

# Die Entwicklung der Maxilla – embryologische und kieferorthopädische Aspekte

Der folgende Beitrag von Prof. Dr. Dr. Ralf J. Radlanski (Berlin) fasst aktuelles Wissen zur vor- und nachgeburtlichen Entwicklung des Oberkiefers zusammen und leitet daraus Hinweise zur praktischen Wachstumsförderung der Maxilla ab.

## Einleitung

Der Artikel basiert auf dem Vortrag „The Development of the Maxilla and therapeutic Aspects of Class III Malocclusions“, gehalten vom Autor im Rahmen des 7<sup>th</sup> International Orthodontic Symposium (IOS) 2009 in Prag.

## Vorgeburtliche Entwicklung

Erste Anzeichen der Knochenbildung der Maxilla werden im menschlichen Embryo gegen Ende der 6. Schwangerschaftswoche, bei einer Größe von etwa 14 mm SSL vorgefunden. Die Maxilla entsteht aus paari-

gen Anlagen, die beidseits lateral der knorpeligen Nasenkapsel liegen. Diese Region wird auf besondere Weise begrenzt, nämlich jeweils nach medial von der knorpeligen Nasenkapsel, nach kranial vom sich entwickelnden Auge, lateral vom Gesichtsepithel und nach oral hin vom Mundhöhlenepithel. Das mesenchymale Gewebe, in dem sich die ersten Osteoblasten entwickeln, ist aus der Neuralleiste in diese Region eingewandert. Diese Zellen sind im Gesichtsbereich generell notwendig für die Bildung der Knorpel- und Knochenstrukturen sowie für die Bildung der Muskulatur und der mesenchymalen Anteile der Zahnanlagen.

Um zu verstehen, warum sich genau an diesen Stellen die ersten Anlagen der Maxilla bilden, muss in noch frühere Phasen der Entwicklung zurückgeblendet werden: Sobald in der dritten bis vierten Woche die Kopfanlage sichtbar ist, wird schon beobachtet, dass der Anteil, der die Hirnanlagen enthält, deutlich schneller wächst als die spätere Region des Gesichts. Als Folge davon krümmt sich der Kopf nach anterior (Abb. 1a) und es entstehen Beugefalten, denen auch eine Bedeutung bei der Gewebedifferenzierung zukommt. Es sind nicht nur genetisch gesteuerte Abläufe mit molekular wirksamen chemischen Signalen,

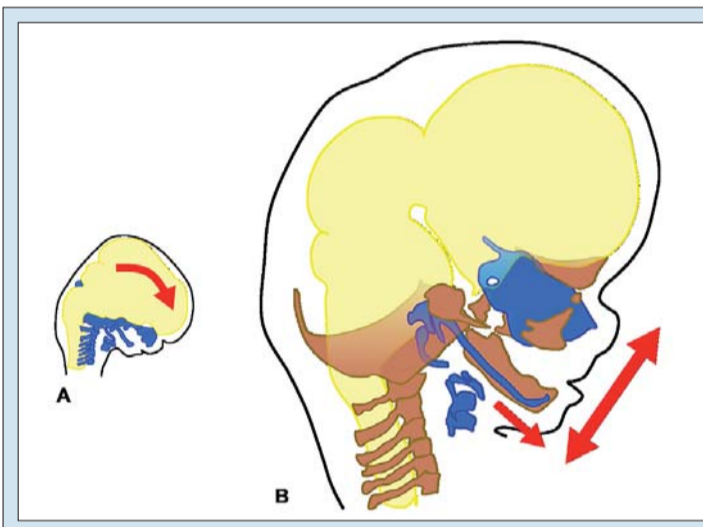
die zur Gewebedifferenzierung und Gestaltentwicklung beitragen, sondern auch mechanische Faktoren. Denn jedes Gewebe, das wächst, übt allein dadurch, dass es sich in einem begrenzten Bereich gegenüber seinen Nachbargebilden ausdehnt, Kräfte auf sie aus.

