Anhand der ausgewerteten Veröffentlichungen ergab sich, dass die Kortikotomie ein sicheres und wirkungsvolles Verfahren darstellt. Den Aussagen zu einer verkürzten Behandlungsdauer, zu osteoneogenetischen Möglichkeiten und zur Stabilität fehlt jedoch immer noch der wissenschaftliche Nachweis [97, 98].

Bei der parodontal unterstützten Kieferorthopädie handelt es sich um ein Verfahren, bei dem eine Dekortikation im Alveolarfortsatz mit dem Ziel durchgeführt wird, die kieferorthopädische Bewegung von Zähnen zu beschleunigen und den Verankerungsbedarf zu reduzieren. In diesem Zusammenhang können Gewebe augmentiert werden, sie müssen es jedoch nicht. Aus klinischer Sicht lässt sich sagen, dass keine Kortikotomie der anderen gleicht und dass sie auch nicht für jeden Patienten ein geeignetes Verfahren darstellt.

In weiteren Studien sollten Indikationen, Kontraindikationen und Risiken des Verfahrens weiter untersucht werden. Dieses

Verfahren wird sich mit der Verbesserung von Materialien und verwendeten Apparaturen sicherlich weiterentwickeln.

## Literatur

- 1 Guilford SH. Orthodontia, or Malposition of the Human Teeth; its Prevention and Remedy. 3<sup>rd</sup> ed. Press of T. C. Davis and Sons, Philadelphia, PA: 1898
- 2 Cunningham G. Methode sofortiger Regulierung von anomalen Zahnstellungen. Oesterr.-Ungar. Vierteljahresschr. Zahnheilkunde 1894; 10: 455–457
- 3 Köle H. Surgical operations on the alveolar ridge to correct occlusal abnormalities. Oral Surg Oral Med Oral Pathol 1959; 12: 515–529
- 4 Bell WH, Levy BM. Revascularization and bone healing after maxillary corticotomies. J Oral Surg 1972; 30: 640–648
- 5 Düker J. Experimental animal research into segmental alveolar movement after corticotomy. J Maxillofac Surg 1975; 3: 81–84
- 6 Suya H. Corticotomy in orthodontics. In: Hösl E, Baldauf A (eds.). Mechanical and Biological Basics in Orthodontic Therapy. Hüthig, Heidelberg: 1991; 207–226
- 7 Anholm JM, Crites DA, Hoff R et al. Corticotomy-facilitated orthodontics. CDA J 1986; 14: 7–11
- 8 Gantes B, Rathbun E, Anholm M. Effects on the periodontium following corticotomy-facilitated orthodontics. Case reports. J Periodontol 1990; 61: 234–238

- 9 Wilcko WM, Wilcko T, Bouquot JE et al. Rapid orthodontics with alveolar reshaping: two case reports of decrowding. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2001; 21: 9–19
- 10 Frost HM. The regional accelerated phenomenon. *Orthop Clin North Am* 1981; 12: 725–726
- 11 Frost HM. The regional accelerated Phenomenon: A review. *Henry Ford Hosp Med J* 1983; 31: 3–9
- 12 Frost HM. The biology of fracture healing: an overview for clinicians. Part I. *Clin Orthop Relat Res* 1989; 248: 283–293
- 13 Frost MH. The biology of fracture healing: an overview for clinicians. Part II. *Clin Orthop Relat Res* 1989; 248: 294–309
- 14 Bogoch E, Gschwend N, Rahn B et al. Healing of cancellous bone osteotomy in rabbits – Part I: Regulation of bone volume and the regional acceleratory phenomenon in normal bone. *J Orthop Res* 1993; 11: 285–291
- 15 Verna C, Dalstra M, Melsen B. The rate and the type of orthodontic tooth movement is influenced by bone turnover in a rat model. *Eur J Orthod* 2000; 22: 343–352
- 16 Shih MS, Norrdin RW. Regional acceleration of remodeling during healing of bone defects in beagles of various ages. *Bone* 1985; 6: 377–379
- 17 Yaffe A, Fine N, Binderman I. Regional accelerated phenomenon in the mandible following mucoperiosteal flap surgery. *J Periodontol* 1994; 65: 79–83
- 18 Sebaoun JD, Kantarci A, Tumer JW et al. Modeling of trabecular bone and lamina dura following selective alveolar decortication in rats. *J Periodontol* 2008; 79: 1679–1688
