# Technik und Handhabung der Funktionsregler

**OMR Prof. Dr. med. dent. habil. Rolf Fränkel**

**Unter Mitarbeit von Dr. med. dent. Christine Fränkel**

**3., bearbeitete Auflage**

**Mit 80 Abbildungen, 1984**

KARGER

S. Karger · Basel · München · Paris · London · New York · Tokyo · Sydney

OMR Prof. Dr. med. dent. habil. Rolf Fränkel
Dr. med. dent. Christine Fränkel
9591 Zwickau, Ulmenweg 42

1. Auflage 1973
2. Auflage 1976

CIP-Kurztitelaufnahme der Deutschen Bibliothek
**Fränkel, Rolf:**
Technik und Handhabung der Funktionsregler
Rolf Fränkel. Unter Mitarb. von Christine Fränkel.
— 3., bearb. Aufl. — Basel; München; Paris; London; New York; Tokyo; Sydney: Karger, 1984.
ISBN 3-8055-3924-X

---

Alle Rechte vorbehalten.
Ohne schriftliche Genehmigung des Verlages dürfen diese Publikation oder Teile daraus nicht in andere Sprachen übersetzt oder in irgendeiner Form mit mechanischen oder elektronischen Mitteln (einschließlich Fotokopie, Tonaufnahme oder Mikrokopie) reproduziert oder auf einem Datenträger oder einem Computersystem gespeichert werden.

© Copyright 1984 by VEB Volk und Gesundheit Berlin
Printed in the German Democratic Republic
S. Karger AG, Postfach, CH-4009 Basel (Schweiz) hat das Alleinauslieferungrecht für alle Länder des nichtsozilistischen Wirtschaftsgebiets.
ISBN 3-8055-3924-X

# Vorwort zur 3. Auflage

Medizinisches Zentrum
35037 Marburg

Bei den Diskussionen anläßlich von Kongressen, Seminaren und Kursen habe ich feststellen müssen, daß bei der Herstellung der Funktionsregler und ihrer klinischen Anwendung immer noch gravierende Fehler gemacht werden. Der Grund hierfür liegt vor allem in der Nichtbeachtung der spezifischen orthopädischen Wirkungsweise dieser Geräte. Bei ihrer Verwendung wird übersehen, daß die Korrektur der Deformitäten im Kiefer-Gebiß-Bereich nicht durch eine direkte, mechanische Gerätewirkung zustande kommt. Der formverändernde Effekt erklärt sich vielmehr als sekundäres Phänomen, als Adaptation der Form an die durch die Therapie veränderte Funktion. Das heißt, das primäre und essentielle Behandlungsziel ist die Behebung der funktionellen Aberrationen. Dieses Ziel läßt sich aber nur erreichen, wenn der Funktionsregler als orthopädisches Gymnastikgerät begriffen und gehandhabt wird.

Offensichtlich bestehen in bezug auf die Arbeitshypothese, die ich den Funktionsreglern bei der Durchführung einer orthopädischen Gymnastik zugrunde gelegt habe, immer noch Mißverständnisse. Es erschien mir daher notwendig, den theoretischen Teil dieses Kompendiums zu überarbeiten und zu ergänzen. Hierbei kam es mir vor allem darauf an, die physiologischen Besonderheiten des orofazialen Komplexes herauszustellen und auf die Symptome der gestörten Physiologie einzugehen. Es ging mir dabei nicht so sehr um die Erweiterung und Vertiefung des theoretischen Konzepts. Maßgebend waren vielmehr klinische Aspekte. Auf Grund langjähriger Erfahrungen glaube ich, daß die Realisierung einer funktionellen Orthopädie im orofazialen Bereich nur dann möglich ist, wenn man sich mit der Physiologie dieser Region eingehend befaßt hat. Nur dann wird man auch den Funktionsregler als orthopädisches Trainingsgerät korrekt konstruieren und klinisch erfolgreich anwenden können. Der theoretische Teil dieses Kompendiums sollte daher nicht als abstrakte, theoretisch-wissenschaftliche „*Zugabe*" aufgefaßt werden. Er ist vielmehr ein integrierender Bestandteil der praktischen Anleitung zu „*Technik und Handhabung der Funktionsregler*".

Um das Wirkungsprinzip des Funktionsreglers als orthopädisches Trainingsgerät klar herauszustellen, wurde in dieser Auflage auf die Beschreibung von Modifikationen mit aktiven, mechanischen Wirkungselementen verzichtet. Dies erschien mir vor allem für eine exakte Indikationsstellung der Funktionsregler notwendig zu sein. Die Beziehungen zwischen Funktion und Form im orofazialen Bereich sind sehr komplexer Art. Eine funktionelle Diagnostik und Therapie erfordert umfangreiche Kenntnisse und ist auch in praxi wesentlich schwieriger durchzuführen als das mechanische Richten

von Zähnen. Die Funktionsregler sollten daher nur in den Fällen zur Anwendung kommen, in denen angenommen werden kann, daß das Ergebnis den Mehraufwand an Arbeit und Mühe rechtfertigt.
Die Entwicklung der orthodontischen Gerätesysteme hat einen Grad der Vervollkommnung erreicht, daß das Problem der aktiven Bewegung von Zähnen als gelöst betrachtet werden kann. Bei der Behandlung von skelettalen Fehlentwicklungen jenseits des Alveolarfortsatzes aber versagt die Mechanotherapie. Sie hat in diesen Fällen mehr oder weniger nur symptomatischen Charakter, d. h., sie erschöpft sich in der Korrektur der dentalen Symptome der Dysgnathie. Die skelettalen Disproportionen und die bestehenden funktionellen Aberrationen, die die Gesichtsästhetik erheblich beeinträchtigen, bleiben bestehen.
Aus diesem Grunde muß man Moss beipflichten, wenn er sagt, daß die funktionelle Orthopädie im orofazialen Bereich ihr Ziel noch nicht erreicht hat. Die Kieferorthopädie ist dringend gefordert, die Therapielücken auszufüllen und nach Wegen zu suchen, um die gnathischen Fehlentwicklungen orthopädisch zu beeinflussen. Die Entwicklung der Funktionsregler zum orthopädischen Übungsgerät sollte als ein Bemühen in dieser Richtung gesehen werden.
Bei der Bearbeitung dieser dritten Auflage bin ich von dem Kollektiv des Kieferorthopädischen Instituts des Bezirkskrankenhauses „Heinrich Braun" sowie vom Verlag, besonders von Frau Lektorin Albrecht, tatkräftig und hilfsbereit unterstützt worden, wofür ich herzlich Dank sage.

R. Fränkel

# Inhaltsverzeichnis


| | | |
|---|---|---|
| **1.** | **Einleitung** | 9 |
| **2.** | **Knochenumbau unter mechanischer Streßwirkung** | 12 |
| 2.1. | Einführung in die Problematik | 12 |
| 2.2. | Der dentoalveoläre Fortsatz unter orthodontischer Streßwirkung | 14 |
| **3.** | **Die Grundtypen der Funktionsregler** | 21 |
| **4.** | **Die Wirkungsweise der Funktionsregler bei der Behebung morphologischer Abwegigkeiten** | 26 |
| 4.1. | Korrektur dentoalveolärer Fehlentwicklungen | 26 |
| 4.1.1. | Die Wirkung des Funktionsreglers durch gerichtete Druckapplikation | 26 |
| 4.1.2. | Die Wirkung des Funktionsreglers durch Druckelimination | 26 |
| 4.1.3. | Die Wirkung des Funktionsreglers durch gerichtete Zugapplikation | 28 |
| 4.1.4. | Die Wirkung des Funktionsreglers durch Druckelimination und Zugapplikation in der Wechselgebißperiode | 30 |
| 4.2. | Die Wirkungsweise des Funktionsreglers bei der Behebung skelettaler Fehlentwicklungen jenseits des Alveolarfortsatzes | 33 |
| **5.** | **Die Physiologie des orofazialen Komplexes und ihre Bedeutung für funktionelle Diagnostik und Therapie** | 35 |
| 5.1. | Funktionsraum und posturale Funktionsmechanismen der orofazialen Muskulatur | 35 |
| 5.2. | Entwicklung und Reifung neuromuskulärer Funktionsmuster im orofazialen Bereich | 36 |
| 5.3. | Die Bedeutung des atmosphärischen Drucks für die Physiologie des orofazialen Komplexes | 39 |
| 5.4. | Muskuläre Funktionsmuster und Zentralnervensystem | 40 |
| **6.** | **Die gestörte Physiologie des orofazialen Komplexes und ihre klinische Problematik** | 43 |
| **7.** | **Die Realisierung einer funktionellen Kieferorthopädie unter den Bedingungen der ambulanten Versorgung** | 46 |

| | | |
|---|---|---|
| **8.** | **Die Wirkungsweise des Funktionsreglers bei der Behebung funktioneller Abwegigkeiten des Raums und der Muskulatur an Beispielen gnathischer Fehlentwicklungen** | 50 |
| 8.1. | Die Entwicklungshemmung im dentoalveolären Bereich | 50 |
| 8.2. | Die mandibuläre Retrognathie | 54 |
| 8.3. | Die vertikalen Disproportionen bei mandibulärer Vorwärtsrotation | 63 |
| 8.4. | Die vertikalen Disproportionen bei mandibulärer Rückwärtsrotation | 65 |
| 8.5. | Die Progenie | 69 |
| **9.** | **Allgemeine Hinweise zur technischen Herstellung der Funktionsregler** | 73 |
| 9.1. | Abdrucknahme und Herstellung der Arbeitsmodelle | 73 |
| 9.2. | Bißnahme und Einstellung der Arbeitsmodelle in den Fixator | 73 |
| 9.3. | Radierung der Arbeitsmodelle | 77 |
| 9.4. | Das Wachsfutter | 78 |
| 9.5. | Herstellung der Drahtelemente | 80 |
| 9.6. | Herstellung der Kunststoffschilder | 80 |
| **10.** | **Hinweise für die technische Herstellung der verschiedenen Funktionsreglertypen** | 82 |
| 10.1. | Der Funktionsregler – Typ FR I | 82 |
| 10.2. | Der Funktionsregler – Typ FR II | 98 |
| 10.3. | Der Funktionsregler – Typ FR III | 101 |
| 10.4. | Der Funktionsregler – Typ FR IV | 107 |
| **11.** | **Hinweise für die klinische Verwendung der Funktionsregler** | 108 |
| | **Literaturverzeichnis** | 118 |

# 1. Einleitung

Der Funktionsregler (FR) ist ein kieferorthopädisches Gerät, dessen Verwendung dem Prinzip der „funktionellen Orthopädie" entsprechen soll. Nach ROUX besteht dieses Prinzip darin, neben den morphologischen auch die funktionellen Abweichungen zu beheben. Physiotherapie, Gymnastik und Muskeltraining sind integrierende Bestandteile einer funktionellen Orthopädie. So werden heute in der Allgemeinorthopädie keine chirurgischen Maßnahmen durchgeführt, keine mechanisch-stützenden Geräte angewandt, ohne daß nicht gleichzeitig die entsprechende Muskulatur durch Gymnastik und Training im Sinne der Funktionsverbesserung beeinflußt wird. In Anlehnung an die Lehre von ROUX hat die Entwicklung einer funktionellen Behandlungsweise in der Allgemeinorthopädie einen hohen Grad von Vollkommenheit erreicht. Das erklärt sich vor allem dadurch, daß die Beziehungen zwischen Form, Struktur und Funktion im Bereich des Bewegungsapparates relativ leicht zu übersehen sind. Sie beschränken sich im wesentlichen auf die Muskulatur, als den dynamischen, und das Skelett als den passiven Teil des Bewegungsapparates. Die Funktionen des Bewegungsapparates sind mechanischer Art. Diese bieten günstige Möglichkeiten, den Kausalweg der direkten Beziehungen zwischen Form und Funktion verfolgen zu können. Die hierbei gewonnenen Erkenntnisse lassen sich daher auch leicht einer klinischen Nutzung zuführen.

Im Schädelbereich sind die Beziehungen zwischen Form und Funktion wesentlich komplexer. Der Kopf ist ein multifunktioneller Körperbereich. Die zahlreichen, hier ablaufenden Funktionen haben zudem unterschiedliche Aufgaben zu erfüllen. Ihr Leistungsbereich ist keineswegs nur auf den Kopf beschränkt. So sind die Funktionen des zentralen Nervensystems, der Atmung, der Aufnahme und des Transports der Nahrung für die Erhaltung des Lebens von allgemeiner Bedeutung. Aus diesem Grunde werden sie auch als Vitalfunktionen bezeichnet. Aber auch die sensorischen Funktionen, wie Sehen, Hören, Riechen und Schmecken, spielen bei den Beziehungen des Individuums zur Umwelt eine wichtige Rolle. Bei der vitalen Bedeutung dieser Funktionen ist das „funktionelle Angepaßtsein" des Schädelskeletts eine unabdingbare Voraussetzung. Eine funktionelle Orthopädie ist daher bei der Korrektur von Dysgnathien besonders indiziert.

Nach VAN DER KLAAUW läßt sich Gestaltung und Strukturierung im Schädelbereich nur im ursächlichen Zusammenhang mit den regionalen Funktionsabläufen begreifen. Aus diesem Grunde empfiehlt er eine „funktionelle Schädelanalyse". Hierfür erscheint ihm eine anatomische Gliederung des Schädels in Einzelknochen nicht zweckmäßig. Er unterteilt den Schädel

in sogenannte „funktionelle Schädelkomponenten". Eine solche ist beispielsweise der Hirnschädel. An seiner Bildung sind verschiedene Schädelknochen beteiligt. Zur „funktionellen Schädelkomponente" gehören aber nur die Teile der Einzelknochen, die die Hirnkapsel bilden. Sie übernehmen die mechanischen Funktionen des „Schützens" und „Stützens" und bilden den knöchernen „Funktionsraum", der für einen ungestörten Ablauf der neuralen Funktion erforderlich ist. Unter gleichen funktionellen Aspekten ist die Entwicklung des Viszeralskeletts zu sehen. Sehen und Hören sind nur möglich, wenn die skelettale Entwicklung für Aug- und Hörorgan entsprechende Funktionsräume vorsieht. Das gleiche gilt für die Atemfunktion und die oralen Funktionsmechanismen. Ihr ungestörter Ablauf ist von der Bildung eines adäquaten nasopharyngealen bzw. oralen Funktionsraums abhängig, was eine funktionell angepaßte Entwicklung im orofazialen Skelettbereich voraussetzt.

Die funktionelle Schädelanalyse nach VAN DER KLAAUW hat der jüngsten experimentellen Forschung neue Impulse gegeben. Sie ist Ausgangspunkt und Grundlage für die von Moss konzipierte Theorie. Danach unterliegt die postnatale Morphogenese des Schädels nicht der direkten genetischen Steuerung, sondern wird durch die „funktionelle Matrix" induziert und gelenkt. VAN LIMBORGH spricht in diesem Zusammenhang von einer „epigenetischen" Wachstumskontrolle. Danach wird beispielsweise die Entwicklung des Hirnschädels durch die wachstumsbedingte Größen- und Formentwicklung des Gehirns induziert und bestimmt. Die Morphogenese des Hirnschädels ist deshalb nicht weniger genetisch determiniert. Der Kontrollmechanismus ist aber nicht direkter, sondern indirekter Art. Maßgebender Induktor ist das genetisch-determinierte Wachstum des Gehirns.

All diesen Theorien liegt die fundamentale Erkenntnis zugrunde, daß ein ungestörter Ablauf der Vitalfunktionen nur möglich ist, wenn bei der Schädelentwicklung lokale Induktions- bzw. Koordinierungsmechanismen wirksam werden. Das heißt, das Gehirn oder das Sehorgan werden optimal nur dann funktionieren können, wenn sie die skelettale Entwicklung in der Nachbarschaft formbestimmend mit beeinflussen können. Für die Existenz derartiger lokaler Induktionsmechanismen hat die experimentelle Forschung genügend Beweise erbracht. So kann man beispielsweise die Entwicklung der Orbita durch Enukleierung des Augapfels, durch Vergrößerung des intraokulären Drucks oder durch Verpflanzung des Augorgans in Größe, Form und Lage beeinflussen. Das Prinzip der Induktion wird aber nur wirksam werden können, wenn im Schädelbereich die Möglichkeit eines reaktiven, kompensatorischen Knochenwachstums vorgesehen ist. Diese Möglichkeit ist durch die Existenz reaktiver Knochenwachstumszonen gegeben. So wird nach BAUME die extragenetische Aktivität der membranösen Wachstumszonen in Suturen, Periost und Periodontium durch das interstitielle Wachstum oder durch die Funktion eines benachbarten Organs induziert. VAN LIMBORGH ist der Ansicht, daß im Schädelbereich Einflüsse der Umgebung auch bei den Wachstumsvorgängen der chondralen Wuchskörper, den Stellen enchondraler Ossifikation, eine Rolle spielen. Einen extremen Standpunkt nimmt Moss ein, der alle Wachstumsprozesse der Schädelknochen auf die primäre Aktivität der „funktionellen Matrix", also auf die epigenetische Steuerung bezieht.

In den Begriff „funktionelle Matrix" hat Moss alle in Frage kommenden Induktionsmechanismen integriert. Dabei wird zwischen den Einflüssen des Wachstums und der Funktion nicht unterschieden, was die klinische Applikation seines Konzepts erschwert. Trotz alledem hat sich Moss um die Renaissance funktionellen Denkens und Handelns in der Kieferorthopädie große Verdienste erworben.

Die Mechanismen, die Knochenneubildung bzw. modellierende Resorption induzieren und regulieren, sind sehr komplexer Natur. Hierbei spielen biochemische, endokrine, bioelektrische, enzymatöse, neurotrophische, vaskuläre und andere Prozesse eine regulierende Rolle, die in ihrer Bedeutung für Ossifikation und Resorption noch weitgehend unerforscht sind.

Auf Grund der experimentellen Realitäten kann aber kein Zweifel bestehen, daß hierbei auch Induktionsmechanismen biomechanischer Natur wirksam werden. Ihre Existenz läßt sich allein aus der Tatsache ableiten, daß jede wachstumsbedingte Zunahme an Volumen und Größe, jede Veränderung der Form bzw. Lage eine mechanische Wirkung auf die Umgebung bedeuten. So geht von der wachstumsbedingten Größenzunahme und Formentwicklung des Gehirns bzw. Sehorgans eine biomechanische Induktionswirkung aus, die Wachstum und Entwicklung der umgebenden Knochen im Sinne der epigenetischen Kontrolle beeinflußt. Auch bei der Morphogenese im Kiefer-Gebiß-Bereich müssen wir mechanischen Einflüssen der Umgebung entsprechende Bedeutung zumessen. Dies hat für die Kieferorthopädie große praktische Bedeutung. Unsere diagnostischen Bemühungen sollten sich daher vor allem auf eine biomechanische Analyse konzentrieren. Dabei gilt es zu eruieren, welche mechanischen Einflüsse der „Umgebung" die skelettale Entwicklung ungünstig beeinflußt haben könnten. Hieraus lassen sich für die Konstruktion eines kieferorthopädischen Geräts wertvolle Hinweise erhalten. Bei der Geräteplanung sollten wir davon ausgehen, daß ein kieferorthopädischer Behelf nach seiner Eingliederung zu einem Teil der „Umgebung" wird. Damit besteht die Möglichkeit, die biomechanische Induktion der „Umgebung" zu verändern. In welcher Weise die Lösung dieser Aufgabe durch den Funktionsregler als „zusätzlicher Faktor der Umgebung" angestrebt wird, soll durch eine biomechanische Analyse erläutert werden. Dabei stehen folgende Fragen im Vordergrund der Erörterung:

1. Inwieweit erreicht der Funktionsregler die Korrektur der morphologischen Abwegigkeiten durch einen primären und direkten Eingriff in die biomechanischen Induktionsmechanismen?
2. Inwieweit erfüllt der Funktionsregler die Aufgabe eines kieferorthopädischen Übungs- und Trainingsgeräts, um bestehende funktionelle Aberrationen zu eliminieren und so ihre biomechanische Fehlinduktion auf die skelettale Entwicklung permanent auszuschalten?

Eine solche Therapie würde dem Charakter des „Orthopaideueins" entsprechen, das aus dem Griechischen übersetzt „richtiges Erziehen" bedeutet. Das heißt, wir könnten so die Entwicklung vor ungünstigen Einflüssen der „Umgebung" abschirmen und den guten Anlagen den Weg frei machen. Außerdem entsprächen wir damit dem Prinzip einer funktionellen Orthopädie, d. h., funktionelle Aberrationen durch eine kieferorthopädische Gymnastik zu beheben.

11

# 2. Knochenumbau unter mechanischer Streßwirkung

## 2.1. Einführung in die Problematik

Die klinische und experimentelle Erfahrung hat gezeigt, daß der Knochen die Fähigkeit besitzt, sich einer veränderten mechanischen Beanspruchung in Form und Strukturen anzupassen. Seitdem Roux die „Lehre von der funktionellen Anpassung" entwickelte und Wolff das „Transformationsgesetz" konzipierte, hat die Forschung viele Einzelprobleme der Biomechanik, der Knochenbildung und Umformung lösen können. Für den ursächlichen Zusammenhang zwischen mechanischer Krafteinwirkung und Knochenumbau konnte bisher keine lückenlose Erklärung gefunden werden. Zur Zeit müssen wir uns mit der empirischen Feststellung begnügen, daß mechanische Kräfte Umbauprozesse im Knochen zu induzieren vermögen. Die für die Praxis entscheidende Frage ist, welche Qualität und Quantität diese Kräfte haben müssen, um Knochenumbau auszulösen. Unter physiologischen Bedingungen vermag das Skelett auch starker mechanischer Belastung ohne Schaden und ohne Formveränderung zu widerstehen. Dies beweist der Sport. Der mechanische Streß hat hierbei nur roborierenden Einfluß, d. h., es kommt zu einer Verstärkung der Knochenstrukturen. Hieraus folgt, daß sich Knochenumbau ursächlich keineswegs nur durch Größe und Dauer einer mechanischen Kraft erklären läßt.

Eine biomechanische Analyse sollte aber eine Tatsache nicht übersehen. Bei den Bewegungsfunktionen des Muskel-Skelett-Apparates ändert sich laufend die Richtung der mechanischen Beanspruchung. Dieser ist das Skelett von Natur aus funktionell angepaßt. Der Knochen ist erst dann zu Umbauprozessen gefordert, wenn er unter eine richtungsmäßig veränderte Streßwirkung von entsprechender Dauer kommt.

Der entscheidende Faktor ist demnach die richtungsfixierte Veränderung der mechanischen Beanspruchung. Zur Klärung dieser Problematik hat die wissenschaftliche Forschung unseres Fachgebiets einen wertvollen Beitrag geleistet.

Bereits Anfang dieses Jahrhunderts haben die histologischen Untersuchungen von Sandstedt und Oppenheim die reaktiven Vorgänge in den periodontalen Gewebestrukturen als Folge mechanischen Stresses eindrucksvoll nachgewiesen.

Seitdem wissen wir, daß das Periodontium, wenn es durch gerichtete Zugspannung beansprucht wird, mit Knochenneubildung, im Falle gerichteter Druckspannung mit Knochenresorption antwortet.

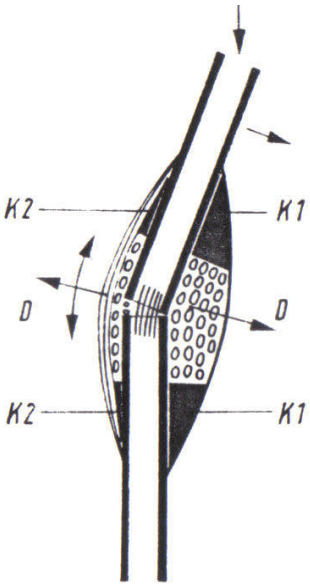



Abb. 1
Frakturexperiment (nach PAUWELS). Auf der Konkavseite des Bruchs kommt es durch den Expansionsdruck der Kallusbildung (D) zum Abspreizen des Periostschlauchs. Dabei kommt es zu keilförmigen Knochenauflagerungen, die auf der Konkavseite stärker (K 1) als auf der Konvexseite (K 2) ausgeprägt sind

Diese Beobachtungen decken sich mit den experimentellen Ergebnissen von PAUWELS und ALTMANN. Bei einer abgewinkelten Fraktur (Abb. 1) zieht die Muskulatur auf der Konkavseite das Periost von der Frakturstelle ab. Dieses Abspreizen wird außerdem durch den Expansionsdruck der Kallusbildung (D) zusätzlich verstärkt. Auf diese Weise entsteht in den angrenzenden Periostschläuchen eine gerichtete Zugspannung, die das periostale Gewebe vom Knochen weg spitztütenförmig entfaltet. Hierdurch kommt es entfernt vom Bruchspalt proximal und distal zu einer Deformation und Verspannung der kollagenen Strukturen, die PAUWELS als „osteogene Leitstruktur" bezeichnet. Wenige Tage nach der Fraktur konnte regelmäßig die „Ausfüllung dieser Leitstrukturen" mit spongiösem Knochen beobachtet werden. Die neugebildeten „Spongiosakeile" sind in Abbildung 1 als schwarze Dreiecke (K 1) dargestellt. Auch auf der Konvexseite kommt es durch Bruchödem und Kallusbildung zu einer Abhebelung des Periosts beiderseits der Frakturstelle. Der spitztütigen Entfaltung des Periosts wirkt aber der Druck der von außen anliegenden Muskulatur entgegen. Aus diesem Grunde sind die spongiösen Knochenauflagerungen auf der Konvexseite (K 2) nur gering. Auf Grund langjähriger experimenteller Erfahrungen kommt PAUWELS zu dem Schluß, daß mechanische Kräfte und die hierdurch erzeugten Spannungsqualitäten nicht in direktem Sinne als knochenbildende Reize aufgefaßt werden können. Ursächlich sind sie nur insofern von Bedeutung, als sie eine bindegewebige Matrix zu einer osteogenen Leitstruktur entfalten können.

Zu gleichen Schlußfolgerungen kommt ALTMANN auf Grund eigener Untersuchungen (Abb. 2). Durch Implantation eines mazerierten Knochenstückchens (T) wird die Muskulatur von ihrer knöchernen Unterlage (U) abgehebelt. Auf diese Weise werden die muskulären Fasern fächerförmig gespreizt und strahlen steiler ins Periost ein. Das Bindegewebemaschenwerk zwischen dem Knochen und der Fibroelastika des Periosts wird damit entfaltet und fest verspannt. Auch bei dieser Versuchsanordnung entwickelte sich regelmäßig und innerhalb weniger Tage proximal und distal vom Implantat je eine Auflagerung von spongiösem Knochen (K).

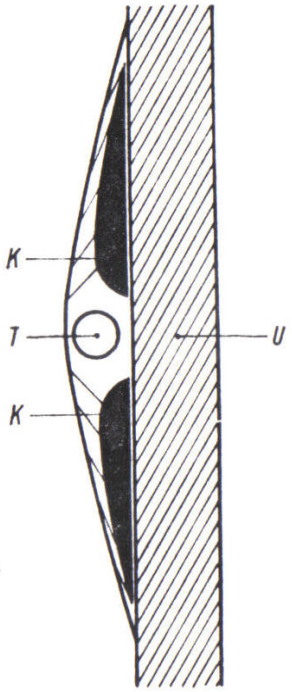
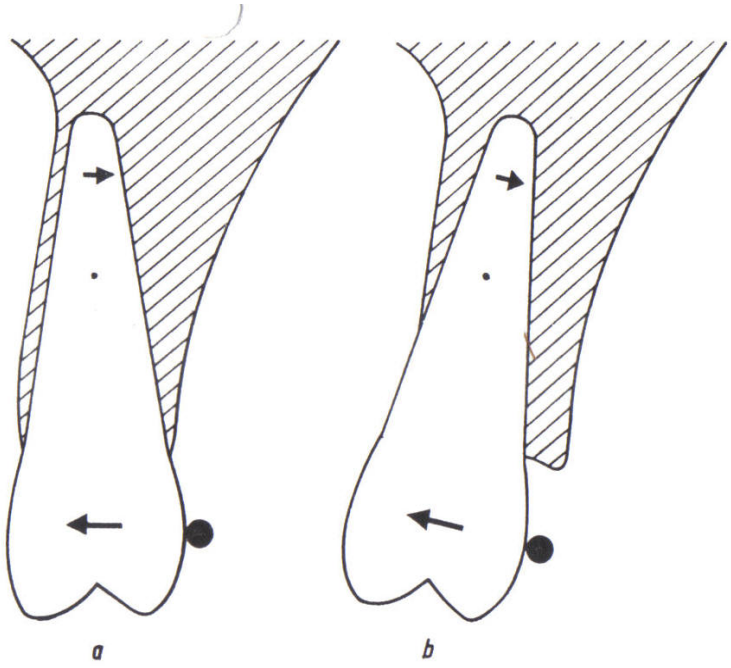



Abb. 2
Schematische Darstellung der Transplantationsversuche von ALTMANN
T = Knochenimplantat, U = Tibiaknochen,
K = Neubildung von Spongiosakeilen

Zusammenfassend läßt sich aus den Ergebnissen der experimentellen Forschung folgern, daß Knochenumbildung durch mechanische Streßwirkung induziert werden kann. Voraussetzung für die Auslösung knochenbildender bzw. -umbildender Prozesse ist eine spezifische Verformung der bindegewebigen Matrizen bzw. des Knochens selbst. Diese Deformierung kann in Anbetracht der elastischen Eigenschaften der Binde- und Stützsubstanzen nur dann erfolgen, wenn diese unter eine richtungsveränderte Beanspruchung von entsprechender Dauer kommen. Bei einer in ihrer Richtung stetig wechselnden Streßwirkung kann es nicht zu einer strukturellen Verformung der knochenbildenden Matrizen kommen. Diese biomechanischen Prinzipien des Knochenumbaus gelten auch für die mechanische Wirkung funktioneller Einflüsse.

## 2.2. Der dentoalveoläre Fortsatz unter orthodontischer Streßwirkung

HOTZ geht bei der Erklärung einer orthodontischen Formveränderung von dem „physiologischen Kräftegleichgewicht" aus. Die transversale und sagittale Entwicklung des dentoalveolären Bogens wird danach vor allem durch das Kräftegegenspiel zwischen der Zunge einerseits und den Lippen und Wangen andererseits beeinflußt. Das orthodontische Arbeitsprinzip beruht nach HOTZ auf der künstlichen Veränderung dieses Kräftegegenspiels.
Bei den meisten, zur Zeit verwendeten kieferorthopädischen Geräten wird dieses Gegenspiel durch deren künstliche Kraftwirkung verändert. Bei der Anwendung der festsitzenden Apparaturen werden Druck- bzw. Zugkräfte freigesetzt, die auf der Federkraft eines aktivierten Drahts beruhen. Der




der Philipps-Universität
Georg-Voigt-Str. 3
3550 Marburg

Abb. 3a und b
Orthodontische Kippung eines Prämolaren in bukkaler Richtung mit Hilfe eines an der Palatinalfläche des Zahns angreifenden Drahtelements

formverändernde Effekt der herausnehmbaren Plattengeräte erklärt sich vorwiegend durch die Wirkung von Druckkräften.
Der Druck der Kiefer und Zähnen anliegenden Platten- und Drahtelemente kann zustande kommen:

1. federaktiv, durch die Federkraft des Drahts,
2. schraubenaktiv, durch die Schubwirkung einer Schraube,
3. funktionsaktiv, durch die Kraftwirkung muskulärer Funktionen.

Ob die Wirkung eines Geräts federaktiv, schraubenaktiv oder funktionsaktiv zustande kommt, in jedem Falle gerät der betroffene Gebiß- bzw. Kieferabschnitt unter die Druckwirkung eines Platten- oder Drahtelements. In der Regel ist die funktionsaktive Druckwirkung eines Plattenelements oder Drahts biologischer, weil sie intermittierend zur Wirkung kommt. Je elastischer ein lose im Mund getragenes Gerät ist, desto wirksamer wird die Federkraft des Drahts. Verwendet man beispielsweise eine elastische Coffinfeder, so arbeiten die Plattenelemente, die dem Kiefer und Gebiß anliegen, mehr nach dem federaktiven als nach dem funktionsaktiven Prinzip.
Bei einer biomechanischen Analyse müssen wir davon ausgehen, daß es bei jeder Zahnbewegung als Folge einer orthodontischen Kraftwirkung zu einer mechanischen Verformung der periodontalen Gewebestrukturen kommt. Diese strukturelle Veränderung ist das primäre und essentielle Signal, das die komplexen Vorgänge von Knochenanbau bzw. Resorption an der Alveoleninnenwand auslöst. Der kieferorthopädische Gewebeumbau im dentoalveolären Bereich läßt sich jedoch durch die Aktivität der osteogenen Matrix im Periodontium allein nicht erklären. Das ist am Beispiel der Abbildung 3a klar zu erkennen. Bei einer Bukkalbewegung eines oberen Prämolaren würde die verhältnismäßig dünne Alveolenaußenwand sehr schnell resorbiert. Die Wurzel dieses Zahns würde nach erfolgter Zahnbewegung fast zur Hälfte vom Knochen entblößt sein. Auf der anderen Seite käme es durch Apposition zu einer erheblichen Verdickung des palatinalen Alveolarrandes (3b).

Schon im vorigen Jahrhundert haben FARRAR, KINGSLEY und WALKHOFF auf die Elastizität des Alveolarknochens hingewiesen. Bei einer orthodontischen Zahnbewegung spielt ihrer Meinung nach die mechanische Verformung der Alveole eine große Rolle. Die gleiche Ansicht wird von ANGLE vertreten. Nach ihm kommt der orthodontische Gewebeumbau sowohl durch die Aktivität des Periodonts als auch durch die Deformierung des Alveolarknochens zustande. Dabei weist er auf die „Unelastizität der Fasern der Wurzelhaut und ihre starke Befestigung am Knochen" hin. Hierdurch erkläre sich, daß bei einer Zahnbewegung nicht nur die unter Druck-, sondern auch die unter Zugbeanspruchung stehende Alveolenwand mechanisch verformt würde.
Diese Meinung wird durch die neuerlichen Untersuchungen von BAUMRIND bestätigt. Seine histologischen Untersuchungen haben gezeigt, daß schon sehr geringe Kräfte Deformierungen der Alveolenwand herbeiführen, ohne daß dabei größere Verengungen bzw. Erweiterungen des Periodontalspalts auftreten. In dem verformten Alveolarknochen vollziehen sich dann sekundär gewebliche Anpassungsvorgänge, die dem Transformationsgesetz von WOLFF entsprechen. Auch ENLOW hat in jüngster Zeit auf die Elastizität und Verformbarkeit des Knochens hingewiesen. Wird eine solche Verformung für längere Zeit in der gleichen Weise aufrechterhalten, so paßt sich der Knochen im Sinne des Wolffschen Transformationsgesetzes der neuen Beanspruchung an. In autoradiografischen Untersuchungen und Tierexperimenten unter Verwendung von Tetrazyklinen wurde nachgewiesen, daß bei einer orthodontischen Behandlung nicht nur im Periodontalspalt, sondern auch in den Markräumen und auf der Außenseite des Alveolarfortsatzes gleichsinnige Knochenappositions- bzw. Resorptionsvorgänge stattfinden (DE ANGELIS, TAYER, UTLEY). Viele Autoren messen bei einer Erklärung der ursächlichen Zusammenhänge zwischen der mechanischen Krafteinwirkung und den reaktiven histologischen Prozessen der Piezoelektrizität große Bedeutung bei (BASSETT, BECKER, GILLOOLY).
Die Behandlung mit einem kieferorthopädischen Gerät hat im Prinzip aber immer nur mechanischen Wirkungscharakter. Aus diesem Grunde sind Kenntnisse über biomechanische Induktionsmechanismen von vorrangiger Bedeutung.

**Die dentoalveolären Strukturen unter der spezifischen Streßwirkung der gebräuchlichen festsitzenden Band-Draht-Apparaturen bzw. der herausnehmbaren Plattengeräte**

Um die spezifische Wirkungsweise des Funktionsreglers verständlich zu machen, sei zunächst auf das mechanische Wirkungsprinzip der bisher gebräuchlichen kieferorthopädischen Geräte eingegangen.
Zu diesem Zweck soll untersucht werden:

1. Unter welche abgeänderte mechanische Beanspruchung gerät der dentoalveoläre Fortsatz durch die mechanische Streßwirkung des Geräts?
2. Welche Deformierung können wir in den Weich- und Hartgeweben des Alveolarfortsatzes hierdurch erwarten?

Diese Analyse der Gerätewirkung sei an dem Beispiel einer durchzuführenden Weitung des oberen dentoalveolären Bogens erläutert. Dabei wollen wir uns

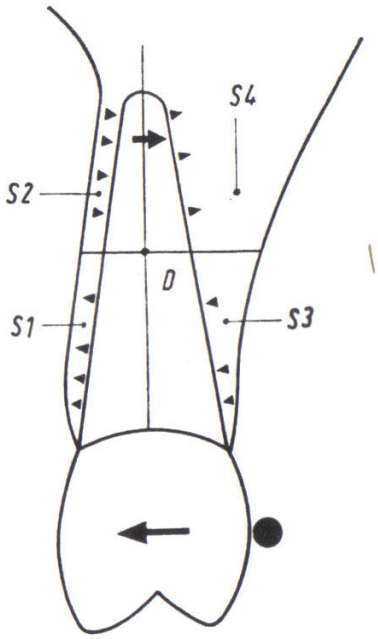



Abb. 4
Kippende Zahnbewegung eines oberen Prämolaren in bukkaler Richtung mit Hilfe einer Drahtfeder
(D = Drehpunkt, um den der Zahn gekippt wird. Die großen Pfeile geben die Bewegung des Zahns, die kleinen Dreiecke die richtungsfixierte Beanspruchung der Alveolensegmente S 1, S 2, S 3, S 4 wieder)

auf die mechanische Beanspruchung der Alveolenwände im Bereich eines rechten oberen Prämolaren beschränken. Um zu einer klaren Vorstellung zu kommen, müssen wir bedenken, daß es bei jeder Weitung des dentoalveolären Bogens zu einer Kippung des Zahns kommt. Hierdurch werden die Alveolenwände in ihren koronalen Anteilen anders beansprucht als in ihren apikalen. Die Abbildung 4 soll die mechanische Beanspruchung der Alveolenwände verdeutlichen, wie sie durch die Druckwirkung eines der Zahnkrone anliegenden Drahts zu erwarten ist. In der Zeichnung ist der Drehpunkt D, um den der Zahn durch die Drahtwirkung voraussichtlich gekippt wird, markiert. Durch den Drehpunkt D wird senkrecht zur Zahnachse eine Gerade gezogen. Danach lassen sich 4 Alveolensegmente unterscheiden:

S 1 = Bukko-koronales Alveolensegment
S 2 = Bukko-apikales Alveolensegment
S 3 = Palato-koronales Alveolensegment
S 4 = Palato-apikales Alveolensegment

Die Gerätewirkung auf die Alveolensegmente kann direkt oder indirekt zustande kommen.
Sie erfolgt *indirekt*, wenn das Alveolensegment durch die Wurzel des in seiner Stellung veränderten Zahns beansprucht wird, *direkt*, wenn das Gerät Druck oder Zug auf den Alveolarfortsatz selbst appliziert. In den Abbildungen stellen die großen Pfeile die Richtung der auf die Alveolensegmente ausgeübten Kraftwirkung dar. Die Richtung der mechanischen Beanspruchung der Alveolensegmente selbst wird durch kleine Dreiecke wiedergegeben. Berücksichtigt werden bei dieser Analyse nur die Vektoren, die richtungsfixiert im Sinne einer Weitung wirksam werden.
Der kieferorthopädische Effekt einer Drahtfeder beruht auf *Druckapplikation*, die auf verschiedene Weise zustande kommen kann:

1. federaktiv, wenn die Drahtfeder durch Biegung aktiviert wird;

2. schraubenaktiv, wenn die Schubkraft einer Schraube den an einem Plattensegment befestigten Draht gegen den Zahn drückt;
3. funktionsaktiv, wenn Muskelkraft den an einem lose im Munde liegenden Plattenbehelf armierten Draht gegen den Zahn drückt.

Die mechanische Beanspruchung der Alveolensegmente erfolgt *indirekt* über die Wurzel des in seiner Stellung veränderten Zahns. Dadurch kommt es zu einer *Druckbeanspruchung* der Alveolensegmente von:

S 1 in bukkaler Richtung,
S 4 in palatinaler Richtung;
zu einer *Zugbeanspruchung* der Alveolensegmente von
S 2 in palatinaler Richtung,
S 3 in bukkaler Richtung.

Hierdurch können folgende strukturelle Veränderungen bzw. Deformierungen angenommen werden:

Das *Periodontium* von

S 1 und S 4 wird komprimiert, von
S 2 und S 3 in Pfeilrichtung deformiert und verspannt.

Die *knöchernen Alveolenwände* von

S 1 und S 3 werden in bukkaler Richtung deformiert, besonders in der Höhe des Alveolarrandes.
S 2 und S 4 werden in palatinaler Richtung deformiert, was in S 4 wegen der Dicke der palatinalen Alveolenwand nur geringfügig und oberflächlich sein dürfte.

Die Abbildung 5 soll das mechanische Wirkungsprinzip eines den Palatinalflächen des dentoalveolären Fortsatzes anliegenden *Plattengeräts* verdeutlichen.
Wir beschränken uns wiederum nur auf die Kraftwirkung des Geräts auf den rechten oberen Prämolaren und seine angrenzenden Alveolensegmente. Die mechanische Wirkung eines im Mundinnenraums liegenden Plattengeräts kann auf verschiedene Weise zustande kommen. Zur Erzielung eines Dehneffekts kann, wie das bei den meisten mit Klammer befestigten Platten üblich ist, eine Dehnschraube verwendet werden. Der Druck durch lose im Munde liegende Plattengeräte (Aktivatoren und ihre Modifikationen) erfolgt durch Muskelkraft bzw. auch durch die zusätzliche Verwendung einer Coffin-Feder. Die Druckapplikation kann also auf folgende Weise herbeigeführt werden:

1. federaktiv (Coffin-Feder),
2. schraubenaktiv (Schubkraft der Schraube),
3. funktionsaktiv (Muskelkraft).

Die mechanische Beanspruchung der Alveolensegmente durch ein im Mundinnenraum liegendes Plattengerät erfolgt daher:
*indirekt*, durch die Lageveränderung der Wurzel, ähnlich wie im Beispiel 1,
*direkt*, S 3 und S 4 kommen durch die anliegende Platte unter Druckbeanspruchung, die in bukkaler Richtung fixiert wird.

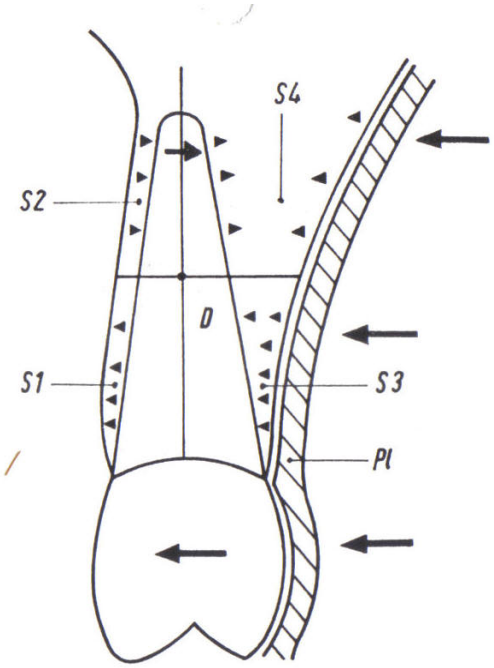



Abb. 5
Die Bewegung eines oberen Prämolaren mit Hilfe eines im Mundinnenraum liegenden Plattengeräts und die sich hierdurch ergebende mechanische Beanspruchung in den 4 Alveolensegmenten

Hierdurch können folgende strukturelle Veränderungen bzw. Deformierungen angenommen werden:
im *Periodontium* von S 1, S 2, S 4 ähnlich wie bei der Druckapplikation durch eine Drahtfeder (s. Abb. 4).
Die Alveolenwände von S 1 und S 3 werden durch die Lageveränderung der Wurzel und den Plattendruck in bukkaler Richtung deformiert, besonders in der Nähe des Alveolarrandes, von S 2 in palatinaler Richtung, ähnlich wie in Beispiel 1, von S 4 dürften Deformierungen nur oberflächlich an der Alveoleninnenwand bzw. -außenwand zustande kommen, da dieses Segment gleichzeitig in palatinaler (durch die Zahnwurzel) und bukkaler Richtung (durch die Platte) auf Druck beansprucht wird.
Man kann fragen, ob eine biomechanische Analyse der besonderen Wirkungsweise des *Aktivators* gerecht wird. Ohne Zweifel wurde mit der Einführung dieses Geräts ein neuer Abschnitt in der Entwicklung kieferorthopädischer Behelfe eröffnet. Im Gegensatz zu den bis dahin gebrauchten Apparaten geht von dem Aktivator keine eigene, umbauinduzierende Dynamik aus. Der lose im Munde liegende Behelf ist an sich passiv. Wirksam wird er erst dadurch, daß er *durch die Bewegung des Unterkiefers aktiviert* wird. Hierdurch, so wird argumentiert, kommen Kiefer und Gebiß unter eine gelenkte und vermehrte „Druckerschütterung". Der kieferorthopädische Gewebeumbau beruhe daher auf der Wirkung funktioneller Kräfte. Das Gerät übernähme die Funktion des Mittlers zwischen Muskulatur und Knochen, zwischen aktivem und passivem Bewegungsapparat. Mit Bezug auf die Rouxsche Lehre erklärten Andresen und Häupl die Umformung im dentoalveolären Bereich als das Ergebnis einer funktionellen Reizwirkung. Damit qualifiziere sich das Andresen-Gerät als *„funktionskieferorthopädisches"* Gerät. Mit seiner Verwendung glaubte man die mechanistische Betrachtungsweise in der Orthodontie überwunden und den Weg zu einer „Funktionskieferorthopädie" gefunden zu haben.
Bei der Erarbeitung dieser Arbeitshypothese hat man jedoch außer acht gelassen, daß mit dem Einsetzen des Aktivators die natürliche Kommunika-

tion zwischen Muskulatur und Alveolarknochen unterbrochen wird. Die Kraftwirkung der mastikatorischen Funktionen wird durch die Facetten des Aktivators vorwiegend in eine horizontale, also funktionsfremde Richtung umgelenkt. Ebenso wird der natürliche Kontakt zwischen der Zunge und dem dentoalveolären Fortsatz bzw. dem Gaumengewölbe unterbrochen.
Die Annahme, daß über die Kontaktflächen des Aktivators „funktionelle Reize" übertragen werden, ist daher falsch. Die muskulären Funktionen sind lediglich Kraftspender, die das Gerät „aktivieren".
Das Sensorium der betroffenen dentoalveolären Strukturen kann nicht unterscheiden, ob der Druck des anliegenden Plattengeräts durch die Kraftwirkung einer Schraube, einer Coffin-Feder oder aber durch die Muskulatur zustande kommt. Registriert wird immer nur die Größe, die Dauer und die Richtung der Druckapplikation, sonst nichts. Die Bezeichnung „funktionskieferorthopädisches Gerät" ist irreführend. In seiner Wirkungsweise auf die dentoalveolären Strukturen unterscheiden sich daher der Aktivator und seine Modifikationen in keiner Weise von den klammerbefestigten Plattengeräten.
Wollen wir uns von der Wirkung eines kieferorthopädischen Geräts oder von der Bedeutung funktioneller Einflüsse auf die skelettale Formentwicklung eine Vorstellung machen, so hat ALTMANN den einzig gangbaren Weg aufgezeigt:
„Wollen wir aber bei der Gewebedifferenzierung von Mechanismen – und zwar ganz im Sinne von ROUX – sprechen, so kann es sich allemal nur um Material, Kraft, Verformung und Verspannung handeln. Nichts sonst. Das sind wohldefinierte Angelegenheiten, die weder etwas ‚Wunderbares', noch etwas ‚Metaphysisches' an sich haben."
Die Mechanik des Apparats, seine mechanischen Wirkungen auf das Gewebe bzw. die Veränderungen des biomechanischen Kräftespiels sind daher Ausgangspunkt der vorstehenden biomechanischen Analyse. Von der mechanischen Wirkung des Apparats wurde auf die mechanische Veränderung des Gewebes geschlossen.
Unsere orthodontische Erfahrung und die experimentellen Realitäten lassen den Schluß zu, daß sich der Knochen einer veränderten Beanspruchung durch Umbauprozesse anpaßt, ganz gleich, ob diese durch das Einfügen eines kieferorthopädischen Geräts oder durch veränderte funktionelle Einflüsse zustande kommt.
Zwischen mechanischer Kraftwirkung und Formveränderung ergeben sich gesetzmäßig Zusammenhänge, die dem Prinzip von „Ursache und Wirkung" entsprechen. Das Feld zwischen Ursache und Wirkung ist jedoch noch weitgehend unerforscht, es gleicht dem „Schwarzen Kasten". Eine biomechanische Analyse bleibt zur Zeit die einzige Möglichkeit, um vom „Input" der mechanischen Kraftwirkung auf das „Output" der reaktiven Formveränderung zu schließen.
Nur so können wir uns ein Bild von den möglichen Einflüssen der Funktion auf die Form machen und eine funktionelle Orthopädie in praxi realisieren

# 3. Die Grundtypen der Funktionsregler

Die Entwicklung der Funktionsregler basiert auf den Erfahrungen, die wir mit der Verwendung von Bukkalplatten sammeln konnten. Über die Ergebnisse mit diesen im Mundvorhof liegenden, mit Klammerelementen versehenen Außenplatten, häufig kombiniert mit dem von mir konstruierten Federgelenk, wurde ausführlich berichtet (1960, 1962). Beeindruckend waren hierbei die Veränderungen im Bereich der Gesichtsweichteile, vor allem bei der Behandlung von Deckbißfällen. Dies war der eigentliche Anlaß, der zur Entwicklung der Funktionsregler führte. So könnte man den ersten FR-Typ als eine obere und untere miteinander verschweißte Bukkalplatte bezeichnen. Diese vestibulären Schilder standen von den Außenflächen des dentoalveolären Fortsatzes überall dort ab, wo seine Nachentwicklung angestrebt wurde. Zur Verlagerung des Unterkiefers bei Distalbiß wurde ein unterer Lingualbogen mit U-Schlaufen verwandt. Interdental gelagerte Drahtelemente im Oberkiefer sorgten für die intermaxilläre Abstützung des Geräts.

Bei der Weiterentwicklung des Funktionsreglers ließen wir uns vor allem von der Arbeitshypothese leiten, die Körbitz der von ihm entwickelten Mundvorhofplatte zugrunde legte. In der Behebung muskulärer Dysfunktionen und der Wiederherstellung eines intakten Lippenschlusses sah er die wesentliche Aufgabe seines „Lippenformers". Damit hat Körbitz den Charakter eines kieferorthopädischen Geräts, mit dem das Problem einer funktionellen Orthopädie gelöst werden kann, im Prinzip festgelegt, d. h., es muß der Arbeitsweise eines *Übungs- und Trainingsgeräts* entsprechen. Nur so können funktionelle Abwegigkeiten korrigiert und kann dem Prinzip einer funktionellen Orthopädie, wie es von Roux formuliert wurde, entsprochen werden.

In Abweichung zur 1. und 2. Auflage werden in diesem Kompendium nur 4 Gerätetypen vorgestellt. Auf die Beschreibung von Modifikationen wird weitgehend verzichtet. Die kieferorthopädische Praxis hat gezeigt, daß es kein Universalgerät gibt. Insbesondere hat sich erwiesen, daß die kieferorthopädische Praxis ohne den Einsatz festsitzender Band-Draht-Apparaturen nicht auskommen kann. Das schließt nicht aus, daß mit dem Funktionsregler in Verbindung mit zusätzlichen Führungselementen aus Draht oder Kunststoff auch orthodontische Aufgaben gelöst werden können. Diese Modifikationen sollten aber nur von einem Kieferorthopäden angewandt werden, der bereits über große Erfahrungen mit diesem Gerät verfügt. Schwierige orthodontische Aufgaben sollten daher besser vor oder nach der Funktionsreglerbehandlung durchgeführt werden. Zum Öffnen oder Schließen einer

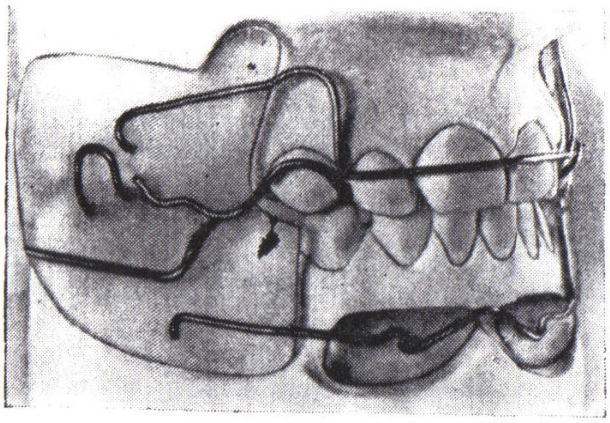


Abb. 6
FR I mit Modellen im Konstruktionsbiß von außen gesehen

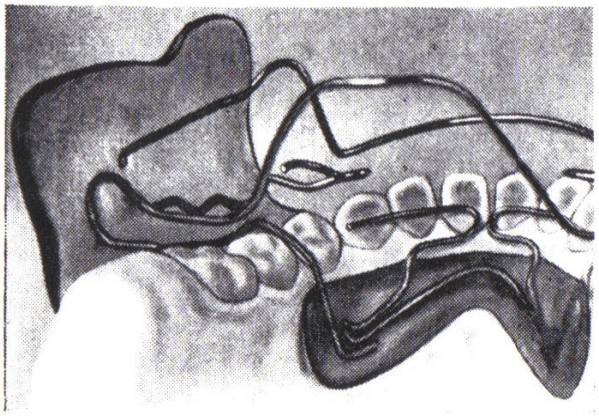


Abb. 7
FR I auf Unterkiefermodell von innen gesehen

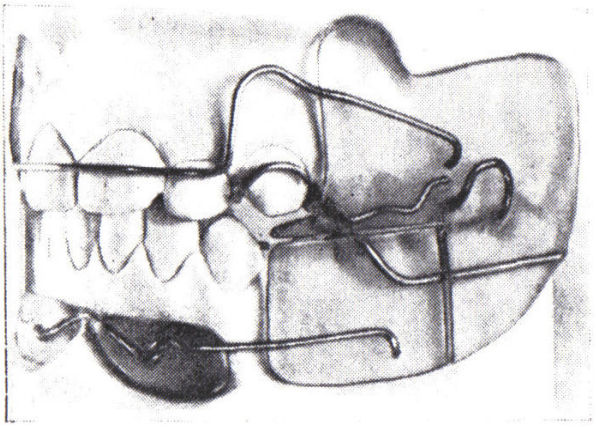


Abb. 8
FR I nach Segmentierung des Seitenschilds, wodurch eine schrittweise Vorverlagerung des Unterkiefers ermöglicht wird

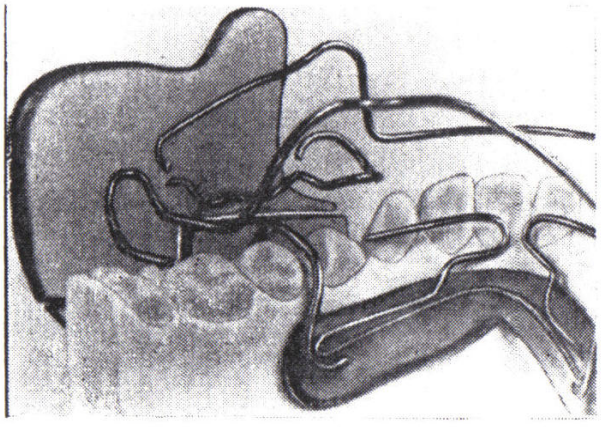


Abb. 9
FR I auf Unterkiefermodell. Der Sägeschnitt im Seitenschild ist erkennbar. Durch einen über die Kauflächen der Prämolaren hinwegführenden Draht wird das vordere Segment des Seitenschilds mit dem Lingualschild verbunden

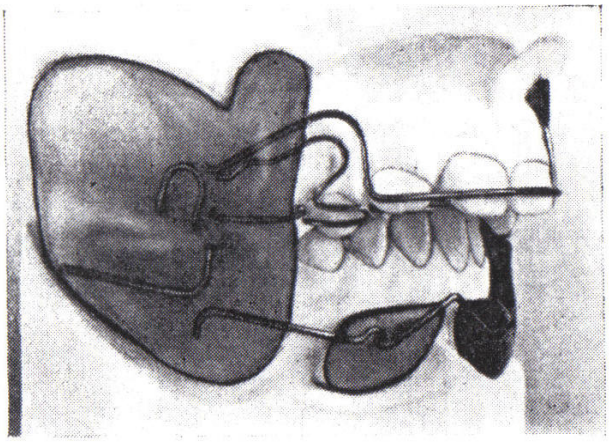


Abb. 10
FR II mit den Modellen im Konstruktionsbiß von außen

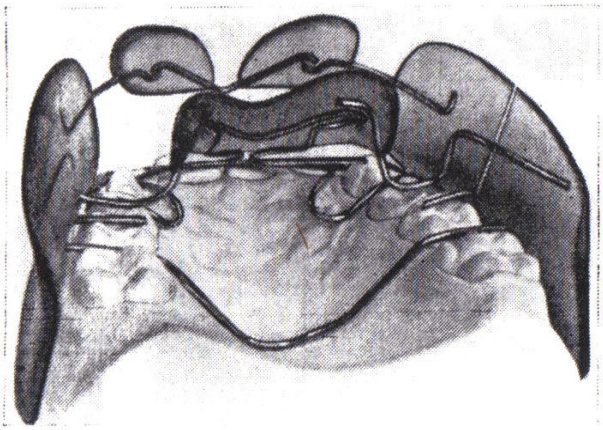


Abb. 11
FR II auf dem Oberkiefermodell

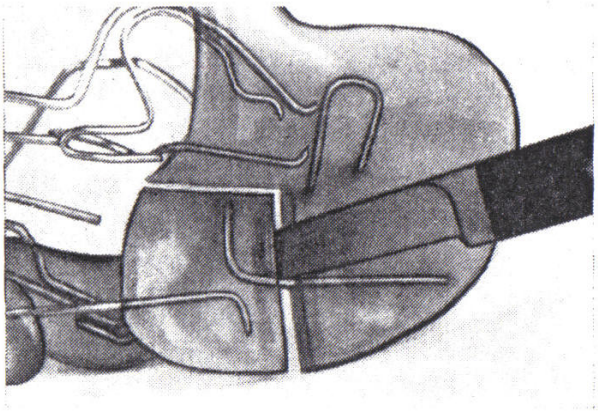


Abb. 12
FR II nach Segmentierung des Seitenschilds. Durch Verbreiterung des vertikalen Sägeschnitts mit Hilfe eines Wachsmessers können das vordere Segment des Seitenschilds und der Lingualschild, das mit ihm verbunden ist, verstellt werden

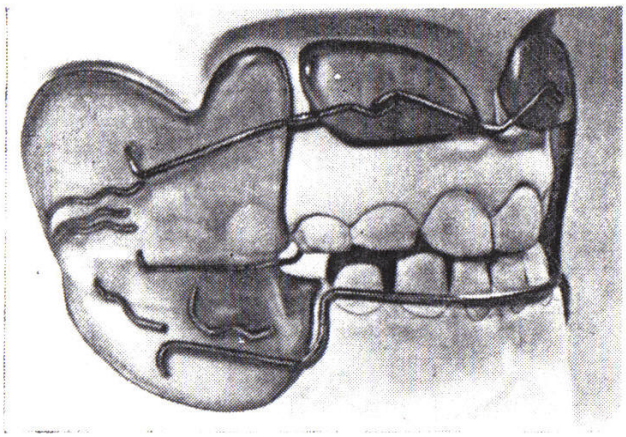


Abb. 13
FR III mit Modellen im Konstruktionsbiß schräg von außen

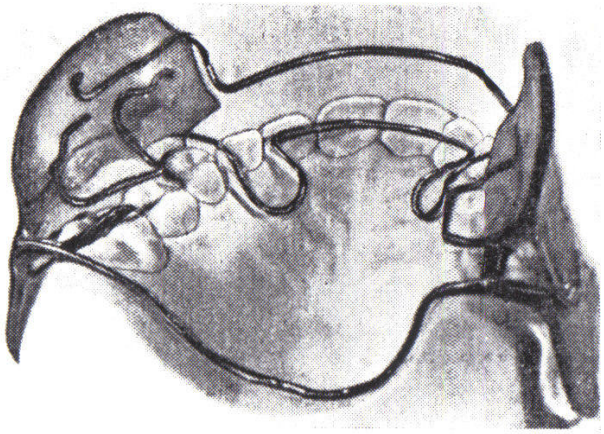


Abb. 14
FR III auf dem Oberkiefermodell

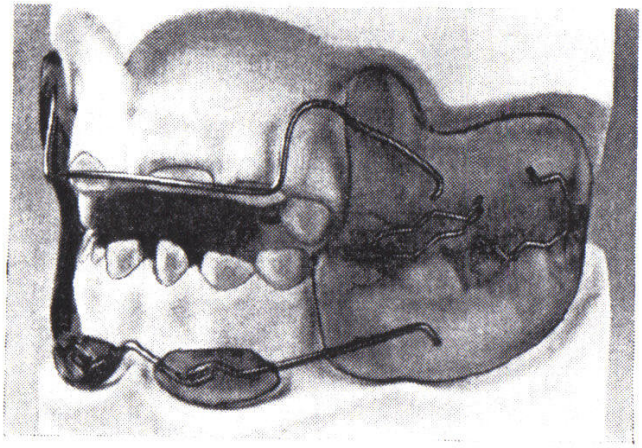


Abb. 15
FR IV mit Modellen im Konstruktionsbiß schräg von vorn

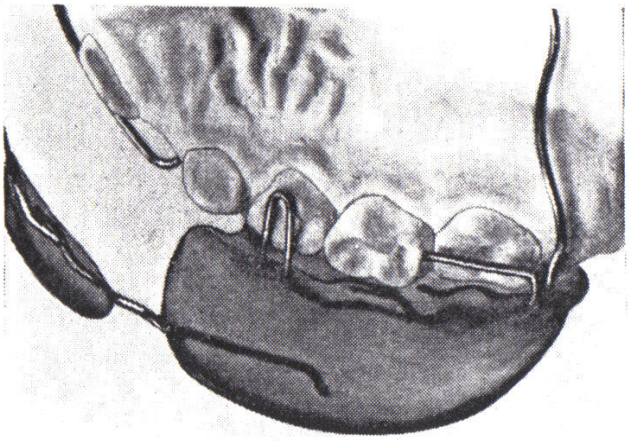


Abb. 16
FR IV auf Oberkiefermodell mit okklusalen Drahtauflagen

Lücke können Funktionsregler und festsitzende Apparaturen aber auch zur gleichen Zeit zum Einsatz kommen. Auf diese Weise kann die Behandlungszeit erheblich verkürzt werden. Die kieferorthopädische Behandlung wird aber dadurch schwieriger und unübersichtlich, was einen Erfolg in Frage stellen kann. Deshalb seien im folgenden nur die 4 Standardtypen des Funktionsreglers beschrieben.

**Der Funktionsregler Typ I (FR I)**
(Abb. 6–9)

Der FR I besteht aus 2 Seitenschildern, 2 Unterlippenpelotten, dem Lingualschild mit Lingualbögen, dem Labialbogen, dem Palatinalbügel mit Auflage-

dornen auf den oberen Sechsjahrmolaren bzw. zweiten Milchmolaren, den Eckzahnschlaufen im Oberkiefer und den die Schilder verbindenden Drähten.

**Der Funktionsregler Typ II (FR II)**
(Abb. 10–12)

Der FR II unterscheidet sich vom FR I durch den zusätzlichen Protrusionsbogen im Oberkiefer und die modifizierte Eckzahnschlaufe.

**Der Funktionsregler Typ III (FR III)**
(Abb. 13 u. 14)

Der FR III besteht aus 2 Seitenschildern, den Oberlippenpelotten, dem unteren Labialbogen, der Drahtauflage auf den jeweils letzten unteren Molaren, dem Protrusionsbogen im Oberkiefer sowie den Verbindungsdrähten zwischen Lippenpelotten und Seitenschildern. Beim Bestehen eines stärkeren frontalen Überbisses wird zusätzlich eine okklusale Drahtauflage auf den letzten oberen Molaren verwendet, um die erforderliche Bißsperrung im Seitenzahngebiet zu gewährleisten und die Behebung des umgekehrten Frontzahnüberbisses durchführen zu können.

**Der Funktionsregler Typ IV (FR IV)**
(Abb. 15 u. 16)

Der FR IV besteht aus 2 Seitenschildern, Unterlippenpelotten, einem oberen Labialbogen, einem Palatinalbügel und 4 Okklusalauflagen, die die Lage des Geräts in der Vertikalen stabilisieren, d. h. gegen Kippungen absichern sollen. Die Lage der Schilder und Pelotten zueinander wird durch Verbindungsdrähte abgesichert.

Medizinisches Zentrum
für Mund- u. Kieferheilkunde
der Philipps-Universität
Georg-Voigt-Str. 3
3550 Marburg

# 4. Die Wirkungsweise der Funktionsregler bei der Behebung morphologischer Abwegigkeiten

## 4.1. Korrektur dentoalveolärer Fehlentwicklungen

### 4.1.1. Die Wirkung des Funktionsreglers durch gerichtete Druckapplikation

Überall dort, wo der Funktionsregler mit seinen Platten- bzw. Drahtelementen anliegt, geraten die betroffenen Abschnitte des Alveolarfortsatzes bzw. des Gebisses unter Druckapplikation. Diese kann wie bei den Aktivatoren durch die Kraft muskulärer Funktionen zustande kommen, d. h. *funktionsaktiv*. Häufig werden hierbei die den Zähnen anliegenden Drähte durch die Aktivität der Muskulatur in einen Spannungszustand versetzt. In diesem Falle kommt die Druckapplikation auch durch die Federkraft des gespannten Drahts, also auch „*federaktiv*" zustande. So ergibt sich häufig ein kombinierter Wirkungscharakter der Drahtelemente. Wir können annehmen, daß stärkere und kurze Drahtelemente vorwiegend *funktionsaktiv* wirken. Längere und besonders dünne Drahtelemente, wie beispielsweise der obere Protrusionsdraht des FR III, entfalten ihre orthodontische Wirkung mehr nach dem *federaktiven* Wirkungsprinzip. Da beim Funktionsregler heute keine Schrauben mehr angewendet werden, entfällt die „schraubenaktive" Druckwirkung. Zusammenfassend läßt sich sagen, daß der Funktionsregler dort, wo er den Zähnen anliegt, nach dem gleichen Wirkungsprinzip arbeitet wie die gebräuchlichen festsitzenden Band-Draht-Apparaturen und herausnehmbaren Plattengeräte, d. h. durch Druckapplikation.
Das gilt auch für den Lingualschild des FR I und FR II. Auf seine spezifische Wirkungsweise bei der Korrektur der mandibulären Retrognathie soll später noch ausführlich eingegangen werden.

### 4.1.2. Die Wirkung des Funktionsreglers durch Druckelimination (Abb. 17 u. 18)

Bei einem Vergleich ist die unterschiedliche Wirkungsweise zwischen den gebräuchlichen Innenplatten bzw. Aktivatoren und dem Funktionsregler klar erkennbar.
Die vestibulären Schilder des Funktionsreglers stehen von den Außenflächen der Zähne und des Alveolarfortsatzes ab. Ihre formverändernde Wirkung erfolgt daher nicht auf direktem Wege, nicht durch Druckapplikation. Sie kommt vielmehr indirekt zustande, durch einen primären Eingriff im Weichteilbereich, im funktionellen Milieu. Das therapeutische System liegt darin,

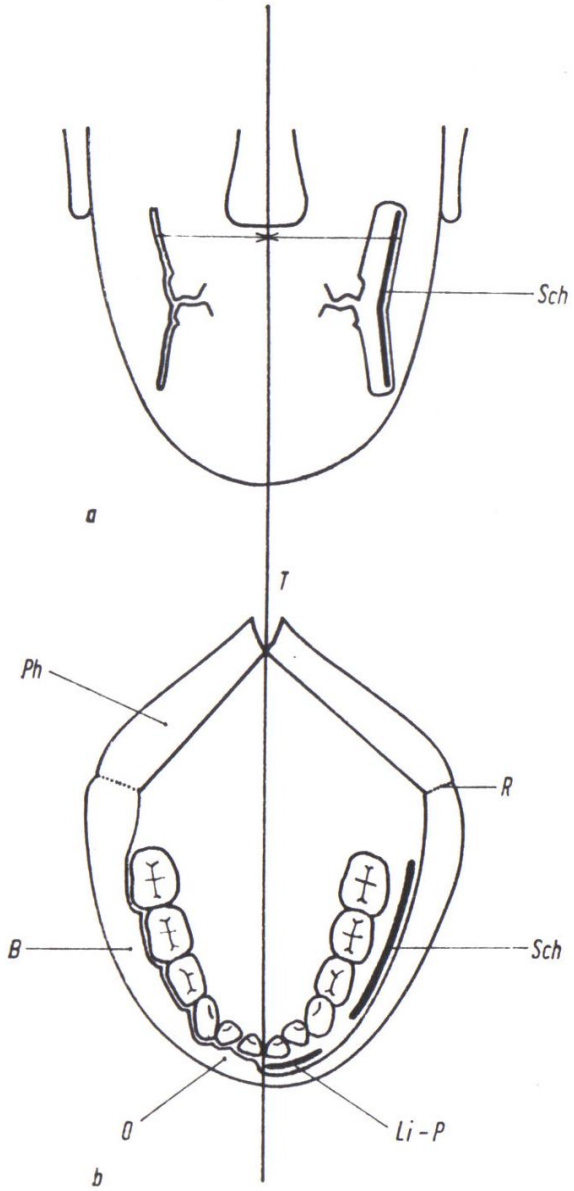



Abb. 17a und b
Schematische Darstellung des Wirkungsprinzips der vestibulären Schilder. Vergrößerung der äußeren Weichteilkapsel und erzwungene orthopädische Gymnastik durch „Simultankorrektur" des dentoalveolären Fortsatzes

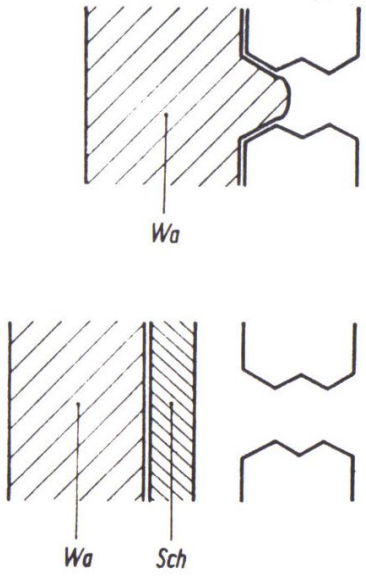


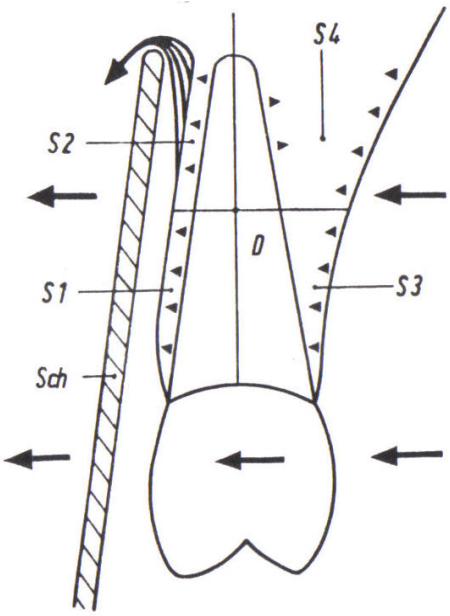

Abb. 18a und b
Interokklusale Einlagerung der Wangenweichteile (Wa) im Seitenbereich (oben) und ihre Ausschaltung durch den Seitenschild (Sch) des Funktionsreglers (unten)

Fehlhaltungen bzw. muskuläre Fehlfunktionen der perioralen Weichteile in ihrer Wirkung auf die Entwicklung von Kiefer und Gebiß auszuschalten. Mechanisch exakt definiert: Das Wirkungsprinzip der von Kiefer und Gebiß abstehenden vestibulären Schilder beruht auf *Druckelimination*.
Bei der Verwendung der abstehenden vestibulären Schilder wird das Prinzip der Druckelimination aber nicht nur in horizontaler Richtung wirksam. Sie haben nicht nur einen Effekt im Sinne einer transversalen bzw. sagittalen Nachentwicklung. Durch die vestibulären Plattenelemente des FR wird auch jede interokklusale bzw. interinzisale Einlagerung der Wangen und Lippen verhindert. Bei einem Hypertonus der Wangenmuskulatur kann es zu einer verstärkten interokklusalen Einlagerung kommen, was das Vertikalwachstum der Zähne hemmen kann. Auf diese Weise kann es zum Tiefbiß und zu einer ausgeprägten Speeschen Kurve kommen (s. Abb. 18).
Der Ansicht, daß der interokklusalen bzw. interinzisalen Einlagerung der Zunge bei der Entstehung der vertikalen Fehlentwicklungen die primäre und entscheidende Bedeutung zukommt, können wir nicht zustimmen. Unsere Annahme gründet sich auf die Tatsache, daß die Wangenweichteile viel weicher und anschmiegsamer sind als die Zunge und sich daher viel leichter zwischen Kauflächen bzw. Schneidekanten der Zähne einlagern. Diese Hypothese findet ihre Bestätigung durch unsere Ergebnisse bei der Behandlung des tiefen wie auch des offenen Bisses, die mit dem Funktionsregler ohne Inhibition der Zungeneinlagerung erzielt wurden.

### 4.1.3. Die Wirkung des Funktionsreglers durch gerichtete Zugapplikation (Abb. 19)

Die vom dentoalveolären Bogen abstehenden Wangen- und Lippenschilder rufen bei richtiger Konstruktion eine beachtliche Zugspannung in der Umschlagfalte hervor. Hierdurch werden die Weichteile in der Umschlagfalte in einer ganz ähnlichen Weise vom Alveolarfortsatz abgespreizt wie bei den Tierexperimenten von Pauwels, Altmann, Wurmbach, Pritchard, Moffet u. a.
Das Periost und die äußeren Alveolenwände werden dadurch in der Gegend der Alveolarbasis durch richtungsfixierten Zug beansprucht.
Zum besseren Verständnis der Wirkungsweise des Funktionsreglers sei das Prinzip der Druckelimination bzw. Zugapplikation an der schematischen Abbildung 19 erläutert. Dies soll, wie bei der Analyse der Wirkungsweise von aktiven Platten und Aktivatoren (s. Abb. 5) am Beispiel einer transversalen Entwicklungshemmung dargestellt werden. Wir beschränken uns auch hier wieder auf einen Teilabschnitt des dentoalveolären Fortsatzes, und zwar auf den Bereich des oberen rechten Prämolaren.
Durch die abstehenden Seitenschilder gerät der dentoalveoläre Fortsatz unter eine veränderte mechanische Beanspruchung:

1. *indirekt*, durch die Lageveränderung des Zahns, da nach Ausschalten des Wangendrucks die Zunge ebenfalls eine kippende Stellungsveränderung des Prämolaren bewirkt;
2. *direkt*, durch das Ausschalten des Wangendrucks.




Medizinisches Zentrum
Kiefer-, Mund- u. Kieferheilkunde
der Philipps-Universität
Georg-Voigt-Str. 3
3550 Marburg

Abb. 19
Die Wirkungsweise des Seitenschilds durch Druckelimination und Zugapplikation. Die kleinen Pfeile geben die richtungsfixierte Beanspruchung der Alveolensegmente wieder

S 2 kommt zusätzlich noch unter in bukkaler Richtung fixierte Zugbeanspruchung.
S 3 und S 4 stehen unter in bukkaler Richtung fixierter Druckbeanspruchung der Zunge.
Hierdurch können folgende strukturelle Veränderungen bzw. Deformierungen angenommen werden:

- Das Periodontium in S 1, S 2 und S 3 kommt unter Zugspannung in bukkaler Richtung, in S 4 dürfte die Zugbeanspruchung auf S 2 einer Palatinalkippung der Wurzelspitze entgegenwirken, so daß eine komprimierende Wirkung nicht zu erwarten ist.
- Die Alveolenwände in S 1 und S 3 werden durch das Abhalten des in palatinaler Richtung wirkenden Wangendrucks und durch Zungendruck in bukkaler Richtung deformiert.

S 2 unterliegt zwar durch die Kippung der Wurzelspitze gaumenwärts einer Zugbeanspruchung in palatinaler Richtung, gleichzeitig aber kommt S 2 auch unter die kräftige Zugspannung, die durch den abstehenden Schild in der Umschlagfalte erzeugt wird.
Wenn wir den mechanischen Widerstand, den die dicke Alveolenwand von S 4 der Palatinalkippung der Wurzelspitze entgegensetzt, berücksichtigen, wird die in bukkaler Richtung fixierte Zugbeanspruchung in S 2 überwiegen. Hierdurch ergibt sich die Tendenz zu einer Deformierung von S 2 in bukkaler Richtung. Durch die Zugbeanspruchung der Alveolenaußenwand von S 2 werden sich aber auch strukturelle Veränderungen des Periosts im Sinne eines osteogenen Leitgerüsts ergeben (s. PAUWELS u. ALTMANN). Neben der Transformation infolge der Deformierung wird es daher in S 2 auch zu Knochenappositionen an der Außenfläche kommen.
In S 4 ergibt sich im späteren Verlauf der Behandlung der Trend zu einer bukkalwärts gerichteten Deformierung an der Alveoleninnenwand (als Folge der Wurzeldrift nach außen) und an der Palatinalfläche (durch den Druck der Zunge).

### 4.1.4. Die Wirkung des Funktionsreglers durch Druckelimination und Zugapplikation in der Wechselgebißperiode

Die Abbildung 20 soll die Wirkung des Seitenschilds bei der Behandlung im Wechselgebiß veranschaulichen. Sein mechanisches Wirkungsprinzip beruht auf Druckelimination und Zugapplikation. Hierdurch gerät der dentoalveoläre Fortsatz unter die gleiche Veränderung der mechanischen Beanspruchung wie im bleibenden Gebiß. Die Alveolenwände kommen aber zusätzlich noch unter die in bukkaler Richtung wirkende Kraft des durchbrechenden Zahns. Wir können annehmen, daß die strukturellen Veränderungen bzw. Deformierungen des Alveolarknochens in dieser Entwicklungsperiode besonders ausgeprägt sind. Um die spezifische Wirkung des Funktionsreglers bei der Behandlung im Wechselgebiß verständlich zu machen, sei auf die dentoalveoläre Entwicklung der Wechselgebißphase kurz eingegangen.

Der Alveolarfortsatz verdankt seine Entstehung und Entwicklung der Onto- und Topogenese des Zahns. Moss hat formuliert: „Ohne Zahn kein Knochen". Mit dem Durchbruch des bleibenden Zahns werden lebhafte Umbauprozesse im Alveolarknochen eingeleitet, die für seine Formentwicklung entscheidende Bedeutung haben. Unsere fernröntgenologischen Längsschnittuntersuchungen von 114 Fällen der Angle Klasse II/2, bei denen der Durchbruch der oberen mittleren Schneidezähne über einen Zeitraum von etwa zwei Jahren verfolgt wurde, haben hierüber interessante Auskünfte gegeben (Falck 1969, Fränkel u. Falck 1973). Dabei ließen sich signifikante Umbauprozesse der labialen Alveolenwand feststellen. Zunächst kam es durch die Eruptionsdynamik des Schneidezahnkeims zu einer Vorwölbung der äußeren Alveolenwand. Diese unterlag im weiteren Verlauf des Durchbruchs starken Resorptionen. Kurz vor dem klinischen Durchbruch waren diese soweit fortgeschritten, daß sich die äußere Alveolenwand röntgenologisch nicht mehr darstellte. Die Fazialfläche der Schneidezahnkrone ist in diesem Entwicklungsstadium jeder schützenden bzw. stützenden Knochenbedeckung entblößt.

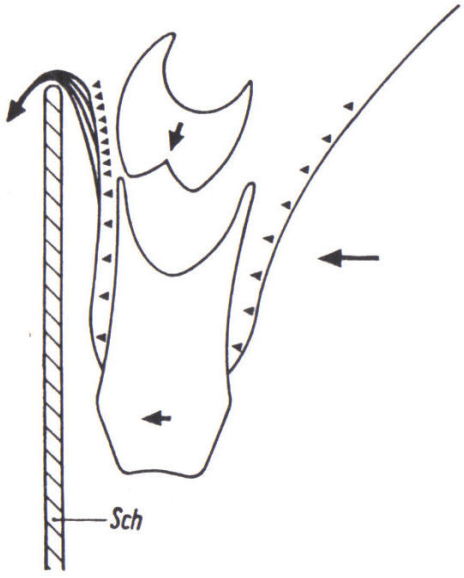



Abb. 20
Das Wirkungsprinzip Druckelimination und Zugapplikation bei der Behandlung im Wechselgebiß

Während des weiteren Durchbruchs kam es zum Neuaufbau der äußeren Alveolenwand, wodurch das epigenetische Induktionspotential des Zahns in eindrucksvoller Weise zum Ausdruck kam.

Unsere Beobachtungen werden durch die Untersuchungen von DUTERLOO (1977) und VAN DER LINDEN (1976) bestätigt bzw. ergänzt. Auch sie stellten lebhaften Umbau des Alveolarknochens fest, wobei es anfänglich zu erheblichen Resorptionen der Alveolenwände kam. Durch die Wirkung der nach außen durchbrechenden Eck- und Backenzähne waren die bukkalen Alveolenwände hierdurch besonders betroffen. Wertvolle Informationen über die dentoalveoläre Entwicklung vermittelt der Atlas, den diese Autoren herausgegeben haben. Die ausgezeichneten Bilder zeigen, daß sich im Oberkiefer die Keime der bleibenden Zähne primär im Engstand befinden. Sie stehen in der Regel palatinal von den Milchzähnen. Im Gegensatz dazu stehen die unteren Eckzahn- und Prämolarenkeime in einer deutlichen Lateralposition. Die Kryptenböden dieser Zahnanlagen liegen vom unteren Alveolarrand nur 1–2 mm entfernt. Sie markieren somit eine primär breite apikale Basis. Vor Durchbruchsbeginn besteht zwischen Oberkiefer und Unterkiefer ein signifikanter Unterschied in bezug auf die Ausgangslage der bleibenden Seitenzähne, wodurch sich ein unterschiedlicher Eruptionsmodus ergibt. Während ihres Durchbruchs müssen die oberen Zahnkeime erheblich nach außen driften, um Platz im oberen Zahnbogen zu finden. Im Unterkiefer brauchen sich die Keime der Eckzähne und Prämolaren aus ihrer mehr oder weniger lingual gekippten Stellung nur aufzurichten.

In dem Atlas ist auch erkennbar, daß es während der Eruption zu einer erheblichen Lageveränderung der gesamten Zahnanlage in okklusaler Richtung kommt. Dies deckt sich mit den Ergebnissen unserer fernröntgenologischen Längsschnittuntersuchungen (FRÄNKEL u. KOBER 1975). Es zeigte sich, daß der Kryptenboden der unteren Eckzähne sich in der Beobachtungszeit von etwa 6½ Jahren um durchschnittlich 11 mm hob. Das bedeutet, daß während des Zahndurchbruchs eine Neuformierung der apikalen Basis, d. h. des Teils des Alveolarfortsatzes, der die Wurzelspitzen der Zähne beherbergt, stattfindet. Im Jahre 1923 hat LUNDSTRÖM den fundamentalen orthodontischen Leitsatz aufgestellt: „problems of malocclusion are problems of apical base". Danach bestimmt die Größenentwicklung der apikalen Basis die Möglichkeiten und das Ausmaß orthodontischer Maßnahmen. Dehnen und Strecken des Zahnbogens lassen sich nur insoweit durchführen, wie die Größe der Alveolarbasis das zuläßt. LUNDSTRÖMS Feststellung, daß nach dem Durchbruch der Zähne die Entwicklung der Alveolarbasis ihren Abschluß gefunden hat, hat in ihrer klinischen Bedeutung auch heute noch volle Gültigkeit. Sicherlich gibt es noch Möglichkeiten, mit Hilfe der Gaumennahterweiterung die Alveolarbasis im Oberkiefer orthopädisch zu beeinflussen. Für den Unterkiefer bestehen solche Möglichkeiten nicht. Diesem Fakt wird von den Vertretern der Multibandtechnik bei der Behandlungsplanung größte Beachtung geschenkt. Die Vertreter der unterschiedlichen Behandlungssysteme sind ohne Ausnahme der Ansicht, daß die Unveränderlichkeit der unteren apikalen Basis die Möglichkeiten einer Behandlung im bleibenden Gebiß stark einengt.

Es ist unverständlich, daß viele Autoren noch heute den Beginn einer orthodontischen Behandlung in der pubertalen Entwicklungsperiode als besonders erfolgversprechend empfehlen. Dabei wird übersehen, daß der in dieser Zeit auftretende Wachstumsschub für die Entwicklung der Alveolarbasis völlig bedeutungslos ist. Der essentielle, wachstumsinduzierende Faktor ist die genetisch vorprogrammierte Bewegung des Zahns während der Eruption. Die Entwicklung dentoalveolärer Strukturen befindet sich in der Zeit des Zahnwechsels in ihrem kritischen und entscheidenden Stadium. Die Wechselgebißperiode bietet daher die günstigste Möglichkeit, den alten orthopädischen Lehrsatz in praxi zu realisieren, wonach der größte Erfolg von einer Behandlung in der Zeit des lebhaftesten Wachstums zu erwarten ist. Das klinische Problem, das sich uns hierbei stellt, liegt in der Aufgabe, die Eruptionsbewegung der bleibenden Zähne richtungsmäßig zu beeinflussen. Die vorgenannten Untersuchungen zeigen, daß die Außenwände des Alveolarfortsatzes dem durchbrechenden Zahn den geringsten Widerstand bieten. Das Driften bzw. Aufrichten nach auswärts ist daher das typische Entwicklungsmuster der Eruption. Schon geraume Zeit vor der klinischen Eruption kommt es zu Vorwölbungen der Alveolenaußenwand, was sich palpatorisch feststellen läßt. In Anbetracht der starken Resorption der labialen bzw. bukkalen Knochenbedeckung kommt der Weichteilführung von Lippen und Wangen eine wichtige, die Eruptionsbewegung lenkende Bedeutung zu, und zwar schon vor dem klinischen Durchbruch. Haltungsfehler, tonische Aberrationen der perioralen Weichteile können daher den Entfaltungs- bzw. Aufrichtungsprozeß während des Durchbruchs in ungünstiger Weise beeinflussen. In dieser Sicht bietet ein operatives Vorgehen vom Vestibulum aus günstige Möglichkeiten, die Entwicklung des Gebisses und des Alveolarfortsatzes bis zu seiner Basis hin orthopädisch zu beeinflussen. Durch die Ausschaltung des perioralen Weichteildrucks, besonders aber durch die Zugbeanspruchung auf die Alveolarbasis können die Umbauprozesse der äußeren Alveolenwand in günstiger Weise stimuliert und richtungsmäßig beeinflußt werden.

Die Erklärung der Wirkungsweise der Mundvorhofschilder, wie sie in den vorhergehenden Abschnitten an Hand einer biomechanischen Analyse versucht wurde, ist nicht als hypothetisches Theoretisieren zu verstehen. Sie beruht vielmehr auf einer langen klinischen Erfahrung. Ausgangspunkt unserer arbeitshypothetischen Überlegungen waren die morphologischen Veränderungen im dentoalveolären Bereich, die nach Anwendung der Funktionsregler beobachtet wurden. Dabei imponierten vor allem die Weitungen der Zahnbögen, die mit den Bukkalschildern erzielt wurden. Sie betrugen das Neunfache der transversalen Entwicklung, die Moorrees in entsprechenden Entwicklungsperioden als wachstumsbedingten Durchschnittswert feststellte. Will man diese Weitungen erklären, muß man davon ausgehen, daß diese Schilder von Zähnen und Alveolarfortsatz abstehen. Von ihnen kann daher keine orthodontische Kraftwirkung ausgehen. Die beobachteten Weitungen des Zahnbogens lassen sich daher nur als sekundäres, spontanes Entwicklungsphänomen auslegen. Ursächlich läßt sich der formverändernde Effekt der abstehenden Mundvorhofschilder nur durch ihre Wirkung auf die perioralen Weichteile, mit denen sie in engem Kontakt stehen, erklären.

Diese arbeitshypothetischen Schlußfolgerungen werden durch die Tierexperimente von PETROVIC und STUTZMANN sowie von GRABER und Mitarbeitern gestützt. Mit Hilfe abstehender Bukkalschilder konnten sie bei den Versuchstieren signifikante Weitungen des Zahnbogens sowie Umbauprozesse im Bereich der apikalen Basis herbeiführen. Fernröntgenologische Longitudinaluntersuchungen, die in unserer Klinik kürzlich zum Abschluß gebracht wurden, zeigen, daß mit Hilfe der abstehenden Mundvorhofschilder auch die Eckzahndistanz und die Alveolarbasis im Bereich der unteren Prämolaren erweitert werden können.
Diese Untersuchungen lassen die Annahme zu, daß der *Platzmangel*, der *transversale und sagittale Engstand des Gebisses* in den meisten Fällen als Entwicklungshemmung aufzufassen sind. Hierbei spielen ursächlich strukturelle und funktionelle Abwegigkeiten der äußeren Weichteilkapsel, die die Größe des oralen Funktionsraums bestimmt, eine wichtige Rolle. Diese Hypothese wird durch die druckelektronischen Untersuchungen von PROFFIT in eindrucksvoller Weise gestützt. Er konnte nachweisen, daß der Druck der Zunge auf das Gebiß bei den weißhäutigen Einwanderern die gleichen Werte aufwies wie bei den australischen Ureinwohnern, den Aborigines. Im Gegensatz dazu waren die Druckwerte der perioralen Weichteile bei den Aborigines signifikant geringer als die der weißhäutigen Einwanderer. Diese relative Hypotonie der perioralen Muskulatur dürfte ein Grund dafür sein, daß bei den australischen Ureinwohnern Platzmangel und Engstand der Zähne nur äußerst selten zu beobachten ist.

## 4.2. Die Wirkungsweise des Funktionsreglers bei der Behebung skelettaler Fehlentwicklungen jenseits des Alveolarfortsatzes

Die Erkenntnisse der modernen Forschung, die sich mit den Funktion-Form-Beziehungen im Muskel-Skelett-Apparat befaßt hat, haben in der Allgemeinorthopädie schon seit langer Zeit ihre klinische Nutzanwendung gefunden. In Diagnostik und Therapie werden die skelettalen Deformierungen in engem ursächlichem Zusammenhang mit den funktionellen Abwegigkeiten der Muskulatur gesehen. Im Vordergrund stehen dabei Haltungsfehler, abwegige Haltefunktionen der Muskulatur, in deren Behebung die moderne Allgemeinorthopädie die wichtigste Aufgabe einer funktionellen Therapie sieht. Diese Prinzipien der Allgemeinorthopädie sind auch für unser Fachgebiet voll verbindlich. Demnach ist die Behebung funktioneller Aberrationen das vorrangige und wesentliche Anliegen einer funktionellen Orthopädie auch im orofazialen Bereich. Bei der Lösung dieser Aufgabe ist *orthopädische Gymnastik* ein unverzichtbarer, integrierender Bestandteil funktioneller Therapie. Daraus ergibt sich, daß ein hierbei verwendeter Behelf nur dann effektiv sein kann, wenn er dem Charakter eines *orthopädischen Übungsgeräts* entspricht. Die Bezeichnung *funktionelles Gerät* ist irreführend und hat in der Vergangenheit zu verhängnisvollen Fehlkonzeptionen

und Irrwegen geführt. Dieser Ausdruck sollte daher aus der kieferorthopädischen Terminologie gestrichen und durch *kieferorthopädisches Übungsgerät* ersetzt werden. Nur so läßt sich exakt definieren, durch welche Wirkungsweise sich ein kieferorthopädischer Behelffür die Durchführung einer kieferorthopädischen Gymnastik qualifiziert.

Allerdings stehen wir bei der Realisierung in der Praxis vor ungleich schwierigeren Aufgaben als der Allgemeinorthopäde. Im Bereich des Rumpf- und Gliedmaßenskeletts beschränken sich die Funktion-Form-Beziehungen im wesentlichen auf Skelett und Muskulatur. Der Kopf ist ein multifunktioneller Körperbereich. Die Beziehungen zwischen Funktion und Form sind außerordentlich kompliziert und daher schwer durchschaubar. Um verstehen zu können, auf welche Weise der Funktionsregler als orthopädisches Übungsgerät über die Behebung funktioneller Aberrationen die Korrektur der skelettalen Deformitäten anstrebt, muß man mit den physiologischen Besonderheiten der orofazialen Region vertraut sein. Aus diesem Grunde sei zunächst auf die Physiologie des orofazialen Komplexes und seine Bedeutung für die Formentwicklung im Kiefer-Gebiß-Bereich eingegangen.

# 5. Die Physiologie des orofazialen Komplexes und ihre Bedeutung für funktionelle Diagnostik und Therapie

Um sich von möglichen Einflüssen der Funktion auf die Form des Skeletts im kraniofazialen Bereich eine Vorstellung machen zu können, muß nach DULLEMEIJER zwischen den verschiedenen funktionellen Systemen genau differenziert werden. Die Art der Funktion muß exakt definiert, und die skelettalen Strukturen, deren Entwicklung hierdurch möglicherweise beeinflußt werden könnte, müssen genau lokalisiert werden. Im Begriff „orofaziales System" wird auf jede Differenzierung verzichtet. Diese heute leider noch weit verbreitete Bezeichnung erfüllt daher nicht das Postulat von DULLEMEIJER. „Orofazial" ist eine topographische Bezeichnung, nichts sonst. In der physiologischen Terminologie sind topographische Bezeichnungen wie „System des Brustkorbs", der „Bauchhöhle" oder ähnliches völlig unbekannt. Bei der Analyse eines Systems kommt es auf die exakte Definierung der Funktion und ihrer spezifischen Leistung an. Nur so lassen sich Funktion und Form bzw. Strukturen in einen ursächlichen Zusammenhang bringen.

## 5.1. Funktionsraum und die Haltemechanismen der orofazialen Muskulatur

Eine funktionelle Analyse sollte davon ausgehen, daß sich im Gesicht die zwei Körperöffnungen befinden, von denen der Atmungs- und Verdauungstrakt ihren Ausgang nehmen. Mit Nase und Mund öffnet sich der menschliche Organismus zur Umwelt. Mit diesen Öffnungen werden Beziehungen zur Umwelt hergestellt, ohne die menschliches Leben nicht existieren kann. Die anatomischen Strukturen der orofazialen Region müssen daher der Forderung des funktionellen Angepaßtseins in besonders hohem Maße entsprechen. Wichtigste Voraussetzung hierfür ist eine adäquate Größe und Form der oralen und nasopharyngealen Funktionsräume. Hierbei ist zu bedenken, daß sich der Atmungs- und Verdauungstrakt im Pharynx überkreuzen. Um einen störungsfreien Vollzug der Respiration und der oralen Funktionsmechanismen abzusichern, sind physiologische Regulations- und Korrelationsmechanismen erforderlich. Hierbei übernehmen verschiedene Ventile eine wichtige Kontrollfunktion (Abb. 21). Absolut vorrangige Aufgabe der Ventilregulation ist die Gewährleistung der respiratorischen Funktion. Ohne Sauerstoffzufuhr bzw. Gasaustausch tritt der Tod nach wenigen Minuten ein. Aus diesem

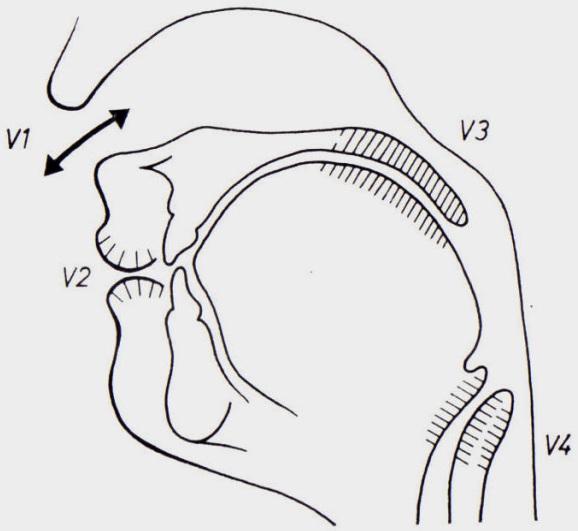



Abb. 21
Schematische Darstellung der Ventilwirkung für die physiologischen Bedingungen in den oralen und naso-pharyngealen Funktionsräumen

Grunde verdient das Ventil V 3, das durch den Kontakt zwischen Zunge und weichem Gaumen hergestellt wird, unsere besondere Beachtung. Diese Weichteilbarriere trennt den oralen vom pharyngealen Funktionsraum. Die muskuläre Trennwand bildet somit nicht nur den hinteren Abschluß des Mundraums, sondern zugleich auch die vordere Begrenzung des Oropharynx. Die antero-posteriore Position dieser muskulären Trennwand bestimmt daher in hohem Maße die Weite der pharyngealen Atempassage. Dieser Fakt läßt auf eine enge funktionelle Verflechtung zwischen dem respiratorischen System und den Haltefunktionen, die die Lage der Weichteilbarriere von V 3 kontrollieren, schließen. Das heißt, Haltung und Lage von Zunge und weichem Gaumen, soweit sie an der Bildung der oropharyngealen Trennwand beteiligt sind, werden von dem respiratorischen Regelzentrum maßgebend beeinflußt. Dies deutet auf eine sehr enge Vermaschung der für den orofazialen Bereich verantwortlichen zentralnervösen Regelprozesse hin und zeigt zugleich, welchen komplexen und vielschichtigen Problemen eine funktionelle Orthopädie gegenübersteht.