Manche Autoren führen diese Wulstbildung in der Gesichtsregion also auf eine Kompression des Gewebes wegen des extrem stark expandierenden Gehirns und der dadurch beobachteten Kopfkrümmung zurück. So entsteht im mesenchymalen Gewebe im Inneren eines jeden Gesichtswulstes (Maxillarwulst und I. und folgende Viszeralbögen) je eine Region, in der sich Knorpelgewebe differenziert. Damit reagiert diese Geweberegion auf die mechanischen Einflüsse, die durchaus auch von entfernt liegenden Ursachen (hier dem expandierenden Gehirn) zugerechnet werden.

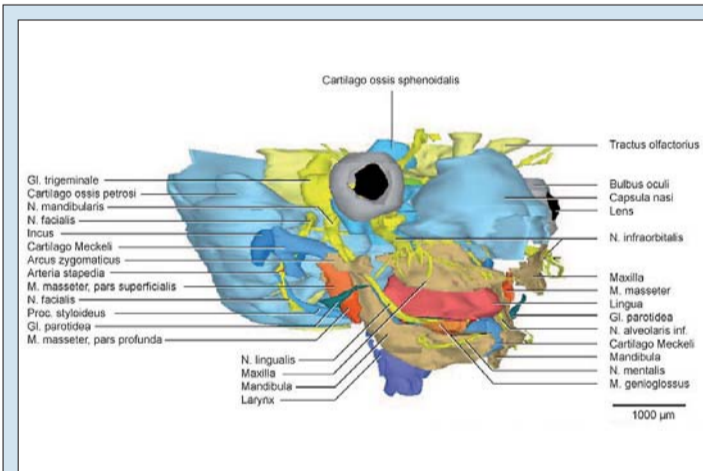
In den Regionen der Knorpelbildung wird unter anderem regelmäßig ein Transkriptionsfaktor, der als Sox-9 bezeichnet wird und mit diesen Differenzierungsvorgängen im Zusammenhang steht, vorgefunden. So entsteht im Bereich des Maxillarwulstes die Nasenkapsel und im I. Viszeralbogen der Meckel'sche Knorpel. Diese Knorpelformationen werden schnell größer und wenn die Nasenkapsel kontinuierlich größer wird, nimmt das Mittelgesicht in vertikaler, sagittaler und transversaler Richtung an Volumen zu und es richtet sich auf (Abb. 1b). Dieser Vorgang stellt wiederum eine Bewegung dar, weswegen man in der Embryologie auch von Entwicklungsbewegungen spricht. Mit dieser Bewegung steht die Differenzierung von Knochengewebe im Mesenchym zusammen.

An Orten, an denen Mesenchym Scherkräften ausgesetzt sind, beginnt die Knochenbildung. Diese wird begleitet von molekularen Signalen, zu denen vor allem der Transkriptionsfaktor Runx-2, der Transforming growth factor- $\beta$  (TGF- $\beta$ ) und verschiedene Bone morphogenetic proteins (Bmp-s) gehören. Unter ihrem Einfluss differenzieren sich die lokal vorhandenen Mesenchymzellen zu Osteoblasten. Auch während der weiteren Entwicklung wird die Form der Maxilla durch die expandierenden und sich gegeneinander verschiebenden Nachbarstrukturen (Nasenkapsel, Auge, Mundhöhle und Gesichtshaut) bestimmt. Weil hier nicht das Knorpelgewebe durch Knochen ersetzt wird, sondern Knochen neben dem Knorpel im Bindegewebe entsteht, spricht man hier von desmaler Ossifikation.

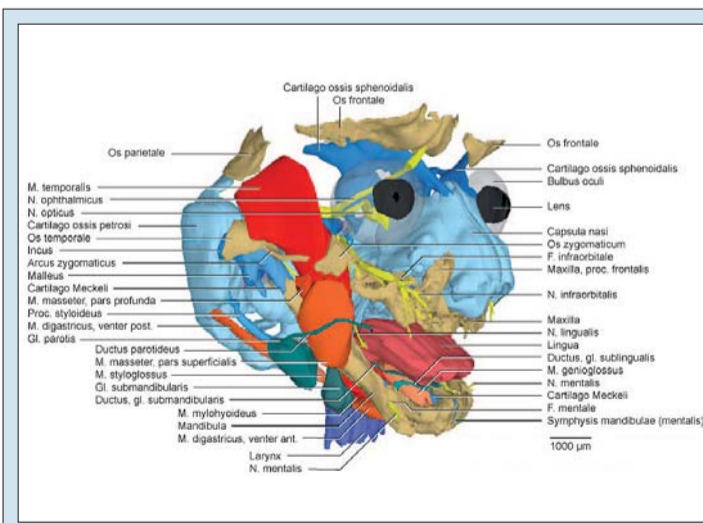
Diese desmalen Ossifikationszentren korrelieren mit den Nerven der Maxilla: Als Erstes bildet sich ein Ossifikationszentrum kaudal vom