- 19 Lee W, Karapetyan G, Moats R et al. Corticotomy-/osteotomy-assisted tooth movement microCTs differ. *J Dent Res* 2008; 87: 861–867
- 20 Wang I, Lee W, Lei DI et al. Tissue responses in corticotomy- and osteotomy-assisted tooth movements in rats: histology and immunostaining. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2009; 136: 770.e1–770.e11
- 21 Teixeira CC, Khoo E, Tran J et al. Cytokine expression and accelerated tooth movement. *J Dent Res* 2010; 89: 1135–1141
- 22 Baloul SS, Gerstenfeld LC, Morgan EF et al. Mechanism of action and morphologic changes in the alveolar bone in response to selective alveolar decortication-facilitated tooth movement. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2011; 139 (4 Suppl): S83–S101
- 23 Dibart S, Yee C, Surmenian J et al. Tissue response during Piezocision-assisted tooth movement: a histological study in rats. *Eur J Orthod* 2014; 36: 457–464
- 24 Iino S, Sakoda S, Ito G et al. Acceleration of orthodontic tooth movement by alveolar corticotomy in the dog. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2007; 131: 448.e1–448.e8
- 25 Cho KW, Cho SW, Oh CO et al. The effect of cortical activation on orthodontic tooth movement. *Oral Dis* 2007; 13: 314–319
- 26 Ren A, Lv T, Kang N et al. Rapid orthodontic tooth movement aided by alveolar surgery in beagles. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2007; 131: 160.e1–160.e10
- 27 Mostafa YA, Fayed MM, Mehanni S et al. Comparison of corticotomy-facilitated vs. standard tooth-movement techniques in dogs with miniscrews as anchor units. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2009; 136: 570–577
- 28 Sanjideh PA, Rossouw PE, Campbell PM et al. Tooth movements in foxhounds after one or two alveolar corticotomies. *Eur J Orthod* 2010; 32: 106–113
- 29 Kim SJ, Park YG, Kang SG. Effect of corticision on paradental remodeling in orthodontic tooth movement. *Angle Orthod* 2009; 79: 284–291
- 30 Schilling T, Müller M, Minne HW et al. Influence of inflammation-mediated osteopenia on the regional acceleratory phenomenon and the systemic acceleratory phenomenon during healing of a bone defect in the rat. *Calcif Tissue Int* 1998; 63: 160–166
- 31 Roberts WE, Huja S, Roberts JA. Bone modeling: biomechanics, molecular mechanisms, and clinical perspectives. *Semin Orthod* 2004; 10: 123–161
- 32 Aboul-Ela SM, El-Beialy AR, El-Sayed KM et al. Miniscrew implant-supported maxillary canine retraction with and without corticotomy-facilitated orthodontics. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2011; 139: 252–259
- 33 Murphy KG, Wilcko MT, Wilcko WM et al. Periodontal accelerated osteogenic orthodontics: a description of the surgical technique. *J Oral Maxillofacial Surg* 2009; 67: 2160–2166
- 34 Murphy NC. In vivo tissue engineering for orthodontists: a modest first step. In: Davidovitch Z, Mah J, Suthanarak S (eds.). *Biological Mechanisms of Tooth Eruption, Resorption and Movement*. University of Southern California, Los Angeles, CA: 2006; 385–410
- 35 Wilcko MT, Wilcko WM, Pulver JJ et al. Accelerated osteogenic orthodontics technique: a 1-stage surgically facilitated rapid orthodontic technique with alveolar augmentation. *J Oral Maxillofac Surg* 2009; 67: 2149–2159
- 36 Wilcko MT, Wilcko WM, Breindel Omniewski K et al. The Periodontally Accelerated Osteogenic Orthodontics (PAOO) technique: efficient space closing with either orthopedic or orthodontic forces. *J Implant Adv Clin Dent* 2009; 1: 45–63