## 5.2. Entwicklung und Reifung neuromuskulärer Funktionsmuster im orofazialen Bereich

Einen wichtigen Beitrag zum besseren Verständnis der physiologischen Eigenheiten des orofazialen Komplexes hat Bosma geleistet. Seine Untersuchungen haben gezeigt, daß die Herausbildung motorischer und tonischer Funktionsmuster im orofazialen Bereich von dem muskulären Grenzbereich zwischen oralem und pharyngealem Funktionsraum ihren Ausgang nimmt. Bei Geburt sind die posturalen Funktionsmechanismen (Haltefunktionen) der Zungen- und Gaumenmuskulatur, soweit sie an der Ventilfunktion von V 3 mitwirken, voll ausgebildet. Auf diese Weise ist die Freihaltung der pharyngealen Atempassage und damit die lebenswichtige Versorgung mit Sauerstoff von Geburt an gewährleistet. Von dieser muskulären Weichteilbarriere breitet sich der Entwicklungs- und Reifungsprozeß neuromuskulärer

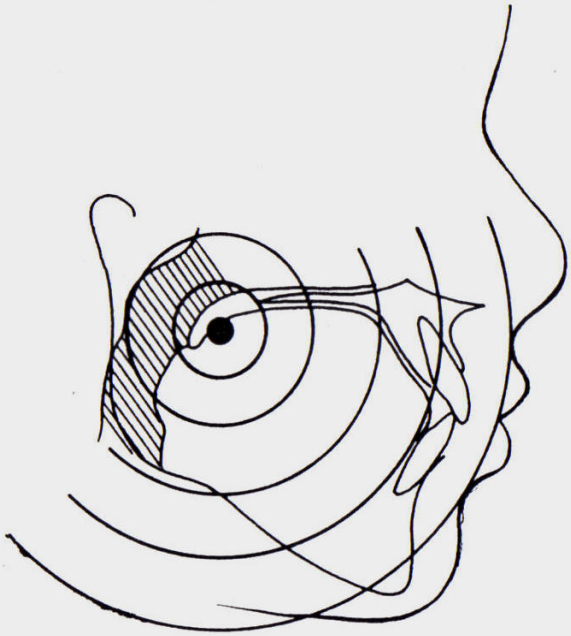


Abb. 22
Die Ausbildung posturaler Funktionsmuster der orofazialen Muskulatur (nach Bosma) (Näheres s. Text)

Funktionsmechanismen allmählich auch auf die übrigen Partien der Gesichts- und Halsmuskulatur aus und erfaßt schließlich auch die Rumpf- und Gliedmaßenmuskulatur.
Bei einer funktionellen Analyse muß berücksichtigt werden, daß der orale Raum des Neugeborenen in der Vertikalen nur geringe Dimensionen aufweist. Die relativ große Zunge vermag daher den Mundinnenraum zur Gänze auszufüllen. Aus diesem Grunde sind in den ersten Lebensmonaten neuromuskuläre Haltefunktionen der Zunge zur Absicherung ihrer Lage in den mittleren und vorderen Partien des Mundraums nicht erforderlich. Durch die passive Einlagerung der Zungenweichteile zwischen die sich entwickelnden Alveolarfortsätze im Frontbereich kommt es so zu dem vorderen Abschluß des Mundraums. In den ersten Lebensmonaten sind daher die Lippen für den Abschluß des oralen Raums nicht unbedingt erforderlich. So machen die Lippen in der Regel einen inaktiven, hypotonischen Eindruck und werden nicht selten offen gehalten, was in dieser Entwicklungsperiode keineswegs als Fehlhaltung zu werten ist.
In der weiteren Entwicklung ändert sich das Größenverhältnis zwischen oralem Raum und Zunge. Durch das Längenwachstum der Halswirbelsäule und des aufsteigenden Unterkieferasts sowie durch die bißöffnende Wirkung der durchbrechenden Zähne kommt es zu einer stetig zunehmenden Vergrößerung des Mundraums in der Vertikalen. Die Bildung des vorderen und mittleren Mundraumabschlusses durch die Zunge, wie er zunächst durch den Abdichtungseffekt ihrer Masse gegeben war, wird in Frage gestellt. Nach Bosma macht sich dann die Ausbildung von Haltefunktionen der Zungenmuskulatur auch im mittleren und vorderen Bereich erforderlich (Abb. 22). Es ist klar, daß bei der innigen anatomischen und funktionellen Verflechtung der orofazialen Muskulatur hiervon auch die Muskeln des Mundbodens und aller übrigen Gesichtsweichteile erfaßt werden. Diesem neuromuskulären Entwicklungs- und Reifungsprozeß unterliegen auch die Muskeln, die für die Lage des Unterkiefers verantwortlich sind.

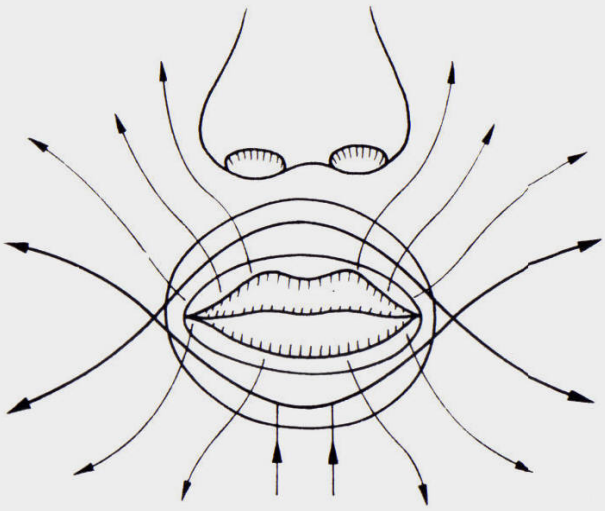


Abb. 23
Die radiären und zirkulären Muskeln, die sich um die Mundspalte gruppieren (Näheres s. Text)

Im Lippenbereich beginnt die Ausbildung posturaler Funktionsmuster relativ spät und bedarf eines lang dauernden Prozesses des *Lernens*, der *Verfestigung* und der *Automatisation*. Hierbei ist die Entwicklung einer Balance zwischen den zirkulären, den Mundschluß herbeiführenden Muskeln, und den radiären, die die Lippen in verschiedene Richtungen verziehen und öffnen, das entscheidende Kriterium für die Aneignung physiologischer Funktionsmuster (Abb. 23). Dieses muskuläre Gleichgewicht in der Lippenregion ist nicht nur für das Zustandekommen eines funktionsgerechten, kompetenten Lippenschlusses von Bedeutung. Wir dürfen nicht übersehen, daß zwischen Lippenmuskulatur und den Gesichtsmuskeln sehr enge funktionelle Wechselbeziehungen bestehen. Dies gilt besonders für den M. buccinator und M. mentalis, die in die Lippen einstrahlen und zum Teil mit dem M. orbicularis oris strukturell verflochten sind. Lippen und Wangen bilden somit strukturell wie funktionell ein einheitliches Weichteilgefüge. Hieraus läßt sich folgern, daß die posturalen Funktionsmechanismen der Gesichtsmuskulatur mit denen der Lippenmuskeln eng korreliert sind. Der Spannungszustand im Lippenbereich läßt daher Rückschlüsse auf das muskuläre Spannungsgefüge der äußeren Weichteilkapsel in toto zu. Liegt im Lippenbereich ein dynamisch ausbalancierter Gleichgewichtszustand zwischen den radiären und zirkulären Muskeln vor, so kann angenommen werden, daß auch innerhalb der gesamten äußeren Weichteilkapsel eine dynamische Balance zwischen den diversen antagonistisch wirkenden Muskelgruppen besteht. Haltung und Lage der Lippen spiegeln so den Zustand der Haltemechanismen der gesamten Gesichtsmuskulatur wider. Bei einem intakten, spannungsausbalancierten Lippenschluß können wir annehmen, daß sich alle Muskeln innerhalb der äußeren Weichteilkapsel in einem gegenseitig harmonisch ausbalancierten Gleichgewichtszustand befinden. Dies ist aber Voraussetzung dafür, daß sich der Weichteildruck von Lippen und Wangen gleichmäßig auf Gebiß und Alveolarfortsatz auswirkt, was für ihre morphologische Entwicklung von größter Bedeutung ist (Abb. 24).
Der Aufbau physiologischer Haltemechanismen ist aber auch für die skelettale Entwicklung des Untergesichts, vor allem des Unterkiefers, von großer Bedeutung. Hierbei spielt das Zustandekommen einer posturalen Balance zwischen Kieferprotraktoren und -retraktoren, zwischen Kieferadduktoren

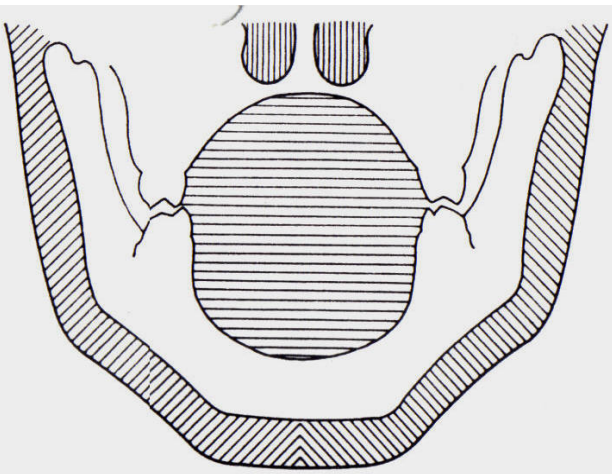


Abb. 24
Größe und Form des oralen Funktionsraums werden durch die äußere Weichteilkapsel, die ihn umschließt, bestimmt

und -abduktoren eine entscheidende Rolle. Diese Muskeln bestimmen die Lage des Unterkiefers und damit die während des Wachstums stattfindende mandibuläre Verlagerung. Nach Moss ist die *Translation des Unterkiefers* der entscheidende Faktor, der das kondyläre Wachstum induziert und kontrolliert. Die Entwicklung dynamisch ausbalancierter Haltefunktionen dieser Muskelgruppen ist der entscheidende Faktor für eine normgerechte Translation des Unterkiefers und bestimmt damit auch Ausmaß und Richtung des translativen Wachstums am Kondylus. All dies zeigt, daß die Zeit des Aufbaues und der Reifung tonischer Funktionsmuster als die kritischste Entwicklungsperiode im orofazialen Bereich gewertet werden muß und für das Zustandekommen regelrechter Beziehungen zwischen Funktion und Form ausschlaggebende Bedeutung hat.

## 5.3. Die Bedeutung des atmosphärischen Drucks für die Physiologie des orofazialen Komplexes

Die Bedeutung der Lippenschließfunktion für die Physiologie des orofazialen Komplexes muß aber auch unter dem Gesichtspunkt der atmosphärischen Druckwirkung gesehen werden. Die Untersuchungen von Noltemeier und Eckert-Möbius haben gezeigt, daß während des Schluckakts die im Cavum oris vorhandene Luft durch die peristaltischen Bewegungen der Zunge dorsalwärts in den Rachen abgedrängt wird. So entsteht im Mundraum annähernd Luftleere, was nach Eckert-Möbius für die Anlagerung der Zunge an den Gaumen und damit für die Bildung des hinteren und mittleren Mundraumabschlusses von Bedeutung ist. Der Unterdruck im oralen Raum wirkt sich aber auch im Sinne eines Sogs aus. Untersuchungen mit hydraulischen und elektronischen Druckmessern haben gezeigt, daß der Weichteildruck von Lippen und Wangen auf Kiefer und Gebiß nicht nur muskulär bedingt ist, sondern sich auch als Folge dieser Sogwirkung erklärt (Fränkel 1964, Gould u. Picton 1975). Wenn auch der sogbedingte Druck der perioralen Weichteile an Stärke relativ gering ist (etwa 10 Pond), so ist er immer vorhanden, solange die Lippen geschlossen sind. Außerdem ist zu bedenken, daß sich der sogbedingte Druck der Weichteile von Lippen und

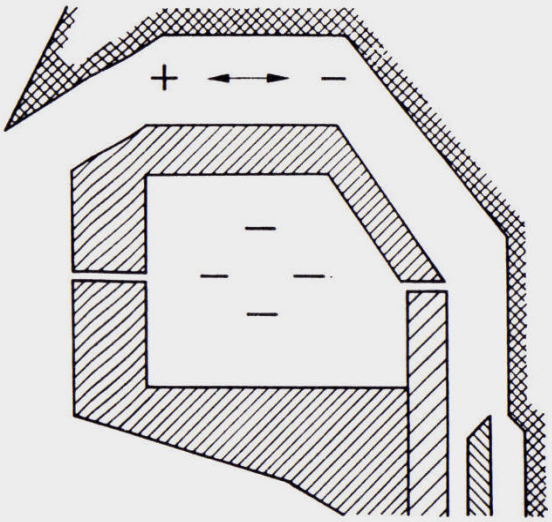


Abb. 25
Die atmosphärischen Druckverhältnisse in den oralen und nasopharyngealen Funktionsräumen bei kompetentem Mundschluß
— Unterdruck in der Inspirationsphase
+ Überdruck in der Exspirationsphase

Wangen gleichmäßig auf Gebiß und Kiefer auswirkt. Diesem Faktor der biomechanischen Induktion kommt daher für die Entwicklung eines harmonischen dentoalveolären Bogens essentielle Bedeutung zu.
Der Faktor Luftdruck hat aber nicht nur für den oralen, sondern auch für den nasopharyngealen Raum physiologische Bedeutung (Abb. 25). Bei Nasenatmung entsteht in der Inspirationsphase ein Unterdruck, in der Exspirationsphase ein Überdruck. Dieser Wechsel des atmosphärischen Drucks ist physiologisch und sollte daher auch als ein Faktor des natürlichen biomechanischen Induktionsmechanismus gewertet werden. Wir können annehmen, daß sich der so zustande kommende Massageeffekt günstig auf die Schleimhaut der nasopharyngealen Räume auswirkt. Eine gesunde Schleimhaut wird ihre topogenetische Aktivität voll entfalten können. Tierexperimente lassen darauf schließen, daß dieser biomechanische Induktionsmechanismus bei der Pneumatisation eine Rolle spielt (Link u. Handl 1954, Greven 1955, Ojala 1957).
Der luftstrombedingte Massageeffekt dürfte sich aber auch günstig auf die adenoiden Vegetationen im Nasopharynx auswirken. Fehlt er, so können Durchblutungsstörungen, entzündlich-degenerative Prozesse zur Vergrößerung dieser Drüsen führen.
Der Abschluß des oralen Funktionsraums erscheint uns daher eine unerläßliche Aufgabe einer kieferorthopädischen Gymnastik. Nur so werden in den naso-pharyngealen und oralen Funktionsräumen physiologische Bedingungen hergestellt, was für die Stabilität der erzielten morphologischen Veränderungen große Bedeutung hat.

## 5.4. Muskuläre Funktionsmuster und Zentralnervensystem

Um die postnatale Entwicklung von Motorik und Haltung verstehen zu können, müssen wir von der Tatsache ausgehen, daß Funktionen der Muskulatur der nervösen Erregung bedürfen. Das heißt, Intensität und Dauer muskulärer Aktivitäten unterliegen der Kontrolle der zugeordneten zerebralen

Regelmechanismen. Der Aufbau muskulärer Funktionsmuster muß daher in engem Zusammenhang mit der Entwicklung und Reifung des Zentralnervensystems gesehen werden. Um die Erforschung dieser Zusammenhänge hat sich PEIPER große Verdienste erworben. Seine Untersuchungen zeigen, daß die „*Entwicklung der kindlichen Hirntätigkeit*" der primäre und essentielle Faktor ist, d. h. Voraussetzung für die Ausbildung motorischer und tonischer Funktionsmuster ist. Motorik und Haltung spiegeln somit den jeweiligen Entwicklungsstand der kindlichen Hirntätigkeit wider. Der *Hypertonus* bzw. *Hypotonus* der orofazialen Muskulatur läßt sich daher in einen ursächlichen Zusammenhang mit entsprechenden „*nervösen Spannungszuständen*" bringen. Die Tatsache, daß die Tonuslage der Muskulatur von psychischen Faktoren beeinflußt wird, macht die Komplexität und Vielschichtigkeit dieser Problematik deutlich. Eine funktionelle Orthopädie ist daher keinesfalls nur mit der Lösung regionaler physischer Probleme befaßt.

Es war besonders das Verdienst von BALTERS, auf die psychosomatischen Aspekte einer funktionellen Kieferorthopädie hingewiesen zu haben. Mit diesen Gedankengängen war er allerdings seiner Zeit weit voraus und wurde deshalb häufig als Illusionist belächelt. Heute mißt man der psychologischen Problematik in unserem Fachgebiet große Beachtung bei, was in der Literatur einen breiten Niederschlag gefunden hat (MOYERS, GRABER, STRICKER, GERSHATER u. a.).

Der praxisbezogene Rahmen dieses Kompendiums läßt eine eingehende Erörterung dieser Problematik nicht zu. Es sei jedoch mit Nachdruck darauf hingewiesen, daß die funktionelle Verflechtung zwischen zerebralen Regelmechanismen und Muskulatur ohne Einbeziehung psychosozialer Aspekte unverständlich bleiben muß.

In Anbetracht der engen Beziehungen zwischen Nervensystem und Muskulatur stellt sich auch die Frage nach der Bedeutung genetischer und umweltbedingter Faktoren in einem neuen Lichte. Bei der Erörterung dieser Problematik müssen wir davon ausgehen, daß Wachstum und Entwicklung der muskulären wie aber auch der neuralen Strukturen einer strengen genetischen Kontrolle unterliegen. Der zu bestimmter Zeit einsetzenden Funktion ist somit die Aufgabe zur Verwirklichung eines bestimmten Teilgeschehens im Gesamtplan der Entwicklung bereits vorgeschrieben. Die im Erbgang planmäßige Funktion wird so selbst zum Entwicklungsfaktor. Es ist daher unrichtig, die Einflüsse der Muskulatur schlechthin in die Kategorie der Umwelteinflüsse einzuordnen. Die mechanische Wirkung muskulärer Funktionen muß vielmehr als Gestaltungsfaktor mit genetischem Informationsgehalt gewertet werden. Die Muskulatur übernimmt eine wichtige Aufgabe im System der epigenetischen Regelung skelettalen Wachstums. Damit wird klar, welche Bedeutung der Entwicklungsperiode zukommt, in der sich Aufbau und Reifung der neuromuskulären Funktionsmuster vollziehen. Die im genetischen Plan vorgesehene Wachstumskontrolle wird die Muskulatur nur dann erfüllen können, wenn die Entwicklung ihrer Funktionsmuster ohne Störungen verlaufen konnte. Die Untersuchungen von HARLOW, ESCALONA, SPITZ u. a. haben gezeigt, welche Bedeutung dem sozialen Milieu für die Entwicklung des Kindes zukommt. Es steht außer Zweifel, daß die

Umweltbedingungen, unter denen ein Kind aufwächst, großen Einfluß auf die Entwicklung der Hirntätigkeit und damit auch auf den Aufbau von Motorik und Haltung haben. Entstehung und Reifung neuromuskulärer Funktionsmuster lassen sich daher nur unter Einbeziehung psychosozialer Gesichtspunkte verstehen. Bei einer ursächlichen Analyse der Formentwicklung im orofazialen Bereich unter dem Aspekt der dialektischen Beziehungen zwischen Erbanlage und Umwelt muß das *soziale Milieu* als ein wichtiger *Umweltfaktor* mit einbezogen werden. Moss ist in einer neuerlichen Arbeit unter Bezug auf letzte Forschungsergebnisse auf diese Problematik eingegangen. Danach läßt sich die epigenetische Steuerung der skelettalen Entwicklung nur verstehen, wenn wir begreifen, daß Erbanlage und Umwelt in einer engen Wechselwirkung stehen. Nur so können wir die komplexen Kausalzusammenhänge zwischen Funktion und Form bei der kraniofazialen Morphogenese verstehen lernen.

# 6. Die gestörte Physiologie des orofazialen Komplexes und ihre klinische Problematik

Wenn im folgenden der Versuch unternommen wird, die gestörte Physiologie ihrem Charakter nach zu determinieren und ihre Manifestation im orofazialen Bereich zu lokalisieren, so beziehe ich mich in erster Linie auf die klinischen Erfahrungen mit der von mir entwickelten Behandlungsmethode. Ausgangspunkt der theoretischen Überlegungen waren die morphologischen Veränderungen, die mit den von Kiefer und Gebiß abstehenden Seitenschildern des Funktionsreglers erzielt wurden. Sie konnten nicht auf eine direkte mechanische Wirkung des Geräts zurückgeführt werden. Sie ließen sich nur als Folge des Eingriffs ins Weichteilmilieu, mit dem sie in engem Kontakt standen, erklären. Diese klinischen Beobachtungen ließen den Schluß zu, daß zwischen der morphologischen Entwicklung von Kiefer und Gebiß und dem Tonus der umgebenden Weichteile ursächliche Zusammenhänge bestehen müssen. Bei diesen arbeitshypothetischen Ableitungen waren uns die Ergebnisse der Forschung auf dem Gebiet des Schädelwachstums, besonders der experimentellen Biologie, eine wertvolle Hilfe. Besonders informativ waren die Experimente, bei denen durch einen Eingriff in die orofazialen Funktionsabläufe gnathische Fehlentwicklungen beim Versuchstier erzeugt werden konnten. Damit wurde die Bedeutung funktioneller Einflüsse auf die skelettale Entwicklung in eindrucksvoller Weise nachgewiesen. Sie geben uns für die Realisierung einer funktionellen Orthopädie im orofazialen Bereich wertvolle Hinweise. Danach besteht die wichtigste Aufgabe einer funktionellen Therapie darin, funktionelle Störungen und Abwegigkeiten im orofazialen Bereich aufzuspüren und zu beheben. Dieses therapeutische Prinzip war Ausgangspunkt und Grundlage für die Entwicklung des Funktionsreglers zum kieferorthopädischen Übungsgerät. Die klinischen Erfahrungen, die wir mit diesem Behandlungsgerät sammeln konnten, lassen nun gewisse Rückschlüsse zu, welche Faktoren der gestörten Physiologie bei der Entstehung von gnathischen Fehlentwicklungen beteiligt sein könnten. Dieses Kompendium bietet keinen Raum, die komplexe und vielschichtige Problematik der Beziehungen zwischen Funktion und Form theoretisch abzuhandeln. Auf der anderen Seite ist eine erfolgreiche Behandlung mit dem Funktionsregler nur möglich, wenn man eine Vorstellung hat, mit welchen funktionellen Aberrationen die morphologischen Abwegigkeiten im Kiefer-Gebiß-Bereich in einem ursächlichen Zusammenhang stehen könnten. Im folgenden seien daher die wichtigsten Merkmale der gestörten Physiologie im orofazialen Bereich unter dem Aspekt der klinischen Relevanz aufgezählt:

**1. Dysbalancen im antagonistischen dynamischen Wechselspiel der orofazialen Muskulatur**

Bedingt durch:

- Haltungsschwäche bzw. neuromuskuläre Hypotonie.
  Diese funktionelle Aberration treffen wir z. B. bei der bialveolären Protrusion und beim skelettalen offenen Biß an.
- Neuromuskuläre Hypertonie.
  Als Beispiel hierfür sei das Funktionsmuster des Deckbisses wie aber auch der mandibulären Prognathie angeführt.

**2. Gestörte Physiologie des Raums**

Merkmale:

- Abwegigkeiten in Form und Größe des Funktionsraums.
- Gestörter bzw. fehlender Abschluß des oralen Funktionsraums.
- Unphysiologische atmosphärische Druck- und Strömungsverhältnisse in den oro-naso-pharyngealen Funktionsräumen.
  Bei der Entstehung dieser funktionellen Störung spielt die gestörte Schließfunktion des Ventils V 3, das Fehlen eines intakten Lippenschlusses, ursächlich eine entscheidende Rolle.

Um bei unseren diagnostischen Bemühungen diese funktionellen Abwegigkeiten in ihrer Wertigkeit als ursächliche Faktoren für die gestörte Physiologie abschätzen zu können, müssen wir von der engen funktionellen Verflechtung zwischen Muskulatur und Raum in der orofazialen Region ausgehen. So hat beispielsweise der Tonus der Muskeln innerhalb der äußeren Weichteilkapsel für Größe und Form des eingeschlossenen oralen Funktionsraums große Bedeutung. Die Hypertonie der Wangen- oder Lippenmuskulatur kann zu einer Verengung, die Hypotonie zu einer Vergrößerung des oralen Raums führen. Form und Größe des Mundraums werden aber auch durch die Funktionsmuster der Muskeln bestimmt, die für die Lage des Unterkiefers verantwortlich sind. Hierbei spielt das Verhältnis zwischen Protraktoren und Retraktoren, zwischen Adduktoren und Abduktoren, eine entscheidende Rolle. Ein weiteres Beispiel für die engen Beziehungen zwischen Raum und Muskulatur sind die gestörten atmosphärischen Druckverhältnisse in den oro-naso-pharyngealen Funktionsräumen, wenn infolge Haltungsschwäche der Lippenmuskulatur der Mundraumabschluß fehlt.
Zusammenfassend läßt sich sagen, daß die gestörte Physiologie des Raums in enger Wechselbeziehung zu funktionellen Abwegigkeiten der Muskulatur steht. Dabei kommt der Muskulatur als dynamischem Faktor die primäre Bedeutung zu. Das heißt, unphysiologische Raumbedingungen sind ursächlich zumeist auf abwegige Haltefunktionen der Muskulatur zurückzuführen. Umgekehrt läßt sich sagen, daß unphysiologische Raumverhältnisse auf die Präsenz von Dysbalancen der Muskulatur schließen lassen. Diagnostisch und therapeutisch verdienen daher funktionelle Abwegigkeiten der Muskulatur die größte Beachtung. Dabei stellt sich uns die Frage: Auf welche Weise entstehen abwegige Funktionsmuster der Muskulatur? Welche

Faktoren können die Ausbildung neuromuskulärer Funktionsmuster stören bzw. retardieren? Im vorhergehenden Kapitel wurde bereits ausgeführt, daß Muskulatur und Nervensystem untrennbare Bestandteile eines funktionellen Systems sind. Der Aufbau muskulärer Funktionsmuster steht daher in engem Zusammenhang mit der Entwicklung und Reifung des Zentralnervensystems. Wir können also annehmen, daß die Entstehung unphysiologischer Funktionsmuster der Muskulatur in ursächlicher Beziehung zur gestörten Entwicklung zerebraler Regelmechanismen steht. Diese wiederum müssen im Zusammenhang mit den Umweltbedingungen, unter denen das Kind aufwächst, gesehen werden, worauf im vorhergehenden Kapitel bereits eingegangen wurde.

So können gestörte Mutter-Kind-Beziehungen, Mangel an Nestwärme die Entwicklung der kindlichen Hirntätigkeit und damit die Ausbildung muskulärer Funktionsmuster stören. Natürlich spielt hierbei auch der Typ des Zentralnervensystems (Pawlow) und seine genetisch vorbestimmte Reaktionsweise auf Umwelteinflüsse eine wichtige Rolle. So kann in einem Falle die Ernährung mit der Flasche als Störung der Kontaktbeziehungen zwischen Mutter und Kind empfunden werden und zu persistentem Lutschen führen. Bei einem anderen Kind ist Lutschen nur eine vorübergehende Störung, die frühzeitig abgelegt wird und ohne Folgen für die Kiefer-Gebiß-Entwicklung bleibt.

Das soziale Milieu spielt natürlich auch im weiteren Kindheitsverlauf für Entwicklung und Reifung eine Rolle. In den modernen Industriegesellschaften hat sich die Umwelt des Kindes verändert. Denken wir nur an die Reizüberflutung der Großstädte, an den Schulstreß. Diese Faktoren können die geistige und psychische Entwicklung des Kindes erheblich stören, worauf Psychiater und Psychologen immer wieder hingewiesen haben. Hierdurch wird deutlich, daß eine funktionelle Kieferorthopädie mit einer sehr komplexen und vielschichtigen Problematik konfrontiert ist. Eine ursächliche Erörterung der gestörten Physiologie des orofazialen Komplexes ist ohne Einbeziehung psychosozialer Aspekte nicht möglich. Zur Erforschung dieser interessanten Problematik ist es notwendig, daß Kieferorthopäden und Psychiater bzw. Psychologen in der Zukunft zur engen Zusammenarbeit finden.

Für die *kieferorthopädische Praxis* hat uns Bosma wertvolle Hinweise gegeben, um die Erscheinungsbilder der gestörten Physiologie zu erkennen und ursächlich zu deuten. Danach sind abwegige Funktionsmuster der orofazialen Muskulatur ursächlich auf Störungen in der kritischen Phase ihrer Ausbildung und Reifung zurückzuführen. Die Aufgabe einer funktionellen Kieferorthopädie besteht daher darin, retardierte bzw. irritierte Funktionsmuster zu erkennen und zu beheben. Auf welche Weise die Lösung dieser Aufgabe mit dem Funktionsregler angestrebt wird, soll später an Hand von charakteristischen Beispielen gnathischer Fehlentwicklungen veranschaulicht werden.

# 7. Die Realisierung einer funktionellen Kieferorthopädie unter den Bedingungen der ambulanten Versorgung

In der Allgemeinorthopädie gehört eine funktionelle Behandlungsweise schon seit langem zur Routinepraxis. Dabei stehen dem Orthopäden Gymnastikräume und ein geschultes Personal zur Verfügung. In der kieferorthopädischen Praxis sind derartige günstige Voraussetzungen nicht gegeben. Kieferorthopädische Gymnastik und Muskeltraining müssen zu Hause durchgeführt werden. Die Erfahrung hat gezeigt, daß wir die hierfür notwendige Willensstärke und Ausdauer vom Durchschnittskind nicht erwarten können. Noch mehr fehlt es den Eltern an dem nötigen Durchhaltevermögen, die Kinder zur Gymnastik anzuhalten und sie zu überwachen.

Bei der Suche nach einem Ausweg gibt uns die Allgemeinorthopädie einen wertvollen Hinweis. In bestimmten Fällen, besonders bei der Behandlung von Deformitäten der Wirbelsäule, bedient man sich der sogenannten „erzwungenen Gymnastik". Das Prinzip einer solchen Behandlung liegt einmal darin, mit Hilfe gewisser Apparaturen bestehende Fehlfunktionen zu erschweren bzw unmöglich zu machen.

Zum anderen lassen die verwendeten Geräte nur die Funktionen der Muskulatur zu, die als regelrecht gelten können.

Das Arbeitsprinzip der „erzwungenen" sich im Unbewußten vollziehenden Gymnastik bietet nun für unser Fachgebiet ausgezeichnete Möglichkeiten, eine „Funktionelle Orthopädie" in der Praxis zu realisieren. Es gilt nur, die geeignete apparative Lösung zu finden, die diesem Prinzip entspricht.

Vestibuläre Platten geben uns die Möglichkeit, bestehende Fehllagen, tonische und motorische Aberrationen der Lippen- und Wangenmuskulatur in direkter Weise anzugehen. Bereits Körbitz hat auf die Eignung der Mundvorhofplatte für die Lösung dieser Aufgaben hingewiesen. Das von ihm konstruierte Gerät wurde als „Lippenformer" bezeichnet. Seither hat die Mundvorhofplatte in der kieferorthopädischen Therapie, vor allem in der Präventivtherapie, häufig Verwendung gefunden (Nord, Hotz, Schönherr, Balters). Von Kraus werden sie als Hemmungsplatten bezeichnet. Alle diese Mundvorhofplatten haben aber einen Nachteil. Da sie das ganze Vestibulum ausfüllen, ist ein Sprechen mit ihnen unmöglich. Sie können vorwiegend nur nachts getragen werden. Ihr Übungs- und Trainingseffekt ist daher gering, denn während des Schlafes befinden sich Motorik und Tonus weitgehend in Ruhe.

Demgegenüber behindert der Funktionsregler bei richtiger Konstruktion das Sprechen nicht. Damit erfüllt er eine der wichtigsten Anforderungen, die man an ein Übungs- und Trainingsgerät stellt. Er kann bei Tage getragen

werden. Auf diese Weise vermag er sich in die Funktionsabläufe der orofazialen Muskulatur einzuschalten. Nach dem Einsetzen des Geräts werden damit jedes Sprechen und Schlucken, alle mimischen Funktionen zur Gymnastik. Der Funktionsregler übernimmt sozusagen die Rolle einer orthopädischen Gymnastin, bestimmt die Art der Übungen und kontrolliert gleichzeitig ihre Ausführungen. Die Umerziehung der perioralen Muskulatur vollzieht sich dabei für das Kind völlig unbewußt.

Auf diese Weise qualifiziert sich der Funktionsregler zum kieferorthopädischen Übungsgerät, mit dem eine erzwungene Gymnastik realisiert werden kann.

Eine funktionelle Orthopädie kann sich natürlich nicht nur auf die Behebung funktioneller Aberrationen im Lippen- und Wangenbereich beschränken, sondern muß die abwegigen Funktionen der gesamten orofazialen Muskulatur in die Therapie einbeziehen. Eine wichtige Aufgabe, die es dabei zu lösen gilt, liegt in der Behebung von Dysbalancen zwischen Kieferprotraktoren und -retraktoren, zwischen Kieferadduktoren und -abduktoren. Auf welche Weise der Funktionsregler als orthopädisches Übungsgerät die Korrektur dieser funktionellen Aberrationen anstrebt, soll später an Hand von charakteristischen Beispielen gnathischer Fehlentwicklungen aufgezeigt werden.

In den meisten Fällen genügt die mit dem Funktionsregler „erzwungene Gymnastik", um funktionelle Aberrationen der Muskulatur und des Raums zu beheben. Bei schweren Störungen des Mundschlusses kann jedoch auf eine bewußt durchgeführte Lippenschließgymnastik nicht verzichtet werden. Der Erfolg einer solchen Gymnastik hängt in hohem Maße von der Kooperation des Kindes und der Eltern ab. Um dies zu erreichen, müssen Kind und Eltern von der Notwendigkeit der Lippenschließgymnastik überzeugt werden. Hierbei sollte man darauf hinweisen, daß der gestörte Mundschluß nicht nur ein kieferorthopädisches Problem darstellt. Der offene Mund ist auch ein Symptom der oralen Fehlatmung. Der Luftstrom nimmt bei geöffnetem Mund seinen Weg mehr durch die orale Passage als durch die wesentlich engere Nase. Eine gestörte Mundschlußfunktion muß daher auch unter rhinologischen Aspekten gesehen werden (Balters, Braun, Eckert-Möbius, Kressner u. a.). Eine Mundschlußgymnastik trägt deshalb auch zur Vorbeugung bzw. Behebung von Erkrankungen der Atemwege bei. Mit der Umstellung von der Mundatmung zur Nasenatmung leisten wir auch einen Beitrag für die allgemeingesundheitliche Entwicklung. Hierüber sollten Eltern und Kinder vor einer kieferorthopädischen Behandlung aufgeklärt werden.

Unsere klinischen Erfahrungen haben jedoch gezeigt, daß ästhetische Gesichtspunkte bei weitem die günstigsten Möglichkeiten bieten, Kind und Eltern für eine Mundschließgymnastik zu interessieren und sie für eine aktive Mitarbeit zu motivieren.

Nach Rennert und Quandt ist der offene Mund als Ausdruck einer ganz besonderen mimisch-emotionalen Einstellung zu werten. Physiognomisch imponiert er als Unentschlossenheit und Instabilität, als Zeichen der Passivität und auch des Schwachsinns. J. H. Schultz sieht den Mundschluß im Zusammenhang mit den Primitivreaktionen, deren Leitmotiv in dem Streben nach Sicherung liege. Für die Mundregion heiße die Sicherung „*Mund zu*".

Es sei nicht zu vergessen, daß die Mund-Lippen-Zone phylogenetisch nicht nur als ältestes Eroberungs-, sondern auch als Abwehrinstrument zu gelten hat. Die Ausdrücke „Den Mund hängen lassen" oder „Ein langes Gesicht ziehen" machen die Beziehungen zwischen der Haltungsschwäche in der orolabialen Zone und der Gefühlssphäre in eindrucksvoller Weise deutlich. Wenn wir auf der anderen Seite von einer „geschlossenen Persönlichkeit" sprechen, wird die Bedeutung des Mundschlusses für die Persönlichkeitswertung evident. Es hat sich als sehr zweckmäßig erwiesen, an Hand von Dias bzw. Lichtbildern zu zeigen, daß mit Hilfe einer funktionellen Behandlung signifikante Verbesserungen des Gesichtsausdrucks erreicht werden können. Hierbei läßt sich dem Kind verständlich machen, warum die Plattenelemente des Funktionsreglers vorzugsweise im Mundvorhof liegen. So wird begreiflich, daß mit Hilfe vestibulärer Schilder Haltungsfehler der Gesichtsmuskulatur in direkter Weise angegangen und damit erhebliche physiognomische Verbesserungen erzielt werden können. Vor allem aber soll dem Kind gezeigt werden, wie günstig sich ein Gesichtsausdruck verändert, wenn die Lippen geschlossen werden. Hierbei hat sich uns ein Handspiegel als unentbehrlich erwiesen. Bei psychologisch geschicktem Vorgehen erweckt man so das Interesse und gewinnt das Vertrauen der Kinder. Sie sehen die Notwendigkeit der Mundschließgymnastik und des regelmäßigen Tragens des Geräts ein und sind zu einer aktiven Mitarbeit bereit.

Das wesentliche Hindernis ist immer nur die Vergeßlichkeit der Kinder. Hiergegen hat sich bei uns folgendes Verfahren bewährt. Wir geben den Patienten einen kleinen Zettel mit, auf dem wir mit Rotstift ein „L" gezeichnet haben. Wir erklären dem Kind, daß dieses „L" *Lippen zu* bedeutet. Dieses kleine Kärtchen soll das Kind in der Federtasche verwahren und in der Schule auf die Bank legen. Auf diese Weise wird es immer wieder an den Lippenschluß erinnert. Besondere Instruktionen für spezifische Übungen sind nicht erforderlich. Das im Mund liegende Gerät nimmt uns als „Gymnastin" alle weitere Arbeit ab, worauf schon eingegangen wurde.

Als zusätzliches Trainingsgerät hat sich ein kleiner Holzspatel bewährt. Er wird bei den Schularbeiten bzw. beim Fernsehen zwischen den Lippen gehalten.

Bei kleineren Kindern macht sich die Mitarbeit der Eltern erforderlich. Sie sollen sich jeden Morgen überzeugen, ob das kleine Kärtchen in der Federtasche mitgenommen wird. Das Kind ist jeden Morgen daran zu erinnern, das Kärtchen auf die Schulbank zu legen. Die Eltern sollen sich nach Rückkehr des Kindes aus der Schule erkundigen, ob die Anordnungen befolgt wurden. Der Zeitaufwand, der sich hierdurch für die Eltern ergibt, beträgt nicht mehr als 5–10 min pro Tag. Wir haben es noch nie erlebt, daß die Eltern sich grundsätzlich einer solchen Mitarbeit versagen. Im Durchschnitt werden unsere Anordnungen in den ersten 4 Wochen befolgt. Erfahrungsgemäß läßt aber dann die Mitarbeit der Eltern nach und die beschriebene Überwachung der Mundschließgymnastik mit „Erinnerungskarte" und Spatel bleibt schließlich ganz aus. Wenn wir diese schwierigen Fälle zu einem Erfolg führen wollen, dürfen wir die Eltern aus ihrer Verpflichtung zur Mitarbeit nicht entlassen. Um dieses Ziel zu erreichen, hat sich ein einfacher Jahreskalender als „Monitor" für elterliche Mitarbeit sehr bewährt. Die Eltern

sollen darauf mit Rotstift ankreuzen, daß sie dem Kind den Merkzettel morgens in die Schule mitgegeben und die Spatelübungen überwacht haben.

Die im Vorhergehenden beschriebene Gymnastik ist ein integrierender Bestandteil der Funktionsreglertherapie. Sie sollte in ihrer Bedeutung für eine erfolgreiche Behandlung nicht unterschätzt werden. Wir beziehen uns hierbei auf die Erfahrungen der allgemeinen Orthopädie. Danach werden wir eine rezidivfreie Korrektur der morphologischen Abwegigkeiten nur erwarten können, wenn auch bestehende funktionelle Aberrationen behoben werden können.

Diese Aufgabe läßt sich aber nur dann lösen, wenn der Funktionsregler den Anforderungen eines orthopädischen Übungs- und Trainingsgeräts entspricht. Während des Schlafs ist eine „funktionelle Orthopädie", die nach Roux das „Erlernen neuer Funktionsweisen" zum Ziele hat, nicht möglich. Eine erfolgreiche Behebung funktioneller Aberrationen kann daher nur dann erwartet werden, wenn der Funktionsregler bei Tage getragen wird. Eine weitere Voraussetzung für die Durchführung einer erzwungenen orthopädischen Gymnastik ist, daß das Gerät auch wirklich als Übungsgerät konstruiert und hergestellt wurde. Es wird vielfach übersehen, daß der Funktionsregler sich in seiner Arbeitsweise von dem Aktivator und seinen Modifikationen wesentlich unterscheidet. Seine vestibulären Plattenelemente wirken nicht über den Kontakt mit den Zähnen, sondern werden erst effektiv, wenn sie von ihnen abstehen. Wie bereits ausgeführt, kommt ihre Wirkung über den Eingriff ins Weichteilmilieu zustande. Dies muß bei der Herstellung des Geräts unbedingt beachtet werden, worauf später noch eingegangen wird.

# 8. Die Wirkungsweise des Funktionsreglers bei der Behebung funktioneller Abwegigkeiten des Raums und der Muskulatur an Beispielen gnathischer Fehlentwicklungen

Im folgenden soll auf die Symptomatik der gestörten Physiologie an konkreten Beispielen gnathischer Fehlentwicklungen eingegangen werden. Dabei gilt es festzustellen, welche funktionellen Abwegigkeiten des Raums und der Muskulatur als charakteristische Merkmale der gestörten Physiologie gelten können. Damit soll aufgezeigt werden, welche Aufgaben sich einer funktionellen Orthopädie stellen und in welcher Weise die Lösung dieser Aufgaben mit Hilfe des Funktionsreglers angestrebt wird.

## 8.1. Die Entwicklungshemmung im dentoalveolären Bereich

### Zur funktionellen Problematik

Im vorhergehenden wurde bereits erläutert, warum wir den transversalen und sagittalen Engstand des Gebisses, den Platzmangel im alveolären Bereich als Entwicklungshemmung auffassen. Zur Begründung dieser Hypothese führten wir die Weitungen an, die sich mit vestibulären Schildern bei der kieferorthopädischen Behandlung wie aber auch im Tierexperiment erzielen ließen. Die klinischen Beobachtungen ließen die Annahme zu, daß die Entstehung der dentoalveolären Entwicklungshemmung im ursächlichen Zusammenhang mit der Enge der äußeren Weichteilkapsel zu sehen sei. Hierbei spielen abwegige Funktionsmuster der perioralen Muskulatur eine Rolle, worauf bereits eingegangen wurde. Bei der Behandlung der dentoalveolären Entwicklungshemmung hat demnach eine funktionelle Orthopädie folgende Aufgaben zu lösen:

1. die gestörte Raumfunktion durch Weitung bzw. Vergrößerung der äußeren Weichteilkapsel zu beheben;
2. Haltungsfehler bzw. abwegige tonische Funktionsmuster der perioralen Muskulatur zu korrigieren.

### Der Funktionsregler als orthopädisches Übungsgerät bei der Behebung funktioneller Abwegigkeiten des Raums und der Muskulatur

Wie aus den Abbildungen 17a und b hervorgeht, läßt sich die äußere Weichteilkapsel mit vestibulären Schildern in gezielter Weise weiten und dehnen. Auf diese Weise können physiologische Raumbedingungen wiederhergestellt werden. Damit wird den dentoalveolären Strukturen ein oraler Funktions-

raum zur Verfügung gestellt, der genügend Platz für eine Nachentwicklung bietet. Von den abstehenden Schildern geht aber auch eine physiotherapeutische Wirkung aus. Wir müssen bedenken, daß sich bei einer transversalen und sagittalen Entwicklungshemmung des dentoalveolären Bogens die perioralen Weichteile in einem entsprechenden strukturellen Anpassungszustand befinden. Die abstehenden Vestibulärschilder des Funktionsreglers wirken auf diese strukturellen Abweichungen dehnend und weitend ein. Gleichzeitig werden regionale Verspannungen der Muskulatur, besonders im Bereich der Naso- und Mentolabialfalte aufgelockert. Den Mundvorhofschildern kommt hierbei auch ein Massageeffekt zu. Bei den muskulären Funktionen werden die perioralen Weichteile über die Schilder hin- und herbewegt, gewalkt und geknetet. Damit werden Lippen- und Wangenweichteile zu einer entsprechenden strukturellen Anpassung gezwungen.
Auf diese Weise wird dem Prinzip der physikalischen Heilmethodik, wie sie in der Allgemeinorthopädie verbreitet zur Anwendung kommt, entsprochen.
Während des Ablaufs muskulärer Funktionen wird das Gerät zum „Physiotherapeuten". Durch seine mechanische Wirkung wird ein struktureller Adaptationsprozeß eingeleitet, der eine funktionelle Anpassung wesentlich erleichtern dürfte.
Neben der mechanischen Wirkung auf die Weichteilstrukturen hat der Funktionsregler aber auch die Aufgabe eines orthopädischen Übungsgeräts zu erfüllen. Darauf wurde bereits im vorhergehenden Kapitel eingegangen. Das Wirkungsprinzip, das dem Funktionsregler hierbei zugrunde liegt, beruht auf der *Simultankorrektur* der bestehenden Formabweichungen im dentoalveolären Bereich. Aus den Abbildungen wird ersichtlich, daß nach Einsetzen des Geräts den Lippen- und Wangenweichteilen eine Situation vorgetäuscht wird, als seien Gebiß und Kiefer transversal bzw. sagittal normal entwickelt. Die Muskeln dieser Weichteile werden auf diese Weise gezwungen, sich der neuen Form in Motorik und Haltung anzupassen. Der Funktionsregler wird so zum orthopädischen Übungsgerät. Nach seiner Eingliederung in den Mund versieht er die Aufgaben einer orthopädischen Gymnastin und auch die eines Physiotherapeuten.

## Praktische Hinweise für die Anwendung des Funktionsreglers bei der Behandlung dentoalveolärer Fehlentwicklungen

Langjährige klinische Erfahrungen haben gezeigt, daß eine orthopädische Behandlung die günstigsten Erfolgsaussichten hat, wenn sie in der Zeit des lebhaftesten Wachstums durchgeführt wird. Diese alte Grundregel hat besondere Gültigkeit für die Behandlung mit Funktionsreglern. Dies wird klar, wenn wir bedenken, daß nach Durchbruch der Eckzähne und Prämolaren die Form- und Größenentwicklung im dentoalveolären Bereich weitgehend zum Abschluß gekommen ist. Das wachstumsinduzierende Potential der bleibenden Zähne ist mit ihrem Durchbruch ausgeschöpft. Die Möglichkeiten einer transversalen und sagittalen Nachentwicklung des Alveolarfortsatzes sind daher begrenzt. Das gilt besonders für den Unterkieferbereich. Nach Durchbruch der unteren Prämolaren und Eckzähne

besteht keine Möglichkeit mehr, eine Nachentwicklung der apikalen Basis zu erreichen. Die Wurzelspitzen dieser Zähne sind bukkal von einer stärkeren Knochenschicht bedeckt. Die Kortikalis ist hart. Die Wurzelspitzen von Prämolaren und Eckzähnen lassen sich mit dem Finger nicht mehr palpieren. Deformierungen der bukkalen Alveolenwand durch das Abhalten des perioralen Weichteildrucks und durch Applikation von Zug auf die Alveolarbasis sind daher kaum mehr zu erwarten. Aus diesem Grunde sind der Behandlung eines stärkeren transversalen und sagittalen Engstandes im Unterkiefer enge Grenzen gesetzt. Das gilt besonders für den unteren Frontzahnengstand in Verbindung mit einer verringerten Eckzahndistanz. Wir können wohl mit Hilfe der Protrusionsbögen die Frontzähne und Eckzähne nach außen kippen und auf diese Weise eine normale Form des vorderen Zahnbogens erreichen. Die Abbildung 26 zeigt uns, daß wir durch diese orthodontische Maßnahme die Zähne über die Alveolarbasis hinauskippen. Hierdurch werden die Zahnkronen dem perioralen Weichteildruck besonders ausgesetzt. Viele Autoren haben darauf hingewiesen, daß derartige Behandlungsergebnisse auch nach längerer Retention immer wieder rezidivieren.

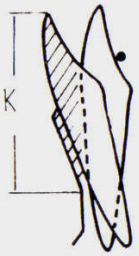



Abb. 26
Kippung (K) der Frontzähne mit dem Lingualbogen, wodurch die Kronen dieser Zähne dem Lippendruck extrem ausgesetzt werden

Moorrees hat mit seinen Untersuchungen gezeigt, daß bei der Gebißentwicklung des rezenten Menschen die Verringerung der unteren Zahnbogenhöhe als durchschnittliches Erscheinungsbild gelten kann. Einige Autoren führen das auf eine physiologische Mesialdrift der unteren Seitenzähne zurück. Andere glauben, daß, während sich der mandibuläre Basalbogen nach vorn entwickelt, der dentoalveoläre Fortsatz durch das zirkumorale Muskelband an Ort und Stelle gehalten wird (Abb. 27).
Für die letztere Hypothese sprechen die Untersuchungen von Björk, der nachweisen konnte, daß sich die während des Wachstums verstärkende Kinnprominenz keinesfalls auf Knochenapposition in der Kinnregion zurück-

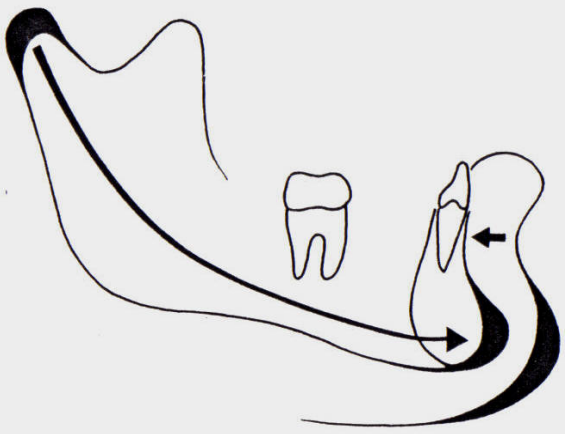


Abb. 27
Während der Basalentwicklung des Unterkiefers wirkt sich das perioralе Muskelband restriktiv auf die dentoalveoläre Entwicklung aus

führen läßt. Wie dem auch sei, an der Tendenz zum Engstand im unteren Zahnbogenbereich kann beim rezenten Menschen nicht gezweifelt werden. Aus diesem Grunde sollte jede Mesialbewegung der Seitenzähne bzw. Vorkippung der Frontzähne vermieden werden. In dieser Sicht erscheint uns der Funktionsregler bei der Behandlung des Distalbisses neue therapeutische Möglichkeiten zu eröffnen. Bei richtiger Handhabung kann der Engstand des mandibulären Frontsegments vermieden werden.

Im bleibenden Gebiß lassen sich bei der Behandlung der dentoalveolären Entwicklungshemmung im Unterkiefer Zahnextraktionen nur selten vermeiden. Dies gilt auch für die Behandlung mit Funktionsreglern. Falls nach Zahnextraktionen schwierige orthodontische Aufgaben zu lösen sind, so beispielsweise Drehungen und körperliche Bewegungen der Zähne, ist die Indikation des Funktionsreglers stark eingeschränkt. Der Funktionsregler ist kein orthodontisches Gerät. Abgesehen von den Drähten, die den Zähnen anliegen, verfügt der Funktionsregler über keine *orthodontischen* Drahtelemente. Seine Plattenelemente stehen von den Zähnen ab. Die für das Ingangbringen des Knochenumbaus erforderlichen Bewegungen der Zähne kommen nicht durch aktive Kraftwirkung des Geräts zustande. Die Wirkung des Funktionsreglers beruht vielmehr darauf, daß er Raum schafft, in den sich die Zähne aus eigener Dynamik hineinbewegen können. Hieraus ergibt sich, daß der Funktionsregler besonders für die Behandlung in der Wechselgebißphase indiziert ist. In dieser Zeit kommt es zu sehr lebhaften Bewegungen der bleibenden Zähne, und zwar durch die *Kraftwirkung des Wachstums*. In dieser Zeit der Eigenbewegung wirkt sich das epigenetische Induktionspotential des Zahns für Wachstum und Entwicklung des Alveolarfortsatzes am stärksten aus. Die wichtigste Aufgabe einer orthopädischen Behandlung besteht daher darin, den Zähnen den Raum freizumachen, den sie für ihre genetisch vorprogrammierte Bewegung benötigen. Mit einer solchen Behandlung entsprechen wir dem Prinzip des „*Orthopaideueins*", des richtigen *Erziehens*. Das heißt, wir schirmen die Entwicklung gegenüber ungünstigen und hemmenden Einflüssen der Umgebung ab. Gleichzeitig fördern wir die guten Anlagen, womit das individuelle Optimum der Entwicklung erreicht werden kann.

Um die präventiven Möglichkeiten einer solchen Therapie voll auszuschöpfen, ist der Zeitpunkt des Behandlungsbeginns von großer Bedeutung. Er muß so gewählt werden, daß eine lange Dauer der aktiven Behandlungsphase vermieden wird. Dies ist sowohl aus prognostischen als auch ökonomischen Erwägungen wichtig.

In der Regel beginnen wir die Frühbehandlung erst in der Endphase des frühen Wechselgebisses, d. h. wenn die unteren seitlichen Schneidezähne annähernd durchgebrochen sind. Zu diesem Zeitpunkt läßt sich die weitere Entwicklung mit ziemlicher Sicherheit abschätzen. Die Kinder sind zu diesem Zeitpunkt im Durchschnitt etwa 7½ Jahre alt.

Im allgemeinen rechnen wir mit einer aktiven Behandlungszeit zwischen 1½ und 2 Jahren. In dieser Zeit lassen sich erhebliche Nachentwicklungen der apikalen Basis und die Behebung des Distalbisses gut erreichen. Die sich anschließende Retentionsphase, während der das Gerät nur noch nachts getragen wird, erstreckt sich in der Regel auf einen Zeitraum von 2 Jahren.

Nach dieser Zeit können wir damit rechnen, daß die Prämolaren und bleibenden Eckzähne völlig durchgebrochen sind. Eine Behandlungs- bzw. Retentionsphase von jeweils 1½–2 Jahren ist ökonomisch durchaus tragbar. Dies gilt um so mehr, als wir in der Regel nur schwierige Dysgnathien der Angle Klasse I und II einer Frühbehandlung zuführen.
Man sollte bedenken, daß die Behandlung mit Funktionsreglern eine aktive Mitarbeit des Patienten erforderlich macht. Aus diesem Grunde ist die Anwendung bei der Behandlung im Milchgebiß nur in seltenen Fällen indiziert. Die orthopädische Gymnastik mit den Funktionsreglern setzt eine gewisse Reife des Patienten voraus. Diese ist in der Regel erst mit der „Schulreife" gegeben. Mit der Einschulung beginnt ein markanter Einschnitt im Leben des Kindes. In dieser Zeit vollziehen sich die tiefgreifenden Veränderungen in den Beziehungen zur Umwelt. Gerade in dieser Zeit zeigt das Kind eine große Bereitschaft, sich führen und lenken zu lassen. So können wir in diesem Entwicklungsabschnitt auf eine gute und gewissenhafte Mitarbeit rechnen. Die geistige Entwicklung hat einen Reifezustand erreicht, der uns erlaubt, an den Intellekt des Patienten zu appellieren. Wir können ihn von der Notwendigkeit der Behandlung überzeugen und damit die wichtigste Grundlage für eine gute Kooperation schaffen.
Mit dem Behandlungsbeginn im 7. und 8. Lebensjahr vermögen wir uns aber auch in die frühe Entwicklungsphase des bleibenden Gebisses einzuschalten. Eine kieferorthopädische Behandlung, die in dieser Entwicklungsperiode eingeleitet wird, kann daher mit Recht als „Frühbehandlung" bezeichnet werden. Im dentoalveolären Bereich vollzieht sich in dieser Zeit ein lebhaftes Wachstumsgeschehen. Eine Therapie, die die Entwicklung gegen die hemmenden Einflüsse tonischer und motorischer Aberrationen der perioralen Muskulatur abschirmt, vermag der Entstehung schwerer Fehlbildungen vorzubeugen.

## 8.2. Die mandibuläre Retrognathie

### Die klinische Problematik unter dem Aspekt experimenteller Forschungsergebnisse

Um die mandibuläre Retrognathie als das Erscheinungsbild einer Entwicklungshemmung verstehen zu können, muß man mit den Besonderheiten der Unterkieferentwicklung vertraut sein. Mit dieser Problematik hat sich die Forschung in den letzten drei Jahrzehnten intensiv befaßt, was in einer umfangreichen Literatur seinen Niederschlag gefunden hat und bei Kongressen lebhaft diskutiert worden ist. Der derzeitige Erkenntnisstand auf diesem Forschungssektor darf daher als bekannt vorausgesetzt werden. Um die klinische Nutzbarmachung verständlich zu machen, seien einige wenige Ergebnisse dieser Forschung angeführt:

1. Die kondyläre Wachstumszone unterscheidet sich in bezug auf histologischen Aufbau und Wachstumsdynamik grundlegend von den Wuchsknorpeln des Rumpf- und Gliedmaßenskeletts. Sie ist mit der Fähigkeit zu kompensatorischem bzw. adaptivem Wachstum ausgestattet.

2. Das kondyläre Wachstum läßt sich durch Vorverlagerung des Unterkiefers stimulieren, durch Rückverlagerung bzw. durch intermaxilläre Fixation retardieren bzw. zum Stillstand bringen.
3. Die Stimulation der kondylären Wachstumsprozesse erreicht beim Affen ihr Maximum in der 6. Versuchswoche, nimmt danach ab und kommt am Ende des 3. Versuchsmonats zum Stillstand. Die größte Zuwachsrate wurde im Kindesalter (beim Menschen zwischen 6 und 8 Jahren) erzielt. Nach Abschluß des Wachstums konnte eine Stimulation nicht mehr erreicht werden (McNamara 1973).
4. Bei der Ratte war die Stimulation des kondylären Wachstums am stärksten, wenn die Veränderung der Unterkieferlage in Schüben durchgeführt wurde. Dabei erwies sich ein anfänglicher Vorschub von 1½–2 mm als optimal. Nach starker Veränderung der Unterkieferlage kam es im Gelenkbereich zur Anämie und zum Stillstand des Wachstums (Petrovic und Mitarb. 1980).

Diese Ergebnisse der experimentellen Forschung stützen die Theorie von Moss, wonach die Wachstumsprozesse am Kondylus sekundärer bzw. kompensatorischer Art sind. Sie sind Folgeerscheinungen der *Unterkiefertranslation*, wie sie durch das epigenetische Induktionspotential der *kapsulären Matrix* zustande kommt. Die Vergrößerung dieser Matrix ist der primäre und essentielle Akt des Wachstumsgeschehens. Hierdurch kommt es zur Vergrößerung des „*functioning space*", womit dem Unterkiefer Raum für seine *ventrokaudale Translation* geöffnet wird. Aus diesem Grunde hat Moss den Charakter des kondylären Wachstums als *translativ* definiert.
Es sei dahingestellt, ob sich das Wachstumsgeschehen am Kondylus durch diese Theorie vollständig erklären läßt. Es steht jedoch außer Frage, daß durch die Dislokation der Kondyle als Folge der Translation des Unterkiefers die regionalen Wachstumsprozesse moduliert, induziert bzw. retardiert werden können. An der Fähigkeit der kondylären Wachstumszone zu kompensatorischen bzw. adaptiven Leistungen kann nicht gezweifelt werden. Hierdurch wird die Koordinierung der differenten Wachstums- und Entwicklungsprozesse im orofazialen Bereich überhaupt erst möglich. So ist es schlecht vorstellbar, daß der Unterkiefer ohne die kompensatorische Leistung der kondylären Wachstumszone die für seine funktionellen Aufgaben im mastikatorischen System erforderliche Lagebeziehung zum Oberkiefer finden kann.
Die Theorie von Moss läßt nun eine biomechanische Interpretation der experimentellen Forschungsergebnisse zu, wodurch eine klinische Nutzanwendung ermöglicht wird. So läßt sich die mandibuläre Retrognathie als eine Hemmung der basalen Unterkieferentwicklung auslegen, die auf eine während des Wachstums unterbliebene Translation des Unterkiefers zurückzuführen ist. Die im genetischen Plan vorgesehenen Lageveränderungen des Kondylus bleiben aus oder erreichen nicht das vorgesehene Ausmaß. Damit käme der essentielle Induktionsfaktor, der das translative Wachstum in der Gelenkzone in Gang bringt und hält, nicht zum Tragen.
Es besteht kein Zweifel, daß Moss mit dem Konzept der funktionellen Matrix der Entwicklung einer funktionellen Orthopädie im orofazialen Bereich neue

Impulse gegeben hat. Mit seiner Forschung hat er einen wesentlichen Beitrag zum besseren Verständnis der komplizierten Wachstums- und Entwicklungsprozesse im kraniofazialen Bereich unter dem Aspekt funktioneller Einflüsse geleistet. Seine theoretischen Formulierungen machen jedoch eine klinische Anwendung seines Konzeptes sehr schwierig. Die Begriffe „kapsuläre Matrix" und „functioning space" sind nicht differenziert genug, um dem Kieferorthopäden einen Ansatz für die Therapie zu bieten. Das Operationsfeld des Kieferorthopäden, das ihm die Möglichkeit für den Einsatz seiner Geräte bietet, ist der Mundraum. Seine Ausdehnung wird durch die Weichteile bestimmt, die ihn von außen umschließen. Die zirkumorale Weichteilkapsel bestimmt damit Größe und Form des oralen Funktionsraums und fungiert als „kapsuläre Matrix" im Sinne der Mossschen Theorie. Die Entstehung der mandibulären Retrognathie ließe sich ursächlich in Zusammenhang mit einer gestörten bzw. mangelhaften Entwicklung dieser kapsulären Matrix und ihrer Muskulatur bringen, wodurch die Translation des Unterkiefers und das translative Wachstum am Kondylus gestört bzw. gehemmt werden.

Aus dem Vorhergehenden läßt sich schlußfolgern, daß die Dislokation des Kondylus der essentielle Faktor ist, der die Aktivierung der regionalen Wachstumsprozesse auslöst und in Gang hält. Die Veränderung des artikulären Milieus wurde im Tierexperiment mit Hilfe intraoraler Geräte herbeigeführt, die nach dem Wirkungsprinzip der *schiefen Ebene* arbeiten. Durch die mechanische Führung dieser Apparatur wird der Unterkiefer in die Vorlage gezwungen. Hierbei kommt es zur Dehnung der Retraktoren und damit zu einer beachtlichen Erhöhung ihres muskulären Spannungszustandes. Die hierbei freiwerdenden Kräfte setzen sich über das Gerät in Druckapplikation auf die Zähne um. Um ungünstige orthodontische Auswirkungen auf das Gebiß auszuschalten, wurden bei den Versuchen mit Affen die Zähne des Ober- und Unterkiefers jeweils durch zementierte Metallschienen zu einem Block zusammengefaßt. Beim Rattenversuch muß die überdimensionierte Wurzellänge der unteren Schneidezähne in Betracht gezogen werden. Diese reichen mit ihren Wurzelspitzen bis unter die der letzten Molaren. So konnten bei den Experimenten mit Affen wie auch mit Ratten Zahnbewegungen als Folge der mechanischen Wirkung des Vorschubgeräts, wenn überhaupt, nur in äußerst geringem Maße beobachtet werden. Das heißt, das Vorschubgerät wirkt sich fast ausschließlich auf die artikuläre Zone aus und bewirkte eine dauerhafte ventrokaudale Lageveränderung der Kondyle. Auf diese Weise kam es zur Stimulation der kondylären Wachstumszone von permanenter Dauer.

## Die Wirkungsweise des Aktivators und seiner Modifikationen bei der Behandlung der mandibulären Retrognathie

Es steht außer Frage, daß mit Hilfe von Aktivatoren die Unterkieferlage verändert und damit die Dislokation der Kondylen in der gleichen Weise wie im Tierexperiment herbeigeführt werden kann. Hierbei kommt es zu einer Tonussteigerung der Retraktoren, worauf schon hingewiesen wurde.

Nach Graf beträgt die hierdurch erzeugte Spannkraft dieser Muskeln bei einer Vorverlagerung des Unterkiefers um eine Prämolarenbreite etwa 7N (700 p).

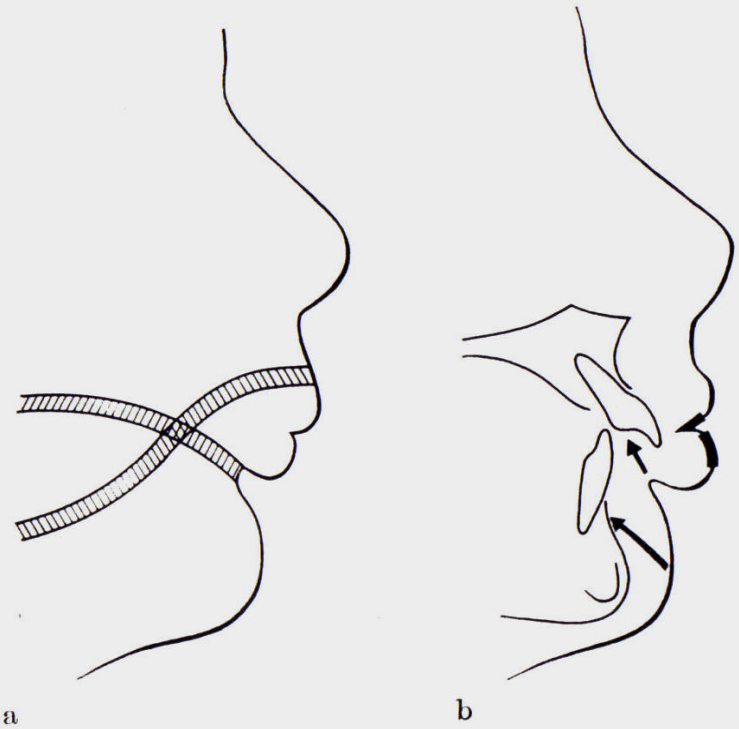
Mit dieser beachtlichen Kraft versuchen die Retraktoren den Unterkiefer in die alte Distalbißlage zurückzuführen und das früher bestehende muskuläre Gleichgewicht wiederherzustellen. Diese Dorsalbewegung wird durch die intermaxilläre Stütz- bzw. Klemmwirkung des Aktivators unmöglich gemacht. Da die Zähne ungeschient bleiben, wirken sich die erhöhten Spannkräfte der Retraktoren über die Führungsflächen des Aktivators in einer Druckwirkung auf den Einzelzahn aus. Diesen starken Druckkräften geben die Zähne nach. Im Unterkiefer kommt es zur Mesialbewegung der unteren Prämolaren und Molaren und zur Vorkippung der unteren Schneidezähne. Durch das Nachgeben der Zähne wirken sich die Zugkräfte der Retraktoren auf die Unterkieferlage aus. Das heißt, der Unterkiefer und mit ihm der Kondylus werden langsam in die vor dem Eingriff bestehenden Positionen zurückgeführt. Die kondyläre Wachstumszone gerät daher nur vorübergehend unter eine stimulierende Wirkung. Wie die Untersuchungen von Björk und anderen Autoren gezeigt haben, wirkt sich der Aktivator auf das translative Wachstum nur in geringem Maße aus. Die reaktiven Umbauprozesse vollziehen sich im wesentlichen im dentoalveolären Bereich. So zeigen die Aufsichtsaufnahmen der unteren Abschlußmodelle der mit Aktivatoren behandelten Fälle zumeist Mesialbewegungen der unteren Seitenzähne und Vorkippung der unteren Schneidezähne. Dies ist ein verläßliches Zeichen, daß sich das verwendete Gerät orthodontisch ausgewirkt hat. Das Ausmaß dieser Zahnbewegungen läßt eine reale Einschätzung zu, ob und in welchem Ausmaß die basale Längenentwicklung des Unterkiefers stimuliert werden konnte.

Es wurde bereits ausgeführt, daß die Rostralbewegungen der unteren Zähne als Folge einer kieferorthopädischen Behandlung zu einer sehr labilen und äußerst rezidivgefährdeten Situation führen. Die ungünstigen Folgen einer solchen Behandlung zeigen sich erst später, 2–3 Jahre nachdem das Gerät abgesetzt wurde. Es erscheint uns nicht richtig, den dann auftretenden Engstand in der unteren Front und die Vertiefung des Bisses als Folge der „phylogenetisch bedingten Reduktion" des dentoalveolären Bogens zu erklären.

In den meisten Fällen ist der später auftretende Frontzahn-Engstand im Unterkiefer das Symptom des Rezidivs. Die in den Fachzeitschriften abgebildeten Abschlußmodelle lassen immer wieder erkennen, daß man der morphologischen Situation im Unterkieferbereich bei der Erfolgsbewertung zu wenig Beachtung schenkt. Von einem Erfolg der Behandlung kann nur gesprochen werden, wenn eine orthodontische Rostralbewegung der unteren Zähne vermieden werden konnte. Nur dann können wir erwarten, daß sich unsere Therapie im Sinne einer *kieferorthopädischen* Behandlung ausgewirkt hat, d. h., daß eine Nachentwicklung des Unterkiefer-Basalbogens erreicht werden konnte.

## Die Wirkungsweise des Funktionsreglers bei der Behandlung der mandibulären Retrognathie

Die Abbildungen 28a und b sollen die Hauptmerkmale der gestörten Physiologie beim Vorliegen einer mandibulären Retrognathie aufzeigen. Aus der Abbildung 28a ist die gestörte Physiologie des Raums erkennbar. Die sagittale Entwicklung der zirkumoralen Weichteilkapsel ist in ihrer unteren Hälfte zurückgeblieben. Der orale Funktionsraum ist in seinem kaudalen Anteil zu klein. Die *kapsuläre Matrix* bietet so dem Unterkiefer für seine Translation zu wenig Raum, worin Moss den Hauptgrund für die Entwicklungshemmung des Unterkiefers sieht. Mit den vestibulären Schildern, besonders mit den Lippenpelotten, läßt sich die eingeengte Weichteilkapsel sagittal vergrößern. Durch allmähliches Vorverstellen der Lippenpelotten können physiologische Raumbedingungen wiederhergestellt werden. Dabei wirkt sich der Funktionsregler *„physiotherapeutisch"* aus. Wie die Abbildung 28a zeigt, setzt sich der obere Teil des M. buccinator in der Unterlippe fort und ist mit ihrer Muskulatur eng verflochten. Durch die Schildwirkung wird diese Muskelschlinge allmählich gedehnt, ihre Strukturen verändern sich zur physiologischen Norm. Die Lippenpelotten erfüllen aber auch noch eine andere wichtige physiotherapeutische Aufgabe. Durch ihre Stützwirkung kommt es nach Einsetzen des Geräts zu einer spontanen Korrektur der Mentolabialfalte (Abb. 29).
Oberhalb der Pelotten fällt die Unterlippe zurück, wodurch ihre Ausstülpung beseitigt wird. So können sich Oberlippe und Unterlippe zu einem normgemäßen Kontakt finden. Dabei sollte die adhäsive Wirkung des Übergangs-



a b

Abb. 28a und b
Die funktionellen und strukturellen Abwegigkeiten der mandibulären Retrognathie bei der Angle Klasse II/1 (s. Text)

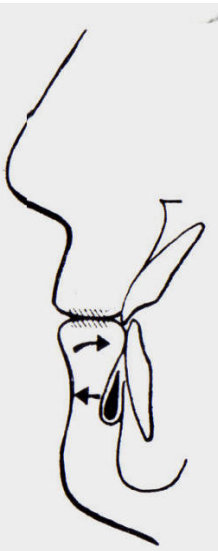


Abb. 29
Die Wirkungsweise der Lippenpelotten bei der Behebung funktioneller und struktureller Aberrationen der perioralen Muskulatur

epithels, das in der Abbildung 29 durch schwarze Markierung hervorgehoben ist, in seiner Bedeutung für einen kompetenten Lippenschluß nicht unterschätzt werden. So wirken sich die Unterlippenpelotten sowohl im Sinne einer ästhetischen Verbesserung als auch für das Zustandekommen eines spannungsfreien Lippenschlusses günstig aus.
Unsere klinischen Erfahrungen haben gezeigt, daß die Unterlippenstütze die Lippenschließgymnastik außerordentlich erleichtert. Die Lippenpelotten machen die Fehlfunktionen der Lippenmuskeln und die des M. mentalis unmöglich. Insbesondere wird die exzessive Aktivität des Kinnmuskels beim Lippenschluß behindert, so daß ein wirklicher Trainingseffekt des M. orbicularis oris erreicht werden kann.
Die gestörte Physiologie des oralen Funktionsraums muß aber auch im Zusammenhang mit der Dysbalance zwischen Protraktoren und Retraktoren gesehen werden. Es sei daran erinnert, daß der Oberkiefer des Neugeborenen in der Regel den Unterkiefer frontal überragt. Der *Neugeborenen-Rückbiß* ist daher nicht als ein anormales Erscheinungsbild zu werten. Zur Herstellung funktionell adäquater intermaxillärer Lagebeziehungen ist postnatal eine rostrale Translation des Unterkiefers notwendig. Hierzu bedarf es der Ausbildung leistungsfähiger Funktionsmuster der Protraktoren. Bei der mandibulären Retrognathie ist dieser Entwicklungs- und Reifungsprozeß offensichtlich ausgeblieben. Diesen Reifungsrückstand aufzuholen, ist daher eine wichtige Aufgabe der funktionellen Orthopädie. Um die Wirkungsweise des Funktionsreglers bei der Lösung dieser Aufgabe verständlich zu machen, sei kurz auf die Prinzipien von Gymnastik und Training eingegangen. Dies soll an dem Beispiel der Ausbildung einer Tänzerin dargestellt werden. Die Abbildungen 30a–d sollen ein Trainingsziel, das darin besteht, ein Bein für längere Zeit in angehobener Stellung zu halten, deutlich machen.
Man wird zu diesem Zwecke zunächst mit einer Übung beginnen, wie sie auf der Abbildung 30c dargestellt ist. Erst wenn die Ballettschülerin das Bein in dieser angehobenen Stellung für längere Zeit halten kann, wird das Übungsziel höher gesteckt. Ein Trainingseffekt kommt jedoch nicht zustande, wenn das Bein mechanisch abgestützt wird (Abb. 30d). In diesem Falle brauchen die Elevatoren nicht in Funktion zu treten.

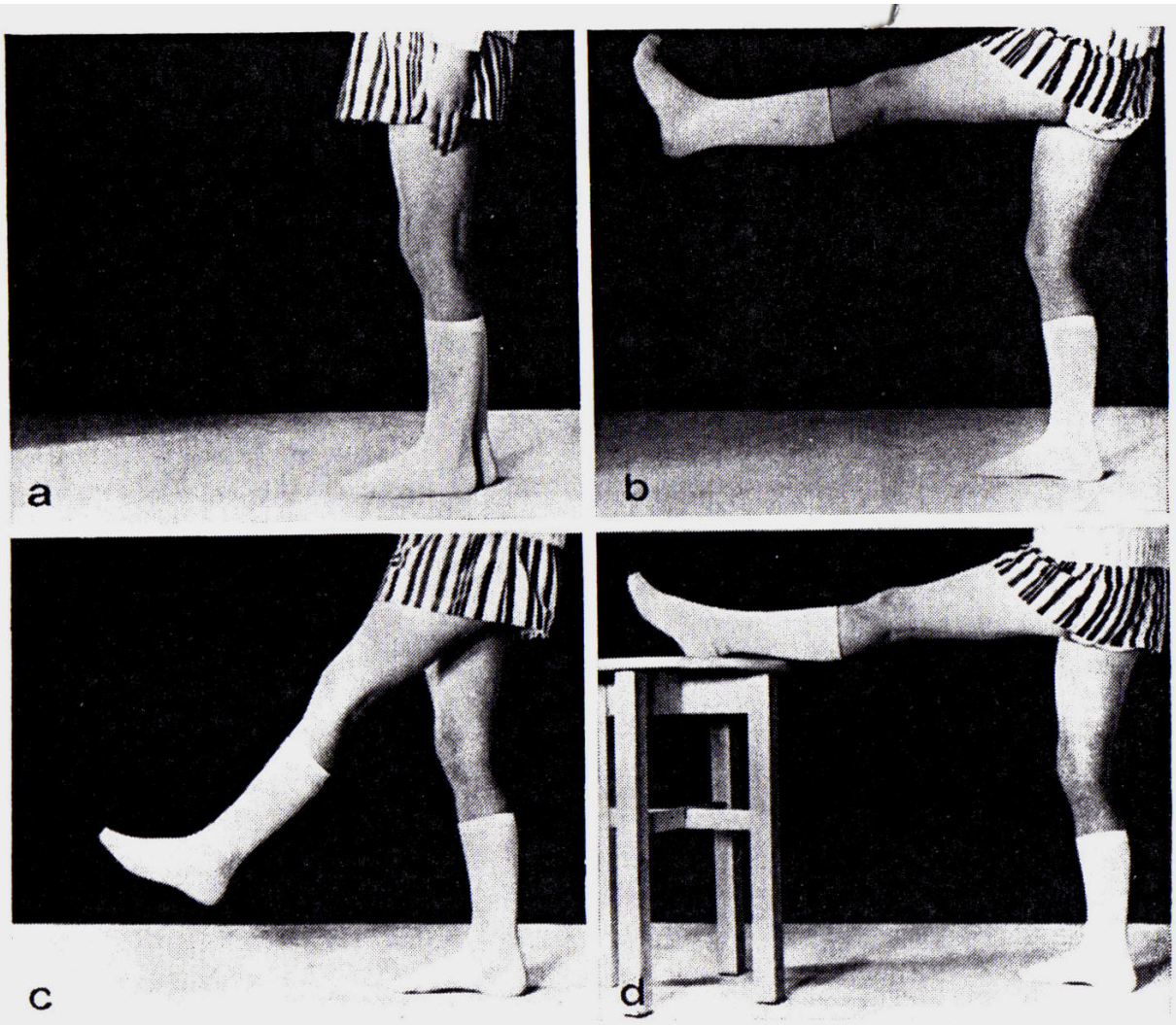



Abb. 30a bis d
Gymnastische Prinzipien

Bei einer Palpation sind diese Muskeln entspannt und schlaff, d. h., sie sind außer Funktion.
Bei Verwendung des Aktivators wird der Unterkiefer in seiner Vorlage durch die Führungsflächen am Gebiß abgestützt. Die Protraktoren sind daher nicht zu einer Leistung gefordert. Ein Trainingseffekt dieser Muskulatur kann daher nicht erwartet werden, besonders dann nicht, wenn das Gerät nur nachts getragen wird. Bei Verwendung des Funktionsreglers wird auf jede mechanische Abstützung der Unterkiefervorlage am Gebiß verzichtet (Abb. 31).
Nach Einsetzen des Geräts ist der Patient gezwungen, mit der Unterlippe die Lippenpelotten zu umfassen. Damit wird zwangsläufig auch der Unterkiefer nach vorn gebracht. Besondere Bedeutung kommt dem Lingualschild als Führungselement für die Veränderung der Unterkieferlage zu. Es ist mit Hilfe von zwei interokklusal verlaufenden Drähten mit den vorderen Segmenten der Bukkalschilder verbunden (s. Abb. 8 u. 9). Bei einer Vorschubstellung des Unterkiefers von einer Prämolarenbreite käme es durch die Kraft, mit der die Retraktoren den Unterkiefer in die alte Rücklage zu bringen versuchen, zu einer Verbiegung dieser Verbindungsdrähte und zu einer

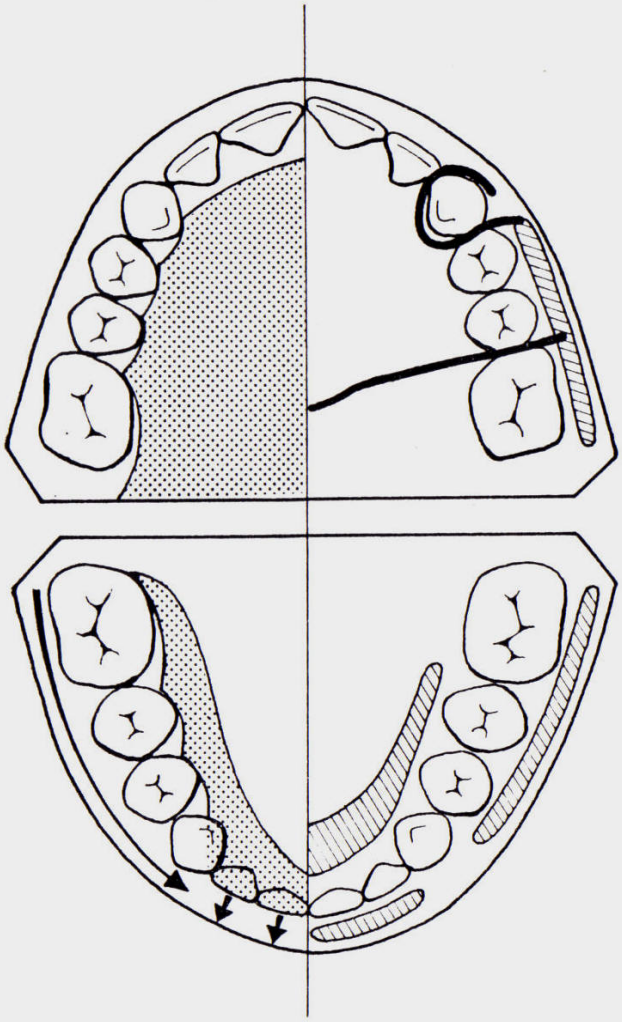


Abb. 31
Veränderung der Unterkieferlage mit dem Aktivator (linke Seite) und mit dem Lingualschild des Funktionsreglers (rechte Seite)

Dorsalverlagerung des Lingualschilds. In diesem Falle stehen dann die unteren Lippenpelotten von den Fazialflächen des Alveolarfortsatzes ab. Außerdem kommt es an der Lingualseite des frontalen Alveolarfortsatzes als Folge des zu starken Drucks des Lingualschilds zu Dekubitalerscheinungen. Bei Verwendung des Funktionsreglers kann daher der Konstruktionsbiß nicht in Schneidezahn-Kantenbiß genommen werden. Mit dieser apparativen Konstruktion entsprechen wir den Grundprinzipien der orthopädischen Gymnastik, wonach das Ziel nur durch vorsichtiges Beginnen und allmähliche Steigerung erreicht werden kann. Aus diesem Grunde nehmen wir den anfänglichen Konstruktionsbiß nur in einer Vorschubstellung von 2–3 mm.
Die Abbildung 32 soll die Wirkungsweise des Funktionsreglers beim Training der Protraktoren verdeutlichen. Nach dem Einsetzen des Geräts versuchen die Retraktoren den Unterkiefer in die alte Distalbißlage zurückzubringen. Dabei kommt es zum Druckkontakt zwischen dem Lingualschild und den Innenflächen des Alveolarfortsatzes. Der hierdurch ausgelöste Druck wird von den Mechanorezeptoren der Gingiva und des darunter liegenden Periosts registriert und an die entsprechenden Schaltzentren des Zentralnervensystems weitergeleitet. Dort werden diese sensorischen Afferenzen zu motorischen Efferenzen verarbeitet. Die Protraktoren werden aktiviert, um durch Vorverlagerung des Unterkiefers die Drucksensation zu beheben. Diese Leistung der Protraktoren kann in der Anfangsphase der Behandlung nur am Tage

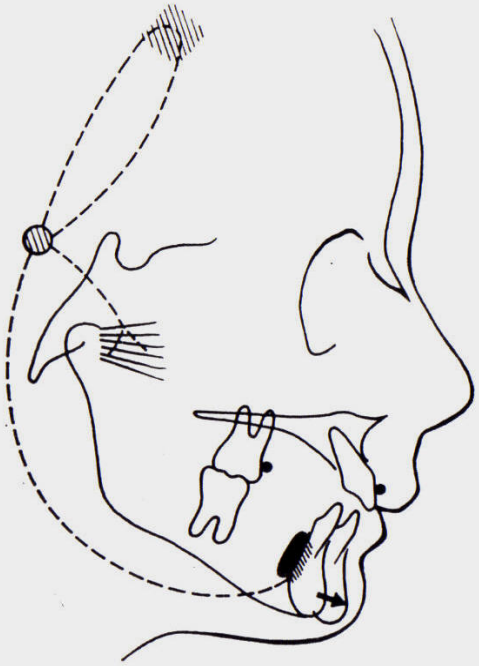


Abb. 32
Durch die Druckwirkung des Lingualschilds kommt es über die Regelmechanismen des Zentralnervensystems zur Aktivierung der Protraktoren (Näheres s. Text)

erwartet werden. Aus diesem Grunde ist in den ersten zwei Monaten ein nächtliches Tragen des Geräts kontraindiziert. Der Funktionsregler soll daher zunächst nur nachmittags getragen werden, am besten während der Schularbeiten für 1–2 Stunden. Erst im zweiten Monat kann die Tragezeit auf 3–4 Stunden am Nachmittag verlängert werden.

Durch Segmentierung des Seitenschilds können Lippenpelotten und Lingualschild und damit der Unterkiefer allmählich in anteriorer Richtung verstellt werden. Hierbei wird der neuromuskuläre Apparat nicht überfordert. Die Druckempfindung, die den Lingualschild in Schleimhaut und Periost hervorruft, kann durch die Aktivität der Protraktoren mühelos behoben werden. Sie sind nach diesem Training in der Lage, den Unterkiefer in der neuen Vorlage zu halten. Hinzu kommt, daß bei einer langsamen Vororientierung des Unterkiefers die Dehnungsrezeptoren in den Retraktoren nicht oder nur geringgradig angesprochen werden. Eine tetanische Spannung dieser der Vorverlagerung des Unterkiefers entgegenwirkenden Muskelgruppen wird vermieden. Damit kann die reziproke Wirkung des Geräts auf den Oberkiefer gering gehalten und Distalbewegungen der oberen Seitenzähne weitgehend verhütet werden.

Ein großer Vorteil des Funktionsreglers liegt darin, daß die Vorverlagerung des Unterkiefers ohne jede Abstützung an den unteren Zähnen erfolgt.

Wenn Lingualschild und Lingualbögen keinen Kontakt mit den Zähnen haben, so läßt sich eine orthodontische Wirkung im Unterkieferbereich mit Sicherheit vermeiden. Die Überführung eines Distalbisses in den Neutralbiß, sofern sie allein mit Hilfe des Lingualschilds erreicht wird, läßt sich daher nicht durch eine Mesialbewegung der unteren Seitenzähne erklären.

Hieraus läßt sich folgern, daß eine ähnliche Stimulation des translativen Wachstums am Kondylus erwartet werden kann wie bei den schon erwähnten Tierexperimenten.

Die Untersuchungen von McNamara haben gezeigt, daß der wachstumsstimulierende Effekt bereits nach der 6. Woche signifikant nachläßt. Wahr-

scheinlich ist nach dieser Zeit das vorher bestehende Spannungsgefüge im artikulären Bereich durch adaptive Prozesse wiederhergestellt worden. Somit ist das biomechanische Signal für die Stimulation des translativen Wachstums erloschen. Durch die Erweiterung des vertikalen Sägeschnitts (s. Abb. 12) kann das artikuläre Milieu erneut in einen veränderten Spannungszustand versetzt werden. Damit wird erneut ein biomechanischer Reiz für die Aktivierung der kondylären Wachstumszone gesetzt. Ein solches Vorgehen würde auch den Versuchsbedingungen entsprechen, die PETROVIC und Mitarbeiter als optimale Wachstumsstimulation im Rattenversuch festgestellt haben. Unsere langjährigen Erfahrungen, besonders die Nachuntersuchungen abgeschlossener Fälle, lassen die Annahme zu, daß durch die schrittweise Vororientierung des Unterkiefers ein erfolgreiches Training der Protraktoren erzielt werden kann. Dafür spricht die Tatsache, daß nach Behandlung mit Funktionsreglern ein Doppelbiß nicht beobachtet wird.
So können wir annehmen, daß der Kondylus bei Schlußbiß in der Gelenkgrube eine Position einnimmt, die optimalen physiologischen Bedingungen entspricht.
Vor allem können Mesialbewegungen der unteren Seitenzähne und Labialkippung der unteren Frontzähne mit Sicherheit vermieden werden.
Alle diese Überlegungen lassen den Schluß zu, daß die mit Funktionsreglern erreichten Behandlungsergebnisse weniger rezidivgefährdet sind.

## 8.3. Die vertikalen Disproportionen bei mandibulärer Vorwärtsrotation

Bei der kraniofazialen Entwicklung kommt es zu signifikanten Verlagerungsprozessen, wobei die einzelnen Schädelknochen auch rotatorische Translationen durchmachen. Hiervon ist der Unterkiefer als der einzige bewegliche Schädelknochen am meisten betroffen (BJÖRK). Dabei kann es einmal zu einer Rotation des Unterkiefers im Sinne des Kieferschlusses, zum anderen im Sinne der Kieferöffnung kommen. Diese rotatorischen Translationen des Unterkiefers lassen sich am besten verstehen, wenn man die Muskulatur, die den Unterkiefer am Schädel aufhängt, in eine ursächliche Erklärung einbezieht. Auf diese Weise läßt sich das Entwicklungsmuster der mandibulären Vorwärts- bzw. Rückwärtsrotation mit spezifischen Funktionsmustern des muskulären Aufhängeapparats in Verbindung bringen.

### Die funktionelle Problematik der mandibulären Vorwärtsrotation

Morphologisch ist das Entwicklungsmuster der mandibulären Vorwärtsrotation vor allem geprägt durch einen verkleinerten Kieferbasiswinkel und durch ein relativ kurzes Untergesicht. Ursächlich läßt sich dieses Entwicklungsmuster auf eine Dysbalance zwischen Kieferadduktoren und -abduktoren zurückführen. Beim Vorliegen einer mandibulären Rotation im Sinne des Kieferschlusses kann eine Hypervalenz der Kieferschließmuskula-

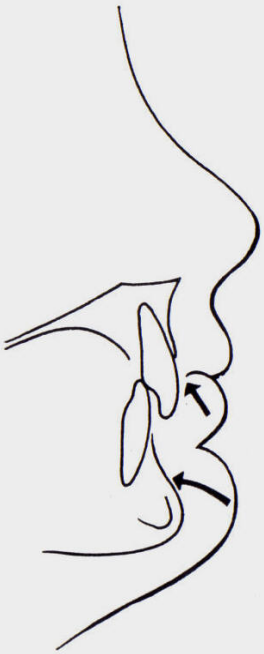


Abb. 33
Schematische Darstellung der funktionellen und strukturellen Abwegigkeiten bei der Angle Klasse II/2

tur angenommen werden. Wie die Abbildung 33 zeigt, kommt es dadurch nicht nur zu einer Entwicklungshemmung im anterioren unteren Gesichtsskelett, sondern auch zu einer Stauchung der Weichteile im Lippen-Kinn-Bereich. Hierdurch erklärt sich auch die relativ hohe Lage der Unterlippe. Die sogenannte „*hohe Lippenlinie*" ist ein charakteristisches Merkmal dieser Fehlentwicklung, worauf viele Autoren hingewiesen haben. Sicherlich spielt hierbei auch die exzessive Aktivität des Mentalismuskels eine große Rolle. Hierdurch wird die Unterlippe hoch und unter die Oberlippe eingezogen. Häufig ist diese Fehlfunktion mit dem Einsaugen der Unterlippe vergesellschaftet. Auch das „Nuckeln" an der Unterlippe wird in diesen Fällen nicht selten beobachtet.
Bei der Profilanalyse des Fernröntgenbildes wird sichtbar, daß die Labialflächen der oberen Schneidezähne von der Unterlippe völlig bedeckt sind. Wenn die Schneidezähne während ihres Durchbruchs unter diesen Weichteileinfluß kommen, verändern sie ihre Durchbruchsrichtung, es kommt zunehmend zu der charakteristischen Steilstellung im Frontbereich (Falck, Fränkel, Falck). Hierdurch erklärt sich, warum die mandibuläre Vorwärtsrotation mit dem „Steilbiß" bzw. „Deckbiß" vergesellschaftet ist.
Aus der vorstehenden funktionellen Analyse ergeben sich Hinweise für eine funktionelle Therapie. Bei der Behebung der mandibulären Vorwärtsrotation stellen sich demnach zwei Hauptaufgaben:

1. Die Dysbalance zwischen Kieferadduktoren und -abduktoren im Sinne eines physiologischen Gleichgewichts zu beeinflussen;
2. die funktionellen Abwegigkeiten im Lippen-Kinn-Bereich zu beheben.

## Die orthopädische Behandlung der mandibulären Vorwärtsrotation mit Hilfe des Funktionsreglers Typ II

Es liegt auf der Hand, daß man der mandibulären Vorwärtsrotation am besten dadurch begegnet, daß man den muskulären Aufhängeapparat im Sinne der Rückwärtsrotation zu trainieren versucht. Dieses Arbeitsprinzip

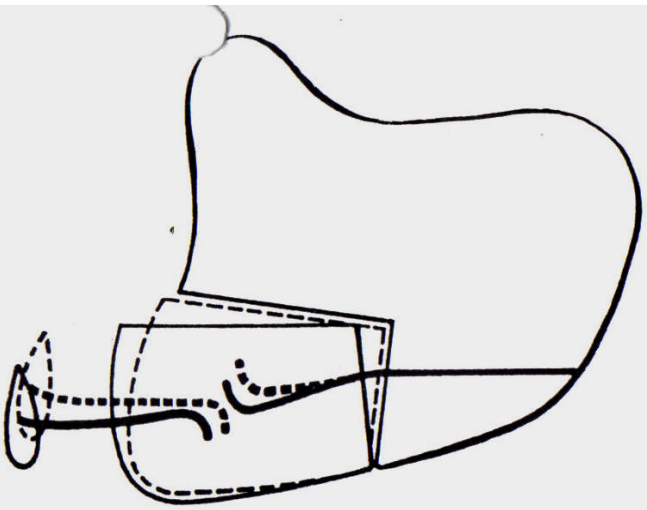


Abb. 34
Schematische Darstellung der Verstellmöglichkeiten nach Segmentierung des Seitenschilds durch Sägeschnitt. Zum Zweck der Bißverschiebung und gleichzeitigen Bißhebung kann das anteriore Segment mit Lippenpelotten und Lingualschild nicht nur nach vorn, sondern auch nach unten lagemäßig verändert werden

ist seit langem bekannt und hat zur Konstruktion mannigfaltiger kieferorthopädischer Geräte geführt. Hierbei bedient man sich zumeist des Kunststoffaufbisses im Oberkiefer. Dieses Prinzip kommt auch beim Aktivator zur Anwendung.

Beim Funktionsregler wird auf jeden Kunststoffaufbiß verzichtet. Die Bißhebung wird mit Hilfe des Protrusionsbogens und des unteren Lingualbogens herbeigeführt. Diese Drähte müssen hierbei den Tuberkula der oberen und unteren Frontzähne anliegen. Um zu einem wirklichen Trainingseffekt der Muskulatur zu kommen, empfiehlt sich ein vorsichtiges Beginnen. Wie die Abbildung 34 zeigt, läßt sich die Unterkieferlage bei Verwendung des Funktionsreglers nicht nur in der Sagittalen, sondern auch in der Vertikalen schrittweise verändern, worauf bereits hingewiesen wurde. Hierbei kommt natürlich auch dem Lingualschild als Führungselement große Bedeutung zu. Die bißöffnende Wirkung des Geräts kann schrittweise verstärkt werden, wenn man den Protrusionsbogen und den unteren Lingualbogen vorsichtig okklusalwärts nachbiegt. Sie müssen immer Kontakt mit den Tuberkula der Frontzähne haben. Nur dann wird interokklusal Raum für die Extrusion der Seitenzähne geschaffen. Bei der Verwendung des Funktionsreglers vollziehen sich die Extrusionsbewegungen dieser Zähne ohne jegliche Zwangsführung, da sie nirgendwo Kontakt mit dem Gerät haben.

Das sich Finden zu neuen okklusalen Kontakten erfolgt durch natürliche Kräfte und unter stetiger Einwirkung der Funktion. So glauben wir, daß auf diese Weise okklusale Interferenzen als Folge willkürlicher Zahnbewegungen vermieden werden können.

## 8.4. Die vertikalen Disproportionen bei mandibulärer Rückwärtsrotation

Das skelettale Entwicklungsmuster der mandibulären Rückwärtsrotation ist gekennzeichnet durch

- *Vergrößerung des Kieferbasiswinkels,*
- *Überhöhung des unteren Gesichtsdrittels* und durch
- *eine abwegige Relation zwischen vorderer und hinterer Gesichtshöhe.*

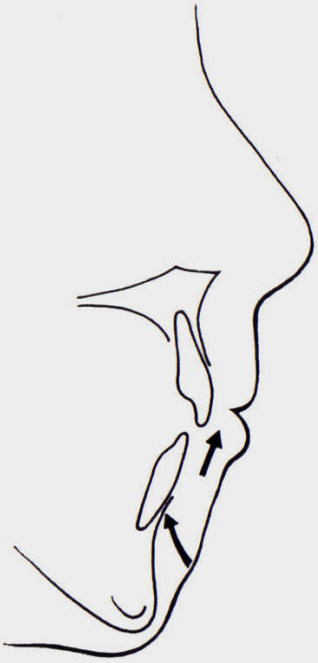


Abb. 35
Die funktionellen und strukturellen Abwegigkeiten bei mandibulärer Rückwärtsrotation (Näheres s. Text)

Die skelettalen Disproportionen können vergesellschaftet sein mit Neutralbiß, Distalbiß und Mesialbiß.
Bei der Profilanalyse des Fernröntgenbildes fällt die Dünne der Weichteildecke im Lippen- und Kinnbereich auf. Die Abbildung 35 zeigt, daß die vergrößerte Distanz zwischen Subnasale und Menton von der Lippenschließmuskulatur nur mit großer Kraftanstrengung überwunden werden kann. Offensichtlich fehlt es im Lippenbereich an muskulärer Substanz und Kraft, um einen spannungsnormalen Mundabschluß herbeizuführen. Es bedarf der Hilfsfunktion des Kinnmuskels, um die Unterlippe durch Hochziehen in Kontakt mit der Oberlippe zu bringen. Bei entspannter Kinnmuskulatur ist der Mund offen. Die schlaffen inkompetenten Lippen lassen auf eine ausgeprägte Haltungsschwäche der Ringschließmuskulatur schließen. Von der Haltungsschwäche sind aber auch andere Muskeln betroffen. Von dem Muster der mandibulären Rückwärtsrotation kann auf eine Schwäche der Kieferschließmuskulatur geschlossen werden. Nach Bosma läßt sich diese Haltungsschwäche auf das Ausbleiben der Reifung neuromuskulärer Haltemechanismen zurückführen. Bei der mandibulären Rückwärtsrotation sind hiervon besonders die Kiefer- und Lippenschließmuskulatur betroffen.
Sicherlich spielt beim Zustandekommen des dentalen Symptoms, des frontaloffenen Bisses, die Zunge ursächlich eine Rolle. Durch ihre interdentale Einlagerung werden die Schneidezähne in ihren eruptiven Bewegungen gehindert. Untersuchungen haben jedoch gezeigt, daß die Zunge ein sehr adaptives Organ ist. Sie paßt sich veränderten morphologischen Situationen in Lage und Funktion an. Dieser Fakt sollte auch bei der ursächlichen Erklärung von Zungenfehlfunktionen berücksichtigt werden. So ist nach Tulley das sogenannte „falsche Schlucken" in den meisten Fällen als ein adaptiver Vorgang zu werten. Diese Ansicht wird durch unsere Behandlungsergebnisse gestützt. So konnten wir auch in schwierigen Fällen den offenen Biß schließen, ohne daß die Zunge durch inhibierende Platten- oder Drahtelemente an einer interdentalen Einlagerung gehindert wurde. Hieraus läßt sich schließen,

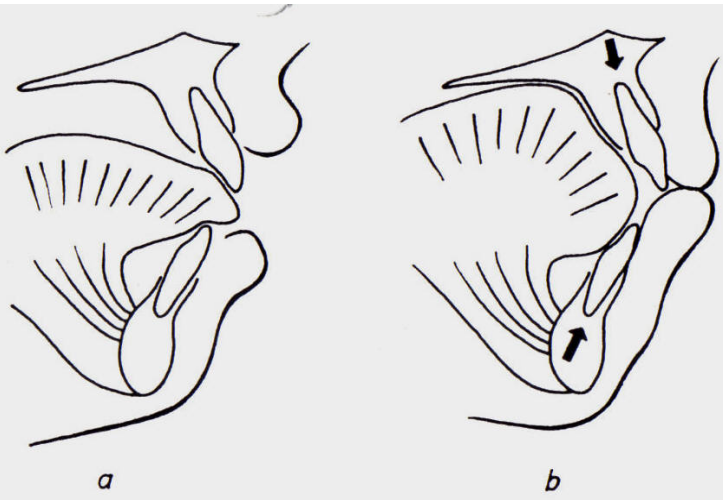



Abb. 36a und b
Die Schließfunktion der Lippen und Zunge beim Zustandekommen des oralen Raumabschlusses (Näheres s. Text)

daß die Zunge nicht der primäre bzw. alleinige Kausalfaktor sein kann. Wir glauben daher, daß dem multifaktoriellen Kausalgeschehen der Haltungsschwäche in der Lippenregion die vorrangige Bedeutung zukommt. In dieser Region ist die Ausbildung adäquater Haltemechanismen ausgeblieben. Die protrudierte Zungenlage ist als eine kompensatorische Leistung zu werten. Da der vordere Mundraumabschluß nicht durch die Lippen herbeigeführt werden kann, wird er von innen durch die Zunge getätigt. Unsere Behandlungsergebnisse lassen den Schluß zu, daß diese *Aushilfsfunktion der Zunge* sich spontan zurückbildet, wenn die Haltungsschwäche der Lippen überwunden werden kann (Abb. 36a u. b) (Fränkel 1980 u. 1982).