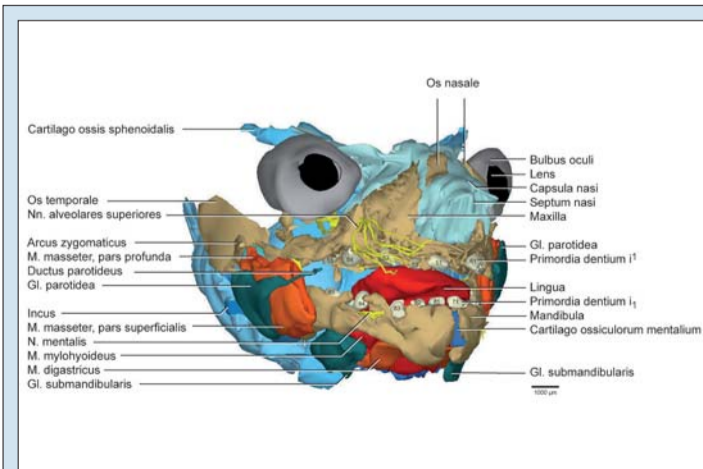
**Abb. 1:** (a) Schnelleres Wachstum der Hirnregion (gelb) wird als Ursache der Bildung der Wulstbildung in der frühen Gesichtsregion gesehen. Im Zentrum der Wulste differenziert sich das frühe knorpelige Skelett (blau). Schematische Darstellung der Situation beim Embryo von 21 mm SSL (7. Schwangerschaftswoche, SSW). (b) Während der späteren Entwicklung (Embryo 40 mm) expandiert das Chondrocranium und führt zur Expansion der Gesichtsregion in vertikaler, sagittaler und transversaler Richtung. Dabei kommt es auch zum Beginn der Ossifikation (braun). Aus [2].



**Abb. 2:** Darstellung der Gesichtsregion bei einem Embryo von 25 mm SSL (7.-8. SSW) in der Ansicht von lateral und 45° anterior, 3-D-Rekonstruktion anhand von Serienschritten. Die Maxilla entsteht paarig beidseits am oralen Rand der knorpeligen Nasenkapsel. Aus [4].



**Abb. 3:** Darstellung der Gesichtsregion bei einem Fetus von 53 mm SSL (9. SSW) in der Ansicht von lateral und 45° anterior, 3-D-Rekonstruktion anhand von Serienschritten. Inzwischen dehnt sich das Knochengewebe kaudal der Nasenkapsel aus, lateral ist jeweils ein Proc. frontalis zu erkennen und die Bildung des F. infraorbitale hat begonnen. Aus [4].



**Abb. 4:** Darstellung der Gesichtsregion bei einem Fetus von 117 mm SSL (14. SSW) in der Ansicht von lateral und 45° anterior, 3-D-Rekonstruktion anhand von Serienschritten. Die Maxilla hat beidseits Kontakt zum Arcus zygomaticus aufgenommen und sich weiter ausgedehnt, sodass auch der Proc. frontalis in enge Nachbarschaft zum Os nasale gekommen ist. Aus [4].

## Biofunktionelle Therapie mit dem Vakuumaktivator



Der *silencos* Vakuumaktivator hilft durch tägliches Training die Lippen geschlossen zu halten und durch Schlucken einen geschlossenen Ruhezustand im Mund zu erzeugen.

Dieser Vorgang wird über eine Membrane angezeigt, die hier als Biofeedback genutzt wird. So können Übungen zum inneren Mundschluss und zur geschlossenen Ruhelage kontrolliert und behandelt werden.