- 37 Wilcko MT, Wilcko WM, Bissada NF. An evidence-based analysis of periodontally accelerated orthodontic and osteogenic techniques: a synthesis of scientific perspectives. *Semin Orthod* 2008; 14: 305–316
- 38 Pilon J, Kuijpers-Jagtman AM, Maltha JC. Magnitude of orthodontic forces and rate of bodily tooth movement. An experimental study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1996; 110: 16–23
- 39 Von Böhl M, Maltha J, Von den Hoff H et al. Changes in the periodontal ligament after experimental tooth movement using high and low continuous forces in beagle dogs. *Angle Orthod* 2004; 74: 16–25
- 40 Von Böhl M, Maltha J, Von den Hoff H et al. Focal hyalinization during experimental tooth movement in beagle dogs. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2004; 125: 615–623
- 41 Vig PS, Weintraub JA, Brown C et al. The duration of orthodontic treatment with and without extractions: a pilot study of five selected practices. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1990; 97: 45–51
- 42 Beckwith FR, Ackermann RJ Jr, Cobb CM et al. An evaluation of factors affecting duration of orthodontic treatment. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1999; 115: 439–447
- 43 Skidmore KJ, Brook KJ, Thomson WM et al. Factors influencing treatment time in orthodontic patients. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2006; 129: 230–238
- 44 Mavreas D, Athanasiou AE. Factors affecting the duration of orthodontic treatment: a systematic review. *Eur J Orthod* 2008; 30: 386–395
- 45 Horton JE, Tarpley TM Jr, Wood LD. The healing of surgical defects in alveolar bone produced with ultrasonic instrumentation, chisel and rotary bur. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1975; 39: 536–546
- 46 Stübinger S, Kuttenger J, Filippi A et al. Intraoral piezosurgery: preliminary results of a new technique. *J Oral Maxillofac Surg* 2005; 63: 1283–1287
- 47 Vercellotti T, Nevins ML, Kim DM et al. Osseous response following resective therapy with piezosurgery. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2005; 25: 543–549
- 48 Preti G, Martinasso G, Peirone B et al. Cytokines and growth factors involved in the osseointegration of oral titanium implants positioned using piezoelectric bone surgery versus a drill technique: a pilot study in minipigs. *J Periodontol* 2007; 78: 716–722
- 49 Zitzmann N, Schärer P, Marinello C et al. Alveolar ridge augmentation with Bio-Oss: a histologic study in humans. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2001; 21: 288–295
- 50 Yu H, Jiao F, Wang B et al. Piezoelectric decortication applied in periodontally accelerated osteogenic orthodontics. *J Craniofac Surg* 2013; 24: 1750–1752
- 51 Artzi Z, Nemcovsky CE, Tal H. Efficacy of porous bovine bone mineral in various types of osseous deficiencies: clinical observations and literature review. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2001; 21: 395–405
- 52 Araújo M, Carmagnola D, Berglundh T et al. Orthodontic movement in bone defects augmented with Bio-Oss. An experimental study in dogs. *J Clin Periodontol* 2000; 28: 73–80
- 53 Nowzari H, Yorita FK, Chang HC. Periodontally accelerated osteogenic orthodontics combined with autogenous bone grafting. *Compend Conin Educ Dent* 2008; 29: 200–206
- 54 Gapski R, Parks CA, Wang HL. Acellular dermal matrix for mucogingival surgery: a meta-analysis. *J Periodontol* 2005; 76: 1814–1822
- 55 Marx RE, Carlson ER, Eichstaedt RM et al. Platelet-rich plasma: growth factor enhancement for bone grafts. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 1998; 85: 638–646