## Die Behandlung der mandibulären Rückwärtsrotation mit Hilfe des Funktionsreglers

Aus dem Vorhergehenden läßt sich ableiten, daß eine funktionelle Orthopädie bei der Behandlung der mandibulären Rückwärtsrotation in der Behebung der Haltungsschwäche der Kiefer- und Lippenschließmuskulatur ihre wichtigste Aufgabe zu sehen hat. Bei der Lösung dieser Aufgabe hat uns eine klinische Beobachtung den Weg gewiesen. Wenn man ein Kind mit dem skelettalen Muster der Hyperdivergenz auffordert, die Lippen zu schließen, so läßt sich mit dem Finger eine signifikante Aktivität des M. masseter und M. temporalis palpieren. Das heißt, beim Schließen der Lippen kommt es zu einer spontanen Aktivität der Kieferschließmuskulatur. Dies läßt sich als eine kompensatorische Leistung erklären, d. h., die Adduktoren treten in Aktion, um die verlängerte Distanz des unteren Gesichtsdrittels zu verkürzen und so den Lippenschluß zu ermöglichen bzw. leichter zu machen. Auf dieser Beobachtung baut sich die Arbeitshypothese auf, daß mit der Lippenschließgymnastik zugleich auch die Kieferadduktoren trainiert werden können. Bei der Behandlung der mandibulären Rückwärtsrotation muß daher

der Mundschließgymnastik die größte Beachtung geschenkt werden. Dabei soll nicht verschwiegen werden, daß beim Vorliegen eines überhöhten unteren Gesichtsdrittels die Durchführung einer solchen Gymnastik schwierig ist und ein Höchstmaß von Kooperation erfordert. Man sollte sich darüber im klaren sein, daß die Haltungsschwäche in diesen Fällen nicht nur als eine regionale Inkompetenz der Muskulatur zu werten ist. Immer hat die Haltungsschwäche einen psychischen Hintergrund, worauf bereits eingegangen wurde.

Häufig steht sie im Zusammenhang mit einer allgemeinen Passivität des Kindes, bei der neben der Charakterveranlagung gestörte Umweltbeziehungen eine ursächliche Rolle spielen. Die Behandlung dieser Kinder erfordert psychologisches Geschick und Geduld. Es hat sich als zweckmäßig erwiesen, bei Fällen dieser Art zunächst von einer apparativen Behandlung Abstand zu nehmen. Das primäre und wichtigste Anliegen einer funktionellen Kieferorthopädie liegt hier in der Behebung der funktionellen Aberration, der Überwindung der Haltungsschwäche.

Langjährige Erfahrungen haben uns gezeigt, daß ein Erfolg bei der Behandlung dieser schweren Dysgnathieformen nur dann erwartet werden kann, wenn das Kind anfänglich nicht überfordert wird. Lippenschließübungen sollten langsam in der schon beschriebenen Weise eingeleitet werden. Immer wieder sollten Kind und Eltern darauf hingewiesen werden, daß das unästhetische Erscheinungsbild der Haltungsschwäche im Mund-Lippen-Bereich mit einer solchen Gymnastik behoben werden kann. Wir dürfen nicht nachlassen, auf die psychosozialen Aspekte hinzuweisen, die mit der Verbesserung des Gesichtsausdrucks gegeben sind.

Erst nachdem wir uns von der Kooperation von Kind und Eltern überzeugt haben, beginnen wir mit der Gerätebehandlung. Die Erfolge einer kieferorthopädischen Gymnastik mit dem Funktionsregler zeigen, daß die skelettale Entwicklung durch eine Frühbehandlung in der Wechselgebißperiode in sehr günstiger Weise beeinflußt werden kann.

Die pessimistische Ansicht, daß die Disproportionen beim skelettalen offenen Biß einer orthopädischen Behandlung unzugänglich sind, wird durch unsere fernröntgenologischen Untersuchungen widerlegt (Fränkel, Chr. 1980, 1982; Fränkel, R. 1982). Allerdings gilt wie für die Behandlung aller schweren Dysgnathien auch hier, daß eine frühzeitig eingeleitete Behandlung die günstigsten Erfolgsaussichten bietet. In der Wechselgebißperiode bedeutet das In-Kontakt-Kommen der durchbrechenden Zähne ein wichtiges *Input* in das System der neuromuskulären Haltemechanismen. In dieser Zeit ist der muskuläre Aufhängeapparat, der die Unterkieferlage bestimmt, darauf eingestellt, sich der durch den Zahnwechsel stetig verändernden morphologischen Situation anzupassen (di Salvo). In dieser Entwicklungsperiode läßt sich die Ausbildung geeigneter Haltemechanismen am günstigsten erreichen. Nach Durchbruch der bleibenden Seitenzähne haben sich die abwegigen Funktionsmuster verfestigt und tendieren zur weiteren Verschlechterung. Die Überwindung der Haltungsschwäche wird zunehmend schwieriger. Ist das skelettale Muster der Hyperdivergenz stark ausgeprägt, so läßt sich Lippenschließgymnastik nur dann noch durchführen, wenn wir die Möglichkeit des Kieferschließens durch Extraktion im Molarenbereich

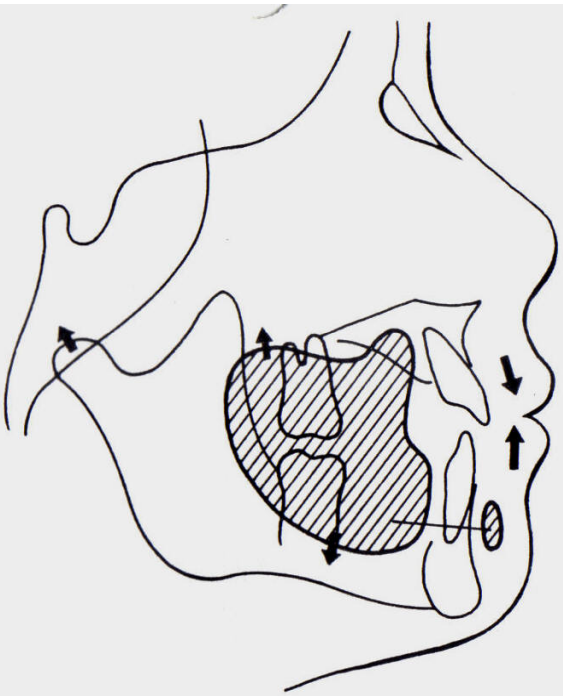


Abb. 37
Richtige Gestaltung der Seitenschilder bei der Behebung der mandibulären Rückwärtsrotation (Erläuterungen s. Text)

erleichtern. Zuvor sollte man sich aber von dem Willen zur Kooperation überzeugen. Auf Grund langjähriger Erfahrungen kommt es auch nach Extraktion der Molaren zum Rezidiv, wenn ein kompetenter Lippenschluß nicht erreicht werden kann. Der Verlust von 4 Molaren wäre dann ein sinnloses Opfer gewesen.
Für die Behandlung in der frühen Wechselgebißphase ist bei Neutralbiß bzw. bei geringem Distalbiß die Verwendung des FR IV angezeigt. Bei stärkerem Distalbiß sollte der FR I zur Anwendung kommen.
Diese Geräte werden im Sinne einer erzwungenen Gymnastik vor allem dadurch wirksam, daß sie die exzessive Aktivität des Mentalis beim Lippenschluß hindern bzw. unmöglich machen. Dies ist Voraussetzung dafür, daß ein wirkliches Training der Lippenschließmuskulatur erreicht wird. Besondere Aufmerksamkeit muß der Gestaltung der Seitenschilder im posterioren Abschnitt geschenkt werden. Diese Partien müssen tief in den Umschlagfalten liegen (Abb. 37). Unsere Beobachtungen lassen den Schluß zu, daß von dem Druck der Schildenden in der Vestibularfalte eine Signalwirkung ausgeht. Hierdurch wird die Veränderung der Haltemechanismen im Sinne der Vorwärtsrotation gefördert, wobei es zu signifikanten Verlängerungen des Ramus mandibulae kommt. Dies trägt erheblich zur Normalisierung der Relation von vorderer zur hinterer Gesichtshöhe bei.

## 8.5. Die Progenie

### Zur funktionellen Problematik

Bei der Progenie ist die Entwicklung des Oberkiefers mehr oder weniger gehemmt, während der Unterkiefer Tendenzen zu einer übermäßigen Längenentwicklung erkennen läßt. Aus der Abbildung 38 ist die gestörte Physiologie

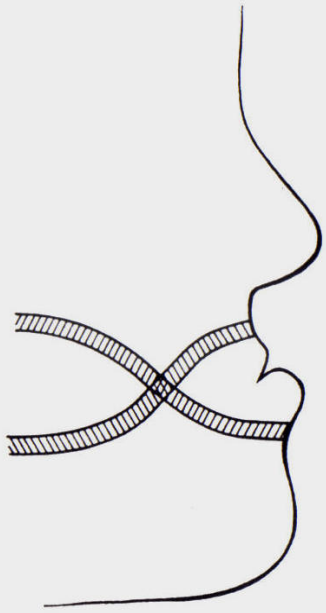


Abb. 38
Die funktionellen und strukturellen Abwegigkeiten bei der Progenie (Näheres s. Text)

des Raums, die bei dieser Dysgnathie vorliegt, ersichtlich. Die äußere Weichteilkapsel ist in ihrer oberen Hälfte eingeengt, während die untere Hälfte Symptome einer übermäßigen Entwicklung zeigt. Von den Abwegigkeiten des Raums kann auf entsprechende unphysiologische Funktionsmuster der Muskulatur geschlossen werden. Die gestörten intermaxillären Beziehungen lassen sich ursächlich auf eine Dysbalance zwischen Protraktoren und Retraktoren zurückführen. Es kann angenommen werden, daß es durch die Hypervalenz der ersteren während der Entwicklung zu einer stärkeren Translation des Unterkiefers gekommen ist. Auf diese Weise kann seine übermäßige Längenentwicklung mit funktionellen Abwegigkeiten in einen ursächlichen Zusammenhang gebracht werden.

## Die Behandlung der Progenie mit Hilfe des Funktionsreglers Typ III

Die Abbildung 39 soll die Wirkungsweise des FR III bei der Behebung der Abwegigkeiten des Raums und der Muskulatur verständlich machen. Durch die vom Oberkiefer abstehenden Mundvorhofschilder kommt es zu einer entsprechenden Weitung der äußeren Weichteilkapsel. Die Lippen- und Wangenmuskulatur wird gedehnt und in den Zustand der Spannung ver-

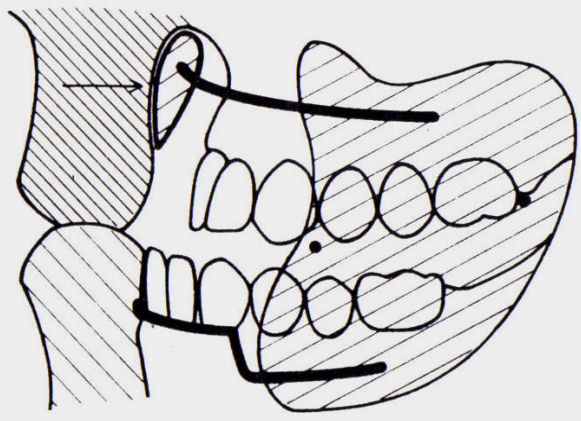


Abb. 39
Schematische Darstellung der Wirkungsweise des FR III

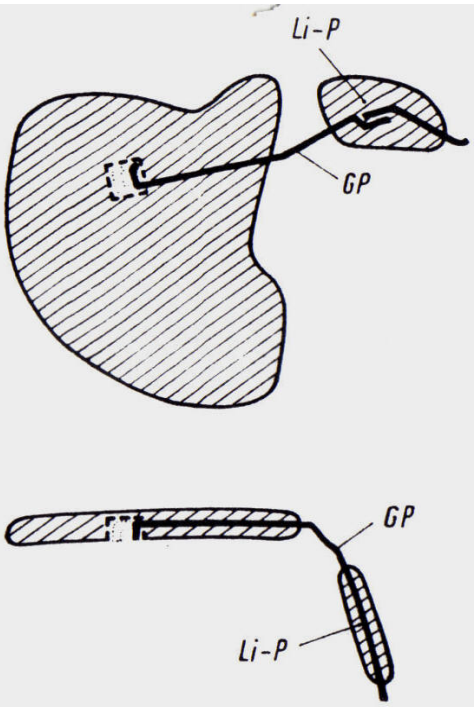



Abb. 40
Vorstellen der Oberlippenpelotten des FR III in schematischer Darstellung
LiP = Oberlippenpelotten, GP = Verbindungsdraht zwischen Oberlippenpelotte und Seitenschild

setzt. Dies wirkt sich vor allem über die Lippenpelotten auf das Gerät im Sinne einer Dorsalverlagerung aus. Über den Labialbogen und die ihm dicht anliegenden Seitenschilder wird so der Unterkiefer im Sinne der Rückverlagerung beeinflußt.
Hierdurch kommt es über die Dehnungsreflexe zu einer gegensinnigen Aktivierung der Protraktoren, wodurch der Unterkiefer wieder in die alte Vorlage gebracht wird. Mit der Vorverlagerung des Unterkiefers werden aber auch die Oberlippenpelotten bzw. Seitenschilder in anteriorer Richtung bewegt, wodurch das periorale Muskelband erneut gespannt wird. Auf Grund dieses dynamischen Wechselspiels kommt es über die Zugspannung in der Umschlagfalte zur Nachentwicklung des Oberkiefers, während die Entwicklung des Unterkiefers gestoppt wird. Diese Gerätewirkung kann jedoch nur dann erwartet werden, wenn jede interdentale Drahteinlagerung zwischen den oberen Seitenzähnen vermieden wird.
Diese Wirkungsweise des FR III ist nur so lange gegeben, wie Lippen- und Wangenmuskulatur durch die vestibulären Plattenelemente in Spannung gehalten werden. Es muß daher während der Behandlung immer wieder kontrolliert werden, ob die Lippenpelotten vom Oberkiefer den notwendigen Abstand haben.
Mit der Nachentwicklung im Oberkiefer und dem Entwicklungsstopp im Unterkiefer verringert sich dieser Abstand während des Behandlungsverlaufs. Aus diesem Grunde wird ein Nachstellen und Aktivieren der Lippenpelotten notwendig. Die hierfür erforderliche Verfahrensweise geht aus Abbildung 40 hervor. Mit einem kleinen Rosenbohrer wird das hakenförmige Ende des Drahts GP von der Innenseite des Seitenschilds her freigelegt. Danach kann der Draht GP aus dem Seitenschild unter vorsichtigem Hin- und Herdrehen herausgezogen werden. Am besten bedient man sich dazu einer Flachzange mit abgerundeten Kanten, die den Draht GP zwischen Seitenschild und Lippenpelotte faßt. Das Herausziehen muß vorsichtig geschehen, um Ver-

letzungen des Drahts zu vermeiden. Auf diese Weise können die Lippenpelotten in einem von uns gewünschten Maße nach vorn verstellt werden. Die Bohrstelle wird nach dem Vorstellen mit schnellhärtendem Kunststoff geschlossen, um ein Zurückgleiten des Drahts GP zu verhindern.
Diese Verstellmöglichkeit des FR III ist nur dann gegeben, wenn der Draht GP innerhalb des Bukkalschilds keine größere Krümmung aufweist, worauf bei der technischen Herstellung hingewiesen wird (s. Kap. 9.).
Durch das Nachstellen der Oberlippenpelotten ist die Möglichkeit gegeben, die gestörte Physiologie des Raums und die abwegigen Funktionsmuster der Muskulatur allmählich zu beheben. Auf diese Weise wird der Patient nicht überfordert, und es kommt schneller zu dem gewünschten Trainingseffekt. Aus gleichem Grunde sollte man auch anfänglich die seitliche Bißsperre nicht zu hoch nehmen.
Ihr Ausmaß sollte so bemessen sein, daß die oberen über die unteren Schneidezähne überführt werden können. Jedes „Zuviel" erschwert den Lippenschluß und muß deshalb vermieden werden. Nach Überstellung der oberen Frontzähne muß der okklusale Auflagedraht auf dem oberen Molaren, sofern er zur Bißsperre notwendig war, entfernt werden.
Auf diese Weise kann sich der Biß setzen. Die Drahtauflage auf den unteren letzten Molaren muß aber immer belassen werden, um ein Heben des Bisses zu vermeiden. Dies gilt besonders für die Progeniefälle, bei denen ein Rotationsmuster im Sinne der Kieferöffnung vorliegt. Diese Dysgnathieform ist besonders schwierig zu behandeln und neigt zum Rezidiv. In der Retentionsphase, in der das Gerät noch für längere Zeit nachts getragen werden sollte, muß daran gedacht werden, daß der Durchbruch der zweiten Molaren einen bißöffnenden Effekt hat. In schwierigen Fällen muß die Apparatur durch eine Okklusalauflage auf den zweiten Molaren ergänzt bzw. ein neues Gerät angefertigt werden.
Bei schwierigen Progeniefällen, bei denen die Familienanamnese eine genetische Veranlagung wahrscheinlich macht, muß die Behandlung frühzeitig eingeleitet werden. Sehr häufig ist der Zahnwechsel in diesen Fällen retardiert. Die bleibenden Frontzähne sind noch nicht durchgebrochen. Dies bietet die Möglichkeit, die Eruptionsdynamik dieser Zähne für eine Nachentwicklung der Alveolarbasis zu nutzen. Auf diese Weise läßt sich der Entwicklungsvorsprung des Unterkiefers einholen, während wir gleichzeitig die Entwicklung des Unterkiefers verlangsamen können.
Unsere Behandlungsergebnisse wie aber auch die tierexperimentelle Forschung von PETROVIC und STUTZMANN und GRABER zeigen, daß mit Hilfe der abstehenden Mundvorhofplatten signifikante Nachentwicklungen im Oberkieferbereich erzielt werden können. Unsere fernröntgenologischen Untersuchungen lassen den Schluß zu, daß der FR III sich gleichzeitig auch restriktiv auf die mandibuläre Entwicklung auswirkt. Hierfür spricht die Verkleinerung des Gonionwinkels, die wir nach der Behandlung regelmäßig beobachten.

# 9. Allgemeine Hinweise zur technischen Herstellung der Funktionsregler

## 9.1. Abdrucknahme und Herstellung der Arbeitsmodelle

Da die Effektivität der Funktionsregler vor allem auf der spezifischen Wirkung ihrer vestibulären Plattenelemente beruht, muß der Abdruck so genommen werden, daß die Außenflächen des Alveolarfortsatzes bis zur Umschlagfalte gut abgeformt werden. Hierfür haben sich die üblichen anatomischen Abdrucklöffel und die Verwendung von elastischer Abdruckmasse als brauchbar erwiesen. Dringend muß davor gewarnt werden, die seitlichen Löffelränder mit plastischer Abdruckmasse zu verlängern oder die sogenannten orthodontischen Abdrucklöffel zu verwenden. Dadurch werden die Weichteile von Lippen und Wangen in der Umschlagfalte vom Alveolarfortsatz abgezogen, und es kommt zu einer Verfälschung der morphologischen Situation im Bereich der Alveolarbasis. Unsere langjährigen Erfahrungen haben gezeigt, daß der Funktionsregler, der auf solchen Arbeitsmodellen hergestellt wurde, nicht bzw. nur in geringem Maße den Effekt der basalen Nachentwicklung erbringt.
Bei geschicktem Vorgehen lassen sich die Abdrücke mit elastischer Abdruckmasse zweimal ausgießen. Wir können auf diese Weise Arbeits- und Studienmodelle von einem einzigen Abdruck gewinnen. Wir gießen den Abdruck zunächst mit Hartgips zur Herstellung des Arbeitsmodells aus. Der zweite Ausguß erfolgt mit weißem Alabastergips zur Gewinnung des Studienmodells.

## 9.2. Bißnahme und Einstellung der Arbeitsmodelle in den Fixator

Eine Bißnahme macht sich in allen Fällen notwendig, in denen eine Veränderung der Unterkieferlage angestrebt wird.
Die Festlegung des Konstruktionsbisses muß den Erfordernissen des Einzelfalls entsprechen. In Neutralbißfällen mit Tiefbiß stellen wir ihn auf Schneidekantenbiß ein. Bei normalem Überbiß bzw. Neigung zum offenen Biß erübrigt sich eine Bißnahme. Wie weit man den Unterkiefer beim Vorliegen eines Distalbisses in Vorlage einstellt, ergibt sich durch die Funktionsprüfung.
Hierfür hat sich die klinische Untersuchung mit Hilfe der Profilanalyse bestens bewährt. Sie gibt uns zuverlässig Auskunft, wie weit der Patient den

a b

Abb. 41 a und b
Profilanalyse eines Distalbisses vor (a) und nach (b) Verschieben des Unterkiefers in den Regelbiß

Unterkiefer nach vorn verschieben kann, ohne daß die Muskulatur überfordert wird.
Diese Funktionsprüfung soll bei natürlicher Kopfhaltung durchgeführt werden. Das Kind darf nicht der Rücklehne des Behandlungsstuhls anliegen. Der Patient wird aufgefordert, den Unterkiefer langsam in den Neutralbiß vorzuschieben und die Lippen zu schließen. Ein solches Vorgehen gibt uns Auskunft, ob eine Frontalentwicklung des Unterkiefers erwünscht ist und Aussicht auf Erfolg hat.
Die Abbildungen 41 a und b zeigen einen Distalbißfall der Angle Klasse II vor und nach Verschiebung des Unterkiefers in die Neutralbißlage. Es besteht kein Zweifel, daß in diesem Falle die intermaxilläre Fehlbeziehung auf einer Rücklage des Unterkiefers beruht. Therapeutisch wäre eine Vorverlagerung und Frontalentwicklung des Unterkiefers die richtige Lösung. Eine Extraktion ist kontraindiziert und würde zu einer Verschlechterung des Profils führen.
Die Abbildungen 42 a, b, c geben die Profilanalyse einer Patientin wieder, bei der eine Vorverlagerung des Unterkiefers kontraindiziert ist. Die Abbildung 42 c zeigt deutlich, daß dadurch eine starke Konvexität und Verlängerung des unteren Gesichtsdrittels eintreten würde. Der Lippenschluß würde sehr erschwert bzw. unmöglich gemacht.
Die intermaxillären Fehlbeziehungen beruhen in diesem Falle auf einer abwegigen Rostralentwicklung im Oberkiefer, und zwar zumeist im dentoalveolären Bereich. Sehr häufig ist diese Fehlentwicklung mit einer starken Vorkippung des Frontsegments verbunden.
Um in diesen Fällen zu einer richtigen Profilanalyse zu kommen, müssen wir rekonstruieren. Zu diesem Zweck ziehen wir die Oberlippe nach der linken Seite etwas weg. Wir gleichen damit die vorstehende Frontpartie durch eine

a b c

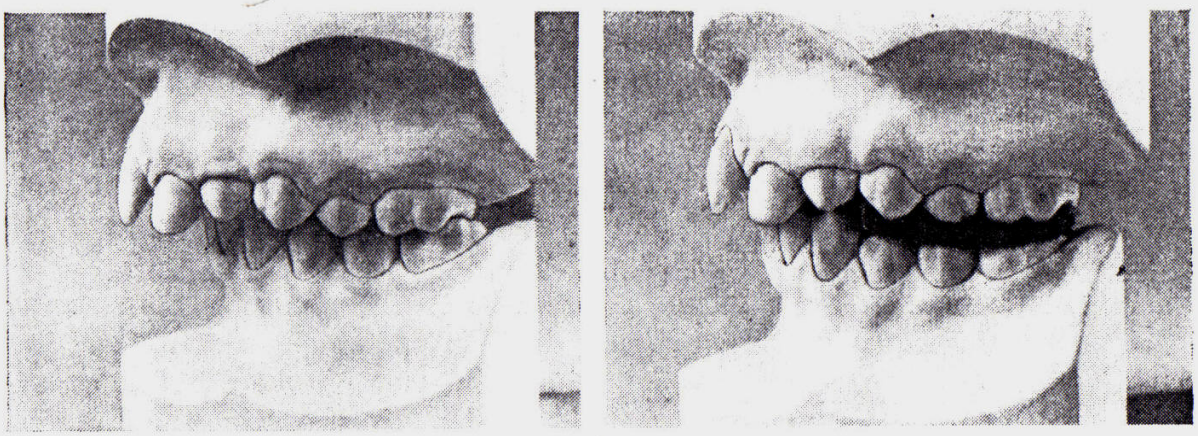
Abb. 42a bis c
Profilanalyse eines Distalbisses vor (a) und nach Lippenschluß (b) und bei im Regelbiß vorgeschobenem Unterkiefer (c)

Verdünnung der Lippen aus. Hierdurch verändern wir das Profil, als wären die oberen Frontzähne bereits retrudiert. In der Abbildung 42b ist durch die eingezeichnete Linie etwa die Situation wiedergegeben, die sich dann bei der Profilanalyse von der rechten Seite ergibt. Hieraus läßt sich schließen, daß die intermaxilläre Fehlbeziehung auf einer übermäßigen Vorentwicklung im oberen dentoalveolären Bereich beruht. In diesen Fällen macht sich die Extraktion der oberen ersten Prämolaren erforderlich. Die anschließende Funktionsreglerbehandlung bietet gute Möglichkeiten für Lückenschluß und Bißhebung. Um die Insuffizienz des Lippenschlusses zu beheben, ist außerdem noch eine Lippenschließgymnastik durchzuführen.
In den Abbildungen 43a, b, c soll die Notwendigkeit der Profilanalyse an einem weiteren Beispiel aufgezeigt werden. Bei diesem Distalbißfall besteht eine Neigung zum offenen Biß. Die Abbildung 43c läßt die starke Verlängerung des unteren Gesichtsdrittels beim Vorschieben des Unterkiefers erkennen. Das Fernröntgenbild zeigt eine Vergrößerung des Kiefer-Basis- und Gonion-Winkels. Außerdem ist die Okklusalebene nach unten geneigt. Aus der Abbildung 43a und 43b geht hervor, daß das Kinn zurückliegt. Eine Vorverlagerung des Unterkiefers wäre deshalb wünschenswert. Bei vorgeschobenem Unterkiefer kommt es zu keiner Kinnprominenz (s. Abb. 43c). Denkt man sich die Verlängerung des unteren Gesichtsdrittels weg (s. eingezeichnete Korrekturlinie), könnte man von einer Normalisierung des Profils sprechen.
Unsere fernröntgenologischen Longitudinaluntersuchungen zeigen, daß in diesen Fällen im Rahmen einer Frühbehandlung, also bei Behandlungsbeginn in der ersten Wechselgebißphase, mit dem Funktionsregler sehr gute

Abb. 43 a bis c
Profilanalyse eines Distalbisses vor (a), nach Lippenschluß (b) und bei im Neutralbiß vorgeschobenem Unterkiefer (c)

Behandlungserfolge ohne Zahnextraktionen erzielt werden können. Voraussetzung hierfür ist die Überwindung der Haltungsschwäche in der orolabialen Zone. Wie bei der Behandlung des skelettalen offenen Bisses ist hierfür eine regelmäßig durchgeführte Lippenschließgymnastik erforderlich. Von etwa 11 Jahren ab ist eine konservative Behandlung mit dem Funktionsregler wenig aussichtsreich. Bei starker Protrusion der oberen Schneidezähne und Mesialwanderung der Backenzähne ist die Extraktion der oberen ersten Prämolaren angezeigt. Zum Ausgleich empfehlen wir die Extraktion der unteren zweiten Prämolaren. In den meisten Fällen läßt sich mit Hilfe des Funktionsreglers ein guter spontaner Lückenschluß erreichen. Sind die Sechsjahrmolaren von Karies stark befallen bzw. weisen größere Füllungen auf, so sollten diese Zähne extrahiert werden. Hierdurch kann gleichzeitig eine Senkung des Gebisses erreicht werden. Außerdem wird dadurch die Lippenschließgymnastik erleichtert. In Fällen, bei denen eine starke Vorverlagerung der oberen Alveolarbasis vorliegt, ist die Verwendung festsitzender Apparaturen in Verbindung mit der Nackenbandtechnik (Headgear) indiziert.

Bei Fällen der Angle Klasse II/1 kann der Unterkiefer in Schneidekantenbiß vorgestellt werden, sofern der Distalbiß nicht mehr als eine halbe Prämolarenbreite und die Schneidezahnstufe nicht mehr als 4 mm betragen. Ist der Distalbiß stärker ausgeprägt, sehen wir von einer sofortigen Einstellung in den Neutral- bzw. Kantenbiß ab. Das gilt besonders für die Fälle, bei denen ein ausgeprägter Tiefbiß vorliegt. Bei der Bißnahme lassen wir den Patienten nur um eine halbe Prämolarenbreite vorbeißen, stellen den Konstruktionsbiß aber sofort auf Bißhebung ein. Nach Eingipsen der Modelle in einem Fixator ergibt sich dann eine entsprechende Bißsperrung im Seiten-



a b

Abb. 44a und b
Arbeitsmodelle eines Falles des Angle Klasse II/1 mit starkem Distal- und Tiefbiß vor (a) und nach der Bißnahme in Höckerstellung im Seitenzahngebiet (b)

zahngebiet. Auf diese Weise kann es zu der für die Bißhebung notwendigen Verlängerung dieser Zähne kommen. Aus Abbildung 44 läßt sich ablesen, daß nach weiterer Vorführung des Unterkiefers ein normaler Schneidezahnüberbiß erreicht wird.

Bei Fällen der Angle Klasse II/2 und des Deckbisses machen die oberen Schneidezähne, wenn sie stark retrudiert sind, eine Vorschubstellung des Unterkiefers nur in beschränktem Maße möglich. Aus diesem Grunde muß zunächst eine Streckung des oberen Zahnbogens vorgenommen werden. Dies kann mit einer aktiven Oberkieferplatte, die mit Protrusionsdrähten versehen ist, durchgeführt werden. Sehr vorteilhaft ist die Verwendung einer festsitzenden Apparatur in Verbindung mit dem Headgear. Mit dieser Apparatur läßt sich neben der Protrusion der oberen Schneidezähne auch der meist vorhandene sagittale Engstand im Seitenzahngebiet beheben. Hierdurch werden das Eingliedern und die Adaptation des Funktionsreglers erleichtert.

Bei den Progeniefällen muß der Konstruktionsbiß auf Bißsperrung im Seitenzahngebiet eingestellt werden. Die seitliche Bißsperre darf jedoch nur so hoch sein, daß sich die oberen Frontzähne aus dem umgekehrten Schneidezahnüberbiß überführen lassen. Dabei soll der Patient gleichzeitig so weit wie möglich mit dem Unterkiefer zurückbeißen.

Bei Schwenkungen des Unterkiefers muß der Konstruktionsbiß bei Angle Klasse I und II so genommen werden, daß die Unterkiefermitte in gegensinniger Richtung etwas überkompensiert eingestellt wird. So wird man bei einer Unterkieferschwenkung nach links die Unterkiefermitte im Verhältnis zur Oberkiefermitte 1 mm weiter nach rechts einstellen.

## 9.3. Radierung der Arbeitsmodelle

Bei der Verwendung anatomischer Abdrucklöffel kommt es zwangsläufig beim Abdruck zum Abziehen der Wangen- und Lippenweichteile von den Außenflächen des Alveolarfortsatzes. Die Umschlagfalte kommt daher nicht

in ihrer vollen Tiefe, sondern abgeflacht zur Darstellung. Aus diesem Grunde müssen die Modelle sorgfältig im Bereich der Umschlagfalte radiert werden. Bei den Fällen der Angle Klasse I und II ist das vor allem im Bereich der ersten oberen Prämolaren, am Tuber maxillare und in der unteren frontalen Umschlagfalte erforderlich. Bei den Progeniefällen ergibt sich die Notwendigkeit des Radierens nur im Bereich der oberen Umschlagfalte, besonders im Frontbereich.
Bei allen Fällen der Angle Klasse I und II, bei denen die Arbeitsmodelle in einer veränderten Unterkieferlage in den Fixator eingestellt werden, bedarf es außerdem noch einer interdentalen Radierung im oberen Seitenzahngebiet. Diese muß tief genug erfolgen, damit sich Eckzahnschlaufe und Palatinalbügel tief genug einlagern können. Nur dann ist das Gerät intermaxillär gut abgestützt und gewährleistet die gewünschte Lageveränderung des Unterkiefers. Auf Einzelheiten wird bei der Besprechung der technischen Herstellung der Funktionsregler eingegangen.
Grundsätzlich sollte das Radieren der Arbeitsmodelle vom Kieferorthopäden selbst in Anwesenheit des Patienten durchgeführt werden. Durch Palpation läßt sich die Tiefe der Umschlagfalte und die Anatomie des Alveolarfortsatzes exakt feststellen und das Arbeitsmodell entsprechend präparieren. Diese Arbeit ist mit größter Sorgfalt durchzuführen, damit die vestibulären Schilder die für eine apikale Nachentwicklung notwendige Zugspannung in der Umschlagfalte bewirken können. Schon geringe Fehler beim Radieren machen das Gerät unbrauchbar bzw. unwirksam.

## 9.4. Das Wachsfutter

Zur Behebung der dentoalveolären Entwicklungshemmung sind die Mundvorhofschilder auf Druckelimination und Zugapplikation eingestellt. Zu diesem Zweck müssen sie von den Außenflächen des Alveolarfortsatzes entsprechend abstehen. Vor Anfertigung der Drähte und Kunststoffschilder macht sich daher ein Wachsfutter erforderlich. Überall dort, wo wir eine Nachentwicklung des dentoalveolären Bogens anstreben, wird an den Außenflächen des Gipsmodells rosa Modellierwachs aufgetragen. Hierbei muß individuell vorgegangen werden. Das Wachsfutter darf nur so dick aufgetragen werden, wie wir eine Nachentwicklung im dentoalveolären Bereich wünschen. Die Arbeitsmodelle werden also mit Wachs bis zu einer normgemäßen Form ergänzt. Es ist unbedingt zu vermeiden, daß das Wachsfutter übermäßig dick gestaltet wird. Nach Fertigstellung stehen die Schilder dann zu weit vom dentoalveolären Fortsatz ab. Das Eintragen des Geräts wird dadurch sehr schwierig. Es kommt zu Adaptationsschwierigkeiten, und das Kind verweigert die Mitarbeit.
Aus diesem Grunde muß die Dicke der Wachsschicht mit einer Sonde exakt überprüft werden. Hierfür hat sich eine Sonde, in die mit einer Diamantscheibe eine Millimeterskala einradiert wurde, sehr bewährt. Als Faustregel gilt: Die Dicke des Wachsfutters darf im Bereich der Zähne 3 mm, in der Umschlagfalte 2,5 mm nicht übersteigen (Abb. 45).

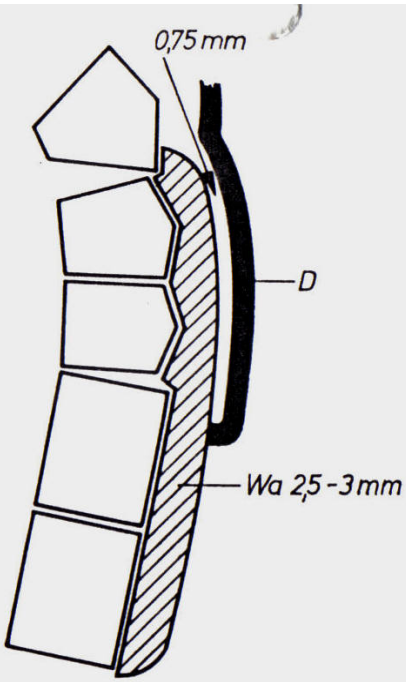



Abb. 45
Richtwerte für die Dicke des Wachsfutters (Wa) und des Abstands der Drähte (D) von der Oberfläche des Wachsfutters

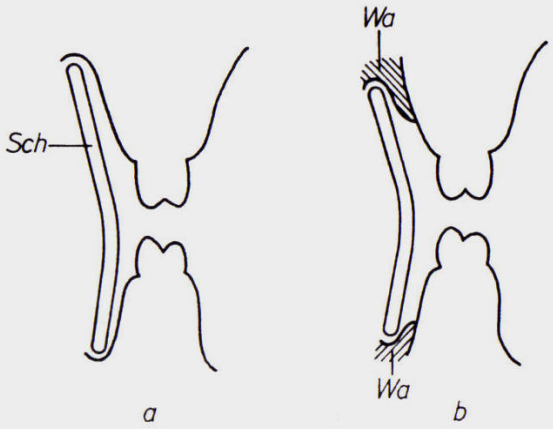



Abb. 46a und b
Korrekte Ausdehnung des Seitenschilds (Sch) bis zum Fundus des Mundvorhofs (a). Bei zu kurzem Seitenschild (b) ungünstige Einlagerung der Wangenweichteile zwischen Schild und Außenfläche des Alveolarfortsatzes

Nach Fertigstellung des Funktionsreglers stehen dann die Schilder im richtigen Abstand von den Außenflächen des dentoalveolären Fortsatzes ab. Hierdurch werden Weitungen des Zahnbogens von 6 mm, der Alveolarbasis von 5 mm ermöglicht.
In den meisten Fällen ist ein derartiger Dehneffekt ausreichend, anderenfalls muß ein neues Gerät hergestellt werden.
Es ist darauf zu achten, daß das Wachsfutter bis in die radierten Umschlagfalten ausgedehnt wird. Dies ist unbedingt erforderlich, damit es zu der von uns gewünschten Zugspannung in der Umschlagfalte kommt. Nur so können wir eine Nachentwicklung der Alveolarbasis erwarten. Sind die Schilder zu kurz, kann es leicht zur Einlagerung bzw. zum Einsaugen der Wangen- und Lippenweichteile zwischen Schild und Alveolarfortsatz kommen (Abb. 46). Wir erreichen dann genau das Gegenteil, d. h., eine Nachentwicklung des dentoalveolären Bogens wird durch die eingelagerten Weichteile unmöglich gemacht. Vor dem Biegen der Drähte wird das Wachsfutter im seitlichen Mundvorhof in Höhe der Kauebene getrennt. Dies ist erforderlich, um die weitere technische Herstellung am Oberkiefer und Unterkiefer getrennt vornehmen zu können.

## 9.5. Herstellung der Drahtelemente

Die Drähte des Funktionsreglers werden in der Regel aus hartem bzw. federhartem Stahldraht hergestellt. Zur Verwendung kommen Drahtstärken von 0,5–1,1 mm. Versteifungs-, Verbindungs-, Abstützungs- und Führungsdrähte werden aus stärkerem Draht hergestellt (0,9–1,1 mm). Soll das Drahtelement mehr „federaktiv" wirken, so benutzen wir dünnere Drahtstärken. Zum Biegen der Drähte sollten nur Zangen mit abgerundeten Kanten zur Anwendung kommen. Wir können auf diese Weise Beschädigungen des Drahts und spätere Reparaturen vermeiden. Spezialzangen sind nicht erforderlich. In Zukunft ist vorgesehen, einen Teil der Drahtelemente fabrikmäßig vorfertigen zu lassen.
Wünschen wir eine orthodontische Wirkung, müssen die Drähte den Zähnen anliegen. Verbindungs- und Versteifungsdrähte müssen von der Schleimhaut abstehen, um keine Dekubitalerscheinungen hervorzurufen. Im Vestibulum soll der Abstand des Drahts von den Außenflächen des Alveolarfortsatzes etwa 1,5 mm betragen. Außerdem sollen diese freiliegenden Drähte in den natürlichen Mulden der Alveolaraußenfläche liegen. Dies ist besonders wichtig in der Gegend des Mundwinkels, wo Lippen- und Wangenweichteile stark hin- und herbewegt werden. Der Patient empfindet es als unangenehm, wenn die Verbindungsdrähte zwischen Lippen- und Wangenschilder von der Schleimhaut stärker abstehen. Von dem Gaumen bzw. den Lingualflächen des unteren Alveolarfortsatzes soll der Drahtabstand von der Schleimhaut 0,75 mm nicht übersteigen.
Große Sorgfalt benötigt auch das Biegen der Drahtteile, die später innerhalb der Kunststoffschilder liegen. Sie dürfen vom Wachsfutter nicht mehr als 0,75 mm abstehen. Berühren diese Drahtteile das Wachsfutter, so werden sie vom Kunststoffteig nicht umflossen. Eine Retention der Drahtelemente im Kunststoff ist dann nicht gewährleistet. Beträgt der Abstand dieser Drähte aber mehr als 0,75 mm, werden die Schilder zu dick, was vom Patienten als starke Belästigung empfunden würde. Als Grundregel gelten die in Abbildung 45 angegebenen Werte.
Vor dem Auftragen des Kunststoffs müssen die Drähte am Arbeitsmodell gut fixiert werden. Außerhalb des Wachsfutters geschieht das zweckmäßig mit Klebewachs. Die Drahtenden, die später innerhalb der Kunststoffschilder liegen, müssen rechtwinklig zum Wachsfutter hin gebogen werden. Nach entsprechender Kürzung werden sie in das Wachsfutter eingeschmolzen.

## 9.6. Herstellung der Kunststoffschilder

Die vestibulären Plattenteile werden im Direktverfahren aus selbsthärtendem transparentem Kunststoff hergestellt. Vor dem Auftragen des Kunststoffes sollen die Drahtabstände von Modell und Wachsfutter und ihre genügende Fixierung am Arbeitsmodell nochmals überprüft werden. Danach wird das

seitliche Wachsfutter des Oberkiefers mit dem des Unterkiefers verschmolzen, damit sich der Kunststoff beim Auftragen nicht durchpreßt.

Der Kunststoffteig darf nicht zu fest angerührt werden. Bei richtigem Vorgehen lassen sich alle Plattenelemente des Funktionsreglers in einem Arbeitsgang herstellen. Mit einiger Übung gelingt es, den Kunststoffteig mit angefeuchtetem Finger gleichmäßig zu verteilen und die Form und Dicke der Schilder ungefähr zu formen. Die Polymerisation wird im Überdruckkessel bis 343 kPa (2,5 atü) durchgeführt. Nach etwa 30 min ist sie beendet. Bei der Ausarbeitung werden die Außenflächen und die Ränder zunächst mit groben Steinen und Fräsen bearbeitet. Hierbei ist darauf zu achten, daß die Drahtteile nicht angeschliffen werden. Nur die hervorstehenden Drahtenden, die zur Fixation der Drahtelemente in das Wachsfutter eingeschmolzen wurden, müssen auf der Innenseite der Seitenschilder weggeschliffen werden. Die Ränder der Mundvorhofschilder, die in der Umschlagfalte liegen, dürfen keinesfalls scharf auslaufen. Sie müssen gut abgerundet werden. Das gilt besonders für die unteren Lippenpelotten. Zum Abschluß werden die Plattenelemente auf Hochglanz poliert, wobei ihren Rändern besondere Beachtung zu schenken ist.

# 10. Hinweise für die technische Herstellung der verschiedenen Funktionsregler-Typen

Die im vorhergehenden Kapitel gegebenen Hinweise gelten für die Herstellung aller Funktionsreglertypen. Im folgenden soll nur auf Besonderheiten eingegangen werden, die bei der Herstellung der einzelnen Gerätetypen zu beachten sind. Die unter 9.1.–9.6. angegebenen technischen Anweisungen werden daher nur ergänzt. Dabei soll der Zahntechniker immer wieder an die spezifische Wirkungsweise der Funktionsreglertypen denken. Er muß sich im klaren sein, welche spezifischen Aufgaben die einzelnen Platten und Drahtelemente bei der Behandlung der verschiedenen Dysgnathien zu lösen haben. Dies setzt voraus, daß sich der Zahntechniker zuvor mit den theoretischen Grundlagen dieser Behandlungsmethode vertraut gemacht hat.

## 10.1. Der Funktionsregler-Typ FR I
(s. Abb. 6–9)

### Indikation

- bei transversalem und sagittalem Engstand der Angle Klasse I und II, wenn gleichzeitig eine Entwicklungshemmung der apikalen Basis vorliegt;
- bei Fällen der Angle Klasse II/1, sofern kein Tiefbiß vorliegt und die oberen Schneidezähne nicht zu stark protrudiert sind.

Bei Fällen der Angle Klasse II/2 ist seine Verwendung kontraindiziert.

### Radierung der Arbeitsmodelle

Die Abbildung 47 zeigt eine korrekte Radierung der Arbeitsmodelle. Dies muß besonders sorgfältig in der Region der ersten oberen Prämolaren und des Tuber maxillare durchgeführt werden. Die untere seitliche Umschlagfalte kommt im Abdruck in der Regel korrekt und in voller Tiefe zur Darstellung. In diesem Bereich sind daher Radierungen nicht erforderlich.
Besondere Sorgfalt erfordert das Radieren in der unteren frontalen Umschlagfalte. Durch das Ab- und Hochziehen der Unterlippe über den Löffelrand kommt es während des Abdrucks regelmäßig zu einer erheblichen Abflachung der Umschlagfalte. Die anatomischen Verhältnisse sind daher verfälscht wiedergegeben (s. gestrichelte Linie in Abbildung 48a). Würde in dieser Region nicht radiert, so stünden die unteren Ränder der Lippenpelotten

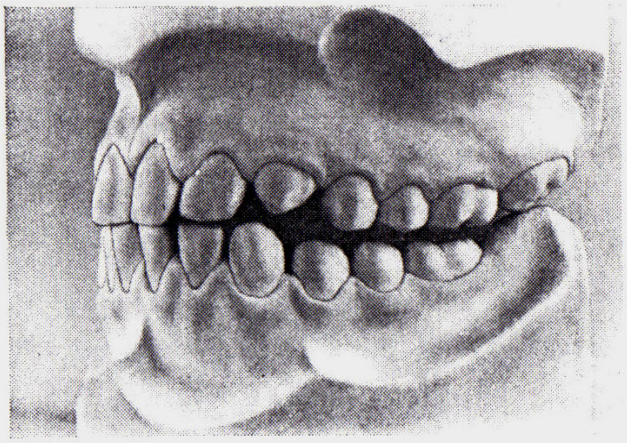


Abb. 47
Arbeitsmodelle in Konstruktionsbißstellung nach Radierung in der Umschlagfalte

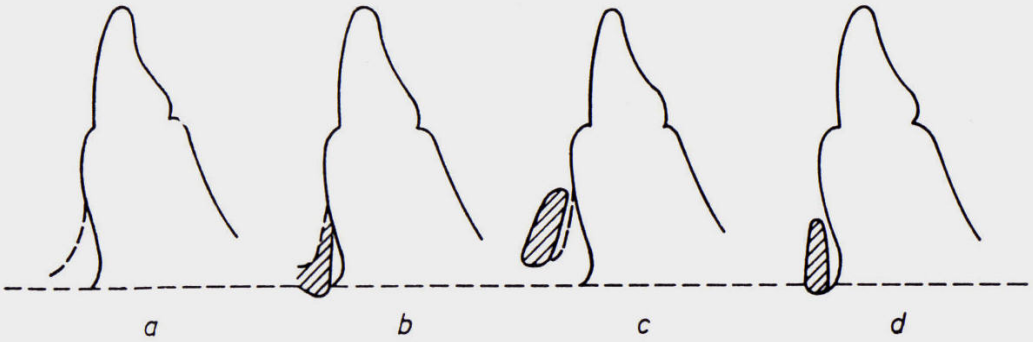
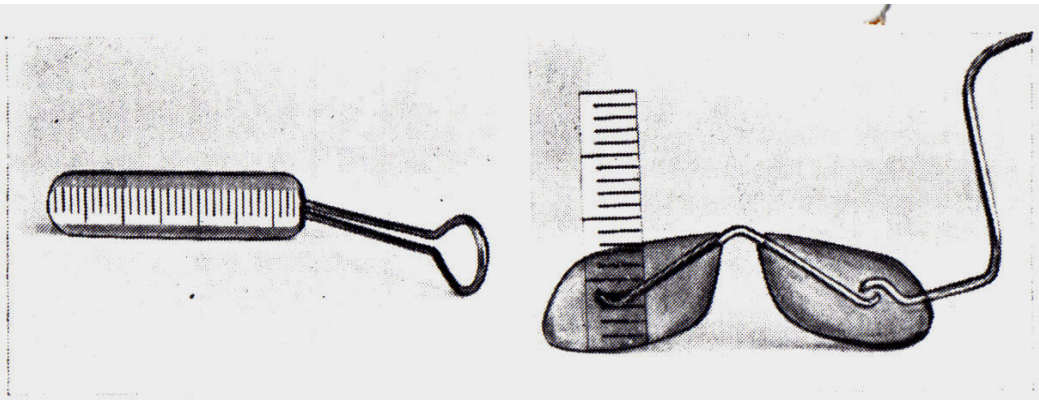


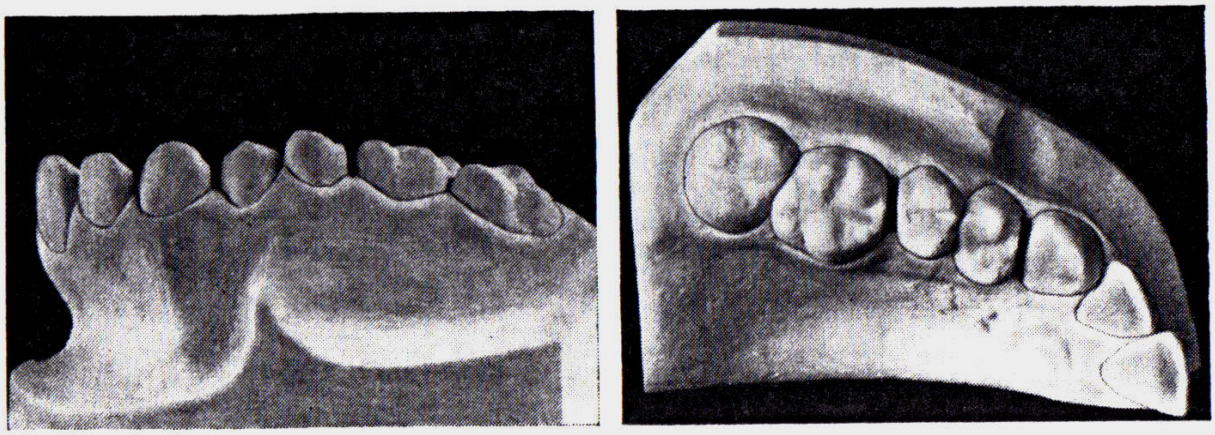

Abb. 48a bis d
Schematische Darstellung der Radierung des unteren Arbeitsmodells in der Region der Umschlagfalte. Ohne Radierung (a) kommt es zu einer falschen Lage der Unterlippenpelotte (c). Bei richtiger Radierung (b) liegt die Lippenpelotte des FR I korrekt in senkrechter Stellung im Fundus des Vestibulums

später von der Frontalfläche des unteren Alveolarfortsatzes ab (Abb. 48c). Druckstellen an den Innenflächen der Unterlippe sind dann nicht zu vermeiden. In Abbildung 48b gibt das gestrichelte Feld das Maß der notwendigen Radierung wieder.
Um Fehler zu vermeiden, benutzen wir das in den Abbildungen 49a und b wiedergegebene Meßgerät. Damit läßt sich die Tiefe der frontalen Vestibularfalte exakt ausloten. Dieses Gerät gibt uns Auskunft, wie tief wir mit der Fräse bzw. dem Gipsmesser senkrecht nach unten zu radieren haben. Im übrigen ist es immer besser, etwas zu viel als zu wenig zu radieren. Ein Zuviel läßt sich leicht beim Einsetzen des Geräts durch entsprechendes Wegschleifen von der Unterkante der Lippenpelotten korrigieren.
Von der Seite kontrolliert, muß sich nach der Radierung eine annähernd senkrechte Außenfläche des Alveolarfortsatzes ergeben. Hierdurch wird gewährleistet, daß die Lippenpelotten senkrecht und tief genug im Vestibulum liegen (s. Abb. 48d).
Es wurde bereits darauf hingewiesen, daß eine Vorverlagerung des Unterkiefers nur dann erreicht werden kann, wenn das Gerät am Oberkiefer gut abgestützt ist. Beim Aktivator geschieht das durch Führungsflächen. Beim Funktionsregler erfolgt die Abstützung durch die interdentale Einlagerung der Eckzahnschlaufe und des Palatinalbügels (s. Abb. 6–9). Zu diesem



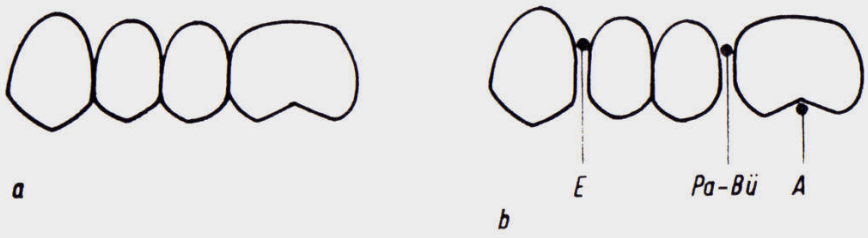
a b

Abb. 49a und b
Meßgerät zur Feststellung der Tiefe des Mundvorhofs



a b

Abb. 50a und b
Interdentale Radierung zwischen dem oberen Eckzahn und ersten bzw. zweiten Prämolaren und ersten Molaren. Dies ist für die intermaxilläre Abstützung des FR I erforderlich




a b

Abb. 51a und b
Schematische Darstellung der interdentalen Radierung des oberen Arbeitsmodells (vgl. 27a und b)

Zweck muß das Oberkiefermodell vor Biegen der Drähte zwischen oberen Eckzähnen und ersten Prämolaren bzw. zwischen zweiten Prämolaren und ersten Molaren radiert werden (Abb. 50a, b). Zwischen diesen Zähnen wird mit einer Säge eine etwa 1 mm breite Rille einradiert. In der Abbildung 51a und b ist der Zustand vor und nach dem Radieren in einer schematischen Darstellung wiedergegeben. Die Radierung muß tief genug erfolgen, damit Eckzahnschlaufe (E) und Palatinalbügel (Pa-Bü) eine exakte intermaxilläre Abstützung gewährleisten. Vor dem späteren Eingliedern des Geräts bedarf

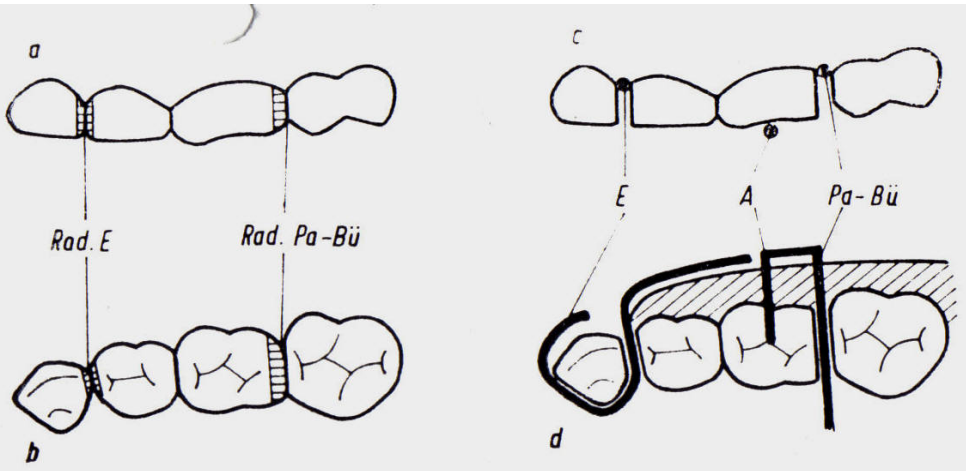



Abb. 52
Schematische Darstellung der interdentalen Radierung des Oberkiefermodells bei der Behandlung im Wechselgebiß (a und b). Interdentale Einlagerung von Eckzahnschlaufe und Palatinalbügel mit Auflage auf den zweiten Milchmolaren (c und d)

es keiner Separation im oberen Seitenzahnbereich. Eckzahnschlaufe und Palatinalbügel lagern sich interdental innerhalb weniger Tage spontan ein, sofern es sich um bleibende Zähne handelt.
Bei der Behandlung im Wechselgebiß müssen wir anders verfahren. Vom Arbeitsmodell wird vom oberen Eckzahn und ersten Milchmolaren interdental gleichviel weggenommen (Abb. 52a, b). Im posterioren Abschnitt wird nur von der Distalfläche des zweiten Milchmolaren wegradiert, nicht aber vom Sechsjahrmolaren. Infolge der flachen Kauflächengestaltung der Milchmolaren können wir eine spontane interdentale Einlagerung der Drähte nicht erwarten. Vor dem Einsetzen des Geräts muß daher mit Diamantscheiben von den Milchzähnen interdental so viel weggeschliffen werden, wie am Arbeitsmodell radiert wurde (Abb. 52c u. d). Nur dann können sich Eckzahnschlaufe und Palatinalbügel tief genug einlagern und eine intermaxilläre Abstützung im Wechselgebiß gewährleisten.

## Das Wachsfutter

Die Abbildung 53 zeigt die Modelle im Konstruktionsbiß und nach Aufbringen des Wachsfutters. Bei einem Fall der Angle Klasse II/1 mit Spitzfront ist eine Wachsauftragung vor allem im oberen Prämolarenbereich notwendig. In dieser Region ist in der Regel der transversale Engstand am meisten ausgeprägt. Das Frenulum buccale muß dabei ausgespart werden. Wichtig ist, daß das Wachsfutter mesialwärts bis etwa zur Wurzelspitze des oberen Eckzahns vorgezogen wird. Im Bereich der unteren Alveolarbasis braucht nur wenig Wachs aufgetragen zu werden. Das gilt besonders für den posterioren Abschnitt. In Abbildung 53 läßt sich erkennen, daß das Modell an dieser Stelle durch die dünne Wachsschicht durchscheint.
Die Dicke des Wachsfutters soll individuell gestaltet werden. Sie darf aber im Bereich des Alveolarfortsatzes 2,5 mm, im Bereich der Zähne 3 mm nicht übersteigen.
In den meisten Fällen ist ein derartiger Dehneffekt ausreichend. Bei den Fällen der Angle Klasse II/1, bei denen im Oberkiefer eine V-Form des

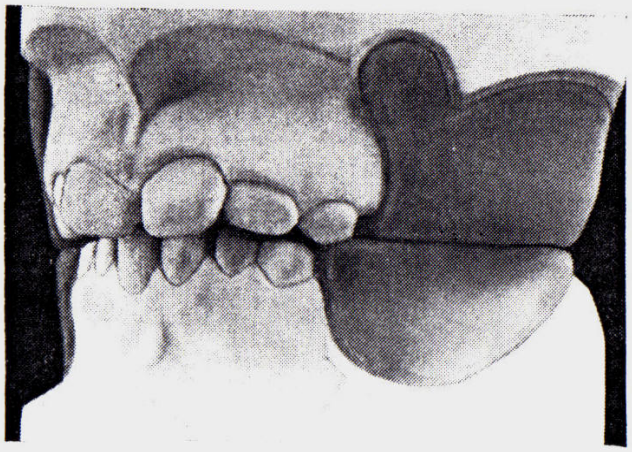


Abb. 53
Wachsfutter für die Herstellung des FR I

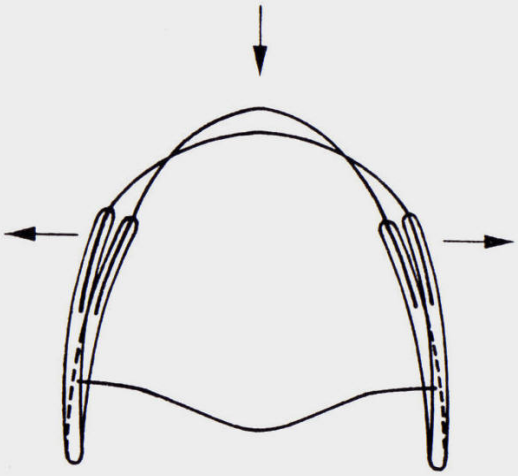
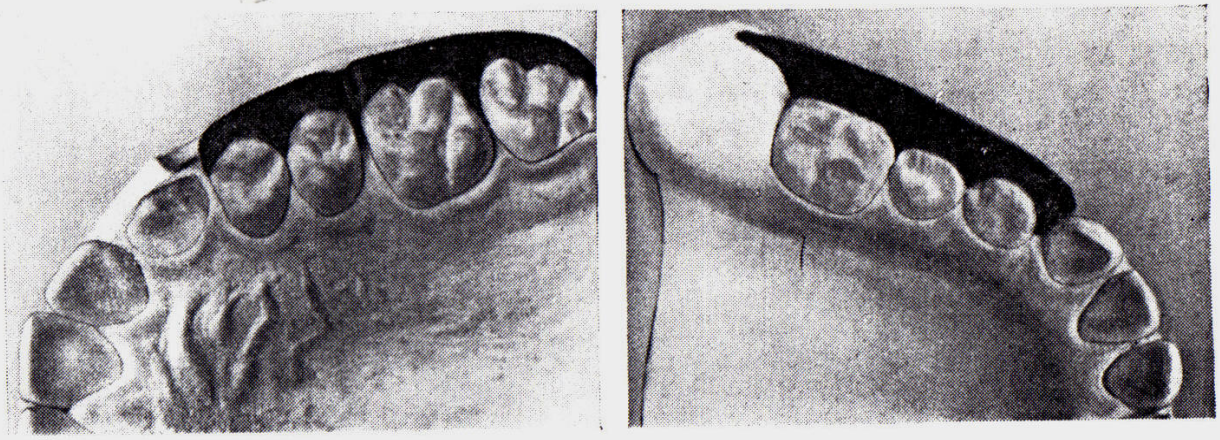


Abb. 54
Spontane Spreizung der Seitenschilder im Prämolarenbereich bei Aktivierung des Labialbogens zur Retrusion der oberen Schneidezähne

Zahnbogens mit protrudierter Spitzfront vorliegt, ist eine Nachstellmöglichkeit auf Weitung gegeben.
Dies ergibt sich spontan bei der Aktivierung des Labialbogens, wie aus Abbildung 54 hervorgeht. Wird der Labialbogen (La-Bo) zur Retrusion der oberen Schneidezähne durch Abflachung aktiviert bzw. nachgestellt, kommt es zu einer Spreizung der Seitenschilder im oberen anterioren Bereich. Auf diese Weise lassen sich größere Dehnwerte im oberen Eckzahn- und Prämolarenbereich erzielen.
Im frontalen Unterkieferbereich ist ein Wachsfutter nicht erforderlich. Abstehende Unterlippenpelotten würden zu einem Dekubitus an der Innenseite der Unterlippe führen.
Außerdem bestehen bei einer sagittalen Entwicklungshemmung im Unterkiefer keine Möglichkeiten, die apikale Basis im Frontsegment im Sinne der Nachentwicklung zu stimulieren. Dies läßt sich nur durch eine orthopädische Beeinflussung der Unterkiefer-Basalentwicklung erreichen. Nach Stimulation des kondylären Wachstums kommt es zu Umbauvorgängen im Ramus mandibulae. Dabei unterliegt sein vorderer Rand der Resorption, wodurch Platz für die Dorsalentwicklung des Alveolarfortsatzes geschaffen wird. Bei der Behandlung mit Funktionsreglern wird der sagittale Engstand durch Raumbeschaffung in dorsaler Richtung überwunden. Damit wird den Zähnen Raum für ihre Distalwanderung gegeben.
Nach genauer Überprüfung der Wachsdicke mit einer Zahnsonde wird das Wachsfutter in Höhe der Kauebene mit einem heißen Wachsmesser durch-



a b

Abb. 55a und b
Stärke des Wachsfutters bei Aufsicht auf das Oberkiefer- und Unterkiefermodell

trennt. Danach läßt sich das Oberkiefermodell vom Unterkiefermodell trennen. Vor der weiteren Bearbeitung wird das Wachsfutter in Modellaufsicht nochmals auf richtige Stärke überprüft (Abb. 55). Zwischen den zweiten Prämolaren und ersten Molaren des Oberkiefermodells wird dann eine Rille in das Wachsfutter gezogen, in der der Palatinalbügel zu liegen kommt.

## Biegen der Drähte am Oberkiefermodell

*Der Labialbogen:*
Drahtstärke: 0,9 mm

Die Biegung und Lage des Labialbogens ergibt sich aus den Abbildungen 56 und 69. Er liegt den Labialflächen der Frontzähne etwa in halber Höhe an. Zwischen seitlichem Schneidezahn und Eckzahn wird er rechtwinklig nach oben abgebogen und läuft in der natürlichen Mulde der Alveolenaußenfläche zwischen diesen beiden Zähnen nach oben. Etwa in Höhe der Wurzelmitte des Eckzahns wird er in einem sanften U-Bogen distalwärts abgebogen. Sein Ende wird dann in geringem Abstand vom Wachsfutter nach distal geführt und etwa auf 1,5 cm Länge gekürzt. Das freie Ende wird senkrecht

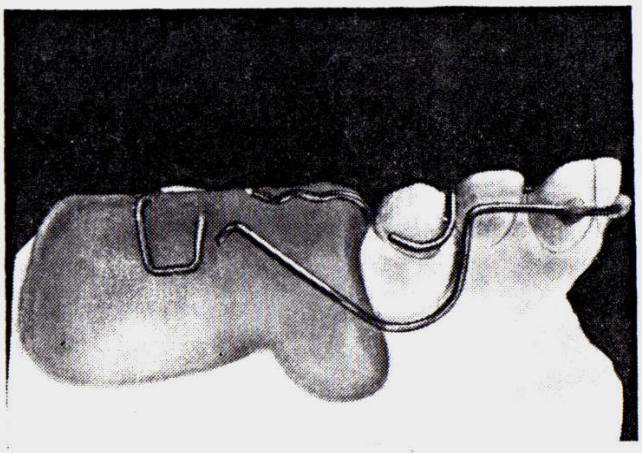
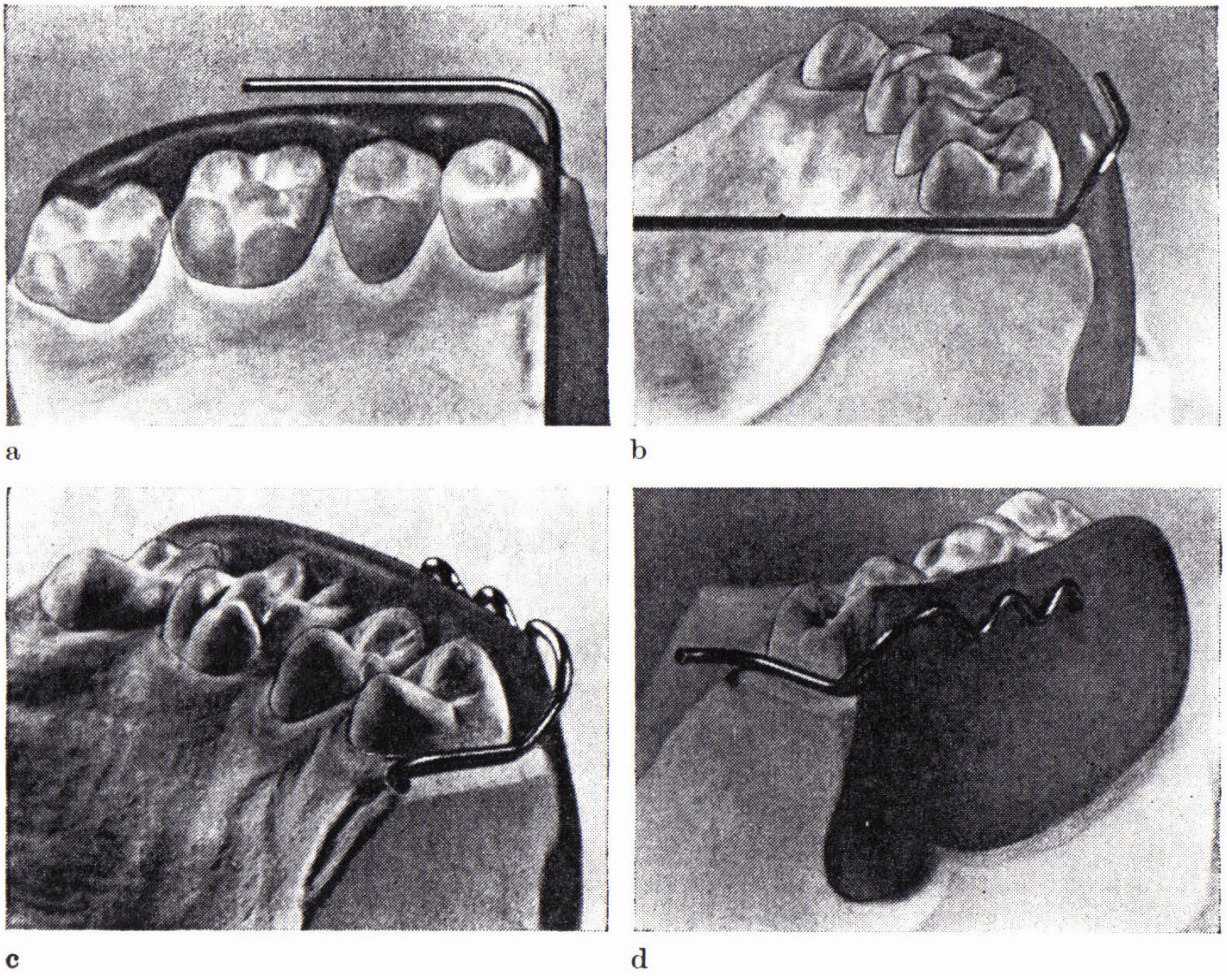


Abb. 56
Oberkiefer-Arbeitsmodell mit Labialbogen und Eckzahnschlaufe nach vorherigem Aufbringen des Wachsfutters



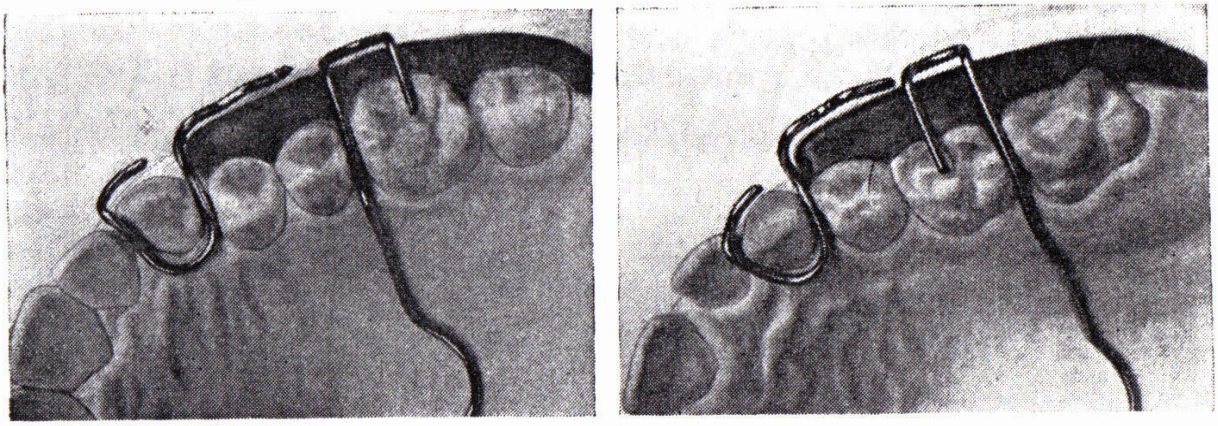
a b c d

Abb. 57a bis d
Biegen der Eckzahnschlaufe in Etappen

zur Wachsfläche umgebogen und dort im Wachsfutter eingeschmolzen. Zur weiteren Fixierung des Labialbogens wird der Draht im Bereich der Frontzähne mit Klebewachs am Modell befestigt. Es ist streng darauf zu achten, daß die Abstände von der Außenfläche des Alveolarfortsatzes und des Wachsfutters die schon früher angegebenen Werte nicht übersteigen.

*Die Eckzahnschlaufe:*
Drahtstärke: 0,9 mm

Biegung und Lage der Eckzahnschlaufe geht aus den Abbildungen 56–60 hervor. Die Eckzahnschlaufe hat zwei wichtige Funktionen zu erfüllen. Sie muß einmal den Funktionsregler an der Mesialfläche des oberen ersten Prämolaren abstützen, zum anderen ist sie Führungselement bei einer notwendigen Einordnung des oberen Eckzahns. Hieraus ergeben sich bindende Hinweise für das Biegen der Eckzahnschlaufe. Ihre abstützende Wirkung ist nur dann gewährleistet, wenn sie sich interdental tief genug einlagert. Nach Eintragen des Geräts muß sie der Zahnfleischpapille zwischen Eckzahn und erstem Prämolaren dicht anliegen. Hierdurch kann es im Verlauf der Behandlung zur Schädigung des interdentalen Periodonts kommen. Dieser Region muß daher bei den laufenden Kontrollen größere Beachtung geschenkt werden. Wir müssen in Betracht ziehen, daß durch die Vorverlage-



a b

Abb. 58a und b
Eckzahnschlaufe und Palatinalbügel mit seitlichem Wachsfutter bei der Behandlung im bleibenden Gebiß (a). Auflage des Palatinalbügels zwischen dem mesio- und disto-bukkalen Höcker der ersten Molaren im Wechselgebiß (b)

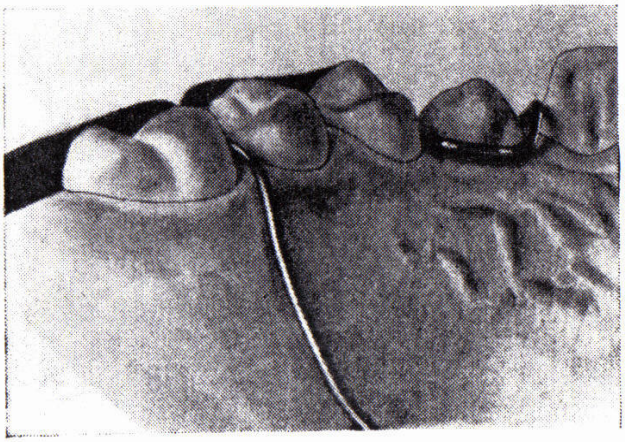


Abb. 59
Korrekte interdentale Einlagerungen des Palatinalbügels und der Eckzahnschlaufe

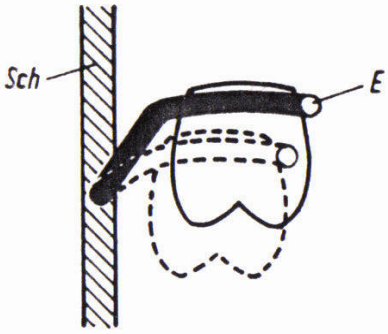



Abb. 60
Richtige Retention der Eckzahnschlaufe im Seitenschild und Anlagerung an die Mesialfläche des ersten oberen Prämolaren, wodurch ein Abbiegen nach unten während der Behandlung ermöglicht wird

rung des Unterkiefers in den Schneidekantenbiß der Biß im Seitenzahngebiet gesperrt wird. Auf diese Weise können sich diese Zähne verlängern, wodurch ein bestehender Tiefbiß behoben wird. Die Eckzahnschlaufe muß daher so konstruiert sein, daß sie dieser Vertikalwanderung des oberen Eckzahns und ersten Prämolaren folgen kann. Sie muß im Laufe der Behandlung nach unten abzubiegen sein (Abb. 60). Dies ist nur möglich, wenn die Retention der Eckzahnschlaufe im Seitenschild in Höhe der Kauebene verläuft.
In den Abbildungen 57a–d ist das Biegen der Eckzahnschlaufe in Etappen dargestellt. Es ist ersichtlich, daß die wellenförmige Retention etwa in Höhe

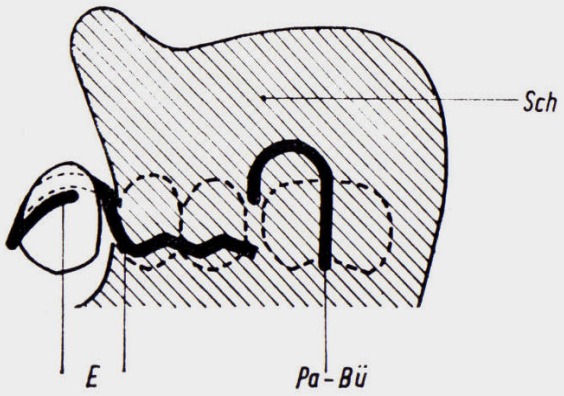



Abb. 61
Schematische Darstellung der Lage der Eckzahnschlaufe und der Auflage des Palatinalbügels im bleibenden Gebiß. (Beachte die exakte interdentale Einlagerung)

der Kauebene liegt. Von da ab wird sie steil nach oben zur mesiobukkalen Kante des ersten Prämolaren geführt. Der Draht wird dann der Mesialfläche des ersten Prämolaren in Höhe des Gingivalsaums genau angebogen. Im weiteren Verlauf wird sie um die Palatinalfläche des Eckzahns herumgeführt. Zwischen seitlichem Schneidezahn und Eckzahn verläuft sie dann labialwärts und wird parallel zur Außenfläche des Eckzahns umgebogen. Macht sich eine Erweiterung der oberen Eckzahndistanz notwendig, muß das frei auslaufende Ende der Eckzahnschlaufe von der Außenfläche des Eckzahns entsprechend abstehen. Auf der anderen Seite läßt sich durch „druckaktive" Wirkung des Drahtendes ein bestehender Außenstand des Eckzahns beheben. Der Draht muß zu diesem Zweck den Außenflächen des Eckzahns anliegen. In letzterem Falle muß die Eckzahnschlaufe von den Palatinalflächen des Eckzahns entsprechend abstehen. In Abbildung 61 ist die Lage der Eckzahnschlaufe noch einmal schematisch dargestellt. In dieser Skizze ist erkennbar, daß die Eckzahnschlaufe die Kauebene mesial vom Eckzahn überquert. Liegt diese Überführungsstelle des Drahts fälschlicherweise der mesialen Schulter des Eckzahns auf, kann dieser sich nicht verlängern, und eine Interkuspidation bleibt aus.

Bei Fällen der Angle Klasse II/1 mit protrudierter Spitzfront, bei denen sich eine Extraktion der oberen ersten Prämolaren erforderlich macht, muß die Eckzahnschlaufe modifiziert werden. Dies läßt sich je nach der Aufgabe, die zu lösen ist, variieren. In der Abbildung 62a liegt die Eckzahnschlaufe den Mesialflächen der oberen zweiten Prämolaren an. Auf diese Weise wird eine Mesialwanderung der Zähne hinter der Lücke vermieden. Durch allmähliche Aktivierung der Eckzahnschlaufe, die aus 0,9 mm Stahldraht hergestellt wird, wird der Eckzahn funktionsaktiv distalwärts bewegt. Der Lückenschluß erfolgt in diesem Fall von vorn nach hinten.

Bei der Modifikation, wie sie in der Abbildung 62b dargestellt ist, darf sich die Eckzahnschlaufe den Mesialflächen des zweiten Prämolaren nicht anlegen. Sie wird nach den Erfordernissen des Falles zwischen Eckzahn und zweitem Prämolaren nach palatinal geführt. Bei diesem Beispiel wird dem zweiten Prämolaren und ersten Molaren die Möglichkeit der Vorwanderung gegeben, während der Eckzahn mit Hilfe der Eckzahnschlaufe funktionsaktiv nach distal geführt wird. Damit die Seitenzähne ungehindert mesialwärts wandern können, muß auf die übliche Auflage des Palatinalbügels zwischen den beiden bukkalen Höckern des Molaren verzichtet werden. Zur Lösung dieser Aufgabe macht sich eine zusätzliche Drahtauflage erforderlich, die von distal her in die Längsfissur des oberen Molaren gelegt wird.

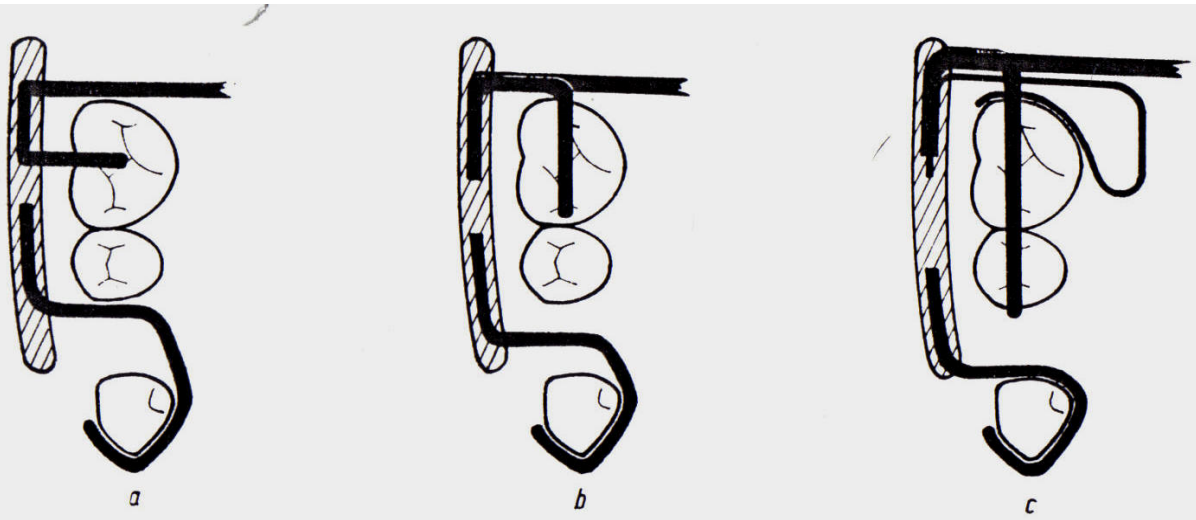



Abb. 62
Biegung und Lage der Drahtelemente zum Schluß einer oberen Prämolarenlücke a = durch Distalschub des oberen Eckzahns, b = durch Distalschub des oberen Eckzahns und Vorlaufenlassen der hinter der Lücke liegenden Seitenzähne, = durch Vorlaufenlassen der Seitenzähne

*Der Palatinalbügel*
Drahtstärke: 1,0 mm

Lage und Biegung geht aus den Abbildungen 56, 58, 59 hervor. Er hat verschiedene Funktionen zu erfüllen. Zunächst dient er der transversalen Versteifung des Geräts.
Er wird in Höhe des Gaumengewölbes mit einer leichten Biegung nach rückwärts versehen. Hierdurch wird der Funktionsregler in der Transversalen gut versteift und gegen Verbiegungen bzw. Verwindungen abgesichert.
Auf die Aufgabe des Palatinalbügels bei der intermaxillären Abstützung des Geräts wurde bereits ausführlich eingegangen. Darüber hinaus stützt der Palatinalbügel mit seinem freien Ende den Funktionsregler auch vertikal ab. Zu diesem Zweck wird der Palatinalbügel an seinem Ende zu einem Auflagedorn umgebogen. Diese Biegung muß feinfühlig und mit größter Vorsicht durchgeführt werden. Das gilt besonders für die Stelle, an der der Draht parallel zur Außenfläche des Wachsfutters nach oben zu umgebogen wird. Bei einer scharfen und mit der Zange zu schnell durchgeführten Knickung kann es später an dieser Stelle sehr leicht zu Drahtbrüchen kommen. Der weitere Verlauf des Palatinalbügels ist auf den Abbildungen 56, 58, 59 zu erkennen. Im bleibenden Gebiß liegt der Auflagedorn zwischen dem mesialen und distalen Höcker des Sechsjahrmolaren. Mit dem Auflagedorn wird die Einlagerung der oberen Kante des Seitenschildes in die obere Umschlagfalte vermieden. Außerdem kann durch das Ab- bzw. Anbiegen des Auflagedorns an die Kauflächen des Molaren die interdentale Einlagerung des Palatinalbügels zwischen dem zweiten Prämolaren und ersten bleibenden Molaren reguliert werden. Auf diese Weise läßt sich ein Dekubitus an dieser Stelle mit Sicherheit vermeiden. Bei der Behandlung des Wechselgebisses liegt der Auflagedorn auf der Kaufläche des zweiten Milchmolaren. Auf diese Weise wird die Verlängerung des Sechsjahrmolaren nicht behindert. Dies ist in dieser Entwicklungsperiode für das Heben des Bisses von Bedeutung.

Im bleibenden Gebiß kommt die Bißhebung zunächst im Prämolaren- und Eckzahnbereich und durch die Verlängerung des unteren Molaren zustande. Nach erfolgter Bißverschiebung ist die Vertikalbelastung des oberen Sechsjahrmolaren durch den Auflagedorn sehr stark herabgesetzt, so daß einer Extrusion dieses Zahnes nichts mehr im Wege steht. Nach völligem Absetzen des Geräts kommt es sehr schnell zum endgültigen Kontakt der Molaren.

## Biegen der Drähte am Unterkiefermodell

*Die Verbindungsdrähte zwischen Lippenpelotten und Seitenschildern*
Drahtstärke: 0,9 mm

Lage und Biegung dieser Drähte gehen aus den Abbildungen 63 und 64 hervor. Der Verbindungsdraht V 1 hat die Aufgabe, beide Lippenpelotten miteinander zu verbinden. Beim Biegen muß darauf achtgegeben werden, daß das Lippenbändchen umgangen wird. Der Scheitel von V 1 unterhalb der Schneidezahnmitte darf im Vestibulum aber auch nicht zu hoch liegen, weil hierdurch die Bewegungen der Unterlippe beim Sprechen behindert würden. Seine beiden freien Schenkel werden in einem Abstand von etwa 1 mm von der Schleimhaut schräg nach unten geführt. Beide Drahtenden werden rechtwinklig nach oben zu einem kleinen Haken umgebogen. Diese sollen oberhalb der tiefsten Einsenkung des frontalen Mundvorhofs liegen. In der Regel liegen sie über der Wurzelmitte des unteren seitlichen Schneidezahns.
Der Verbindungsdraht zwischen Lippenpelotten und Seitenschild (V 2) wird an seinem vorderen Ende ebenfalls zu einem kleinen Haken gebogen. Die Haken von V 1 und V 2 verlaufen in einem Abstand von etwa 0,5 mm parallel zueinander. V 2 wird dann parallel zur Außenfläche des Gipsmodells

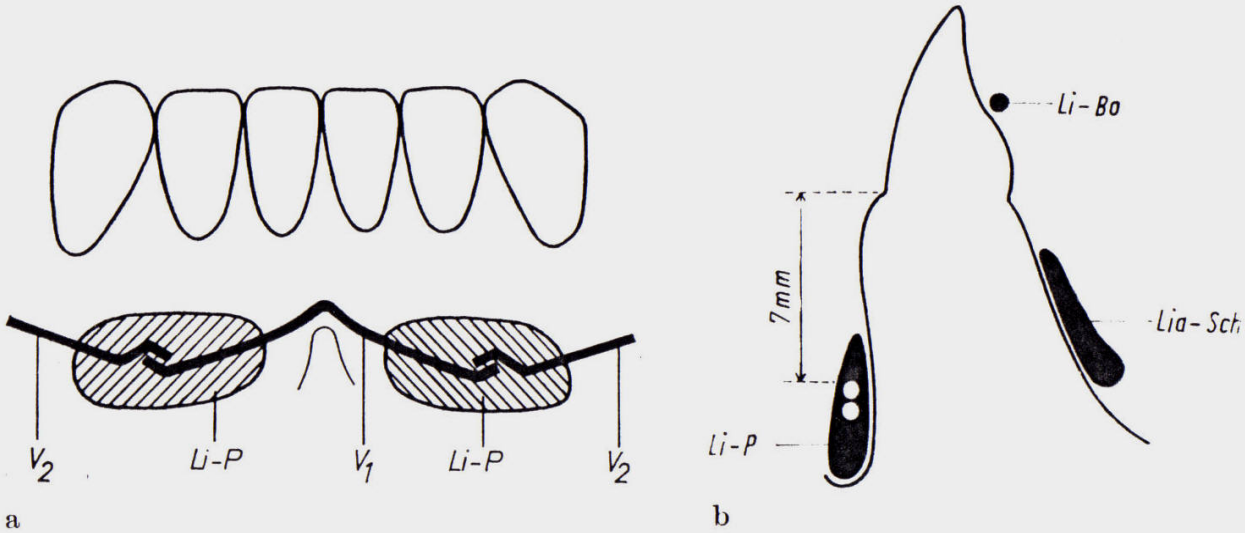



Abb. 63 a und b
Form und Lage der Unterlippenpelotten (Li-P) und der Verbindungsdrähte V 1 und V 2 (a). Lage der Lippenpelotten (Li-P), des Lingualschilds (Lia-Sch) und des Lingualbogens (Li-Bo). Beachte Mindestabstand der oberen Kante des Verbindungsbogens V 2 zum Gingivalsaum = 7 mm (b)

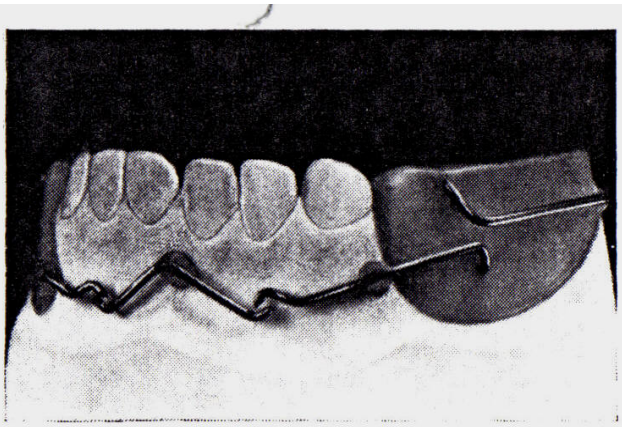


**Abb. 64**
**Unterkiefer-Arbeitsmodell mit Wachsfutter und den Verbindungsbögen V 1, V 2 und V 3. Vor Herstellung der Kunststoffschilder werden diese Drähte mit Klebewachs am Gipsmodell fixiert**

in einem Abstand von etwa 1 mm nach distal geführt. Über der Vorwölbung der Eckzahnalveole kann der Abstand bis zu 1,5 mm betragen. Kurz vor dem Wachsfutter muß der Draht fast rechtwinklig nach außen umgebogen werden. Über der Vorderkante des Wachsfutters wird er dann in einem Bajonettknick wieder einwärts gebogen und verläuft in einem Abstand von etwa 0,5 mm parallel zur Wachsoberfläche nach distal. Etwa 1,5 cm von der Vorderkante des Wachsfutters entfernt wird der Draht zunächst nach unten und dann rechtwinklig zum Wachsfutter umgebogen. Diese doppelte Biegung des Drahtendes garantiert eine gute Verankerung des Verbindungsdrahts im Seitenschild. Aus dem gleichen Grunde wurden die beiden Drahtenden der Verbindungsdrähte im Bereich der Lippenpelotten (Li-P) hakenförmig gestaltet.

Die Form, Größe und Lage der Lippenpelotten geht aus den Abbildungen 6 und 63 hervor. Der obere Rand soll vom Zahnfleischsaum wenigstens 5 mm entfernt sein. Der untere Rand soll gut abgerundet tief in der Umschlagfalte des Vestibulums liegen. Die beiden hakenförmigen Enden der Verbindungsdrähte liegen etwa in der Mitte der Lippenpelotten. Es muß die Möglichkeit bestehen, bei Gefahr eines Dekubitus den unteren Rand durch Wegschleifen zu verkürzen. Die hakenförmigen Enden dürfen daher nicht zu tief gelegt werden. Das gilt besonders bei Behandlung des Wechselgebisses, wo die Umschlagfalte im Frontbereich etwas höher liegt.

Die Form der Lippenpelotten entspricht etwa einem Parallelogramm mit abgerundeten Ecken. Diese Form paßt sich am besten den Labialflächen des Alveolarfortsatzes an. Die untere Hälfte der Pelotten muß der Mentolabialfalte gegenüberliegen. Bei richtiger Lage wird nach Einsetzen des Geräts die Unterlippe in der Mentolabialfalte gestützt. Auf die Bedeutung dieser Stützwirkung für die Behebung von Abwegigkeiten des Raums und der Muskulatur wurde bereits ausführlich eingegangen. Beim Radieren des Modells und Biegen der Drähte muß immer wieder daran gedacht werden, daß der Funktionsregler bei der Behandlung der Angle Klasse II/1 und II/2 nur dann seine Aufgabe als orthopädisches Übungsgerät erfüllen kann, wenn die unteren Lippenpelotten in der Umschlagfalte exakt und funktionsgerecht gelagert sind.

Sch

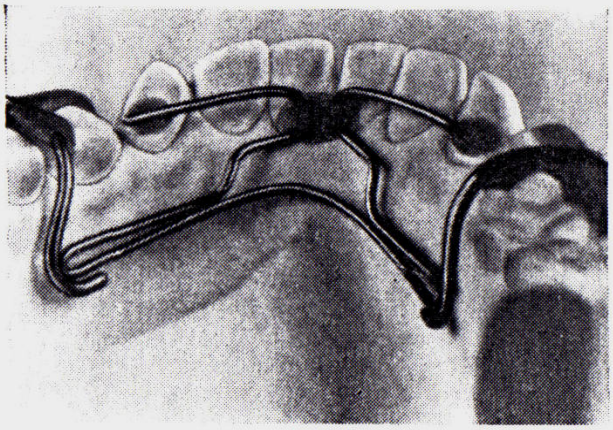


Abb. 65
Die Lingualbögen und der Versteifungsbogen ist in diesem Fall aus einem Draht gebogen worden. Diese Modifikation soll fabrikmäßig in verschiedenen Größen vorgefertigt werden. Die Fixierung erfolgt an den Lingualflächen der unteren Front- und Eckzähne. Beachte die Fixierung der Verbindungsbögen (V 3) an den unteren Prämolaren

*Der Verbindungsdraht zwischen Seitenschild und Lingualschild (V 3)*
Drahtstärke: 1,0 mm
(Abb. 62, 65–67)

Dieser Verbindungsdraht überquert die unteren Kauflächen zwischen den ersten und zweiten Prämolaren bzw. ersten und zweiten Milchmolaren in einem Abstand von 1 mm. Beim Biegen dieses Drahts muß an die sich während der Bißhebung vollziehende Extrusion der unteren Prämolaren gedacht werden. Liegt der Überführungsdraht den unteren Prämolaren an, so kommt es im späteren Verlauf der Behandlung zur interdentalen Einlagerung. Damit würde der Unterkiefer in seiner Vorlage am Gebiß abgestützt, wodurch es zu unerwünschten Mesialbewegungen der Seitenzähne kommen kann. Der Lingualanteil verläuft nach einer Biegung in etwa 0,75 mm Abstand von der Schleimhaut senkrecht nach dem Mundboden zu. Die Abbiegung darf nicht in einem scharfen Knick erfolgen, da an dieser Stelle erhöhte Bruchgefahr besteht. Durch diesen Haken wird eine Drehung des Drahts im Kunststoff unmöglich gemacht, wodurch die Stabilität des Geräts erhöht wird. Der senkrechte Teil soll eher etwas nach distal als nach mesial gebogen werden, d. h., der Haken liegt mehr über der Wurzel des zweiten als des ersten Prämolaren. Das Hakenende darf dem Mundboden nicht zu nahe kommen. Bei einem evtl. Kürzen des Lingualschilds wird sonst das Drahtende freigeschliffen, und es kann zu Dekubitalerscheinungen kommen.

Wangenwärts wird der Verbindungsdraht zunächst nach unten abgebogen. Diese Biegung muß besonders schonend vorgenommen werden. Der Draht mündet an dieser Stelle in das Seitenschild ein. Ein rechtwinkliges Abknicken mit kantigen Zangen setzt die Widerstandskraft des Drahts herab und führt zu späteren Bruchreparaturen.
Dies tritt besonders dann ein, wenn der Konstruktionsbiß in einer zu starken Vorschubstellung des Unterkiefers genommen wurde. Bei seiner Einmündung in den Seitenschild muß der Draht V 3 eine abgerundete Biegung aufweisen. An dieser Stelle ist er der größten mechanischen Belastung ausgesetzt. Auf

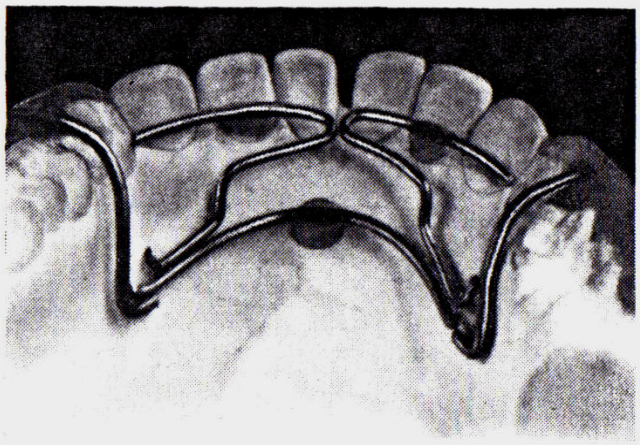


Abb. 66
Lingualdrähte einzeln gebogen, Versteifungsbogen und Verbindungsbogen V 3 auf dem Unterkiefer-Arbeitsmodell

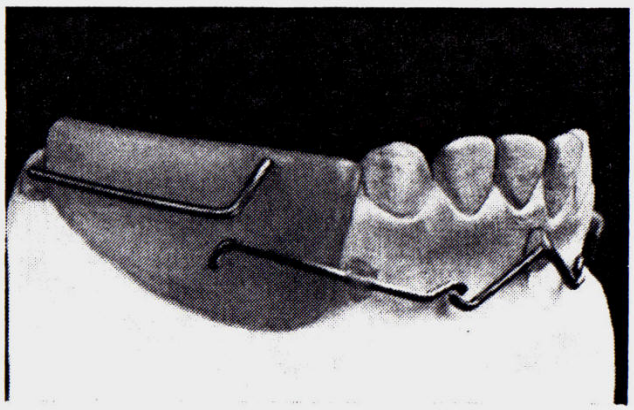


Abb. 67
Unterkiefer-Arbeitsmodell mit Verbindungsbögen V 1, V 2 und V 3. Das Ende des letzteren muß über das Wachsfutter hinaus verlängert sein, um ihn am Gipsmodell sicher fixieren zu können

Grund unserer Erfahrungen werden bei dieser Biegung die häufigsten Fehler gemacht. Es ist die *kritische Stelle* der FR-I- und FR-II-Typen, wo die meisten Drahtbrüche beobachtet werden. Ursache hierfür ist immer ein unsachgemäßes Biegen des Drahts.
Der weitere Verlauf des Drahts innerhalb des Seitenschilds geht aus den Abbildungen 67 und 69 hervor. Nach seiner Abbiegung nach unten wird er parallel zur Kaufläche über das Wachsfutter hinaus nach distal geführt. Dort wird sein freies Ende mit Klebewachs am Modell fixiert.
Beim Biegen ist darauf zu achten, daß der bukkale Drahtanteil von V 3 immer den gleichen und richtigen Abstand zur bukkalen Außenfläche des Wachsfutters einhält. Dieser Abstand darf 0,75 mm nicht übersteigen. So ist die Gewähr gegeben, daß der Draht in seinem ganzen Verlauf von dem Kunststoffteig umflossen wird und nach der Polymerisation im Seitenschild genügend fixiert ist. Bei zu großem Abstand zwischen Draht und Wachsfutter wird der Seitenschild zu dick, worauf bereits eingegangen wurde.