*silencos* kids

für die Kinderfrühbehandlung

Zahnfehlstellungen und Kieferanomalien können durch falsche Schluckmuster, pathologische Mundatmung oder Habits verursacht werden. Der Vakuumaktivator bietet alle Funktionen einer Mundvorhofplatte, geht als Übungsgerät jedoch weit über die damit erzielbaren Möglichkeiten hinaus.



*silencos*

für die Erwachsenenbehandlung

bietet eine erfolgreiche Behandlungsmethode bei primärem Schnarchen ohne Obstruktion: Eine weitere Indikation ist die Mobilisation des Mundbodens nach tumorchirurgischen Eingriffen oder Übungen in der neurologischen Rehabilitation.



### Vorteile von *silencos*

- hoher Tragekomfort gewährleistet hohe Akzeptanz beim Patienten
- delegierbare Behandlungsschritte
- einfache Übungsanweisungen
- integrierbar in jede Zahnarztpraxis

Detaillierte Information zu Diagnostik und Anwendung: **Fortbildung Biofunktionelle Therapie** mit Prof. Dr. W. Engelke am 09. Juni 2010 in Stuttgart, 27. Oktober 2010 in Berlin und 24. November 2010 in Köln!

Mehr Informationen unter [www.bredent.com](http://www.bredent.com) oder Tel. 0 73 09 / 8 72-22!

Faxantwort 0 73 09 / 8 72-24

- Bitte senden Sie mir gratis die Infomappe *silencos/silencos kids* REF 992 9650 D
- Bitte um Terminvereinbarung zur Präsentation von *silencos/silencos kids* in meiner Praxis
- Bitte senden Sie mir Unterlagen zu Fortbildungskursen „Biofunktionelle Therapie“

Praxisstempel

**bredent**

bredent GmbH & Co.KG · Weissenhorner Str. 2 · 89250 Senden · Germany  
Tel. (+49) 0 73 09 / 8 72-22 · Fax (+49) 0 73 09 / 8 72-24  
[www.bredent.com](http://www.bredent.com) · e-mail [info@bredent.com](mailto:info@bredent.com)





**Abb. 5:** Aufhellungspräparat eines menschlichen Fetus 210 mm SSL (22. SSW), Knochen mit Alizarinrot und Knorpel mit Alcianblau gefärbt. Die Maxilla zeigt einen mehr spongiösen Knochenbau, die Mandibula ist kompakter. In der Mandibula sind die Krypten der Zahnanlagen erkennbar. In der Gesichtsmitte sind beide Knochen noch geteilt. Maßstabsmarke: 5 mm. Aus [3].



**Abb. 6:** Gegenüberstellung eines Schädels eines Neugeborenen und eines Erwachsenen in der Ansicht von anterior und von rechts zur Darstellung der Proportionsveränderungen zwischen dem Neurocranium (farbig markiert) und dem Viscerocranium. Aus [3].