- 56 Dohan DM, Choukroun J, Diss A et al. Platelet-rich fibrin (PRF): a second-generation platelet concentrate. Part I: technological concepts and evolution. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2006; 101: e37–e44
- 57 Choukroun J, Diss A, Simonpiéri A et al. Platelet-rich fibrin (PRF): a second-generation platelet concentrate. Part IV: clinical effects on tissue healing. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2006; 101: e56–e60
- 58 Anitua E. The use of plasma-rich growth factors (PRGF) in oral surgery. *Pract Proced Aesthet Dent* 2001; 13: 487–493
- 59 Anitua E, Sánchez M, Orive G et al. Delivering growth factors for therapeutics. *Trends Pharmacol Sci* 2008; 29: 37–41

- 60 Spena R, Caiazzo A, Gracco A et al. The use of segmental corticotomy to enhance molar distalization. *J Clin Orthod* 2007; 41: 693–699
- 61 Spena R, Turatti G. Distalización molar superior y ortodoncia acelerada periodontalmente. *Rev Esp Ortod* 2011; 41: 246–254
- 62 Park YG, Kang SG, Kim SJ. Accelerated tooth movement by Corticision as an osseous orthodontic paradigm. *Kinki Tokai Kyosei Shika Gakkai Gakujyutsu Taikai, Sokai* 2006; 48: 6
- 63 Kim SJ, Park YG, Kang SG. Effects of Corticision on paradental remodeling in orthodontic tooth movement. *Angle Orthod* 2009; 79: 284–291
- 64 Dibart S, Sebaoun JD, Surmenian J. Piezocision: a minimally invasive, periodontally accelerated orthodontic tooth movement procedure. *Compend Contin Educ Dent* 2009; 30: 342–350
- 65 Keser EI, Dibart S. Sequential piezocision: a novel approach to accelerated orthodontic treatment. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2013; 144: 879–889
- 66 Kim YS, Kim SJ, Yoon HJ et al. Effect of piezopuncture on tooth movement and bone remodeling in dog. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2013; 144: 23–31
- 67 Alikhani M, Raptis M, Zoldan B et al. Effect of micro-osteoperforations on the rate of tooth movement. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2013; 144: 639–648
- 68 Hwang HS, Lee KH. Intrusion of overerupted molars by corticotomy and magnets. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2001; 120: 209–216
- 69 Chung KR, Oh MY, Ko SJ. Corticotomy-assisted orthodontics. *J Clin Orthod* 2001; 35: 331–339
- 70 Iino S, Sakoda S, Miyawaki S. An adult bimaxillary protrusion treated with corticotomy-facilitated orthodontics and titanium miniplates. *Angle Orthod* 2006; 76: 1074–1082
- 71 Germeç D, Giray B, Kocadereli I et al. Lower incisor retraction with a modified corticotomy. *Angle Orthod* 2006; 76: 882–890
- 72 Moon CH, Wee JU, Lee HS. Intrusion of overerupted molars by corticotomy and orthodontic skeletal anchorage. *Angle Orthod* 2007; 77: 1119–1125
- 73 Lee JK, Chung KR, Baek SH. Treatment outcomes of orthodontic treatment, corticotomy-assisted orthodontic treatment, and anterior segmental osteotomy for bimaxillary dentoalveolar protrusion. *Plast Reconstr Surg* 2007; 120: 1027–1036
- 74 Fischer TJ. Orthodontic treatment acceleration with corticotomy-assisted exposure of palatally impacted canines. *Angle Orthod* 2007; 77: 417–420
- 75 Oliveira DD, de Oliveira BF, de Araújo Brito HH et al. Selective alveolar corticotomy to intrude overerupted molars. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2008; 133: 902–908
- 76 Akay MC, Aras A, Günbay T et al. Enhanced effect of combined treatment with corticotomy and skeletal anchorage in open bite correction. *J Oral Maxillofac Surg* 2009; 67: 563–569
- 77 Oliveira DD, de Oliveira BF, Soares RV. Alveolar corticotomies in orthodontics: indications and effects on tooth movement. *Dental Press J Orthod* 2010; 15: 144–157