*Der Versteifungsbogen des Lingualschilds (ST)*
Drahtstärke: 0,8 mm
(Abb. 66 u. 68)

Dieser Draht durchzieht das gesamte Lingualschild und dient zur Versteifung und Absicherung gegen Bruch des Schilds. Seine distalen Enden werden

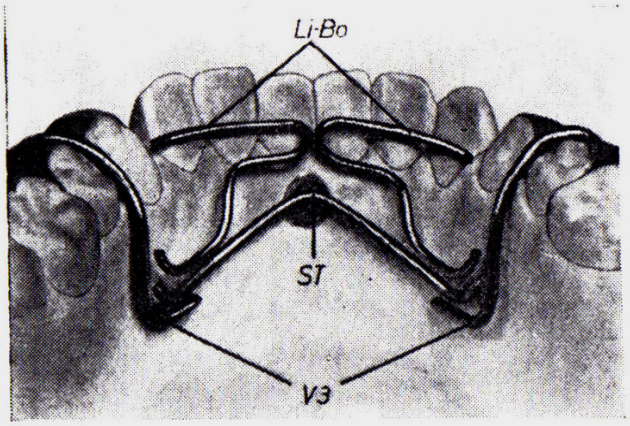



Abb. 68
Unterkiefer-Arbeitsmodell mit Lingualbögen (Li-Bo), Versteifungsbogen (St) und Verbindungsbogen (V 3), der den Lingualschild mit dem Seitenschild verbindet

rechtwinklig nach oben abgebogen, so daß sie in geringem Abstand parallel zu den Haken der beiden Verbindungsbögen zu liegen kommen. In der Unterkiefermitte soll der Draht vom Gingivalsaum und Zungenbändchen gleich großen Abstand haben.

*Die Lingualbögen*
Drahtstärke: 0,8 mm
(Abb. 65; 66; 68)

Von der distalen Kante der unteren Eckzähne ausgehend liegen die Protrusionsdrähte bei Retrusion der unteren Schneidezähne ihren Lingualflächen etwa in Höhe der Tuberkula an. Bei normalem Achsenabstand oder protrudierter Front müssen sie von den Frontzähnen abstehend gearbeitet werden. In der Schneidezahnmitte werden sie in einem sanften Bogen nach unten und distal umgebogen. In Höhe der Distalfläche der seitlichen Schneidezähne werden sie erneut nach unten abgebogen und in geringem Abstand und parallel zum Versteifungsbogen nach distal geführt. Ihr freies Ende wird wie das des Versteifungsbogens ebenfalls nach oben zu einem kleinen Haken umgebogen.
Die Lingualbögen aus 0,8 mm starkem Draht sind auf *funktionsaktive* Wirkung eingestellt, d. h., ihre druckaktive Wirkung auf die unteren Frontzähne beruht auf muskulärer Kraftwirkung. Während der aktiven Phase der Bißverschiebung sollten sie nicht im Sinne der Protrusion wirksam werden.
Nur bei stark retrudiert stehenden unteren Schneidezähnen dürfen sie Kontakt mit diesen Zähnen haben. Es sollte aber immer daran gedacht werden, daß eine Kippung dieser Zähne über die Alveolarbasis hinaus mit Sicherheit zum Rezidiv führt.
In der Retentionsphase werden sie etwas kaudalwärts gegen die Tuberkula der unteren Frontzähne abgebogen. Auf diese Weise läßt sich der Biß im Seitenzahngebiet sperren, womit eine weitere Bißhebung, sofern notwendig, erreicht werden kann.
Diese Wirkung ist besonders in Fällen mit stark ausgeprägter Speescher Kurve erforderlich.

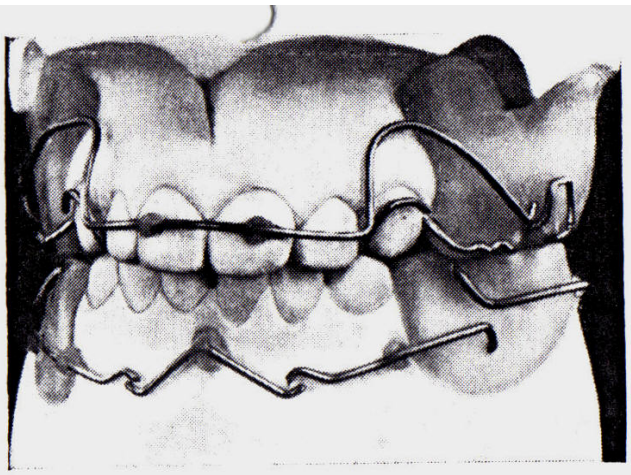


Abb. 69
Die Arbeitsmodelle im Fixator mit Wachsfutter und gebogenen Drähten, die am Gipsmodell fixiert sind, vor Aufbringen des schnell härtenden Kunststoffes

## Hinweise zur Herstellung der Schilder des FR I

Die Abbildung 69 zeigt das Arbeitsmodell im Fixator in Frontseitenansicht kurz vor Anfertigung der Kunststoffschilder. Vor dem Auftragen des Kunststoffbreis soll der Abstand der Drähte vom Wachsfutter und Gipsmodell nochmals genau überprüft werden (s. Abb. 45). Außerdem muß kontrolliert werden, ob die Drähte am Arbeitsmodell genügend fixiert sind, damit ihre Lage durch das Auftragen des Kunststoffs nicht verändert wird.
Dort, wo die Drähte nicht innerhalb der Schilder liegen, lassen sie sich mit Klebewachs am Arbeitsmodell fixieren.
Die beiden hakenförmigen Enden des Labialbogens sind im Wachsfutter eingeschmolzen. Zusätzlich muß der Labialbogen mit Wachs an den Frontzähnen befestigt werden. Das distale Ende der Eckzahnschlaufe wird nicht im Wachsfutter fixiert. Dieses Drahtelement läßt sich an den Labial-, Palatinal- und Mesialflächen des Eckzahns mit Wachs stabil fixieren.
Der Palatinalbügel läßt sich leicht am Gaumen, sein freies Ende auf der Kaufläche des letzten Molaren mit Klebewachs stabilisieren.
In Abbildung 69 ist die Fixation der Verbindungsbögen im Unterkieferbereich deutlich zu erkennen. Der Verbindungsdraht (V 2) zwischen Seitenschild und Lippenpelotten wird am Gipsmodell in der Gegend der Eckzahnwurzel mit Klebewachs fixiert. Außerdem ist sein distales Ende, das hakenförmig gegen das Arbeitsmodell abgebogen ist, in das Wachsfutter eingeschmolzen. Der Verbindungsbogen V 1 zwischen den beiden Lippenpelotten wird in der Unterkiefermitte mit Klebewachs ebenfalls am Modell angeheftet. Wird der Kunststoff nicht zu dick angerührt, so wird der geübte Techniker mit dieser Fixation auskommen, ohne daß es zu einer Lageveränderung von V 1 kommt. Man kann sich zusätzlich dadurch absichern, daß man die beiden hakenförmigen Enden der Verbindungsbögen unterhalb des seitlichen Schneidezahns durch etwas selbstpolymerisierenden Kunststoff gegeneinander fixiert.
In den Abbildungen 65 und 66 sind die lingualen Drahtelemente und ihre Fixation am Gipsmodell dargestellt. Die Lingualbögen werden mit Klebe-

wachs an den Lingualflächen der unteren Schneidezähne und Eckzähne fixiert.
Um eine lagegerechte Fixation des Versteifungsbogens (ST) zu erreichen, wird er in richtiger Lage in der Unterkiefermitte mit einem Tropfen selbstpolymerisierenden Kunststoff am Modell befestigt.
Danach werden die beiden Distalenden durch einen kleinen Tropfen Kunststoffbrei mit den Haken der Enden der Lingualbögen bzw. Verbindungsdrähte fixiert.
Werden die Lingualbögen und der Versteifungsbogen aus einem Draht gebogen, so genügt die Fixation an den Lingualflächen der unteren Frontzähne. Das Biegen dieser Lingualbögen aus einem Stück ist schwieriger und erfordert mehr Zeit. Eine fabrikmäßige Vorfertigung dieser lingualen Drahtelemente, wie aber auch all der anderen Drähte, ist geplant.
Die Abbildung 63b zeigt in einer schematischen Darstellung die Lage der Lippenpelotten, des Lingualschilds und der Drähte der FR I im frontalen Unterkiefersegment. Die Zeichnung entspricht einem Querschnitt des dentoalveolären Fortsatzes in der Gegend der seitlichen Schneidezähne. Bei normalem Achsenstand der unteren Frontzähne stehen die Lingualbögen (Li-Bo) von den Lingualflächen der unteren Frontzähne ab. Die Vorverlagerung des Unterkiefers erfolgt in diesem Falle durch das Lingualschild (Lia-Sch) und durch die Lippenpelotten (Li-P). Um eine richtige Lage der Lippenpelotten zu erreichen, soll die Oberkante des Verbindungsdrahts zwischen Lippenpelotten und Seitenschild etwa 7 mm vom Zahnfleischsaum des unteren seitlichen Schneidezahns entfernt liegen.
Beim Auftragen des dünn angerührten Kunststoffbreies muß darauf geachtet werden, daß er die Drähte, die innerhalb der Schilder zu liegen kommen, gut umfließt. Im übrigen gelten die Anleitungen, die bereits unter 9.6. gegeben wurden.

## 10.2. Der Funktionsregler-Typ FR II
(s. Abb. 10–12)

### Indikation

Bei Angle Klasse I mit starker Retrusion der Frontzähne und Tiefbiß;
bei Angle Klasse II/1 mit starker Protrusion der oberen Frontzähne und Tiefbiß;
bei Angle Klasse II/2, besonders bei Deckbiß.

### Konstruktionsbiß und Einstellung in den Fixator

In Angle Klasse I Fällen wird der Konstruktionsbiß für den FR II immer sofort im Schneidekantenbiß genommen.
In Angle Klasse II/1 Fällen entscheidet die Profilanalyse, in welchem Maße die Lage des Unterkiefers bei der Bißnahme verändert wird. Bei sehr großen

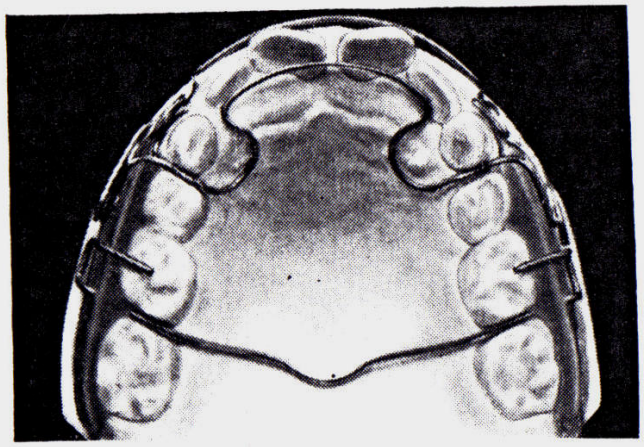
Schneidezahnstufen und starkem Distalbiß empfiehlt sich eine allmähliche Vorverlagerung.
Bei den Angle Klasse II/1 Fällen wird auf Schneidekantenbiß eingestellt, sofern der bestehende Distalbiß nur geringgradig ist. In all den Fällen, bei denen nach Vorschieben des Unterkiefers in den Schneidekantenbiß im Seitenzahngebiet kein Neutralbißverhältnis erreicht werden kann, ist eine vorherige Streckung im Oberkiefer erforderlich.
Im allgemeinen läßt sich annehmen, daß bei Fällen der Angle Klasse II/2 die Dysbalance zwischen Protraktoren und Retraktoren nicht stark ausgeprägt ist. Nach Streckung im Oberkieferbereich ist der Patient in den meisten Fällen fähig, den Unterkiefer auch in größerer Vorschubstellung zu halten. Diese Möglichkeit sollte bei der funktionellen Analyse getestet werden. Unsere Erfahrungen zeigen, daß sich die schubweise Vorverlagerung des Unterkiefers bei Deckbißfällen in der Regel schneller durchführen läßt. Das heißt, eine Leistungssteigerung der Protraktoren ist leichter zu erzielen. Auch die Balancestörung zwischen Kieferadduktoren und -abduktoren läßt sich relativ leicht beheben. Die Segmentierung des Geräts erlaubt nicht nur die Lage des anterioren Teils des Geräts nach vorn, sondern auch nach unten durch Abbiegung zu verändern, worauf bereits eingegangen wurde.

**Radierung der Modelle**

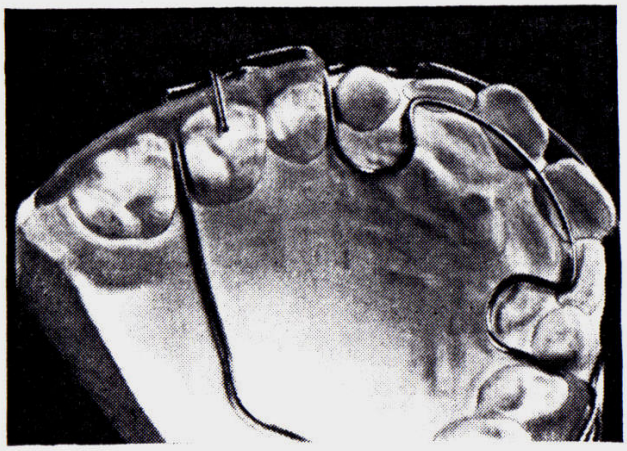
Die interdentale Radierung am Oberkiefermodell muß mit besonderer Sorgfalt durchgeführt werden. Bei der Behebung des Tiefbisses ist entsprechende Sperrung des Bisses erforderlich. Wurde ungenügend radiert, „steigt das Gerät aus". Die intermaxilläre Fixation entfällt, wodurch das Gerät unwirksam wird. Als besonderer Schwerpunkt muß das Radieren in der unteren frontalen Umschlagfalte gesehen werden. Bei den Fällen der Angle Klasse II/2 liegt in der Regel eine starke Aktivität des Mentalis vor. Wird an dieser Stelle zu wenig radiert, stehen die Lippenpelotten mit ihrem unteren Rand vom Alveolarfortsatz ab. Dekubitalerscheinungen an der Innenseite der Lippe sind die Folge. Die Lippenpelotten müssen unbedingt senkrecht im Vestibulum stehen und mit ihren unteren Rändern gut abgerundet sein.

**Die Drahtelemente des FR II**

Vom FR I unterscheidet sich der FR II nur durch Eckzahnschlaufe und Protrusionsbogen. Die Lage und die notwendige Biegung dieser Drahtelemente gehen aus den Abbildungen 70 und 71 eindeutig hervor. Die Eckzahnschlaufe hat die Aufgabe, bestehende Eckzahnaußenstände zu beheben. Hierfür sind natürlich auch andere Modifikationen geeignet.
Beim Biegen des Protrusionsbogens muß zwischen Eckzahn und erstem Prämolaren bzw. erstem Milchmolaren tief einradiert werden, worauf schon hingewiesen wurde. Der Protrusionsbogen hat die gleiche Aufgabe wie die Eckzahnschlaufe beim FR I zu erfüllen, d. h. eine sichere intermaxilläre Abstützung des Geräts zu garantieren.

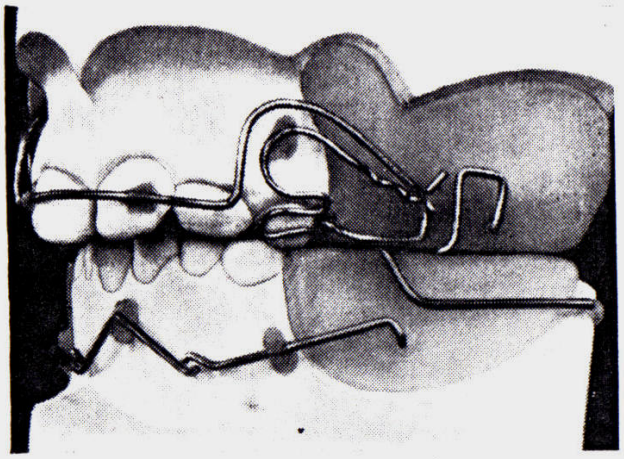


a

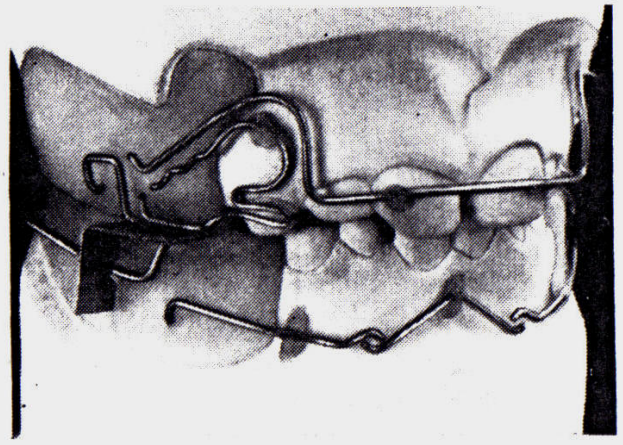


b

Abb. 70a und b
Oberkiefer-Arbeitsmodell mit Wachsfutter und Drähten für den FR II. Im Wechselgebiß liegt die Auflage auf den Kauflächen der oberen zweiten Milchmolaren



a



b

Abb. 71a und b
Arbeitsmodelle zur Herstellung des FR II im Fixator mit Wachsfutter und fixierten Drähten vor Fertigstellung der Kunststoffschilder. Mit Hilfe eines rechtwinklig abgebogenen Blechstreifens, der im Wachsfutter fixiert wird, kann man sich den Sägeschnitt, falls er zur Segmentierung des Seitenschilds erforderlich ist, ersparen

100

## 10.3. Der Funktionsregler-Typ FR III
(s. Abb. 13 u. 14)

### Indikation

Bei Fällen der Angle Klasse III, besonders bei schwierigen Progeniefällen mit Entwicklungshemmung im Mittelgesichtsbereich.

### Konstruktionsbiß und Einstellung in den Fixator

Bei der Bißnahme soll der Patient soweit wie möglich zurückbeißen, ohne sich dabei aber Zwang anzutun. Bei tiefem frontalem Überbiß macht sich eine Bißsperre im Seitenzahngebiet notwendig. Diese soll nur so hoch gewählt werden, daß die oberen Frontzähne gerade aus dem umgekehrten Schneidezahnüberbiß überführt werden können (Abb. 72). Eine Bißsperre im Frontzahngebiet ist auf jeden Fall zu vermeiden. Dadurch würde der Lippenschluß erschwert bzw. unmöglich gemacht, wodurch der Erfolg der Behandlung in Frage gestellt sein kann.

### Radierung der Arbeitsmodelle

Eine stärkere Radierung des Arbeitsmodells macht sich vor allem in der Gegend der oberen frontalen Umschlagfalte notwendig. An dieser Stelle soll parallel zur Alveolaraußenfläche bei Tastkontrolle am Patienten reichlich Gips nach oben zu weggenommen werden. Das Weichgewebe in dieser Region ist sehr nachgiebig, so daß keine Gefahr für einen Dekubitus besteht. Die Radierung muß so hoch erfolgen, daß der untere Rand der Lippenpelotten wenigstens 7–8 mm vom Gingivalsaum entfernt bleibt.
Eine Radierung ist außerdem in der seitlichen Umschlagfalte und am Tuber erforderlich. Damit später der Labialbogen den unteren Frontzähnen fest anliegt, empfiehlt sich in Höhe der Zahnfleischpapillen eine leichte mulden-

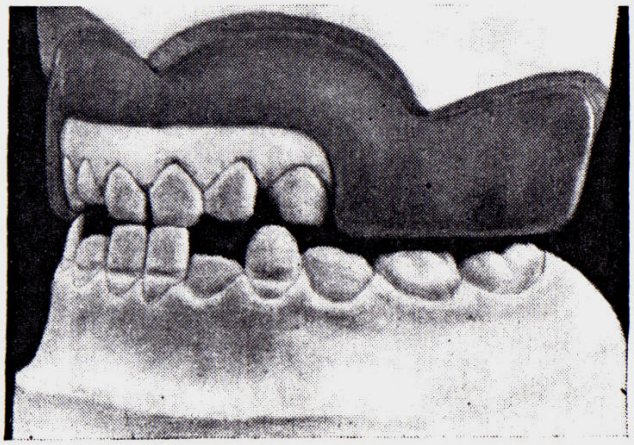


Abb. 72
Arbeitsmodelle eines Progeniefalls in Konstruktionsbißstellung im Fixator mit Wachsfutter. Beachte Radierung der Labialflächen der unteren Seitenzähne in Höhe des Gingivalsaums zur Aufnahme des Labialdrahts

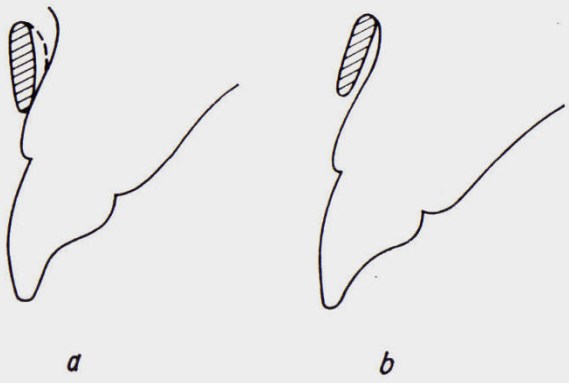



Abb. 73a und b
a = ungenügende Radierung des Arbeitsmodells und falsche Lage der Oberlippenpelotten des FR III, b = korrekte Radierung und Lage der Oberlippenpelotten

förmige Radierung an den Außenflächen der Schneide- und Eckzähne (s. Abb. 72).
*Interdental* darf das Arbeitsmodell *nicht radiert* werden.

## Das Wachsfutter

Bei der Progenie weist der Unterkiefer Tendenzen zur Überentwicklung auf. Jede Nachentwicklung der mandibulären Strukturen ist daher kontraindiziert. Aus diesem Grunde muß von jedem Wachsfutter im Bereich des Unterkiefers abgesehen werden. Im Gegensatz dazu ist die Entwicklung im Oberkiefer retardiert bzw. gehemmt. Zum Zwecke der Nachentwicklung müssen daher die vestibulären Plattenelemente im Oberkieferbereich abstehen. Aus diesem Grunde ist ein entsprechendes Wachsfutter am Arbeitsmodell erforderlich (Abb. 72 u. 74).
Im Frontbereich beträgt die Dicke des Wachses 2–3 mm. Am unteren Rand, also in der Nähe des Gingivalsaums, soll das Wachsfutter die größte Stärke aufweisen, etwa 3 mm. Das frontale Wachsfutter darf nach unten nicht zu dünn auslaufen. Wir müssen bedenken, daß beim Öffnen des Mundes der FR III mit dem Unterkiefer zusammen nach unten absinkt. Wurde das untere Randgebiet des frontalen Wachsfutters zu dünn gehalten, so bleibt der untere Rand der Lippenpelotten bei Öffnen des Mundes an der Außenfläche des Alveolarfortsatzes hängen (Abb. 73a). Dadurch kann es sehr leicht zu Läsionen der marginalen Schleimhaut kommen. Die unteren Ränder der Lippenpelotten sollen daher einen Abstand von 2,5–3 mm von der Schleimhautoberfläche wahren. Bei richtiger Radierung der Arbeitsmodelle in der Umschlagfalte und nach genügendem Auftragen von Wachs liegen die Oberlippenpelotten nach Fertigung des FR III schräg nach vorn geneigt, wie die Abbildung 73b zeigt.

## Biegung der Drahtelemente des FR III

*Die Verbindungsbögen zwischen Lippenpelotten und Seitenschildern*
Drahtstärke: 0,9 mm

Die Abbildungen 74 und 75 geben die Lage und Biegung dieser Drahtelemente wieder. Die Verbindungsbögen zwischen Lippenpelotten und Seitenschildern entsprechen in ihrer Form denen der FR-I- und FR-II-Typen,

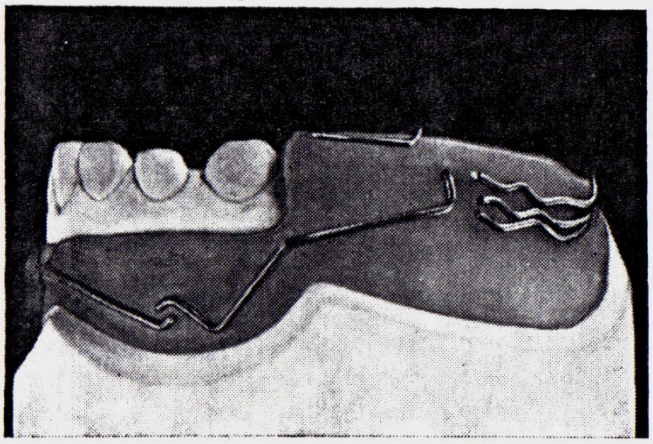


Abb. 74
Oberkiefer-Arbeitsmodell mit Wachsfutter und Drähten zur Herstellung des FR III

Abb. 75
Oberkiefer-Arbeitsmodell zur Herstellung des FR III mit Wachsfutter und Protrusionsdraht. Die Drahtauflage auf den letzten oberen Molaren muß unter den Palatinalbügel geführt werden

nur daß sie im oberen Mundvorhof liegen. Da die Lippenpelotten eine möglichst hohe Lage einnehmen sollen, muß der Abstand der hakenförmigen Enden der Verbindungsbögen vom Gingivalsaum der seitlichen Schneidezähne eine Entfernung von wenigstens 10 mm haben.
Es ist streng darauf zu achten, daß die Verbindungsbögen zwischen Lippenpelotten und Seitenschild, sofern sie später im Seitenschild zu liegen kommen, keine Krümmungen aufweisen. Anderenfalls ist eine Vorverstellung der Oberlippenpelotten nicht möglich, worauf bereits eingegangen wurde.

*Der Protrusionsbogen*
Drahtstärke: 0,6–0,7 mm

Seine Lage ist aus den Abbildungen 74 und 75 zu erkennen. Dieses Drahtelement ist auf federaktive Wirkung eingestellt. Es hat die Aufgabe, die oberen Schneidezähne zwecks Behebung eines umgekehrten Schneidezahnüberbisses zu protrudieren. Der Protrusionsbogen darf die Frontzähne keinesfalls vertikal belasten, weil hierdurch eine Verlängerung der oberen Frontzähne zu einem sicheren Überbiß behindert wird. Wird dieses Drahtelement auf federaktive Wirkung eingestellt, so soll es den Palatinalflächen der Frontzähne in Nähe der Schneidekante anliegen. Auf diese Weise kommt es

schnell zu einer Vorkippung der Frontzähne, ohne daß ihr Vertikalwachstum behindert wird.
Nach Erreichen des Überbisses soll der Protrusionsbogen den oberen Schneidezähnen nur passiv anliegen, um die neue Frontzahnstellung abzusichern.
Es wurde bereits darauf hingewiesen, daß eine interdentale Radierung am Oberkiefermodell nicht erfolgen darf. Der Protrusionsbogen (Pro-Bo) wird zwischen Eckzahn und erstem Prämolaren in Höhe der Okklusalebene nach bukkal überführt (Abb. 76). Der FR III darf sich mit keinem Drahtelement an den oberen Seitenzähnen intermaxillär abstützen. Die Wirkung der Oberlippenpelotten würde sich sonst nur in einem Distalschub der oberen Seitenzähne auswirken. Dies ist aber nicht die Aufgabe dieser Plattenelemente. Durch die abstehenden Oberlippenpelotten soll neben der Ausschaltung des Lippendrucks eine Zugspannung in der Umschlagfalte erzielt werden, um auf diese Weise eine Nachentwicklung der Alveolarbasis in anteriorer Richtung zu erzielen.

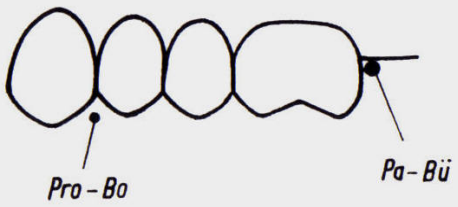



Abb. 76
Schematische Darstellung der richtigen Lage des Protrusionsbogens bei der Überführung über die Kauebene und des Palatinalbügels, der jeweils hinter dem letzten Molaren liegen muß

*Der Palatinalbügel*
Drahtstärke: 1,0–1,1 mm

Lage und Biegung geht aus den Abbildungen 75 und 76 hervor. Wie beim Protrusionsbogen ist auch beim Palatinalbogen eine intermaxilläre Abstützung an den oberen Seitenzähnen strikt zu vermeiden. Aus diesem Grund wird der Palatinalbogen jeweils um den letzten oberen Molaren herumgeführt. Palatinal wird er in Richtung Gaumendach etwas nach mesial geführt, damit er außerhalb des weichen Gaumens zu liegen kommt. Sein weiterer Verlauf ähnelt dem Palatinalbügel, wie er auch beim FR I und FR II zur Anwendung kommt. Der Abstand zur Gaumenschleimhaut soll etwa 0,5 mm betragen.

*Der untere Labialbogen*
Drahtstärke: 1,0–1,1 mm

Seine Lage geht aus den Abbildungen 77 und 78 hervor. Er soll den unteren Front- und Eckzähnen in Höhe der Zahnfleischpapillen straff anliegen. Dies erreicht man am besten, wenn die Außenflächen dieser Zähne vor dem Biegen dieses Drahtelements entsprechend radiert wurden (s. Abb. 72). Um die gewünschte Blockierung der Unterkieferentwicklung zu erreichen, soll der Labialbogen immer bis zur Distalfläche des Eckzahns extendiert werden. Von dort aus wird er senkrecht nach unten und etwa 3 mm von der Umschlagfalte entfernt nach distal umgebogen. Für die Abstände vom Zahnfleisch und Wachsfutter gelten die allgemeinen Regeln.

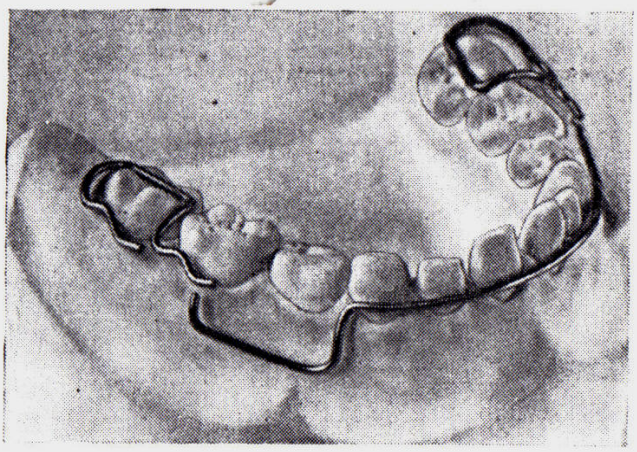


Abb. 77
Unterkiefer-Arbeitsmodell zur Herstellung des FR III mit Labialbogen und Auflagedraht auf den letzten Molaren

*Drahtauflage auf den letzten unteren Molaren*
Drahtstärke: 0,9 mm

Diese Drahtauflage macht sich zur Abstützung des Geräts in vertikaler Richtung immer notwendig. Wie Abbildung 77 zeigt, liegt der Draht in der Längsfissur des letzten Molaren. Seine beiden freien Enden werden bukkalwärts geführt und zu entsprechenden Retentionen im Kunststoffschild wellenförmig nach mesial zu umgebogen. Vom Zahn bzw. Zahnfleisch liegen diese freien Enden etwa 1 mm entfernt.

*Drahtauflage auf den letzten oberen Molaren*

Ist der frontale Überbiß nur gering, so genügt zur Bißsperrung häufig die Drahtauflage auf dem letzten unteren Molaren. Ist zur Überführung der oberen Schneidezähne eine Bißsperrung im Seitenzahngebiet von 3–4 mm notwendig, so ist eine zusätzliche okklusale Drahtauflage auf dem letzten oberen Molaren erforderlich. Diese wird aus 0,9 mm starkem Draht gebogen. Die Herstellung dieses Drahtelements erfolgt vor dem Biegen des Palatinalbügels. Auf diese Weise wird die okklusale Auflage durch den Palatinalbügel gegen ein Verbiegen nach unten abgesichert. Die schlaufenförmige Auflage und die wellenförmige Biegung der Drahtenden, die zur Retention im Seitenschild dienen, sind aus Abbildung 74 und 75 ersichtlich. Beim Schmalkiefer liegt diese Auflage den Okklusalflächen der bukkalen Höcker an. Auf diese Weise wird eine laterale Bewegung der Backenzähne nicht behindert. Bei entsprechender Biegung in lateraler Richtung läßt sich mit dieser Auflage sogar ein aktiver Weitungseffekt erzielen. Dieser kommt beim Zusammenbeißen der Molaren, also *funktionsaktiv*, zustande.
Die Abbildung 78 zeigt die Arbeitsmodelle im Fixator mit Wachsfutter und den fertiggebogenen Drähten. Vor Auftragen des schnellhärtenden Kunststoffs sollte noch einmal genau überprüft werden, daß bei der technischen Herstellung keine Fehler gemacht wurden. Der untere Rand des seitlichen Wachsfutters muß auf der Höhe der Kauebene liegen. Die Okklusalfläche des Wachsfutters soll mit der Außenfläche genau einen rechten Winkel bilden (Abb. 79 b). Zeigt das seitliche Wachsfutter bei seinem Übergang zur Okklusalfläche eine Rundung, so ist eine Weitung des Zahnbogens blockiert. Die Zähne müßten sich in diesem Falle entlang einer Schiefen Ebene aufwärts bewegen. Das heißt, es müßte zu ihrer Intrusion kommen. Das Wachsfutter

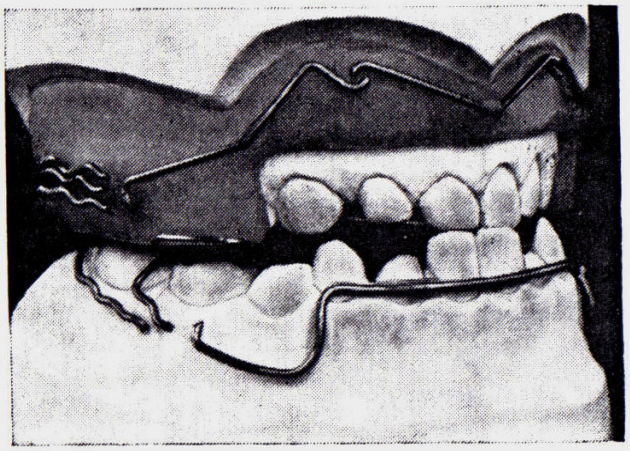


Abb. 78
Arbeitsmodelle im Fixator mit Wachsfutter und gebogenen Drahtelementen, die am Gipsmodell mit Klebewachs fixiert sind

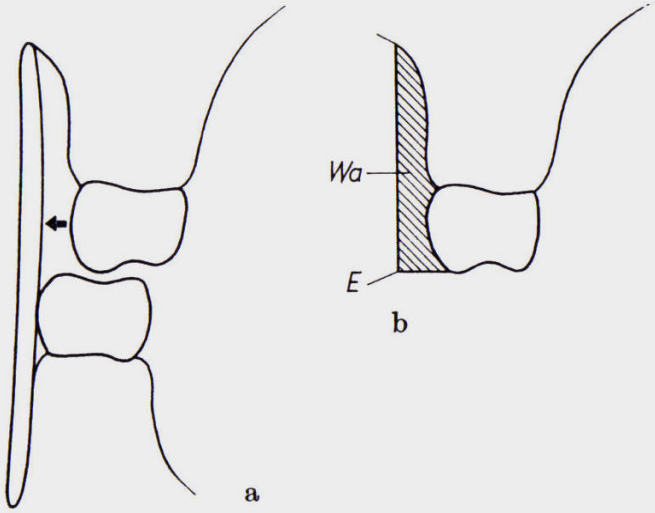



Abb. 79a und b
Der untere Rand des Wachsfutters muß lateral in einem rechten Winkel geformt sein, um die Lateralentwicklung des dentoalveolären Bogens zu ermöglichen

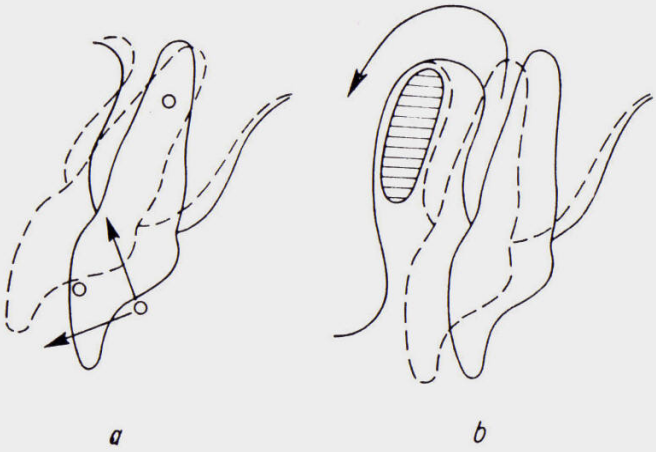



Abb. 80a und b
Nachentwicklung des dentoalveolären Bogens in frontaler Richtung (a) mit Hilfe eines Protrusionsdrahts, (b) durch die Wirkung der Oberlippenpelotten des FR III

muß so gestaltet sein, daß nach Fertigstellung des Geräts entsprechender Raum vorhanden ist, in den sich die Zähne in lateraler Richtung bewegen können (Abb. 79a).
Der untere Teil des Seitenschilds muß den Außenflächen des Alveolarfortsatzes und den Zähnen eng anliegen, um die Entwicklung im Unterkiefer zu stoppen. Es empfiehlt sich, den Kunststoffrand, der dem Gingivalsaum anliegt, vor Einfügen des Geräts wegzuschleifen, um Dekubitalerscheinungen zu vermeiden (Abb. 79a, s. Pfeil). Bei Überprüfung des Arbeitsmodells ist zu bedenken, daß die basale Nachentwicklung des Oberkiefers mit Hilfe

der Oberlippenpelotten angestrebt wird (Abb. 80). Das Wachsfutter muß daher im Frontbereich eine entsprechende Dicke aufweisen, was noch einmal mit einem Draht überprüft werden sollte. Die Wirkung des Protrusionsdrahts ist rein orthodontischer Art. Bei Schneidekantenbiß soll er eine schnelle Überstellung der oberen Schneidezähne herbeiführen. Auf diese Weise kann eine unnötig lange Vertikalbelastung der Frontzähne umgangen werden. Der Protrusionsdraht sollte daher bei der Behandlung der Progenie niemals den Tuberkula der oberen Frontzähne druckaktiv anliegen. Damit würde eine Extrusion der Frontzähne verhindert und ein wichtiges Behandlungsziel, ein normaler Frontzahnüberbiß, in Frage gestellt (Abb. 80a). Dieser Draht soll den Frontzähnen etwa 1–2 mm oberhalb ihrer Schneidekanten anliegen, um jede Vertikalbelastung auszuschließen. Besonderes Augenmerk ist dem Teil des Protrusionsdrahts zu schenken, der zwischen den Okklusalflächen verläuft. Er darf sich dort nie interdental zwischen Eckzahn und Prämolaren bzw. Milchmolaren einlagern. Anderenfalls käme es nicht zu dem beschriebenen dynamischen Gegenspiel zwischen Ober- und Unterkiefer.
Es bedeutet einen großen Vorteil, wenn die Funktionsregler im praxis- bzw. klinikeigenen Laboratorium hergestellt werden. So können die technische Herstellung des Geräts vom Kieferorthopäden verfolgt und die einzelnen Etappen der Herstellung überprüft werden. Auf diese Weise kann den Erfordernissen des Einzelfalls besser Rechnung getragen werden, was die Effektivität des Geräts beträchtlich erhöht. Hierbei kann dem Zahntechniker auch die Wirkungsweise der Funktionsregler am besten verständlich gemacht werden.

## 10.4. Der Funktionsregler-Typ FR IV

(s. Abb. 15 u. 16)

### Indikation

Bei Neutralbißfällen in Verbindung mit gnathisch offenem Biß;
besonders indiziert für die Frühbehandlung in der ersten Wechselgebißphase;
bei bialveolärer Protrusion in der Wechselgebißperiode, wobei das Gerät zusätzlich mit einem unteren Labialbogen aus 0,8 mm starkem Draht versehen wird.

### Technische Herstellung

Die technische Herstellung des FR IV geht aus den Abbildungen 15 und 16 klar hervor. Der Palatinalbügel verläuft stets hinter dem letzten Molaren. Die okklusalen Auflagedrähte können dem Fall individuell in Form und Lage angepaßt werden. Sie müssen aber so konstruiert sein, daß sie eine Dorsalverschiebung des FR IV nicht hemmen. Jede interdentale Radierung und Abstützung an den Seitenzähnen ist daher zu vermeiden. Im übrigen gelten für das Biegen der Drähte und die Herstellung der Kunststoffschilder die gleichen Richtlinien wie für die anderen FR-Typen.

# 11. Hinweise für die klinische Verwendung der Funktionsregler

Medizinisches Zentrum
für Zahn-, Mund- u. Kieferheilkunde
der Philipps-Universität
Georg-Voigt-Str. 3
3550 Marburg

## Beginn der Behandlung

In den folgenden Ausführungen sollen noch einige allgemeine Hinweise zur klinischen Anwendung der Funktionsregler gegeben werden. Es steht außer Frage, daß wir uns im Sinne des „*Orthopaideueins*" am besten engagieren können, wenn wir mit der Behandlung frühzeitig beginnen. Die günstigsten Erfolgsaussichten bestehen in der Zeit des lebhaftesten Wachstums. Eine Frühbehandlung ist besonders dann indiziert, wenn Anzeichen für die Entwicklung schwerer Dysgnathien vorliegen und ein gehäuftes Auftreten in der Familie auf eine hereditäre Veranlagung schließen läßt.

Bei den Fällen der Angle Klasse I und II warten wir mit dem Beginn der Frühbehandlung, bis die unteren seitlichen Schneidezähne etwa zur Hälfte durchgebrochen sind. Wir können dann mit ziemlicher Sicherheit abschätzen, inwieweit wir eine spontane Nachentwicklung im dentoalveolären Bogen noch erwarten können. Dieser etwas verzögerte Behandlungsbeginn hat zudem den Vorteil, daß die Behandlungszeit nicht unnötig lang wird. Das wäre ökonomisch untragbar und würde auch die Erfolgsaussichten herabsetzen.

Einen Behandlungsbeginn der Angle Klasse I- und II-Fälle in der späten Wechselgebißphase halten wir nicht für zweckmäßig. In dieser Zeit ist die Resorption der Milchzahnwurzeln und der Durchbruch der Prämolaren schon weit fortgeschritten, so daß eine intermaxilläre Abstützung bzw. eine stabile Lage des Geräts in Frage gestellt ist. Eine Frühbehandlung der Angle Klasse I- und II-Fälle ist nur dann erfolgversprechend und ökonomisch, wenn der Behandlungsbeginn so gewählt wird, daß die aktive Behandlungsphase spätestens bis zum Durchbruch der ersten Prämolaren beendet ist. Von da ab hat das Gerät nur noch die Aufgabe der Retention und soll den weiteren Durchbruch der Zähne gegen den perioralen Weichteildruck abschirmen.

Die „Spätbehandlung" von Neutralbiß- bzw. Distalbißfällen beginnen wir erst dann, wenn im Oberkiefer die Prämolaren und im Unterkiefer die bleibenden Eckzähne und ersten Prämolaren durchgebrochen sind. Auf diese Weise erreichen wir eine kurze Dauer der aktiven Behandlungszeit.

Die Hebung bzw. Verschiebung des Bisses mit Funktionsreglern kann auch noch nach der Pubertät erfolgreich durchgeführt werden. Mit Hilfe des Lingualschilds läßt sich auch in diesem Lebensalter die Haltefunktion noch beeinflussen und damit eine Nachentwicklung des Unterkiefer-Basalbogens erzielen.

Nach Abschluß des Wachstums, also im Alter von 19–20 Jahren, ist eine solche Möglichkeit nicht mehr gegeben. Nach Durchbruch der Prämolaren und bleibenden Eckzähne bestehen für die Behandlung der Angle Klasse II/1 und II/2 noch günstige Erfolgsaussichten, sofern nicht größere Gebißunregelmäßigkeiten bestehen. In diesen Fällen empfiehlt sich eine Kombination des Funktionsreglers mit anderen Behandlungsgeräten. Es hat sich als vorteilhaft erwiesen, zunächst die Unregelmäßigkeiten des Gebisses mit aktiven Plattenapparaturen bzw. festsitzenden Geräten zu behandeln und dann die intermaxillären Fehlbeziehungen und die bestehenden funktionellen Abwegigkeiten mit Hilfe des Funktionsreglers zu beheben. In einigen Fällen können festsitzende Apparaturen gleichzeitig mit dem Funktionsregler zur Anwendung kommen.
Die orthopädische Behandlung schwieriger Progeniefälle, des Deckbisses und des skelettalen offenen Bisses beginnen wir in der Regel bald nach der Einschulung, worauf bereits ausführlich eingegangen wurde.

**Einfügen der Funktionsregler**

Das Einfügen des Geräts macht im allgemeinen keine Schwierigkeit. Nur bei kleiner Mundöffnung muß man behutsam vorgehen. Zunächst wird das distale Ende des linken Seitenschilds eingeführt. Mit dem Spiegel oder Finger wird dann der rechte Mundwinkel etwas seitlich abgezogen. Danach läßt sich auch der rechte Seitenschild und damit das ganze Gerät ohne Schwierigkeiten eingliedern.
Nach dem Einfügen wird der Funktionsregler auf exakten Sitz überprüft. Zu diesem Zweck wird das Gerät zunächst an den Oberkiefer angedrückt. Wenn das Arbeitsmodell richtig radiert wurde, liegt der obere Rand der Seitenschilder genau in der Umschlagfalte. Besondere Beachtung ist der Region in der Nähe der Wurzelspitze der ersten Prämolaren und des Tubers zu schenken. Bei Verwendung transparenten Kunststoffs läßt sich feststellen, ob im Bereich des Frenulum buccale oder auch an anderen Stellen der Arbeitsmodelle nicht zuviel radiert wurde. In diesem Fall würde die Schleimhaut beim Andrücken des Geräts blaß und anämisch werden. Durch entsprechendes Fräsen am Kunststoffrand und nachträgliche Politur läßt sich dieser Fehler leicht korrigieren.
Weiterhin muß überprüft werden, ob die Seitenschilder vom dentoalveolären Fortsatz den für den jeweiligen Fall erforderlichen Abstand haben. Eine transversale Nachentwicklung kann nicht erwartet werden, wenn die Seitenschilder der Außenfläche des Alveolarfortsatzes und den Zähnen anliegen. Zum anderen wird ein zu großer Abstand der Seitenschilder besonders in der Umschlagfalte leicht zur Einlagerung der Wangenweichteile in der apikalen Region führen. Hierdurch würde die Nachentwicklung der apikalen Basis behindert, worauf früher bereits hingewiesen wurde.
Bei der Verwendung des Funktionsreglers Typ III müssen die Oberlippenpelotten hoch in der Umschlagfalte liegen. Außerdem müssen sie den erforderlichen Abstand von der Frontalfläche des Alveolarfortsatzes haben. Nur so kann in der Umschlagfalte die für eine Nachentwicklung des Oberkiefers in frontaler Richtung erforderliche Zugspannung entstehen.

In ähnlicher Weise überprüft man den Sitz der Plattenelemente im Unterkieferbereich. Hierbei wird das Gerät dem Unterkiefer angedrückt. Besondere Beachtung ist hierbei dem Sitz der unteren Lippenpelotten zu schenken. Diese müssen, wie schon erwähnt, tief in der unteren Umschlagfalte liegen. Wenn richtig radiert wurde, stehen sie senkrecht im Mundvorhof. Sie dürfen mit ihrem unteren Rand auf keinen Fall vorgekippt stehen, da sie sonst die Innenseite der Unterlippe irritieren würden. Beim Andrücken des Funktionsreglers darf die Mundschleimhaut in der Vestibulärfalte an keiner Stelle anämisch werden. Wurde am Gipsmodell an dieser Stelle zu viel radiert, so muß der untere Rand der Lippenpelotten durch Fräsen und nachträgliches Polieren korrigiert werden. Liegen die Lippenpelotten zu hoch oder stehen sie mit ihrem unteren Rand zu weit vom Alveolarfortsatz ab, darf ein solches Gerät nicht eingegliedert werden. Eine Neuanfertigung der Lippenpelotten ist nicht zu umgehen. Diese Korrektur läßt sich leicht durchführen, worauf später noch eingegangen wird.

Bei der Überprüfung der Drahtelemente ist darauf zu achten, daß sie den entsprechenden Abstand von der Schleimhaut wahren. Die korrekte Biegung und Lage ist genauestens zu überprüfen. Auch zu diesem Zweck wird man das Gerät zunächst an den Oberkiefer, dann an den Unterkiefer andrücken. Hierbei wird man berücksichtigen müssen, daß sich bei der Behandlung im bleibenden Gebiß der Palatinalbügel und die Eckzahnschlaufe erst während der Eintragezeit interdental einlagern. Das freie Ende des Palatinalbügels, das als okklusale Auflage gedacht ist, wird daher beim Einfügen des Geräts zunächst von den Kauflächen der Sechsjahrmolaren abstehen.

Bei der Behandlung im Wechselgebiß muß von den Milchzähnen interdental so viel weggeschliffen werden, wie am Gipsmodell radiert wurde. Mit einer Diamantscheibe schleift man zunächst von der distalen Fläche des Eckzahns und von der mesialen Fläche des ersten Milchmolaren gleich viel weg. Häufig macht sich auch ein Wegschleifen von der Mesialfläche des Milcheckzahns erforderlich, damit sich die Eckzahnschlaufe interdental entsprechend einlagern kann. Beim Beschleifen des zweiten Milchmolaren muß darauf geachtet werden, daß die Mesialfläche des Sechsjahrmolaren nicht beschädigt wird. Die interdentale Separation darf nur durch das Beschleifen der distalen Fläche der zweiten Milchmolaren erfolgen. Dieses interdentale Einschleifen im Wechselgebiß muß äußerst exakt durchgeführt werden. Beim Andrücken des Funktionsreglers muß die okklusale Auflage den Kauflächen der zweiten Milchmolaren fest anliegen. Eine erfolgreiche Veränderung der Unterkieferlage kann nur erreicht werden, wenn sich die Eckzahnschlaufe und der Palatinalbügel interdental tief genug einlagern. Nur dann ist die Gewähr für eine exakte intermaxilläre Abstützung des Geräts an den oberen Seitenzähnen gegeben.

Beim Einfügen des Funktionsreglers Typ III verfährt man in der gleichen Weise wie bei allen anderen Funktionsreglern. Durch das wechselseitige Andrücken des Geräts an den Ober- bzw. Unterkiefer wird der exakte Sitz der Mundvorhofschilder und der Drahtelemente überprüft. Dabei müssen wir besonders auf die richtige Lage der Oberlippenpelotten und des Protrusionsdrahts achtgeben, worüber schon ausführlich berichtet wurde.

Nachdem man sich von dem korrekten Sitz der jeweils verwendeten Funktionsregler durch Andrücken an den Oberkiefer und Unterkiefer überzeugt hat, fordert man das Kind zum Kieferschluß auf. Beim Vorliegen eines Distalbisses muß der Patient dabei den Unterkiefer in die gewählte Konstruktionsbißlage vorführen. Danach wird überprüft, ob auch nach Kieferschluß in der Umschlagfalte bzw. am Alveolarfortsatz keine Druckanämie der Schleimhaut auftritt. Nachdem sich der Patient an die neue Unterkieferlage durch mehrfaches Öffnen und Schließen der Kiefer gewöhnt hat, läßt man die Lippen schließen. Hierbei kann es beim Vorliegen einer starken Haltungsschwäche in der Lippenzone leicht zu muskulären Verkrampfungen kommen. Diese lassen sich durch leichte Fingermassage mindern bzw. beheben. Zur Überwindung muskulärer Fehlspannungen hat sich uns außerdem das Sprechen mit dem Gerät im Munde sehr bewährt. Wir lassen zu diesem Zweck den Patienten zählen bzw. einen vorgelegten Text lesen. Hierdurch wird das Kind von der Unannehmlichkeit, die mit dem Einsetzen eines kieferorthopädischen Geräts verbunden ist, abgelenkt. Der Patient konzentriert sich auf die Lösung der gestellten Aufgabe, wodurch es zur Entspannung der mimischen Muskulatur kommt.

Sehr häufig hält das Kind bei diesen Sprechübungen die Kiefer fest geschlossen. Dies läßt sich am besten beheben, wenn man das Kind mehrmals einen langgezogenen A-Laut sprechen läßt. Dabei soll das Kind den Mund weit öffnen. Das Lippenschließen und Sprechen mit dem Gerät sollte man in der ersten Sitzung so lange durchführen, bis die Verspannung in der Muskulatur gelöst und die anfängliche Hemmung beim Sprechen behoben wurde. Da bei Verwendung der FR der Mundinnenraum frei bleibt von einengenden Plattenelementen, sind die Zungenbewegungen völlig unbehindert. Daher läßt sich schon nach wenigen Übungsminuten kaum noch eine Behinderung der Aussprache feststellen.

Sofern das Gerät richtig konstruiert wurde, kommt es auch schnell zu einer Adaptation der mimischen Muskulatur. In den meisten Fällen der Angle Klasse II und III läßt sich, sofern der Konstruktionsbiß richtig genommen wurde, nach dem Einsetzen des Geräts eine deutliche physiognomische Verbesserung feststellen.

An Hand eines Spiegels sollte Kind und Eltern gezeigt werden, daß wir mit Hilfe der Mundvorhofschilder die Gesichtsweichteile in Lage und Haltung vorteilhaft verändern können. So lernen sie begreifen, warum wir apparativ vom Mundvorhof aus eingreifen. Eine solche Aufklärung trägt zu einer schnellen Adaptation des Geräts bei und wirkt sich für die Kooperation sehr positiv aus.

Kommt es zu einer Verschlechterung des Gesichtsausdrucks, so ist das in der Regel ein sicheres Zeichen für eine unkorrekte Herstellung des Funktionsreglers. Nicht selten wurden mir in anderen Kliniken Geräte gezeigt, deren Schilder einen halben Zentimeter dick waren und den gleichen Betrag noch von den Außenflächen der Alveolarfortsätze abstanden. Man kann nicht erwarten, daß ein solches Gerät von dem Kind adaptiert wird. Es wird nicht als „*Funktionsregler*", sondern als „*Funktionsstörer*" empfunden. Man braucht sich dann nicht zu wundern, daß ein solches Gerät nicht getragen wird.

## Anleitung von Eltern und Kind für das Eintragen des Funktionsreglers

Eltern und Patient sind darüber aufzuklären, daß die Funktionsregler Präzisionsgeräte sind, deren Herstellung zeitraubend und kostspielig ist. Eine pflegliche Behandlung des Geräts ist daher dringend geboten. Es ist darauf hinzuweisen, daß eine Verbiegung des Funktionsreglers innerhalb des Mundes unmöglich ist. Deformierungen des Geräts ereignen sich nur außerhalb des Mundes und sind auf unsachgemäße Aufbewahrung zurückzuführen.
Dies läßt sich eindrucksvoll demonstrieren, indem man ein abgelegtes Gerät auf den Boden wirft. Infolge seiner Elastizität übersteht das Gerät eine solche Behandlung unbeschädigt. Auf diese Weise kann man Eltern und Kind die „Stabilität" des Geräts am besten vor Augen führen. Man erspart sich so unnötige Auseinandersetzungen mit den Eltern, wenn es später durch unsachgemäße Behandlung zu Verbiegungen des Geräts gekommen ist. Auf diese Weise wird ihnen auch klar, daß das Gerät sofort, wenn es aus dem Munde entfernt wird, in ein stabiles Behältnis gelegt werden soll. Hierfür hat sich eine passende Seifenschachtel als geeignet erwiesen.
Das Sauberhalten des Geräts geschieht mit einer weichen Zahnbürste und einem der üblichen Zahnpflegemittel bzw. Mundwasser. Da die Plattenteile der normalen Funktionsreglertypen den Zähnen nicht anliegen, besteht keine erhöhte Kariesanfälligkeit während der Behandlung. Jedoch sollte, wie bei jeder kieferorthopädischen Behandlung, auf eine besonders sorgfältige Mundpflege geachtet werden. Zahnkaries und ein hierdurch verursachter Verlust von Zähnen können den Erfolg einer kieferorthopädischen Behandlung zunichte machen.
Für das Eintragen des Geräts sollten Eltern und Kind besondere Instruktionen erhalten. In den ersten zwei Monaten der Eintragezeit sollten der FR I und FR II nachts nicht im Munde belassen werden. Während des Schlafs sind die sensorischen Funktionen herabgesetzt, wodurch es leicht zu Irritationen der Schleimhaut und zu einem Dekubitus kommen kann. In den ersten 14 Tagen sollte das Gerät während der Schularbeiten für 1–2 Stunden getragen werden. Bei dem FR I und dem FR II müssen die Eltern die Schleimhaut in der unteren frontalen Umschlagfalte regelmäßig kontrollieren. Bei stärkeren Rötungen bzw. beginnenden Läsionen sollte mit dem Tragen des Geräts einen Tag ausgesetzt bzw. der Kieferorthopäde aufgesucht werden. Ein Dekubitus in dieser Region muß auf jeden Fall vermieden werden.
Das Eintragen des FR III macht in der Regel keine Schwierigkeiten, sofern das Gerät richtig konstruiert wurde. Im übrigen ist auf die Notwendigkeit der Lippenschließgymnastik mit Nachdruck hinzuweisen, und es sind entsprechende Instruktionen zu geben, wie sie bereits früher erläutert wurden.
Bei der ersten Kontrollsitzung, die wir nach 14 Tagen durchführen, gilt unsere besondere Aufmerksamkeit der Mundschleimhaut. Eine leichte Rötung in der Umschlagfalte ist in der Eintragezeit eine häufige Begleiterscheinung, die nichts Alarmierendes an sich hat. Bei stärkeren Rötungen sind Sitz und Ränder der Mundvorhofplatten genau zu überprüfen und notfalls zu korrigieren.
Sofern keine stärkeren Adaptationsschwierigkeiten vorliegen, soll das Gerät für die nächsten zwei Wochen in langsamer Steigerung nachmittags bis zu

drei Stunden, im zweiten und dritten Monat den ganzen Nachmittag getragen werden. In der Regel läßt sich bei der dritten oder vierten Kontrollsitzung, also nach 2½–3 Monaten Eintragezeit, eine völlige Adaptation feststellen. Erst dann kann das Gerät auch in der Nacht getragen werden.
Im übrigen sei darauf hingewiesen, daß ein Funktionsregler spontan nicht aus dem Munde gleiten kann. Das „Verlieren" des Geräts während der Nacht tritt nur dann auf, wenn es vom Kind noch nicht genügend adaptiert wurde. Der Behelf wird als Fremdkörper empfunden und vom Kind im Halbschlaf entfernt. Hierdurch besteht die Gefahr, daß das Gerät während des Schlafs durch Auflegen verbogen wird. Falls dies im späteren Behandlungsverlauf geschieht, so ist das ein sicheres Zeichen, daß der Patient den Behelf tagsüber nicht trägt.
Grundsätzlich gilt, daß wir in den ersten drei Monaten der Behandlungszeit jede Überforderung des Patienten vermeiden sollten. Dies gilt vor allem bei den Dysgnathien, bei denen eine schwere Haltungsschwäche im Lippenbereich vorliegt. In diesen Fällen ist die Adaptation des Geräts immer schwierig.

**Praktische Hinweise für die aktive Behandlungsperiode**

Nach 2½–3 Monaten hat sich das Kind an den Funktionsregler gewöhnt, so daß von da ab die eigentliche aktive Phase der Behandlung beginnt. Es wurde bereits darauf hingewiesen, daß ein kieferorthopädischer Behelf nur dann zum Übungs- und Trainingsgerät wird, wenn er bei Tage getragen wird. Der beste Effekt ist daher dann zu erwarten, wenn das Gerät außerhalb der Mahlzeiten den ganzen Tag getragen wird. Hierüber sollten Kind und Eltern informiert werden. Wir geben daher grundsätzlich die Anweisung, den Funktionsregler außerhalb der Mahlzeiten den ganzen Tag im Munde zu belassen. Unsere Erfahrungen haben gezeigt, daß Abstriche von den Kindern selbst gemacht werden. Ein guter Erfolg kann noch erwartet werden, wenn das Gerät am Tage etwa 6–7 Stunden und die ganze Nacht getragen wird. Zur Kontrolle des Behandlungsverlaufs wird das Kind etwa alle 3–4 Wochen bestellt. Dabei muß das Gerät auf Sitz und Effektivität in der bereits geschilderten Weise überprüft werden. Bei Behandlung des Distalbisses ist zu kontrollieren, ob die intermaxilläre Abstützung des Geräts durch interdentale Einlagerung im oberen Seitenzahngebiet gewährleistet ist. Lagert sich die Eckzahnschlaufe bzw. der Protrusionsbogen durch das Herauswachsen der Eckzähne und Prämolaren zu tief in die Papillen ein, müssen sie etwas kaudalwärts abgebogen werden. Kommt es durch den Palatinalbügel zu einer Papillenirritation zwischen den zweiten oberen Prämolaren und Sechsjahrmolaren, so muß die Okklusalauflage etwas gegen die Kaufläche des Molaren umgebogen werden.
Besondere Aufmerksamkeit ist immer wieder der Schleimhaut des Mundvorhofs zu schenken. Rauhheiten an den Rändern der vestibulären Plattenelemente sind sofort zu beseitigen. Dies gilt besonders für die Unterlippenpelotten, deren Sitz regelmäßig überprüft werden muß.
Der Behandlungseffekt sollte in jeder Sitzung durch Messung festgestellt werden. Nach 2monatiger aktiver Behandlung müssen sich deutliche mor-

phologische Veränderungen in der Transversalen, Sagittalen und Vertikalen feststellen lassen, sofern das Gerät regelmäßig bei Tag und Nacht getragen wurde.

Bei den Distalbißfällen muß es in der aktiven Behandlungsphase spätestens nach drei Monaten zum Auftreten eines offenen Bisses im Seitenzahngebiet kommen. Dies ist ein sicheres Zeichen, daß sich die Haltefunktion, die für die Lage des Unterkiefers verantwortlich ist, umstellt. Dieses Symptom ist zugleich ein sehr zuverlässiger Indikator für die Mitarbeit des Patienten. Erst in der Schlußphase der aktiven Behandlung bzw. Retentionszeit kommt es zum okklusalen Schluß durch das Herauswachsen der Seitenzähne.

Die Behebung eines Distalbisses von einer halben Prämolarenbreite muß spätestens in 6 Monaten, bei anfänglichem Distalbiß von einer ganzen Prämolarenbreite spätestens in 9 Monaten Behandlungszeit erfolgt sein.

Gleiches gilt etwa für die Bißhebung. Um hierbei zu einem vollen Erfolg zu kommen, müssen die unteren Lingualbögen in der Schlußphase der aktiven Behandlungszeit bzw. Retentionszeit den Tuberkula der unteren Schneidezähne unter vertikaler Druckbelastung anliegen. In gleicher Weise verfährt man mit dem oberen Protrusionsbogen, sofern er zur Anwendung kommt.

Der obere Labialbogen und die unteren Lingualbögen sollen bei Protrusion der oberen bzw. Retrusion der unteren Schneidezähne nur sehr vorsichtig und langsam aktiviert bzw. nachgestellt werden. Arbeitet man in der Front zu stark „aktiv", so kann man zwar eine abwegige Schneidezahnstufe sehr schnell beheben, eine saubere Einstellung des Unterkiefers in den Neutralbiß wird aber nicht möglich sein.

Im übrigen muß bei jeder Aktivierung des Labialbogens des FR II der Protrusionsbogen entsprechend zurückgenommen werden.

Der Behandlungseffekt einer funktionellen Kieferorthopädie sollte aber nicht nur nach morphologischen Gesichtspunkten bewertet werden. Es ist daher in jeder Sitzung zu überprüfen, inwieweit es zur Umerziehung der orofazialen Muskulatur gekommen ist. Wir beobachten das Kind bei mimischen Funktionen, lassen es Sprechen und Schlucken und, was besonders wichtig ist, lassen die Lippen schließen. Wir können dabei feststellen, ob das Gerät regelmäßig getragen und die Lippenschlußübungen sorgfältig durchgeführt wurden. Im Laufe der Behandlung muß sich deutlich abzeichnen, daß sich die Mentalisaktivität abschwächt bzw. als Hilfsfunktion beim Lippenschluß nicht mehr in Erscheinung tritt. Dem Kind sollten physiognomische Verbesserungen, die sich zum Anfangsfoto ergeben, im Spiegel vor Augen geführt werden. Eine Verbesserung des Gesichtsausdrucks ist für die meisten Kinder ein Erfolgserlebnis, dessen Wert für die weitere Mitarbeit und den Erfolg der Behandlung nicht hoch genug eingeschätzt werden kann.

## Reparaturen der Funktionsregler

Brüche der vestibulären Kunststoffschilder sind außerordentlich selten. Sie ereignen sich nur, wenn das Gerät außerhalb des Mundes einer starken Gewalteinwirkung ausgesetzt ist. Auch Drahtbrüche sind verhältnismäßig selten. Sie werden vorwiegend an den Stellen beobachtet, an denen sie in

die Kunststoffschilder einmünden. Die Ursache hierfür liegt in einer fehlerhaften Biegetechnik. Bei zu scharfem, rechtwinkligem Abbiegen des Drahts wird seine Widerstandsfähigkeit überfordert. Dieser Fehler wird vor allem beim Biegen des Verbindungsbogens V 3 gemacht, der den Lingualschild mit dem Seitenschild verbindet.

In den meisten Fällen bedarf es bei der Bruchreparatur der Verbindungs-, Protrusions-, Labial- und Palatinalbögen keines Abdrucks. Es gelingt meistens, die Drahtenden an der Bruchstelle in richtiger Position zusammenzufügen und mit Klebewachs zu fixieren. Um ein Verziehen des Gerätes zu vermeiden, wird es vorsichtig in einem Klecks Gips, der ziemlich dünn angerührt werden muß, eingebettet. Überschüssiger Gips wird vor der Aushärtung weggestrichen, damit das gebrochene Drahtelement freiliegt. Dieses wird dann entfernt bzw. aus dem Seitenschild herausgebohrt. Danach kann ein neues Drahtelement in gleicher Form gebogen und mit schnellhärtendem Kunststoff im Seitenschild befestigt werden.

Bei Neuanfertigungen von Lingualbögen im Unterkiefer, einer Eckzahnschlaufe, in einzelnen Fällen auch bei Reparatur eines Protrusionsbogens im Oberkiefer macht sich ein Calcinatabdruck erforderlich. Dabei bringt man zunächst die Abdruckmasse in den Mund ein und drückt den Funktionsregler nach Einfügen jeweils dem Oberkiefer bzw. Unterkiefer an. Bis zum Abbinden der Abdruckmasse muß der Funktionsregler in korrekter Stellung mit den Händen fixiert werden.

Wie schon mehrfach erwähnt, sollte bei jeder Kontrollsitzung den unteren Lippenpelotten besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden. Wenn diese von den Außenflächen des Alveolarfortsatzes abstehen, so liegt das in den meisten Fällen an einem fehlerhaften Konstruktionsbiß. Die Protraktoren sind nicht in der Lage, den Unterkiefer in stärkerer Vorschubstellung zu halten. In der Nacht sinkt dann der Unterkiefer und mit ihm der Lingualschild zurück. So kommt es zum Verbiegen der Verbindungsdrähte V 3, wodurch sich die abstehenden Unterlippenpelotten erklären. In diesem Falle hilft uns keine Reparatur weiter. Es muß ein neues Gerät angefertigt werden.

Eine Dislokation der Unterlippenpelotten kann aber auch durch unsachgemäße Aufbewahrung bzw. ungenügendes Tragen des Geräts zustande kommen. In diesen Fällen ist dringend davon abzuraten, die Fehllage der Unterlippenpelotten durch Biegen der Verbindungsdrähte zu korrigieren. Dies führt mit Sicherheit zum Verbiegen des ganzen Geräts, es wird unbrauchbar. Das Gerät läßt sich nur durch eine Neuanfertigung der Lippenpelotten wieder funktionstüchtig machen. Dabei hat sich folgendes Vorgehen bewährt. Mit einem Fissurenbohrer wird der Verbindungsdraht V 1 (s. Abb. 63) aus den beiden Lippenpelotten gelöst. Ihr Sitz kann dann meist durch entsprechendes Biegen der Verbindungsbögen V 2 in der von uns gewünschten Weise korrigiert werden. Der Verbindungsdraht V 1 wird nach Einbettung des Geräts in einem kleinen Gipssockel mit Hilfe von schnellhärtendem Kunststoff wieder eingefügt.

Lassen sich die Lippenpelotten nach Auslösen des Verbindungsdrahtes V 1 nicht zum korrekten Sitz bringen, muß ein Calcinatabdruck vom unteren frontalen Vestibulum bei eingesetztem Gerät gemacht werden. Das Arbeits-

modell muß wie bei Neuanfertigung des FR I in der Region der Umschlagfalte vorschriftsmäßig radiert werden (s. Abb. 48). Danach lassen sich neue Unterlippenpelotten auf dem Arbeitsmodell herstellen. Die Arbeitszeit vom Abdruck bis zum Einsetzen des Geräts beträgt etwa eine Stunde. Aus diesem Grunde sollte von dieser Reparaturmöglichkeit immer Gebrauch gemacht werden, wenn der Sitz der Unterlippenpelotten nicht mehr korrekt ist. Diese Verfahrensweise bietet auch die Möglichkeit, ein verbogenes Gerät wieder funktionstüchtig zu machen. Nach Entfernung des Verbindungsdrahts V 1 läßt sich in vielen Fällen der Funktionsregler wieder zu korrektem Sitz bringen. Danach werden neue Lippenpelotten angefertigt, wobei in gleicher Weise wie oben verfahren wird.

**Behandlungsabschluß und Retention**

Wie bereits ausgeführt, sollte die Dauer der aktiven Behandlungsphase, in der das Gerät wenigstens 7 Stunden am Tage und die ganze Nacht getragen werden sollte, nicht länger als zwei Jahre betragen. In dieser Zeit lassen sich auf Grund unserer Erfahrungen die Gebißunregelmäßigkeiten auch schwerer Dysgnathien korrigieren. Stärkere skelettale Deformitäten des Gesichtsskeletts benötigen längere Zeit für den Umbau. So kommt es bei der Behandlung der mandibulären Retrognathie noch in der Retentionsphase zu Umbauprozessen im Unterkiefer. Auch bei schwierigen Fällen der Progenie und des skelettalen offenen Bisses lassen sich mit Hilfe fernröntgenologischer Longitudinaluntersuchungen während der Retention noch erhebliche Umbauprozesse im Gesichtsskelett nachweisen. Bei der Behandlung schwerer Dysgnathieformen halten wir daher eine Retention von 1½–2 Jahren für erforderlich. Wenn wir eine Frühbehandlung im Alter von etwa 7½ Jahren eingeleitet haben, muß die Retention des Behandlungserfolgs auf jeden Fall bis zum Durchbruch der Prämolaren und bleibenden Eckzähne erfolgen. Grundsätzlich fungiert der zuletzt getragene Funktionsregler, sofern er nicht unbrauchbar geworden ist, als Retentionsgerät.

Der Erfolg einer funktionellen Therapie läßt sich aber nicht nur nach morphologischen Gesichtspunkten abschätzen. Bei einer funktionellen Orthopädie muß der Nachweis erbracht werden, daß auch die funktionellen Abwegigkeiten, die für die Entstehung der Dysgnathie ursächlich von Bedeutung waren, behoben werden konnten. Bei der Behandlung der Distalbißfälle ist zu überprüfen, ob der Patient den Unterkiefer aus der neu gewonnenen Neutralbißstellung zurückführen kann. Das Symptom des Doppelbisses darf auf keinen Fall in Erscheinung treten. Dies wäre ein sicheres Zeichen, daß das Ziel der funktionellen Behandlung nicht erreicht wurde. Das heißt, die Dysbalance zwischen Protraktoren und Retraktoren konnte nicht korrigiert werden, wodurch die Stabilität des morphologischen Erfolgs in Frage gestellt wird.

Nach Behandlung des Deckbisses muß überprüft werden, ob der Tiefbiß und vor allem die charakteristischen Abwegigkeiten im Weichteilmilieu behoben werden konnten. Nach einer gelungenen funktionellen Therapie muß es zu einer signifikanten Korrektur des Weichteilprofils im unteren Gesichtsdrittel gekommen sein. Das Weichteilkinn mit dem Symptom der

exzessiven Aktivität des Mentalismuskels muß eine deutliche Rückbildung erkennen lassen. Da beim Deckbiß die genetische Veranlagung im Weichteilmilieu zu suchen ist, sollte die Retentionszeit in schwierigen Fällen bis zum Ende der Pubertät ausgedehnt werden. Das heißt, der Funktionsregler sollte als Retentionsgerät nachts noch für längere Zeit getragen werden. Die Pubertät ist eine labile Entwicklungsperiode, in der sich die abwegigen Funktionsmuster des Deckbisses wieder einstellen können.

Das wichtigste Kriterium für den Erfolg einer funktionellen Orthopädie im orofazialen Bereich ist das Erreichen eines kompetenten Lippenschlusses. Der *offene Mund* als das Symptom des Entwicklungsrückstandes, der ausgebliebenen Reifung, ist ein zentrales Problem der funktionellen Orthopädie. Konnte die Haltungsschwäche in der orolabialen Zone nicht behoben werden, so besteht für den morphologischen Erfolg hohe Rezidivgefahr. Bei der Überprüfung der Behandlungsergebnisse sollten wir uns keiner Selbsttäuschung hingeben. Die Kinder wissen genau, daß der Kieferorthopäde von ihnen erwartet, daß sie die Lippen geschlossen halten. Bei Eintritt in den Behandlungsraum wird daher regelmäßig ein geschlossener Mund demonstriert. Am besten verfährt man so, daß man das Kind im Wartezimmer von einer Schwester unauffällig beobachten läßt. Auf diese Weise kommt man zu einer objektiven Feststellung, ob mit Hilfe der Lippenschließgymnastik ein spannungsnormaler Lippenschluß erreicht werden konnte. Diese Feststellung ist vor allem wichtig in Fällen, bei denen das Muster der mandibulären Rückwärtsrotation vorliegt, ganz besonders beim skelettalen offenen Biß. In diesem Zusammenhang sei noch einmal auf die Untersuchungen von Bosma hingewiesen. Danach läßt sich annehmen, daß, wenn wir die Haltungsfehler in der orolabialen Zone beheben konnten, auch die Dysbalancen der gesamten orofazialen Muskulatur korrigiert werden konnten. Der spannungsnormale Lippenschluß am Abschluß der Behandlung ist das wichtigste Kriterium für den Erfolg einer funktionellen Kieferorthopädie und gibt uns Auskunft, wann das Gerät abgesetzt werden kann.

# Literaturverzeichnis


Altmann, K.: Zur kausalen Histogenese des Knorpels – W. Roux's experimentelle Wirklichkeit. Springer, Berlin-Göttingen-Heidelberg-New York 1964.

Angelis de, V.: Observations on the response of alveolar bone to orthodontic force. Amer. J. Orthodont. **58** (1970): 284.

Angle, E. H.: Behandlung der Okklusionsanomalien der Zähne. Hermann Meusser-Verlag, Berlin 1908.

Ballard, C. F.: Variations of posture and behavior of the lips and tongue which determine the position of the labial segments: The implications in orthodontics, prosthetics and speech. Trans. Europ. Orthod. Soc. (1965): 67–93.

Balters, W.: Allgemeines zur Atmung und zur Atmungsstörung. Fortschr. Kieferorthop. **15** (1954): 193.

– Auszug aus „Leitfaden der Bionatortechnik". Handabzug 1964.

Bassett, C. A., und Becker, R. O.: Generation of electric potentials by bone in response to mechanical stress, Science **137** (1962): 1063. Electric effects in bone. Sci. Amer. **213** (1965): 18.

Baume, L. J.: Zur Biologie des Milch- und Wechselgebisses. Schweiz. Mschr. Zahnheilk. (1943): 927.

Björk, A.: Variations in the growth pattern of the human mandible: Longitudinal radiographic study by the implant method. J. dent. Res. **42** (1963): 400.

– zit. bei Lieb: Fortschr. Kieferorthop. **29** (1968): 334.

– and Skieller, V.: Roentgencephalometric Growth Analysis of the Maxilla. Trans. Europ. Orthod. Soc. (1977): 51–56.

Bosma, J. F.: Form and function in the mouth and pharynx of the human infant. In: Control Mechanism in Craniofacial Growth, Monograph Nr. 3, Craniofacial Growth Series: 9–23, Center for Human Growth and Development, The University of Michigan, Ann Arbor, 1975.

Braun, F.: A contribution ot the problem of bronchial asthma and extension of the palatine suture. Trans. Europ. Orthod. Soc. (1966): 361.

Breitner, C.: zit. bei Schwarz.

Brodie, A. G.: zit. bei Lieb: Fortschr. Kieferorthop. **29** (1968): 334.

Charlier, J.-P., Petrovic, A., und Mitarb.: Effects of mandibular hyperpropulsion on the prechondroblastic zone of young rat condyle. Amer. J. Orthodont. **55** (1969): 71.

– – Herrmann-Stutzmann, J.: Effects of mandibular hyperpropulsion on the prechondroblastic zone of young rat condyle. Am. J. Orthodont. **55** (71–74): 1969.

Dass, H.: Der Lippenaktivator. Dtsch. zahnärztl. Z. **16** (1961a): 45.

Delaire, J.: The potential role of facial muscles in monitoring maxillary growth and morphogenesis. In: Muscle Adaptation in the Craniofacial Region. Monograph Nr. 8: 157–180, Craniofacial Growth Series, Center for Human Growth and Development, The University of Michigan, Ann Arbor, 1978.

Dullemeijer, P.: Methodology in cranio-facial biology. Proceedings of the Craniofacial Conference, Nijmegen, 1–32, Swets and Zeitlinger B. C. 1972.

– Concepts and approaches in animal morphology. Van Gorcum & Comp. B. V., Assen, The Netherlands, 1974.

Duterloo, H. S., and Bierman, M. W. J.: Structural changes in alveolar bone during the development of the dentition. Trans. Europ. Orthod. Soc.: (1976): 1–7.

– – Morphological changes in alveolar bone during development of the dentition in man. In: The Biology of Occlusal Development. Monograph Nr. 7: 243–253, Craniofacial Growth Series, Center for Human Growth and Development, The University of Michigan, Ann Arbor, 1977.

Duyzings, J. A. C.: Form und Funktion in Zusammenhang mit dento-maxillärer facialer, cranialer und cervikaler Orthopädie. Orthodontische Studienweek (1960): 48.

- Nasenatmung bzw. Mundatmung und ihre Folgen für die Form des Gesichtes wie auch die Form und Funktion des Gesamtkörpers. Fortschr. Kieferorthop. **24** (1963): 289.

Eckert-Möbius, A.: Lehrbuch der Hals-, Nasen- und Ohrenheilkunde. 3. Aufl., Thieme, Leipzig 1968.

Enlow, D. H.: Wolff's law and the factor of architectonic circumstance. Amer. J. Orthodont. **54** (1968): 803.

Eschler, J.: Die funktionelle Orthopädie des Kausystems. Carl-Hanser-Verlag, München 1952.

Falck, F.: Vergleichende Untersuchungen über die Entwicklung der apikalen Basis nach kieferorthopädischer Behandlung mit der aktiven Platte und dem Funktionsregler. Fortschr. Kieferorthop. **30** (1969): 225.

– Röntgenologische Längsschnittuntersuchungen bei Deckbiß-Trägern unter besonderer Berücksichtigung von Keimlage und Topogenese der bleibenden Frontzähne. Inaugural-Dissertation, Leipzig 1969.

– und Fränkel, R.: Die labiale Alveolenwand unter dem Einfluß des durchbrechenden Schneidezahns. Eine fernröntgenologische Längsschnittuntersuchung. Fortschr. Kieferorthop. **34** (1973): 37–47.

– Möglichkeiten der sagittalen Nachentwicklung maxillärer Strukturen mit dem Funktionsregler Typ III. Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde **69** (1981): 465–471.

Fanghänel, J., Schumacher, G.-H., Schultz, E.: Wachstumsveränderungen am Schädel im Lichte quantitativer Untersuchungsmethoden. Oral-Anatomie, Teil I: 22–25. Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, 1980.

Farrar, J. N.: A treatise on the irregularities of the teeth and their corrections. Zitiert bei Baumrind. Amer. J. Orthodont. **56** (1969): 12.

Fränkel, Christine: Funktionelle Aspekte des skelettal offenen Bisses – eine fernröntgenologische Longitudinaluntersuchung. Promotion an der Universität Jena, 1980.

Fränkel, R.: Luftdruck, Atmung und die orofazialen Weichteile. Dtsch. Zahn-, Mund- und Kieferheilk. **43** (1964): 367–373.

– Die Dynamik des interokklusalen Unterdruckes. Dtsch. Zahnärztl. Z. **22** (1967): 22.

– Funktionskieferorthopädie und der Mundvorhof als apparative Basis. Volk u. Ges., Berlin 1967.

– The treatment of Class II, Division 1 malocclusion with functional correctors. Amer. J. Orthodont. **55** (1969): 265.

– The functional matrix and its practical importance in orthodontics. Trans. Europ. Orthod. Soc. (1969): 207–218.

– The guidance of eruption without extraction. Trans. Europ. Orthol. Soc. (1971): 303–315.

– Decrowding during eruption under the screening influence of vestibular shields. Am. J. Orthod. (1974): 65.

– Lip seal training in the treatment of skeletal open bite. Europ. J. Orthod. **2** (1980): 219–228.

Fränkel, R.: A functional approach to orofacial orthopedics. British J. Orthod. **6** (1980): 41–51.
– und Falck, F.: Zahndurchbruch und Vererbung beim Deckbiß. Fortschr. Kieferorthop. **28** (1976): 175.
– und Fränkel, Chr.: Funktionelle Aspekte des skelettalen offenen Bisses. Eine fernröntgenologische Longitudinaluntersuchung von unbehandelten und mit Funktionsreglern behandelten Fällen. Fortschr. Kieferorthop. **43** (1982): 8–18.
– und Riedrich, P.: Das kondyläre Wachstum im Lichte neuer experimenteller Forschungsergebnisse – Eine Literaturübersicht. „Deutsche Stomatologie" **6** (1973): 452–462.
– und Reiss, W.: Zur Problematik der Unterkiefernachentwicklung bei Distalbißfällen, Fortschr. Kieferorthop. **41** (1970): 345.
Gershater, M. N.: The psychological dimension in orthodontic diagnosis and treatment. Am. J. Orthod. **54** (1968): 327–338.
– The proper perspective of open bite. Angle Orthod. **42** (1972): 263–272.
Gillooly, C. J., und Mitarb.: Electric potentials recorded from mandibular alveolar bone as a result of forces applied to the tooth. Amer. J. Orthodont. **54** (1968): 649.
Gould, M. S. E., und Picton, D. C. A.: Sub-atmospheric pressures and forces recorded from the labiobuccal surfaces of teeth during swallowing in adult males. Brit. J. Orthod. **2** (1975): 121–125.
Graf, F.: Funktionelle Kräfte bei bimaxillären Regulationsapparaten. Dissert. Universität Bern, 1962.
Greven, H.: Tierexperimentelle Untersuchungen zum Pneumatisationsproblem. Arch. f. Ohren-, Nasen- u. Kehlkopfkrh. Springer, Berlin-Göttingen-Heidelberg 1955.
Harlow, H. F.: „Primary Affectional Patterns in Primates". American Journal of Orthopsychiatry **30** (1960): 676–677.
– Harlow, M. K., und Hansen, E. W.: The Maternal Affectional System of Rhesus Monkeys. In: H. L. Rheingold (ed.): Maternal Behavior in Mammals, New York: 1963: 277–278.
Harvold, E. P.: The role of functions in the etiology and treatment of malocclusion. Amer. J. Orthodont. **54** (1968): 883.
– Experiments on mandibular morphogenesis. Craniofacial Growth Series, ed. by McNamara, J. A.: Center for Human Growth and Development, Ann Arbor, Monograph Nr. 4 (1975): 155–178.
Hotz, R.: Orthodontie in der täglichen Praxis. Huber, Bern-Stuttgart-Wien 1970.
Kingsley, N.: zit. bei Baumrind: Amer. J. Orthodont. **55** (1969): 12.
Körbitz, A.: Kursus der systematischen Orthodontie. 2. Aufl. Verlag H. Licht, Leipzig 1914.
Korkhaus, G.: Moderne orthodontische Therapie. Verlag Hermann Meusser, Berlin 1932.
– und Neumann, B.: Das Kieferwachstum während des Schneidezahnwechsels und die orthodontische Frühdehnung. Fortschr. Orthodont. **1** (1931): 32.
Koski, K., und Rönning, O.: Growth potential of transplanted components of the mandibular ramus of the rat. III. Suom. Hammaslääk. Toim. **61** (1965): 292–297.
Kraus, F.: Prevence a Naprava Vyvojochcy Vad Orofacialni Soustavy. Verlag Statni Zdravotnicke Nakladetelstvi, Praha 1956.
– Die Analyse der funktionsbedingten Okklusionsanomalien im Milchgebiß. Dtsch. Stomat. **7** (1957): 673.
Kressner, A.: Maxillary Orthopaedics and Otorhinolaryngology. Trans. Europ. Orthop. Soc. (1966): 355.
– Rhinologische Gesichtspunkte zu kieferorthopädischen Maßnahmen. Fortschr. Kieferorthop. **17** (1956): 1.

Lindemann, K., u. a.: Lehrbuch der Krankengymnastik. Bd. I, 2. Aufl., Thieme, Stuttgart 1963.
Linder-Aronson, S.: Adenoids – their effects on mode of breathing and nasal airflow and their relationship to characteristics of the facial skeleton and the dentition. Acta Oto-larying., Stockh. (1970): 265.
– Respiratory function in relation to facial morphology and the dentition. Brit. J. Orthod. **6** (1979): 1–13.
Link, R. U., Handl, K.: Tubenfunktion und Pneumatisation des Mittelohres. Arch. f. Ohren-, Nasen- und Kehlkopfkrh. Springer, Berlin-Göttingen-Heidelberg 1954.
McNamara, J. A.: Jr. Neuromuscular and skeletal adaptation to altered function in the orofacial region. Am. J. Orthod. **64** (1973): 578–606.
– Histological Studies of Temporomandibular Joint Adaptations. In: Determinants of Mandibular Form and Growth Monograph Nr. 4, Craniofacial Growth Series Center for Human Growth and Development. The University of Michigan, Ann Arbor, 1975.
– Quantitative analysis of temporomandibular joint adaptations to protrusive function. Am. J. Orthod. (1979): 6.
– Components of class II malocclusions in children 8–10 years of age. Angle Orthod. **51** (1981): 177–202.
Moffet, B. C.: Friel Memorial Lecture. Congress of the Europ. Orthod. Soc., Gothenburg 1981.
Moorrees, C. F. A.: Dental development – a growth study based on tooth eruption as a measure of physiologic age. Trans. Europ. Orthod. Soc. 1964.
– Normal variation in dental development determined with reference to tooth eruptions status. J. dent. Res. **44** (1965): 161.
– Available space for the incisors during dental development – A growth study based on physiologic age. Angle Orthodont. **35** (1965): 12.
Moss, M. L.: The primary role of functional matrices in facial growth. Amer. J. Orthodont. **55** (1959): 566.
– Vertical growth of the human face. Amer. J. Orthodont. **50** (1964): 359.
– The primacy of functional matrices in orofacial growth. Dental Practit. dent. Rec. **19** (1968): 65.
– The differential roles of periosteal and capsular functional matrices in oro-facial growth. Trans. Europ. Orthod. Soc. **45** (1969): 193–206.
– Genetics, epigenetics, and causation. Am. J. Orthod. **80** (1981): 366–375.
– und Moss-Salentijn, L.: The muscle-bone interface: A analysis of a morphological boundary. In: Muscle Adaptation in the Craniofacial Region. Mc.Namara. Monograph Nr. 8: 39–72, Craniofacial Growth Series, Center for Human Growth and Development, The University of Michigan, Ann Arbor, 1978.
Moyers, R. E.: Handbook of Orthodontics. Year Bock Medical Publishers Incorp., 1973.
– Skeletal contributions to occlusal development. In: The Biology of Occlusal Development. Monograph Nr. 7: 89–111, Craniofacial Growth Series, Center for Human Growth and Development, The University of Michigan, Ann Arbor, 1977.
– und Mitarb.: Experimental production of Class II in rhesus monkeys, Trans Europ. Orthod. Soc. 1970, 61.
Nahoum, H. J.: Vertical proportions and the palatal plane in anterior open – bite. Am. J. Orthod. **59** (1971): 273–282.
– Anterior Open Bite: A cephalometric analysis and suggested treatment procedures. Am. J. Orthod. **67** (1975): 513–521.
Neumann, B.: Siehe Korkhaus.
Noltemeier, H.: Einführung in die allgemeine Kiefer- und Gesichtsorthopädie, Band I. Buchdruckerei P. Dobler, Alfeld 1949a.
– Einführung in die spezielle Kiefer- und Gesichtsorthopädie, Band II. Buchdruckerei P. Dobler, Alfeld 1949b.

Nord, Ch. F. L.: Die Vorhofplatte. Fortschr. Kieferorthop. **18** (1957): 122.
Ojala, L.: Pneumatisation of the bone and environmental factor. Acta oto-laryng. Helsinki 1957.
Pauwels, F.: Grundriß einer Biomechanik der Frakturheilung. Verh. Dtsch. orthop. Ges. **34** (1940): 62.
– Eine neue Theorie über den Einfluß mechanischer Reize auf die Differenzierung des Stützgewebes. Z. Anat. Entwickl.-Gesch. **121** (1960): 478.
Petrovic, A.: Siehe Charlier.
– N. Gasson, C. Oudet: Wirkung der übertriebenen posturalen Vorschubstellung des Unterkiefers auf das Kondylenwachstum der normalen und der mit Wachstumshormon behandelten Ratte. Fortschr. Kieferorthop. **36** (1975): 86.
– und Stutzmann, J.: Experimentelle Untersuchung der kieferorthopädischen Beeinflußbarkeit des Gesichtswachstums. Fortschr. Kieferorthop. **41** (1980): 212–222.
– – Ozerivic, B., und Vidovic, Z.: Does the Fränkel appliance produce forward movement of mandibular premolars? Europ. J. Orthod. **3** (1982): 173–182.
Proffit, W. R.: Equilibrium theory revisited: factors influencing position of the teeth Angle Orthod. **48** (1978): 175–186.
Reiss, W.: Siehe Fränkel.
Rennert, H., und Quandt, J.: Werkzeug und Symbol – der Mund in psychologischer und psychiatrischer Sicht. Beiträge zur Zahnheilkunde und ihren Grenzgebieten. S. 115. Barth, Leipzig 1962.
Roux, W.: Entwicklungsmechanik der Organismen, Band I und II. Verlag W. Engelmann, Leipzig 1895a.
Salvo Di, N. A.: Neuromuscular mechanism involved in mandibular movement and posture. Amer. J. Orthodont. **47** (1961): 330.
– Physiology of occlusion, mastication, and deglutition in „The nature of orthodontic diagnosis" p. 110 von Horowitz and Hixon. C. V. Mosby Company. Saint Louis 1966.
Schönherr, E.: Kieferorthopädische Frühbehandlung und Prophylaxe unter besonderer Berücksichtigung der Mundvorhofplatte. Dtsch. Stomat. **4** (1956): 1.
– Kieferorthopädische Frühbehandlung. Dtsch. zahnärztl. Z. **15** (1960): 227.
Schumacher, G.-H.: Der Maxillo-Mandibuläre Apparat unter dem Einfluß formgestaltender Faktoren. Barth, Leipzig 1968.
Schultz, J. H.: Dtsch. zahnärztl. Z. **16** (1961): 1459.
Schwarz, A. M.: Lehrgang der Gebißregelung, Band I und II. 2. Aufl. Verlag Urban & Schwarzenberg, Wien-Innsbruck 1956.
Skieller, V.: Cephalometric Growth Analysis in Treatment of Overbite. Trans. Europ. Orthodont. Soc. (1967): 147–158.
Solow, R., und Tallgren, A.: Craniocervical posture in relation to skeletal and dentoalveolar morphology. Trans. Europ. Orthod. Soc. (1975): 111–115.
Spitz, R.: „The First Year of Life". International Universities Press, New York 1965.
Stricker, G., u. a.: Psychosocial aspects of craniofacial disfigurement: A "State of the Art" assessment conducted by the Craniofacial Anomalies Program Branch, The National Institute of Dental Research. Am. J. Orthod. **76** (1979): 410–422.
Stöckli, P. W., und Mitarb.: Tissue reactions in the temporomandibular joint resulting from anterior displacement of the mandible in the monkey. Amer. J. Orthodont. **60** (1971): 142.
Subtelny, J. D.: Malocclusion, orthodontic corrections and orofacial muscle adaptation. Angle Orthodont. **40** (1970): 170.
Tayer, B. H., und Mitarb.: Visualization of cellular dynamics associated with orthodontic tooth movement. Amer. J. Orthodont. **54** (1968): 515.
Tulley, W. J.: A critical appraisal of tongue-thrusting. Amer. J. Orthodont. **55** (1969): 640.

Utley, R. K.: The activity of alveolar bone incident to orthodontic tooth movement as studied by oxytetracycline-induced fluorescence. Amer. J. Orthodont. **54** (1968): 167.

Van der Klauuw, C. J.: Size and position of the functional components of the skull. A contribution to the knowledge of the architecture of the skull, based on data in the literature. Arch. Néerl. Zool. **9** (1948–1952): 1–558.

Van der Linden, F. P. G. M., und Duterloo, H. S.: Development of the Human Dentition. Harper and Row, New York 1976.

Walkhoff: zit. bei A. M. Schwarz: Lehrgang der Gebißregelung. Verlag Urban & Schwarzenberg, Wien-Innsbruck 1956.

Willert: Siehe Stöckli.

Wolff, J.: zit. bei W. Roux 1895.

– Ueber die innere Architektur des Knochens. Virchow Arch. Path. Anat. **50** (1870): 389–453.

5.3.1.2 Die Lippenpelotten des FR-3 . . . 32
5.3.2 Der FR-3 als orthopädisches Übungsgerät zur Behebung der intermaxillären Fehlbeziehung . . . 33
5.4 Der Funktionsreglertyp FR-4 . . . 35

**6 Allgemeine Hinweise für die Indikation der Funktionsregler . . . 37**

6.1 Zur Indikation des FR-1 . . . 39
6.2 Zur Indikation des FR-2 . . . 39
6.3 Zur Indikation des FR-3 . . . 40
6.4 Zur Indikation des FR-4 . . . 40
6.5 Zur Indikation des Funktionsreglers als Retentionsgerät . . . 40

**7 Diagnostische Kriterien bei der kieferorthopädischen Befunderhebung . . . 41**

7.1 Grundsätzliche Bemerkungen . . . 41
7.2 Psychosomatische Aspekte in der kieferorthopädischen Diagnostik . . . 44
7.3 Die klinische Befunderhebung in der kieferorthopädischen Diagnostik 47
7.4 Kasuistische Beispiele für die klinische Diagnostik . . . 48

**8 Die Bedeutung des Fernröntgenbildes in der Kieferorthopädie . . . 57**

8.1 Die diagnostische Bedeutung des Fernröntgenbildes . . . 57
8.2 Die kephalometrische Erfolgsbewertung in der Kieferorthopädie . . . 58
8.3 Das okzipitale Referenzsystem nach Fränkel unter Berücksichtigung der natürlichen Kopfhaltung . . . 59
8.4 Die praktische Anwendung des okzipitalen Referenzsystems bei der kieferorthopädischen Erfolgsbewertung . . . 62

**9 Hinweise zur Motivation und Kooperation . . . 66**

9.1 Ästethische Gesichtspunkte für Motivation und Kooperation . . . 67
9.2 Allgemeingesundheitliche Aspekte der Nasenatmung für Motivation und Kooperation . . . 69

**10 Technische Herstellung des Funktionsreglers . . . 71**

10.1 Abdrucknahme und Herstellung der Arbeitsmodelle . . . 71
10.2 Bißnahme und Einstellung der Arbeitsmodelle in den Fixator . . . 72
10.3 Der Funktionsreglertyp FR-1 . . . 73
10.3.1 Radierung der Arbeitsmodelle . . . 73
10.3.1.1 Radieren des Oberkiefermodells . . . 73
10.3.1.2 Radieren des Unterkiefermodells . . . 75
10.3.2 Das Wachsfutter . . . 76







10.3.3 Herstellung der Drahtelemente . . . 77
10.3.3.1 Drähte für den FR-1 im Oberkieferbereich . . . 78
10.3.3.2 Drähte für den FR-1 im Unterkieferbereich . . . 81
10.3.4 Herstellung der Kunststoffschilde . . . 85
10.4 Der Funktionsreglertyp FR-2 . . . 86
10.5 Der Funktionsreglertyp FR-3 . . . 87
10.6 Der Funktionsreglertyp FR-4 . . . 91

**11 Allgemeine Hinweise für die klinische Anwendung des Funktionsreglers . . . 93**

11.1 Beginn der Behandlung . . . 93
11.2 Einfügen des Funktionsreglers . . . 94
11.3 Anleitung von Eltern und Kind für das Eintragen des Funktionsreglers . . . 97

**12 Der Funktionsregler bei der Behandlung von Fehlentwicklungen im dentoalveolären Bereich . . . 99**

12.1 Die epigenetische Steuerung von Wachstum und Formentwicklung im dentoalveolären Bereich . . . 100
12.2 Das Konzept der epigenetischen Hypothese als Arbeitsgrundlage für die Behandlung dentoalveolärer Fehlentwicklungen mit Hilfe des Funktionsreglers . . . 104
12.3 Fallbeispiele . . . 106
12.4 Längsschnittuntersuchungen . . . 116
12.4.1 Der Effekt der Bukkalschilde des Funktionsreglers auf die Durchbruchsrichtung der bleibenden Eckzähne und Prämolaren . . . 116
12.4.2 Langzeitbeobachtung zur Bewertung der Stabilität der mit Funktionsreglern erzielten Weitung der dentoalveolären Bögen . . . 119
12.4.3 Die Problematik der Kinnentwicklung beim Menschen; eine vergleichende fernröntgenologische Longitudinaluntersuchung . . . 120
12.4.4 Abschließende Bemerkungen zur klinischen Problematik dentoalveolärer Fehlentwicklungen . . . 121

**13 Der Funktionsregler bei der Behandlung der mandibulären Retrusion 123**

13.1 Die Bedeutung skelettaler Diskrepanzen für die Entstehung des Distalbisses . . . 123
13.2 Die Bedeutung des kondylären Wachstums für die Kieferorthopädie . . . 124
13.3 Der Umbau zwischen Ramus und Corpus mandibulae . . . 128
13.4 Die Bedeutung der Translation für die Entwicklung des Unterkiefers . . . 129
13.5 Prinzipien einer funktionellen Behandlung der mandibulären Retrusion . . . 131
13.6 Fallbeispiele . . . 134
13.6.1 Langzeitbeobachtung unbehandelter Fälle . . . 134

# Der Funktionsregler in der orofazialen Orthopädie

von
Christine Fränkel und Rolf Fränkel

Mit 164 Abbildungen und 44 Tabellen

AVI 132
22301, S. 86
17 OG. 92

Anschrift der Autoren:
Dr. Christine Fränkel
Prof. Dr. Rolf Fränkel
Ulmenweg 42
0-9591 Zwickau

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme
*Fränkel, Christine:*
Der Funktionsregler in der orafazialen
Orthopädie / von Ch. Fränkel und
R. Fränkel. – Heidelberg: Hüthig 1992
ISBN 3-7785-2095-4
NE: Fränkel, Rolf

© 1992 Hüthig Buch Verlag, Heidelberg
Printed in Germany
Satz u. Druck: Gulde Druck GmbH, Tübingen
Buchbinderische Verarbeitung: Verlagsbuchbinderei Georg Kränkl, Heppenheim

# Vorwort

AXI 132
22301, S.86
17.06. 92

Die erste Monographie, die sich mit der Theorie und Praxis der Funktionsregler befaßte, wurde im Jahre 1967 vom VEB Verlag Volk und Gesundheit unter dem Titel „Funktionskieferorthopädie und der Mundvorhof als apparative Basis" herausgegeben. Im ersten Teil dieses Buches wurde das Konzept der von *Andresen* und *Häupl* entwickelten „Funktionskieferorthopädie" einer kritischen Wertung unterzogen und der eigenen Konzeption einer funktionellen Orthopädie gegenübergestellt. Unsere Argumentation stützte sich auf die jüngsten Ergebnisse der experimentellen Forschung auf dem Gebiet des Schädelwachstums und auf unsere langjährigen klinischen Erfahrungen, die wir bei der Behandlung der Dysgnathien mit Hilfe des Aktivators und seiner Modifikationen sammeln konnten. Bei der Entwicklung unserer Behandlungsmethode ließen wir uns von dem Rouxschen Konzept einer „Funktionellen Orthopädie" leiten. Danach ist die vorrangige Aufgabe einer orthopädischen Behandlung im Kindesalter darin zu sehen, funktionelle Störungen zu diagnostizieren und durch orthopädische Gymnastik zu beheben. In dem Funktionsregler sehen wir ein geeignetes orthopädisches Übungsgerät, um das Problem einer orthopädischen Gymnastik im orofazialen Bereich in der Praxis zu realisieren.