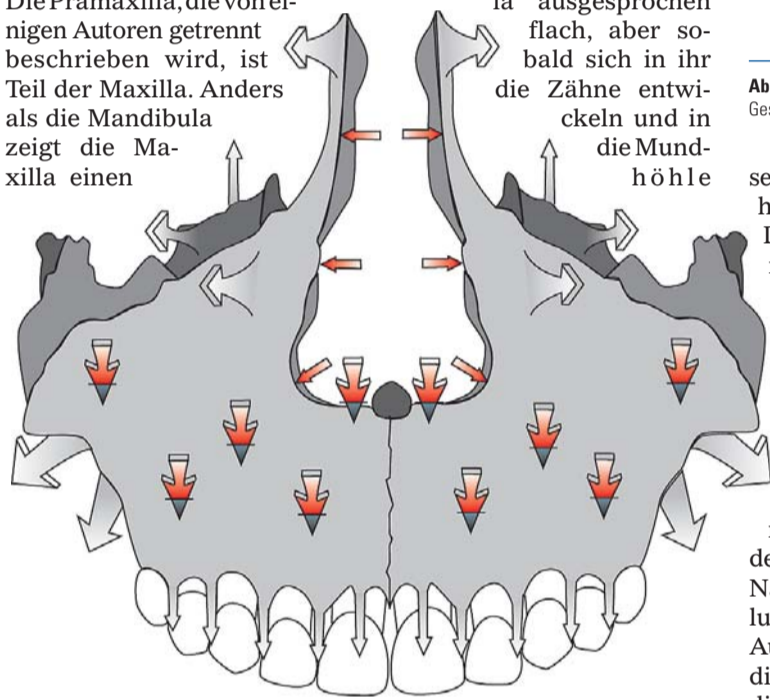
**Fortsetzung von Seite 7**

N. infraorbitalis, dann ein weiteres im Bereich des F. palatinum und danach eines im Bereich des F. incisivum. Von diesen paarig angelegten Knochenzentren breitet sich die Verknöcherung der Maxilla aus (Abb. 2–4).

Die Prämaxilla, die von einigen Autoren getrennt beschrieben wird, ist Teil der Maxilla. Anders als die Mandibula zeigt die Maxilla einen

**Postnatale Entwicklung**

Die postnatale Entwicklung der Maxilla ist durch eine enorme Veränderung ihrer Proportionen gekennzeichnet (Abb. 6): Noch zur Zeit der Geburt ist die Maxilla ausgesprochen flach, aber sobald sich in ihr die Zähne entwickeln und in die Mundhöhle



**Abb. 7:** Remodellierungsvorgänge an der Maxilla. Knochenanbau (weiße und graue Pfeile) und Knochenabbau (rote Pfeile). Modifiziert nach [1].

mehr spongiösen Knochenbau (Abb. 5). Dies wird damit erklärt, dass sie nicht solchen Kräften und Verwindungen unterliegt wie die bewegliche Mandibula. Für die postnatale kieferorthopädische Behandlung ist diese Beobachtung von besonderer Bedeutung, denn bei Änderung der Krafteinwirkung auf den Knochen ändert sich auch dessen Form. Aufgrund ihrer weniger ausgeprägten Kortikalschicht spricht die junge Maxilla hierauf auch besser an.

durchbrechen, nimmt sie an Höhe zu (Abb. 8a, b). Ihre transversale und sagittale Vergrößerung steht auch in engem Zusammenhang mit der Entwicklung der Nasenhöhle und der Nasenatmung. Dies ist mit je nach Region unterschiedlich stark ausgeprägtem Abbau und Aufbau von Knochen verbunden (Abb. 7). Die Prinzipien der von Melvin L. Moss beschriebenen funktionellen Matrix, nach der auch postnatal auf die Gewebe einwirkende Kräfte we-

sentlich ihre Form bestimmen, haben bis heute Gültigkeit. Diese Kräfte können im Inneren des Gewebes erzeugt werden, z. B. wenn sich die Zähne bilden und die Zähne in die Mundhöhle durchbrechen. Aber auch von außen auf das Gewebe einwirkende Kräfte, wie die Zunge oder sogar auch die, wenn auch mit geringen Kräften, aber dennoch permanent durch die Nasenhöhle strömende Atemluft, wirken formgestaltend. Auf dieser Erkenntnis basiert die Funktionskieferorthopädie als therapeutisches Prinzip. Wenn ein Kreuzbiss vorliegt, der auf ein Wachstumsdefizit der Maxilla zurückzuführen ist, kann er auch selbst das weitere Wachstum der Maxilla blockieren (Abb. 9a). Zur Therapie ist es dann folgerichtig, jeglichen Druck von vestibulär auf den Alveolarfortsatzknochen fortzunehmen und den Druck von palatinal zuzulassen. Auf dieser verblüffend einfachen, aber biologisch wohl fundierten Erkenntnis beruht das Wirkungsprinzip des Funktionsreglers nach Rolf Fränkel (Abb. 9b, c). Voraussetzung ist, dass auch der Biss gesperrt wird, damit der Kreuzbiss überstellt werden