- 78 Kim SH, Kim I, Jeong DM et al. Corticotomy-assisted decompensation for augmentation of the mandibular anterior ridge. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2011; 140: 720–731
- 79 Ahn HW, Lee DY, Park YG et al. Accelerated decompensation of mandibular incisors in surgical skeletal Class III patients by using augmented corticotomy: a preliminary study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2012; 142: 199–206
- 80 Shoreibah EA, Salama AE, Attia MS et al. Corticotomy-facilitated orthodontics in adults using a further modified technique. *J Int Acad Periodontol* 2012; 14: 97–104
- 81 Aljhani AS, Zawawi KH. Nonextraction treatment of severe crowding with the aid of corticotomy-assisted orthodontics. *Case Rep Dent* 2012; 1–8
- 82 Yagci A, Veli I, Uysal T et al. Dehiscence and fenestration in skeletal Class I, II and III malocclusions assessed with cone-beam computed tomography. *Angle Orthod* 2012; 82: 67–74
- 83 Enhos S, Uysal T, Yagci A et al. Dehiscence and fenestration in patients with different vertical growth patterns assessed with cone-beam computed tomography. *Angle Orthod* 2012; 82: 868–874
- 84 Secchi AG. *Complete Clinical Orthodontics. The course manual.* Doctor Os, Ariesdue March 2012
- 85 Seibert JS. Reconstruction of deformed, partially edentulous ridges, using full-thickness onlay grafts. Part I. Technique and wound healing. *Compend Contin Educ Dent* 1983; 4: 437–453
- 86 Allen EP, Gainza CS, Farthing GG et al. Improved technique for localized ridge augmentation. A report of 21 cases. *J Periodontol* 1985; 56: 195–199
- 87 Shoreibah EA, Ibrahim SA, Attia MS et al. Clinical and radiographic evaluation of bone grafting and corticotomy-facilitated orthodontics in adults. *J Int Acad Periodontol* 2012; 14: 105–113
- 88 Roberts WE, Arbuckle GR, Analoui M. Rate of mesial translation of mandibular molars using implant-anchored mechanics. *Angle Orthod* 1996; 66: 331–338
- 89 Jacobs C, Jacobs-Müller C, Luley C et al. Orthodontic space closure after first molar extraction without skeletal anchorage. *J Orofac Orthop* 2011; 72: 51–60
- 90 Spena R. Upper and lower incisor torque and the Straight-Wire Appliance. *Eur J Clin Orthod* 2014; 1: 21–32
- 91 Peck S, Peck L. Classification of maxillary tooth transpositions. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1995; 107: 505–517
- 92 Bocchieri A, Braga G. Correction of a bilaterally maxillary canine-first premolar transposition in the late mixed dentition. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2002; 121: 120–128
- 93 Ciarlantini R, Melsen B. Maxillary tooth transposition: correct or accept? *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2007; 132: 385–394
- 94 Nishimura K, Nakao K, Aoki T et al. Orthodontic correction of a transposed maxillary canine and first premolar in the permanent dentition. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2012; 142: 524–533
- 95 Long H, Pyakurel U, Wang Y et al. Interventions for accelerating orthodontic tooth movement: a systematic review. *Angle Orthod* 2013; 83: 164–171
- 96 Hwei PC, Thomas JT. Role of periodontal therapy in rapid tooth movement. *IOSP J Med Dent Sci* 2014; 13: 62–65
- 97 Wilcko W, Wilcko MT. Accelerating tooth movement: the case for corticotomy-induced orthodontics. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2013; 144: 4–12
- 98 Mathews DP, Kokich VG. Accelerating tooth movement: the case against corticotomy-induced orthodontics. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2013; 144: 5–13

Lieber Autoren,  
die Literaturangaben 14, 17, 29–31, 48, 49, 51–54,  
66–76, 80, 81, 84, 87, 96 sind im Text nicht zitiert.  
Bitte prüfen.  
Danke!