Auf Grund des großen Interesses, das unserer Konzeption von einer funktionellen Behandlungsweise entgegengebracht wurde, sahen wir uns veranlaßt, auf die technische Herstellung und klinische Anwendung der Funktionsregler näher einzugehen. So wurde im Jahre 1973 das erste Handbuch mit dem Titel „Technik und Handhabung der Funktionsregler" veröffentlicht, dem im Jahre 1976 die zweite und im Jahre 1984 die dritte Auflage folgten.

Leider wird der Funktionsregler auch heute immer noch in die Kategorie der sogenannten „funktionellen Geräte" eingeordnet. Diese nichtssagende Bezeichnung hat in der Vergangenheit zu verhängnisvollen Interpretationen und Fehlkonzeptionen geführt. Zwischen der Wirkungsweise des Funktionsreglers und der des Aktivators und seiner Modifikationen besteht ein grundlegender Unterschied. Wenn dies nicht bedacht wird, sind falsche Indikationsstellung und Fehler bei der technischen Herstellung des Funktionsreglers sowie Mißerfolge bei seiner klinischen Anwendung unausbleiblich. Das kleine Handbuch „Technik und Handhabung der Funktionsregler" bot keinen Raum, um auf die theoretischen Grundlagen, die zur Erarbeitung unserer Arbeitshypothese führten, gebührend einzugehen. Aus diesem Grunde erschien uns die Herausgabe einer umfassenden Monographie, die sich mit den Ergebnissen der experimentellen Biologie unter dem Aspekt der klinischen Nutzbarmachung befaßt, dringend notwendig.

Anhand von vielen kasuistischen Beiträgen soll gezeigt werden, daß mit dem Funktionsregler, sofern er als orthopädisches Trainingsgerät konstruiert und klinisch richtig angewendet wird, eine funktionelle Therapie im orofazialen Bereich realisiert werden kann. Dies wird durch unsere Längsschnittuntersuchungen biostatistisch abgesichert.

Mit der Erarbeitung der theoretischen Grundlagen und der Entwicklung der Funktionsregler wurde im Jahre 1957 in eigener Praxis begonnen. Nachdem ich im Jahre 1961 mit der Leitung des Kieferorthopädischen Instituts am Bezirkskrankenhaus Heinrich Braun in Zwickau beauftragt wurde, bestand die Möglichkeit, anhand eines großen Patientengutes die Effektivität der Funktionsregler laufend zu verbessern, wobei allen Mitarbeitern unserer Klinik für ihren unermüdlichen Einsatz unsere Anerkennung und unser Dank gebühren. Für die Erstellung eines umfangreichen Dokumentationsmaterials verdienen die Assistenten, die in unserer Klinik ihre kieferorthopädische Fachausbildung absolvierten, besondere Anerkennung. Dabei waren die Fehler und Mißerfolge in den ersten Jahren der klinischen Anwendung der Funktionsregler wertvolle Lehrmeister.

Zwickau, im Januar 1992

*Rolf Fränkel*
*Christine Fränkel*

# Inhaltsverzeichnis


**Vorwort** . . . . . V

**1 Einleitung** . . . . . 1

**2 Die klinische Bedeutung der epigenetischen Hypothese für die Kieferorthopädie** . . . . . 4

2.1 Grundsätzliche Überlegungen . . . . . 4
2.2 Die kraniofazialen Deformierungen der alten Peruaner als Beispiel einer klinischen Nutzung der epigenetischen Hypothese . . . . . 6
2.3 Die epigenetische Hypothese als theoretische Grundlage einer funktionellen Orthopädie . . . . . 9

**3 Die Physiologie des orofazialen Komplexes** . . . . . 12

**4 Die Pathophysiologie des orofazialen Komplexes** . . . . . 16

4.1 Die Pathophysiologie des oralen Funktionsraums . . . . . 17
4.2 Die Pathophysiologie in den nasopharyngealen Funktonsräumen und ihre klinische Problematik bei der Verwendung des Funktionsreglers . . 20

**5 Beschreibung und Wirkungsweise der Funktionsregler** . . . . . 22

5.1 Der Funktionsreglertyp FR-1 . . . . . 23
5.1.1 Die Schilde des FR-1 . . . . . 23
5.1.1.1 Die Bukkalschilde des FR-1 . . . . . 23
5.1.1.2 Die Lippenschilde des FR-1 . . . . . 24
5.1.1.3 Der Lingualschild des FR-1 . . . . . 26
5.1.2 Die Drahtelemente des FR-1 . . . . . 29
5.2 Der Funktionsreglertyp FR-2 . . . . . 29
5.3 Der Funktionsreglertyp FR-3 . . . . . 31
5.3.1 Die Schilde des FR-3 . . . . . 31
5.3.1.1 Die Bukkalschilde des FR-3 . . . . . 31

5.3.1.2 Die Lippenpelotten des FR-3 . . . . . 32
5.3.2 Der FR-3 als orthopädisches Übungsgerät zur Behebung der intermaxillären Fehlbeziehung . . . . . 33
5.4 Der Funktionsreglertyp FR-4 . . . . . 35

**6 Allgemeine Hinweise für die Indikation der Funktionsregler** . . . . . 37

6.1 Zur Indikation des FR-1 . . . . . 39
6.2 Zur Indikation des FR-2 . . . . . 39
6.3 Zur Indikation des FR-3 . . . . . 40
6.4 Zur Indikation des FR-4 . . . . . 40
6.5 Zur Indikation des Funktionsreglers als Retentionsgerät . . . . . 40

**7 Diagnostische Kriterien bei der kieferorthopädischen Befunderhebung** . . . . . 41

7.1 Grundsätzliche Bemerkungen . . . . . 41
7.2 Psychosomatische Aspekte in der kieferorthopädischen Diagnostik . . 44
7.3 Die klinische Befunderhebung in der kieferorthopädischen Diagnostik 47
7.4 Kasuistische Beispiele für die klinische Diagnostik . . . . . 48

**8 Die Bedeutung des Fernröntgenbildes in der Kieferorthopädie** . . . . . 57

8.1 Die diagnostische Bedeutung des Fernröntgenbildes . . . . . 57
8.2 Die kephalometrische Erfolgsbewertung in der Kieferorthopädie . . . . 58
8.3 Das okzipitale Referenzsystem nach Fränkel unter Berücksichtigung der natürlichen Kopfhaltung . . . . . 59
8.4 Die praktische Anwendung des okzipitalen Referenzsystems bei der kieferorthopädischen Erfolgsbewertung . . . . . 62

**9 Hinweise zur Motivation und Kooperation** . . . . . 66

9.1 Ästethische Gesichtspunkte für Motivation und Kooperation . . . . . 67
9.2 Allgemeingesundheitliche Aspekte der Nasenatmung für Motivation und Kooperation . . . . . 69

**10 Technische Herstellung des Funktionsreglers** . . . . . 71

10.1 Abdrucknahme und Herstellung der Arbeitsmodelle . . . . . 71
10.2 Bißnahme und Einstellung der Arbeitsmodelle in den Fixator . . . . . 72
10.3 Der Funktionsreglertyp FR-1 . . . . . 73
10.3.1 Radierung der Arbeitsmodelle . . . . . 73
10.3.1.1 Radieren des Oberkiefermodells . . . . . 73
10.3.1.2 Radieren des Unterkiefermodells . . . . . 75
10.3.2 Das Wachsfutter . . . . . 76

10.3.3 Herstellung der Drahtelemente . . . . . 77
10.3.3.1 Drähte für den FR-1 im Oberkieferbereich . . . . . 78
10.3.3.2 Drähte für den FR-1 im Unterkieferbereich . . . . . 81
10.3.4 Herstellung der Kunststoffschilde . . . . . 85

10.4 Der Funktionsreglertyp FR-2 . . . . . 86
10.5 Der Funktionsreglertyp FR-3 . . . . . 87
10.6 Der Funktionsreglertyp FR-4 . . . . . 91

**11 Allgemeine Hinweise für die klinische Anwendung des Funktionsreglers** . . . . . 93

11.1 Beginn der Behandlung . . . . . 93
11.2 Einfügen des Funktionsreglers . . . . . 94
11.3 Anleitung von Eltern und Kind für das Eintragen des Funktionsreglers . 97

**12 Der Funktionsregler bei der Behandlung von Fehlentwicklungen im dentoalveolären Bereich** . . . . . 99

12.1 Die epigenetische Steuerung von Wachstum und Formentwicklung im dentoalveolären Bereich . . . . . 100
12.2 Das Konzept der epigenetischen Hypothese als Arbeitsgrundlage für die Behandlung dentoalveolärer Fehlentwicklungen mit Hilfe des Funktionsreglers . . . . . 104
12.3 Fallbeispiele . . . . . 106

12.4 Längsschnittuntersuchungen . . . . . 116
12.4.1 Der Effekt der Bukkalschilde des Funktionsreglers auf die Durchbruchsrichtung der bleibenden Eckzähne und Prämolaren . . . . 116
12.4.2 Langzeitbeobachtung zur Bewertung der Stabilität der mit Funktionsreglern erzielten Weitung der dentoalveolären Bögen . . . . . 119
12.4.3 Die Problematik der Kinnentwicklung beim Menschen; eine vergleichende fernröntgenologische Longitudinaluntersuchung . . . . . 120
12.4.4 Abschließende Bemerkungen zur klinischen Problematik dentoalveolärer Fehlentwicklungen . . . . . 121

**13 Der Funktionsregler bei der Behandlung der mandibulären Retrusion** . 123

13.1 Die Bedeutung skelettaler Diskrepanzen für die Entstehung des Distalbisses . . . . . 123
13.2 Die Bedeutung des kondylären Wachstums für die Kieferorthopädie . . 124
13.3 Der Umbau zwischen Ramus und Corpus mandibulae . . . . . 128
13.4 Die Bedeutung der Translation für die Entwicklung des Unterkiefers . . 129
13.5 Prinzipien einer funktionellen Behandlung der mandibulären Retrusion . . . . . 131

13.6 Fallbeispiele . . . . . 134
13.6.1 Langzeitbeobachtung unbehandelter Fälle . . . . . 134

13.6.2 Behandelte Fälle . . . . . 138
13.6.2.1 Frühbehandlung der Angle-Klasse II/1 . . . . . 138
13.6.2.2 Anwendung des Funktionsreglers im bleibenden Gebiß . . . . . 158
13.7 Fernröntgenologische Langzeitbeobachtungen . . . . . 169
13.8 Abschließende Bemerkungen . . . . . 173

**14 Die Behandlung der Angle-Klasse III mit Hilfe des Funktionsreglers** . . 175

14.1 Zur funktionellen Problematik . . . . . 175
14.2 Fallbeispiele . . . . . 177
14.3 Longitudinalstudien . . . . . 191
14.4 Abschließende Bemerkungen . . . . . 192

**15 Die orthopädische Behandlung des skelettalen offenen Bisses mit Hilfe des Funktionsreglers** . . . . . 193

15.1 Zur Ätiologie des skelettalen offenen Bisses . . . . . 193
15.2 Fallbeispiele . . . . . 195
15.3 Kephalometrische Längsschnittuntersuchungen . . . . . 210
15.4 Abschließende Bemerkungen . . . . . 214

**Nachwort** . . . . . 217

**Literaturverzeichnis** . . . . . 222

**Sachverzeichnis** . . . . . 231

# 1 Einleitung

Dieses Buch ist nicht als ein Lehrbuch für Kieferorthopädie aufzufassen. Es wurde geschrieben, um den Leser mit dem Konzept einer orofazialen Orthopädie und seiner Realisierung mit Hilfe des Funktionsreglers vertraut zu machen. Die ersten drei Kapitel dieser Monographie befassen sich mit dem theoretischen Konzept dieser Behandlungsmethode. Diese theoretische Einführung erschien uns für das Verständnis des Wirkungsprinzips des Funktionsreglers unerläßlich. Der Funktionsregler kann nicht in die Kategorie der orthodontischen Geräte eingeordnet werden. Wenn das therapeutische Problem darin besteht, Okklusionsanomalien durch das Bewegen von Zähnen innerhalb des Alveolarfortsatzes zu beheben, ist der Funktionsregler allen anderen Gerätetypen, ganz gleich, ob festsitzend oder herausnehmbar, klar unterlegen. Mit der Bezeichnung „Funktionsregler" soll deutlich gemacht werden, daß die primäre Aufgabe dieses Behandlungsgeräts nicht in der direkten, mechanischen Veränderung der abwegigen Morphologie der Kiefer-Gebiß-Fehlentwicklung liegt. Vorrangig ist vielmehr die Behebung der funktionellen Abwegigkeiten, die in einen ursächlichen Zusammenhang mit einer dysgnathen Entwicklung gebracht werden könnten. Wir glauben, daß wir damit dem Prinzip einer funktionellen Therapie, wie es in der Allgemeinorthopädie entwickelt wurde, entsprechen. Kieferorthopädie könnte sich so zu einer Subspezies der Allgemeinorthopädie qualifizieren. Die hervorragenden Erfolge, die die Orthopäden bei der Behandlung von Skelettdeformierungen im Kindesalter erreichen konnten, zeigen uns den Weg, um Fehlentwicklungen des Viszeralskeletts jenseits des Alveolarfortsatzes orthopädisch zu beeinflussen.

Der Begriff „funktionelle Orthopädie" ist bereits von *Roux* (1895) klar definiert worden. Sein Konzept ist die theoretische Grundlage für die Entwicklung der funktionellen Therapie in der Allgemeinorthopädie gewesen. Seither hat die Forschung, die sich mit den Beziehungen zwischen Form, Struktur und Funktion im Bereich des Bewegungsapparates befaßt, große Fortschritte gemacht. Die klinische Bedeutung dieser Forschungsergebnisse wurde in der Allgemeinorthopädie erkannt und hat in den letzten 50 Jahren zur Entwicklung eines funktionellen Konzepts bei der Behandlung von skelettalen Deformierungen geführt. Auf Grund langer klinischer Erfahrungen ist man zu der Erkenntnis gelangt, daß bei skelettalen Fehlentwicklungen Haltungsfehler, abwegige tonische Funktionsmuster der Muskulatur, ursächlich eine bedeutende Rolle spielen. Biostatistische Untersuchungen lassen den Schluß zu, daß bei etwa 60% der untersuchten Kinder diese abwegigen Funktionsmuster für die skelettale Fehlentwicklung ursächliche Bedeutung haben. Seither sind physiotherapeutische Maßnahmen, Gymnastik und

# 2 Die klinische Bedeutung der epigenetischen Hypothese für die Kieferorthopädie

## 2.1 Grundsätzliche Überlegungen

In der Medizin gilt ganz allgemein der Grundsatz, daß man mit den Gesetzmäßigkeiten der normalen Entwicklung vertraut sein muß, um die Pathogenese einer abnormalen Entwicklung verstehen zu können. Aus diesem Grunde sind umfangreiche Kenntnisse auf dem Gebiet des Schädelwachstums und der Formentwicklung im kraniofazialen Bereich unabdingbare Voraussetzung für eine erfolgreiche orthopädische Therapie. Der Kieferorthopäde muß daher mit den allgemeinen Gesetzmäßigkeiten des Knochenwachstums vertraut sein und sich mit den Ergebnissen der experimentellen Biologie auf dem Gebiete der Schädelentwicklung befaßt haben. Bei der Formentwicklung im kraniofazialen Bereich spielen sich äußerst komplexe Wachstumsprozesse ab, die bis heute nur bruchstückhaft erforscht wurden. Wir sind daher noch weit davon entfernt, die klinischen Probleme, die sich uns bei der Behandlung kraniofazialer Deformierungen stellen, im Sinne einer ursächlichen Therapie zu lösen. In der Fachliteratur begegnet man sehr häufig Ausdrücken wie „Stimulation des Knochenwachstums" oder „Stimulation des kondylären Wachstums". Mit derartigen Ausdrücken wird die Komplexität der Wachstumsprozesse, die sich hierbei abspielen, völlig übersehen. Derartig naive Vorstellungen von der „Beeinflussung des Wachstums" durch die mechanische Intervention mit Hilfe kieferorthopädischer Geräte sind irreführend und einer klinischen Nutzung der experimentellen Ergebnisse keinesfalls förderlich.

*Enlow* (1985) hat mit Nachdruck darauf hingewiesen, daß derartige Klischees dem Verständnis des Schädelwachstums abträglich sind. So ist es ein fundamentaler Irrtum anzunehmen, daß Knochengewebe mit der Fähigkeit zu selbständigem Wachstum ausgestattet sei. Knochenzellen, umgeben von einer kalzifizierten Matrix, können sich nicht vermehren, weshalb Knochen selbst keine eigene Wachstumsdynamik besitzt. Die ossifizierten Strukturen eines Knochens sind vielmehr das Produkt von Wachstum, das sich in den Wuchsknorpeln bzw. in den osteogenen Matrizen von Syndesmosen, Periost, Endost und Parodontium vollzogen hat. Diese Wachstumszonen sind mit der Fähigkeit ausgestattet, die Bildung und osteogene Aktivität von Osteoblasten und Osteoklasten zu induzieren. Die Formentwicklung und die Vergrößerung eines einzelnen Knochens erfolgen demnach durch Knochenanbau bzw. Knochenabbau an seinen äußeren und inneren Oberflächen. Um dem Verständnis der Morphogenese des kraniofazialen Bereiches näherzukommen, ist es von fundamentaler Bedeutung zu wissen:

1. Welche Mechanismen induzieren und kontrollieren die osteogenen Aktivitä-

ten, d.h. die Bildung von Osteoblasten und Osteoklasten in den verschiedenen Wachstumszonen des Schädels.
2. Welche koordinierenden Mechanismen kontrollieren diese Wachstumsprozesse, damit Knochenanbau und Knochenabbau an den verschiedenen Einzelknochen zur Bildung eines harmonischen Ganzen im Schädelaufbau führen.

In den letzten 25 Jahren haben umfangreiche experimentelle Studien unser Wissen über die Besonderheiten des Schädelwachstums wesentlich erweitert. Eine Anzahl von Theorien wurde entwickelt, um dem Verständnis der kraniofazialen Morphogenese näherzukommen. So ist das in den letzten Jahren entwickelte theoretische Konzept von *van Limborgh* (1970, 1972, 1983) auf größtes Interesse gestoßen. Um die Bedeutung der verschiedenen Faktoren, die bei dem kraniofazialen Wachstum eine kontrollierende Rolle spielen, verständlich zu machen, hat er den Ausdruck „epigenetische Regulation" eingeführt. Er bezieht sich hierbei auf die Embryologie, die diesen Terminus gebraucht, um das Prinzip der „Induktion" und seine Bedeutung für die embryonale Entwicklung zu verdeutlichen. In verschiedenen Artikeln hat *Moss* neuerlich versucht, die epigenetische Hypothese in seine „Funktionelle Matrix-Theorie" einzubauen (1979, 1981, 1985). Damit hat er nicht nur sein eigenes theoretisches Konzept der „Funktionellen Schädelanalyse" verständlicher gemacht, sondern auch einen wertvollen Beitrag zum besseren Verstehen der Beziehungen zwischen Funktion und Form bei der Entwicklung des Schädelskeletts geleistet. Er vertritt die Ansicht, daß das Genom nach der Befruchtung des Eies nicht alle Informationen enthalten kann, um in späteren Entwicklungsstadien alle lokalspezifischen Wachstumsprozesse optimal zu regulieren. Er glaubt, daß hierfür zusätzlich epigenetische Informationen erforderlich sind, um die Wachstumsprozesse im Sinne einer optimalen Entwicklung zu kontrollieren. Die anstehende Problematik ist von *Moss* als Grundlagenforscher *theoretisch* abgehandelt worden und ist für den praktischen Kieferorthopäden nicht leicht verständlich. Dies mag der Hauptgrund dafür sein, daß sie in der kieferorthopädischen Literatur kaum Erwähnung gefunden hat. Wir glauben jedoch, daß die Synthese der „Epigenetischen Hypothese" und der „Funktionellen Matrix-Theorie", wie sie von *Moss* vorgenommen wurde, uns für die Realisierung einer funktionellen Orthopädie im orofazialen Bereich wertvolle Hinweise zu geben vermag.

Sicherlich sind die Mechanismen, die Knochenneubildung bzw. modellierende Resorption induzieren und regulieren, sehr komplexer Natur. Hierbei spielen biochemische, endokrine, bioelektrische, enzymatöse, neurotrophische, vaskuläre und sicherlich auch viele andere Prozesse eine Rolle. Die experimentelle Biologie hat jedoch den Nachweis erbracht, daß auch Induktionsmechanismen biomechanischer und biophysikalischer Natur für die Aktivierung der osteogenen Matrizen große Bedeutung haben. Die Fähigkeit dieser Wachstumszonen, auf biomechanische Einflüsse der Umgebung mit Knochenneubildung bzw. Resorption zu antworten, ist genetisch angelegt. Die reaktiven Möglichkeiten dieser osteogenen Matrizen sind im genetischen Plan vorgesehen und in Ausmaß und Richtung festgelegt. Dies ist für die Kieferorthopädie von unmittelbar praktischer Bedeutung. Ein kieferorthopädischer Behelf wird nach seiner Eingliederung zu einem Teil der „Umgebung". Dadurch besteht die Möglichkeit, die biomechanische Induktion der „Umgebung" zu verändern und so die reaktiven Prozesse in den kraniofazialen Wachstumszonen zu beeinflussen. Nach diesem Wirkungsprinzip arbeiten die meisten orthodontischen bzw. kieferorthopädischen Geräte. Durch Veränderung der Zahnstellung kommt es zu regionalen Erweiterung bzw. Verengung des

Parodontalraums. Die mediane Gaumensutur kann durch einen Kieferorthopädischen Behelf erweitert werden. Hierdurch werden entsprechende Reaktionen der betroffenen osteogenen Matrizen ausgelöst. Der auf diese Weise zustande gekommene Knochenanbau und Knochenabbau sind aber das Ergebnis eines empirischen Eingriffs, einer mechanisch erzwungenen Aktivität der Knochenwachstumszonen. Die epigenetischen Regulationsmechanismen selbst bleiben unverändert. Nach Absetzen des bei einer Mechanotherapie verwendeten Geräts können diese wieder in der gleichen Weise wie vor der Behandlung wirksam werden, wodurch die Stabilität der erzielten Formveränderung in Frage gestellt wird. Hieraus läßt sich ableiten, daß wir dem Charakter des „Orthopaideueins" besser zu entsprechen vermögen, wenn wir in der Veränderung der epigenetischen Induktions- und Kontrollmechanismen selbst die primäre Aufgabe einer orthopädischen Therapie sehen. Die Schädeldeformierungen, wie sie von den alten Peruanern mit Bandagen erzielt wurden, sind ein Beispiel für die klinische Nutzung der „epigenetischen Hypothese", das uns wertvolle Hinweise für die Lösung orthopädischer Probleme im Viszeralskelett zu geben vermag.

## 2.2 Die kraniofazialen Deformierungen der alten Peruaner als Beispiel einer klinischen Nutzung der epigenetischen Hypothese

Die Röntgenaufnahme des Schädels (Abb. 1) zeigt die typischen Deformierungen des Neurokraniums, wie sie von den alten Peruanern mit Hilfe von Kopfbandagen erzielt wurden. Es ist deutlich zu erkennen, daß die einzelnen Schädelknochen nicht nur in ihrer Größe und Form, sondern auch in ihrer räumlichen Lagebeziehung zueinander beeinflußt wurden. Die Kopfbandagen wirkten sich deformierend aber auch auf die Schädelbasis aus, besonders auf die Partien, die dorsal vom Foramen magnum liegen. Bei der Geburt besteht der Schädel aus 45 Einzelknochen. Im Verlaufe der weiteren Entwicklung wird diese Anzahl durch Fusion auf 22 reduziert. Im ersten Lebensjahr sind die Syndesmosen und Synchondrosen, die die verschiedenen bereits verknöcherten Teile des Hirnschädels miteinander verbinden, noch sehr nachgiebig und flexibel. Auf diese Weise ist es dem wachsenden Gehirn leicht möglich, ihre Verlagerung herbeizuführen und sich so die für seine spätere Funktion notwendige Form und Größe der Hirnkapsel zu schaffen.

Es wäre aber ein großer Irrtum, die durch die Bandagierung zustande gekommene Deformierung des Hirnschädels als das Ergebnis einer mechanischen Verformung auszulegen. Die deformierende Wirkung der Kopfbandagen erklärt sich vielmehr als ein Eingriff in die epigenetischen Kontrollmechanismen. Durch die Bandagen wird die Expansion des Gehirns in einer bestimmten Richtung behindert. Die genetisch determinierte Größenzunahme des Gehirns wird dadurch aber nicht gehemmt, sie wird nur in ihrer Ausdehnungsrichtung beeinflußt. Hierdurch kommt es zu einer Veränderung der biomechanischen und biophysikalischen Zustände in den osteogenen Matrizen, wodurch ihre genetisch angelegte Fähigkeit zu adaptiven Wachstumsprozessen aktiviert wird. Mit Hilfe der epigenetischen Hypothese lassen sich die von den Peruanern produzierten Deformierungen des Hirnschädels wie folgt erklären: Die Wachstumsprozesse, die die Größenzunahme des Gehirns bewirken, wurden durch die Bandagen nicht beeinflußt, sondern vollzogen sich, wie im genetischen Plan festgelegt, d. h. unter direkter genetischer Kontrolle. Durch die Richtungsveränderung des Wachstums kam es aber zu einer Veränderung der epigenetischen Regulation, d. h., die kra-

**Abb. 1.** Seitliche Fernröntgenaufnahme eines alten peruanischen Schädels (Schädelsammlung der Universität Santiago)

a b

**Abb. 2a, b.** Kaudalansicht eines alten peruanischen Schädels im Fernröntgenbild und in der Fotografie (mit freundl. Genehmigung von Prof. *A. Björk*)

nialen Knochenwachstumszonen erhielten Informationen, um den störenden Einfluß der Umwelt, d. h. den hemmenden Effekt der Bandagen zu kompensieren. Nach *Moss* kommt durch diese Kombination der genetischen und epigenetischen Regulation die Bildung einer adäquaten Form- und Größenentwicklung des Hirnschädels zustande, die für die mechanische Stützung und den Schutz des Gehirns erforderlich ist.

In vielen Fällen kam es als Folge der Bandagierung zu asymmetrischen Deformierungen des Schädels, wovon auch die Schädelbasis betroffen wurde (*Björk* 1964). Hierbei kann es zu einer in sagittaler Beziehung unterschiedlichen Lage der Gelenkpfannen kommen. Wie die Abb. 2 zeigt, ist die linke Gelenkgrube mehr nach rostral verlagert, die rechte mehr nach dorsal. Trotz dieser deutlichen Asymmetrie der Gelenkpfannen-Positionen stimmten Oberkiefer- und Unterkiefermitte exakt überein. Auch die Schneidezahnmitte beider Kiefer zeigte keine Abweichung. Im Gegensatz dazu kam es zu einem signifikanten Unterschied in der Längenentwicklung der beiden Unterkieferhälften (Abb. 3 und 4). Wenn die kondyläre Wachstumszone, wie man früher annahm, dem Charakter eines echten Wuchsknorpels entspräche, hätte es beiderseits zu einer gleichgroßen Längenentwicklung der Unterkieferhälften kommen müssen. Damit haben die Peruaner bereits vor mehreren hundert Jahren nachgewiesen, daß die kondyläre Wachstumszone mit einer hohen Kapazität zu adaptivem, kompensatorischem Wachstum ausgestattet ist und daß dem epigenetischen Milieu für Knochenneubildung bzw. modellierende Resorption größte Bedeutung zukommt. Die Bandagierung des Kopfes, wie sie die Peruaner an ihren Säuglingen vornahmen, ließe sich als ein Experiment am Menschen auslegen. Mit diesem „Experiment" haben sie in eindrucksvoller Weise gezeigt, daß sich die Verlagerungsprozesse während der Schädelentwicklung durch eine mechanische Intervention beeinflussen lassen und daß die Skelettentwicklung im kraniofazialen Bereich orthopädisch beeinflußt werden kann. Ihre „Versuche" haben aber auch mit aller Deutlichkeit klargemacht, daß eine orthopädische Beeinflussung der

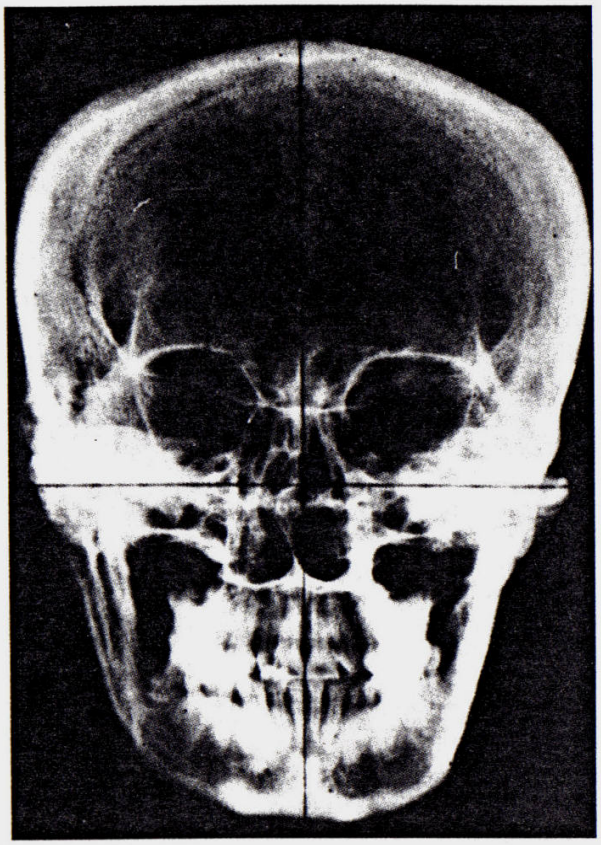


**Abb. 3.** Okzipito-frontale Fernröntgenaufnahme des peruanischen Schädels, wie in Abb. 2 abgebildet (mit Erlaubnis von Prof. *A. Björk*)

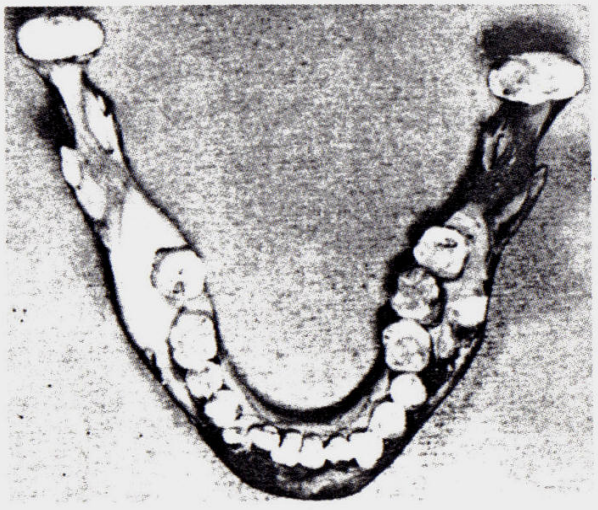


**Abb. 4.** Aufsichtsaufnahme des entsprechenden Unterkiefers (mit Erlaubnis von Prof. *A. Björk*)

Formentwicklung in hohem Maße von dem Zeitpunkt der mechanischen Intervention abhängt. Die mit Hilfe der Bandagen erzeugten Deformierungen des Hirnschädels können nur im ersten Lebensjahr erzielt werden, zu einer Zeit, in der noch ein sehr intensives Wachstum des Gehirns stattfindet. Nur in dieser Zeit läßt sich das „translatorische Wachstum", d. h. die Verlagerung der einzelnen Schädelknochen beeinflussen. Nur in dieser Zeit lassen die „Zwischenstrukturen" (die membranösen bzw. chondralen Wachstumszonen) diese Verlagerungsprozesse zu und antworten mit adaptiven bzw. kompensatorischen Wachstumsprozessen. Das heißt, eine orthopädische Beeinflussung der Schädelentwicklung ist nur zur Zeit des intensiven Wachstums möglich.

## 2.3 Die epigenetische Hypothese als theoretische Grundlage einer funktionellen Orthopädie

Wenn wir versuchen wollen, die epigenetische Hypothese als theoretische Basis für eine klinische Anwendung in der Kieferorthopädie zu nutzen, sollten wir uns im klaren sein, daß jede kieferorthopädische Behandlung mit einem Gerät eine mechanische Intervention darstellt. Aus diesem Grunde sind nur biomechanische bzw. biophysikalische Faktoren des „epigenetischen Milieus" von klinischem Interesse. Nur in der Veränderung der biomechanischen und biophysikalischen Umstände des epigenetischen Milieus besteht eine Möglichkeit, auf Wachstumsvorgänge Einfluß zu nehmen. In der Abb. 5 haben wir schematisch die Faktoren, die hierfür in Frage kommen, aufgezählt. Dabei halten wir eine strenge Unterscheidung zwischen Faktoren des *Wachstums* und denen der *Funktion* für notwendig. Nur so lassen sich die Möglichkeiten und Grenzen einer orthopädischen Intervention erkennen.

In der ursprünglichen Fassung seiner Theorie mißt *Moss* der „funktionellen Matrix" bzw. der „kapsulären Matrix" eine primäre und entscheidende Bedeutung zu. Vom klinischen Standpunkt aus gesehen sind diese Ausdrücke diffus und führen leicht zu Fehlinterpretationen. Von den Funktionen des Gehirns, d. h., den Leistungen des Zentralnervensystems kann eine biomechanische Induktion der osteogenen Matrizen nicht ausgehen. Am Beispiel der peruanischen Schädeldeformierungen wird klar, daß die Aktivierung der kranialen Wachstumszonen nicht durch die Funktionen des Gehirns erfolgt, sondern auf seine wachstumsbedingte Expansion zurückzuführen ist. Die neuralen Funktionen des Zentralnervensystems spielen daher bei der epigenetischen Regulation der Größen- und Formentwicklung des Neurokraniums keine Rolle. Aus diesem Grunde ist die Bezeichnung „Funktionelle Matrix" inkorrekt und für die klinische Anwendung der epigenetischen Hypothese ungeeignet. Die alten Peruaner haben gezeigt, daß durch eine mechanische Intervention die streng genetisch determinierte Größenentwicklung des Gehirns nicht beeinflußt werden kann. Sie haben aber den Nachweis erbracht, daß das Wachstum vektoriell beeinflußbar ist. In dem Schema der Abb. 5 haben wir daher angegeben, daß die Richtung auch des endochondralen Wachstums durch eine orthopädische Behandlung beeinflußt werden kann.

In unserem Diagramm der epigenetischen Regulation (s. Abb. 5) haben wir auch die Einflüsse neuromuskulärer Funktionen eingeordnet. Dies weicht von dem Konzept *van Limborghs* ab, der Einflüsse der Muskulatur der Kategorie der Umweltfaktoren (environmental factors) zurechnet. Er begründet dies damit, daß muskuläre Aktivitäten gewöhnlich durch Einflüsse der Umgebung ausgelöst werden. Hierbei wird übersehen, daß Muskeln Teile des menschlichen Körpers sind. Wir halten es daher nicht für korrekt,

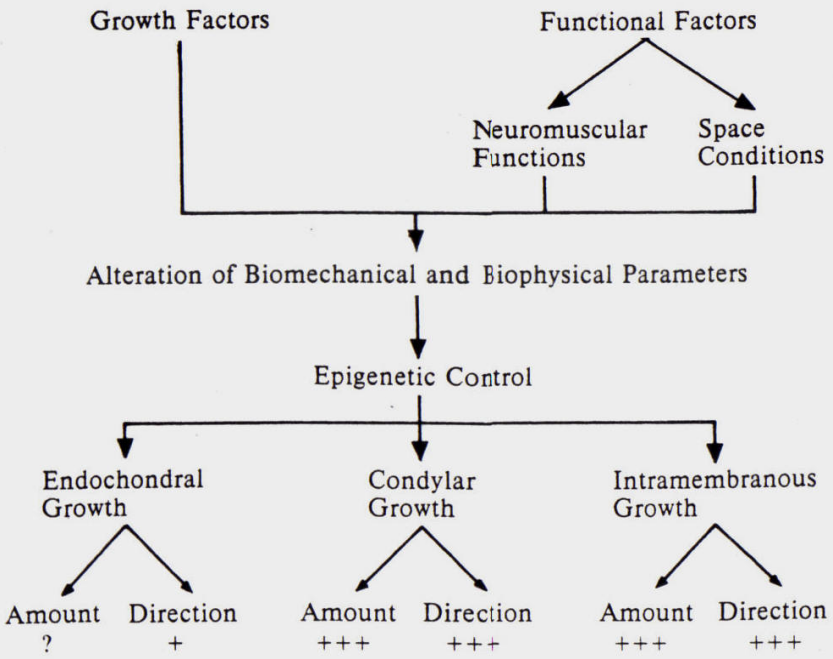



**Abb. 5.** Biomechanische und biophysikalische Faktoren, die bei der epigenetischen Regulation des Wachstums im Schädelbereich eine Rolle spielen

Funktionen der Muskulatur schlechthin als Einflüsse der Umwelt zu bezeichnen. Außerdem muß bedacht werden, daß muskuläre Funktionen ohne nervösen Impuls nicht zustande kommen. Das heißt, das Zentralnervensystem induziert und kontrolliert jede muskuläre Aktivität. Das Gehirn liegt aber nicht außerhalb des menschlichen Körpers, weshalb auch unter diesem Gesichtspunkt neuromuskuläre Funktionen nicht in die Kategorie der „Umwelteinflüsse" eingeordnet werden dürfen. Das bedeutet nicht, daß Umwelteinflüsse keine Bedeutung für die Funktionsabläufe der Muskulatur haben können.

In diesem Zusammenhang verdient das Kapitel „Reifung der Muskulatur" in dem von *Moyers* (1973) verfaßten Lehrbuch größte Beachtung. Damit hat er einen wesentlichen Beitrag geleistet, um die Bedeutung von Umwelteinflüssen für die Entwicklung neuromuskulärer Funktionsmuster und damit für die Morphogenese im kraniofazialen Bereich verstehen zu können. Während der postnatalen Entwicklung ist die Entwicklung neuromuskulärer Funktionsmuster in hohem Maße von der Reifung des Zentralnervensystems abhängig, wobei sich Einflüsse der Umgebung stimulierend wie aber auch retardierend auswirken können. *Bosma* (1975) hat diese Entwicklungsperiode des Lernens als die „kritische Phase" der Entwicklung bezeichnet. Die Aneignung und Reifung physiologischer Funktionsmuster der orofazialen Muskulatur ist entscheidend für die Physiologie und damit für die Formentwicklung im Kiefer-Gesichtsbereich.

In die Gruppe der funktionellen Faktoren, die bei der epigenetischen Regulation der Knochenwachstumsprozesse eine Rolle spielen, haben wir auch den *Funktionsraum* eingeordnet. Schon *Balters* (1954) hat der „Raumfunktion" Bedeutung für die Entwicklung im orofazialen Bereich beigemessen. Dies deckt sich mit dem Konzept der „Funktionellen Matrix" von *Moss* (1968, 1969, 1979), der die morphogenetische Bedeutung des „functioning space" mit Nachdruck betont hat. Mit dieser Hypothese sind sowohl *Balters* als auch *Moss* auf Unverständnis und heftige Kritik gestoßen. Dies ist verständlich, da in unserem Fachgebiet Wachstum und Formentwicklung vorwiegend unter dem Gesichtspunkt *mechanischer Wirkungsfaktoren* diskutiert worden ist. *Biophysikalische Faktoren* haben bei dieser Diskussion eine untergeordnete Rolle gespielt. Das Operationsfeld des Kieferor-

thopäden, das ihm die Möglichkeit für den Einsatz seiner Geräte bietet, ist der Mundraum. Seine Ausdehnung wird durch die Weichteile bestimmt, die ihn von außen umschließen. Die zirkumorale Weichteilkapsel bestimmt damit Größe und Form des oralen Funktionsraums. Die klinische Bedeutung des „functioning space" wird daher nur im Zusammenhang mit der „capsular matrix" verständlich. Da aber die Weichteilkapsel, die den oralen Funktionsraum umschließt, vorwiegend aus Muskeln besteht, spielt der Tonus dieser Muskulatur für die Größe der Kapsel und damit für Form und Größe des oralen Funktionsraums eine wichtige Rolle. Demnach besteht eine enge funktionelle Verflechtung bzw. Wechselwirkung zwischen Raum und Muskulatur. Die Physiologie des orofazialen Komplexes wird durch diese funktionellen Zusammenhänge geprägt, worauf im nächsten Kapitel eingegangen wird.

für Zahn-

# 3 Die Physiologie des orofazialen Komplexes

Im orofazialen Bereich sind wir mit sehr vielen, ihrer Aufgabe nach unterschiedlichen Funktionsabläufen konfrontiert. Aus diesem Grunde wird im englischen Sprachgebiet der Ausdruck „multifunctional area" gebraucht. Um sich von den möglichen Einflüssen der Funktion auf die Formentwicklung in diesem Bereich eine Vorstellung machen zu können, muß man nach *Dullemeijer* (1972, 1974) zwischen den verschiedenen funktionellen Systemen genau differenzieren. Die Art der Funktion muß exakt definiert und es muß angegeben werden, welche skelettalen Strukturen durch Einflüsse dieser Funktion in der Entwicklung beeinflußt werden können. Im Begriff „orofaziales System" wird auf jede Differenzierung verzichtet. Dies ist nach *Dullemeijer* der Grund dafür, daß in unserem Fachgebiet die Beziehungen zwischen Funktion und Form häufig so dilletantisch diskutiert werden. „Orofazial" ist eine topographische Bezeichnung, nichts sonst. In der physiologischen Terminologie kommt es jedoch darauf an, die spezifische Leistung eines Systems zu definieren; denn nur so lassen sich Funktion und Form in einen ursächlichen Zusammenhang bringen. In der Literatur wird von „Funktionsräumen" gesprochen, ohne exakt zu definieren, welche Räume man meint, und welche Funktionen sich in diesen Räumen abspielen.

Eine Raumanalyse sollte davon ausgehen, daß sich im Gesicht die zwei Körperöffnungen befinden, von denen der Atmungs- und der Verdauungstrakt ihren Ausgang nehmen. Mit Nase und Mund öffnet sich der menschliche Organismus zur Umwelt. Mit diesen Öffnungen werden Beziehungen zur Umwelt hergestellt, ohne die menschliches Leben nicht existieren kann. Die anatomischen Strukturen der orofazialen Region müssen daher der Forderung des „funktionellen Angepaßtseins" in besonders hohem Maße entsprechen. *Moss* hat mit Nachdruck darauf hingewiesen, daß die Aufnahme, die mastikatorische Zubereitung und der Transport der Nahrung von einer adequaten Form und Größe des oralen Funktionsraumes abhängen. Das gleiche gilt für das respiratorische System. Bei der Analyse des Raums ist zu bedenken, daß sich der Atmungs- und Verdauungstrakt im Pharynx überkreuzen. Um einen störungsfreien Vollzug der Respiration und der oralen Funktionsmechanismen abzusichern, müssen verschiedene Ventile die wichtige Aufgabe der Regulation und Koordination der Funktionsabläufe erfüllen (Abb. 6).

In der von *Moss* entwickelten Theorie spielen der Funktionsraum (functioning space) und die kapsuläre Matrix (capsular matrix) bei der epigenetischen Kontrolle der osteogenetischen Aktivitäten in den kraniofazialen Wachstumszonen eine wichtige Rolle. Beide Faktoren stehen in einer sehr engen Wechselbeziehung. Mit Bezug auf den orofazialen Bereich sind

die Entwicklung und Reifung neuromuskulärer Funktionsmuster sehr eng korreliert mit der Ausbildung der oralen und nasopharyngealen Funktionsräume. Besondere Beachtung verdienen hierbei die tonischen Funktionsmuster der Muskulatur. Dabei ist zu bedenken, daß der größte Teil der Weichteilkapsel, die den oralen Funktionsraum umschließt, von Muskeln gebildet wird. Von dem Tonus dieser Muskeln hängen in hohem Maße Form und Größe dieser Weichteilkapsel und damit auch das Volumen des oralen Funktionsraumes ab (Abb. 7). Bei der Einschätzung der morphogenetischen Bedeutung der „Kapsulären Matrix" müssen wir also die tonischen Funktionsmuster der äußeren Weichteilkapsel in eine ursächliche Betrachtung mit einbeziehen.

Neben der Größe und Form der oralen und nasopharyngealen Funktionsräume spielt aber auch noch ein anderer Faktor für die Physiologie des Raums eine Rolle, dessen morphogenetische Bedeutung bisher weit unterschätzt worden ist. Die Untersuchungen von *Noltemeier* (1949a, 1949b) und *Eckert-Möbius* (1962) haben gezeigt, daß während des Schluckaktes die im Cavum oris vorhandene Luft durch die peristaltischen Bewegungen der Zunge dorsalwärts in den Rachen abgedrängt wird. Hierdurch entsteht im Mundraum annähernd Luftleere, was nach *Eckert-Möbius* für die Anlagerung der Zunge an den Gaumen und damit für die Bildung des hinteren und mittleren Mundraumabschlusses große Bedeutung hat. Die so zustande gekommene Verminderung des atmosphärischen Drucks im oralen Raum wirkt sich im Sinne eines Sogs aus. Untersuchungen mit hydraulischen und elektronischen Druckmessern haben gezeigt, daß der Weichteildruck von Lippen und Wangen auf Kiefer und Gebiß nicht nur durch die Kraft der Muskulatur bewirkt wird, sondern sich auch als Folge dieser Sogwirkung erklärt (*Fränkel* 1967, *Gould* und *Picton* 1975).

Die atmosphärischen Druckbedingungen haben aber nicht nur für den oralen, sondern auch für den nasopharyngealen Raum physiologische Bedeutung (Abb. 8). Bei Nasenatmung entsteht in der Inspirationsphase ein Unterdruck, in der Exspirationsphase ein Überdruck. Dieser stetige Wechsel der Luftströmung und des atmosphärischen Drucks ist für die Physiologie der nasopharyngealen Funktionsräume von essentieller Bedeutung. Seine biomechanische Wirkung dürfte sich im Sinne eines Massageeffektes auswirken. Tierversuche haben ge-

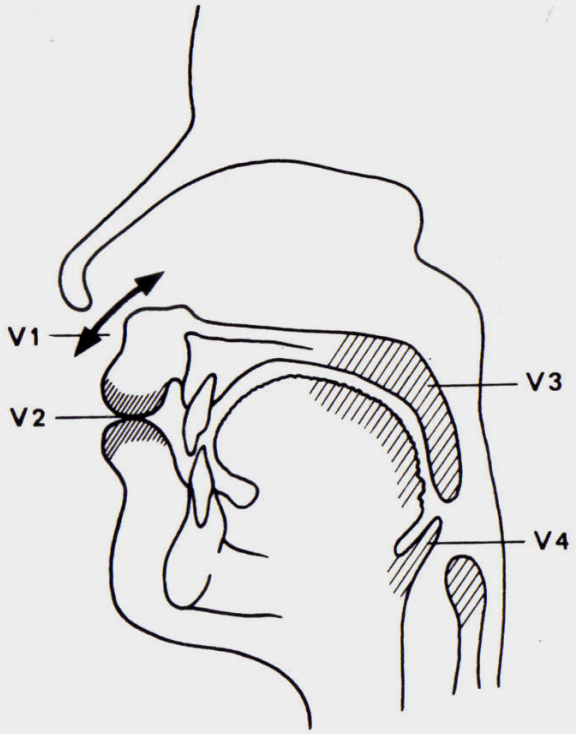



**Abb. 6.** Schematische Darstellung der Ventilfunktion im oralen und nasopharyngealen Funktionsraum

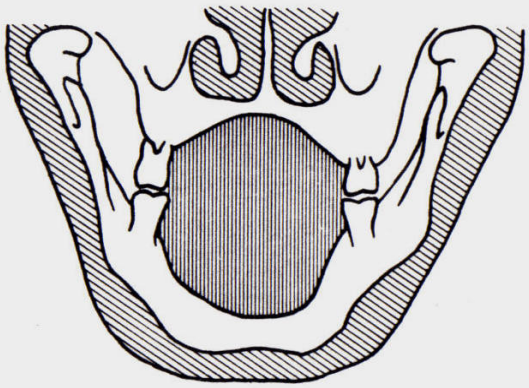


**Abb. 7.** Die äußere Weichteilkapsel, die Größe und Form des oralen Funktionsraums bestimmt

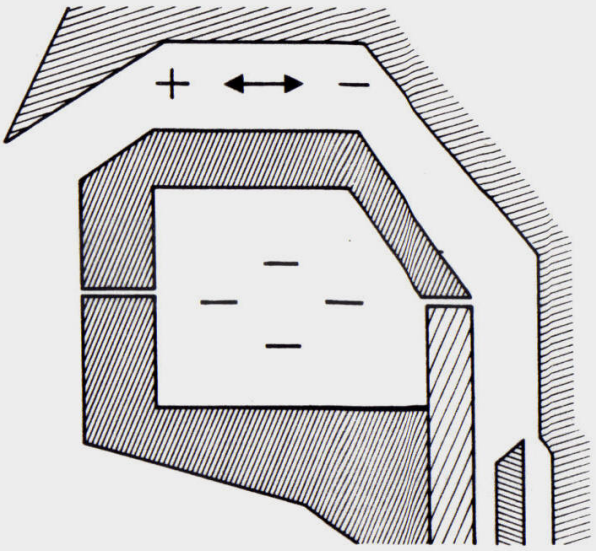


**Abb. 8.** Die atmosphärischen Druckverhältnisse im oralen und nasopharyngealen Funktionsraum bei kompetentem Mundraumabschluß
– Unterdruck in der Inspirationsphase
+ Überdruck in der Exspirationsphase

zeigt, daß der biomechanischen Wirkung der Respiration bei der Pneumatisation des Viszeralskeletts große Bedeutung zukommt (*Link* und *Handl* 1954, *Greven* 1955, *Ojala* 1957). Bei Mundatmung fehlt der luftstrombedingte Massageeffekt. Dies kann sich nicht nur auf die Nasenschleimhäute, sondern auch auf die lymphatischen Organe im Nasopharynx ungünstig auswirken. So können Durchblutungsstörungen bzw. entzündlich-degenerative Prozesse zur Vergrößerung dieser Drüsen führen. Aus dem Vorhergesagten läßt sich schließen, daß physiologische Bedingungen in den oralen wie aber auch nasopharyngealen Räumen nur dann vorliegen, wenn die Ventile, die den oralen Funktionsraum abschließen, ordnungsgemäß funktionieren (s. Abb. 6).

Einen wichtigen Beitrag zum besseren Verständnis der Physiologie des orofazialen Komplexes hat *Bosma* (1975) geleistet. Danach sind bei Geburt die posturalen Funktionsmechanismen (Haltefunktionen) der Zungen- und Gaumenmuskulatur, soweit sie an der Ventilfunktion von V 3 mitwirken, voll ausgebildet. Auf diese Weise ist der orale Raum nach dorsal abgeschlossen, und, was von vitaler Bedeutung ist, die Freihaltung des pharyngealen Atemweges gewährleistet. Die Bedeutung der hinteren Weichteilbarriere (V 3) für die Physiologie des orofazialen Komplexes hat *Bosma* (1975) am Beispiel des *Pierre-Robin*-Syndroms aufgezeigt. Bei den betroffenen Kindern ist die Schließfunktion der hinteren Weichteilbarriere gestört. Die Ausbildung adäquater tonischer Funktionsmuster der Muskeln im Bereich des Weichteilventils V 3 hat nicht stattgefunden. So kommt es zum Zurückfallen der Zunge in den Oropharynx und damit zur Verlegung des Atemwegs. Legt man diese Säuglinge auf den Bauch, so kommt es durch die Wirkung der Schwerkraft zur Vorverlagerung der Zunge, womit die Atempassage frei wird. Hieraus läßt sich auf eine sehr enge funktionelle Verflechtung zwischen dem respiratorischen System und den Haltefunktionen der orofazialen Muskulatur schließen.

*Bosma*s Untersuchungen haben gezeigt, daß die Entwicklung motorischer und tonischer Funktionsmuster von dem muskulären Grenzbereich zwischen oralem und pharyngealem Funktionsraum ihren Ausgang nimmt. Bei Geburt sind die posturalen Funktionsmechanismen (Haltefunktionen) der Zungen- und Gaumenmuskulatur, soweit sie an der Ventilfunktion von V 3 mitwirken, voll ausgebildet. Auf diese Weise ist die Freihaltung der pharyngealen Atempassage und damit die lebenswichtige Versorgung mit Sauerstoff von Geburt an gewährleistet. Von dieser muskulären Weichteilbarriere breitet sich der Entwicklungs- und Reifungsprozeß neuromuskulärer Funktionsmechanismen allmählich auch auf die übrigen Partien der Gesichts- und Halsmuskulatur aus und erfaßt schließlich auch die Rumpf- und Gliedmaßenmuskulatur.

Im Lippenbereich beginnt die Ausbildung posturaler Funktionsmuster relativ spät und bedarf eines lange dauernden Prozesses des Lernens, der Verfestigung und der Automatisation. Hierbei sollte

nicht übersehen werden, daß zwischen Lippenmuskulatur und allen anderen Gesichtsmuskeln sehr enge strukturelle und funktionelle Verflechtungen bestehen. Dies gilt besonders für den M. buccinator und M. mentalis, die in die Lippen einstrahlen, und zum Teil mit dem M. orbicularis oris strukturell verbunden sind. Lippen, Kinn und Wangen bilden somit strukturell und funktionell ein einheitliches Weichteilgefüge. Hieraus läßt sich folgern, daß die posturalen Funktionsmechanismen der Gesichtsmuskulatur mit denen der Lippenmuskeln eng korreliert sind. Der Spannungszustand im Lippenbereich läßt daher Rückschlüsse auf das muskuläre Spannungsgefüge der gesamten äußeren Weichteilkapsel zu. Liegt im Lippenbereich ein dynamisch ausbalancierter Gleichgewichtszustand zwischen den radiären und zirkulären Muskeln vor (Abb. 9), so kann angenommen werden, daß sich alle Muskeln innerhalb der äußeren Weichteilkapsel in einem harmonisch ausbalancierten Gleichgewichtszustand befinden. Aus alledem läßt sich folgern, daß die Zeit des Aufbaus und der Reifung tonischer Funktionsmuster als kritischste Entwicklungsperiode im orofazialen Bereich gewertet werden muß. Diese Entwicklungsperiode ist für die Physiologie und die Morphogenese im orofazialen Komplex von ausschlaggebender Bedeutung. Es erscheint daher folgerichtig, die orthopädische Behandlung gnathischer Fehlentwicklungen in dieser Entwicklungsperiode vorzunehmen. Auf diese Weise vermögen wir dem Prinzip „working with growth" entsprechen. Der Erfolg einer orthopädischen Behandlung hängt daher in hohem Maße von der Früherkennung pathophysiologischer Zustände im orofazialen Bereich ab, womit sich das folgende Kapitel befassen wird.

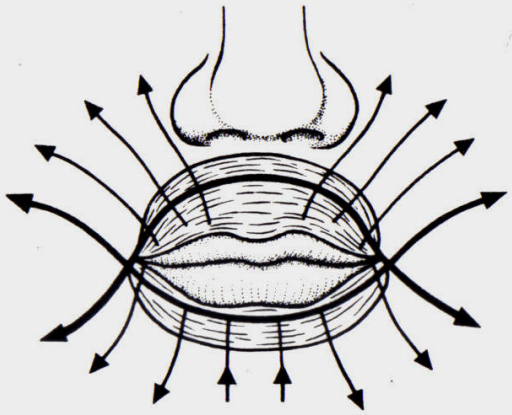


**Abb. 9.** Die radiären und zirkulären Muskelgruppen im Bereich der Mundspalte

# 4 Die Pathophysiologie des orofazialen Komplexes

Im Bereich des Bewegungsapparates sind die Beziehungen zwischen Form, Struktur und Funktion relativ leicht zu übersehen. Sie beschränken sich im wesentlichen auf die Muskulatur als den aktiven und das Skelett als den passiven Teil des Bewegungsapparats. In der Allgemeinorthopädie werden daher Störungen der Skelettentwicklung im engen ursächlichen Zusammenhang mit Haltungsfehlern, abwegigen Haltefunktionen der Muskulatur gesehen. Im Schädelbereich sind diese Beziehungen zwischen Form und Funktion wesentlich komplexer (*Fränkel* 1983). Um zwischen physiologischen und pathophysiologischen Zuständen des orofazialen Komplexes differenzieren zu können, muß in unserer Analyse an die enge Verflechtung zwischen Muskulatur und Raum gedacht werden, worauf im vorhergehenden Kapitel bereits eingegangen wurde. Daß muskuläre Kräfte die Formentwicklung beeinflussen können, ist dem Praktiker aus seiner Erfahrung mit der Mechanotherapie durchaus verständlich. Daß dem „functioning space", so wie ihn *Moss* in die Diskussion gebracht hat, eine morphogenetische Bedeutung zukommen könne, ist in unserem Fachgebiet auf Unverständnis, ja Ablehnung gestoßen. Der *Raum* an sich besitzt keine eigene Dynamik. Eine Beeinflussung der Formentwicklung im Kiefer-Gebiß-Bereich durch die Funktion des *Raums* ist daher schwer vorstellbar. Um den *Raum* in seiner Bedeutung bei der epigenetischen Kontrolle ermessen zu können, muß nach *Moss* der „functioning space" in einem engen Kausalzusammenhang mit der „capsular matrix" gesehen werden.

Die Form und Größe eines Zimmers werden durch seine Begrenzung, d. h. durch Wände, Boden und Decke bestimmt. Das gleiche gilt für die Funktionsräume im orofazialen Bereich. So werden beispielsweise Form und Größe des oralen Funktionsraums durch die äußere Weichteilkapsel, die ihn umschließt, bestimmt. Da diese Weichteilkapsel zum größten Teil aus Muskulatur besteht, müssen unphysiologische Raumbedingungen in engem Zusammenhang mit pathophysiologischen Funktionsmustern der Muskulatur gesehen werden. So hat der Tonus der innerhalb der äußeren Weichteilkapsel liegenden Muskeln für ihre Größe und Form große Bedeutung. Die Hypertonie der Wangen- und Lippenmuskulatur kann zu einer Verengung, die Hypotonie zu einer Vergrößerung des oralen Raums führen. Form und Größe des Mundraums werden aber auch durch die Funktionsmuster der Muskeln bestimmt, die für die Lage des Unterkiefers verantwortlich sind. Hierbei spielt das Verhältnis zwischen Protraktoren und Retraktoren, zwischen Adduktoren und Abduktoren, eine entscheidende Rolle. Ein weiteres Beispiel für die engen Beziehungen zwischen Raum und Muskulatur sind die gestörten atmosphärischen Druckverhält-

nisse in den oro-[illegible]o-pharyngealen Funktionsräumen, wenn infolge Haltungsschwäche der Lippenmuskulatur der Mundraumabschluß fehlt.

Es ist nicht Aufgabe dieses Buches, die Pathophysiologie des orofazialen Komplexes in ihrer Gesamtheit abzuhandeln. Es geht vielmehr um die klinischen Probleme, mit denen eine funktionelle Kieferorthopädie konfrontiert ist. Um zu verstehen, welche Aufgaben der Funktionsregler bei der Lösung dieser Probleme zu übernehmen hat, muß davon ausgegangen werden, daß die gestörte Physiologie des Raums in enger Wechselbeziehung zu funktionellen Abwegigkeiten der Muskulatur steht. Dabei kommt der Muskulatur als dynamischem Faktor die primäre Bedeutung zu. Das heißt, unphysiologische Raumbedingungen sind ursächlich zumeist auf abwegige Haltefunktionen der Muskulatur zurückzuführen. Umgekehrt läßt sich sagen, daß unphysiologische Raumverhältnisse auf die Präsenz von Dysbalancen der Muskulatur schließen lassen. Diagnostisch und therapeutisch verdienen daher funktionelle Abwegigkeiten der Muskulatur die größte Beachtung.

Im folgenden wird an charakteristischen Beispielen von Kiefer- und Gebißfehlentwicklungen die enge Wechselbeziehung zwischen Muskulatur und Raum verdeutlicht. Anhand von Zeichnungen soll aufgezeigt werden, auf welche Weise der Funktionsregler die Behebung der funktionellen Abwegigkeiten des Raums und der muskulären Funktionsmuster anstrebt.

## 4.1 Die Pathophysiologie des oralen Funktionsraums

Die schematische Darstellung der Abb. 10a soll die gestörte Physiologie des oralen Funktionsraums beim Vorliegen einer mandibulären Retrusion verdeutlichen. Ganz offensichtlich ist die untere Hälfte der zirkumoralen Weichteilkapsel in ihrer sagittalen Entwicklung zurückgeblieben. Hierdurch ist die Translation des Unterkiefers in rostraler Richtung, die für seine Längenentwicklung von größter Bedeutung ist, behindert. Die Wiederherstellung adäquater Raumbedingungen im oralen Funktionsraum ist daher eine wichtige Aufgabe der funktionellen Orthopädie, deren Lösung durch die vestibulären Schilde des Funktionsreglers realisiert werden kann (Abb. 10b). So kann auf diese Weise der orale Funktionsraum in seinem kaudalen Anteil vergrößert

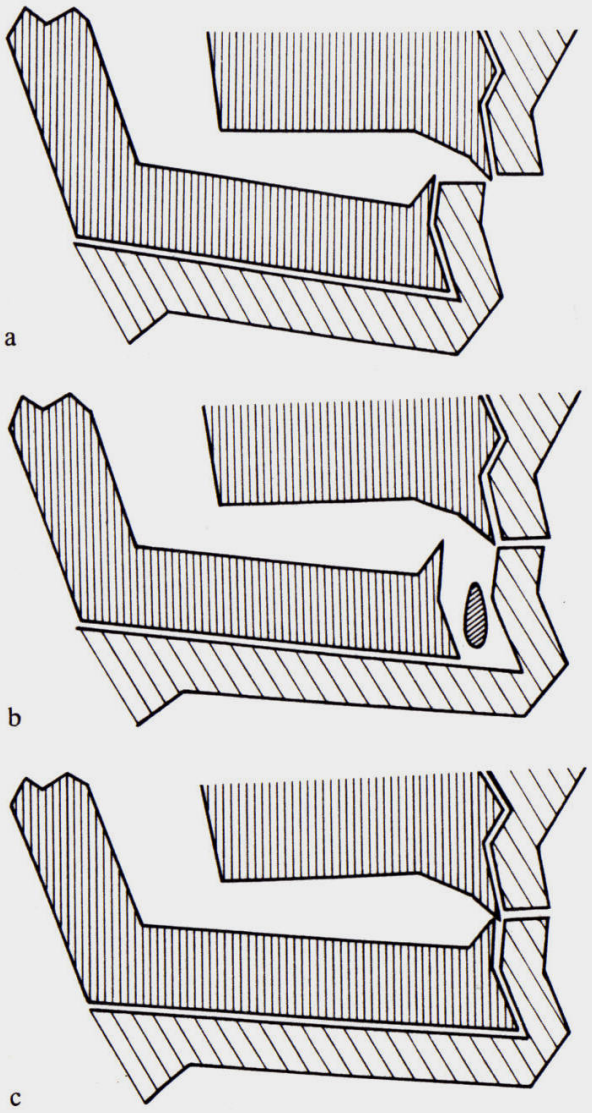



**Abb. 10a–c.** Die gestörte Größenentwicklung der äußeren Weichteilkapsel bei mandibulärer Retrusion (a), ihre Behebung durch die vestibulären Schilde des Funktionsreglers (b), Nachentwicklung des Unterkieferbasalbogens als Anpassung an die strukturelle und funktionelle Veränderung der äußeren Weichteilkapsel (c)

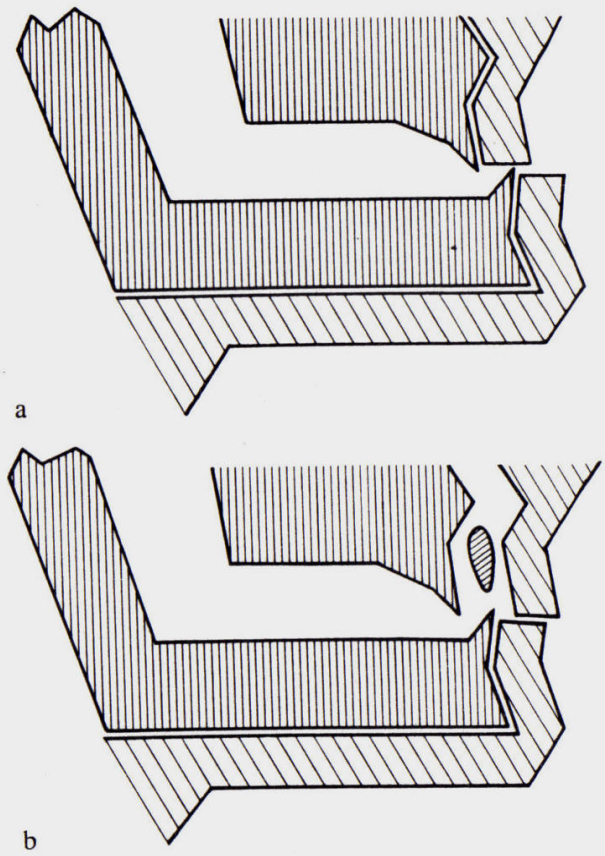



**Abb. 11a, b.** Strukturelle und funktionelle Abweigkeiten der äußeren Weichteilkapsel bei Progenie (a) und ihre Behebung mit Hilfe der vestibulären Schilde des FR-3 (b)

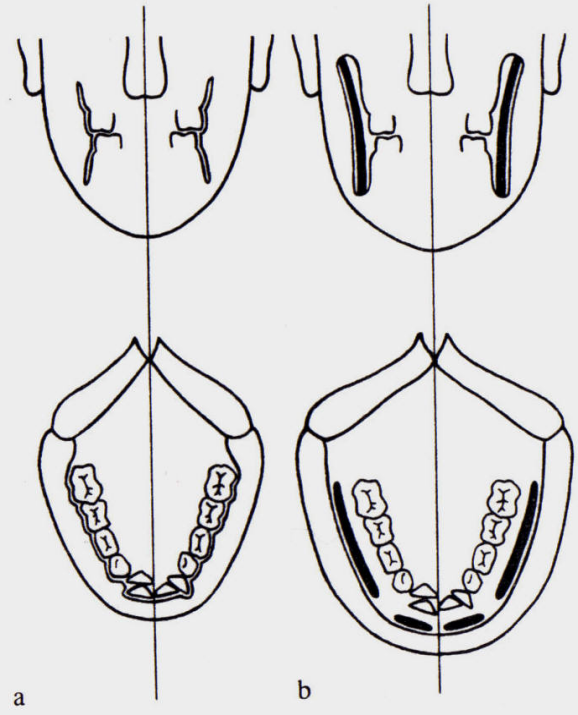



**Abb. 12a, b.** Die ungenügende Entwicklung der zirkumoralen Weichteilkapsel bei Zahnengstand (a) und ihre Behebung mit Hilfe der vestibulären Schilde des Funktionsreglers (b)

werden, womit dem Unterkiefer eine Translation in rostraler Richtung ermöglicht wird (Abb. 10c). Gleichzeitig wird mit Hilfe der Lippenpelotten ein normaler Kontakt zwischen Oberlippe und Unterlippe hergestellt, womit die Voraussetzung für das Zustandekommen eines normgerechten Abschlusses des oralen Funktionsraums erfüllt wird.

Bei den Fällen der Progenie ist die sagittale Entwicklung der zirkumoralen Muskelkapsel in ihrem oberen Anteil zurückgeblieben (Abb. 11a). Mit Hilfe der vestibulären Schilde des FR-3 läßt sich die Einengung der Kapsel beheben und damit der orale Funktionsraum entsprechend weiten (Abb. 11b).

Den transversalen und sagittalen Engstand des Gebisses sehen wir in einem ursächlichen Zusammenhang mit einer zurückgebliebenen transversalen und sagittalen Größenentwicklung der zirkumoralen Kapsel (Abb. 12a). Bei der Behandlung der dentoalveolären Entwicklungshemmung hat eine funktionelle Orthopädie vor allem die Aufgabe zu lösen, die gestörte Raumfunktion durch Weitung bzw. Vergrößerung der äußeren Weichteilkapsel zu beheben (Abb. 12b).

Mit den vorstehenden Ausführungen sollte deutlich gemacht werden, daß sich der Funktionsregler in seiner Wirkungsweise grundsätzlich von den konventionellen festsitzenden wie auch herausnehmbaren kieferorthopädischen Geräten unterscheidet. Die vestibulären Schilde des Funktionsreglers stehen von den Außenflächen der Zähne und des Alveolarfortsatzes ab. Ihre formverändernde Wirkung erfolgt daher nicht auf direktem Wege, nicht durch Druckapplikation. Sie kommt vielmehr indirekt zustande, durch einen primären Eingriff im Weichteilbereich, im epigenetischen Milieu.

Die Verwendung der vestibulären Schilde erschöpft sich aber nicht nur in einer mechanischen Weitung der zirkumoralen Kapsel. In Anbetracht der engen Verflechtung zwischen Raum und Muskulatur können wir schlußfolgern, daß eine

abwegige Größe bzw. Form der zirkumoralen Weichteilkapsel vergesellschaftet ist mit strukturellen und funktionellen Abwegigkeiten der Muskulatur. Die abstehenden Vestibulärschilde des Funktionsreglers haben primär einen mechanischen Effekt, d. h. sie wirken auf die Muskulatur der Kapsel dehnend und weitend ein. Regionale Verspannungen der Muskulatur, besonders im Bereich der Naso- und Mentolabialfalte, werden gelöst. Beim Sprechen, Schlucken, bei den mimischen Bewegungen, d. h. bei allen Funktionen der perioralen Muskulatur, werden die Weichteile über die Schilde hin- und herbewegt, gewalkt und geknetet. Damit kommt den im Vestibulum liegenden Schilden eine physiotherapeutische Wirkung zu. Gleichzeitig aber werden auch die muskulären Funktionen gezwungen, sich den Vestibulärschilden funktionell anzupassen. Damit wird der Funktionsregler nicht nur dem Prinzip der physikalischen Heilmethodik, sondern auch dem Charakter eines orthopädischen Trainingsgerätes gerecht.

Der orale Funktionsraum kann aber auch in der Vertikalen eingeengt sein, wie beispielsweise bei Fällen der Angle-Klasse II/2. Auch diese Raumeinengung kann mit dem Funktionsregler behoben werden, wenn seine Seitenschilde in der Vertikalen entsprechend groß genug konstruiert sind (Abb. 13a und b). Zumeist sind diese Fälle mit dem Muster einer mandibulären Vorwärtsrotation vergesellschaftet. Beim Vorliegen einer mandibulären Rückwärtsrotation sind die vertikalen Dimensionen des oralen Funktionsraums in seinem posterioren Bereich verhältnismäßig kurz, während sie im anterioren Bereich relativ vergrößert sind (Abb.

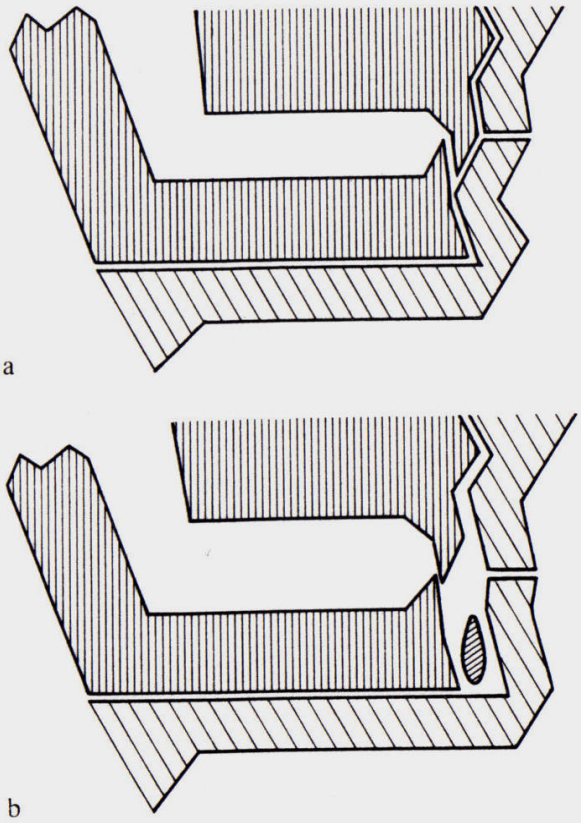



**Abb. 13a, b.** Hemmung der sagittalen und vertikalen Entwicklung der äußeren Weichteilkapsel bei Angle- Klasse II/2 (a) und ihre Behebung mit dem Funktionsregler (b)

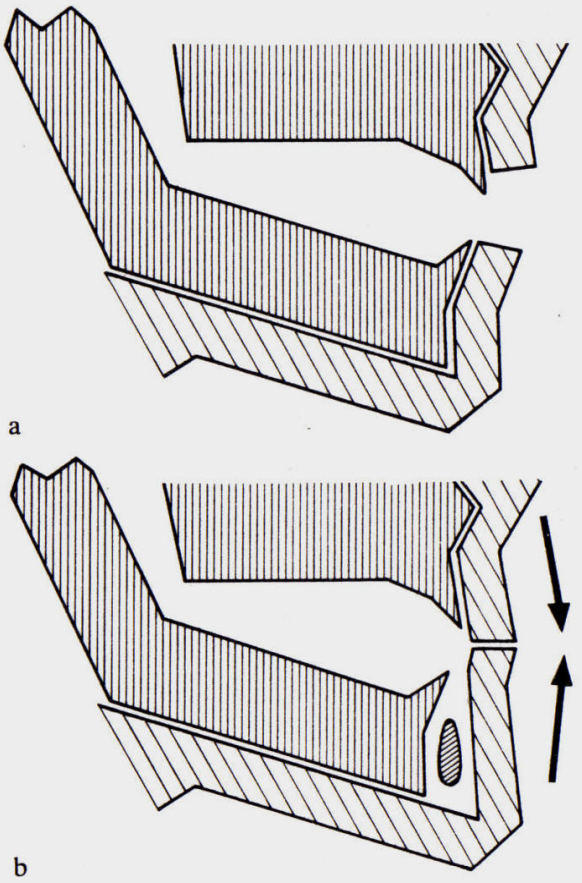



**Abb. 14a, b.** Strukturelle und funktionelle Abwegigkeiten der äußeren Weichteilkapsel beim skelettalen offenen Biß (a) und ihre Behebung durch Lippenschließgymnastik mit dem Funktionsregler als Trainingsgerät (b)

14a). Diese Kiefer-Gebiß-Fehlentwicklung ist fast regelmäßig vergesellschaftet mit dem Fehlen des vorderen Mundraumabschlusses. Dies führen wir auf eine Haltungsschwäche der Mundschließmuskulatur zurück. Hieraus läßt sich ableiten, daß eine funktionelle Orthopädie bei der Behandlung der mandibulären Rückwärtsrotation in der Behebung der Haltungsschwäche der Kiefer- und Lippenschließmuskulatur ihre wichtigste Aufgabe zu sehen hat (Abb. 14b). Auch dieses Beispiel macht deutlich, daß wir bei einer funktionellen Analyse pathophysiologischer Zustände an die enge Verflechtung zwischen Raum und Muskulatur zu denken haben. Die vestibulären Schilde des Funktionsreglers geben uns die Möglichkeit, direkten Einfluß auf die Funktionsabläufe der Lippen- und Wangenmuskulatur zu nehmen. Damit qualifiziert sich der Funktionsregler zu einem orthopädischen Gerät, das uns die Durchführung einer „erzwungenen Gymnastik" erlaubt. Hierauf wird bei der Besprechung der Wirkungsweise der verschiedenen Funktionsreglertypen sowie deren klinischer Verwendung bei der Behandlung der verschiedenen Kiefer-Gebiß-Fehlbildungen näher eingegangen.

## 4.2 Die Pathophysiologie in den nasopharyngealen Funktionsräumen und ihre klinische Problematik bei der Verwendung des Funktionsreglers

Die Frage, ob die Atmung die Formentwicklung im orofazialen Bereich beeinflußt, ist in unserem Fachgebiet seit langer Zeit diskutiert worden, was in einer umfangreichen Literatur seinen Niederschlag gefunden hat. Es gibt viele Autoren, die glauben, daß Mundatmung infolge einer behinderten Nasenatmung als ein wichtiger ursächlicher Faktor bei der Entwicklung dentofazialer Anomalien zu werten ist. Viele sehen daher in chirurgischen Maßnahmen wie der Adenektomie, der Tonsillektomie, der Korrektur der Septumdeviation u. a. die therapeutische Lösung des Problems. Bei einer funktionellen Analyse muß jedoch immer bedacht werden, daß Form und Funktion in enger Wechselbeziehung stehen. Morphologische Faktoren können die Funktion ungünstig beeinflussen, abwegige Funktionen die Form. Nach *Miller* und *Vargervik* (1979) kann man einer ursächlichen Erklärung der Mundatmung durch eine rein morphologische Analyse nicht näherkommen. Wenn eine Verengung der nasopharyngealen Atempassage vorliegt, ganz gleich, durch welche Faktoren sie veranlaßt wird, sollte man immer an das kompensatorische Potential der respiratorischen Muskulatur denken. Das Zwerchfell ist ein sehr leistungsfähiger Muskel (Abb. 15). Er ist durchaus in der Lage, die respiratorische Funktion auch bei eingeengter Atempassage durch ver-

**Abb. 15.** Das Zwerchfell und seine Bedeutung als Motor der respiratorischen Funktion

stärkte Aktivität a echtzuerhalten. *Watson* und Mitarbeiter (1968) haben mit Hilfe von Druckmessungen den Widerstand der nasopharyngealen Atemwege bei Mundatmung untersucht. Bei 23% der untersuchten Probanden lag keine Einengung der nasopharyngealen Atempassage vor, die eine Mundatmung notwendig gemacht hätte. Auf Grund dieser Untersuchungen kamen sie zu dem Schluß, daß bei diesen Probanden die Fehlatmung durch den Mund als „Gewohnheit" (habit) zu werten sei.

Diese interessanten Untersuchungen befinden sich in Übereinstimmung mit den klinischen Erfahrungen, die wir mit unserem Atem-Prüftest gesammelt haben. Bei der Befunderhebung muß sich jeder Patient, der die Lippen geöffnet hält, diesem Test unterziehen. Er wird gebeten, die Lippen zu schließen und 10 bis 15 Kniebeugen zu machen. Überraschenderweise gibt es nur ganz wenige Kinder, die bei diesem Test außer Atem kommen, und zwar auch, wenn eine Einengung der nasopharyngealen Atempassage durch vergrößerte Adenoide, Septumdeviation usw. vorliegt. Auf Grund zwanzigjähriger Erfahrungen mit diesem Test stimmen wir *Miller* und *Vargervik* zu, daß die kompensatorische Fähigkeit der respiratorischen Muskulatur in eine funktionelle Analyse der Atmung einbezogen werden muß. Die enge Verflechtung zwischen Raum und Muskulatur hat somit auch für das respiratorische System Gültigkeit. Wenn wir unsere Untersuchungen auf strukturelle Abwegigkeiten in den nasopharyngealen Atemwegen beschränken, können wir leicht zu Fehldiagnosen kommen. Keinesfalls dürfen wir die Muskulatur, den Motor der Atmung, außer acht lassen, auch wenn vergrößerte Adenoide und andere Obstruktionen in den nasopharyngealen Räumen vorliegen. Wir halten es für unzulässig, lokale Verengungen des Atemwegs in einen simplen linearen Kausalzusammenhang mit der Mundatmung zu bringen. Ergänzend sei noch auf die Bedeutung des Weichteilventils V 3 für den hinteren Abschluß des oralen Funktionsraumes hingewiesen. Wenn die Schließfunktion dieses Ventils nicht gestört ist, so wird auch bei geöffneten Lippen durch die Nase geatmet (Abb. 16). Hieran muß bei der Bestimmung des Respirationsmodus gedacht werden, worauf im Kapitel 7 noch eingegangen wird.

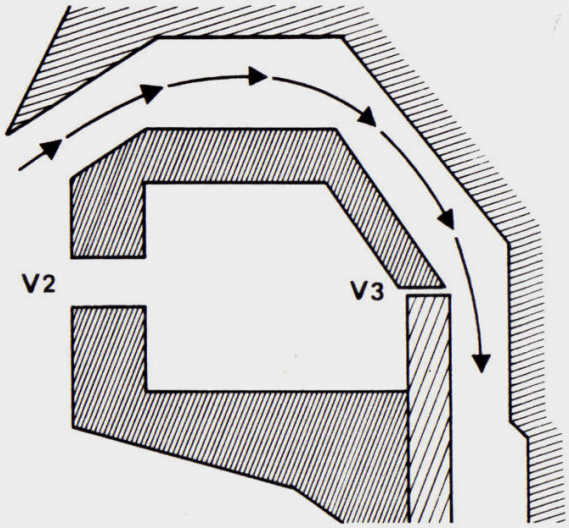



**Abb. 16.** Wenn der hintere Mundraumabschluß (V3) intakt ist, wird auch bei Inkompetenz des Lippenschlusses (V2) durch die Nase geatmet

Abschließende Bemerkungen:

Die Pathophysiologie des orofazialen Komplexes beinhaltet eine vielschichtige, sehr komplizierte Problematik. Bei unseren Ausführungen haben wir uns nur auf Teilaspekte beschränkt, und zwar unter dem Gesichtspunkt klinischer Relevanz. Aus diesem Grunde sind wir nur auf die pathophysiologischen Phänomene eingegangen, die für eine kieferorthopädische Diagnostik und Therapieplanung Bedeutung haben. So haben nur biomechanische bzw. biophysikalische Aspekte pathophysiologischer Zustände Erwähnung gefunden. Auf die klinische Bedeutung dieser pathophysiologischen Phänomene wird später noch ausführlich eingegangen.

# 5 Beschreibung und Wirkungsweise der Funktionsregler

In der Allgemeinorthopädie gehört eine funktionelle Behandlungsweise schon seit langem zur Routinepraxis. Hierfür stehen dem Orthopäden Gymnastikräume und ein geschultes Personal zur Verfügung. In der Kieferorthopädie sind derartige günstige Voraussetzungen nicht gegeben. Kieferorthopädische Gymnastik und Muskeltraining müssen zu Hause durchgeführt werden, was einen hohen Grad der Kooperation von Kind und Eltern erfordern würde. Unsere eigenen Erfahrungen mit der sogenannten „Myotherapie" haben bei der Behebung abwegiger Funktionsmuster keine überzeugenden Erfolge aufzeigen können. Bei der Suche nach einem Ausweg gibt uns die Allgemeinorthopädie einen wertvollen Hinweis. In bestimmten Fällen, besonders bei der Behandlung von Deformitäten der Wirbelsäule, bedient man sich der sogenannten „Erzwungenen Gymnastik". Hierbei kommen Geräte zur Anwendung, die die Erlernung neuer Funktionsmuster erzwingen. Unsere klinischen Erfahrungen lassen den Schluß zu, daß mit der Konstruktion des Funktionsreglers ein Gerät entwickelt wurde, dessen Anwendung dem Prinzip einer „Erzwungenen Gymnastik" zu entsprechen vermag. Um zu verstehen, auf welche Weise mit dem Funktionsregler eine erzwungene Gymnastik realisiert werden kann, muß man sich mit der Wirkungsweise der verschiedenen Platten- und Drahtelemente des Geräts vertraut machen. Man muß wissen, daß die verschiedenen Teile des Funktionsreglers durchaus unterschiedliche Aufgaben bei der Realisierung einer funktionellen Orthopädie zu lösen haben. So besteht ein grundsätzlicher Unterschied zwischen der Wirkungsweise der Drähte und der der Plattenelemente des Geräts. Die Drähte des Funktionsreglers haben vor allem die Aufgabe, die verschiedenen Plattenelemente des Geräts zu verbinden und so ihre Lage im Munde abzusichern. Einige Drähte sind als okklusale Auflagen konstruiert und übernehmen die Aufgabe der vertikalen Abstützung. Andere Drahtelemente dienen der intermaxillären Abstützung. Hieraus läßt sich folgern, daß die Drähte des Funktionsreglers im wesentlichen einen mechanischen Wirkungscharakter haben. Aus diesem Grunde ist die Wirkungsweise der Drähte auch dem Kieferorthopäden verständlich, der sich mit unserer Behandlungsmethode noch nicht befaßt hat. Wesentlich schwieriger ist es, die Wirkungsweise der Plattenelemente des Funktionsreglers zu verstehen, da sie sich von denen des Aktivators und seiner Modifikationen ganz erheblich unterscheidet. Wenn dieser Unterschied nicht berücksichtigt und der Funktionsregler wie ein Aktivator gehandhabt wird, kann ein Erfolg bei der Durchführung einer erzwungenen Gymnastik nicht erwartet werden.

Im folgenden sollen die verschiedenen Gerätetypen des Funktionsreglers aufge-

führt und ihre Einze e beschrieben werden. Damit sich der Leser von dem Sitz des Geräts im Munde eine Vorstellung machen kann, sind die einzelnen Funktionsreglertypen mit den dazugehörigen Gipsmodellen fotografiert worden. Auf diese Weise läßt sich die exakte Lage der einzelnen Platten- und Drahtelemente des Geräts, die für das Zustandekommen des gewünschten Behandlungseffektes von größter Bedeutung sind, am besten demonstrieren. Bei der Interpretation der Wirkungsweise kommt es uns darauf an, das Grundprinzip zu verdeutlichen, nach dem die verschiedenen Platten- und Drahtelemente ihre Wirkung entfalten. Diese arbeitshypothetischen Erläuterungen sind unerläßlich, um die Wirkungsweise der Funktionsreglertypen bei der Behandlung der verschiedenen Kiefer-Gebiß-Fehlbildungen verstehen und sie erfolgreich anwenden zu können.

## 5.1 Der Funktionsreglertyp FR-1

Der FR-1 besteht aus zwei Bukkalschilden, zwei unteren Lippenschilden, einem Lingualschild und mehreren Drahtelementen, die jeweils verschiedene Aufgaben zu erfüllen haben. Besondere Beachtung verdienen die Plattenelemente des Funktionsreglers. Ihrer technischen Herstellung und klinischen Handhabung ist besondere Sorgfalt zu widmen, da sie die wesentliche Aufgabe im Sinne eines orthopädischen Übungsgeräts zu erfüllen haben (Abb. 17, 18).

### *5.1.1 Die Schilde des FR-1*

#### 5.1.1.1 Die Bukkalschilde des FR-1

Die korrekte Größe und Form der Bukkalschilde sind in der Abb. 17 dargestellt. Diese Plattenelemente müssen mit ihren Rändern tief in der Umschlagfalte liegen, besonders in der apikalen Region des oberen ersten Prämolaren und des Tuber maxillare. Überall dort, wo eine Weitung des dentoalveolären Bogens notwendig ist, müssen diese Bukkalschilde von den Außenflächen des dentoalveolären Fortsatzes abstehen. Dieser Abstand sollte jedoch nur so groß sein, wie es für eine transversale Nachentwicklung des dentoalveolären Fortsatzes erforderlich ist. Wenn man dies nicht beachtet, wird das Tragen des Geräts erschwert bzw. unmöglich gemacht. Außerdem wirkt sich ein derartig fehlkonstruiertes Gerät auch sehr ungünstig auf die Gesichtsästhetik aus, wodurch die Kooperation des Kindes in Frage gestellt wird.

*Physiotherapeutischer Effekt*
Die Bukkalschilde haben die Aufgabe, die äußere Weichteilkapsel zu weiten. Hierbei kommt es gleichzeitig zu einer Weitung des oralen Funktionsraums, womit eine transversale Nachentwicklung des dentoalveolären Bogens ermöglicht wird. Bei einer transversalen Entwicklungshemmung im dentoalveolären Bereich befindet sich die äußere Weichteilkapsel in einem entsprechenden strukturellen Anpassungszustand. Die abstehenden Vestibulärschilde wirken auf diese strukturellen Abweichungen, insbesondere auf die der Muskulatur, im Sinne der Dehnung und Streckung ein. Regionale Verspannungen der Muskeln, besonders im Bereich der Nasolabialfalte, werden aufgelockert. Den Bukkalschilden kommt hierbei auch ein Massageeffekt zu, worauf bereits im Kapitel 4 hingewiesen wurde. Auf diese Weise wird dem Prinzip der physikalischen Heilmethodik, wie sie in der Allgemeinorthopädie verbreitet zur Anwendung kommt, entsprochen. Durch diese mechanische Wirkung der Vestibulärschilde wird ein struktureller Adaptationsprozeß eingeleitet, der einer funktionellen Anpassung der Muskulatur sehr förderlich ist.

*Erzwungene Gymnastik*
Neben der physiotherapeutischen Wirkung haben die Bukkalschilde des Funk-

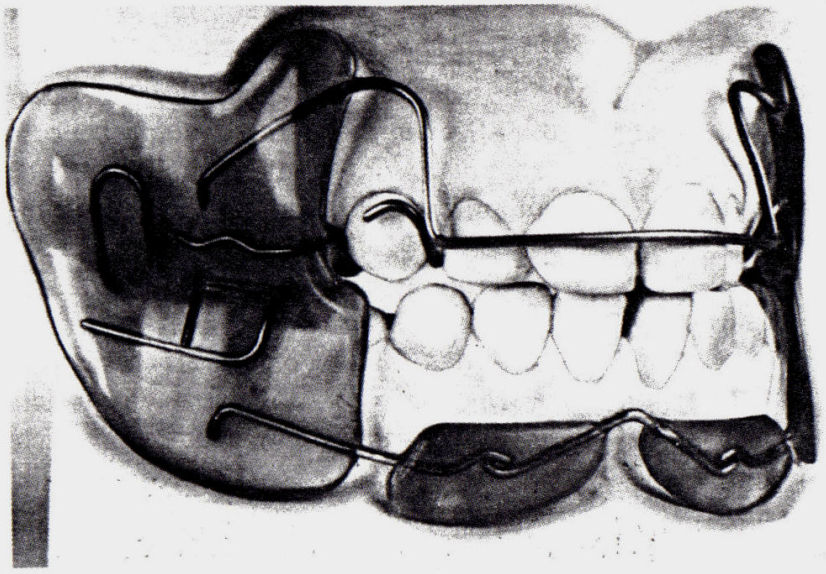


**Abb. 17.** FR-1 mit Modellen im Konstruktionsbiß von außen gesehen

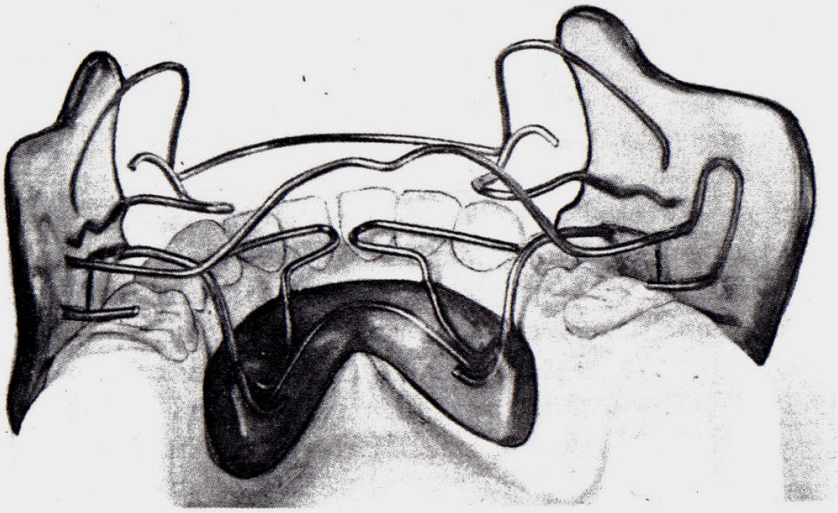


**Abb. 18.** Der FR-1 auf dem Unterkiefermodell von lingual gesehen

tionsreglers aber auch eine Teilaufgabe bei der Realisierung einer orthopädischen Gymnastik zu erfüllen. Durch die abstehenden Seitenschilde wird den Wangenweichteilen eine Situation vorgetäuscht, als seien Gebiß und Kiefer transversal normal entwickelt. Auf diese Weise werden die Muskeln der zirkumoralen Weichteilkapsel gezwungen, sich den Außenflächen der Bukkalschilde in Motorik und Haltung anzupassen. Damit wird dem Prinzip einer erzwungenen Gymnastik entsprochen, d. h., der Funktionsregler übernimmt nach seiner Eingliederung in den Mund die Aufgabe einer orthopädischen Gymnastin bzw. eines Physiotherapeuten.

### 5.1.1.2 Die Lippenschilde des FR-1

Größe und Lage der im anterioren unteren Vestibulum liegenden Plattenelemente gehen aus der Abb. 17 hervor. Ihre Form entspricht etwa einem Rhomboid mit abgerundeten Ecken. Die oberen Ränder dieser Lippenschilde laufen verhältnismäßig dünn aus und sollten vom Gingivalsaum der unteren Frontzähne etwa 5 mm entfernt sein. Ihre unteren Ränder sind dicker gestaltet, etwa 1½ bis

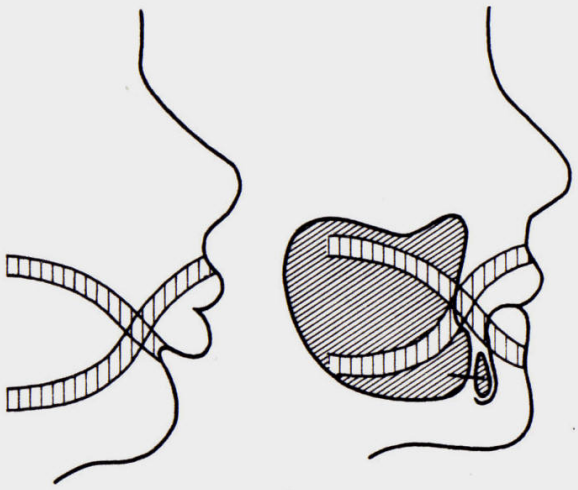
2 mm stark, und müssen gut abgerundet sein, um Irritationen der Mundschleimhaut in dieser empfindlichen Region zu vermeiden.

*Physiotherapeutischer Effekt*

Nach Einsetzen des Geräts wird mit Hilfe der Lippenpelotten die Unterlippe in der Gegend der Mentolabialfalte gestützt. Hierdurch wird die meist sehr unschön aussehende Weichteileinziehung zwischen Unterlippe und Kinn behoben. Gleichzeitig kommt es zu einer Aufrichtung der Unterlippe, zur Korrektur ihrer Ausstülpung. So können sich die adhäsiven Zonen des Lippenrotes von Ober- und Unterlippe zu einem normgemäßen Kontakt finden (Abb. 19a + b). Der physiotherapeutische Effekt der Lippenpelotten des Funktionsreglers kann in seiner Bedeutung jedoch nur dann richtig eingeschätzt werden, wenn er im Zusammenhang mit dem der Bukkalschilde gesehen wird. Dies gilt besonders für die Verwendung des FR-1 bei der Behandlung der mandibulären Retrusion. Die in diesen Fällen bestehende sagittale Einengung der Weichteilkapsel in ihrem unteren Teil kann nur dann behoben werden, wenn Lippen- und Wangenschilde bei der erforderlichen Expansion der Weichteilkapsel zusammenwirken. Wie die Abb. 20a zeigt, setzt sich der obere Teil des M. buccinatoris in der Unterlippe fort und ist mit ihrer Muskulatur strukturell verflochten. Durch die gemeinsame Wirkung von Lippenpelotten und Wangenschilden wird diese Muskelschlinge allmählich gedehnt und damit im Sinne der strukturellen Norm verändert. So können die strukturellen Dysbalancen der Weichteilkapsel, besonders ihrer muskulären Komponenten, behoben werden (Abb. 20b).

a b

**Abb. 19a, b.** Weichteilprofil bei Angle-Klasse II/1 (a) und seine Veränderung nach Einsetzen des FR-1 (b). Durch die Stützwirkung der Pelotten wird die Aufrichtung der Unterlippe ermöglicht, so daß sich die adhäsiven Zonen des Lippenrots zu einem kompetenten Abschluß des oralen Funktionsraums finden



a b

**Abb. 20a, b.** Die strukturellen und funktionellen Abwegigkeiten bei Angle-Klasse II/1. Posturale Dysbalancen zwischen den Muskelschlingen, die durch den oberen Teil des M. buccinator und dem M. orbicularis oris der Unterlippe und dem unteren Teil des M. buccinator und dem M. orbicularis oris der Oberlippe gebildet werden (a), und ihre Behebung durch die vestibulären Schilde des Funktionsreglers (b)

*Erzwungene Gymnastik*

Die tief in der Umschlagfalte liegenden Lippenpelotten haben die Aufgabe, die exzessive Aktivität des Kinnmuskels beim Lippenschluß zu behindern bzw. unmöglich zu machen. Auf diese Weise ist die Lippenschließmuskulatur gefordert, den vorderen Abschluß des oralen Funktionsraumes herzustellen. Dies ist eine wichtige Voraussetzung, um einen Trainingseffekt der Lippenschließmuskulatur zu erzielen. Gleichzeitig wirkt sich die

stützende Wirkung der unteren Lippenschilde sehr günstig für eine erfolgreiche Durchführung der Lippenschließgymnastik aus. Wie bereits ausgeführt, wird durch diese mechanische Stütze die Fehllage der Unterlippe behoben, was einen normgerechten Kontakt zwischen Ober- und Unterlippe außerordentlich erleichtert. Diese Aufgabe können die Lippenpelotten aber nur erfüllen, wenn sie in der Tiefe der unteren Umschlagfalte liegen. Damit unterscheiden sie sich in Form, Lage und Wirkungsweise grundsätzlich von dem sogenannten „Lip-bumper".
Um die orthopädische Wirkung der Lippenpelotten zu verstehen, darf man die adhäsive Wirkung des Übergangsepithels (in den Abb. 19a und b durch schwarze Markierung hervorgehoben) in seiner Bedeutung für das Zustandekommen eines kompetenten Lippenschlusses nicht unterschätzen. Die Herstellung eines normgemäßen Kontaktes dieser adhäsiven Lippenrotpartien ist für einen hermetischen Abschluß des oralen Funktionsraumes von größter Bedeutung. Dieser Abdichtungseffekt läßt sich aber nur erreichen, wenn der Patient nach Einsetzen des Funktionsreglers die Lippen geschlossen hält, worauf später noch ausführlich eingegangen wird.