kann und dass der Patient das Gerät gut trägt (Abb. 9d). Auch wenn der günstige Behandlungszeitpunkt verpasst worden ist, das Wachstum der Maxilla oder zumindest ihres Alveolarfortsatzes (Processus alveolaris maxillae) noch im frühen Wechselgebiss ausreichend zu fördern (Abb. 9a–d), besteht durchaus noch die Möglichkeit des dentoalveolären Ausgleichs im bleibenden Gebiss eines jungen jugendlichen Patienten. Hier ist allerdings das Vorliegen einer maxillären Hypoplasie differenzialdiagnostisch abzugrenzen. Im vorliegenden Fall konnte durch Anwendung einer Multibandapparat und durch den Einsatz einer intensiv getragenen Delaire Maske (Abb. 10a) eine sehr ungünstige frontale Kopf- und Seitenverzahnung (Abb. 10b) mit einer dental mesialen

**KN Kurzvita**



**Prof. Dr. Dr. Ralf J. Radlanski**

- Studium der Medizin und der Zahnmedizin in Göttingen und in Minneapolis (MN), USA
- FZA für KFO, 1989 Habilitation
- seit 1992 Professor für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde, Charité-Universitätsmedizin Berlin, Campus Benjamin Franklin, Freie Universität Berlin

- Direktor der Abteilung für Orale Struktur- und Entwicklungsbiologie
- seit 1992 Mitarbeit in freier kieferorthopädischer Praxis in Berlin-Steglitz
- Chairman der Working Group I, Craniofacial Morphogenesis, der COST-action B23
- wissenschaftlicher Berater des Berufsverbandes der Kieferorthopäden (BDK)
- zusammen mit Frans P.G.M. van der Linden und James A. McNamara Co-Autor der Reihe Dynamics of Orthodontics (Vol. 1, 2, 3, 5)
- Hauptforschungsgebiete: Wachstum und Entwicklung des Gesichts, orale Struktur- und Entwicklungsbiologie, praktische Kieferorthopädie
- Präsident des International Orthodontic Symposium (IOS) in 2004, 2006–2009 und vom 25.–27.11.2010 in Prag (www.orthodontics-ios.eu)

**Literatur zur Herkunft einiger Abbildungen:**

- [1] Enlow, D.H.: Principles of bone remodeling. An account of post-natal growth and remodelling processes in long bones and the mandible. Charles C. Thomas, Springfield, Illinois, USA 1963.
- [2] Radlanski, R.J. and Renz, H.: Genes, Forces, and Forms. Mechanical Aspects During Prenatal Craniofacial Development. Developmental Dynamics, 2006. 235: 1219–1229.
- [3] van der Linden, F.P.G.M., McNamara, J.A. and Radlanski, R.J.: Dynamics of Orthodontics. Vol. 5: Facial Growth. Quintessence Publishing Group, Berlin 2004.
- [4] Radlanski, R.J. and Renz, H.: An Atlas of the prenatal human development of the orofacial region. Eur. J. Oral Sci (submitted).

Seitenverzahnung (Abb. 10d) noch korrigiert werden (Abb. 10c, e). Bei diesem dentoalveolären Ausgleich handelt es sich in den meisten Fällen allerdings um einen eher kompensatorischen Achsausgleich der Zahnstellung. Beim nachgewiesenen Vorliegen eines basalknöchernen Defizits der Maxilla sollte bei Patienten im späten Wechselgebiss dann eher an eine Erweiterung der Gaumennaht, vorzugsweise mit intraossär verankerten Geräten, gedacht werden. Die Möglichkeit, nach Abschluss des Wachstums ein Größendefizit der Maxilla durch chirurgische Verfahren wie Osteotomien

oder Distractionstechniken, auszugleichen, bleibt je nach Ausgangslage dabei immer noch eine verlässliche Option. ☒

**KN Adresse**

Prof. Dr. Dr. Ralf J. Radlanski  
Charité – Campus Benjamin Franklin  
Freie Universität Berlin  
Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde  
Assmannshäuser Str. 4–6  
14197 Berlin  
Tel.: 0 30/45 05 62-2 01  
Fax: 0 30/45 05 62-9 02  
E-Mail: ralfj.radlanski@charite.de  
http://oralstruktbiol.charite.de/