### 5.1.1.3 Der Lingualschild des FR-1

Der Lingualschild liegt der Innenseite des unteren Alveolarfortsatzes an. Es ist hufeisenförmig geformt, und seine distalen Enden liegen etwa über den Wurzeln der unteren zweiten Prämolaren. Aus den Abb. 18 und 22b ist deutlich erkennbar, daß die oberen Ränder des Schildes unterhalb des Gingivalsaums liegen. Bei der Behandlung der mandibulären Retrusion erfolgt die Vorverlagerung des Unterkiefers ohne jede Abstützung an den unteren Zähnen. Vorausgesetzt, daß der Lingualschild korrekt hergestellt wurde und keinen Kontakt mit dem Gebiß hat, kann daher eine Rostralbewegung der unteren Zähne mit Sicherheit vermieden werden.

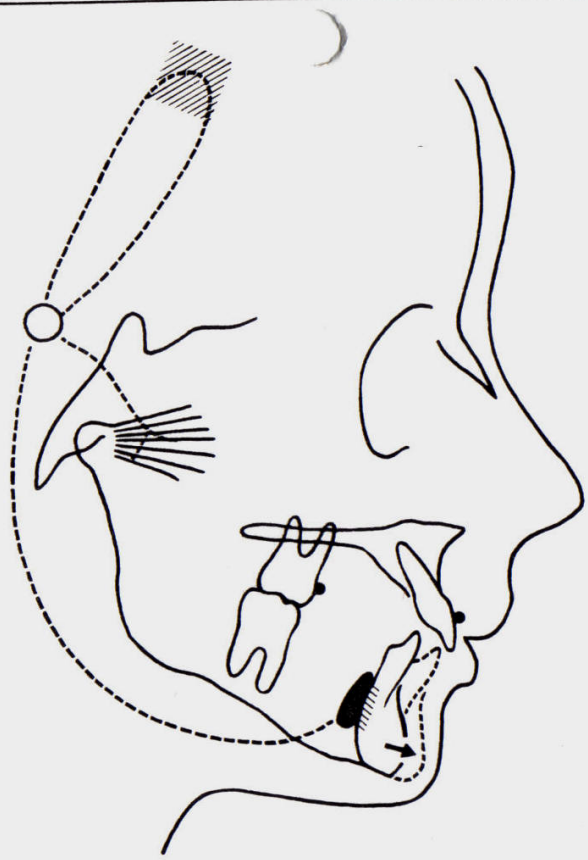
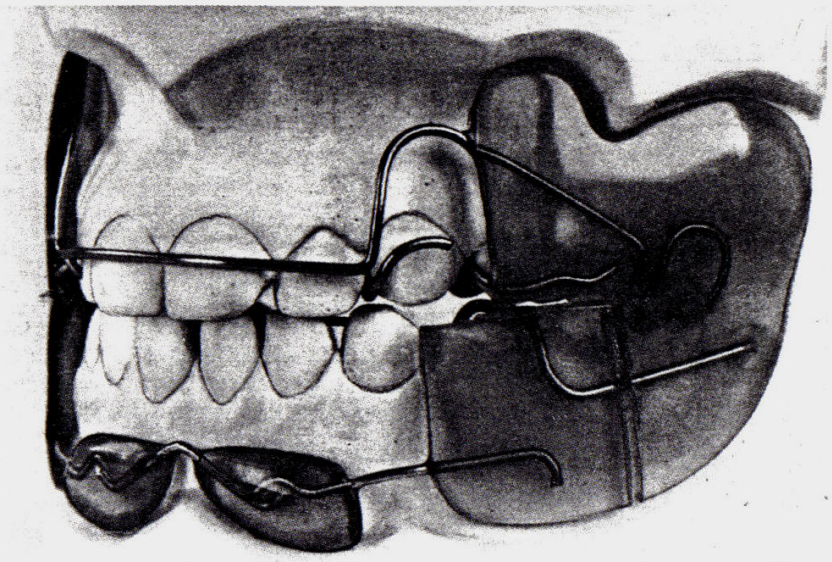


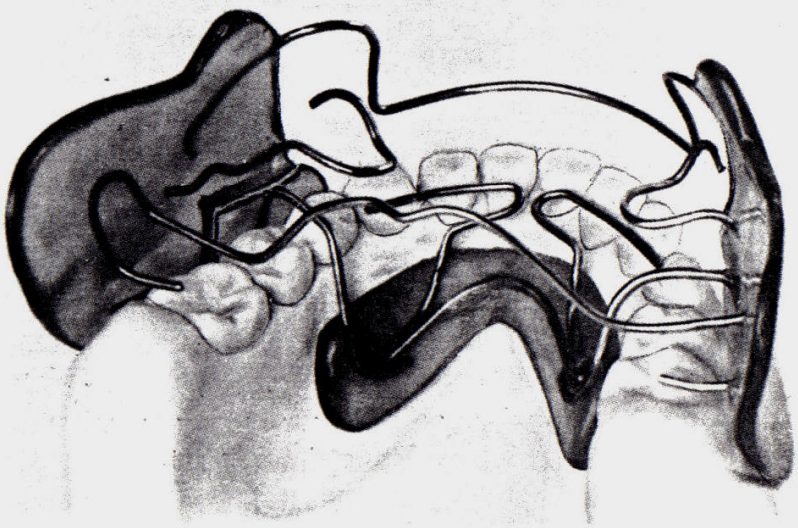
**Abb. 21.** Durch die Druckwirkung des Lingualschilds kommt es über die Regelmechanismen des Zentralnervensystems zur Aktivierung der Protraktoren

*Erzwungene Gymnastik*

Bei der Behandlung der mandibulären Retrusion mit Hilfe der Aktivatoren wird der Unterkiefer in seiner Vorlage mechanisch abgestützt. Die Protraktoren sind somit nicht zu einer Leistung gefordert. Ein Trainingseffekt dieser Muskulatur kann daher nicht erwartet werden, besonders dann nicht, wenn das Gerät nur nachts getragen wird. Um die bei der mandibulären Retrusion vorliegenden Dysbalancen zwischen Protraktoren und Retraktoren zu beheben, muß daher ein Gerät entwickelt werden, mit dem sich eine Lageveränderung des Unterkiefers ohne mechanische Abstützung erreichen läßt.
Wir sind der Ansicht, daß bei der Behandlung der mandibulären Retrusion das Problem einer funktionellen Orthopädie nur gelöst werden kann, wenn auf jede mechanische Abstützung der Unterkiefervorlage verzichtet wird. Hierbei



a

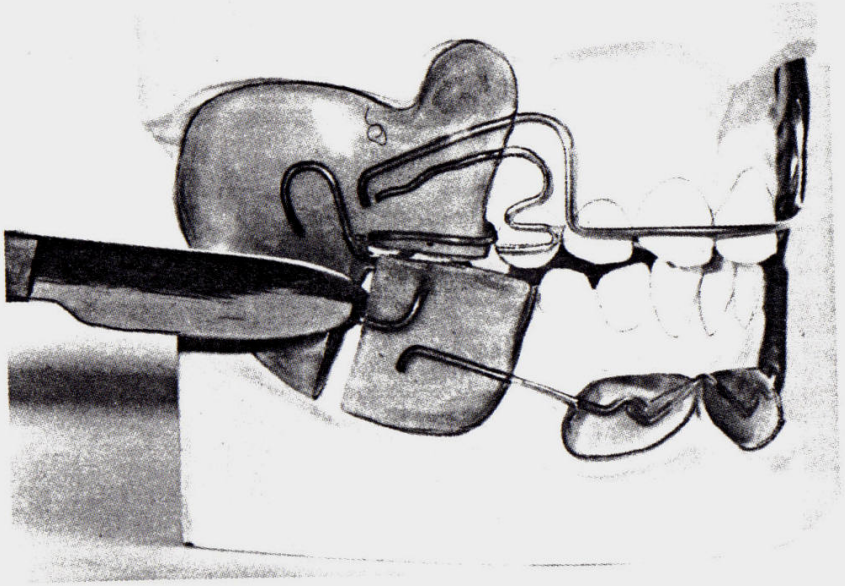


b

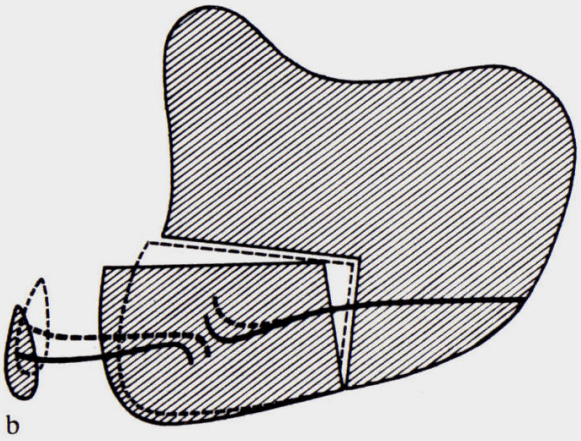
**Abb. 22a, b.** Der FR-1 auf den Arbeitsmodellen im Konstruktionsbiß von außen (a) und auf dem Unterkiefermodell von innen gesehen (b) nach Segmentierung

stützen wir uns auf die klinischen Erfahrungen, die wir mit dem Funktionsregler in der Anfangsphase der Entwicklung sammeln konnten. Wie die Abb. 18 und 22 b zeigen, ist der Lingualschild des FR-1 durch zwei interokklusal verlaufende Drähte mit den Bukkalschilden verbunden. Wurde der Konstruktionsbiß in einer Vorschubstellung des Unterkiefers von einer Prämolarenbreite genommen (wie wir das anfänglich taten), so kam es an der Lingualfläche des frontalen Alveolarfortsatzes zu Dekubitalerscheinungen. Sehr häufig wurden auch die Verbindungsdrähte zwischen Lingualschild und Bukkalschilden verbogen, d. h., der Lingualschild wurde durch die Kraft der Retraktoren, die den Unterkiefer in die alte Rücklage zu bringen versuchen, dorsalwärts verlagert. In diesem Falle standen dann die unteren Lippenpelotten von den Fazialflächen des Alveolarfortsatzes ab. Hieraus läßt sich folgern, daß der Lingualschild des FR-1 nicht in der Lage ist, den Unterkiefer in der Vorlage mechanisch abzustützen. Damit ist *eine* wichtige Voraussetzung für die Konstruktion eines orthopädischen Trainingsgeräts erfüllt.

Die Aufgabe, die der Lingualschild als orthopädisches Führungselement bei der Behebung der posturalen Dysbalancen zwischen Protraktoren und Retraktoren zu lösen hat, soll anhand der Abb. 21 verständlich gemacht werden. Nach Einset-



a



b

**Abb. 23a, b.** Durch Erweiterung des vertikalen Sägeschnitts kann das vordere Segment des Bukkalschilds mit den Lippenpelotten und dem Lingualschild schrittweise in anteriorer Richtung verstellt werden (a). Durch Biegen des Verbindungsdrahts nach kaudal kann die Unterkieferruhelage auch in vertikaler Richtung verändert werden (b)

zen des FR-1 werden wie bei allen Veränderungen der Bißlage die Retraktoren versuchen, den Unterkiefer in die alte Rücklage zurückzubringen. Dabei kommt es zum Druckkontakt zwischen dem Lingualschild und den Innenflächen des unteren Alveolarfortsatzes. Der hierdurch ausgelöste Druck wird von den Mechanorezeptoren der Gingiva und des darunter liegenden Periosts registriert und an die entsprechenden Schaltzentren des Zentralnervensystems weitergeleitet. Die so entstehenden sensorischen Afferenzen werden zu motorischen Efferenzen verarbeitet. Das heißt, die Protraktoren werden aktiviert, um durch Vorverlagerung des Unterkiefers die Drucksensation zu beheben. Diese Leistung der Protraktoren kann in der Anfangsphase der Behandlung nur am Tage erwartet werden, worüber später noch bei der klinischen Handhabung des Funktionsreglers ausführliche Hinweise gegeben werden.

Lange Erfahrungen in der Allgemeinorthopädie wie aber auch beim Sport haben gezeigt, daß ein erfolgreiches Training der Muskulatur nur dann erwartet werden kann, wenn es behutsam eingeleitet und in der Folge allmählich gesteigert wird. Diesem Prinzip wird der Funktionsregler durch die Segmentierung der Bukkalschilde gerecht (Abb. 22a und b). Auf diese Weise kann das anteriore Segment des Bukkalschilds mit Lippenpelotten und Lingualschild allmählich in anteriorer Richtung verstellt werden. Durch Erweiterung des vertikalen Sägeschnitts mit einem Wachsmesser können Lippenpelotten und Lingualschild schrittweise vorverlagert werden (Abb. 23a + b). Durch die schrittweise Lageveränderung des Unterkiefers ist die Möglichkeit für ein

allmähliches orthopädisches Training der orofazialen Muskulatur gegeben und damit die Voraussetzung für eine orthopädische Behandlung der mandibulären Retrusion erfüllt.

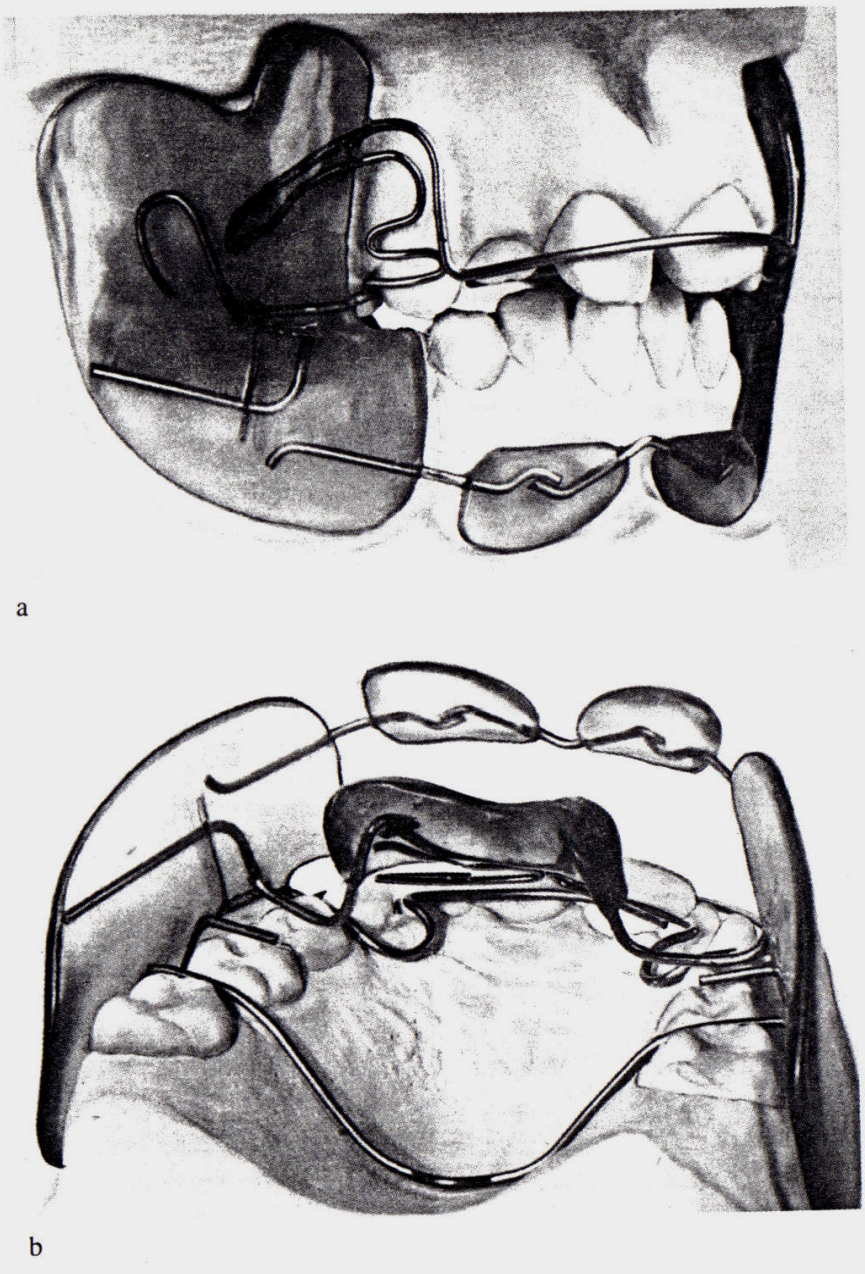
### *5.1.2 Die Drahtelemente des FR-1*

Alle im Vestibulum liegenden Drähte, die nicht innerhalb der Schilde liegen, sollten einen gewissen Abstand von der Schleimhaut des Alveolarfortsatzes haben, um Dekubitalerscheinungen zu vermeiden (Abb. 17, 18). Wir müssen immer daran denken, daß alle Funktionsreglertypen beweglich im Mundraum liegen, weshalb ein gewisser Abstand dieser Drähte von den Außenflächen des Alveolarfortsatzes einzuhalten ist. Doch sollte dieser Abstand nicht mehr als 1½ mm betragen. Anderenfalls würden sie die Innenseiten von Lippen und Wangen irritieren, besonders im Bereich der Mundwinkel, wo diese Weichteile beim Sprechen hin- und herbewegt werden. Bei der Herstellung der Funktionsregler sollte immer daran gedacht werden, daß sie ihre Aufgabe als orthopädische Trainingsgeräte nur dann erfüllen können, wenn sie Motorik und Haltung nicht behindern. Selbst kleine Fehler bei der Herstellung der Geräte können dazu führen, daß der Patient den Behelf als lästig und störend empfindet, wodurch die notwendige Kooperation gefährdet wird. Die Abb. 17 zeigt den korrekten Sitz der im Vestibulum frei liegenden Drahtelemente des FR-1, deren Herstellung im Kapitel 10 noch ausführlicher beschrieben wird.

Die Hauptaufgabe dieser Drähte liegt darin, die vestibulären Plattenelemente miteinander zu verbinden und gegenseitig zu versteifen. Sie haben also einen Stabilisierungseffekt, der für den funktionsgerechten Sitz des Geräts im Munde erforderlich ist. Wenn der obere Labialbogen in Kontakt mit den oberen Frontzähnen kommt, hat er einen orthodontischen Effekt. Mit ihm lassen sich protrudierte obere Schneidezähne in dorsaler Richtung bewegen, was bei der Behandlung der Angle-Kl. II/1 oft notwendig ist. Auch die Eckzahnschlaufe kann durch entsprechende Biegung dazu benutzt werden, um Fehlstände dieses Zahnes zu beheben (Abb. 17 und 18). Die Eckzahnschlaufe sollte ebenso wie der Palatinalbügel, dessen Lage exakt im Kapitel 10 beschrieben wird, interdental zwischen den Seitenzähnen tief eingelagert sein. Die interdentale Einlagerung dieser beiden Drähte ist für die intermaxilläre Abstützung des Geräts notwendig, da sonst eine erfolgreiche Behandlung der mandibulären Retrusion unmöglich wäre. Der Verbindungsdraht zwischen Seitenschild und Lingualschild überquert die Kauflächen der unteren Seitenzähne in einem Abstand von etwa 1 mm (Abb. 18). Er darf sich nicht interdental einlagern. Anderenfalls könnte sich der Lingualschild nicht im Sinne des orthopädischen Trainings auswirken. Die beiden unteren Lingualdrähte berühren die Lingualflächen der unteren Frontzähne nur dann, wenn ihre Protrusion erforderlich ist. Beim Vorliegen eines Tiefbisses liegen sie den Tuberkula der unteren Schneidezähne an. So verhindern sie deren weitere Extrusion, was bei einer notwendigen Bißhebung erforderlich ist.

## 5.2 Der Funktionsreglertyp FR-2

Der FR-2 unterscheidet sich vom FR-1 durch eine Modifikation der Eckzahnschlaufe und durch ein zusätzliches Drahtelement, den oberen Lingualbogen, der den Lingualflächen der oberen Frontzähne anliegt (Abb. 24a + b). Die im Vestibulum liegenden Schilde wie aber auch der Lingualschild sind in Form und Lage identisch mit denen des FR-1. Alle diese Plattenelemente des FR-2 arbeiten nach dem gleichen Wirkungsprinzip wie die des FR-1, physiotherapeutisch, wie aber auch im Sinne des orthopädischen Trainings. Die Bukkalschilde des FR-2 haben zusätzlich noch eine sehr wichtige Aufga-



a

b

**Abb. 24a, b.** Der FR-2 auf den Modellen im Konstruktionsbiß von außen (a), und auf dem Oberkiefermodell von innen gesehen (b)

be zu erfüllen. Die Fälle der Angle-Kl. II/2 sind sehr häufig mit einem frontalen Tiefbiß bzw. einer mandibulären Vorwärtsrotation vergesellschaftet, besonders beim „Deckbiß". In der Regel ist in diesen Fällen der interokklusale Raum im Seitenzahngebiet vergrößert. Viele Autoren führen dies auf eine interokklusale Einlagerung der Zunge zurück. Auch die ausgeprägte Speesche Kurve erklären sie durch die interokklusale Einlagerung der Zunge. Dieser Ansicht können wir nicht zustimmen. Bei Verwendung des Funktionsreglers wird die interokklusale Einlagerung der Zunge in keiner Weise behindert. Die ausgezeichneten Ergebnisse, die wir regelmäßig bei der Behandlung des Tiefbisses durch Extrusion der Seitenzähne erreichen, lassen den Schluß zu, daß der interokklusalen Einlagerung der Zunge keine große Bedeutung zukommen kann. Die Wangenweichteile sind strukturell viel weicher und anschmiegsamer als die Zunge. Deshalb lagern sie sich auch leichter interokklusal ein (Abb. 25a). Mit Hilfe der Bukkalschilde des FR-1 oder FR-2 läßt sich diese Einlagerung der Wange verhindern und eine Hemmung der Vertikalentwicklung des seitlichen dentoalveolären Fortsatzes beheben (Abb. 25b). Natürlich kommt bei der Lösung dieser Aufgabe auch der Wir-

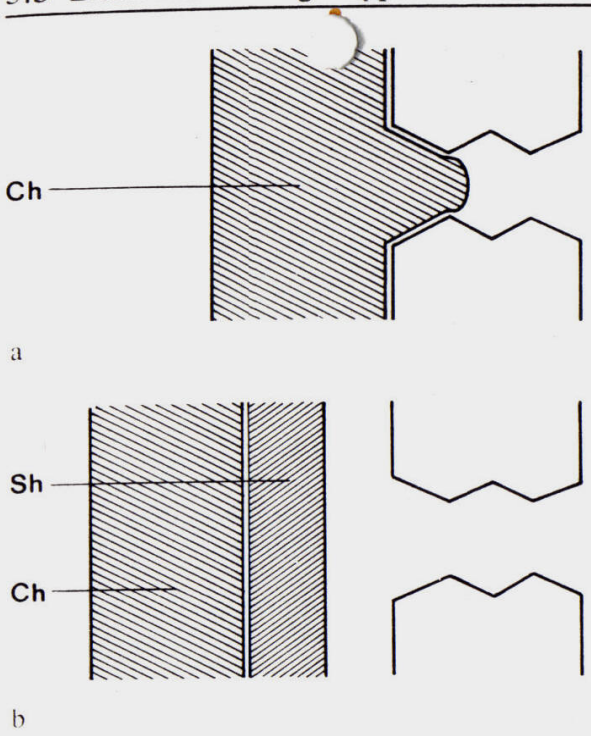



**Abb. 25a, b.** Interokklusale Einlagerung der Wangenweichteile (Ch) und ihre Ausschaltung durch den Bukkalschild des Funktionsreglers (Sh)

kung der Lingualdrähte entsprechende Bedeutung zu. Wenn diese Drähte den Tuberkula der oberen bzw. unteren Frontzähne anliegen, werden diese in ihrer weiteren Eruption behindert. In einzelnen Fällen kann es möglicherweise auch zu ihrer Intrusion kommen.
Die modifizierte Eckzahnschlaufe hat die Aufgabe, bestehende Eckzahnaußenstände zu beheben. Der obere Lingualbogen muß zwischen Eckzahn und erstem Prämolaren bzw. erstem Milchmolaren tief interdental eingelagert sein, um eine sichere intermaxilläre Abstützung des Geräts (an den Mesialflächen dieser Seitenzähne) zu garantieren. Der Lingualdraht des FR-2 ist nicht geeignet, um die retrudierte Stellung der oberen Schneidezähne zu korrigieren. Diese orthodontische Aufgabe führen wir vor der Funktionsreglerbehandlung mit aktiven Platten bzw. festsitzenden Geräten durch. Nach dieser aktiven Vorbehandlung liegt der Lingualbogen des FR-2 den Lingualflächen der oberen Frontzähne an, um dem Rezidiv der Frontzahnretrusion vorzubeugen.

## 5.3 Der Funktionsreglertyp FR-3

Der FR-3 besteht aus zwei Bukkalschilden, zwei oberen Lippenpelotten und verschiedenen Drahtelementen (Abb. 26a und b).

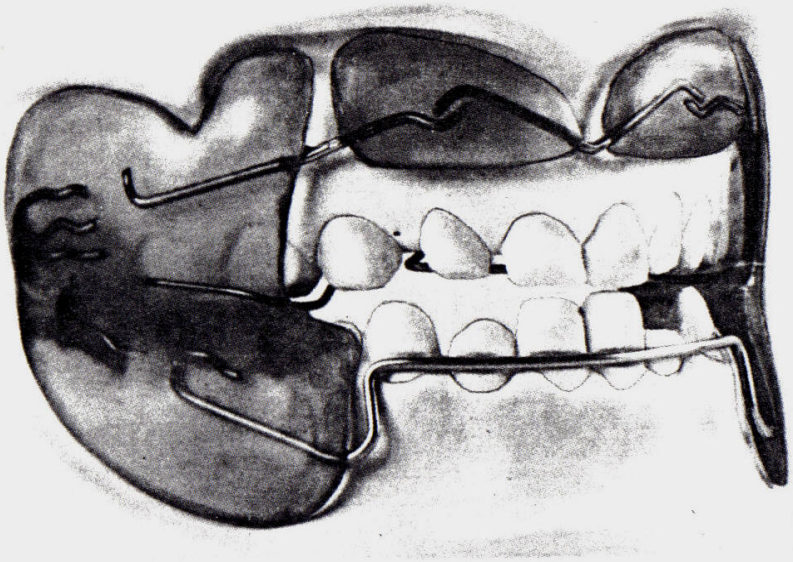
### *5.3.1 Die Schilde des FR-3*

#### 5.3.1.1 Die Bukkalschilde des FR-3

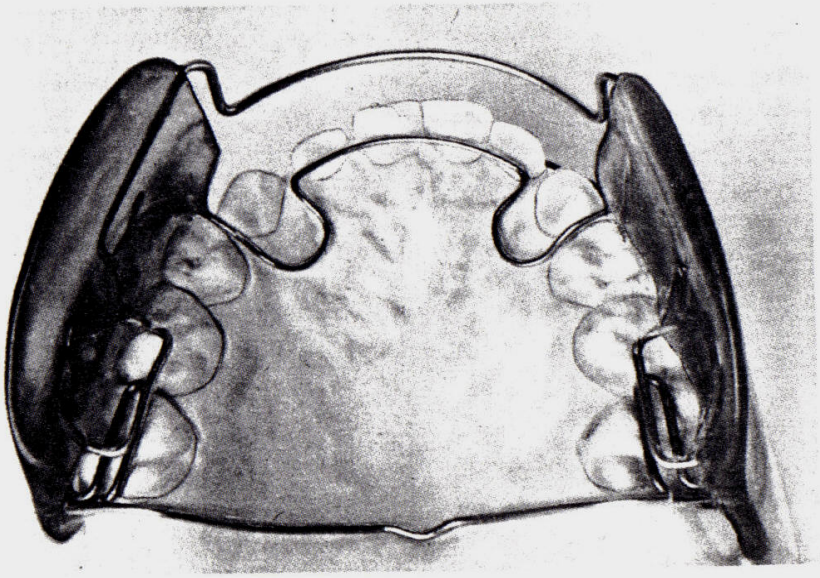
Die Bukkalschilde stehen im Oberkiefer von den Außenflächen des dentoalveolären Fortsatzes überall dort ab, wo seine transversale Nachentwicklung erforderlich ist. Dieser Abstand soll aber nicht größer sein, als er für die gewünschte Weitung des oberen dentoalveolären Bogens notwendig ist. Von den Außenflächen des Alveolarfortsatzes sollte er keinesfalls mehr als 2,5 mm, von den oberen Seitenzähnen im Höchstfalle 3 mm betragen. Der untere Teil der Bukkalschilde liegt den Außenflächen des dentoalveolären Fortsatzes dicht an. Damit soll einer übermäßigen Entwicklung des Unterkiefers, die wir in den meisten Fällen der Progenie beobachten, entgegen gewirkt werden.

*Physiotherapeutischer Effekt*
Die Bukkalschilde, die von dem dentoalveolären Fortsatz des Oberkiefers abstehen, haben die Aufgabe, die äußere Weichteilkapsel in ihrem oberen Anteil zu weiten. Mit der so erreichten Vergrößerung des oralen Funktionsraums wird der für eine transversale Nachentwicklung des dentoalveolären Bogens notwendige Platz geschaffen. Gleichzeitig wirken die Bukkalschilde auf die strukturellen Abwegigkeiten der Weichteilkapsel im Sinne der Dehnung und Streckung ein.

*Erzwungene Gymnastik*
Wie die Bukkalschilde des FR-1 und FR-2 haben die entsprechenden Plattenelemente des FR-3 die Aufgabe, unphysiologische Funktionsmuster der kapsulären Muskulatur zu beheben.



a



b

**Abb. 26a, b.** Der FR-3 auf den Modellen im Konstruktionsbiß von außen gesehen (a) und auf dem Oberkiefermodell (b)

### 5.3.1.2 Die Lippenpelotten des FR-3

Diese Plattenelemente sind wesentlich größer als die Lippenpelotten des FR-1 und FR-2. Wie aus Abb. 26a ersichtlich, reicht ihr oberer Rand bis in die Tiefe der oberen Umschlagfalte hinein. Der untere Rand der Lippenpelotten hat wie beim FR-1 und FR-2 einen Abstand zum Gingivalsaum, der je nach Fall zwischen 4 und 6 mm beträgt. Die Lippenschilde haben einen gleichstarken Abstand von den Labialflächen des Alveolarfortsatzes von 2,5 bis 3 mm.

*Physiotherapeutischer Effekt und erzwungene Gymnastik*

Die Lippenpelotten haben die gleiche Aufgabe wie die Bukkalschilde zu erfüllen, d. h. die äußere Weichteilkapsel zu weiten, ihre Strukturen zu dehnen und damit Raum für eine sagittale Nachentwicklung des Oberkiefers zu schaffen. Die erforderliche Nachentwicklung des Oberkiefers in transversaler und sagittaler Richtung, die in den meisten Fällen der Progenie notwendig ist, kann nur dann erwartet werden, wenn Lippenpelotten und Bukkalschilde bei der Behebung der strukturellen und funktionellen Abwegigkeiten der „kapsulären Matrix" zusammenwirken (Abb. 27a und b).

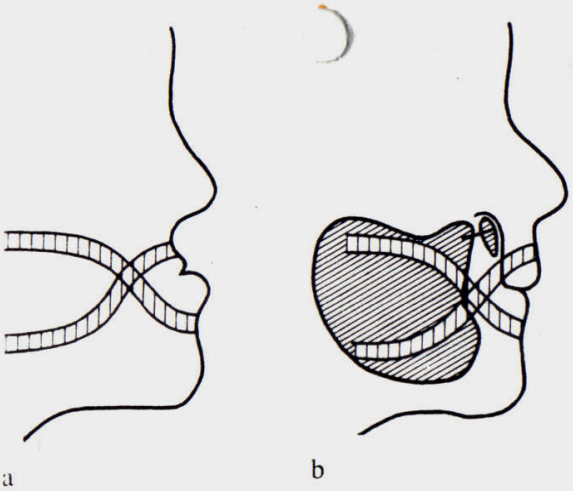



**Abb. 27a, b.** Strukturelle und funktionelle Abwegigkeiten bei maxillärer Retrusion bzw. mandibulärer Protrusion (a) und ihre Behebung mit Hilfe der vestibulären Schilde des FR-3 (b)

### 5.3.2 *Der FR-3 als orthopädisches Übungsgerät zur Behebung der intermaxillären Fehlbeziehung*

Um die Wirkungsweise des FR-3 als orthopädisches Trainingsgerät verständlich zu machen, ist in der Abb. 28 die Wirkungsweise seiner Plattenelemente schematisch dargestellt. Unsere Arbeitshypothese, die wir den Oberlippenpelotten und den abstehenden Teilen der Bukkalschilde zu Grunde legen, wird dem Leser verhältnismäßig leicht verständlich sein. Mit diesen Plattenelementen wird die Weichteilkapsel und damit der orale Funktionsraum in dem erforderlichen Ausmaß vergrößert. Bei der sagittalen Nachentwicklung des Oberkiefers muß aber auch noch ein anderer Wirkungseffekt der Oberlippenpelotten bedacht werden. Werden die Arbeitsmodelle in korrekter Weise radiert (hierauf wird im Kapitel 10 noch ausführlich eingegangen), entsteht nach Einsetzen des FR-3 in der frontalen Umschlagfalte des Oberkiefers eine erhebliche Zugspannung.

Auf Grund seiner anatomischen Studien kommt *Delaire* (1978) zu der Schlußfolgerung, daß dem Ansatz der Weichteile, besonders dem Ansatz der Muskulatur an der Außenfläche der anterioren Alveolarbasis, für die Sagittalentwicklung des Oberkiefers größte Bedeutung zukommt. Nach ihm spielen strukturelle und funktionelle Abwegigkeiten der Muskulatur in dieser Region für die Hemmung der Oberkieferentwicklung in rostraler Richtung ursächlich eine wichtige Rolle. Diese Ansicht wird durch die Studien von *Moss* und *Moss-Salentijn* (1978) gestützt. Danach spielen die Gewebestrukturen, die die Muskeln und den Knochen miteinander verbinden (boundary-tissues) eine entscheidende Rolle bei der Übertragung funktioneller Reize auf die Wachstumsvorgänge, die sich im Periost abspielen. Mit Hilfe der abstehenden Oberlippenpelotten des FR-3 wird in der Umschlagfalte eine erhebliche Zugspannung erzeugt, die sich, wie wir annehmen, als eine Verstärkung des funktionellen Reizes auswirkt. Der Zug der an der Alveolarbasis ansetzenden Muskulatur wird durch die abstehenden Oberlippenpelotten des FR-3 verstärkt und in rostraler Richtung umgelenkt. Unsere Longitudinaluntersuchungen lassen den Schluß zu, daß durch diesen Wirkungsmechanismus die osteogenetische Aktivität der betroffenen Wachstumszonen im Sinne der epigenetischen Induktion stimuliert wird, worauf im Kapitel 14 noch ausführlich eingegangen wird.

Die intermaxillären Fehlbeziehungen bei der Progenie beruhen jedoch nicht allein auf einer Entwicklungshemmung des

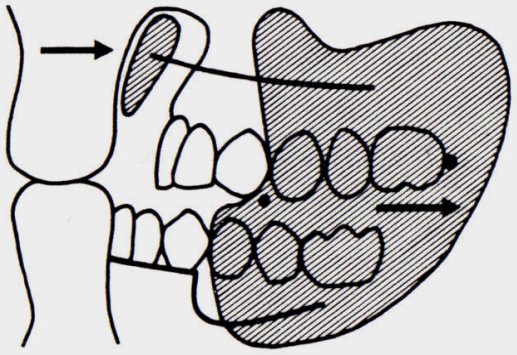
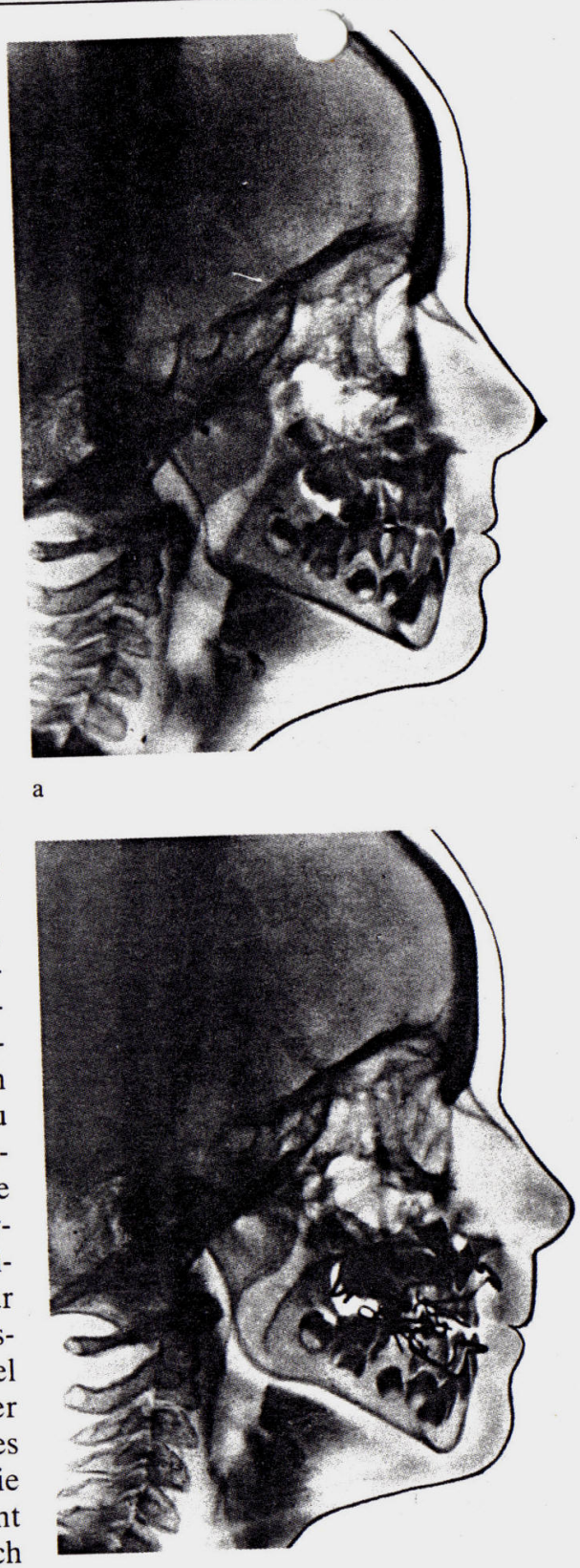


**Abb. 28.** Schematische Darstellung der Wirkungsweise des FR-3 zur Nachentwicklung des Oberkiefers bei gleichzeitiger Hemmung der mandibulären Entwicklung

Oberkiefers. Sie sind sehr oft von einer übermäßigen Längenentwicklung des Unterkiefers begleitet. Die Ergebnisse der experimentellen Forschung lassen die Annahme zu, daß in diesen Fällen ein abnorm vergrößertes Wachstum der kondylären Wachstumszone vorliegt. Diese wiederum dürfte auf eine übermäßige Translation des Unterkiefers in rostraler Richtung zurückzuführen sein. Aus diesem Grunde sehen wir in der Hemmung der mandibulären Translation das vorrangige Anliegen einer funktionellen Therapie. Die schematische Zeichnung der Abb. 28 soll den Wirkungsmechanismus des FR-3 bei der Lösung dieser Aufgabe verständlich machen. Durch die vom Oberkiefer abstehenden Mundvorhofschilde kommt es zu einer Weitung und Dehnung der äußeren Weichteilkapsel. Das heißt, die Lippen- und Wangenmuskeln werden in einen erheblichen Zustand der Spannung versetzt. Dies wirkt sich über die Lippenpelotten auf das Gerät im Sinne einer Dorsalverlagerung aus. Auf diese Weise wird über den Labialbogen und die dem Unterkiefer dicht anliegenden Seitenschilde seine Lage in dorsaler Richtung beeinflußt. Die hierdurch ausgelösten Dehnungsreflexe führen zu einer Aktivierung der Protraktoren, wodurch der Unterkiefer wieder in die alte Vorlage gebracht wird. Mit seiner Vorverlagerung kommt es aber erneut zur Weitung der äußeren Weichteilkapsel und zur Dehnung der Lippen- und Wangenmuskulatur. Dieses dynamische Wechselspiel wirkt sich über die Zugspannung in der Umschlagfalte auf die Entwicklung des Oberkiefers fördernd aus, während die Entwicklung des Unterkiefers gehemmt wird. Diese Gerätewirkung kann jedoch nur dann erwartet werden, wenn dieses dynamische Wechselspiel nicht durch eine interdentale Drahteinlagerung unmöglich gemacht wird. Beim FR-3 darf sich daher der obere Protrusionsdraht auf keinen Fall zwischen Eckzahn und erstem Prämolaren bzw. erstem Milchmolaren einlagern. Ebenso muß der Palatinalbo-



a

b

**Abb. 29a, b.** Fernröntgenaufnahmen eines Patienten der Angle-Klasse III vor und unmittelbar nach Einsetzen des FR-3, womit die Abwegigkeiten der äußeren Weichteilkapsel und der intermaxillären Beziehungen im Sinne der Norm beeinflußt werden

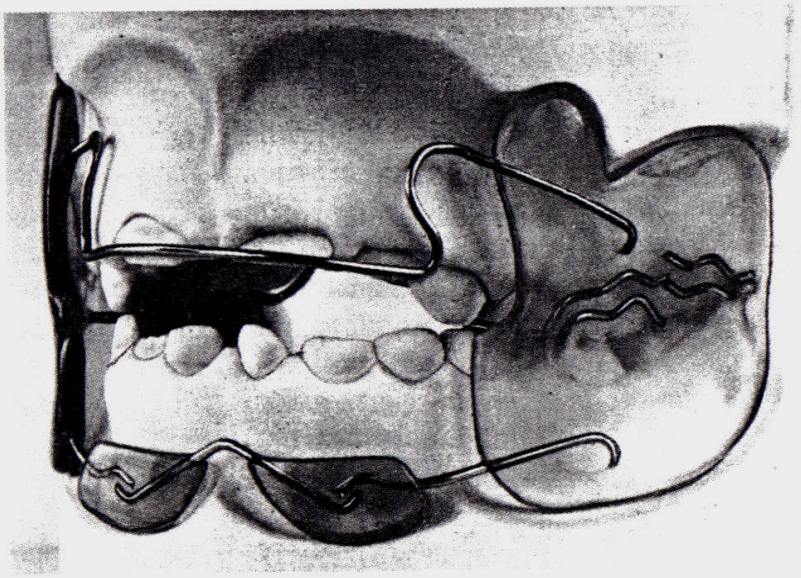
gen jeweils hinter den letzten Molaren verlaufen (Abb. 28).

Die Dorsalverlagerung des Unterkiefers kommt aber auch durch eine andere Wirkung der Lippenpelotten zustande, die etwa der des Lingualschilds des FR-1 bei der Aktivierung der Protraktoren entspricht. Durch die abstehenden Lippenpelotten wird in der oberen Umschlagfalte ein erheblicher Druck auf die Schleimhaut erzeugt. Um diese Drucksensation zu beheben, werden über die zentralnervösen Regelmechanismen die Retraktoren aktiviert, was zu einer Dorsalverlagerung des Unterkiefers führt. Die Röntgenaufnahmen der Abb. 29a und b stützen diese Arbeitshypothese. Das heißt, nach Einsetzen des FR-3 kommt es zu einer Vorverlagerung der Oberlippe und zu einer Dorsalverlagerung des Unterkiefers. Über die therapeutischen Möglichkeiten dieser Behandlungsweise wird im Kapitel 14 noch ausführlich berichtet.

## 5.4 Der Funktionsreglertyp FR-4

Der FR-4 hat zwei Bukkalschilde, zwei untere Lippenschilde, einen Palatinalbogen, einen oberen Labialdraht und vier Drähte, die als okklusale Auflagen konstruiert sind (Abb. 30a und b).

a



b

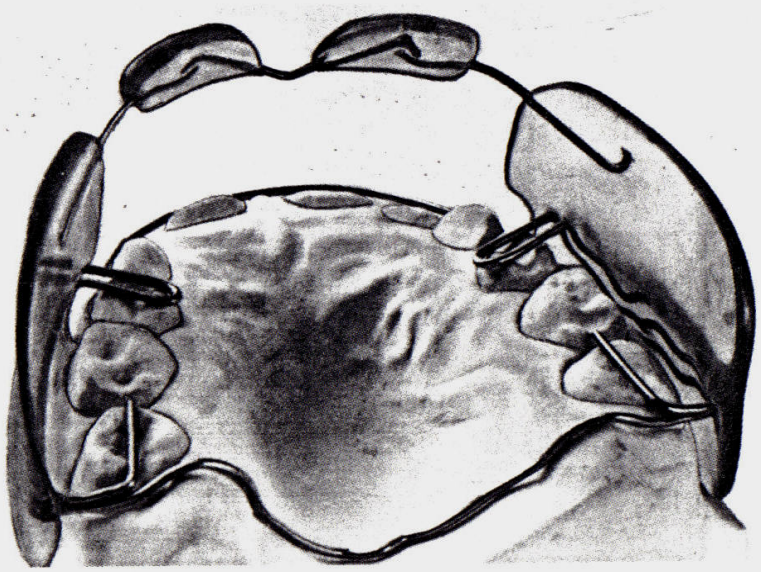


**Abb. 30a, b.** Der FR-4 mit den Modellen im Konstruktionsbiß von außen (a) und auf dem Oberkiefermodell (b)

Die Wangen- und Lippenschilde haben die gleiche Aufgabe zu erfüllen wie die des FR-1 und FR-2. Der Labialbogen, wenn er den oberen Schneidezähnen anliegt, läßt sich für eine notwendige Retrusion der oberen Schneidezähne verwenden. Die okklusalen Drahtauflagen haben die Aufgabe, das Gerät in der Vertikalen zu stabilisieren. Im übrigen soll der FR-4 eine sagittale Bewegung des Geräts im Munde nicht behindern, weshalb auch der Palatinalbogen jeweils hinter den letzten Molaren geführt werden muß, d. h. in gleicher Weise wie beim FR-3.

# 6 Allgemein Hinweise für die Indikation der Funktionsregler

Die Indikation der verschiedenen Funktionsreglertypen ergibt sich aus ihrer spezifischen Wirkungsweise als orthopädisches Übungs- und Trainingsgerät. Es sei nochmals mit Nachdruck betont, daß der Funktionsregler kein orthodontisches Gerät ist. Mit diesem Gerät können Okklusionsanomalien durch aktive Stellungsveränderung der Zähne nicht behoben werden. Auch bei der Korrektur skelettaler Deformierungen beruht seine Wirkung nicht auf einer direkten Einflußnahme im Sinne der Mechanotherapie. Skelettale Strukturen haben keine eigene Wachstumsdynamik. Form- und Größenentwicklung eines Knochens ist das Resultat von Wachstum, das sich in den osteogenen Matrizen der membranösen bzw. knorpligen Wachstumszonen abspielt (*Enlow* 1985). Nach *Moss* (1985) kommt hierbei dem epigenetischen Milieu große Bedeutung zu, worauf wir im Kapitel 2 eingegangen sind. So könnte man sagen, daß mit dem Funktionsregler nicht das „Produkt des Wachstums", sondern das „epigenetische Milieu" beeinflußt werden soll. Das heißt, durch Veränderung der biophysikalischen bzw. biomechanischen Parameter des epigenetischen Milieus versuchen wir, die osteogenen Aktivitäten in den orofazialen Wachstumszonen in einer von uns gewünschten Weise zu modulieren. Retrospektiv hat bereits *Edward Angle* (1907) die Bedeutung der epigenetischen Hypothese für die Erklärung der Formentwicklung des Alveolarknochens erkannt. Sein Konzept basierte auf der Annahme, daß der Zahn die Entwicklung des Alveolarfortsatzes in Größe und Form bestimmt (No tooth – no bone). So glaubte *Angle*, daß man nur die Stellung der Zähne zu verändern brauche. Der Alveolarknochen würde dann spontan mit entsprechenden Anpassungsvorgängen antworten. Diese Arbeitshypothese hat auch heute noch für die Orthodontie volle Gültigkeit. Die Bereitschaft des Alveolarknochens, sich einer veränderten Zahnstellung anzupassen, beruht auf der genetisch angelegten Fähigkeit der osteogenen Matrizen im Parodontium, Periost und Endosteum, mit Knochenabbau bzw. -anbau zu reagieren. Knochenresorption nach Zahnextraktion bzw. das Fehlen des Alveolarfortsatzes bei Nichtanlage von Zähnen bestätigen die Bedeutung des Zahns als epigenetischen Kontrollfaktor für das Wachstum im Alveolarknochen.

*Angle* konnte aber zu seiner Zeit nicht wissen, daß die epigenetischen Induktions- und Regulationsmechanismen nur in ganz bestimmten Entwicklungsperioden wirksam werden. Hierfür sind die Deformierungen des Schädels, die die alten Peruaner mit Hilfe von Bandagen bewirken konnten, ein instruktives Beispiel. Diese Formveränderungen waren nur in der Zeit möglich, in der sich das Gehirn in einem Zustand aktiven und expansiven Wachstums befand. In den zwei ersten Lebensjahren vergrößert sich das Volu-

men der Hirnmasse von etwa 330 $cm^3$ auf 900 $cm^3$. Außerdem sollte bedacht werden, daß die Syndesmosen und Synchondrosen in dieser Wachstumsperiode durch mechanische Einflüsse der Umgebung leicht beeinflußt werden können. Damit ist auch eine besonders ausgeprägte Bereitschaft zur osteogenen Aktivität dieser Wachstumszonen gegeben. Das heißt, der „Zeitfaktor" spielt bei der epigenetischen Kontrolle des Knochenwachstums eine wichtige Rolle. So wird der Zahn seine epigenetische Kontrollfunktion nur in der Zeit aktivsten Wachstums ausüben können, d.h. während seines Wurzelwachstums und seiner eruptiven Bewegung. Nach Durchbruch der bleibenden Zähne ist die Entwicklung des Alveolarfortsatzes in Größe und Form im wesentlichen abgeschlossen. Eine orthopädische Einflußnahme auf Größen- und Formentwicklung des Alveolarfortsatzes ist nur noch in beschränktem Maße möglich, was ganz besonders für den Unterkiefer gilt.

*Angle*, der Begründer der Orthodontie, hat sich große Verdienste um eine systematische Einteilung der Okklusionsanomalien und um die Entwicklung orthodontischer Geräte, insbesondere der Edgewise-Technik, erworben. Seine konservative Einstellung, sein Eintreten für eine orthodontische Behandlung ohne Zahnextraktionen sind aber heftig kritisiert und als klinischer Irrweg ausgelegt worden. Hierbei übersehen die Kritiker, daß *Angle* die Fehler, die er bei der Erarbeitung seines theoretischen Konzepts gemacht hatte, selbst erkannt und offen zugegeben hat. In der letzten Ausgabe seines Lehrbuches (1907) schreibt er (sinngemäß ins Deutsche übersetzt): „Wir beginnen gerade erst zu erkennen, welchen allgemeinen und verschiedenartigen Einfluß die abwegigen Funktionen von Wangen, Zunge und Lippen bei der Entstehung und Persistenz der Okklusionsanomalien haben, wie schwierig es ist, ihnen beizukommen, und wie wenig Aussicht auf einen bleibenden Behandlungserfolg besteht, solange diese Dysfunktionen nicht behoben werden." Mit diesen Worten hat *Angle* klar zum Ausdruck gebracht, daß die Veränderung der Form allein nicht genügt. Unsere therapeutische Aufgabe läßt sich nur lösen, wenn wir gleichzeitig auch die mit der abwegigen Form vergesellschafteten funktionellen Aberrationen beheben. In derselben Ausgabe hat *Angle* auch auf die ursächliche Bedeutung des Mundschlusses und der Fehlatmung durch den Mund für die Kiefer-Gebiß-Fehlbildungen hingewiesen. Er hat damit die Notwendigkeit zu funktionellem Denken und Handeln klar erkannt. Dies ist bei der Würdigung seiner Verdienste um unser Fachgebiet leider übersehen worden.

Der Funktionsregler ist kein Universalgerät. Seine Indikation hängt in hohem Maße davon ab, in welcher Entwicklungsperiode eine orthopädische Behandlung durchgeführt wird. So ist die Behebung skelettaler Fehlentwicklungen jenseits des Alveolarfortsatzes nur dann erfolgversprechend, wenn wir zu einer Zeit lebhaftesten Wachstums intervenieren. Mit der Verwendung des Funktionsreglers soll dem Arbeitsprinzip „working with growth" entsprochen werden. Der Allgemeinorthopäde leitet die Behandlung von skelettalen Deformitäten daher schon im frühen Kindesalter ein.

Im Vordergrund steht hierbei die Behebung von Haltungsfehlern durch Gymnastik.

Uns erscheint die frühe Wechselgebißphase, das Alter von etwa 6½ bis 8 Jahren, für die Einleitung einer funktionellen Orthopädie im orofazialen Bereich besonders erfolgversprechend. In der Eruptionsphase wirkt sich das epigenetische Induktions- und Regulationspotential des Zahns nicht nur für das Wachstumsgeschehen im Alveolarfortsatz, sondern auch für die skelettale Entwicklung im gesamten orofazialen Bereich aus. Mit einer solchen Frühbehandlung entsprechen wir dem Prinzip des „Orthopaideueins", des richtigen Erziehens. Das heißt, wir schirmen die Entwicklung gegenüber un-

günstigen und hemmenden Einflüssen der Umgebung ab. Gleichzeitig unterbrechen wir damit einen abwegigen „Stereotyp", was die Ausbildung physiologischer Funktionsmuster der orofazialen Muskulatur außerordentlich erleichtert.

## 6.1 Zur Indikation des FR-1

*Angle-Klasse I*
Frühbehandlung: Zahnengstand, besonders bei Unterentwicklung der apikalen Basis.
Spätbehandlung: Im Unterkiefer muß die apikale Basis genügend entwickelt sein, eine Voraussetzung, damit eine Weitung des Zahnbogens durch ein spontanes Aufrichten der bleibenden Zähne erwartet werden kann.
Wenn im Unterkiefer eine stärkere Diskrepanz zwischen Zahngröße und Zahnbogenlänge vorliegt, ist die Extraktion von Zähnen vor der Behandlung mit dem FR-1 erforderlich.

*Angle-Klasse II/1*
Frühbehandlung: bei mandibulärer Retrusion mit normalem Überbiß bzw. geringfügigem Tiefbiß. Der FR-1 ist auch in Fällen indiziert, wo nicht nur im Oberkiefer, sondern auch im Unterkiefer die apikale Basis unterentwickelt ist. In Fällen, in denen die sagittale Schneidezahnstufe 7 mm und mehr beträgt, ist eine Behandlung der Retrusion der oberen Schneidezähne vor der Funktionsreglerbehandlung mit Hilfe der Mechanotherapie zu empfehlen. Dies gilt besonders für den Kieferorthopäden, der noch nicht über genügend klinische Erfahrung mit dem Funktionsregler verfügt.
Spätbehandlung: Auch im bleibenden Gebiß kann mit dem FR-1 eine basale Nachentwicklung des Unterkiefers noch erwartet werden, sofern die Behandlung nicht später als im 16. Lebensjahr begonnen wird. Besonders indiziert ist der FR-1, wenn die mandibuläre Retrusion mit einem offenen Biß bzw. mit einer Rückwärtsrotation des Unterkiefers vergesellschaftet ist. Beim Vorliegen eines stärkeren Zahnengstandes im Unterkiefer macht sich die Extraktion von Zähnen notwendig, bevor der FR-1 zur Anwendung kommt.

## 6.2 Zur Indikation des FR-2

*Angle-Klasse I*
Frühbehandlung: Fälle mit Tiefbiß, besonders bei Unterentwicklung der apikalen Basis und dem Entwicklungsmuster einer mandibulären Vorwärtsrotation.
Spätbehandlung: Fälle mit Tiefbiß und mandibulärer Vorwärtsrotation. Bei stärkerem Zahnengstand und ungenügend entwickelter apikaler Basis machen sich Zahnextraktionen vor der FR-Behandlung notwendig.

*Angle-Klasse II/1*
Frühbehandlung: in Fällen der mandibulären Retrusion mit Tiefbiß und stärkerer Protrusion der oberen Frontzähne, besonders wenn eine Nachentwicklung der apikalen Basis angestrebt wird. Sind die oberen Schneidezähne stark protrudiert, ist vor der Behandlung mit Funktionsregler eine Mechanotherapie zur Behebung dieser Zahnfehlstellung empfehlenswert.
Spätbehandlung: in Fällen ohne Zahnengstand. Zahnfehlstände sollten vor der Behandlung mit Funktionsregler durch Mechanotherapie behoben werden. Sofern die Behandlung vor dem 16. Lebensjahr begonnen wird, kann noch eine basale Nachentwicklung des Unterkiefers erwartet werden.

*Angle-Klasse II/2*
Frühbehandlung: in Fällen der mandibulären Retrusion mit Tiefbiß bzw. Deckbiß, vor allem, wenn eine mandibuläre Vorwärtsrotation und eine Unterentwicklung der apikalen Basis vorliegen. In allen Fällen der Angle-Klasse II/2 ist eine Vorbehandlung mit Hilfe der Mechanothera-

pie unbedingt erforderlich, um die Retrusion der oberen Frontzähne zu beheben.
Spätbehandlung: bei mandibulärer Retrusion und Tiefbiß, sofern kein Zahnengstand vorliegt. Alle vorhandenen Fehlstände der Zähne müssen vor der Behandlung mit Funktionsregler durch orthodontische Maßnahmen (mit festsitzenden oder herausnehmbaren Geräten) korrigiert werden.

## 6.3 Zur Indikation des FR-3

*Angle-Klasse III*
Frühbehandlung: Fälle mit Unterentwicklung des Oberkiefers bzw. übermäßigen Längenentwicklung des Unterkiefers, auch wenn die Progenie mit einer skelettalen Hyperdivergenz bzw. mandibulärer Rückwärtsrotation vergesellschaftet ist.
Spätbehandlung: in Fällen mit Unterentwicklung des Oberkiefers bzw. bei mandibulärer Protrusion. Eine Nachentwicklung des Oberkiefers mit Hilfe des FR-3 kann noch erwartet werden, wenn die Behandlung vor dem 16. Lebensjahr begonnen wird und Zahnfehlstände mit Hilfe orthodontischer Maßnahmen vorher behoben wurden.

## 6.4 Zur Indikation des FR-4

*Angle-Klasse I*
Frühbehandlung: Fälle mit skelettaler Hyperdivergenz, besonders wenn sie mit einem frontal-offenen Biß bzw. einer bimaxillären Protrusion vergesellschaftet sind. Die Verwendung dieses Gerätes ist besonders für eine frühzeitige Behandlung im Milchzahngebiß indiziert.

## 6.5 Zur Indikation des Funktionsreglers als Retentionsgerät

Wie bereits ausgeführt, sollte eine orthodontische Behandlung mit festsitzender oder herausnehmbarer Technik vor der Funktionsreglerbehandlung durchgeführt werden. Von wenigen Ausnahmen abgesehen, sollte der Funktionsregler als letztes Gerät zur Anwendung kommen, um den Erfolg bei der Behebung abwegiger Funktionsmuster abzusichern. Aus dem gleichen Grunde halten wir den Funktionsregler als Retentionsgerät für geeignet, um das Ergebnis orthodontischer Maßnahmen mit Hilfe der Mechanotherapie (ganz gleich, welche Geräte dabei verwendet werden) gegen den Einfluß abwegiger Funktionen abzuschirmen. Dies gilt auch für Fälle, deren skelettale Disproportionen durch chirurgische Maßnahmen korrigiert wurden.

# 7 Diagnostische Kriterien bei der kieferorthopädischen Befunderhebung

## 7.1 Grundsätzliche Bemerkungen

Mit der Bezeichnung Kieferorthopädie wird zum Ausdruck gebracht, daß, diagnostisch wie therapeutisch, der Entwicklung des gesamten Kieferskeletts Bedeutung beigemessen wird. Die Gebißentwicklung kann daher immer nur im engen Zusammenhang mit der formalen und kausalen Genese des Gesichtsskeletts gesehen werden. Da unsere derzeitigen Kenntnisse über die Ätiologie der Kiefer- und Gebißfehlbildungen äußerst mangelhaft sind, kann eine kieferorthopädische Diagnostik über die Entstehungsursachen der im Einzelfall vorliegenden Fehlentwicklung keine verläßliche Aussage machen. Untersuchungen vor einer kieferorthopädischen Behandlung haben den Charakter einer Befunderhebung. Hierbei gilt es, den Entwicklungsstand im Bereich des Gesichtsskeletts und des Gebisses festzustellen und die Symptome einer abwegigen Entwicklung zu lokalisieren. Wenn wir von kraniofazialen Mißbildungen absehen, scheint daher eine Einteilung in vererbte bzw. umweltbedingte Fehlentwicklungen unsere diagnostischen Möglichkeiten weit zu übersteigen. *Eismann* (1976) kommt aufgrund eines umfangreichen Literaturstudiums zu dem Schluß, daß die jeweilige Entstehung einer Dysgnathie aus einer spezifischen dialektischen Wechselbeziehung zwischen Erbanlagen und Umwelteinflüssen resultiert. Dabei komme keiner der beiden Kategorien ausschließliche Bedeutung zu.

*Harris* und *Smith* (1980) schlußfolgern auf Grund ihrer umfangreichen Familienforschung, daß bei der Entstehung von Gebißanomalien hereditäre Faktoren eine untergeordnete Rolle spielen. Diese Ansicht wird durch die Untersuchungen von *Garn* und Mitarbeitern (1978) gestützt. Stellen wir in einer Familie ein gehäuftes Vorkommen einer bestimmten gnathischen Fehlentwicklung fest, sollten wir in eine ursächliche Erklärung das „Milieu", in dem alle Familienangehörigen leben, mit einbeziehen. Diese Autoren sprechen hierbei von einem „cohabitational effect", der bei der Entstehung von „Familienähnlichkeiten" eine wichtige Rolle spielen könne. *Gans* (1976) steht auf dem Standpunkt, daß die Erörterung der Frage, ob ein bestimmtes Entwicklungsmuster im orofazialen Bereich auf vorwiegend genetische oder vorwiegend umweltbedingte Faktoren zurückzuführen sei, klinisch ohne jede Bedeutung sei. Ein Kieferorthopäde wird die Behandlung eines Kindes nicht ablehnen, weil die Eltern oder die Geschwister eine gleiche bzw. ähnliche gnathische Fehlentwicklung erkennen lassen. Nach dem derzeitigen Erkenntnisstand sind wir Kieferorthopäden nicht in der Lage zu erkennen, inwieweit genetische oder umweltbedingte Faktoren für die Ausbildung einer Dysgnathie entscheidend waren. Es ist daher auch unzulässig, daß Kieferorthopäden ihre Mißerfolge da-

mit begründen, daß die Kiefer-Gebiß-Fehlbildung des behandelten Kindes auf eine Erbanlage zurückzuführen sei. Das heißt nicht, daß wir Erbfaktoren bei der Entstehung gnathischer Fehlentwicklungen keine Bedeutung beimessen.

In jüngster Zeit haben anthropologische Forschungsergebnisse gezeigt, daß Umwelteinflüssen bei der Entstehung von Kiefer-Gebiß-Fehlbildungen große Bedeutung zukommt. *Corruccini* und Mitarbeiter (1980, 1981, 1984) haben auf Grund von Untersuchungen primitiver Volksstämme feststellen können, daß bei deren Nachkommen bereits in der zweiten Generation Krankheiten wie Diabetes, Krebs, Kreislauferkrankungen und Herzinfarkt in annähernd dem gleichen Maße auftraten wie bei der Bevölkerung der Städte, in die sie abgewandert waren. Diese Abwanderung in die „industrialisierte Welt" hatte aber auch ungünstige Auswirkungen auf die Entwicklung des Gebisses und Kieferskeletts, d. h., in der zweiten Generation waren etwa die gleiche Häufigkeit und Art von Dysgnathien festzustellen wie bei den Kindern des „neuen Milieus". Wenn man die Lebensbedingungen in den Städten und hochindustrialisierten Ländern mit denen verglich, in denen die Industrialisierung noch nicht stattgefunden habe, so ließe sich auf den ersten Blick der ungünstige Einfluß zivilisationsbedingter Umweltfaktoren erkennen. Zu den gleichen Schlußfolgerungen kommt *Brace* (1977), der ganz ähnliche anthropologische Untersuchungen durchgeführt hat. Für die Entstehung von Dysgnathien und Gebißanomalien werden von diesen Autoren als ursächliche Faktoren die Ernährungsumstellung in Qualität und Konsistenz wie auch die Karies und ihre Folgen genannt. Außerdem spielten häufige Infektionen der Atemwege, die auf die Verschlechterung der Atmosphäre zurückzuführen seien, eine Rolle. Aber auch neuromuskulären Fehlfunktionen wird von diesen Autoren ursächliche Bedeutung für die Entstehung von Dysgnathien beigemessen.

Muskulären Fehlfunktionen, die gewöhnlich der Kategorie der Parafunktionen oder „habits" zugeordnet werden, hat man in unserem Fachgebiet seit jeher pathogenetische Bedeutung zuerkannt. Das Fingerlutschen wurde lange Zeit als der Prototyp eines exogen bedingten Umweltfaktors für eine Erklärung von Kiefer-Gebiß-Fehlbildungen gewertet. Auf Grund der klinischen Erfahrung konnte eine solche Erklärung keinen Bestand haben. Die während der ersten drei bis vier Jahre durch Lutschen bedingten Gebißveränderungen bilden sich im allgemeinen nach Abstellung dieser Angewohnheit spontan zurück. *Proffit* (1975) hat darauf hingewiesen, daß die sogenannten „habits", d. h. Abwegigkeiten der Motorik, bleibende Fehlbildungen im Kiefer-Gebiß-Bereich nicht verursachen können, da ihre Einwirkungsdauer im allgemeinen zu kurz ist. Nach *Skieller* (1967) sollte der indirekte Einfluß des Lutschens jedoch nicht unterschätzt werden. Auf Grund kineradiographischer Untersuchungen ist sie der Ansicht, daß Lutschangewohnheiten den Aufbau physiologischer Funktionsmuster der orofazialen Muskulatur stören können. Das heißt, die Entstehung von Dysgnathien als Folge des Lutschens erklärt sich nicht durch eine direkte mechanische Einflußnahme des „Lutschkörpers" auf die Formentwicklung von Kiefer und Gebiß. Das Lutschen wirkt sich auf die Morphogenese vielmehr in indirekter Weise aus, über eine primäre Beeinflussung der Funktion. Wie in den Kapiteln 2 und 3 bereits ausgeführt, haben *Bosma* (1975) und *Moyers* (1973) der Ausbildung und Reifung neuromuskulärer Funktionsmuster für Wachstum und Entwicklung im orofazialen Bereich größte Bedeutung beigemessen. In dieser kritischen Periode des „Lernens" kann eine Lutschunart, besonders wenn sie persistent ist, den Aufbau physiologischer Funktionsmuster stören. Die im Gesamtplan der Entwicklung vorgesehene Aufgabe der Funktion als *Gestaltungsfaktor* kann daher nicht erfüllt wer-

den. Die epigenetischen Kontrollmechanismen geraten außer Ordnung. Die Prozesse der Knochenapposition und modellierender Resorption entsprechen so nicht mehr der im genetischen Plan vorgesehenen Entwicklungsnorm.

*Peiper* (1961) und *Bosma* (1975) haben mit Nachdruck darauf hingewiesen, daß der Aufbau und die Reifung muskulärer Funktionsmuster im engen Zusammenhang mit der Reifung des Zentralnervensystems zu sehen sind. Normale Funktionsweisen der Muskulatur sind ohne das Vorhandensein normgemäßer Regelmechanismen des Zentralnervensystems nicht denkbar. Der menschliche Organismus steht als „offenes System" lebenslang in Wechselwirkung mit der Umwelt. Der Aufbau neuraler Kontroll- und Steuerungsmechanismen und damit die Ausbildung und Reifung neuromuskulärer Funktionsmuster sind in hohem Maße von den Bedingungen der Umwelt abhängig. Besondere Bedeutung kommt daher dem Milieu zu, in dem ein Kind aufwächst. Mit dieser Problematik hat sich die Forschung intensiv befaßt, was in einer umfangreichen Literatur ihren Niederschlag gefunden hat. *Ashley Montagu* (1972) hat auf die Mutter-Kind-Beziehungen als einen bedeutungsvollen Faktor des sozialen Milieus hingewiesen. Dies ist durch die Untersuchungen von *Harlow* (1963) und *Spitz* (1965) eindrucksvoll bestätigt worden. Auf Grund seiner Experimente an Rhesusaffen kommt Harlow zu der Schlußfolgerung, daß der körperliche Kontakt mit der Mutter für die Entwicklung des Affenbabys größte Bedeutung hat. Dies wirke sich bis ins Erwachsenenalter aus.

In primitiven Völkerstämmen werden die Säuglinge auf dem Rücken der Mütter getragen, auch bei der Arbeit. Sie erhalten die Brust, wenn immer das Baby danach verlangt. Dies mag der Hauptgrund dafür sein, daß Fingerlutschen bei diesen Kindern nur selten beobachtet wird. Der enge körperliche Kontakt zwischen Mutter und Kind im ersten Lebensjahr prägt das soziale Verhalten des Kindes zu seiner Umwelt. In dieser Zeit werden seine Verhaltensweisen für das ganze Leben im positiven wie negativen Sinne beeinflußt. Die Mutter-Kind-Beziehungen haben daher allergrößte Bedeutung für die Reifung des Zentralnervensystems und damit auch für die Ausbildung und Reifung neuromuskulärer Funktionsmuster. Gleicher Ansicht ist auch *Bostock* (1958). Er weist darauf hin, daß der Mensch bei seiner Geburt lebensunfähig sei, sich praktisch noch im Zustand der „Schwangerschaft außerhalb des Leibes seiner Mutter" befinde. Aus diesem Grunde seien beim Menschen die Beziehungen zwischen Mutter und Kind im Sinne einer Symbiose für das Gedeihen des neugeborenen Kindes unabdingbar notwendig. In dieser Sicht erhebt sich die Frage, ob die Lebensbedingungen in der industrialisierten Welt von heute die Voraussetzungen hierfür erfüllen. Bieten die mütterliche Bezugsperson, das familiäre Umfeld, die Beziehungen zwischen Vater und Mutter die Gewähr der Liebe, der „Nestwärme", deren unsere Kinder so dringend bedürfen? Ist nicht das Lutschen ein Symptom dafür, daß in den Beziehungen des Kleinkindes zu seinem sozialen Milieu nicht alles in Ordnung ist? Bei der heute üblichen Intervallstillung entsteht das Lutschen zumeist als Ersatzhandlung, dient der Befriedigung elementarer Lebensbedürfnisse. Es kann in der Folge zur *habituellen Parafunktion* ausarten, wobei das familiäre Umfeld, vor allem die Mutter-Kind-Beziehungen, eine entscheidende Rolle spielen. Habituelle Parafunktionen sind pathophysiologische Funktionsmuster. Sie können die Entwicklung physiologischer Funktionsmechanismen im gesamten orofazialen Bereich retardieren bzw. behindern, worauf *Skieller* (1967) hingewiesen hat.

Auch in der Pathogenese des Kiefergelenksyndroms wird den Faktoren der Umwelt zunehmend Bedeutung beigemessen. Anläßlich eines Symposiums an der Universität von Michigan im Jahre

1984 haben sich Vertreter verschiedener Disziplinen mit dieser Problematik befaßt. Übereinstimmend kam man zu der Feststellung, daß es sich hierbei um ein sehr komplexes multifaktorielles Kausalgeschehen handelt. Fehlfunktionen des Kiefergelenks werden im Zusammenhang mit Parafunktionen des mastikatorischen Systems gesehen. *Solberg* (1984) kam zu der Formulierung: „TMJ disorders are seen as the clinical expression of a complex adaptive continuum involving an adjustive relationship between form and function." *Rugh* und *Solberg* (1979) sind der Ansicht, daß Patienten mit Kiefergelenksyndrom dazu neigen, auf nervösen bzw. emotionalen Streß mit Parafunktionen der Kaumuskulatur zu reagieren. *Whatmore* und *Kohli* (1968) messen dem psychosozialen Milieu bei der Entstehung von Parafunktionen des mastikatorischen Systems bzw. abwegiger tonischer Funktionsmuster große Bedeutung zu. *Fleischer-Peters* und *Scholz* (1985) haben in ihrem Buch „Psychologie und Psychosomatik in der Kieferorthopädie" mit Nachdruck darauf hingewiesen, daß die Kieferorthopädie keinesfalls nur eine morphologisch-mechanistische Problematik beinhaltet. Kieferorthopädie sei heute ohne Psychologie nicht mehr denkbar. Für die Bewältigung ärztlicher Aufgaben bei der Behandlung von Dysgnathien komme der Arzt-Patient-Beziehung besondere Bedeutung zu.

## 7.2 Psychosomatische Aspekte in der kieferorthopädischen Diagnostik

Leider werden psychologische Aspekte in der kieferorthopädischen Fachausbildung nur am Rande behandelt. Hierbei stehen Motivationsprobleme im Vordergrund des Interesses. Langjährige Erfahrungen bei der Behandlung mit herausnehmbaren Geräten haben gezeigt, daß der kieferorthopädische Erfolg in hohem Maße von der Mitar[illegible] des Patienten abhängt. Um dieses Ziel zu erreichen, muß der psychologischen Führung des Patienten größte Beachtung geschenkt werden. Über die Motivationspsychologie hinaus hat die psychische Problematik in der Kieferorthopädie keinen Eingang gefunden. *Balters* (1954), der bei der ursächlichen Erklärung von Kiefer-Gebiß-Fehlbildungen den psychischen Bezug betont hat, ist auf Unverständnis und Ablehnung gestoßen.

In der Medizin hat sich nach dem zweiten Weltkrieg ein tiefgreifender Wandel vollzogen. Psychogenen Faktoren wird in Diagnostik und Therapie allgemein große Bedeutung beigemessen. So vertritt man in der Allgemeinorthopädie den Standpunkt, daß sich Erkrankungen bzw. Fehlentwicklungen des Stütz- und Bewegungsapparates nicht selten als die Manifestation psychischer Probleme darstellen. Die Kieferorthopädie würde sich ins Abseits stellen, wenn sie diesen Trend zu einer psychosomatischen Betrachtungsweise ignorieren würde. Neurologen, Psychiater und Verhaltensforscher haben immer wieder mit Nachdruck darauf hingewiesen, daß die Regio oralis das bevorzugte Niederschlagsfeld des Emotionalen, nervöser Fehlspannungen und umweltbedingten Stresses ist. In seinem Buch „Der menschliche Ausdruck" hat sich *Leonhard* (1968) mit den Mienen und ihrer Bedeutung in der *Ausdruckspsychologie* befaßt. Besonders in der Oralsphäre drücken sich die „Verschiedenheiten der inneren Haltung" in charakteristischer Weise aus. Nach dem derzeitigen Erkenntnisstand kann es keine Zweifel mehr geben, daß zwischen der „inneren Haltung" und der „äußeren Haltung", die vor allem durch den Tonus der orofazialen Muskulatur bestimmt wird, sehr enge Beziehungen bestehen. In der kieferorthopädischen Diagnostik kann es daher nicht nur um die Analyse des Mundprofils gehen. Wir müssen uns vielmehr mit dem gesamten Gesicht des Patienten befassen, und zwar im Sinne einer um die psycholo-

gische Dimension e iterten Diagnostik. Diese Zusammenhänge haben in der Kieferorthopädie nur wenig Beachtung gefunden und waren allenfalls von theoretischem Interesse. Dieser Standpunkt ist verständlich, da dem Kieferorthopäden ausbildungsmäßig die Grundlagen fehlen, sich auf dem Gebiet der Psychiatrie bzw. Neurologie zu engagieren, weder diagnostisch noch therapeutisch.

So ist man in unserem Fachgebiet auch heute noch der Ansicht, daß die Lösung psychischer Probleme in die Hand des Kinderpsychiaters gehöre. Eine psychosomatische Problematik hat daher in der kieferorthopädischen Praxis bisher keine Berücksichtigung gefunden. Bei dieser Einstellung wird übersehen, daß sich während der Entwicklung im kraniofazialen Bereich außerordentlich komplexe Induktions- und Regulationsmechanismen abspielen. Bei der Entstehung von Dysgnathien muß von einer multifaktoriellen Kausalität ausgegangen werden. Bei dem Versuch einer ursächlichen Erklärung müssen wir aber nicht nur die Vielzahl der möglichen Kausalfaktoren, sondern auch ihre gegenseitige Wechselbeziehung im Kausalgeschehen in Betracht ziehen. Ein simpler linearer Kausalbezug auf einen Faktor wird uns daher dem Verständnis des ursprünglichen Geschehens nicht näher bringen. So ist der Versuch, Kiefer-Gebiß-Fehlbildungen in einen direkten ursächlichen Zusammenhang mit der Mundatmung zu bringen, gescheitert. Die ätiologische Bedeutung der oralen Fehlatmung läßt sich nur erkennen, wenn wir das neuromuskuläre System in den Kausalnexus einbeziehen, worauf wir im Kapitel 4 eingegangen sind. Wie die Mundatmung, so können auch Störungen der psychischen und geistigen Entwicklung des Kindes nicht in einen linearen Kausalzusammenhang mit Dysgnathien gebracht werden. Das heißt aber nicht, daß wir psychosozialen Aspekten bei der kraniofazialen Formentwicklung keine Bedeutung beimessen.

In dem Schema der Abb. 31 haben wir versucht aufzuzeigen, daß das psychosoziale Milieu Wachstum und Entwicklung im Kiefer-Gebiß-Bereich zu beeinflussen vermag, wenn wir das Zentralnervensystem bzw. das neuromuskuläre System in die Kausalkette integrieren. Hierbei sollte man einen wichtigen neurophysiologischen Fakt, die signifikante Repräsentanz

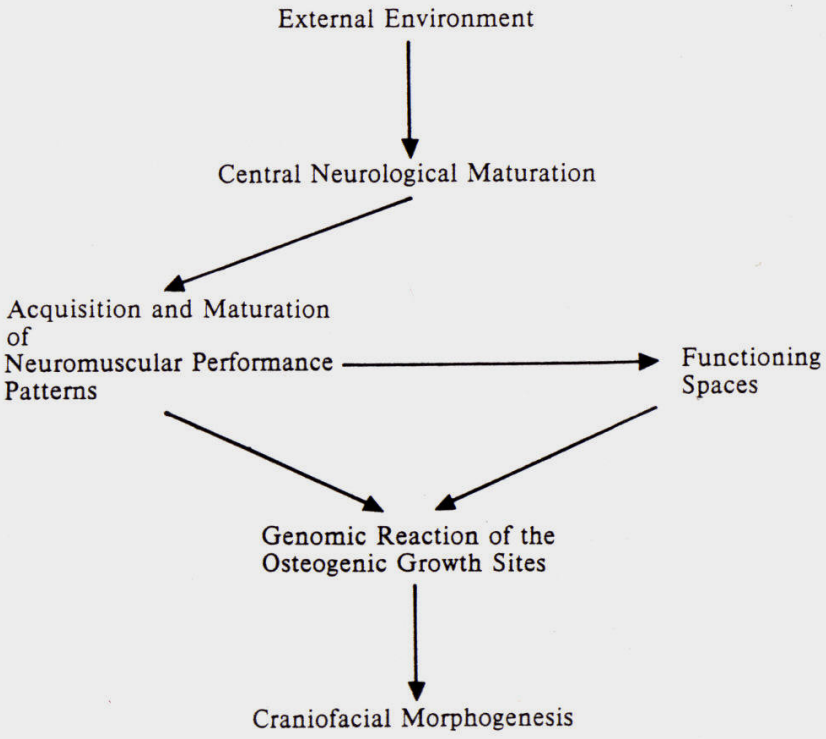



**Abb. 31.** Einflüsse der Umwelt auf Ausbildung und Reifung neuromuskulärer Funktionsmuster und ihre Bedeutung für die kraniofaziale Morphogenese

der Regio oralis in Großhirn und Thalamus nicht übersehen.

Die Umweltbedingungen in den hochindustrialisierten Ländern, allein die Reizüberflutung in den Großstädten, der Streß und der stetig zunehmende Verkehr bedeuten eine große Belastung für das Kind. Hinzu kommt, daß sich die Mutter-Kind-Beziehungen verändert haben, so allein durch die Berufstätigkeit der Mutter. Gestörte Umweltbeziehungen können sich sehr ungünstig auf die Entwicklung und Reifung zentralnervöser Regelmechanismen auswirken, wodurch die Bildung und Reifung neuromuskulärer Funktionsmuster retardiert und gestört werden können. So lassen sich abwegige Funktionsmuster der Muskulatur in einen ursächlichen Zusammenhang mit Störungen der psychischen und geistigen Entwicklung des Kindes bringen. Muskuläre Fehlspannungen können zu einer Veränderung der biomechanischen bzw. biophysikalischen Parameter der epigenetischen Regulation führen. Haltungsfehler bzw. abwegige tonische Funktionsmuster wirken sich dann im Sinne einer epigenetischen Fehlinformation aus. Hierdurch werden die Prozesse des Knochenanbaus und -abbaus in den betroffenen Wachstumszonen abwegig beeinflußt.

Es muß jedoch bedacht werden, daß Umweltfaktoren via Zentralnervensystem und Muskulatur die kraniofaziale Morphogenese nur in ganz bestimmten Entwicklungsperioden beeinflussen können. Die Schädeldeformierungen der alten Peruaner sind hierfür ein instruktives Beispiel. Die ihrem Schönheitsideal entsprechenden Veränderungen des Schädels hätten sie nicht erreichen können, wenn sie die Bandagen bei ihren Kindern erst im zweiten Lebensjahr angelegt hätten. Die wachstumsbedingte Größenzunahme des Gehirns und damit das epigenetische Induktionspotential wäre dann zu gering gewesen, um signifikante Formveränderungen des Hirnschädels zu erreichen. Hieraus läßt sich folgern, daß Umwelteinflüsse die Morphogenese des Schädels nur beeinflussen können, so lange die epigenetischen Regelmechanismen voll wirksam sind. Ihre morphogenetische Aktivität ist aber nicht nur zeitlich, sondern auch regional sehr unterschiedlich. Diese Tatsache ist sowohl für die Diagnostik, als auch die Therapie von großer Bedeutung, d. h., der Erfolg einer kieferorthopädischen Behandlung hängt in hohem Maße von dem Beginn unserer orthopädischen Maßnahmen ab. Hierauf wird später noch ausführlich eingegangen.

Nach der Theorie von *van Limborgh* (1970, 1972, 1982, 1983) spielen bei der Morphogenese des Schädels „Allgemeine Umweltfaktoren" (General environmental factors) eine wichtige Rolle. Wir sind der Ansicht, daß das soziale Umfeld, in dem unsere Kinder aufwachsen, in diese Gruppe der Umweltfaktoren eingeordnet werden muß (vergl. Abb. 31). In dieser Sicht wird die kieferorthopädische Diagnostik um eine beachtliche Dimension im Sinne einer ganzheitsbezogenen Betrachtungsweise erweitert. Hierbei ergeben sich sehr interessante Zusammenhänge zwischen dem „epigenetischen Milieu", das bei der Regelung der Knochenwachstumsprozesse eine so wichtige Rolle spielt, und dem „psycho-sozialen Milieu". So läßt sich eine abwegige Formentwicklung im Kiefer-Gebiß-Bereich als die Manifestation einer gestörten Umweltbeziehung auslegen, deren Ursachen bis in die frühe Kindheit zurückverfolgt werden können.

In diesem Zusammenhang sei nochmals auf die interessanten epidemiologischen Untersuchungen von *Corruccini* (1980, 1981, 1984) hingewiesen. Daß die Abkömmlinge primitiver Volksstämme nach ihrer Abwanderung in die „zivilisierte Welt", in die Großstädte bereits in der zweiten Generation fast den gleichen Befall von Dysgnathien aufwiesen, kann ursächlich doch nur durch die veränderten Lebensbedingungen erklärt werden. Diese anthropologischen Forschungsergebnisse können in unserem Fachgebiet nicht unbeachtet bleiben.

Wir haben heute nur sehr vage Vorstellungen, auf welche Weise sich der technische Fortschritt zerstörend auf unsere Umwelt auswirkt. Wir wissen nicht, inwieweit die hohen Schadstoffwerte der Atemluft oder die Fehlernährung die Entwicklung unserer Kinder beeinflußt. Sicherlich spielen viele Faktoren eine Rolle, deren Bedeutung für die epigenetischen Steuerungsmechanismen noch unerkannt geblieben ist. In der kieferorthopädischen Diagnostik und Therapie sind aber nur die Faktoren von klinischem Interesse, die die biomechanischen und biophysikalischen Parameter der epigenetischen Regulation (Regelprozesse) ungünstig beeinflussen können. In dieser Sicht kommt Haltungsfehlern, abwegigen tonischen Funktionsmustern der orofazialen Muskulatur die größte Bedeutung zu. Diese aufzuspüren, ist daher die vorrangige Aufgabe einer funktionellen Diagnostik.

## 7.3 Die klinische Befunderhebung in der kieferorthopädischen Diagnostik

In der Orthopädie werden Skelettdeformierungen im Kindesalter im Zusammenhang mit Abwegigkeiten der Funktion gesehen. Hieraus ergibt sich, daß in der kieferorthopädischen Diagnostik pathophysiologische Zustände im orofazialen Bereich von vorrangigem Interesse sind. Die klinische Untersuchung bietet die einzige Möglichkeit, uns über das Bestehen funktioneller Aberrationen zu informieren.
Mit der Analyse der Gesichtsweichteile hat man sich in der Orthodontie schon seit langem befaßt. Nach *Holdaway* (1984) reicht ein „diagnostisches System", das sich auf die Vermessung von Gebiß und Kieferskelett stützt, nicht aus, um eine erfolgversprechende Behandlung zu planen. Wie *Steiner* (1960) und *Ricketts* (1981) hält auch er die Analyse des Weichteilprofils für dringend notwendig. Zu diesem Zwecke werden seitliche Gesichtsfotos bzw. Fernröntgenaufnahmen ausgewertet, wobei verschiedene Parameter (Bezugslinien und Winkelwerte) als Referenzen vorgeschlagen werden. Die von den Autoren errechneten ästhetischen Durchschnittsnormen mögen dem Orthodonten gewisse Hinweise geben, in welcher Richtung und in welchem Ausmaße die orthodontischen Zahnbewegungen durchzuführen sind, um das mögliche Optimum des Weichteilprofils zu erreichen. Für eine *kieferorthopädische* Diagnostik sind diese Analyseverfahren unbrauchbar, da das Weichteil-Pogonion als Bezugspunkt Verwendung findet. Bei einer mandibulären Retrusion befindet sich aber das Kinn in Retroposition, d. h. in einer Fehllage. Diese durch die Nachentwicklung des Unterkiefers zu beheben, ist das Anliegen einer orthopädischen Behandlung der mandibulären Retrusion. Im übrigen sind wir der Meinung, daß Analyseverfahren, die Durchschnittsnormen als Ziel der Behandlung zugrunde legen, für eine kieferorthopädische Diagnostik ohne Wert sind.
Schon *Salzmann* (1964) hat darauf hingewiesen, daß Durchschnittsnormen, die sich auf die Untersuchung von Probanden mit normalen Gebißverhältnissen stützen, keine Basis für die Aufstellung eines Behandlungsplanes sein können. Auch *Moorrees* und Mitarbeiter (1975) lehnen die Benutzung von Durchschnittsnormen für Diagnostik und Behandlungsplanung ab, da hierbei die individuellen Variationen der Schädelentwicklung ignoriert werden. Die gleiche Ansicht wird von *Schmuth* (1988) vertreten. Bei der Benutzung von Durchschnittsnormen wird übersehen, daß das Gesicht eines Menschen, wenn wir von eineiigen Zwillingen absehen, einmalig ist. In der ganzen Welt wird man nicht das gleiche Gesicht noch einmal finden. Die verschiedenen Teile des Schädels können in sehr individueller Weise zu einem Ganzen zusammengefügt sein. So können beispielsweise die vorde-

re Schädelbasis bzw. die Oberkieferbasis längenmäßig über die Durchschnittswerte hinaus entwickelt sein. Dies kann aber im Einzelfall durchaus der im genetischen Plan vorgesehenen Formentwicklung entsprechen.

Die vorrangige Aufgabe einer kieferorthopädischen Diagnostik liegt in der Feststellung von Fehlhaltungen, motorischen und tonischen Aberrationen der orofazialen Muskulatur. Diese lassen sich aber nur durch eine klinische Untersuchung diagnostizieren. Unsere Erfahrungen haben gezeigt, daß dabei nicht nur funktionelle, sondern auch morphologische Abwegigkeiten festgestellt werden können. Bei dieser Untersuchung halten wir uns an das Konzept der „Analysis of growth equivalence", wie es von *Enlow* und Mitarbeitern (1969) und *Moyers* (1973) entwickelt wurde. Diese Untersuchungen werden bei natürlicher Kopfhaltung durchgeführt. Der Patient muß aufrecht sitzen und darf der Rückenlehne des Behandlungsstuhls nicht anliegen. Alle Gesichtsmuskeln sollten entspannt sein. Sagittale Diskrepanzen zwischen der Entwicklung des Oberkiefers und Unterkiefers lassen sich schon visuell verhältnismäßig leicht erkennen. Vertikale Disproportionen werden durch das Mißverhältnis zwischen der vorderen mittleren zur unteren Gesichtshöhe angezeigt. Durch Palpation kann die Länge des Ramus festgestellt werden. In gleicher Weise kann man sich Auskünfte über eine abwegige Inklination der Mandibularebene oder über die Größe des Gonionwinkels verschaffen. Disproportionen zwischen vorderer unterer Gesichtshöhe und Ramuslänge, besonders wenn sie mit einer Vergrößerung des Gonionwinkels vergesellschaftet sind, lassen Rückschlüsse auf das Vorliegen einer mandibulären Rückwärtsrotation zu. Der große Vorteil der klinischen Untersuchung liegt aber darin, ursächliche Beziehungen zwischen Abwegigkeiten der Form und Funktion zu erkennen.

Nach seiner Ausbildung sollte ein Kieferorthopäde in der Lage sein, die im Einzelfall vorliegenden skelettalen Disproportionen allein durch eine klinische Untersuchung zu diagnostizieren. Das Fernröntgenbild, die intraorale Untersuchung, Modellvermessung etc. sollten dann nur noch die Richtigkeit seiner klinischen Diagnostik bestätigen. Anhand von zwei Fallbeispielen soll der diagnostische Aussagewert der klinischen Untersuchung demonstriert werden.

## 7.4 Kasuistische Beispiele für die klinische Diagnostik

*Fallbeispiel A*

Bei der klinischen Befunderhebung war das Mädchen 7 Jahre alt. Anhand der *Gesichtsaufnahmen* (Abb. 32a–f) soll die Untersuchungsmethodik beschrieben werden. Mit Hilfe der *Formanalyse* sollen die morphologischen Abwegigkeiten erfaßt werden. Die *Funktionsanalyse* soll Auskunft geben, welche funktionellen Abweichungen vorliegen.

Formanalyse: Die Frontalaufnahme (Abb. 32a) zeigt, daß der Kopf dieses Mädchens der Kategorie der *Mesozephalie* zuzuordnen ist. Zwischen der Breitenentwicklung des Hirnschädels und der des Viszeralskeletts besteht keine Diskordanz. Nasenflügel und Nares sind transversal normal ausgebildet. Die äußere Weichteilkapsel weist in der Transversalen keine Disproportionen auf. Durch die extra- und intraorale Palpation läßt sich feststellen, daß die Alveolarbasen beider Kiefer in der Transversalen adäquat entwickelt sind.

Die Lippen sind geöffnet. Die Oberlippe ist verkürzt und die Unterlippe nach außen gestülpt. Diese Fehllage läßt sich besonders gut in der Profilaufnahme erkennen (Abb. 32b). Hierbei wird deutlich, daß das Lageverhältnis der Lippen nicht nur in der Vertikalen, sondern auch in der Sagittalen gestört ist. In Relation zum Subnasale liegt das Kinn erheblich zurück. Hieraus läßt sich schließen, daß die

intermaxillären Beziehungen in der Sagittalen gestört sind.

In der Vertikalen lassen sich bei der klinischen Untersuchung keine Diskrepanzen feststellen. Das Längenverhältnis der vorderen mittleren zur unteren Gesichtshöhe entspricht normgerechten Werten. Die Palpation zeigt, daß die Länge des Ramus gut ausgebildet ist und in einer guten Relation zur vorderen unteren Gesichtshöhe steht. Eine abwegige Vergrößerung des Gonionwinkels oder der Inklination der Mandibularebene ist bei Palpation nicht feststellbar.

Funktionsanalyse: Die Abb. 32a läßt deutlich erkennen, daß der vordere Abschluß des Mundraums gestört ist. Von vielen Autoren wird dies in ursächlichem Zusammenhang mit strukturellen Abweichungen, mit der Verkürzung der Oberlippe gesehen. Wir führen den fehlenden Mundschluß vor allem auf die Haltungsschwäche der Lippenschließmuskulatur zurück. Mit Bezug auf die Untersuchungen von Bosma ist bei diesem Kind die Entwicklung und Reifung tonischer Funktionsmuster der Lippenschließmuskulatur ausgeblieben. Die Abb. 32c und d zeigen, daß das Kind keine Schwierigkeiten hat, die Lippen zum Schluß zu bringen (Lippenschließtest). Hieraus kann geschlossen werden, daß der fehlende Lippenschluß nicht auf strukturelle Abwegigkeiten, sondern auf eine Haltungsschwäche der Muskulatur zurückzuführen ist. Eine der Hauptaufgaben der funktionellen Therapie liegt daher in der Überwindung dieser Haltungsschwäche.

Ein weiterer funktioneller Test besteht darin, daß wir den Patienten bitten, den Unterkiefer aus der Rücklage ganz allmählich vorzubringen, bis schließlich Regelbiß im Seitenzahngebiet erreicht wird (Unterkieferverschiebetest). Die Abb. 32e und f zeigen, daß auch dies ohne besondere Kraftanstrengung möglich ist. Dabei kommt es zu einer erheblichen Verbesserung des Gesichtsprofils. Das Ergebnis dieser Funktionstests bestätigt unsere Hypothese, daß die abwegige Haltefunktion der Muskulatur bei der Entwicklung der Dysgnathie eine wichtige Rolle gespielt hat. Der Unterkieferverschiebetest läßt den Schluß zu, daß die intermaxillären Fehlbeziehungen dieses Angle-Klasse-II/1-Falls ursächlich auf eine ungenügende Entwicklung des Unterkiefers zurückzuführen sind. Bei Verwendung der *Steiner*-Analyse hätte der vergrößerte SNA-Winkel (85°) zu einer Fehldiagnose geführt, d. h., man hätte die intermaxillären Fehlbeziehungen auf eine übermäßige Oberkieferentwicklung bezogen.

Die Fernröntgenaufnahme des Patienten (Abb. 33a) bestätigt das Ergebnis der klinischen Untersuchung. Natürlich wird die klinische Analyse durch die intraorale Inspektion ergänzt. So werden die Zusammenhänge zwischen der Gebißfehlbildung und den skelettalen Disproportionen offenkundig. Diese lassen den Schluß zu, daß bei diesem Kind ein wichtiger Wachstumsprozeß, die Translation des Unterkiefers, unterblieben ist. Mit dem langsamen Vorschieben des Unterkiefers vollziehen wir gewissermaßen die ausgebliebene Translation des Unterkiefers nach. Hieraus ergibt sich, daß ein kieferorthopädischer Behelf als orthopädisches Trainingsgerät konstruiert werden muß, um die Haltungsschwäche der Muskulatur zu beheben. Die Abb. 33b soll das Wirkungsprinzip des Funktionsreglers bei der Lösung dieser Aufgabe verdeutlichen. Mit dem Einsetzen des Geräts wird die zirkumorale Weichteilkapsel in ihrem unteren Anteil erweitert. Damit wird Raum für die erforderliche Translation des Unterkiefers geschaffen (vergleiche Abb. 20a und b). Durch die Unterlippenpelotten wird die Unterlippe in der Mentolabialfalte gestützt, wodurch das Training der Lippenschließmuskulatur wesentlich erleichtert wird (vergleiche auch Abb. 19a und b). Auf die Wirkungsweise des Funktionsreglers als orthopädisches Trainingsgerät bei der Behandlung der mandibulären Retrusion wird später noch ausführlich eingegangen.

a

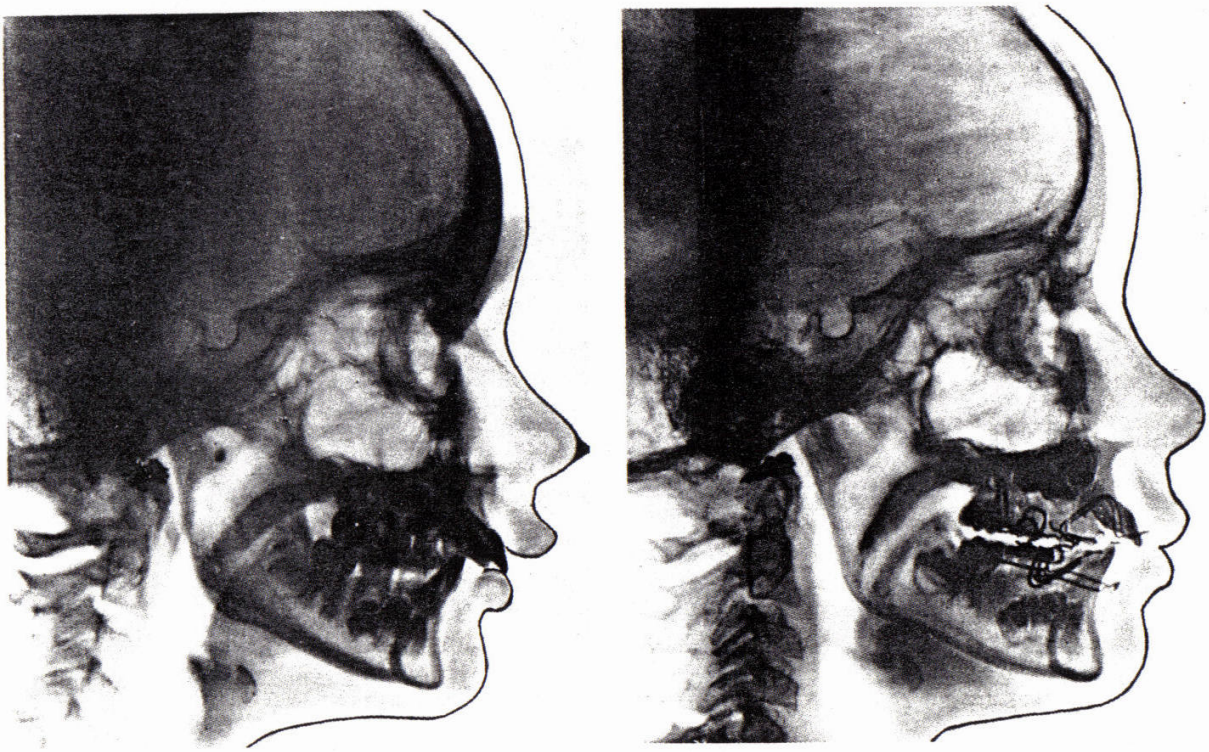
c

b

d

e f

**Abb. 32a–f.** Überprüfen des Lippenschlusses vor und nach Vorverschieben des Unterkiefers in die Neutralbißlage bei Fall A

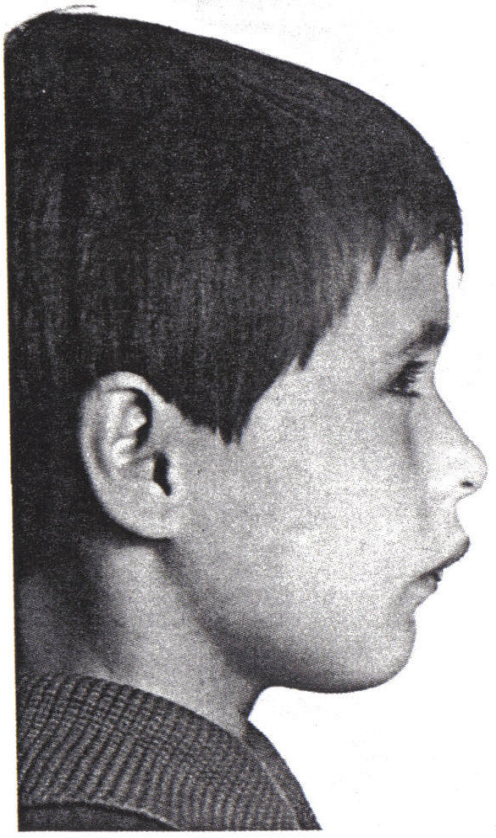


a b

**Abb. 33a, b.** Seitliche Fernröntgenaufnahmen des Falls A vor und unmittelbar nach Einfügen des FR-2

a

c



b

d

e

g

f

h

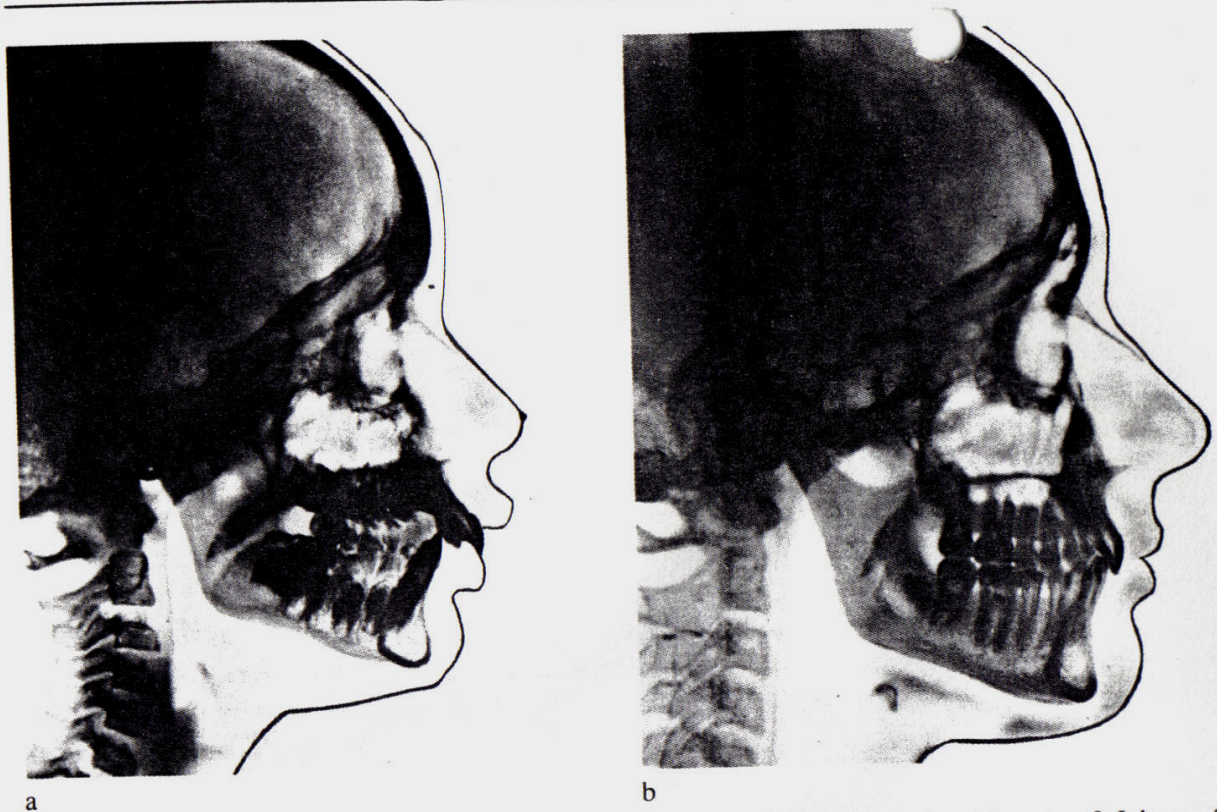
**Abb. 34a–h.** Lippenschluß vor und nach Vorschieben des Unterkiefers in die Neutralbißlage (a–f) bei Fall B. Verbesserung des Gesichtsausdrucks nach 1½ Jahren Lippenschließgymnastik mit dem Funktionsregler (g und h)

*Analyse des Respirationsmodus*
Anamnese: Nach Angaben der Mutter hat das Kind nur im ersten Jahr beim Einschlafen gelegentlich am Daumen gelutscht. Das Lutschen dürfte daher ursächlich bei der Entstehung der Dysgnathie keine Rolle gespielt haben. Chronische Infektionen der Atemwege, wobei auch das Mittelohr sehr oft betroffen war, machten die Behandlung durch den Hals-Nasen-Ohren-Arzt erforderlich. Die Nasenatmung wurde hierdurch erschwert. Dies war der Grund, daß das Kind durch den Mund atmete und die Lippen geöffnet hielt.
Klinische Untersuchung: Zur Feststellung des Respirationsmodus gebrauchen wir einen kleinen Wattebausch – ein simples Verfahren, das in der Literatur schon häufig beschrieben wurde. Mit Hilfe des Wattebausch-Tests konnte festgestellt werden, daß das Kind vorwiegend durch den Mund atmet. Hieraus läßt sich schließen, daß nicht nur der vordere, sondern auch der hintere Mundraumabschluß inkompetent war. Die Physiologie war daher nicht nur in dem oralen, sondern auch nasopharyngealen Funktionsraum gestört. Die Ventilation der nasopharyngealen Funktionsräume war daher stark herabgesetzt.
Kniebeugetest: Das Kind konnte bei geschlossenen Lippen 15 Kniebeugen mühelos durchführen. Hieraus läßt sich schließen, daß die zur Zeit bestehende Mundatmung nicht als Folge von Obstruktionen in den nasopharyngealen Räumen zu erklären ist, sondern der Kategorie der „Angewohnheiten" (habits) zuzuordnen ist. Infolge der häufigen Erkältungskrankheiten hatte sich das Kind an die Mundatmung gewöhnt. Die Lippen wurden daher immer geöffnet gehalten. Die Entwicklung bzw. Reifung physiologischer Funktionsmuster der Mundschließmuskulatur blieb aus. Wir können annehmen, daß die lange Zeit bestehende Fehlatmung durch den Mund auch zu einer Leistungsminderung der respiratorischen Muskulatur geführt hat, worauf im Kapitel 4 ausführlich eingegangen wurde.
Prognose: Die klinischen Untersuchungen lassen den Schluß zu, daß die Behandlung dieses Falles mit Hilfe des Funktionsreglers relativ leicht durchzuführen ist und gute Aussichten auf einen Erfolg bietet. Die Leichtigkeit, mit der die Lippen geschlossen und der Unterkiefer vorverschoben werden können, läßt eine gute Kooperation erwarten, um so mehr als eine erhebliche Verbesserung des Gesichtsausdrucks nach Lippenschluß und Vorschub des Unterkiefers Kind und Eltern demonstriert werden kann.

*Fallbeispiel B*
Bei Durchführung der klinischen Befunderhebung war der Patient 9 Jahre, 4 Monate alt.
Formanalyse: Wie die Abb. 34a zeigt, bestehen zwischen der Breitenentwicklung des Hirn- und Viszeralschädels keine Diskrepanzen. Die Nasenflügel sind sehr schmal angelegt. Die Nares sind relativ eng. Bei Palpation läßt sich eine transversale Entwicklungshemmung des dentoalveolären Fortsatzes in beiden Kiefern feststellen. Die Wangen sind leicht eingezogen, was auf eine laterale Verengung der äußeren Weichteilkapsel schließen läßt. Die Oberlippe ist stark verkürzt, die Unterlippe ausgestülpt. Das Lageverhältnis zwischen Ober- und Unterlippe ist nicht nur in der Vertikalen, sondern auch in der Sagittalen abnormal, was in der Profilaufnahme (Abb. 34b) besonders deutlich wird.
Zwischen Ober- und Unterkiefer besteht in der Sagittalen eine Diskrepanz, d.h., die intermaxillären Beziehungen sind erheblich gestört. Bei intraoraler Inspektion ist Zahnengstand, stark protrudierte obere Front und Distalbiß festzustellen.
Die vordere untere Gesichtshöhe ist im Verhältnis zur oberen Gesichtshöhe und zur Länge des Ramus vergrößert. Die Nasenspitze ist leicht angehoben. Hieraus läßt sich schlußfolgern, daß skelettale Diskrepanzen nicht nur in der Sagittalen,

sondern auch in der Vertikalen vorliegen.
Funktionsanalyse: Die Lippen können nur unter größter Anstrengung geschlossen werden, wobei der Kinnmuskel eine exzessive Aktivität aufweist (Abb. 34c und d). Die Profilaufnahme zeigt, daß die Patientin den Unterkiefer leicht vorschieben muß, um den Lippenschluß möglich zu machen. Beim Lippenschließtest kommt es zu einer erheblichen Streckung und Verdünnung von Ober- und Unterlippe. Die vordere untere Gesichtshöhe ist signifikant verlängert. Diese Verlängerung verstärkt sich, wenn der Unterkiefer bis zur Regelbißeinstellung verschoben wird (Abb. 34e und f). Hieraus kann geschlossen werden, daß die Kauebene eine stärkere Neigung nach vorn aufweist. Der Unterkiefer-Verschiebetest läßt die Schwere der intermaxillären Fehlbeziehungen erkennen. Der Lippenschließtest deutet darauf hin, daß bei der Entstehung der sagittalen Diskrepanzen auch eine maxilläre Fehlentwicklung eine Rolle gespielt hat. Die Analyse des Fernröntgenbildes (Abb. 35a) bestätigt diese Annahme. Der SNA-Winkel ist stark vergrößert (85,5°). Wahrscheinlich hat das exzessive Finger- und Daumenlutschen zu einer Protrusion des oberen Frontsegments geführt. Die sich dann in die interinzisale Stufe einlagernde Unterlippe könnte in der Folge eine weitere Protrusion des Frontsegments verursacht haben. Hierdurch ließe sich auch eine Mesialwanderung der Seitenzähne erklären.

*Analyse des Respirationsmodus*
Anamnese: Nach Aussage der Mutter wurde Fingerlutschen in den ersten zwei Lebensjahren häufig beobachtet. Außerdem litt das Kind während der ersten drei Jahre mehrfach an chronischen Infektionen des oberen Respirationstraktes. Der Wattebausch-Test zeigte, daß das Kind vorwiegend durch den Mund atmet, d. h., daß der hintere Mundraumabschluß inkompetent ist.
Klinische Untersuchung: Der *Kniebeugetest* zeigte, daß sich die zur Zeit der Untersuchung bestehende Mundatmung nicht durch Obstruktionen der nasopharyngealen Atemwege erklären läßt. Wie beim Fall A kann auch bei dieser Patientin die Mundatmung als Gewöhnung (habit) erklärt werden.
Prognose: Prognostisch ungünstig ist die Tatsache, daß skelettale Disproportionen nicht nur in der Sagittalen, sondern auch in der Vertikalen vorliegen. Die schwierigste Aufgabe bei der Behandlung dieses Falles liegt aber in der Behebung der ausgeprägten Haltungsschwäche der orofazialen Muskulatur. Der Lippenschließtest, der Unterkiefer-Verschiebetest und die hierbei auftretende signifikante Verschlechterung des Weichteilprofils zeigen an, daß eine Behebung der funktionellen Abweichungen nicht erwartet werden kann. Die Abb. 34c, d, e, f machen deutlich, daß die Lippen nur bei größter muskulärer Kraftanstrengung geschlossen werden können. Eine Kooperation des Kindes bei der Lippenschließgymnastik kann daher nicht erwartet werden. In der Regel wird in diesen Fällen die Extraktionstherapie eingeleitet. Nach Durchbruch der Prämolaren werden je nach Fall die intermaxillären Fehlbeziehungen mit dem Funktionsregler bzw. mit extraoraler Technik behandelt, worauf später noch eingegangen wird.
Epilog: Trotz mehrfacher, intensiver Aussprache waren die Eltern jedoch nicht zu überzeugen, daß bei ihrem Kind die Extraktion von Zähnen erforderlich sei. Wir wurden eindringlich gebeten, doch einen Versuch zu unternehmen, eine kieferorthopädische Behandlung ohne Zahnextraktion durchzuführen. Wir entschlossen uns schließlich, dem Wunsche der Eltern nachzugeben, da von einer Funktionsreglerbehandlung für das Kind kein Schaden zu erwarten war. Außerdem bestand keine Notwendigkeit, die Extraktion sofort vorzunehmen.
Das orthopädische Training wurde mit allergrößter Vorsicht eingeleitet. Der Konstruktionsbiß für den FR-2 wurde nur in einer Vorschubstellung von 2 mm und bei



a b

**Abb. 35a, b.** Seitliche Fernröntgenaufnahmen des Falls B vor Behandlung, im Alter von 8 Jahren, 5 Monaten (a), und im Alter von 17 Jahren, 10 Monaten, 2 Jahre und 1 Monat nach Absetzen des Funktionsreglers

geringer Bißöffnung genommen. Das Gerät wurde von dem Patienten ohne Schwierigkeiten angenommen. Die Gesichtsaufnahmen (Abb. 34g und h) zeigen den Erfolg nach 1½jähriger Behandlung. In dieser verhältnismäßig kurzen Zeit wurde die Fehlhaltung im Gesichtsweichteilbereich weitestgehend behoben. Die Lippen konnten fast zwanglos geschlossen werden. Bemerkenswert ist die Korrektur der Disproportion zwischen vorderer mittlerer und unterer Gesichtshöhe. Dabei kam es auch zu einer Senkung der Nasenspitze. Dieser Behandlungserfolg zeigt, daß der FR-2 seiner Aufgabe als orthopädisches Trainingsgerät voll gerecht wurde. Allerdings wäre dieses Behandlungsergebnis ohne die überdurchschnittliche Kooperation von Kind und Eltern nicht möglich gewesen.

Nach dieser aktiven Behandlungsphase wurde ein zweiter FR-2 angefertigt, der für weitere 1½ Jahre tags und nachts getragen wurde. Danach wurde die Tragezeit allmählich reduziert, und der Funktionsregler wurde schließlich nur noch nachts als Retentionsgerät getragen. Das Fernröntgenbild, das zwei Jahre und einen Monat nach Absetzen des Geräts angefertigt wurde (Abb. 35b), zeigt, daß nicht nur die funktionellen, sondern auch die morphologischen Abweichungen behoben wurden. Die sagittalen und vertikalen Disproportionen im Kieferbereich wurden korrigiert, wobei eine signifikante Verlängerung des Corpus und Ramus mandibulae auffällt. Trotz der Retrusion der Schneidezähne ist nunmehr genügend Raum für den Durchbruch aller Molaren vorhanden. Bemerkenswert ist die erhebliche Verlängerung der Nase, wobei es zu einer Senkung der Nasenspitze kam.

Dieser Fall ist ein instruktives Beispiel für die engen Beziehungen zwischen Funktion und Form. Die signifikante Korrektur der skelettalen Disproportionen läßt sich nur als spontane Adaptation der Form an die Funktion erklären. An diesem Fallbeispiel wird erkennbar, welche Bedeutung funktionellen Einflüssen bei der Formentwicklung im orofazialen Bereich zukommt.

# 8 Die Bedeutung des Fernröntgenbildes in der Kieferorthopädie

## 8.1 Die diagnostische Bedeutung des Fernröntgenbildes

In der klassischen Orthodontie wird der kephalometrischen Analyse große Bedeutung beigemessen. Mit Hilfe des Fernröntgenbildes will man die individuelle Einlagerung des Gebisses im Schädel metrisch erfassen. Wir erhalten so wertvolle Auskunft über die Möglichkeiten wie aber auch die Grenzen einer orthodontischen Behandlung. Bei der Behandlungsplanung können wir dann besser entscheiden, in welcher Richtung und in welchem Ausmaße die Zähne zu bewegen sind, um die Beziehungen zwischen Gebiß und Schädelskelett optimal zu gestalten. Dabei wird dem Profil besondere Beachtung geschenkt. Außerdem informiert uns das Fernröntgenbild, ob im Einzelfall Zahnextraktionen erforderlich sind. Inwieweit die bei den verschiedenen kephalometrischen Methoden verwendeten Durchschnittsnormen von praktischem Nutzen für die Behandlungsplanung sind, bzw. inwieweit sie prognostisch Bedeutung haben, soll hier nicht erörtert werden.

In der *kieferorthopädischen* Diagnostik kommt dem Fernröntgenbild als diagnostisches Hilfsmittel ein ganz anderer Stellenwert zu. Kieferorthopädie befaßt sich mit der Behandlung von Fehlentwicklungen des Kieferskeletts. Die Feststellung von skelettalen Disproportionen im gesamten Viszeralbereich ist daher von vorrangiger Bedeutung. Nach *Björk* (1960) gibt das Fernröntgenbild den Entwicklungsstand des Schädelskeletts zum Zeitpunkt der Aufnahme wieder. Die kephalometrische Analyse einer Einzelaufnahme reicht aber nicht aus, um das skelettale Entwicklungsmuster zu bestimmen. Wir erhalten von einer Einzelaufnahme auch keine verläßlichen Hinweise für Planung und Prognose einer kieferorthopädischen Behandlung. Dies gilt besonders dann, wenn kephalometrische Durchschnittsnormen zu Grunde gelegt werden. Nach *Salzmann* (1964), *Moorrees* und Mitarbeitern (1975) sind kephalometrische Durchschnittsnormen, die sich auf die Untersuchung von Probanden mit normalen Gebißverhältnissen stützen, als Grundlage orthopädischer Diagnostik und Behandlungsplanung unbrauchbar. Hierbei würden die individuellen Variationen der Schädelentwicklung übersehen.

Das Gesicht eines Menschen, wenn wir von eineiigen Zwillingen absehen, ist einmalig. Die verschiedenen Teile des Schädels können in sehr individueller Weise zu einem Ganzen zusammengefügt sein. So kann eine überdurchschnittliche Länge der vorderen Schädelbasis bzw. der Oberkieferbasis vorliegen. Im Einzelfall kann dies aber durchaus dem im genetischen Plan vorgesehenen Entwicklungsmuster entsprechen. *A. M. Schwarz* (1958) kommt das Verdienst zu, die große, individuelle Variationsbreite der kraniofazialen Entwicklung erkannt zu haben. Bei

der von ihm entwickelten Röntgenostatik unterscheidet er zwischen Vorgesicht, Mittelwertgesicht und Rückgesicht. Die von ihm gebrauchten Ausdrücke „Anteinklination", „Retroinklination" lassen erkennen, daß er auch dem Rotationsmuster bei der kraniometrischen Analyse Bedeutung beigemessen hat. In der Zusammenfassung seines Kompendiums schreibt *A. M. Schwarz*, daß der erfahrene Kieferorthopäde immer seltener zum Maßstab greift. „So genügt ihm in zunehmendem Maße auch für die meisten Einzelheiten des Fern-Röntgenbildes bald nur noch ein Blick, um das Besondere des Falles zu erfassen und daraus seine Schlüsse zu ziehen." Dieser Ansicht schließen wir uns voll und ganz an. Ein Kieferorthopäde sollte nach seiner Fachausbildung in der Lage sein, skelettale Disproportionen im Fernröntgenbild ohne den Gebrauch eines „Maßstabes" zu erkennen. Besonders wenden wir uns gegen den Gebrauch von „Durchschnittsnormen", da sie dem Erkennen des individuellen Entwicklungsmusters im Schädelaufbau abträglich sind. *Moorrees* und Mitarbeiter (1975) sind der Meinung, daß Disproportionen in der sagittalen und vertikalen Entwicklung als das wesentliche Merkmal einer skelettalen Fehlentwicklung zu gelten haben. Dieser Ansicht schließen wir uns voll an. Kephalometrische Durchschnittsnormen sind für Diagnostik und Planung einer *kieferorthopädischen* Behandlung ohne jeden Wert. Hinzu kommt, daß uns das Fernröntgenbild über pathophysiologische Funktionsmuster keine Auskunft zu geben vermag. Dies ist aber die vorrangige Aufgabe einer kieferorthopädischen Diagnostik. Anhand der zwei Fallbeispiele (s. Kapitel 7) wollten wir zeigen, daß der klinischen Untersuchung des Patienten bei einer kieferorthopädischen Diagnostik die größte Bedeutung beizumessen ist. Bei der klinischen Befunderhebung lassen sich aber nicht nur Haltungsfehler, abwegige Funktionsmuster der orofazialen Muskulatur feststellen. Auch Disproportionen im Aufbau des Gesichtsschädels lassen sich erkennen. Hierbei ist das wesentliche Kriterium die Ästhetik des Gesichts. Es gilt zu analysieren, inwieweit der Gesichtsausdruck durch Disproportionen des Skeletts bzw. des Gebisses oder aber durch Fehlhaltungen im Bereich der Gesichtsweichteile beeinträchtigt wird.

## 8.2 Die kephalometrische Erfolgsbewertung in der Kieferorthopädie

Die Eignung des Fernröntgenbilds zur Bewertung eines *kieferorthopädischen* Behandlungsergebnisses ist unumstritten. Die kephalometrische Analyse bietet die einzige Möglichkeit zu eruieren, ob die skelettale Entwicklung durch die Behandlung beeinflußt werden konnte. Die Verläßlichkeit einer kephalometrischen Erfolgsbewertung hängt in hohem Maße davon ab, ob es eine Referenzstruktur gibt, die als „wachstumsstabil" gelten kann. Die heute gebräuchlichen Auswertungsverfahren beziehen sich in irgend einer Weise auf die vordere Schädelbasis. Zahlreiche Längsschnittuntersuchungen haben gezeigt, daß sich die von *De Coster* (1952) angegebene Bezugslinie nicht als reproduzierbare Referenzbasis eignet. Nach Ansicht vieler Autoren birgt auch die Benutzung der Nasion-Sella-Linie als „Schädelbasis-Ersatzlinie" die Gefahr der Fehlinterpretation in sich. Sella und Nasion sind keine anatomischen Bezugspunkte der vorderen Schädelbasis. Ihre Lageveränderung während der Entwicklung unterliegt unterschiedlichen Wachstumsprozessen. Nach *Björk* (1960) werden Lage und Inklination der mittleren und vorderen Schädelbasis durch das Wachstum im Bereich der Synchondrosis sphenooccipitalis beeinflußt. Hierbei übernimmt diese Wachstumszone die Funktion eines Gelenks. Nach *Coben* (1961) sind Fehlinterpretationen bei der Bewertung des kieferorthopädischen Behandlungsergebnisses unvermeidbar,

wenn Größe und Richtung des Wachstums in der Synchondrosis sphenooccipitalis unberücksichtigt bleiben. Aus diesem Grunde entwickelte er das Konzept der „Basion-Horizontal-Tracing-Film"-Analyse. Als Abszisse verwendet er die Frankfurter Horizontale. Damit bezieht er das Orbitale, einen Referenzpunkt im vorderen Bereich des Viszeralskeletts, in seine Analyse sein. *Müller* (1959 a und b) vertritt den Standpunkt, daß eine exakte metrische Analyse der skelettalen Veränderungen im Viszeralbereich nur dann möglich ist, wenn Referenzstrukturen verwendet würden, die dorsal von der Synchondrosis sphenooccipitalis liegen. Bei seiner Argumentation bezieht er sich auf die Wachstumsanalyse einer Baumkrone: „Denn ebenso, wie man die räumliche Entwicklung einer Baumkrone mit Vorteil von deren Ansatz am Stamme aus mißt und nicht von irgend einem peripheren Ästchen, wird man die räumliche Entwicklung des Schädels am einfachsten erfassen, wenn man den Orientierungspunkt an die Verbindungsstelle des Schädels mit dem Körperstamm legt." Die anatomischen Strukturen des Os occipitalis, besonders der Okzipitalkondylen, seien daher als kephalometrische Referenzbasis hervorragend geeignet. Posterior zum Foramen magnum schlägt er die untere, äußere Kontur des Okzipitalknochens als Bezugslinie vor. In diesem Bereich befinden sich jedoch viele Muskelansätze, so daß diese Bezugslinie funktionsbedingten Veränderungen unterliegt. Dies mag der Grund sein, weshalb das von ihm vorgeschlagene Analyseverfahren keine Anwendung in der Kieferorthopädie gefunden hat. Ein weiterer Grund hierfür ist aber auch darin zu sehen, daß bei den handelsüblichen Kephalostaten Kassetten verwendet werden, bei denen die okzipitalen Referenzstrukturen dorsal vom Foramen magnum nicht zur Abbildung kommen. Dieser Nachteil ließe sich jedoch leicht beheben, wenn die Kassettenhalterung um 90° gedreht wird. Damit würde die längere Seite der Kassette zur Erdhorizontalen ausgerichtet. Wenn hierbei das Schädeldach im Röntgenbild nicht zur Darstellung kommt, so ist das weder für die Diagnostik noch Therapie von Bedeutung. Dieser Nachteil würde aber dadurch aufgehoben, daß die okzipitalen Referenzstrukturen zur Abbildung kämen. Über die Konstruktion und die Verwendung des okzipitalen Referenzsystems bei kephalometrischen Längsschnittuntersuchungen wurde von *Fränkel* ausführlich berichtet (1969, 1980). Da wir bei der kephalometrischen Erfolgsbewertung der mit Funktionsreglern behandelten Fälle vorzugsweise das okzipitale Referenzsystem benutzen, soll darauf im folgenden kurz eingegangen werden.

## 8.3 Das okzipitale Referenzsystem nach *Fränkel* unter Berücksichtigung der natürlichen Kopfhaltung

*Moorrees* (1958, 1976), *Lundström* (1982), *Schönherr* (1967) und *Feuer* (1974) vertreten den Standpunkt, daß ein kephalometrisches Referenzsystem nach der natürlichen Kopfhaltung ausgerichtet werden sollte; denn nur so könnte man sich ein reales Bild von den sagittalen bzw. vertikalen Beziehungen zwischen den verschiedenen Teilen des Schädels machen. Man sollte jedoch bedenken, daß die Kopfhaltung im Laufe der Entwicklung erheblichen Veränderungen unterliegt. Dies haben Längsschnittuntersuchungen gezeigt, die an 121 Patienten unserer Klinik vorgenommen wurden (*Falck* 1980). In der Tabelle 1 sind die winkelmäßigen Veränderungen der natürlichen Kopfhaltung wiedergegeben, die zwischen dem 7. und 15. Lebensjahr festgestellt wurden. Diese Untersuchungsergebnisse lassen den Schluß zu, daß ein Referenzsystem, das nach der natürlichen Kopfhaltung ausgerichtet ist, als Referenzbasis für kephalometrische

**Tabelle 1.** Durchschnittliche Winkelveränderungen ($\bar{x}$) der Kopfhaltung von 111 Kindern zwischen dem 7. und 15. Lebensjahr

| Kopfhaltung | Winkelwerte | Anzahl (n) | $\bar{x}$ |
|---|---|---|---|
| angehoben | 1° bis 5° | 10 | 2,5 |
| | 5,5° und mehr | 7 | 7,1 |
| gesenkt | 1° bis 5° | 34 | 3,1 |
| | 5,5° und mehr | 60 | 10,6 |

Längsschnittuntersuchungen nicht geeignet ist. Wir benutzen zur Ausrichtung des Fernröntgenbildes nach der Erdwaagerechten nur die zuerst angefertigte Registrierung der Kopfhaltung. Diese wird dann auf die folgenden Fernröntgenaufnahmen übertragen. Um bei Längsschnittuntersuchungen einen exakten metrischen Vergleich der Fernröntgenaufnahmen durchführen zu können, halten wir eine beiderseitige Fixierung des Kopfes mit Ohroliven für notwendig. Zur Bestimmung der natürlichen Kopfhaltung ist eine derartige Fixierung des Kopfes ungeeignet, da sie leicht zur Fehleinschätzung der „Haltung" führen kann. Wir wenden daher das von *Moorrees* (1958) und *Schönherr* (1967) angegebene Verfahren an, d.h., wir registrieren die natürliche Kopfhaltung fotografisch.

*Die Ausrichtung der Fernröntgenaufnahme nach der Erdwaagerechten*

Vor dem Röntgen wird mit einer Rekordspritze ohne Nadel auf die Nasenspitze und auf die plattennahe Gesichtsseite des Patienten unterhalb des Jochbogens, etwa 2 cm vor dem Tragus, jeweils ein kleiner Klecks Kontrastbrei aufgetragen. Unmittelbar nach der Fernröntgenaufnahme wird unter Belassung der Kontrastbreipunkte ein Teilprofilfoto der plattennahen Gesichtsseite genommen. Hierbei steht der Patient in entspannter Haltung und schaut sich in einem etwa 2 m entfernten Spiegel in die Augen. Wir verwenden hierzu eine Kleinbildkamera mit einem Objektiv von 200 mm Brennweite. Ihre Unterseite ist mit einer Wasserwaage genau waagerecht ausgerichtet. Von dem auf Postkartendimension vergrößerten Foto darf der untere Bildrand nicht weggeschnitten werden. Er repräsentiert die Erdwaagerechte H (Abb. 36). Parallel zur H wird durch den Kontrastbreipunkt K″ eine Linie H′ gezogen. Der Winkel, der zwischen H′ und der Verbindungslinie zwischen den beiden Kontrastbreipunkten K′ und K″ gebildet wird, gibt uns die winkelmäßige Abweichung der Erdhorizontalen von der Verbindungslinie K′ und K″ an. Diese beträgt 5° bei dem Beispiel der Abb. 36. Um das Fernröntgenbild nach der Erdhorizontalen auszurichten, bringt man den Zentralpunkt eines Halbkreis-Winkelmessers mit dem Kontrastbreipunkt K″ zur Deckung und dreht ihn, bis die im Foto bestimmte Winkelabweichung an der peripheren Gradeinstellung des Winkelmessers eingestellt ist (Abb. 37). Im vorliegenden Beispiel müßte dann die Mitte des Kontrastbreipunktes K′ auf der Gradmarkierung 85° (d.h. 90 minus 5) liegen. Danach legt man die Kathete eines rechtwinkligen Dreiecks an die Basis des Winkelmessers an und verschiebt es, bis der freie Schenkel genau durch den Okzipitalpunkt Oc 1 führt, der vorher in das Fernröntgenbild mit einem scharfen Stichel eingestochen wurde. Der freie Schenkel des Winkeldreiecks ist somit parallel zur Erdhorizontalen eingestellt. Zur Fixierung dieser Erdwaagerechten im Röntgenbild wird dann etwa 2 cm hinter dem dorsalen Schädelumriß ein zweiter Okzipitalpunkt Oc 2 in den Röntgenfilm eingestochen.

Zur Konstruktion des okzipitalen Koordinatensystems benutzen wir den Schnittpunkt zwischen den vorderen Konturen der Okzipitalkondylen und der ventrokaudalen Kontur der Pars basilaris des Os occipitalis. Dieser Referenzpunkt Oc 1 ist im Fernröntgenbild klar zu erkennen und wird als der Zentralpunkt des Koordinatensystems mit einem scharfen Stichel direkt im Fernröntgenbild markiert. Die Waagerechte, die durch diesen Punkt Oc 1 führt, liegt parallel zur Erdhorizontalen und wird als Abszisse des Koordinatensy-

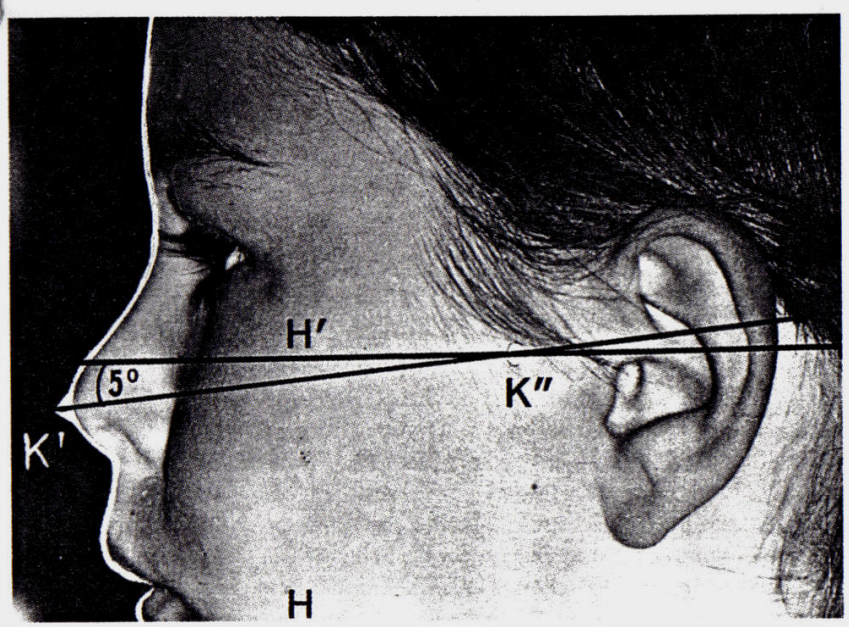



**Abb. 36.** Partielle Gesichtsaufnahme bei natürlicher Kopfhaltung. Bei waagerecht justierter Kamera stellt der untere Rand des Fotos die Erdhorizontale H dar. Der Winkel zwischen der Verbindungslinie der beiden Kontrastbreipunkte (K′, K″) und der Parallelen H′ gibt die winkelmäßige Abweichung zur Erdhorizontalen wieder

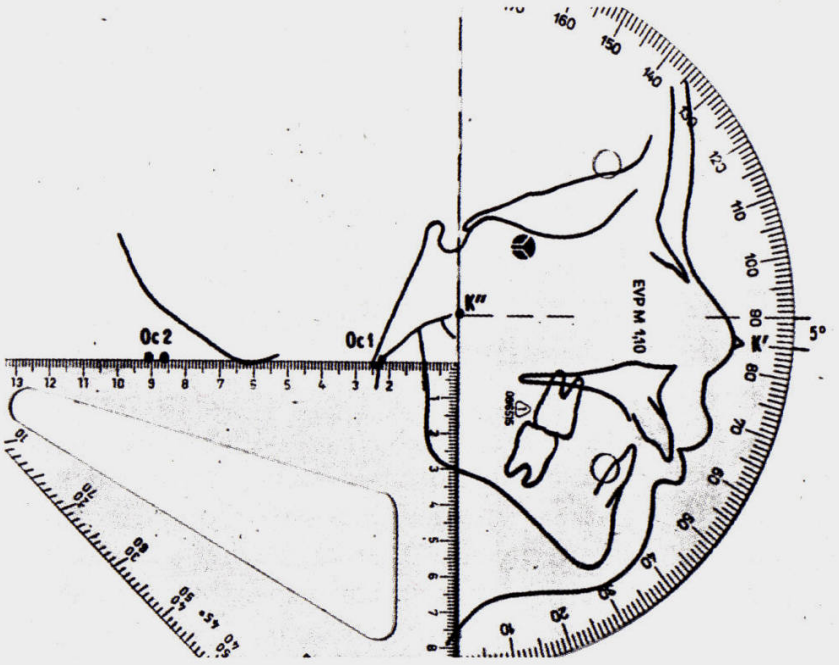



**Abb. 37.** Durch Übertragen der Winkelabweichung auf das Fernröntgenbild kann die Erdhorizontale durch Einstechen der Okzipitalpunkte Oc1 und Oc2 als Abszisse des Koordinatensystems im Fernröntgenbild fixiert werden

stems benutzt. Sie ist die Bezugsbasis, von der aus die vertikalen Abstände der verschiedenen Referenzpunkte bestimmt werden. Durch den Oc 1 wird senkrecht zur Abszisse die Senkrechte des Koordinatensystems errichtet. Von ihr aus werden die sagittalen Abstände der verschiedenen Bezugspunkte bestimmt.

Um nun das Okzipitalkreuz von der ersten Fernröntgenaufnahme auf die folgenden Aufnahmen zu übertragen, fertigen wir auf einer transparenten Folie eine Durchzeichnung an, die die beiden Okzipitalpunkte Oc 1 und Oc 2 sowie die Kontur der Crista occipitalis interna wiedergibt. Außerdem werden noch die Bezugspunkte von Sella (S), Nasion (N) und Articulare eingezeichnet (Abb. 38). Diese Folie wird mit den entsprechenden Okzipitalstrukturen der Folgeaufnahmen zur Deckung gebracht. Dabei wird geprüft, ob die größen- und winkelmäßigen Veränderungen der Bezugspunkte S, N und Ar den wachstumsbedingten Veränderungen entsprechen. Nach dieser Überprüfung können dann die beiden Okzipi-

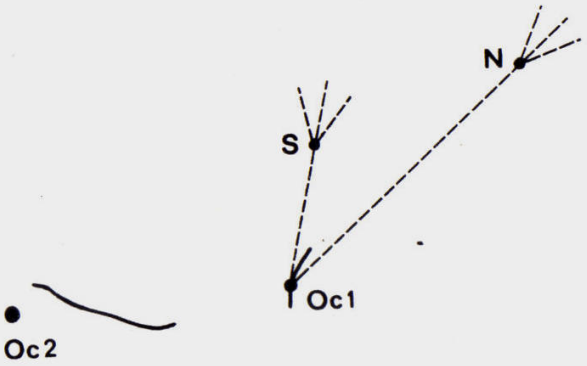



**Abb. 38.** Zur Überprüfung der exakten Überlagerung der okzipitalen Referenzstrukturen wird eine Schablone mit den Punkten Oc1 und Oc2, Sella-Punkt (S) und Nasion (N) vom ersten Fernröntgenbild angefertigt. Bei richtiger Überdeckung müssen die Positionsveränderungen von S und N in Größe und Richtung im Bereich der Wahrscheinlichkeit liegen

talpunkte Oc 1 und Oc 2 von der ersten auf die folgenden Aufnahmen mit Hilfe eines Stichels übertragen werden.

## 8.4 Die praktische Anwendung des okzipitalen Referenzsystems bei der kieferorthopädischen Erfolgsbewertung

Die ventrokaudale Kontur der Pars basilaris und die Crista interna des Os occipitalis sind im Fernröntgenbild genau zu erkennen. Sie repräsentieren anatomische Strukturen eines Einzelknochens, die in der Medianebene des Schädels liegen. Damit sind alle Voraussetzungen für ein verläßliches kephalometrisches Referenzsystem gegeben. Der größte Vorteil dieses Analyseverfahrens liegt aber darin, daß die okzipitalen Referenzstrukturen dorsal von der Synchondrosis sphenooccipitalis liegen. Damit unterscheidet es sich von allen bisher gebräuchlichen Fernröntgenanalysen. So lassen sich die während des Wachstums bzw. der kieferorthopädischen Behandlung erfolgten morphologischen Veränderungen von einer Referenzbasis analysieren, die außerhalb der vorderen Hälfte des Schädels liegt. Es kann beispielsweise genau festgestellt werden, ob die Lageveränderung des Nasions durch das Wachstum in der Synchondrosis sphenooccipitalis oder aber durch die Pneumatisation des Sinus frontalis zustande kam.

*Fallbeispiel für die Anwendung des okzipitalen Referenzsystems bei der kieferorthopädischen Erfolgsbewertung*

Das Mädchen, das uns vom Schulzahnarzt überwiesen wurde, war 5 Jahre und 10 Monate alt. Bei der ersten Untersuchung wurde eine signifikante mandibuläre Retrusion festgestellt. Die bleibenden ersten Molaren waren noch nicht durchgebrochen. Um eine unnötige Verlängerung der Behandlungszeit zu vermeiden, wurde die orthopädische Behandlung mit dem Funktionsregler erst 10 Monate später begonnen. Die Abb. 39 zeigt die Durchzeichnung der ersten und letzten Fernröntgenaufnahme des Patienten, überdeckt in dem Okzipital-Referenzsystem. Die morphologischen Veränderungen im Mittelgesicht und Oberkieferbereich, die während der Beobachtung stattfanden, lassen sich als Folge eines normalen Wachstums auslegen. Ganz offensichtlich wurde die Sagittalentwicklung der Oberkieferbasis wie aber auch des dentoalveolären Fortsatzes in keiner Weise behindert. Auffällig ist die erhebliche Verlängerung des Unterkieferbasalbogens. Mit der Verlängerung des Corpus mandibulae kam es gleichzeitig zu einer Vorverlagerung des dentoalveolären Fortsatzes, ohne daß die unteren Molaren oder Schneidezähne vorgekippt wurden. Die intermaxillären Fehlbeziehungen wurden demnach durch eine Nachentwicklung des Unterkieferbasalbogens behoben.

In der Abb. 40 sind die Durchzeichnungen der Fernröntgenaufnahmen desselben Falles, überdeckt in dem okzipitalen Koordinatensystem, ohne Weichteilkonturen wiedergegeben. Die okzipitalen Referenzstrukturen am Vorderrand der

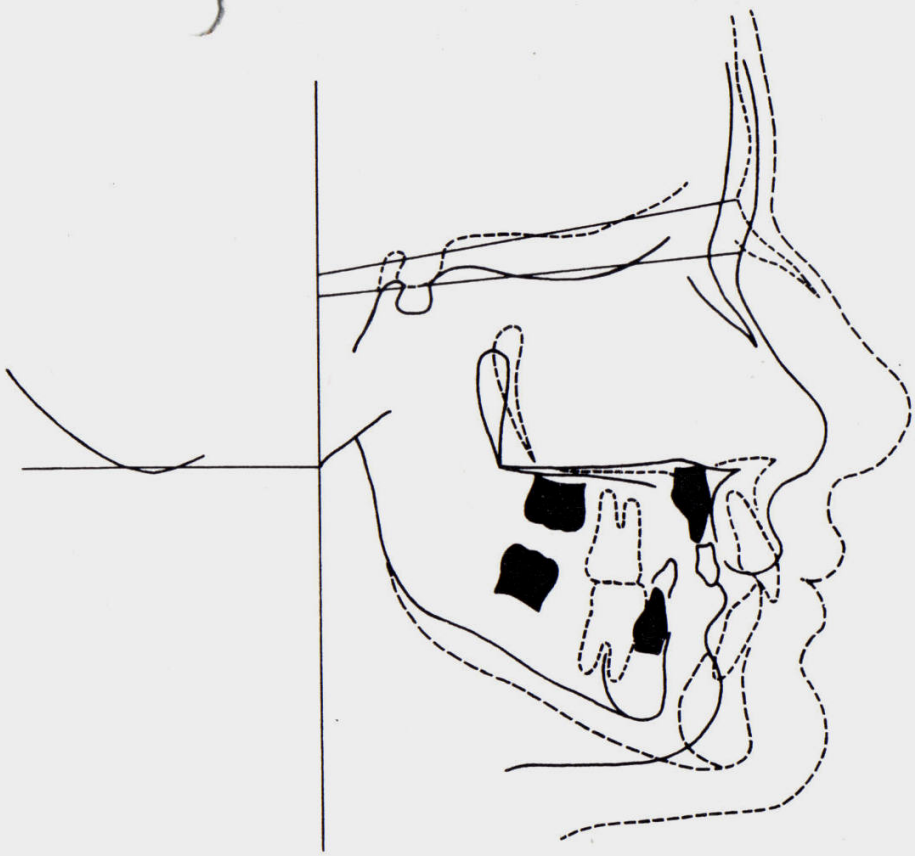


**Abb. 39.** Die Überdeckung der Fernröntgendurchzeichnungen in den okzipitalen Referenzen mit dem Oc1-Punkt als Zentrum des Koordinatensystems läßt eine exakte Beurteilung der Veränderungen zu, die im Viszeralbereich während der Behandlung mit dem Funktionsregler stattgefunden haben

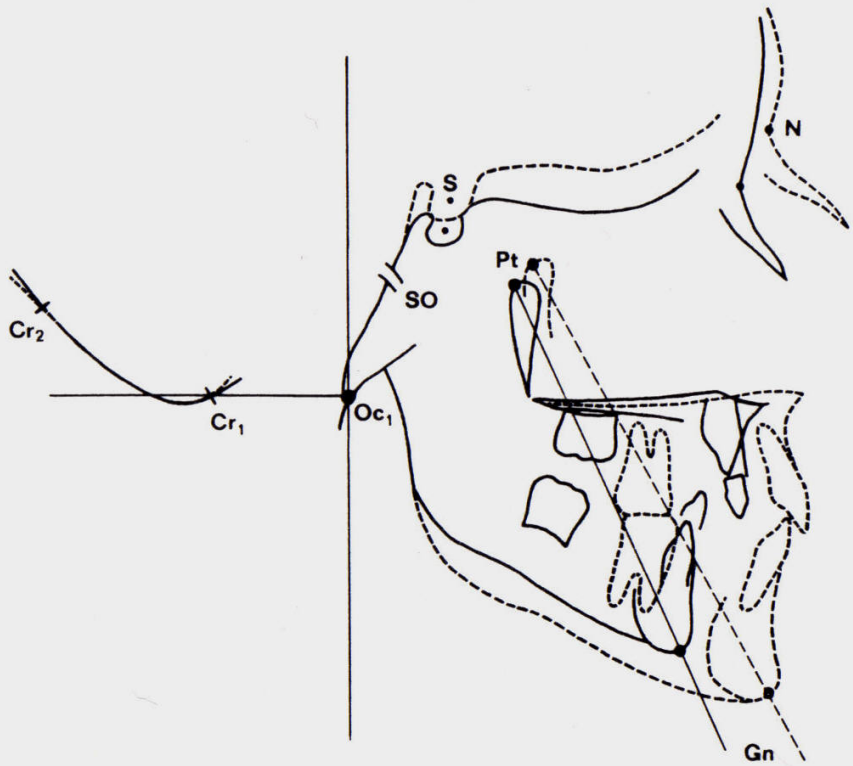



**Abb. 40.** Durchzeichnungen des gleichen Falls wie in Abb. 39 zeigen den Einfluß des Wachstums der Synchondrosis sphenooccipitalis (SO) auf die skelettale Entwicklung im Viszeralbereich. Die Kontur der Crista occipitalis interna bleibt während des Wachstums zwischen den Punkten Cr1 und Cr2 außerordentlich stabil

Kondylen und der Crista occipitalis interna zwischen den Punkten Cr 1 und Cr 2 wie auch der zentrale Referenzpunkt Oc 1 lassen sich exakt überdecken, obwohl zwischen der ersten und zweiten Aufnahme ein Zeitraum von 10½ Jahren liegt. Die Stabilität dieser Strukturen ist verständlich, da die Crista occipitalis interna in der Medianebene, zwischen den beiden Hirnhälften liegt. So dürfte sich der Wachstumsdruck kaum auf diese Strukturen verändernd auswirken. Unsere Longitudinaluntersuchungen haben gezeigt, daß, falls geringfügige Veränderungen von Teilen der Crista occipitalis interna stattfinden, ihre Verläßlichkeit als Referenzbasis nicht in Frage gestellt wird. Der große Vorteil unseres Analyseverfahrens liegt darin, daß wir bei der Vermessung der morphologischen Veränderungen im vorderen Teil des Schädels das Wachstum der Synchondrosis sphenooccipitalis in Ausmaß und Richtung berücksichtigen können. So werden in der Abb. 40 die Biegung des Dorsum sellae und die dadurch bedingte Lageveränderung des Punktes S erkennbar. Interessant ist, daß sich das Wachstum dieser Synchondrose auch auf die Lage der Fossa pterygopalatina und des Referenzpunktes Pt verändernd auswirkt.

Die Okzipital-Kondylen verändern während des Wachstums ihre Relation zum Atlas und damit zur Wirbelsäule nicht. Aus diesem Grunde eignet sich der Punkt Oc 1 in idealer Weise als zentrale Referenz für die metrische Erfassung der Entwicklung des gesamten Schädelskeletts. Zusätzliche Überdeckungstechniken, um Veränderungen von Teilen des Schädels festzustellen, werden überflüssig. Die Abb. 41 zeigt, daß sich von den Koordinaten die Veränderungen der verschiedensten Bezugspunkte in Ausmaß und Richtung exakt erfassen lassen. In unserem Fallbeispiel bewegten sich die Referenzpunkte S und N in Ausmaß und Richtung sehr unterschiedlich. Der obere erste Molar (*6*) wurde während der Funktionsreglerbehandlung weder in seiner vertikalen

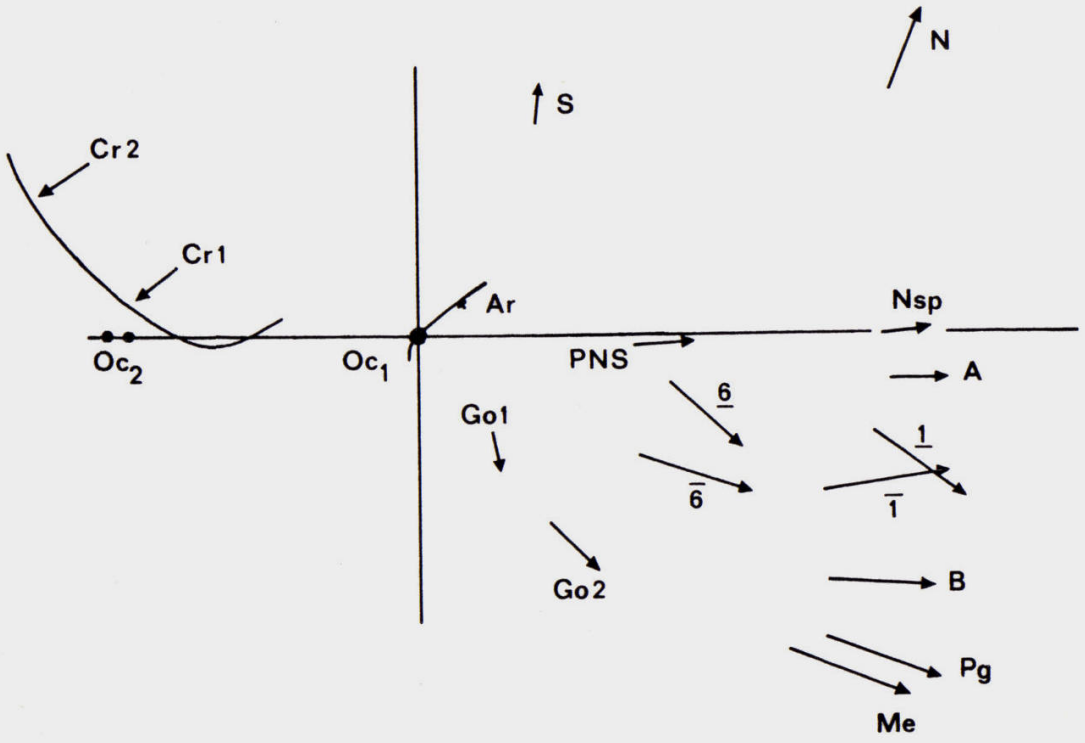



**Abb. 41.** Das okzipitale Referenzsystem zeigt die Veränderungen der verschiedenen Bezugspunkte in Größe und Richtung exakt an. Hierdurch ist eine objektive meßtechnische Erfassung der Umbauvorgänge, die während der Behandlung bzw. Beobachtung im Schädelbereich stattgefunden haben, möglich. Das Wachstum der Synchondrosis sphenooccipitalis findet hierbei Berücksichtigung

noch anterioren Bewegung behindert. Während der Punkt A sich in normalem Ausmaße nach vorn bewegte, kam es zu einer erheblichen Lageveränderung des Pogonions (Pg) in rostraler Richtung. Außer den in Abb. 41 angegebenen Bezugspunkten können zusätzlich noch andere verwendet werden, um die morphologischen Veränderungen zu lokalisieren und in Größe und Richtung zu bestimmen. Diese Arbeit wird durch die elektronische Meßtechnik und Datenverarbeitung wesentlich erleichtert. Auf diese Weise läßt sich feststellen, ob mit Hilfe einer *kieferorthopädischen* Behandlung skelettale Disproportionen behoben werden konnten, oder ob sich die verwendete Apparatur nur verändernd auf das Gebiß ausgewirkt hat. Gleichzeitig lassen sich auch die Veränderungen des Weichteilprofils metrisch erfassen. So zeigt die Abb. 39, daß die abwegige Haltung von Oberlippe zur Unterlippe normalisiert werden konnte. Die während der Behandlung eingetretene Verdickung der Ober- und Unterlippe läßt auf den Trainingseffekt des Funktionsreglers schließen. Der Mentaliswulst ist verschwunden, womit die Überwindung der Haltungsschwäche der Lippenschließmuskulatur angezeigt wird. Daß der Funktionsregler reale Möglichkeiten bietet, die skelettalen Disproportionen im Viszeralbereich zu beheben, soll an Beispielen gnathischer Fehlentwicklungen später noch demonstriert werden.

# 9 Hinweise zur Motivation und Kooperation

Bei der Verwendung festsitzender orthodontischer Geräte spielt die Motivationsproblematik eine wesentlich geringere Rolle als bei der Behandlung mit herausnehmbaren Behelfen. Kieferorthopädische Plattengeräte können vom Kind ohne jede Schwierigkeit aus dem Munde entfernt werden. Die Motivierung zur Kooperation ist daher bei dieser Behandlungsart besonders wichtig, ja entscheidend für Erfolg oder Mißerfolg. Besondere Bedeutung haben aber Maßnahmen zur Motivierung von Patient und Eltern bei der Durchführung einer funktionellen orthopädischen Übungstherapie. In der Allgemeinorthopädie gehört eine funktionelle Behandlungsweise schon seit langem zur Routinepraxis. Hierfür stehen dem Orthopäden Gymnastikräume und ein geschultes Personal zur Verfügung. In der kieferorthopädischen Praxis müssen Gymnastik und Muskeltraining zu Hause durchgeführt werden. Die Erfahrung hat gezeigt, daß wir die hierfür notwendige Willensstärke und Ausdauer vom Durchschnittskind nicht erwarten können. Noch mehr fehlt es den Eltern an dem nötigen Durchhaltevermögen, mitzuarbeiten und die Kinder zur Gymnastik anzuhalten und zu überwachen. Aus diesem Grunde sind die Erfolgsmöglichkeiten einer unter den Bedingungen der ambulanten Versorgung durchgeführten „Myotherapie" als gering einzuschätzen.

Das Arbeitsprinzip der erzwungenen, sich im Unbewußten vollziehenden Gymnastik eröffnet neue Möglichkeiten, eine funktionelle Orthopädie in der kieferorthopädischen Praxis zu realisieren, worauf schon früher eingegangen wurde. Der Funktionsregler wird aber als orthopädisches Übungsgerät nur wirksam, wenn er bei Tage getragen wird. Nachts treten muskuläre Funktionen nur sporadisch auf. Ein Trainingserfolg kann während des Schlafes nicht erwartet werden. Es ist nun ein großer Vorteil, daß der Funktionsregler bei richtiger Konstruktion das Kind am Sprechen nicht behindert. Die Motivation und Kooperation von Kind und Eltern wird daher wesentlich erleichtert.

In den meisten Fällen können die bestehenden funktionellen Aberrationen der Muskulatur und des Raums mit Hilfe der „erzwungenen Gymnastik" behoben werden, sofern das Gerät auch bei Tage getragen wird. Bei schweren Störungen des Mundschlusses kann jedoch auf eine bewußt durchgeführte Lippenschließgymnastik nicht verzichtet werden. Der Erfolg einer solchen Gymnastik hängt in hohem Maße von der Kooperation des Kindes und der Eltern ab. Um dies zu erreichen, müssen Kind und Eltern von der Notwendigkeit der Lippenschließgymnastik überzeugt werden. Hierbei sollte man darauf hinweisen, daß das Erreichen eines kompetenten Lippenschlusses Voraussetzung für ein rezidivfreies Behandlungsergebnis ist. Unsere klinischen Erfahrungen haben jedoch gezeigt, daß äs-

thetische Gesichtspunkte bei weitem die günstigste Möglichkeit bieten, Kind und Eltern für eine aktive Mitarbeit, für regelmäßiges Tragen des Gerätes und für Kooperation bei der Mundschließgymanstik zu motivieren.

## 9.1 Ästhetische Gesichtspunkte für Motivation und Kooperation

Nach *Rennert* und *Quandt* (1962) ist der offene Mund als Ausdruck einer ganz besonderen mimisch-emotionalen Einstellung zu werten. Physiognomisch imponiert er als Unentschlossenheit und Instabilität, als Zeichen der Passivität und in Einzelfällen auch des Schwachsinns.
*J. H. Schultz* (1961) sieht den Mundschluß im Zusammenhang mit den Primitivreaktionen, deren Leitmotiv in dem Streben nach Sicherung liege. Für die Mundregion heiße die Sicherung „Mund zu". Es sei nicht zu vergessen, daß die Mund-Lippen-Zone phylogenetisch nicht nur als ältestes „Eroberungs-", sondern auch als „Abwehrinstrument" zu gelten hat. Die Ausdrücke „Den Mund hängen lassen" oder „Ein langes Gesicht ziehen" machen die Beziehungen zwischen der Haltungsschwäche in der orolabialen Zone und der Gefühlssphäre in eindrucksvoller Weise deutlich. Wenn wir auf der anderen Seite von einer „geschlossenen Persönlichkeit" sprechen, wird die Bedeutung des Mundschlusses für die Persönlichkeitswertung evident. Es hat sich als sehr zweckmäßig erwiesen, an Hand von Dias bzw. Lichtbildern zu zeigen, daß mit Hilfe einer funktionellen Behandlung signifikante Verbesserungen des Gesichtsausdrucks erreicht werden können. Hierbei läßt sich dem Kind verständlich machen, warum die Plattenelemente des Funktionsreglers vorzugsweise im Mundvorhof liegen. So wird begreiflich, daß mit Hilfe vestibulärer Schilde Haltungsfehler der Gesichtsmuskulatur in direkter Weise behoben und damit erhebliche physiognomische Verbesserungen erzielt werden können. Vor allem aber soll dem Kind gezeigt werden, wie günstig sich der Gesichtsausdruck verändert, wenn die Lippen geschlossen werden. Hierbei hat sich uns ein Handspiegel als unentbehrlich erwiesen. Bei psychologisch geschicktem Vorgehen erweckt man so das Interesse und gewinnt das Vertrauen der Kinder. Sie sehen die Notwendigkeit der Mundschließgymnastik und das regelmäßige Tragen des Geräts ein und sind zu einer aktiven Mitarbeit bereit. Das wesentliche Hindernis ist immer nur die Vergeßlichkeit. Hiergegen hat sich bei uns folgendes Verfahren bewährt. Wir geben den Patienten einen kleinen Zettel mit, auf dem wir mit Rotstift ein „L" gezeichnet haben. Wir erklären dem Kind, daß dieses „L" *Lippen zu* bedeutet. Dieses kleine Kärtchen soll das Kind in der Federtasche verwahren und in der Schule auf die Bank legen. Auf diese Weise wird es immer wieder an den Lippenschluß erinnert. Besondere Instruktionen für spezifische Übungen sind nicht erforderlich. Das im Mund liegende Gerät nimmt uns als „Gymnastin" alle weitere Arbeit ab, worauf schon eingegangen wurde. Auf Grund unserer Erfahrungen ist das Kind kooperativ, wenn es die Bedeutung des Lippenschlusses für den Erfolg der Behandlung eingesehen hat. Es muß nur immer wieder an das „Lippen zu" erinnert werden. Um dieses Ziel zu erreichen, hat „*Duyzings*" (1963) die „Guldentherapie" vorgeschlagen. Bei Schularbeiten und Fernsehen soll eine Geldmünze, die vorher desinfiziert wurde, zwischen den Lippen gehalten werden. Bei fleißiger Mitarbeit darf das Kind nach einigen Tagen die Münze seiner Sparbüchse einverleiben. Dieser materielle Anreiz sollte für das Erreichen der Kooperation nicht unterschätzt werden.
Bei kleineren Kindern macht sich die Mitarbeit der Eltern erforderlich. Sie sollen sich jeden Morgen überzeugen, ob das kleine Kärtchen in der Federtasche mit-

genommen wird. Das Kind ist jeden Morgen daran zu erinnern, das Kärtchen auf die Schulbank zu legen. Die Eltern sollen sich nach Rückkehr des Kindes aus der Schule erkundigen, ob die Anordnungen befolgt wurden. Der Zeitaufwand, der sich hierdurch für die Eltern ergibt, beträgt nicht mehr als 5–10 min pro Tag. Wir haben es noch nie erlebt, daß die Eltern sich grundsätzlich einer solchen Mitarbeit versagen. Im Durchschnitt werden unsere Anordnungen in den ersten 4 Wochen befolgt. Erfahrungsgemäß läßt aber dann die Mitarbeit der Eltern nach, und die beschriebene Überwachung der Mundschließgymnastik mit „Erinnerungskarte" und Münze bleibt schließlich ganz aus. Wenn wir diese schwierigen Fälle zu einem Erfolg führen wollen, dürfen wir die Eltern aus ihrer Verpflichtung zur Mitarbeit nicht entlassen. Um dieses Ziel zu erreichen, hat sich ein einfacher Jahreskalender als „Monitor" für elterliche Mitarbeit sehr bewährt. Die Eltern sollen darauf mit Rotstift ankreuzen, daß sie dem Kind den Merkzettel morgens in die Schule mitgegeben und die Lippenschließgymnastik überwacht haben.

Es ist eine Erfahrungstatsache, daß es bei der Lösung des Motivationsproblems keine Schwierigkeiten gibt, wenn es sich um die Behandlung auffälliger Fehlstände der oberen Frontzähne handelt. Diese Gebißfehlbildung ist bei weitem der häufigste Grund, weshalb Eltern mit ihren Kindern den Kieferorthopäden aufsuchen. Der ungünstige Einfluß der Gebißanomalien auf die psychische Entwicklung des Kindes ist von *L. W. Graber* (1980) in einer ausführlichen Dissertation behandelt worden, wobei er sich auf ein umfangreiches Literaturstudium stützt. Besonderes Interesse verdient eine Studie (*Stricker* et al. 1979), an der sich neben Orthodonten und Zahnärzten Vertreter verschiedener medizinischer Disziplinen, vor allem Pädiater, Neurologen, Psychiater und Psychologen beteiligt haben. Auch Künstler, Schauspieler und Pädagogen haben bei den Untersuchungen mitgewirkt. Dabei ging es um die Frage, was ein Gesicht unattraktiv oder gar häßlich macht. In welchen Regionen des Gesichts und auf welche Weise manifestiert sich das Häßliche? Was die Gebißanomalien anbetrifft, so war man sich einig, daß auffällige Fehlstände der oberen Schneidezähne, besonders wenn sie protrudiert aus dem Munde herausragen, die Ästhetik des Gesichts ungünstig beeinflussen. Allen anderen Fehlbildungen des Gebisses wurde jedoch keine nennenswerte Bedeutung für die Störung des Gesichtsausdrucks beigemessen – ein für Orthodonten und Zahnärzte überraschendes Ergebnis. Eine abwegige Form und Lage des Kinns und der Nase, besonders aber Fehlhaltungen im Weichteilbereich des Mundes wurden als die wesentlichen Merkmale des Unschönen empfunden.

Mit der Ästhetik des Gesichts hat man sich schon im Altertum intensiv befaßt. Zur metrischen Bestimmung ästhetischer Proportionen des Gesichts sind viele Methoden entwickelt worden. *C. A. Baud* (1982) hat diese Analyseverfahren auf ihren Wert für Diagnostik und Prognose in der kosmetischen Gesichtschirurgie untersucht. In seinem Buch „Harmonie der Gesichtszüge" hat er mit Nachdruck betont, daß eine metrische Analyse der starren Gesichtsteile zur Bestimmung der Gesichtsästhetik nicht genügt. Die Feststellung der Proportionen bzw. Disproportionen müsse unbedingt durch die Analyse der beweglichen Gesichtsteile ergänzt werden. Das Mienenspiel, die Haltung der beweglichen Gesichtsteile seien „das Produkt unzähliger, gegensätzlicher und gleichgerichteter Spannungen. Seele, Verstand, Gefühle und Gesundheitszustand bilden die inneren Ursachen; Beruf, Umgebung, Erfolge und Enttäuschungen sind gleichsam die äußeren Antriebe." Mit Recht weist er darauf hin, daß die *Physiognomik*, die sich um das Erkennen der Persönlichkeit, vor allem der Unzulänglichkeiten des Individuums bemühe, in der heutigen Zeit von allergrößter Aktualität sei. Der gleichen

Ansicht ist der Psychiater und Neurologe *Leonhard* (1968), der sich mit der *Persönlichkeitsdiagnostik aus dem Ausdruck* intensiv befaßt hat. Er ist der Ansicht, „daß nichts sonst auch nur annähernd so gut und so schnell zur Persönlichkeit des anderen Menschen vordringen läßt als sein Ausdruck". Nach ihm stellt die Mimik „den königlichen Weg zur Kenntnis der Persönlichkeit dar".

Leider wird bei der kieferorthopädischen Befunderhebung der Analyse des Gesichts, besonders der Untersuchung der beweglichen Gesichtsteile, wenig Beachtung geschenkt. Wir haben volles Verständnis, wenn ein *Orthodont* die unschöne, entstellende Mundpartie eines Patienten in einer ursächlichen Beziehung zu Fehlstellungen der Frontzähne sieht. Der *Kieferorthopäde* muß über das Gebiß hinaus denken. Er muß die Disproportionen der starren und beweglichen Teile des Gesamtgesichts analysieren. Wie der Allgemeinorthopäde muß er die Disproportionen der Form im ursächlichen Zusammenhang mit Abwegigkeiten der Funktion sehen. Nach *Baud* (1982) muß nach Durchführung der kosmetischen Gesichtschirurgie auch die Umwandlung des Mienenspiels stattfinden. Fehlspannungen und Verkrampfungen der Gesichtsmuskulatur müssen verschwinden, um das Ziel der Behandlung, die Harmonie des Antlitzes, zu erreichen. Die Verbesserung der Funktion ergibt sich aber nicht von selbst, sondern läßt sich nur durch Übung und Lernen erreichen, wozu Beharrlichkeit und Zielstrebigkeit gehören. Wir sind der Ansicht, daß sich die hierfür notwendige Kooperation nur erreichen läßt, wenn Kind und Eltern überzeugt werden können, daß der zu erwartende Erfolg alle Mühen und Anstrengungen einer orthopädischen Übungstherapie aufwiegt.

Für die Motivierung hat sich uns ein geeignetes Dokumentationsmaterial, das die Verbesserungen des Gesichtsausdrucks nach Behandlung wiedergibt, bestens bewährt. Zu diesem Zwecke wird vor einer kieferorthopädischen Befunderhebung ein Dia-Vortrag gehalten. Daran haben die Kinder wie aber auch wenigstens ein Elternteil teilzunehmen. Zunächst muß klargemacht werden, das sich eine kieferorthopädische Behandlung mit Funktionsreglern keineswegs in der Korrektur von Gebißfehlbildungen erschöpft. Die wichtigste Aufgabe dieses Vortrages liegt darin, Kind und Eltern für „das Gesicht" zu interessieren. An geeigneten Fotos und Fernröntgenaufnahmen machen wir auf die vor der Behandlung bestehenden Dysbalancen des Gesichts aufmerksam. Kind und Eltern wird klargemacht, daß wir die Behebung dieser unschönen Disproportionen anstreben, daß wir uns im Sinne einer *Gesichtsorthopädie* engagieren wollen. Eine solche Argumentation kommt bei den Mädchen natürlich besser an als bei den Jungen. Um die Patienten für eine orthopädische Übungstherapie zu interessieren, müssen sie erkennen, daß das Gesicht, als unverdeckter Teil des Körpers, einer „Visitenkarte" gleicht, die für alle sichtbar ist. Ein unattraktives oder gar häßliches Gesicht ist immer ein „Handikap" im menschlichen Miteinander. Es bringt Nachteile nicht nur bei einer späteren Partnerwahl, sondern auch im beruflichen Fortkommen. Der *offene Mund* wird zumeist als Ausdruck der Passivität bzw. der mangelnden Willensenergie ausgelegt. Eine schlaff-offene Lippenhaltung ist nicht selten der Grund, daß ein Bewerber, ob männlich oder weiblich, trotz ausgezeichneter fachlicher Kenntnisse einen begehrten Arbeitsplatz nicht erhält. Auf diese Weise können wir auch die Jungen von der Notwendigkeit der Lippenschließgymnastik überzeugen.

## 9.2 Allgemeingesundheitliche Aspekte der Nasenatmung für Motivation und Kooperation

Zunächst wird in allgemeinverständlicher Weise auf die Physiologie der Atmung

eingegangen. Bei der Atmung durch die Nase wird die Inspirationsluft gereinigt, angewärmt und angefeuchtet. Wir machen auch auf den Massageeffekt, der auf der Luftströmung, der Ventilation beruht, aufmerksam. Die Mundatmung kann sich sehr ungünstig auf die Schleimhäute der nasalen Atempassage auswirken. Sie wird anfällig gegenüber Infektionen. Ihre Leistung bei der Reinigung, Anfeuchtung und Anwärmung der Luft wird stark herabgesetzt bzw. fällt ganz aus. Hierdurch wird das gesamte respiratorische System in Mitleidenschaft gezogen. Häufig rezidivierende Erkältungskrankheiten, chronische Katarrhe des Rachens, des Kehlkopfes und der tieferen Luftwege sind die Folge. Bei Mundatmung ist aber auch die Schleimhaut des Mundes betroffen. Sie trocknet aus und wird gegenüber Infektionen anfällig. Hierbei kann es auch zu den weitverbreiteten katarrhalischen, meist chronischen und rezidivierenden Entzündungen der Gaumenmandeln kommen.

Wir müssen auch auf die schwerwiegenden Fernwirkungen der Mundatmung hinweisen, die die Gesamtentwicklung und Leistungsfähigkeit des Kindes sehr nachteilig beeinträchtigen können. Mundatmung bedeutet eine Abflachung der Atmung. Die Folge ist eine Einschränkung der Brustatmung, eine mangelhafte Entwicklung des Brustkorbes und seiner Muskulatur. Die oberen Lungenabschnitte werden unzureichend belüftet, was häufig mit einer Flachbrust einhergeht. Nach *Eckert-Möbius* (1962) kommt es durch Verminderung der nasalen Atmungsimpulse auf Kreislauf und Stoffwechsel zur Herabsetzung der gesamten körperlichen und geistigen Leistungsfähigkeit. D[illegible] wirkt sich auch auf die Schulleistungen der Kinder aus. Sie sind sehr häufig unaufmerksam, bei Klassenarbeiten machen sie viele „Leichtsinnsfehler". Indirekt wirkt sich aber die Mundatmung auch auf die Entwicklung im Kiefer-Gebiß-Bereich aus, worauf *Linder-Aronson* (1979), *McNamara* (1981), *Fränkel* (1980), *Klinik-Heckmann* und *Bredy* (1980), *Harvold* und Mitarbeiter (1973) hingewiesen haben.

*Abschließende Bemerkungen*

In ihrem Buch „Psychologie und Psychosomatik in der Kieferorthopädie" haben *Fleischer-Peters* und *Scholz* (1985) mit Recht auf die dringende Notwendigkeit der Motivation und Kooperation von Kind und Eltern als Voraussetzung für den Erfolg einer kieferorthopädischen Behandlung hingewiesen. Dies gilt ganz besonders für die von uns entwickelte Behandlungsmethode. Eine orthopädische Gymnastik mit Hilfe des Funktionsreglers ist zugegebenermaßen schwierig durchzuführen. Einer solchen Aufgabe sollte sich nur der stellen, der sich mit der Problematik einer um die psychologische bzw. psychosomatische Dimension erweiterten Kieferorthopädie befaßt hat. Nur *er* wird die dringende Notwendigkeit der Motivierung von Kind und Eltern erkannt haben und auch bereit sein, die hierfür notwendige Zeit zu opfern. Der Slogan „Zeit ist Geld" kann für einen Kieferorthopäden, der sich im Sinne einer Gesichtsorthopädie engagieren will, keine Geltung haben. Die Umorientierung vom *Gebiß* zum *Gesicht* setzt neue Maßstäbe, konfrontiert uns mit einer auf die Ganzheitsentwicklung des Kindes gerichteten Aufgabenstellung.

# 10 Technische Herstellung des Funktionsreglers

Bei der technischen Herstellung des Funktionsreglers muß immer seine Wirkungsweise als orthopädisches Trainingsgerät bedacht werden. Das erfordert eine völlige Umstellung des Zahntechnikers. Eine korrekte Herstellung des Funktionsreglers ist unmöglich, wenn man nicht weiß, welche Wirkung seine Einzelteile, insbesondere die Schilde, zu erfüllen haben. Das kleine Handbuch „Technik und Handhabung der Funktionsregler" (1984) ist geeignet, dem Techniker die spezifische orthopädische Wirkungsweise der Funktionsregler zu erklären. Vor allem muß er wissen, daß die Korrektur der Kiefer-Gebiß-Fehlbildungen nicht durch eine direkte, mechanische Gerätewirkung zustande kommt. Der formverändernde Effekt erklärt sich vielmehr als ein spontanes sekundäres Anpassungsgeschehen, als Adaptation der Form an die durch den Funktionsregler korrigierten funktionellen Abwegigkeiten. Auf diese Weise wird der Funktionsregler zum orthopädischen Gymnastikgerät. Der theoretische Teil dieses Buchs sollte daher nicht als abstrakte, theoretisch-wissenschaftliche „Zugabe" aufgefaßt werden. Er ist vielmehr ein integrierender Bestandteil der praktischen Anleitung zu „Technik und Handhabung der Funktionsregler".
Bevor der Zahntechniker nicht erkannt hat, daß sich das Wirkungsprinzip der Plattenelemente der Aktivatoren und seiner Modifikationen grundlegend von dem des Funktionsreglers unterscheidet, wird er das Gerät nicht „funktionsgerecht" herstellen können. Von einem falsch konstruierten Gerät kann keine „funktionsregelnde" Wirkung erwartet werden. Die technische Fehlherstellung ist der häufigste Grund, weshalb eine Behandlung mit dem Funktionsregler erfolglos bleibt.

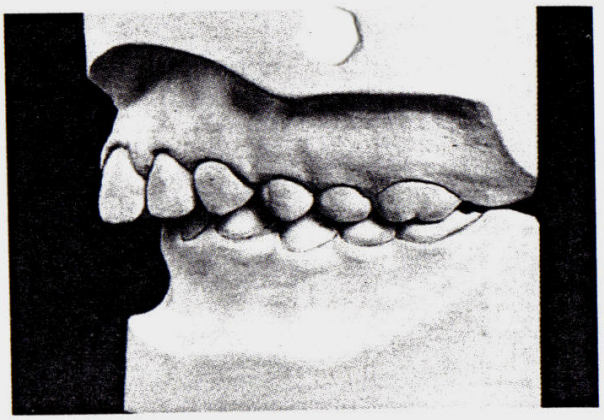
## 10.1 Abdrucknahme und Herstellung der Arbeitsmodelle

Da die Effektivität der Funktionsregler vor allem auf der spezifischen Wirkung ihrer vestibulären Plattenelemente beruht, muß der Abdruck so genommen werden, daß die Außenflächen des Alveolarfortsatzes bis zur Umschlagfalte gut abgeformt werden. Hierfür haben sich die üblichen anatomischen Abdrucklöffel und die Verwendung von elastischer Abdruckmasse als brauchbar erwiesen. Dringend muß davor gewarnt werden, die seitlichen Löffelränder mit plastischer Abdruckmasse zu verlängern oder die sogenannten orthodontischen Abdrucklöffel zu verwenden. Dadurch werden die Weichteile von Lippen und Wangen in der Umschlagfalte vom Alveolarfortsatz abgezogen, und es kommt zu einer Verfälschung der morphologischen Situation im Bereich der Alveolarbasis. Unsere langjährigen Erfahrungen haben gezeigt, daß

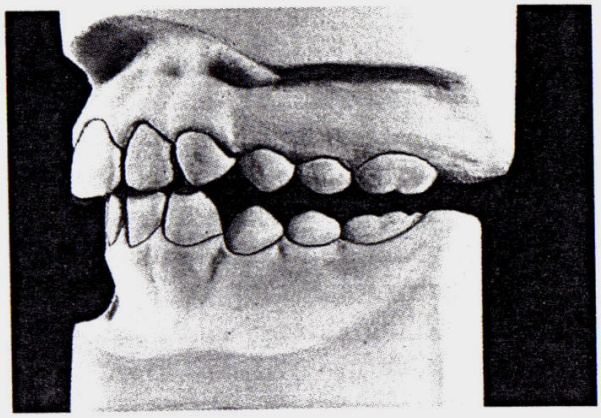
der Funktionsregler, der auf solchen Arbeitsmodellen hergestellt wurde, nicht bzw. nur in geringem Maße den Effekt der basalen Nachentwicklung erbringt.
Bei geschicktem Vorgehen lassen sich die Abdrücke mit elastischer Abdruckmasse zweimal ausgießen. Wir können auf diese Weise Arbeits- und Studienmodelle von einem einzigen Abdruck gewinnen. Wir gießen den Abdruck zunächst mit Hartgips zur Herstellung des Arbeitsmodells aus. Der zweite Ausguß erfolgt mit weißem Alabastergips zur Gewinnung des Studienmodells.

## 10.2 Bißnahme und Einstellung der Arbeitsmodelle in den Fixator

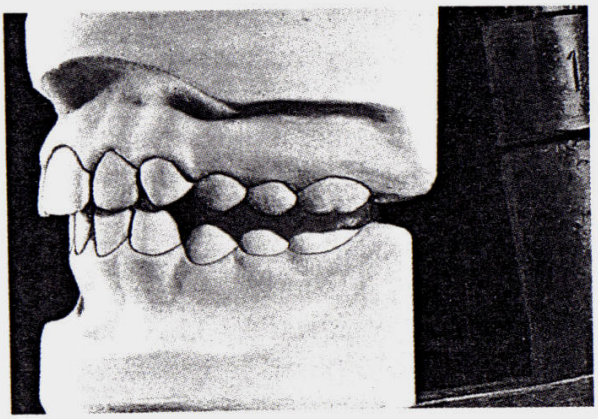
Eine Bißnahme macht sich in allen Fällen notwendig, in denen eine Veränderung der Unterkieferlage angestrebt wird. Die Festlegung des Konstruktionsbisses muß den Erfordernissen des Einzelfalls entsprechen. In Neutralbißfällen mit Tiefbiß stellen wir ihn auf Schneidekantenbiß ein. Bei normalem Überbiß bzw. Neigung zum offenen Biß erübrigt sich eine Bißnahme. Wie weit man den Unterkiefer beim Vorliegen eines Distalbisses in Vorlage einstellt, ergibt sich durch die Funktionsprüfung.
Hierfür hat sich die klinische Untersuchung mit Hilfe der Profilanalyse bestens bewährt. Sie gibt uns zuverlässig Auskunft, wie weit der Patient den Unterkiefer nach vorn verschieben kann, ohne daß die Muskulatur überfordert wird. Diese Funktionsprüfung soll, wie bereits erwähnt, bei natürlicher Kopfhaltung durchgeführt werden. Hierbei muß das Kind aufrecht im Behandlungsstuhl sitzen. Zunächst wird der Patient gebeten, die Lippen zu schließen. Dann soll er langsam den Unterkiefer bis zur Neutralbißstellung vorschieben. Die Veränderung des Profils gibt uns Auskunft, ob eine Vorverschiebung des Unterkiefers in dem gegebenen Fall wünschenswert und



a



b



c

**Abb. 42a–c.** Arbeitsmodelle eines Falls mit mandibulärer Retrusion und Tiefbiß (a), nach Bißnahme in Unterkiefervorlage von 3 mm und Bißsperre von 2,5 mm (b) und montiert im Fixator (c)

realisierbar ist. Auf den diagnostischen Aussagewert des Lippenschließtests und des Unterkiefer-Verschiebetests sind wir im Kapitel 7 schon eingegangen. Das Beispiel A (Abb. 32a–f) ist ein instruktives Beispiel, daß die intermaxillären Fehlbeziehungen auf einer Unterentwicklung der Unterkieferbasis beruhen. Die Ver-

besserung des Gesichtsprofils nach Vorschieben des Unterkiefers lassen den Schluß zu, daß der Konstruktionsbiß bei diesem Kind in einer Vorschubstellung von 3 mm genommen werden kann. In der Regel sollte aber die anfängliche Vorverlagerung des Unterkiefers 2 mm nicht übersteigen.

Leider werden den zahntechnischen Laboratorien nicht selten Arbeitsmodelle zugesandt, bei denen der Konstruktionsbiß in Neutralbißstellung bzw. Schneidezahnkantenbiß genommen wurde. Der Kieferorthopäde braucht sich dann nicht zu wundern, daß der so hergestellte Funktionsregler die Aufhängemuskulatur überfordert. Der Kieferorthopäde hat völlig übersehen, daß ein orthopädisches Training langsam und mit großer Vorsicht eingeleitet werden muß. Die Abb. 42a zeigt die Arbeitsmodelle eines Falles mit mandibulärer Retrusion. Um eine exakte Bißregistration vornehmen zu können, benutzen wir eine Schellackplatte im Oberkiefer, die mit seitlichen Bißwällen aus Wachs versehen ist. Wie die Abb. 42b zeigt, wurde bei diesem Fall der Konstruktionsbiß in einer Vorlage des Unterkiefers von 3 mm genommen. Dies ist das größte Ausmaß einer Vorschubstellung, wie es nur bei prognostisch günstigen Ausnahmefällen zur Anwendung kommen sollte. Die Abb. 42c zeigt die Arbeitsmodelle in einem handelsüblichen Fixator montiert. Es ist erkennbar, daß der Biß nur mäßig geöffnet wurde. Nur bei einer allmählichen Lageveränderung des Unterkiefers kann der Funktionsregler als orthopädisches Trainingsgerät wirksam werden. Hierauf wird später noch ausführlich eingegangen.

## 10.3 Der Funktionsreglertyp FR-1

### *10.3.1 Radierung der Arbeitsmodelle*

Bei der Verwendung anatomischer Abdrucklöffel kommt es zwangsläufig beim Abdruck zum Abziehen der Wangen- und Lippenweichteile von den Außenflächen des Alveolarfortsatzes. Die Umschlagfalte kommt daher nicht in ihrer vollen Tiefe, sondern abgeflacht zur Darstellung. Aus diesem Grunde müssen die Modelle sorgfältig im Bereich der Umschlagfalte radiert werden. Bei den Fällen der Angle Klasse I und II ist das vor allem im Bereich der ersten oberen Prämolaren, am Tuber maxillare und in der unteren frontalen Umschlagfalte erforderlich.

Dem Kieferorthopäden, der sich in unsere Behandlungsmethode einarbeiten will, sei dringend empfohlen, die Präparation der Arbeitsmodelle selbst vorzunehmen. Er kann am Patienten durch Palpation die Tiefe der Umschlagfalte und die Anatomie des Alveolarfortsatzes exakt feststellen. Das Radieren erfolgt am besten maschinell mit Hilfe einer Fräse bzw. eines entsprechenden Schleifinstruments. Diese Arbeit ist mit größter Sorgfalt durchzuführen. Das Radieren in der Umschlagfalte erfolgt schrittweise, wobei man sich jeweils durch Palpieren von der morphologischen Situation in dieser Region informieren muß.

Von einem Zahntechniker kann das Radieren der Arbeitsmodelle nur vorgenommen werden, wenn er über eine entsprechende Ausbildung und genügend praktische Erfahrungen in der technischen Herstellung der Funktionsregler verfügt. Außerdem muß er von dem Kieferorthopäden detaillierte Instruktionen erhalten, um diese Präparation des Modells sachgemäß durchführen zu können.

#### 10.3.1.1 Radieren des Oberkiefermodells

Das Radieren des oberen Arbeitsmodells ist besonders in der Gegend der Wurzelspitzen der ersten oberen Prämolaren und des Tuber maxillare erforderlich. Um den Techniker zu informieren, wie tief er jeweils radieren muß, hat sich uns das in der Abb. 43 wiedergegebene Meßgerät bewährt. Damit läßt sich die Tiefe der Umschlagfalte austasten und ihr Abstand

vom Gingivalsaum in Millimetern ablesen. Außerdem müssen wir ihn informieren, daß er beim Radieren dem Ansatz des Frenulum buccale Rechnung trägt (Abb. 44).

Im Kapitel 5 wurde bereits darauf hingewiesen, daß eine Vorverlagerung des Unterkiefers nur dann erreicht werden kann, wenn das Gerät am Oberkiefer gut abgestützt ist. Beim Aktivator geschieht das durch Führungsflächen. Beim Funktionsregler erfolgt die Abstützung durch die interdentale Einlagerung der Eckzahnschlaufe und des Palatinalbügels. Zu diesem Zweck muß das Oberkiefermodell vor Biegen der Drähte zwischen oberen Eckzähnen und ersten Prämolaren bzw. zwischen zweiten Prämolaren und ersten Molaren radiert werden (Abb. 45a, b). Zwischen diesen Zähnen wird mit einer Säge eine etwa 1 mm breite Rille einradiert. In der Abb. 46a und b ist der Zustand vor und nach dem Radieren in einer schematischen Darstellung wiedergegeben. Die Radierung muß tief genug erfolgen, damit Eckzahnschlaufen (C) und Palatinalbügel (Pa-bo) eine exakte intermaxilläre Abstützung gewährleisten. Vor dem späteren Eingliedern des Geräts bedarf es keiner Separation im oberen Seitenzahnbereich. Eckzahnschlaufe und Palatinalbügel lagern sich interdental innerhalb weniger Tage spontan ein, sofern es sich um bleibende Zähne handelt.

Bei der Behandlung im Wechselgebiß müssen wir anders verfahren. Vom Arbeitsmodell wird vom oberen Eckzahn und ersten Milchmolaren interdental gleichviel weggenommen (Abb. 47a, b). Im posterioren Abschnitt wird nur von der Distalfläche des zweiten Milchmolaren wegradiert, nicht aber vom Sechsjahrmolaren. Infolge der flachen Kauflächengestaltung der Milchmolaren können wir

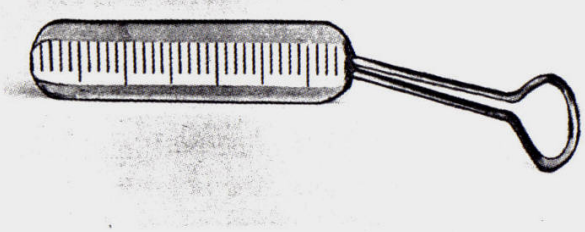


**Abb. 43.** Meßinstrument mit Millimeterskala zur Feststellung der Tiefe der Umschlagfalte

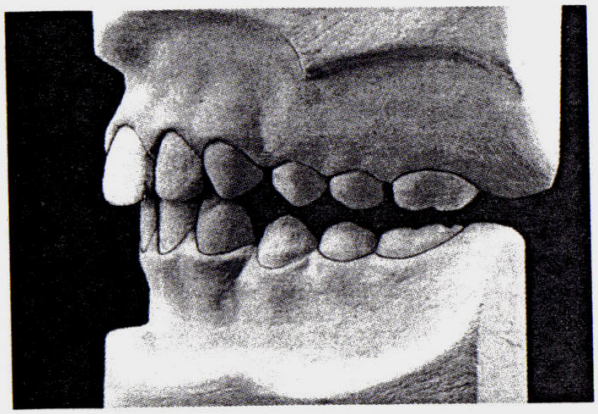
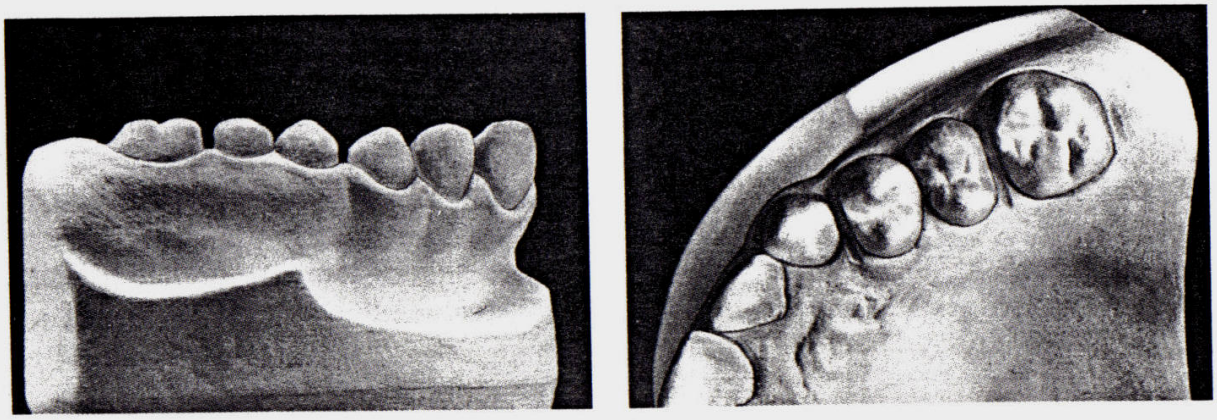


**Abb. 44.** Arbeitsmodelle im Fixator nach Radierung



a b

**Abb. 45a, b.** Interdentale Radierungen des Oberkiefermodells, die für die intermaxilläre Abstützung der Funktionsregler erforderlich sind

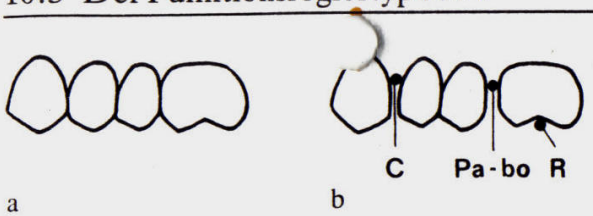



**Abb. 46a, b.** Schematische Darstellung der Radierung des Oberkiefermodells (bleibendes Gebiß), um eine tiefe Einlagerung der Eckzahnschlaufe (C) und des Palatinalbügels (Pa-bo) zu gewährleisten. Das Ende des Palatinalbogens ist als okklusale Auflage (R) umgebogen

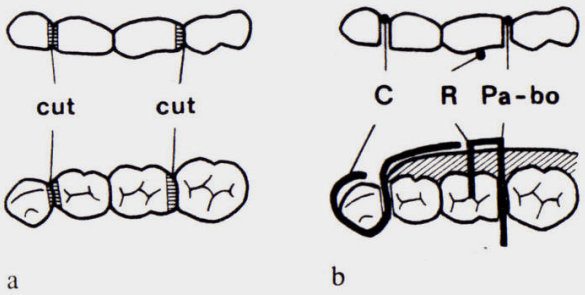



**Abb. 47a, b.** Schematische Darstellung der interdentalen Radierung des Oberkiefermodells (Wechselgebiß). Die vertikale Abstützung des Geräts erfolgt durch eine okklusale Auflage (R) auf den zweiten Milchmolaren

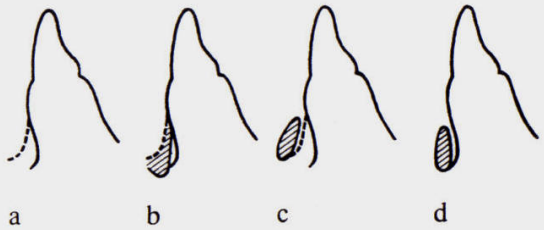



**Abb. 48a–d.** Schematische Darstellung der Radierung des unteren Arbeitsmodells im Frontbereich. Um Irritationen der Schleimhaut an der Innenseite der Unterlippe zu vermeiden, müssen die unteren Lippenpelotten exakt senkrecht im Vestibulum stehen

eine spontane interdentale Einlagerung der Drähte nicht erwarten. Vor dem Einsetzen des Geräts muß daher mit Diamantscheiben von den Milchzähnen interdental so viel weggeschliffen werden, wie am Arbeitsmodell radiert wurde. Nur dann können sich Eckzahnschlaufe und Palatinalbügel tief genug einlagern und eine intermaxilläre Abstützung im Wechselgebiß gewährleisten.

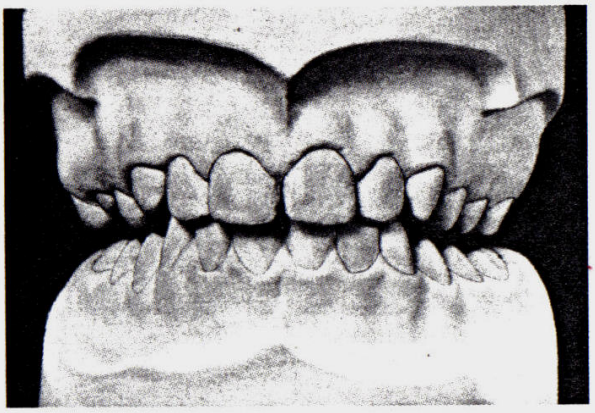


**Abb. 49.** Radierte Arbeitsmodelle im Konstruktionsbiß montiert im Fixator

Häufig wird der Fehler begangen, diese interdentale Radierung im Wechselgebiß schon vor Abdrucknahme durchzuführen. Wir sollten jedoch bedenken, daß sich diese Lücken in der Zeit zwischen Abdrucknahme und Eingliedern des Geräts schließen. Die Approximalflächen müssen daher erst kurz vor Einfügen des Funktionsreglers beschliffen werden.

### 10.3.1.2 Radieren des Unterkiefermodells

Die untere seitliche Umschlagfalte kommt im Abdruck in der Regel korrekt und in voller Tiefe zur Darstellung. In diesem Bereich sind daher Radierungen nicht erforderlich. Besondere Sorgfalt erfordert das Radieren in der unteren frontalen Umschlagfalte. Durch das Ab- und Hochziehen der Unterlippe über den Löffelrand kommt es während des Abdrucks regelmäßig zu einer erheblichen Abflachung der Umschlagfalte. Die anatomischen Verhältnisse sind daher verfälscht wiedergegeben (s. gestrichelte Linie in Abb. 48a). Würde in dieser Region nicht radiert, so stünden die unteren Ränder der Lippenpelotten später von der Frontalfläche des unteren Alveolarfortsatzes ab (Abb. 48c). Druckstellen an den Innenflächen der Unterlippe sind dann nicht zu vermeiden. In Abb. 48b gibt das gestrichelte Feld das Maß der notwendigen Radierung wieder. Die Abb. 49 zeigt

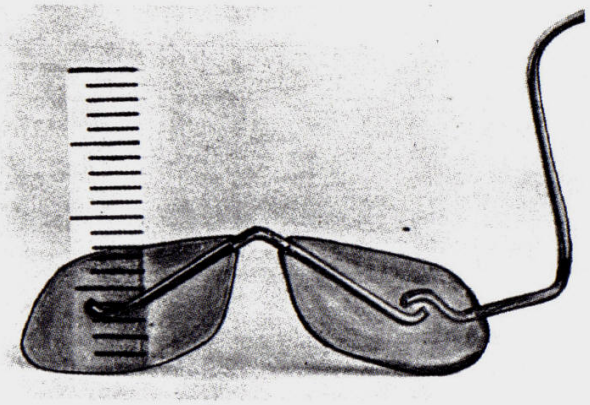


**Abb. 50.** Meßinstrument mit Millimeterskala, um die Tiefe des Vestibulums im unteren Frontbereich festzustellen

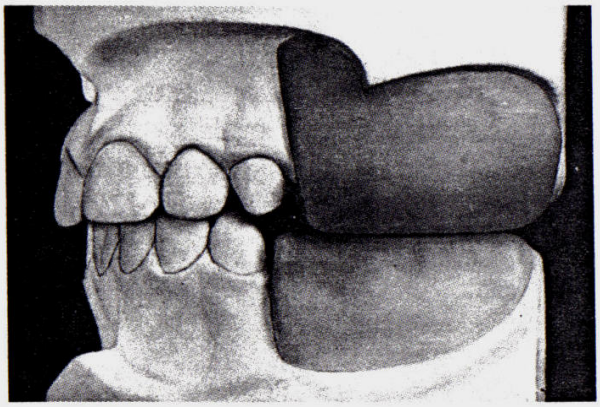


**Abb. 51.** Wachsfutter, um den für eine transversale Nachentwicklung erforderlichen Raum zwischen Bukkalschild und dentoalveolärem Fortsatz zu schaffen

eine korrekte Radierung der Arbeitsmodelle.

Falls der Zahntechniker die Radierung vornimmt, braucht er eine exakte Information, wie tief er in der vorderen Umschlagfalte radieren muß. Hierfür benutzen wir das in der Abb. 50 wiedergegebene Meßgerät. Damit läßt sich die Tiefe der frontalen Vestibularfalte exakt ausloten. Dieses Gerät gibt uns Auskunft, wie tief wir mit der Fräse bzw. dem Gipsmesser senkrecht nach unten zu radieren haben. Im übrigen ist es immer besser, etwas zu viel als zu wenig zu radieren. Ein Zuviel läßt sich leicht beim Einsetzen des Geräts durch entsprechendes Wegschleifen von der Unterkante der Lippenpelotten korrigieren.

Von der Seite kontrolliert, muß sich nach der Radierung eine annähernd senkrechte Außenfläche des Alveolarfortsatzes ergeben. Hierdurch wird gewährleistet, daß die Lippenpelotten senkrecht und tief genug im Vestibulum liegen (s. Abb. 48d).

### *10.3.2 Das Wachsfutter*

Im Kapitel 5 wurde die Wirkungsweise der im Vestibulum liegenden Schilde des Funktionsreglers beschrieben. Um die erforderliche Weitung der äußeren Weichteilkapsel zu bewirken, müssen die Seitenschilde überall dort abstehen, wo eine Nachentwicklung des dentoalveolären Fortsatzes notwendig ist. Um dieses Ziel zu erreichen, macht sich ein Auftragen von Wachs auf die Außenflächen des radierten Arbeitsmodells erforderlich. Die Abb. 51 zeigt die radierten Modelle im Konstruktionsbiß und nach Aufbringen des Wachsfutters. Bei einem Fall der Angle Klasse II/1 mit Spitzfront ist eine Wachsauftragung vor allem im oberen Prämolarenbereich notwendig. In dieser Region ist in der Regel der transversale Engstand am meisten ausgeprägt. Das Frenulum buccale muß dabei ausgespart werden. Wichtig ist, daß das Wachsfutter mesialwärts bis etwa zur Wurzelspitze des oberen Eckzahns vorgezogen wird.

Im Gegensatz zum Oberkiefer muß der untere Rand des Wachsfutters dünn auslaufen. In Abb. 51 läßt sich erkennen, daß das Modell an dieser Stelle durch die dünne Wachsschicht durchscheint.