**Abb. 9a:** Dentoalveolär bedingter Kreuzbiss bei 52-53/82-83 bei einem 5-jährigen Kind.



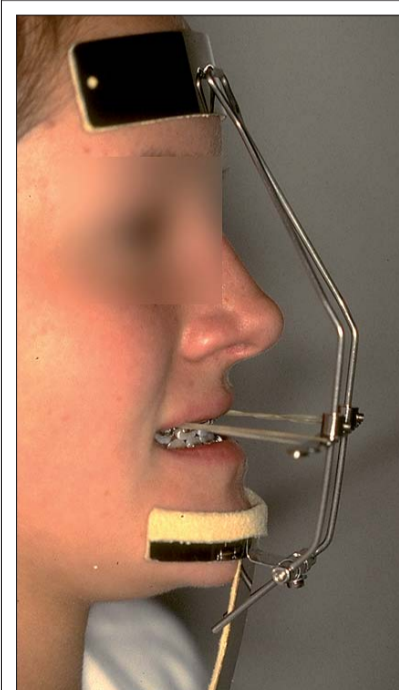
**Abb. 9b:** Wachstumsförderung der apikalen Basis der Maxilla zur Überstellung der Kreuzbissituation mit einem Funktionsregler (III) nach Fränkel.



**Abb. 9c:** Unter dem Funktionsregler hat sich der Alveolarfortsatz transversal erweitert, die Zähne 11 und 21 brechen korrekt durch.



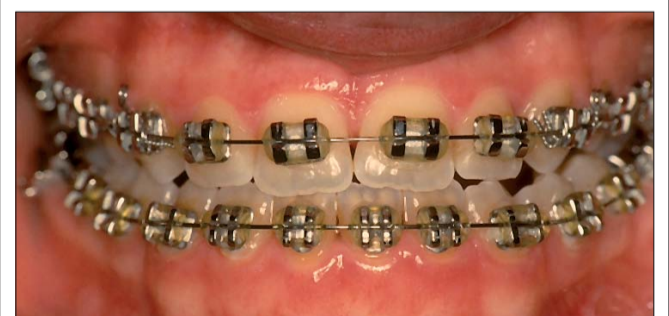
**Abb. 9d:** Die Kreuzbissituation ist beseitigt; auf dem Zahn 52 ist noch die Schliiffacetten, verursacht durch die Kreuzbissituation (Abb. 8a), zu erkennen.



**Abb. 10a:** Dentoalveoläre Korrektur einer frontalen Kreuzbissverzahnung mit einer Multibandapparat und einer Delaire Maske bei einer 15-jährigen Patientin.



**Abb. 10b:** Frontaler Kopf- und Seitenverzahnung, horizontale Gummizüge und Delaire Maske.



**Abb. 10c:** Lückenschluss nach anterior und weitgehende Überstellung der Kopf- und Seitenverzahnung.



**Abb. 10d:** Frontaler Kopf- und Seitenverzahnung und Klasse III-Relation in der Ansicht von lateral.



**Abb. 10e:** Dentoalveolärer Ausgleich im Bereich der Frontzahngruppen und im Seitenzahnbereich nach Abschluss der Behandlung.



# Paris Insider

I. Internationales 2D-Lingual-Anwendertreffen  
23. September 2010

III. FORESTADENT-Symposium  
24. – 25. September 2010

Im Haus „Les Salons de la Maison des Arts et Métiers“  
9 bis, avenue d'Iéna, 75116 Paris

Paris, zwischen Champs Élysées, Eiffelturm und Triumphbogen ...

*... das ist DER angesagte Ort im September 2010, denn Insiderwissen ist mehr.*

*Das III. FORESTADENT-Symposium garantiert exzellente Redner, interessante Themen und fundierte Vorträge zum Hauptthema: „Das ästhetische Lächeln“. Das ist noch nicht alles. Entdecken Sie Paris fernab von ausgetretenen Touristenpfaden. FORESTADENT wird Ihnen die Geheimtipps in Paris verraten.*

*Wir freuen uns, Sie in Paris in die Geheimnisse der Stadt und des Lächelns einzuweihen.*

*Weitere Informationen finden Sie in Kürze unter [www.forestadent.de](http://www.forestadent.de).*