Im übrigen ist darauf zu achten, daß die Dicke des Wachsfutters individuell gestaltet wird. Das Prinzip „je mehr, desto besser" ist bei der Herstellung des Funktionsreglers als großer Fehler zu werten. Sehr häufig werden von den Laboratorien Geräte hergestellt, bei denen die Seitenschilde auf jeder Seite 5 mm und mehr von den Außenflächen des dentoalveolären Fortsatzes abstehen. Eine solche extreme

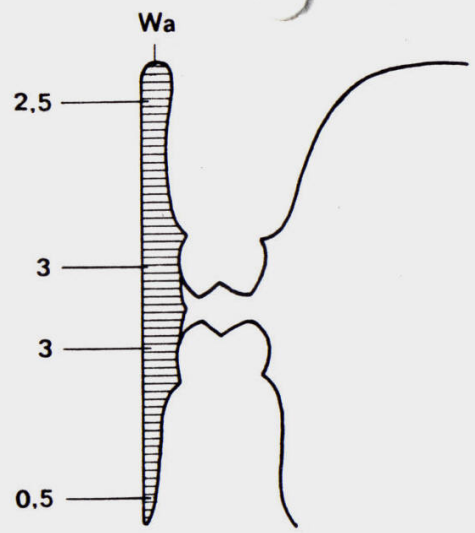



**Abb. 52.** Dicke der seitlichen Wachsauflage (Wa) in Millimetern, die nicht überschritten werden darf

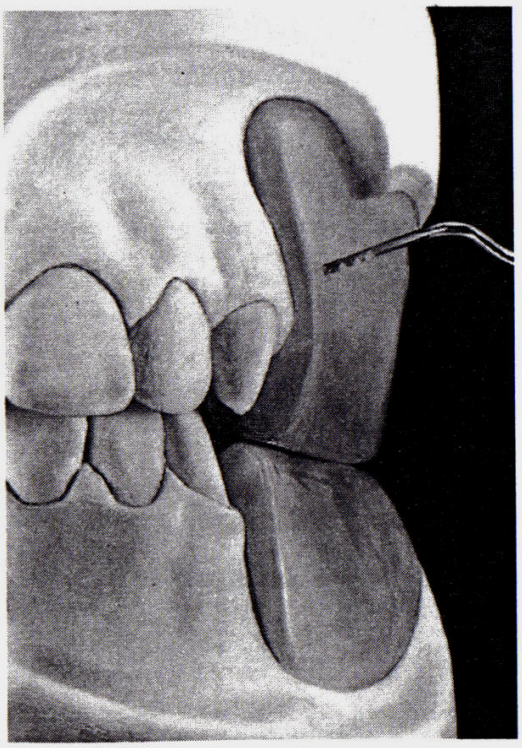


**Abb. 53.** Überprüfung der Wachsdicke mit einer Zahnsonde

Weitung der äußeren Weichteilkapsel führt zur Entstellung des Gesichts, zum „Mopsgesicht". Dies ist ein häufiger Grund, daß derartige Geräte von den Kindern nicht getragen werden. Außerdem entsprechen sie dann nicht dem Charakter eines orthopädischen Trainingsgeräts. Der „funktionsregelnde" Effekt, der Aufbau neuer, physiologischer Funktionsmuster der Gesichtsmuskulatur kann von solchen Geräten nicht erwartet werden. Als Faustregel gilt, daß die Dikke des Wachsfutters im Bereich des Alveolarfortsatzes nicht mehr als 2,5 mm, im Bereich der Zähne 3 mm betragen darf (Abb. 52). Darauf sollte bei der Herstellung des Wachsfutters streng geachtet werden. Zur Überprüfung der Wachsdikke eignet sich eine Zahnsonde, in die eine Millimeterskala eingeritzt wurde (Abb. 53). Im frontalen Unterkieferbereich ist ein Wachsfutter nicht erforderlich. Abstehende Unterlippenpelotten würden zu einem Dekubitus an der Innenseite der Unterlippe führen. Außerdem bestehen bei einer sagittalen Entwicklungshemmung im Unterkiefer keine Möglichkeiten, die apikale Basis im Frontsegment im Sinne der Nachentwicklung zu stimulieren.

Um das Biegen der Drähte getrennt an Oberkiefer- und Unterkiefermodell vornehmen zu können, wird das Wachsfutter in Höhe der Kauebene mit einem heißen Wachsmesser durchtrennt. Danach läßt sich das Oberkiefermodell vom Unterkiefermodell trennen. Vor der weiteren Bearbeitung wird das Wachsfutter in Modellaufsicht nochmals auf richtige Stärke überprüft. Zwischen den zweiten Prämolaren und ersten Molaren des Oberkiefermodells wird dann eine Rille in das Wachsfutter gezogen, in der der Palatinalbügel zu liegen kommt.

### *10.3.3 Herstellung der Drahtelemente*

Die Drähte des Funktionsreglers werden in der Regel aus hartem bzw. federhartem Stahldraht hergestellt. Zur Verwendung kommen Drahtstärken von 0,5–1,1 mm. Versteifungs-, Verbindungs-, Abstützungs- und Führungsdrähte werden aus stärkerem Draht hergestellt (0,9–1,1 mm). Soll das Drahtelement mehr „federaktiv" wirken, so benutzen wir dünnere Drahtstärken. Zum Biegen

der Drähte sollten nur Zangen mit abgerundeten Kanten zur Anwendung kommen. Wir können auf diese Weise Beschädigungen des Drahts und spätere Reparaturen vermeiden. Spezialzangen sind nicht erforderlich.

Wünschen wir eine orthodontische Wirkung, müssen die Drähte den Zähnen anliegen. Verbindungs- und Versteifungsdrähte müssen von der Schleimhaut abstehen, um keine Dekubitalerscheinungen hervorzurufen. Im Vestibulum soll der Abstand des Drahts von den Außenflächen des Alveolarfortsatzes etwa 1,5 mm betragen. Außerdem sollen diese freiliegenden Drähte in den natürlichen Mulden der Alveolaraußenfläche liegen. Dies ist besonders wichtig in der Gegend des Mundwinkels, wo Lippen- und Wangenweichteile stark hin- und herbewegt werden. Der Patient empfindet es als unangenehm, wenn die Verbindungsdrähte zwischen Lippen- und Wangenschilden von der Schleimhaut stärker abstehen. Von dem Gaumen bzw. den Lingualflächen des unteren Alveolarfortsatzes soll der Drahtabstand von der Schleimhaut 0,75 mm nicht übersteigen.

Große Sorgfalt benötigt auch das Biegen der Drahtteile, die später innerhalb der Kunststoffschilde liegen. Sie dürfen vom Wachsfutter nicht mehr als 0,75 mm abstehen. Berühren diese Drahtteile das Wachsfutter, so werden sie vom Kunststoffteig nicht umflossen. Eine Retention der Drahtelemente im Kunststoff ist dann nicht gewährleistet. Beträgt der Abstand dieser Drähte mehr als 0,75 mm, werden die Schilde zu dick, was die Patienten als starke Belästigung empfänden.

Vor dem Auftragen des Kunststoffs müssen die Drähte am Arbeitsmodell gut fixiert werden. Außerhalb des Wachsfutters geschieht das zweckmäßig mit Klebewachs. Die Drahtenden, die später innerhalb der Kunststoffschilde liegen, müssen rechtwinklig zum Wachsfutter hin gebogen werden. Nach Kürzung werden sie in das Wachsfutter eingeschmolzen.

### 10.3.3.1 Drähte für den FR-1 im Oberkieferbereich

*Der Labialbogen: Drahtstärke 0,9 mm*

Die Biegung und Lage des Labialbogens ergibt sich aus der Abb. 54. Er liegt den Frontzähnen etwa in der Mitte der Labialflächen an. Zwischen seitlichem Schneidezahn und Eckzahn wird er rechtwinklig nach oben abgebogen und läuft in der natürlichen Mulde der Alveolenaußenfläche zwischen diesen beiden Zähnen nach oben. Etwa in Höhe der Wurzelmitte des Eckzahns wird er in einem sanften U-Bogen distalwärts abgebogen. Sein Ende wird dann in geringem Abstand vom Wachsfutter nach distal geführt und etwa auf 1,5 cm Länge gekürzt. Das freie Ende wird senkrecht zur Wachsfläche umgebogen und dort im Wachsfutter eingeschmolzen. Zur weiteren Fixierung des Labialbogens wird der Draht im Bereich der Frontzähne mit Klebewachs am Modell befestigt. Es ist streng darauf zu achten, daß die Abstände von der Außenfläche des Alveolarfortsatzes und des Wachsfutters die schon früher angegebenen Werte nicht übersteigen.

*Die Eckzahnschlaufe: Drahtstärke 0,9 mm*

Biegung und Lage der Eckzahnschlaufe geht aus den Abb. 55–59 hervor. Die Eckzahnschlaufe hat zwei wichtige Funktionen zu erfüllen. Sie muß einmal den Funktionsregler an der Mesialfläche des

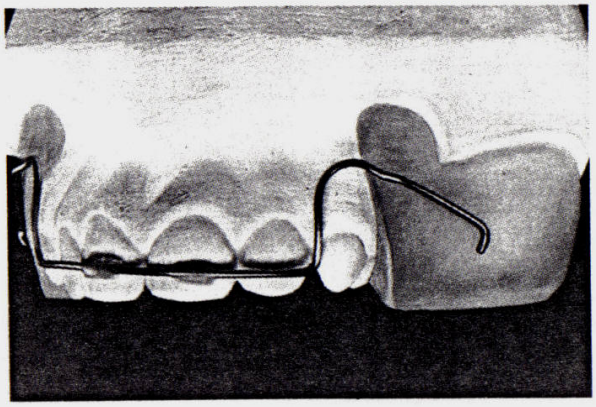
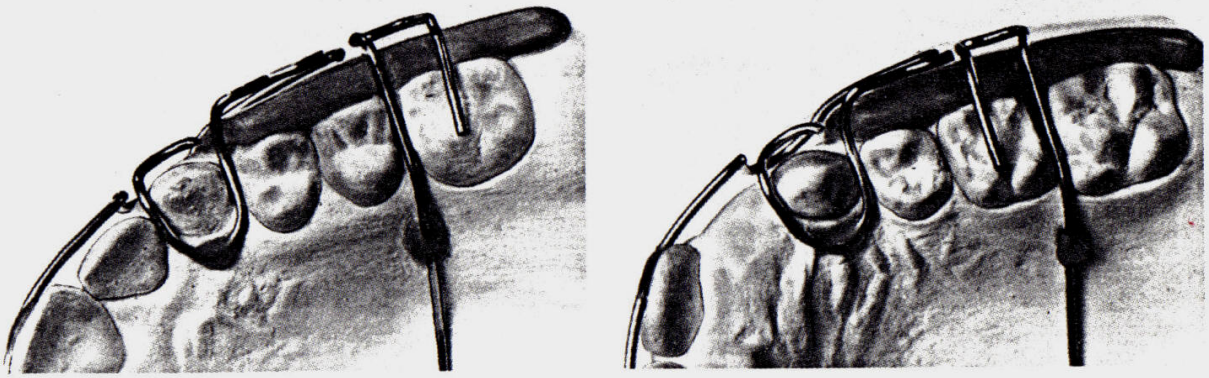


**Abb. 54.** Oberkieferarbeitsmodell mit Wachsfutter und korrekt gebogenem Labialbogen



a b

**Abb. 55a, b.** Aufsichtsaufnahmen des Oberkiefermodells mit Wachsfutter, Eckzahnschlaufe und Palatinalbügel bei Behandlung im bleibenden Gebiß (a) und im Wechselgebiß (b)

oberen ersten Prämolaren abstützen, zum anderen ist sie Führungselement bei einer notwendigen Einordnung des oberen Eckzahns. Hieraus ergeben sich bindende Hinweise für das Biegen der Eckzahnschlaufe. Ihre abstützende Wirkung ist nur dann gewährleistet, wenn sie sich interdental tief genug einlagert. Nach Eintragen des Geräts muß sie der Zahnfleischpapille zwischen Eckzahn und erstem Prämolaren dicht anliegen. Hierdurch kann es im Verlauf der Behandlung zur Schädigung des interdentalen Parodonts kommen. Dieser Region muß daher bei den laufenden Kontrollen größere Beachtung geschenkt werden. Wir müssen in Betracht ziehen, daß durch die Vorverlagerung des Unterkiefers in den Schneidekantenbiß der Biß im Seitenzahngebiet gesperrt wird. Auf diese Weise können sich diese Zähne verlängern, wodurch ein bestehender Tiefbiß behoben wird. Die Eckzahnschlaufe muß daher so konstruiert sein, daß sie dieser Vertikalwanderung des oberen Eckzahns und ersten Prämolaren folgen kann. Sie muß im Laufe der Behandlung nach unten abzubiegen sein (Abb. 59). Dies ist nur möglich, wenn die Retention der Eckzahnschlaufe im Seitenschild in Höhe der Kauebene verläuft (Abb. 58). Es ist ersichtlich, daß die wellenförmige Retention etwa in Höhe der Kauebene liegt. Vom mesialen Ende wird der Draht steil nach oben geführt. Er wird dann der Mesialfläche des ersten Prämolaren in Höhe des Gingivalsaums genau angebogen und um die Palatinalfläche des Eckzahns herumgeführt. Zwischen seitlichem Schneidezahn und Eckzahn verläuft die Eckzahnschlaufe dann labialwärts und wird

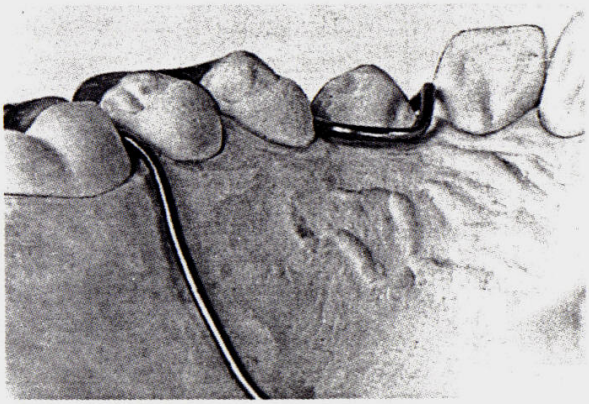


**Abb. 56.** Oberkiefermodell mit Palatinalbügel und Eckzahnschlaufe von palatinal her gesehen

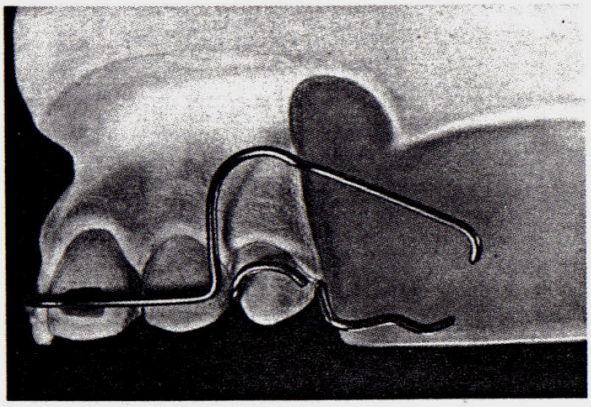


**Abb. 57.** Arbeitsmodell in Seitenansicht mit Labialbogen, Eckzahnschlaufe und Wachsfutter

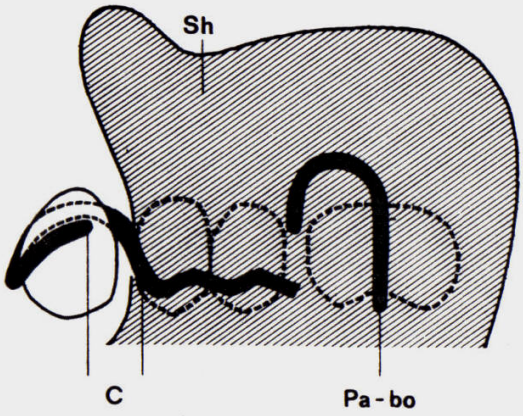



**Abb. 58.** Schematische Darstellung der Form und Lage des Bukkalschilds (Sh), der Eckzahnschlaufe (C) und des Palatinalbügels (Pa-bo)

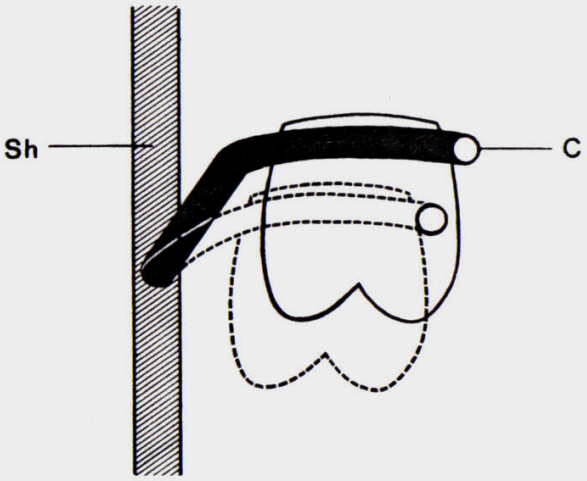



**Abb. 59.** Richtige Anlagerung der Eckzahnschlaufe (C) an die Mesialfläche der ersten oberen Prämolaren bzw. ersten Milchmolaren. Ihr Ende muß im Seitenschild in Höhe der Kauebene liegen, damit später ein notwendiges Abbiegen in kaudaler Richtung möglich ist

parallel zur Außenfläche des Eckzahns umgebogen. Macht sich eine Erweiterung der oberen Eckzahndistanz notwendig, muß ihr frei auslaufendes Ende von der Außenfläche des Eckzahns entsprechend abstehen. Auf der anderen Seite läßt sich durch „druckaktive" Wirkung des Drahtendes ein bestehender Außenstand des Eckzahns beheben. Der Draht muß zu diesem Zweck den Außenflächen des Eckzahns anliegen. In letzterem Falle muß die Eckzahnschlaufe von den Palatinalflächen des Eckzahns entsprechend abstehen. In Abb. 58 ist die Lage der Eckzahnschlaufe noch einmal schematisch dargestellt. In dieser Skizze ist erkennbar, daß die Eckzahnschlaufe die Kauebene mesial vom Eckzahn überquert. Liegt diese Überführungsstelle des Drahts fälschlicherweise der mesialen Schulter des Eckzahns auf, kann dieser sich nicht verlängern, und eine Interkuspidation bleibt aus.

*Der Palatinalbügel: Drahtstärke 1,0 mm*

Lage und Biegung gehen aus den Abb. 55a und b, 56 sowie 58 hervor. Er hat verschiedene Funktionen zu erfüllen. Zunächst dient er der transversalen Versteifung des Geräts.

Er wird in Höhe des Gaumengewölbes mit einer leichten Biegung nach dorsal versehen. Hierdurch wird der Funktionsregler in der Transversalen gut versteift und gegen Verbiegung bzw. Verwindung abgesichert.

Auf die Aufgabe des Palatinalbügels bei der intermaxillären Abstützung des Geräts wurde bereits ausführlich eingegangen. Darüber hinaus stützt der Palatinalbügel mit seinem freien Ende den Funktionsregler auch vertikal ab. Zu diesem Zweck wird der Palatinalbügel an seinem Ende zu einem Auflagedorn umgebogen. Diese Biegung muß feinfühlig und mit größter Vorsicht durchgeführt werden. Das gilt besonders für die Stelle, an der der Draht parallel zur Außenfläche des Wachsfutters nach oben zu umgebogen wird. Bei einer scharfen und mit der Zange zu schnell durchgeführten Knickung kann es später an dieser Stelle sehr leicht zu Drahtbrüchen kommen. Der weitere Verlauf des Palatinalbügels ist auf den Abb. 56 und 58 zu erkennen. Im bleibenden Gebiß liegt der Auflagedorn zwischen dem mesialen und distalen Höcker des Sechsjahrmolaren (Abb. 55a). Mit dem Auflagedorn wird die Einlagerung der oberen Kante des Seitenschildes in die obere Umschlagfalte vermieden. Außerdem kann durch das Ab- bzw. Anbiegen des Auflagedorns an die Kauflächen des Molaren die interdentale Einlagerung des Palatinalbügels zwischen dem zweiten

Prämolaren und ersten bleibenden Molaren reguliert werden. Auf diese Weise läßt sich ein Dekubitus an dieser Stelle mit Sicherheit vermeiden.
Bei der Behandlung des Wechselgebisses liegt der Auflagedorn auf der Kaufläche des zweiten Milchmolaren (Abb. 55b). Auf diese Weise wird die Verlängerung des Sechsjahrmolaren nicht behindert. Dies ist in dieser Entwicklungsperiode für das Heben des Bisses von Bedeutung. Im bleibenden Gebiß kommt die Bißhebung zunächst im Prämolaren- und Eckzahnbereich und durch die Verlängerung des unteren Molaren zustande. Nach erfolgter Bißverschiebung ist die Vertikalbelastung des oberen Sechsjahrmolaren durch den Auflagedorn sehr stark herabgesetzt, so daß einer Extrusion dieses Zahnes nichts mehr im Wege steht. Nach völligem Absetzen des Geräts kommt es sehr schnell zum endgültigen Kontakt der Molaren.

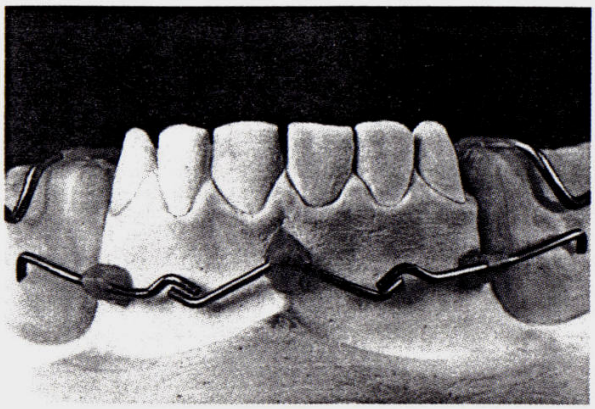


**Abb. 60.** Unterkiefermodell mit Wachsfutter und den Verbindungsdrähten zwischen Lippenpelotten und Seitenschilden. Diese Drähte sind mit Klebewachs am Gipsmodell zu fixieren

### 10.3.3.2 Drähte für den FR-1 im Unterkieferbereich

*Die Verbindungsdrähte zwischen Lippenpelotten und Seitenschilden, Drahtstärke 0,9 mm.*
Lage und Biegung dieser Drähte gehen aus den Abb. 60 sowie 61a und b hervor. Der Verbindungsdraht Lo-la1 hat die Aufgabe, beide Lippenpelotten miteinander zu verbinden. Beim Biegen muß darauf achtgegeben werden, daß das Lippenbändchen umgangen wird. Der Scheitel von Lo-la1 unterhalb der Schneidezahnmitte darf im Vestibulum aber auch nicht zu hoch liegen, weil hierdurch die Bewegungen der Unterlippe beim Sprechen behindert würden. Seine beiden freien Schenkel werden in einem Abstand von etwa 1 mm von der Schleimhaut schräg nach unten geführt. Beide Drahtenden werden rechtwinklig nach oben zu einem kleinen Haken umgebogen. Diese sollen oberhalb der tiefsten Einsenkung des frontalen Mundvorhofs liegen. In der Regel liegen sie über der Wurzelmitte der unteren seitlichen Schneidezähne.
Der Verbindungsdraht zwischen Lippenpelotten und Seitenschild (Lo-la2) wird

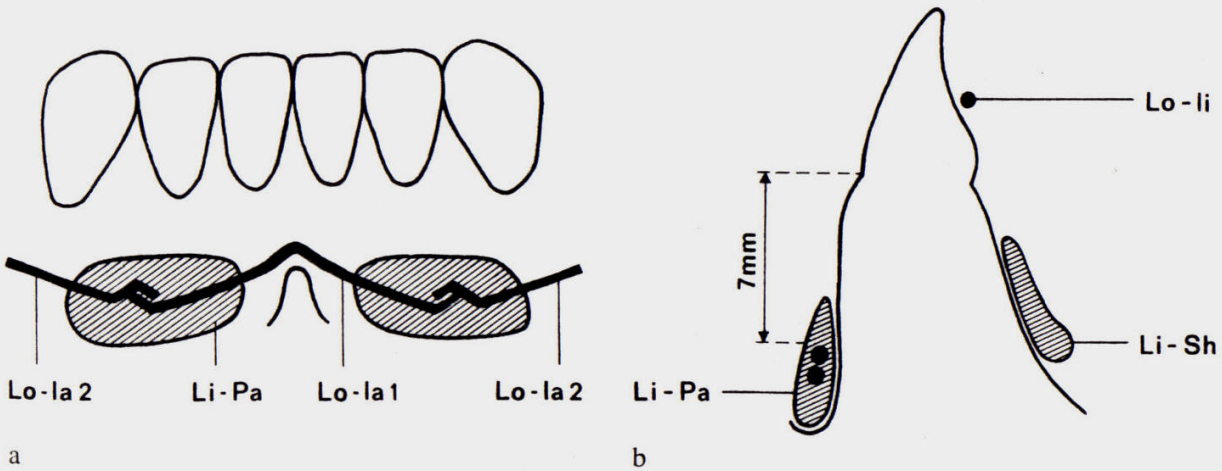



**Abb. 61a, b.** Schematische Darstellung der Lage der Lippenpelotten (Li-Pa) und der Verbindungsdrähte (Lo-la1 und Lo-la2) von vorn gesehen (a). Lage der Lippenpelotten (Li-Pa), des Lingualschilds (Li-Sh), des Lingualdrahts (Lo-li) in Querschnittsdarstellung (b)

an seinem vorderen Ende ebenfalls zu einem kleinen Haken gebogen. Die Haken beider Verbindungsdrähte verlaufen in einem Abstand von etwa 0,5 mm parallel zueinander. Lo-la2 wird dann parallel zur Außenfläche des Gipsmodells in einem Abstand von etwa 1 mm nach distal geführt. Über der Vorwölbung der Eckzahnalveole kann der Abstand bis zu 1,5 mm betragen. Kurz vor dem Wachsfutter wird der Draht in einem Bajonettknick umgebogen und verläuft in einem Abstand von 0,75 mm parallel zur Wachsoberfläche nach distal. Etwa 1,5 cm von der Vorderkante des Wachsfutters entfernt wird der Draht rechtwinklig zum Wachsfutter umgebogen. Diese Biegung des Drahtendes garantiert eine gute Verankerung des Verbindungsdrahts im Seitenschild. Aus dem gleichen Grunde wurden die beiden Drahtenden der Verbindungsdrähte im Bereich der Lippenpelotten (Li-Pa) hakenförmig gestaltet.

Form, Größe und Lage der Lippenpelotten gehen aus den Abb. 61 a und b hervor. Der obere Rand soll vom Zahnfleischsaum wenigstens 5 mm entfernt sein. Der untere Rand soll, gut abgerundet, tief in der Umschlagfalte des Vestibulum liegen. Die beiden hakenförmigen Enden der Verbindungsdrähte liegen etwa in der Mitte der Lippenpelotten. Es muß die Möglichkeit bestehen, bei Gefahr eines Dekubitus den unteren Rand durch Wegschleifen zu verkürzen. Die hakenförmigen Enden dürfen daher nicht zu tief gelegt werden. Das gilt besonders bei Behandlung des Wechselgebisses, wo die Umschlagfalte im Frontbereich relativ flach ist.

Die Form der Lippenpelotten entspricht etwa einem Parallelogramm mit abgerundeten Ecken. Diese Form paßt sich am besten den Labialflächen des Alveolarfortsatzes an. Die untere Hälfte der Pelotten muß der Mentolabialfalte gegenüberliegen. Bei richtiger Lage wird so nach Einsetzen des Geräts die Unterlippe gestützt. Auf die Bedeutung dieser Stützwirkung für die Behebung von Abweigkeiten des Raums und der Muskulatur wurde bereits ausführlich eingegangen. Beim Radieren des Modells und Biegen der Drähte muß immer wieder daran gedacht werden, daß der Funktionsregler nur dann seine Aufgabe als orthopädisches Übungsgerät erfüllen kann, wenn die unteren Lippenpelotten in der Umschlagfalte exakt und funktionsgerecht gelagert sind.

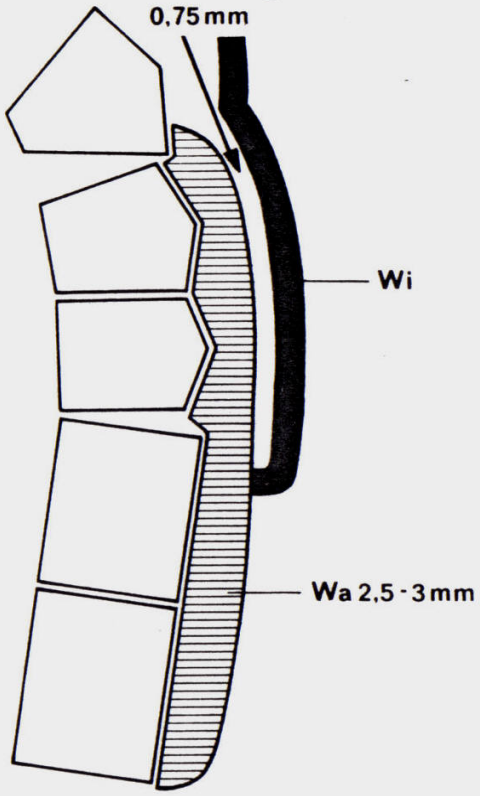



**Abb. 62.** Richtwerte für die Dicke des Wachsfutters (Wa) und des Abstands der Drähte (Wi) in Millimetern

In der Abb. 62 ist noch einmal schematisch die Stärke des Wachsfutters und der Abstand der im Vestibulum liegenden Drähte von der Oberfläche des Wachsfutters dargestellt. Dieser Abstand soll so groß sein, daß bei der Anfertigung der Seitenschilde genügend schnellhärtender Kunststoff zwischen Draht und Wachsfutter einfließen kann. Wie schon erwähnt, ist dies für die Absicherung der Lage der Drähte im Kunststoff sehr wichtig. Auf der anderen Seite sollte aber der Abstand nicht zu groß gewählt werden, da sonst

die Seitenschilde übermäßig dick würden, was das Tragen des Geräts erschwert und damit die Kooperation des Patienten in Frage stellt.

*Der Verbindungsdraht zwischen Seitenschild und Lingualschild, Drahtstärke 1,0 mm*

Dieser Verbindungsdraht überquert die unteren Kauflächen zwischen den ersten und zweiten Prämolaren bzw. ersten und zweiten Milchmolaren in einem Abstand von 1 mm (Abb. 63–65). Beim Biegen dieses Drahts muß an die sich während der Bißhebung vollziehende Extrusion der unteren Prämolaren gedacht werden. Liegt der Überführungsdraht den unteren Prämolaren an, so kommt es im späteren Verlauf der Behandlung zur interdentalen Einlagerung. Damit würde der Unterkiefer in seiner Vorlage am Gebiß abgestützt, wodurch es zu unerwünschten Mesialbewegungen der Seitenzähne kommen kann. Der Lingualanteil verläuft nach einer Biegung in etwa 0,75 mm Abstand von der Schleimhaut senkrecht nach dem Mundboden zu. Die Abbiegung darf nicht in einem scharfen Knick erfolgen, da an dieser Stelle erhöhte Bruchgefahr besteht. Nach dieser Biegung soll der Draht etwas nach distal führen, so daß sein Ende gegenüber der Wurzel des zweiten Prämolaren zu liegen kommt. Das Ende wird zu einem Haken umgebogen. Dabei ist darauf zu achten, daß der Haken nicht dem Mundboden zu nahe kommt. Bei einem späteren Kürzen des Lingualschilds würde sonst das Drahtende freigeschliffen. Die Verankerung des Drahtes im Lingualschild wäre dann gefährdet, und außerdem besteht die Gefahr der Schleimhautreizung.

Wangenwärts wird der Verbindungsdraht zunächst nach unten abgebogen. Diese Biegung muß besonders schonend vorgenommen werden (Abb. 65). Bei seiner Einmündung in den Seitenschild muß der Draht eine abgerundete Biegung aufweisen. An dieser Stelle ist er der größten mechanischen Belastung ausgesetzt. Auf

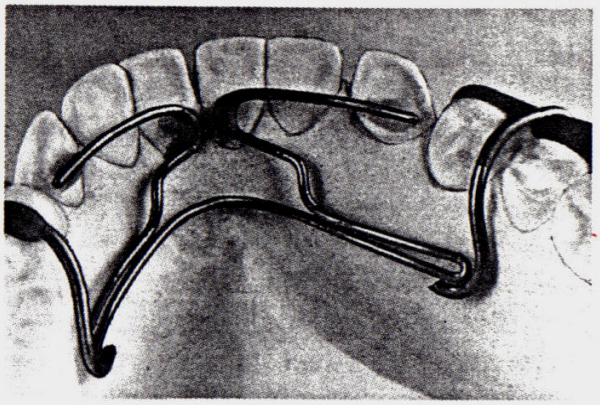


**Abb. 63.** Lingual- und Versteifungsbogen aus einem Draht hergestellt. Fixierung erfolgt durch Klebewachs an den Lingualflächen der unteren Frontzähne bzw. Eckzähne. Die Verbindungsbögen zwischen Lingualschild und Bukkalschild dürfen die Kaufläche der unteren Prämolaren bzw. Milchmolaren nicht berühren

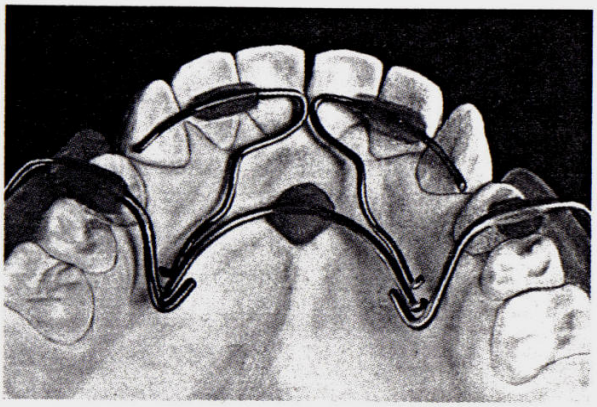


**Abb. 64.** Herstellung der Lingualdrähte aus drei Drahtstücken. In diesem Fall muß der Versteifungsbogen mit schnellhärtendem Kunststoff an der Lingualfläche des Alveolarfortsatzes fixiert werden. Die Verbindungsbögen zwischen Lingualschild und Bukkalschild werden mit Klebewachs an den Kauflächen der unteren Prämolaren fixiert

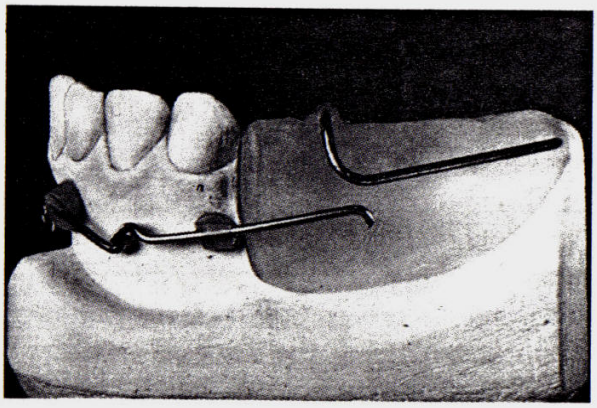


**Abb. 65.** Unterkiefermodell mit Wachsfutter und Verbindungsdrähten zwischen Lippenpelotten und Seitenschild. Die Enden des Verbindungsdrahts zwischen Lingualschild und Bukkalschild müssen distalwärts verlängert sein, um das Drahtende am Gipsmodell mit Klebewachs fixieren zu können

Grund unserer Erfahrungen werden bei dieser Biegung die häufigsten Fehler gemacht. Es ist die kritische Stelle der FR-1- und FR-2-Typen, wo die meisten Drahtbrüche beobachtet werden. Ursache hierfür ist immer ein unsachgemäßes Biegen des Drahts, d. h., der Biegevorgang wurde zu schnell und mit scharfkantigen Zangen in einem rechtwinkligen Knick vorgenommen.
Nach seiner Abbiegung nach unten wird er parallel zur Kaufläche über das Wachsfutter hinaus nach distal geführt. Dort wird sein freies Ende mit Klebewachs am Modell fixiert. Beim Biegen ist darauf zu achten, daß der bukkale Drahtanteil immer den gleichen und richtigen Abstand zur bukkalen Außenfläche des Wachsfutters einhält (0,75 mm). So ist die Gewähr gegeben, daß der Draht in seinem ganzen Verlauf von dem Kunststoffteig umflossen wird und nach der Polymerisation im Seitenschild genügend fixiert ist. Bei zu großem Abstand zwischen Draht und Wachsfutter wird der Seitenschild zu dick, worauf bereits eingegangen wurde.

*Die unteren Lingualdrähte, Drahtstärke 0,7–0,8 mm*

Die Lingualdrähte können im Unterkieferbereich in einem Stück hergestellt werden (Abb. 63). Das erfordert technisches Geschick, da es schwierig ist, den Lingualbogen ohne Spannung in einem Stück exakt zu biegen. Diese Version hat aber den großen Vorteil, daß der Draht nur mit Klebewachs an den Zähnen fixiert zu werden braucht. Seine Lage ist beim Auftragen des selbsthärtenden Kunststoffs nicht gefährdet.
Wenn man dieses Drahtelement in drei separaten Stücken herstellt (Abb. 64), ist das Biegen wesentlich leichter. In beiden Versionen werden die Lingualdrähte so gebogen, daß sie von der distalen Kante der unteren Eckzähne ausgehend den Lingualflächen der Frontzähne etwa in Höhe der Tuberkula leicht anliegen. Bei normalem Achsenstand oder protrudierter Front müssen sie von den Frontzähnen abstehend gearbeitet werden. In der Schneidezahnmitte werden sie in einem sanften Bogen nach unten bzw. bajonettförmig gebogen und verlaufen in einem Abstand von 0,75 mm von der inneren Fläche des Alveolarfortsatzes nach distal. Ihre Enden werden dann hakenförmig nach oben abgebogen, wodurch eine gute Retention im Lingualschild gewährleistet wird. Um einen Bruch des Lingualschilds zu vermeiden, muß ein Versteifungsbogen (0,8 mm) angefertigt werden. Dieser Draht durchzieht später das gesamte Lingualschild. Seine distalen Enden werden rechtwinklig nach oben abgebogen, so daß sie in geringem Abstand parallel zu den Haken der beiden Verbindungsböden zu liegen kommen. In der Unterkiefermitte soll der Draht vom Gingivalsaum und Zungenbändchen gleich großen Abstand haben.
Zur Fixation dieser drei Drähte am Arbeitsmodell werden zunächst einmal die Schlaufen an den unteren Frontzähnen mit Klebewachs befestigt. Als weiterer Schritt werden dann die hakenförmigen Enden der Lingualdrähte mit dem des Verbindungsbogens zwischen Lingualschild und Seitenschild durch einen kleinen Klecks schnellhärtendem Kunststoff verbunden. Auf die gleiche Weise fixiert man den Versteifungsbogen in der Mitte am Arbeitsmodell. Es ist außerordentlich wichtig, daß alle Drähte, die im Lingualschild liegen, so gebogen werden, daß sie von der Oberfläche des Arbeitsmodells einen Abstand von 0,75 mm haben, so daß der schnellhärtende Kunststoff sie gut umfließen kann.
Wie bereits im Kapitel 5 besprochen, wird der Seitenschild durch Sägeschnitt in zwei Teile segmentiert. Dies ist erforderlich, um ein langsames Vorschieben des vorderen Anteils des FR-1, d. h. den Lingualschild mit den Lippenpelotten schrittweise in anteriorer Richtung durchführen zu können (s. Abb. 22a, b und 23a, b). Bei sehr tiefem Biß kann die Vorverstellung des anterioren Segments verbunden werden mit einer Bißöffnung. Die Abb. 65

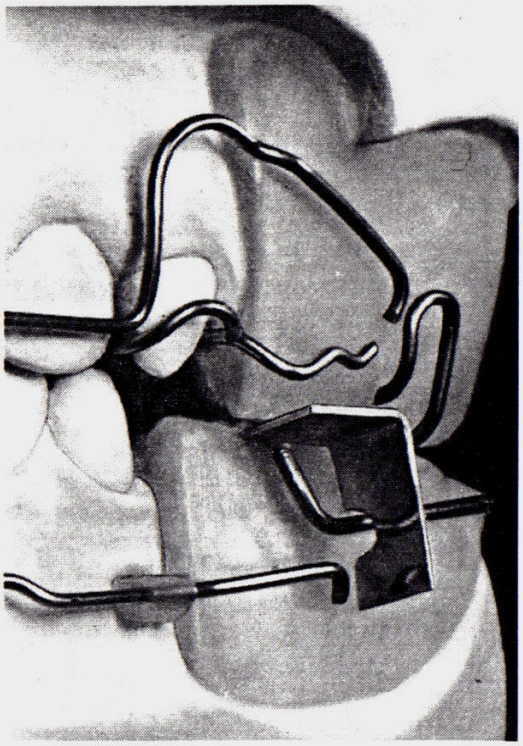


**Abb. 66.** Zur Erleichterung des Sägeschnitts wird ein rechtwinklig gebogener Metallstreifen nach vorheriger Erwärmung in das Wachsfutter eingelassen

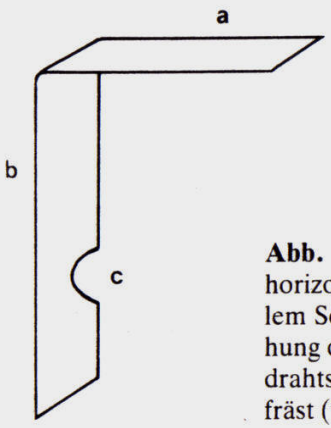



**Abb. 67.** Metallstreifen mit horizontalem (a) und vertikalem Schenkel (b), zur Umgehung des bukkalen Führungsdrahts an der Stelle (c) ausgefräst (vgl. Abb. 66)

zeigt, daß zu diesem Zweck der bukkale Schenkel des Verbindungsbogens nicht parallel zur Kauebene, sondern distalwärts leicht angehoben gebogen wird.
Um das spätere Zersägen des Seitenschilds zu erleichtern, benutzen wir einen Metallstreifen, der etwa 5 bis 6 mm breit ist. Dieser Metallstreifen wird, wie die Abb. 66 und 67 zeigen, in einem Winkel von etwa 90° gebogen. Sein oberes Ende läuft parallel zur Kaufläche. Der senkrechte Teil entspricht in seiner Lage dem vertikalen Sägeschnitt. Mit einem Fissurenbohrer muß dieser senkrechte Teil des Metallstreifens an der Stelle ausgebohrt werden, wo der bukkale Schenkel des Verbindungsbogens liegt. Dieser Metallstreifen kann dann nach Erwärmung leicht ins Wachsfutter eingedrückt werden. Nach Anfertigung des Bukkalschilds läßt sich dieser Metallstreifen leicht entfernen, wodurch das Zersägen dieses Schilds wesentlich erleichtert wird.

### *10.3.4 Herstellung der Kunststoffschilde*

Alle Plattenelemente des Funktionsreglers, ganz gleich um welchen Typ es sich handelt, werden im Direktverfahren aus selbsthärtendem transparentem Kunststoff hergestellt. Je nach Material gibt es hierbei unterschiedliche Verfahrensweisen. Um einen festen Sitz der Drähte in den Kunststoffschilden zu gewährleisten, muß der Kunststoffbrei eine Konsistenz haben, daß er zwischen Draht und Wachsfutter bzw. Modelloberfläche gut einfließen kann. Dem Zahntechniker, der mit der technischen Herstellung des Funktionsreglers noch keine Erfahrungen hat, wird empfohlen, zuerst den unteren Lingualschild herzustellen. Beiderseits werden kleine Kleckse von Kunststoffbrei auf die Hakenenden der Lingualbögen und in die Mitte des Versteifungsdrahts aufgetragen. Während des Polymerisationsprozesses muß die Lage dieser Drähte kontrolliert bzw. korrigiert werden. Danach wird der Kunststoffbrei für die Herstellung des Lingualschilds aufgetragen. Mit angefeuchtetem Finger wird er gleichmäßig verteilt, um Form und Dicke der Schilde ungefähr zu formen.
Zwecks Herstellung der Seitenschilde werden beide Modelle in den Fixator eingesetzt, so daß ihre gegenseitige Lagebeziehung der des Konstruktionsbisses entspricht (Abb. 68). Bevor der Kunststoffbrei aufgetragen wird, muß das Wachsfutter des Oberkiefers mit dem des Unter-

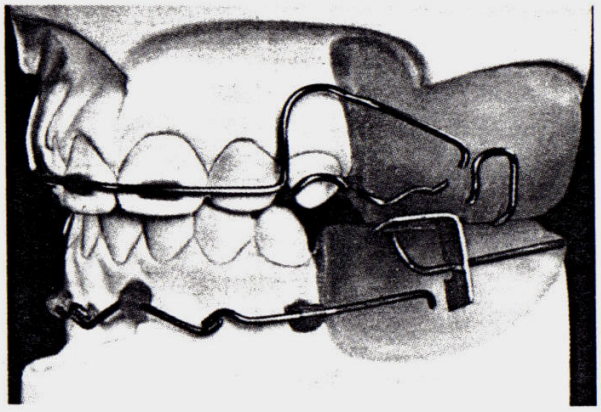


**Abb. 68.** Arbeitsmodelle im Fixator mit Wachsfutter und gebogenen Drähten, am Gipsmodell mit Klebewachs fixiert, vor Aufbringung des schnellhärtenden Kunststoffs

kiefers in Höhe der Kauebene verschmolzen werden. Auf diese Weise wird ein Durchpressen des Kunststoffes an dieser Stelle vermieden. Danach können die vestibulären Schilde des Funktionsreglers in gleicher Weise hergestellt werden. In unserem Laboratorium werden der Lingualschild und die Wangen- und Lippenschilde in einem Arbeitsgang hergestellt, was entsprechende Erfahrung und Übung voraussetzt.

Bei den meisten Fabrikaten wird die Polymerisation in einem entsprechenden Druckkessel durchgeführt. Nach dem Polymerisationsvorgang sollten die Modelle im Fixator belassen und zunächst in ein kaltes Wasserbad gelegt werden, um das Wachs zu erhärten. Hierdurch wird das Lösen des Geräts vom Gipsmodell erleichtert. Dieser Arbeitsvorgang sollte mit größter Vorsicht erfolgen. Zunächst muß die Fixation der Drähte am Gipsmodell sorgfältig entfernt werden, damit sie sich beim Losheben des Geräts nicht verbiegen. Überflüssiges Akrylat muß vorher entfernt werden. Bei der Ausarbeitung werden die Außenflächen und die Ränder zunächst mit groben Steinen und Fräsen bearbeitet. Hierbei ist darauf zu achten, daß die Drahtteile nicht angeschliffen werden. Nur die hervorstehenden Drahtenden, die zur Fixation der Drahtelemente in das Wachsfutter eingeschmolzen wurden, müssen auf der Innenseite der Seitenschilde weggeschliffen werden. Die Ränder der oberen Mundvorhofschilde, die in der Umschlagfalte liegen, dürfen keinesfalls scharf auslaufen. Sie müssen gut abgerundet werden. Das gleiche gilt für die unteren Ränder der Lippenpelotten des FR-1 und FR-2. Zum Abschluß werden die Plattenelemente auf Hochglanz poliert, wobei ihren Rändern besondere Beachtung zu schenken ist.

## 10.4 Der Funktionsreglertyp FR-2

Auf die Wirkungsweise des FR-2 ist bereits ausführlich eingegangen worden. Sie unterscheidet sich nicht wesentlich von der des FR-1. Die Besonderheiten seiner technischen Herstellung gehen aus den Abb. 69 und 70a, b deutlich hervor. Bei Fällen der Angle-Klasse II/2, besonders aber beim Deckbiß müssen vor der Verwendung des FR-2 die retrudiert stehenden oberen Schneidezähne mit Hilfe der Mechanotherapie in eine normale Achsenstellung gebracht werden. Wenn Arbeitsmodelle mit retrudiert stehenden oberen Frontzähnen dem zahntechnischen Laboratorium zur Herstellung des FR-2 zugesandt werden, so ist das ein gravierender Fehler. Hierbei übersieht der Kieferorthopäde, daß orthodontische

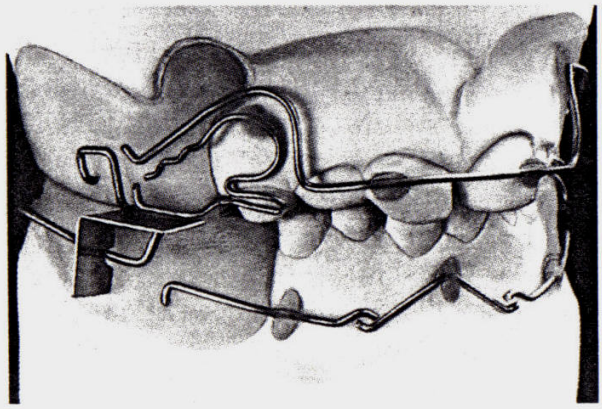
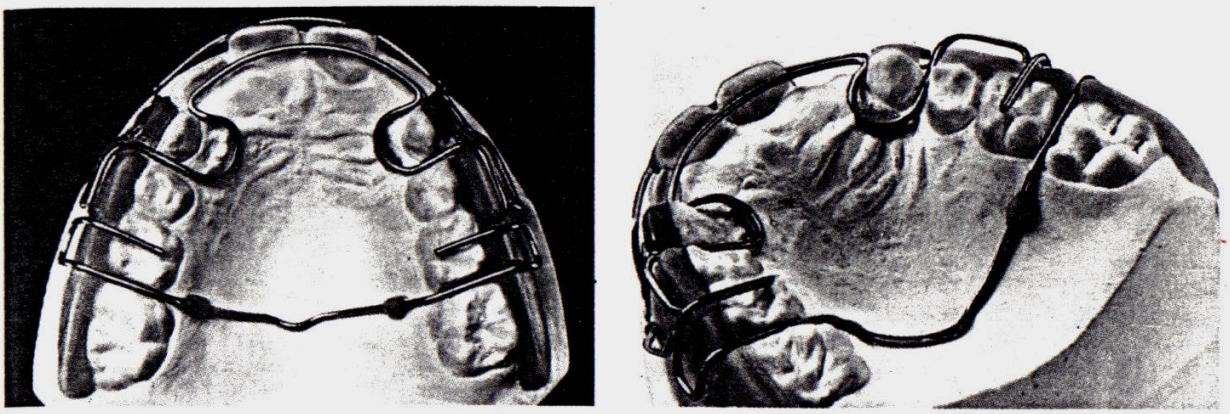


**Abb. 69.** Arbeitsmodelle zur Herstellung des FR-2 im Fixator mit Wachsfutter und fixierten Drähten



a b

**Abb. 70a, b.** Oberkiefermodell mit Wachsfutter und Drähten zur Herstellung des FR-2. Beachte tiefe interdentale Einlagerung des oberen Lingualbogens und des Palatinalbügels nach entsprechender Radierung. Im Wechselgebiß liegt die Auflage auf den Kauflächen der oberen zweiten Milchmolaren

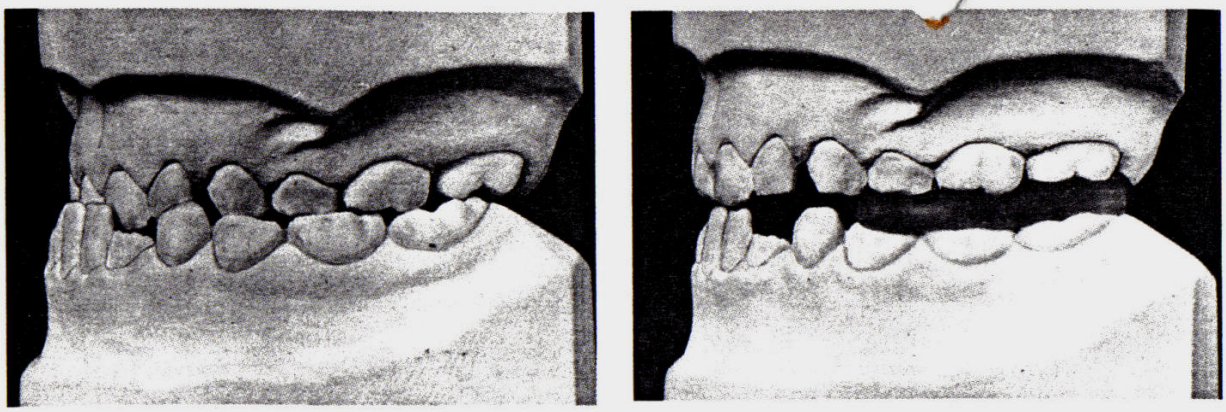
Zahnbewegungen vor der Funktionsreglerbehandlung durchzuführen sind.
Abweichend vom FR-1 ist die Konstruktion der Eckzahnschlaufen und des oberen Lingualbogens. Letzterer muß zwischen Eckzahn und erstem Prämolaren bzw. erstem Milchmolaren tief interdental eingelagert sein. Dies ist sehr wichtig, da dieses Drahtelement bei der intermaxillären Abstützung eine wichtige Funktion zu erfüllen hat.

## 10.5 Der Funktionsreglertyp FR-3

*Konstruktionsbiß*
Beim FR-3 sollte beachtet werden, daß der Biß nur so weit geöffnet wird, um die Behebung des umgekehrten Frontzahnüberbisses zu ermöglichen (Abb. 71 a und b). Eine Bißsperre im Frontzahngebiet ist auf jeden Fall zu vermeiden. Dadurch würde der Lippenschluß erschwert bzw. unmöglich gemacht werden, wodurch der Erfolg der Behandlung in Frage gestellt sein kann.

*Radierung der Arbeitsmodelle*
Das Radieren der Arbeitsmodelle erfolgt nur in der Umschlagfalte des Oberkiefermodells (Abb. 72). Besonders reichlich muß im Bereich der oberen frontalen Umschlagfalte radiert werden. Das Weichgewebe in dieser Region ist sehr nachgiebig, so daß keine Gefahr für einen Dekubitus besteht. Eine Radierung ist außerdem in der seitlichen Umschlagfalte und am Tuber erforderlich.
Damit später der Labialbogen den unteren Frontzähnen fest anliegt, empfiehlt sich in Höhe der Zahnfleischpapillen eine leichte muldenförmige Radierung an den Außenflächen der Schneide- und Eckzähne (Abb. 72). Auf keinen Fall darf das Arbeitsmodell im Oberkiefer interdental radiert werden.

*Das Wachsfutter*
Bei der Progenie weist der Unterkiefer Tendenzen zur Überentwicklung auf. Jede Nachentwicklung der mandibulären Strukturen ist daher kontraindiziert. Aus diesem Grunde muß von jedem Wachsfutter im Bereich des Unterkiefers abgesehen werden. Im Gegensatz dazu ist die Entwicklung im Oberkiefer retardiert bzw. gehemmt. Zum Zwecke der Nachentwicklung müssen daher die vestibulären Plattenelemente im Oberkieferbereich abstehen. Aus diesem Grunde ist ein entsprechendes Wachsfutter am Arbeitsmodell erforderlich (Abb. 73 und 74 b).
Im Frontbereich beträgt die Dicke des Wachses 2–3 mm. Am unteren Rand, also in der Nähe des Gingivalsaums, soll das Wachsfutter die größte Stärke aufweisen.



a b

**Abb. 71a, b.** Arbeitsmodelle vor (a) und nach Bißnahme (b) zur Herstellung des FR-3

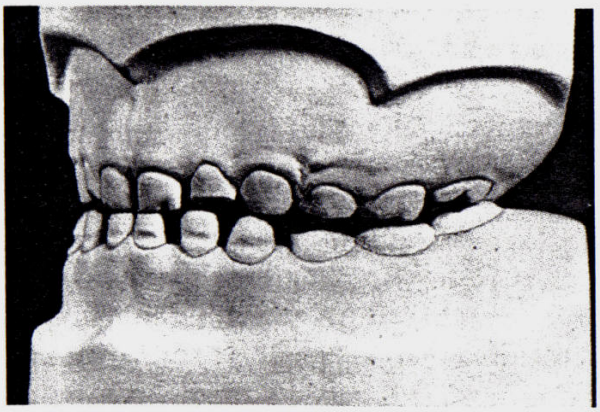
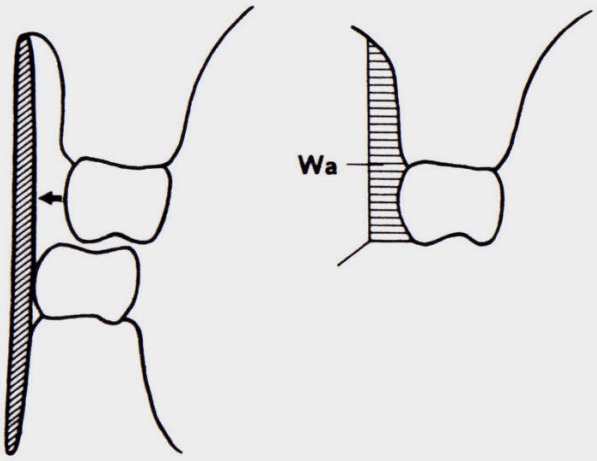


**Abb. 72.** Arbeitsmodelle im Fixator nach korrekter Radierung des Oberkiefermodells. Zur exakten Anlagerung des Labialbogens an die unteren Frontzähne sind ihre Labialflächen in Höhe des Gingivalsaums entsprechend radiert




a b

**Abb. 74a, b.** Um die Lateralbewegung der oberen Seitenzähne nicht zu behindern, muß der untere Rand des Wachsfutters (Wa) in einem scharfen rechten Winkel geformt sein

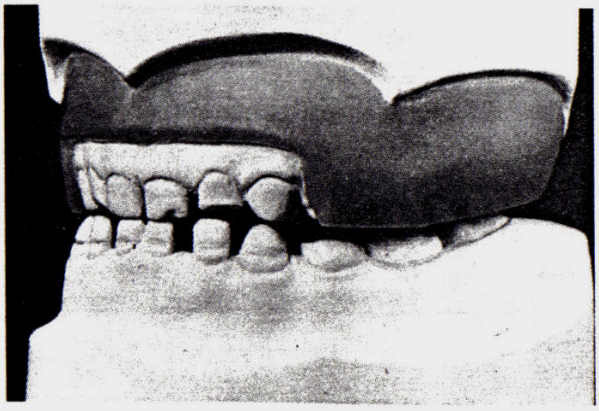
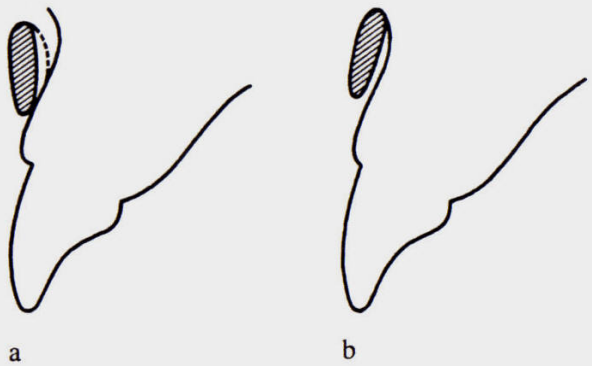


**Abb. 73.** Arbeitsmodelle mit Wachsfutter zur Herstellung des FR-3. Die Außenflächen des dentoalveolären Fortsatzes im Unterkiefer bleiben ohne Wachsauflage



a b

**Abb. 75a, b.** Falsche Lage (a) und korrekte Lage (b) der Oberlippenpelotten

etwa 3 mm. Das frontale Wachsfutter darf nach unten nicht zu dünn auslaufen. Wir müssen bedenken, daß beim Öffnen des Mundes der FR-3 mit dem Unterkiefer zusammen nach unten absinkt. Wurde das untere Randgebiet des frontalen Wachsfutters zu dünn gehalten, so bleibt der untere Rand der Lippenpelotten bei Öffnen des Mundes an der Außenfläche des Alveolarfortsatzes hängen (Abb. 75 a). Dadurch kann es sehr leicht zu Läsionen der marginalen Schleimhaut kommen. Aus dem gleichen Grund sollen die unteren Ränder der Lippenpelotten einen Abstand von 2,5–3 mm von der Schleimhautoberfläche wahren. Bei richtiger Radierung der Arbeitsmodelle in der Umschlagfalte und nach genügendem Auftragen von Wachs liegen die Oberlippenpelotten nach Fertigung des FR-3 schräg nach vorn geneigt, wie die Abb. 75 b zeigt.

Bei Anfertigung des Wachsfutters werden im Bereich des seitlichen Vestibulums sehr häufig Fehler gemacht. Wie die Abb. 73 und 74 b zeigen, liegt der untere Rand des seitlichen Wachsfutters exakt auf der Höhe der Kauebene und bildet mit der Außenfläche einen rechten Winkel. Zeigt das seitliche Wachsfutter bei seinem Übergang zur Okklusalfläche eine Rundung, so ist eine Weitung des Zahnbogens blockiert. Die Zähne müßten sich in diesem Falle entlang einer „Schiefen Ebene" aufwärts bewegen, was ihre Intrusion zur Folge hätte. Das Wachsfutter muß so gestaltet sein, daß nach Fertigstellung des Geräts entsprechender Raum vorhanden ist, in den sich die Zähne in lateraler Richtung bewegen können (Abb. 74 a).

*Die Drahtelemente des FR-3*

Die Abb. 76 und 79 lassen Form und Lage des oberen Protrusionsdrahts erkennen. Wie bereits im Kapitel 5 beschrieben, ist dieser Draht auf federaktive Wirkung eingestellt. Er hat die Aufgabe, die oberen Schneidezähne zwecks Behebung eines umgekehrten Schneidezahnüberbisses zu protrudieren. Der Protrusionsbogen darf die Frontzähne keinesfalls vertikal belasten, weil hierdurch eine Verlängerung der oberen Frontzähne zu einem sicheren Überbiß behindert wird. Er soll daher nicht den Tuberkula, sondern den Palatinalflächen der Frontzähne in Nähe der Schneidekante anliegen. Auf diese Weise kommt es schnell zu einer Vorkippung der Frontzähne, ohne daß ihr Vertikalwachstum behindert wird. Nach Erreichen des Überbisses soll der Protrusionsbogen den oberen Schneidezähnen nur passiv anliegen, um die neue Frontzahnstellung abzusichern.

Es wurde bereits darauf hingewiesen, daß eine interdentale Radierung am Oberkiefermodell nicht erfolgen darf. Der Protrusionsbogen (Pro-bo) wird zwischen Eckzahn und erstem Prämolaren in Höhe der Okklusalebene nach bukkal überführt

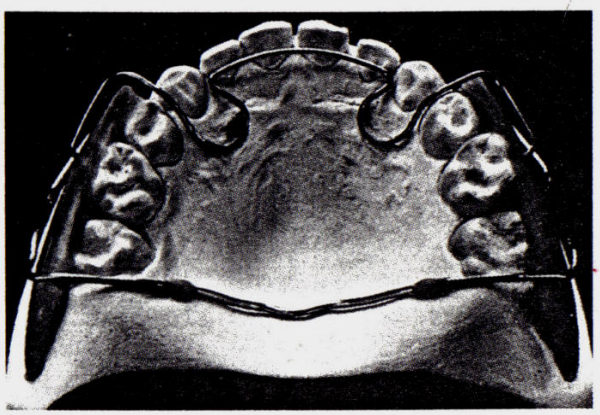


**Abb. 76.** Oberkiefermodell mit Protrusionsbogen und Wachsfutter. Der Palatinalbügel muß beim FR-3 stets hinter dem letzten Molaren liegen

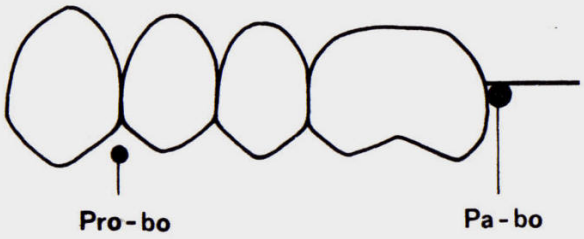



**Abb. 77.** Der Protrusionsbogen (Pro-bo) darf sich niemals interdental einlagern, um die freie Beweglichkeit des FR-3 in horizontaler Richtung nicht zu behindern. Aus gleichem Grund muß der Palatinalbogen (Pa-bo) stets hinter dem letzten Molaren liegen

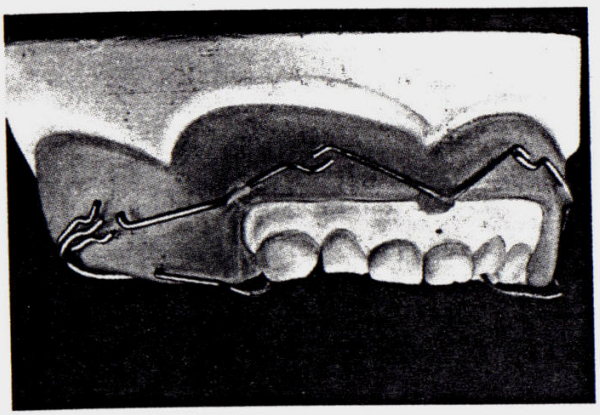


**Abb. 78.** Oberkiefermodell mit Wachsfutter und gebogenen Drähten. Im interokklusalen Raum darf der Protrusionsbogen des FR-3 die oberen Eckzähne und Milchmolaren nicht berühren

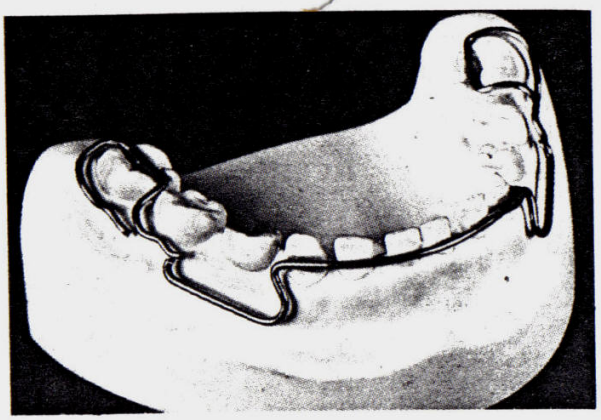


**Abb. 81.** Unterkiefermodell mit Labial- und Auflagedrähten

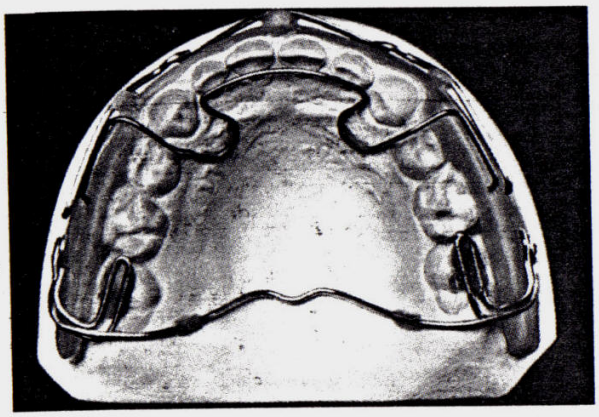


**Abb. 79.** Oberkiefermodell mit Wachsfutter und Drähten. Falls zur Sperrung des Bisses eine okklusale Auflage auf den letzten oberen Molaren erforderlich ist, muß sie von distal her unter den Palatinalbügel gelegt werden

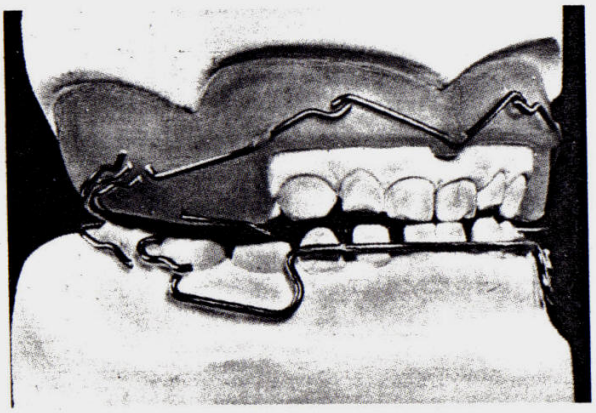


**Abb. 80.** Arbeitsmodelle im Fixator mit Wachsfutter und gebogenen Drahtelementen, am Gipsmodell mit Klebewachs fixiert

(Abb. 76 und 77). Der FR-3 darf sich mit keinem Drahtelement an den oberen Seitenzähnen intermaxillär abstützen. Die Wirkung der Oberlippenpelotten würde sich sonst nur in einem Distalschub der oberen Seitenzähne auswirken. Eine sagittale Nachentwicklung der Oberkieferbasis kann dann nicht erwartet werden.

Die Verbindungsbögen zwischen den oberen Lippenpelotten und Seitenschilden sind aus 0,9 mm starkem Draht hergestellt (Abb. 78 und 80). Sie werden in ganz ähnlicher Weise gebogen wie die entsprechenden Verbindungsdrähte des FR-1 und FR-2. Da die Lippenpelotten eine möglichst hohe Lage einnehmen sollen, muß der Abstand der hakenförmigen Enden der Verbindungsbögen vom Gingivalsaum der seitlichen Schneidezähne eine Entfernung von etwa 10 mm haben.

Es ist streng darauf zu achten, daß die Teile der Verbindungsbögen, die später im Seitenschild zu liegen kommen, keine Krümmungen aufweisen. Anderenfalls ist eine Vorverstellung der Oberlippenpelotten nicht möglich, worauf bereits eingegangen wurde.

Form und Lage der Palatinalbögen (Drahtstärke 1,0–1,1 mm) gehen aus den Abb. 76 und 79 hervor. Im Bereich des Gaumens ist er wie der Palatinalbügel des FR-1 und FR-2 gebogen und hat den gleichen Abstand von der Schleimhaut des Gaumens. Im Gegensatz zum FR-1 und FR-2 wird der Palatinalbügel jeweils hin-

ter dem letzten Molaren herumgeführt, um dann bukkalwärts mäanderförmig gebogen im Abstand von 0,75 mm vom Wachsfutter geführt zu werden (Abb. 80). Keinesfalls darf er interdental zwischen den zwei letzten Seitenzähnen eingelagert sein. In der schematischen Darstellung der Abb. 77 soll noch einmal verdeutlicht werden, daß der FR-3 in seiner Beweglichkeit in dorsaler Richtung nicht durch interdentale Einlagerung von Drähten behindert werden darf.

Ist der frontale Überbiß nur gering, so genügt zur Bißsperrung die Drahtauflage auf dem letzten unteren Molaren. Ist zur Überführung der oberen Schneidezähne eine Bißsperrung im Seitenzahngebiet von 3–4 mm notwendig, so ist eine zusätzliche okklusale Drahtauflage auf dem letzten oberen Molaren erforderlich. Diese wird aus 0,8 mm starkem Draht gebogen. Die Herstellung dieses Drahtelements erfolgt vor dem Biegen des Palatinalbügels. Auf diese Weise wird die okklusale Auflage durch den Palatinalbügel gegen ein Verbiegen nach unten abgesichert. Die schlaufenförmige Auflage und die wellenförmige Biegung der Drahtenden, die zur Retention im Seitenschild dienen, sind aus Abb. 79 und 80 ersichtlich. Beim Schmalkiefer liegt diese Auflage den Okklusalflächen der bukkalen Höcker an. Auf diese Weise wird eine laterale Bewegung der Molaren nicht behindert. Bei entsprechender Biegung in lateraler Richtung läßt sich mit dieser Auflage sogar ein aktiver Weitungseffekt erzielen. Dieser kommt beim Zusammenbeißen der Molaren, also funktionsaktiv, zustande. Nach Erreichen eines gesicherten Überbisses kann diese Drahtauflage dann weggeschliffen werden.

Lage und Form der Drahtelemente des FR-3 im Bereich des Unterkiefers sind in den Abb. 80 und 81 zu erkennen. Der Labialbogen soll den unteren Front- und Eckzähnen in Höhe der Zahnfleischpapillen straff anliegen. Dies erreicht man am besten, wenn die Außenflächen dieser Zähne vor dem Biegen dieses Drahtelements entsprechend radiert wurden (s. Abb. 72). Um eine Hemmung der Unterkieferentwicklung zu erzielen, soll der Labialbogen immer bis zur Distalfläche des Eckzahns extendiert werden. Von dort aus wird er senkrecht nach unten und etwa 3 mm von der Umschlagfalte entfernt nach distal umgebogen. Für die Abstände vom Zahnfleisch und Wachsfutter gelten die allgemeinen Regeln.

Die Drahtauflage auf den letzten unteren Molaren (Drahtstärke 0,9 mm) macht sich zur Abstützung des Geräts in vertikaler Richtung immer notwendig. Wie Abb. 81 zeigt, liegt der Draht in der Längsfissur des letzten Molaren. Seine beiden freien Enden werden bukkalwärts geführt und zu entsprechenden Retentionen im Kunststoffschild wellenförmig nach mesial zu umgebogen. Vom Zahn bzw. Zahnfleisch liegen diese freien Enden etwa 1 mm entfernt.

Die Abb. 80 zeigt die Arbeitsmodelle im Fixator mit Wachsfutter und fertig gebogenen Drähten. Vor Auftragen des schnellhärtenden Kunststoffes soll noch einmal genau überprüft werden, ob bei den technischen Arbeitsvorgängen keine Fehler gemacht wurden. Die Herstellung der Kunststoffschilde des FR-3 bereitet keine Schwierigkeiten und erfolgt in gleicher Weise wie beim FR-1 und FR-2.

## 10.6 Der Funktionsreglertyp FR-4

Die Wirkungsweise des FR-4 ist in den Kapiteln 5 und 6 beschrieben worden. Aus den Abb. 30 a und b gehen Lage und Form der Schilde wie aber auch der Drähte deutlich hervor. Der Palatinalbügel verläuft stets hinter dem letzten Molaren. Die okklusalen Auflagedrähte können dem Fall individuell in Form und Lage angepaßt werden. Sie müssen aber so konstruiert sein, daß sie eine Dorsalverschiebung des FR-4 nicht hemmen. Jede

interdentale Radierung und Abstützung an den Seitenzähnen ist daher zu vermeiden. Im übrigen gelten für das Biegen der Drähte und die Herstellung der Kunststoffschilde die gleichen Richtlinien wie für die anderen FR-Typen.

# 11 Allgemeine Hinweise für die klinische Anwendung des Funktionsreglers

## 11.1 Beginn der Behandlung

Der Funktionsregler ist ein orthopädisches Übungs- und Trainingsgerät. Bei seiner Anwendung ist daher das wichtigste Ziel der Behandlung die Behebung von Haltungsfehlern bzw. abwegigen Funktionsmustern der orofazialen Muskulatur. Damit soll dem Prinzip einer funktionellen Behandlungsweise, wie sie in der Allgemeinorthopädie praktiziert wird, entsprochen werden. Es liegt auf der Hand, daß eine frühzeitige Einleitung der orthopädischen Gymnastik die günstigsten Erfolgsaussichten bietet. Hierfür sprechen die hervorragenden Erfolge, wie sie in der Allgemeinorthopädie bei der Behandlung von Skelettdeformierungen im Kindesalter erreicht werden.
In der Orthodontie begegnet man einer Frühbehandlung im allgemeinen mit großer Skepsis. Dies gilt besonders für die Vertreter der „festsitzenden Technik". Diese Kontraeinstellung wird damit begründet, daß sich in den meisten Fällen eine Zweitbehandlung erforderlich mache, was ökonomisch nicht vertretbar sei. Mit der modernen festsitzenden Apparatur ließe sich eine erfolgreiche Korrektur von Gebißfehlbildungen auch noch im bleibenden Gebiß durchführen, und zwar in relativ kurzer Zeit. Besonders günstig seien die Erfolgsaussichten einer orthodontischen Behandlung in der Zeit des pubertären Wachstumsschubs, vor allem bei Fällen der Angle-Klasse II.

Wenn es um die Behebung skelettaler Fehlentwicklungen geht, und das ist ja die wesentliche Aufgabe einer *kieferorthopädischen* Behandlung, können derartige Argumente keine Geltung haben. *Enlow* (1983) ist der Ansicht, daß zum Zeitpunkt der Pubertät die für das Wachstum im kraniofazialen Bereich wichtigen Adaptations- und Koordinierungsprozesse weitgehend zum Stillstand gekommen sind. Wenn wir die „Lehre von der funktionellen Anpassung" nach *Roux* zugrunde legen, ist dann eine orthopädische Einflußnahme auf die skelettale Entwicklung im orofazialen Bereich nur noch im beschränkten Maße möglich. Hierbei müssen wir allerdings berücksichtigen, daß es zwischen den verschiedenen Regionen des Schädels in bezug auf „Wachstumsaktivität" zeitlich große Unterschiede gibt. So hätten die alten Peruaner die ihrem Schönheitsideal entsprechenden Schädeldeformierungen nicht erreichen können, wenn sie die Bandagen erst zur Zeit der Pubertät angewandt hätten. Der Beginn einer kieferorthopädischen Behandlung sollte daher in die Zeit verlegt werden, in der in den regionalen osteogenen Matrizen die lebhaftesten Wachstumsprozesse stattfinden. In dieser Beziehung bestehen zwischen den einzelnen Regionen des Kieferskeletts große Unterschiede, was für den Beginn einer kieferorthopädischen Behandlung von größter Bedeutung ist. Auf Grund langjähriger Erfahrungen scheint uns die frühe Wech-

selgebißperiode die besten orthopädischen Erfolgsaussichten zu bieten.
Bei den Fällen der Angle-Klasse I und II warten wir mit dem Beginn einer Frühbehandlung, bis die unteren seitlichen Schneidezähne annähernd durchgebrochen sind. Die Kinder sind zu diesem Zeitpunkt im Durchschnitt 7½ Jahre alt. Man sollte bedenken, daß die Behandlung mit dem Funktionsregler eine aktive Mitarbeit der Patienten erforderlich macht. Aus diesem Grunde ist seine Anwendung im Milchgebiß nur in seltenen Fällen indiziert. Die orthopädische Gymnastik mit dem Funktionsregler setzt eine gewisse Reife des Patienten voraus. Diese ist in der Regel erst mit der „Schulreife" gegeben. Mit der Einschulung beginnt ein markanter Einschnitt im Leben des Kindes. In dieser Zeit vollziehen sich tiefgreifende Veränderungen in den Beziehungen zur Umwelt. In dieser Entwicklungsperiode zeigt das Kind eine große Bereitschaft, sich führen und lenken zu lassen. Auf Grund unserer Erfahrungen können wir in diesem Alter mit einer guten und gewissenhaften Mitarbeit rechnen. Die geistige Entwicklung hat einen Reifegrad erreicht, der uns erlaubt, an den Intellekt des Patienten zu appellieren. Wir können ihn von der Notwendigkeit der Behandlung überzeugen und damit die wichtigste Grundlage für eine gute Kooperation schaffen. Während der Pubertät ist eine aktive Mitarbeit der Kinder wesentlich schwieriger zu erreichen, was den Erfolg einer Behandlung mit herausnehmbaren Geräten in vielen Fällen in Frage stellt.
Bei Fällen der Angle-Klasse I und II ist der Beginn der Behandlung mit dem Funktionsregler in der späten Wechselgebißphase kontraindiziert. In dieser Zeit ist die Resorption der Wurzel der Milchzähne und der Durchbruch der Prämolaren schon weit fortgeschritten, so daß eine intermaxilläre Abstützung bzw. stabile Lage des Geräts in Frage gestellt ist. Eine Behandlung in der Wechselgebißperiode mit dem Funktionsregler ist nur dann erfolgversprechend und ökonomisch vertretbar, wenn der Behandlungsbeginn so gelegt wird, daß die aktive Behandlungsphase spätestens bis zum klinischen Durchbruch der Prämolaren und Eckzähne beendet ist. Im bleibenden Gebiß beginnen wir die Behandlung mit Funktionsreglern bei Neutralbiß- bzw. Distalbißfällen erst dann, wenn im Oberkiefer wenigstens die Prämolaren und im Unterkiefer die bleibenden Eckzähne und ersten Prämolaren durchgebrochen sind. Dies ist Voraussetzung für eine sichere intermaxilläre Abstützung des Funktionsreglers, was für seine orthopädische Wirkungsweise von größter Bedeutung ist. Außerdem vermeiden wir auf diese Weise eine unnötige Verlängerung der aktiven Behandlungszeit.
Bei schwierigen Progeniefällen, bei denen die Familienanamnese auf eine genetische Veranlagung schließen läßt, sollte die Behandlung frühzeitig eingeleitet werden. Sehr häufig ist in diesen Fällen der Zahnwechsel retardiert. Die bleibenden oberen Frontzähne sind noch nicht durchgebrochen. Dies bietet die Möglichkeit, den Eruptionsweg zu lenken und das epigenetische Induktionspotential des durchbrechenden Zahns für eine Nachentwicklung der Alveolarbasis in sagittaler Richtung zu nutzen. Wir leiten daher die Behandlung dieser Fälle mit dem Funktionsregler Typ FR-3 im Alter von 6 Jahren ein, zumal dieses Gerät auch von Kleinkindern ohne Schwierigkeiten adaptiert wird.
Auch im bleibenden Gebiß bestehen für die Behandlung von skelettalen Disproportionen mit dem Funktionsregler noch günstige Erfolgsaussichten. Hierauf soll später noch ausführlich eingegangen werden.

## 11.2 Einfügen des Funktionsreglers

Das Einfügen des Geräts macht im allgemeinen keine Schwierigkeiten. Nur bei kleiner Mundöffnung muß man behutsam

vorgehen. Zunächst wird das distale Ende des linken Seitenschilds eingeführt. Mit dem Spiegel oder Finger wird dann der rechte Mundwinkel etwas seitlich abgezogen. Danach läßt sich auch der rechte Seitenschild und damit das ganze Gerät ohne Schwierigkeiten eingliedern. Nach dem Einfügen wird der Funktionsregler auf exakten Sitz überprüft. Zu diesem Zweck wird das Gerät zunächst dem Oberkiefer angedrückt. Wenn das Arbeitsmodell richtig radiert wurde, liegt der obere Rand der Seitenschilde genau in der Umschlagfalte. Besondere Beachtung ist der Region in der Nähe der Wurzelspitze der ersten Prämolaren und des Tubers zu schenken. Bei Verwendung transparenten Kunststoffs läßt sich feststellen, ob im Bereich des Frenulum buccale oder auch an anderen Stellen der Arbeitsmodelle zuviel radiert wurde. In diesem Falle würde die Schleimhaut beim Andrücken des Geräts blaß und anämisch werden. Durch entsprechendes Fräsen am Kunststoffrand und nachträgliche Politur läßt sich dieser Fehler leicht korrigieren.

Weiterhin muß überprüft werden, ob die Seitenschilde vom dentoalveolären Fortsatz den für den jeweiligen Fall erforderlichen Abstand haben. Eine transversale Nachentwicklung kann nicht erwartet werden, wenn die Seitenschilde der Außenfläche des Alveolarfortsatzes und den Zähnen anliegen. Zum anderen wird ein zu großer Abstand der Seitenschilde, besonders in der Umschlagfalte, leicht zur Einlagerung der Wangenweichteile in der apikalen Region führen. Hierdurch würde die Nachentwicklung der apikalen Basis behindert, worauf früher bereits hingewiesen wurde.

Bei der Verwendung des Funktionsreglers Typ 3 müssen die Oberlippenpelotten hoch in der Umschlagfalte liegen. Außerdem müssen sie den erforderlichen Abstand von der Frontalfläche des Alveolarfortsatzes haben. Nur so kann in der Umschlagfalte die für eine Nachentwicklung des Oberkiefers in frontaler Richtung erforderliche Zugspannung entstehen.

In ähnlicher Weise überprüft man den Sitz der Plattenelemente im Unterkieferbereich. Hierbei wird das Gerät dem Unterkiefer angedrückt. Besondere Beachtung ist dem Sitz der unteren Lippenpelotten zu schenken. Diese müssen, wie schon erwähnt, tief in der unteren Umschlagfalte liegen. Wenn richtig radiert wurde, stehen sie senkrecht im Mundvorhof. Sie dürfen mit ihrem unteren Rand auf keinen Fall vorgekippt stehen, da sie sonst die Innenseite der Unterlippe irritieren würden. Beim Andrücken des Funktionsreglers darf die Mundschleimhaut in der Vestibulärfalte an keiner Stelle anämisch werden. Wurde am Gipsmodell an dieser Stelle zu viel radiert, so muß der untere Rand der Lippenpelotten durch Fräsen und nachträgliches Polieren korrigiert werden. Liegen die Lippenpelotten zu hoch oder stehen sie mit ihrem unteren Rand zu weit vom Alveolarfortsatz ab, darf ein solches Gerät nicht eingegliedert werden. Eine Neuanfertigung der Lippenpelotten ist nicht zu umgehen.

Bei der Überprüfung der Drahtelemente ist darauf zu achten, daß sie den entsprechenden Abstand von der Schleimhaut wahren. Die korrekte Biegung und Lage ist genauestens zu überprüfen. Auch zu diesem Zweck wird man das Gerät zunächst an den Oberkiefer, dann an den Unterkiefer andrücken. Hierbei wird man berücksichtigen müssen, daß sich bei der Behandlung im bleibenden Gebiß der Palatinalbügel und die Eckzahnschlaufe erst während der Eintragezeit interdental einlagern. Das freie Ende des Palatinalbügels, das als okklusale Auflage gedacht ist, wird daher beim Einfügen des Geräts zunächst von den Kauflächen der Sechsjahrmolaren abstehen.

Bei der Behandlung im Wechselgebiß muß von den Milchzähnen interdental so viel weggeschliffen werden, wie am Gipsmodell radiert wurde. Mit einer Diamantscheibe schleift man zunächst von der distalen Fläche des Eckzahns und von der mesialen Fläche des ersten Milchmolaren gleich viel weg. Häufig macht sich auch

ein Wegschleifen von der Mesialfläche des Milcheckzahns erforderlich, damit sich die Eckzahnschlaufe interdental entsprechend einlagern kann. Beim Beschleifen des zweiten Milchmolaren muß darauf geachtet werden, daß die Mesialfläche des Sechsjahrmolaren nicht beschädigt wird. Die interdentale Separation darf nur durch das Beschleifen der distalen Fläche der zweiten Milchmolaren erfolgen. Dieses interdentale Einschleifen im Wechselgebiß muß äußerst exakt durchgeführt werden. Da die Milchzähne eine sehr geringe Höhe aufweisen, sollten die Approximalflächen dieser Zähne bis zur Papille beschliffen werden, d. h., eine Stufenbildung muß unbedingt vermieden werden. Beim Andrücken des Funktionsreglers muß die okklusale Auflage den Kauflächen der zweiten Milchmolaren fest anliegen. Eine erfolgreiche Veränderung der Unterkieferlage kann nur erreicht werden, wenn sich die Eckzahnschlaufe und der Palatinalbügel interdental tief genug einlagern. Nur dann ist die Gewähr für eine exakte intermaxilläre Abstützung des Geräts an den oberen Seitenzähnen gegeben.

Beim Einfügen des Funktionsreglers Typ 3 verfährt man in der gleichen Weise wie bei allen anderen Funktionsreglern. Durch das wechselseitige Andrücken des Geräts an den Ober- bzw. Unterkiefer wird der exakte Sitz der Mundvorhofschilde und der Drahtelemente überprüft. Die oberen Ränder der oberen Lippenpelotten müssen sich hoch in der Umschlagfalte einlagern. Wird hierbei die Schleimhaut anämisch, ist eine entsprechende Korrektur mit der Fräse erforderlich. Die Innenflächen der oberen Pelotten des FR-3 müssen überall den gleichen Abstand zur frontalen Oberfläche des Alveolarfortsatzes haben. Beim Öffnen des Mundes darf es auf keinen Fall zu einem Druckkontakt zwischen den unteren Rändern der Pelotten und der Schleimhaut kommen. Immer muß daran gedacht werden, daß sich die Wirkungsweise des Funktionsreglers grundlegend von der der konventionellen herausnehmbaren Geräte unterscheidet. Beim Einfügen des Funktionsreglers sollte daher genau überprüft werden, ob die verschiedenen Teile des Geräts so hergestellt wurden, daß von ihnen der gewünschte therapeutische Effekt erwartet werden kann.

Nachdem man sich von dem korrekten Sitz des jeweils verwendeten Funktionsreglers durch Andrücken an den Oberkiefer und Unterkiefer überzeugt hat, fordert man das Kind zum Kieferschluß auf. Beim Vorliegen eines Distalbisses muß der Patient dabei den Unterkiefer in die gewählte Konstruktionsbißlage vorführen. Danach wird überprüft, ob auch nach Kieferschluß in der Umschlagfalte bzw. am Alveolarfortsatz keine Druckanämie der Schleimhaut auftritt. Nachdem sich der Patient an die neue Unterkieferlage durch mehrfaches Öffnen und Schließen der Kiefer gewöhnt hat, läßt man die Lippen schließen. Hierbei kann es beim Vorliegen einer starken Haltungsschwäche der Lippenschließmuskulatur leicht zu muskulären Verkrampfungen kommen. Diese lassen sich durch leichte Fingermassage mindern bzw. beheben. Zur Überwindung muskulärer Fehlspannungen hat sich uns außerdem das Sprechen mit dem Gerät im Munde sehr bewährt. Wir lassen zu diesem Zweck den Patienten zählen bzw. einen vorgelegten Text lesen. Bei Kleinkindern sind Bilderbücher sehr geeignet, das Kind zum Sprechen zu bewegen, was man am besten einer Zahnarzthelferin überläßt. Hierdurch wird das Kind von der Unannehmlichkeit, die mit dem Einsetzen eines kieferorthopädischen Geräts verbunden ist, abgelenkt. Der Patient konzentriert sich auf die Lösung der gestellten Aufgabe, wodurch es zur Entspannung der mimischen Muskulatur kommt.

Sehr häufig hält das Kind bei diesen Sprechübungen die Kiefer fest geschlossen. Dies läßt sich am besten beheben, wenn man das Kind mehrmals einen langgezogenen A-Laut sprechen läßt. Dabei soll das Kind den Mund weit öffnen. Das

Lippenschließen und Sprechen mit dem Gerät sollte man in der ersten Sitzung so lange durchführen, bis die Verspannung der Muskulatur gelöst und die anfängliche Hemmung beim Sprechen behoben sind. Da bei Verwendung der FR der Mundinnenraum frei bleibt von einengenden Plattenelementen, sind die Zungenbewegungen völlig unbehindert. Daher läßt sich schon nach wenigen Übungsminuten kaum noch eine Beeinträchtigung der Aussprache feststellen.
Sofern das Gerät richtig konstruiert wurde, kommt es auch schnell zu einer Adaptation der mimischen Muskulatur. In den meisten Fällen der Angle-Klasse II und III läßt sich, sofern der Konstruktionsbiß richtig genommen wurde, nach dem Einsetzen des Geräts eine deutliche physiognomische Verbesserung feststellen.
An Hand eines Spiegels sollte Kind und Eltern gezeigt werden, daß wir mit Hilfe der Mundvorhofschilde die Gesichtsweichteile in Lage und Haltung vorteilhaft verändern können. So lernen sie begreifen, warum wir apparativ vom Mundvorhof aus eingreifen. Eine solche Aufklärung trägt zu einer schnellen Adaptation des Geräts bei und wirkt sich für die Kooperation sehr positiv aus.
Kommt es zu einer Verschlechterung des Gesichtsausdrucks, so ist das in der Regel ein Zeichen für eine unkorrekte Herstellung des Funktionsreglers. Nicht selten wurden mir in anderen Kliniken Geräte gezeigt, deren Schilde einen halben Zentimeter dick waren und den gleichen Betrag noch von den Außenflächen der Alveolarfortsätze abstanden. Man kann nicht erwarten, daß ein solches Gerät von dem Kind adaptiert wird. Es wird nicht als „Funktionsregler", sondern als „Funktionsstörer" empfunden. Man braucht sich dann nicht zu wundern, daß ein solches Gerät nicht getragen wird.

## 11.3 Anleitung von Eltern und Kind für das Eintragen des Funktionsreglers

Eltern und Patienten sind darüber aufzuklären, daß die Funktionsregler Präzisionsgeräte sind, deren Herstellung zeitraubend und kostspielig ist. Eine pflegliche Behandlung des Geräts ist daher dringend geboten. Es ist darauf hinzuweisen, daß eine Verbiegung des Funktionsreglers innerhalb des Mundes unmöglich ist. Deformierungen des Geräts ereignen sich nur außerhalb des Mundes und sind auf unsachgemäße Aufbewahrung zurückzuführen.
Dies läßt sich eindrucksvoll demonstrieren, indem man ein abgelegtes Gerät auf den Boden wirft. Infolge seiner Elastizität übersteht das Gerät eine solche Behandlung unbeschädigt. Auf diese Weise kann man Eltern und Kind die „Stabilität" des Geräts am besten vor Augen führen. Man erspart sich so unnötige Auseinandersetzungen, wenn es später durch unsachgemäße Behandlung zu Verbiegungen des Geräts gekommen ist. Auf diese Weise wird ihnen auch klar, daß das Gerät sofort, wenn es aus dem Munde entfernt wird, in ein stabiles Behältnis gelegt werden soll. Hierfür hat sich eine passende Seifenschachtel als geeignet erwiesen. Das Sauberhalten des Geräts geschieht mit einem geeigneten Reinigungsmittel. Da die Plattenteile der normalen Funktionsreglertypen den Zähnen nicht anliegen, besteht keine erhöhte Kariesanfälligkeit während der Behandlung. Jedoch sollte, wie bei jeder kieferorthopädischen Behandlung, auf eine besonders sorgfältige Mundpflege geachtet werden. Zahnkaries und ein hierdurch verursachter Verlust von Zähnen können den Erfolg einer kieferorthopädischen Behandlung zunichte machen.
Für das Eintragen des Geräts sollten Eltern und Kind besondere Instruktionen erhalten. In den ersten zwei Monaten der Eintragezeit sollten der FR-1 und FR-2

nachts nicht im Munde belassen werden. Während des Schlafs sind die sensorischen Funktionen herabgesetzt, wodurch es leicht zu Irritationen der Schleimhaut und zu einem Dekubitus kommen kann. In den ersten 14 Tagen sollte das Gerät während der Schularbeiten für 1–2 Stunden getragen werden. Bei dem FR-1 und dem FR-2 müssen die Eltern die Schleimhaut in der unteren frontalen Umschlagfalte regelmäßig kontrollieren. Bei stärkeren Rötungen bzw. beginnenden Läsionen sollte mit dem Tragen des Geräts ein Tag ausgesetzt bzw. der Kieferorthopäde aufgesucht werden. Ein Dekubitus in dieser Region muß auf jeden Fall vermieden werden.

Das Eintragen des FR-3 macht in der Regel keine Schwierigkeiten, sofern das Gerät richtig konstruiert wurde. Im übrigen ist auf die Notwendigkeit der Lippenschließgymnastik mit Nachdruck hinzuweisen, und es sind entsprechende Instruktionen zu geben, wie sie bereits früher erläutert wurden.

Bei der ersten Kontrollsitzung, die wir nach 14 Tagen durchführen, gilt unsere besondere Aufmerksamkeit der Mundschleimhaut. Eine leichte Rötung in der Umschlagfalte ist in der Eintragezeit eine häufige Begleiterscheinung, die nichts Alarmierendes an sich hat. Bei stärkeren Rötungen sind Sitz und Ränder der Mundvorhofplatten genau zu überprüfen und notfalls zu korrigieren.

Sofern keine stärkeren Adaptationsschwierigkeiten vorliegen, soll das Gerät für die nächsten zwei Wochen in langsamer Steigerung nachmittags getragen werden, wobei wir der Schwere der Dysgnathie wie aber auch der funktionellen Abwegigkeiten Rechnung tragen müssen. In der Regel läßt sich bei der dritten oder vierten Kontrollsitzung, also nach 2½ bis 3 Monaten Eintragezeit, eine völlige Adaptation feststellen. Erst dann kann das Gerät auch in der Nacht getragen werden.

Im übrigen sei darauf hingewiesen, daß ein Funktionsregler spontan nicht aus dem Munde gleiten kann. Das „Verlieren" des Geräts während der Nacht tritt nur dann auf, wenn es vom Kind noch nicht genügend adaptiert wurde. Der Behelf wird als Fremdkörper empfunden und vom Kind im Halbschlaf entfernt. Hierdurch besteht die Gefahr, daß das Gerät während des Schlafs durch Auflegen verbogen wird. Falls dies im späteren Behandlungsverlauf geschieht, so ist das ein sicheres Zeichen, daß der Patient den Behelf tagsüber nicht trägt.

Grundsätzlich gilt, daß wir in den ersten drei Monaten der Behandlungszeit jede Überforderung des Patienten vermeiden sollten. Dies gilt vor allem bei den Fällen, bei denen eine schwere Haltungsschwäche der Lippenschließmuskulatur vorliegt. Um diese Kinder für eine aktive Mitarbeit, besonders bei der Durchführung der Lippenschließgymnastik, zu gewinnen, bedarf es viel Geduld und psychologischen Geschicks des behandelnden Kieferorthopäden. Im Kapitel 7 haben wir an Hand des Fallbeispiels B gezeigt, daß sich dieses Ziel auch bei ausgeprägter Haltungsschwäche im Lippenbereich erreichen läßt. Gesichtsfotos, die die erhebliche ästhetische Verbesserung des Gesichtsausdrucks nach Behandlung zeigen, sind hervorragend geeignet, die Kooperation des Kindes zu erreichen.

# 12 Der Funktionsregler bei der Behandlung von Fehlentwicklungen im dentoalveolären Bereich

Um uns von der orthodontischen Wirkung eines Geräts eine Vorstellung zu machen, sollten wir uns vor Spekulationen hüten und uns an die Hinweise von *Altmann* (1949) halten: „Wollen wir aber bei der Gewebedifferenzierung von Mechanismen – und zwar ganz im Sinne von *Roux* – sprechen, so kann es sich allemal nur um Material, Kraft, Verformung und Verspannung handeln. Nichts sonst. Das sind wohldefinierte Angelegenheiten, die weder etwas ‚Wunderbares', noch etwas ‚Metaphysisches' an sich haben."

Unsere langen klinischen Erfahrungen lassen den Schluß zu, daß zwischen der mechanischen Krafteinwirkung eines orthodontischen Geräts und der Formveränderung im dentoalveolären Bereich gesetzmäßige Zusammenhänge bestehen, die dem Prinzip von „Ursache und Wirkung" entsprechen. In unserer Monographie „Technik und Handhabung der Funktionsregler" (1984) haben wir versucht, das mechanische Wirkungsprinzip der bisher gebräuchlichen festsitzenden und herausnehmbaren Geräte zu analysieren. Hierbei haben wir uns auf das „Transformationsgesetz" von *Wolff* (1870) und die „Lehre von der funktionellen Anpassung" von *Roux* (1895) bezogen. Unter dem Gesichtspunkt einer klinischen Nutzanwendung sind wir auf die Grundlagenforschung eingegangen, um die sich besonders deutsche Anatomen, in jüngerer Zeit vor allem *Pauwels* (1960), *Altmann* (1949) und *Kummer* (1978), große Verdienste erworben haben. Wenn auch für den ursächlichen Zusammenhang zwischen mechanischer Kraftwirkung und Knochenumbau bisher keine lückenlose Erklärung gefunden werden konnte, so wird an der morphogenetischen Bedeutung mechanischer und physikalischer Faktoren heute nicht mehr gezweifelt. Da dieses Buch die klinischen Aspekte unserer Behandlungsmethode zum Inhalt hat, wird auf die Grundlagenforschung, die sich mit dem Problem der Ossifikation bzw. mit den Knochenumbauprozessen befaßt, nicht eingegangen. Außerdem werden die Gesetzmäßigkeiten der normalen Gebißentwicklung, die Gegenstand zahlreicher Publikationen von *Conraad Moorrees* und seinen Mitarbeitern vom Forsyth Dental Center der Harvard-Universität in Boston waren, als bekannt vorausgesetzt.

Nach *Hixon* und *Klein* (1972) geht von jedem Gerät, sofern es mit den Zähnen in Kontakt kommt, eine Kraftwirkung aus, die zur Veränderung der Zahnstellung führt. Dies gilt für festsitzende Geräte gleichermaßen wie für herausnehmbare Plattenbehelfe. So werden die Labial- bzw. Lingualbögen des Funktionsreglers, sofern sie den Frontzähnen anliegen, druckaktiv wirksam und können deren Stellung verändern. Für die Vertreter der klassischen Orthodontie ist es jedoch nicht leicht zu verstehen, daß von den Plattenelementen des Funktionsreglers, die vom Gebiß abstehen, eine orthodonti-

sche Wirkung ausgehen könnte. Eine Erklärung für die Wirkungsweise des Funktionsreglers bei der Behandlung von dentoalveolären Fehlentwicklungen läßt sich nur finden, wenn die morphogenetische Bedeutung der epigenetischen Kontroll- und Steuerungsmechanismen in eine Kausalanalyse einbezogen wird.

## 12.1 Die epigenetische Steuerung von Wachstum und Formentwicklung im dentoalveolären Bereich

Nach *Moss* (1968) verdankt der Alveolarknochen seine Entstehung und Formentwicklung dem Zahn. Sein Argument „ohne Zahn kein Knochen" hat heute allgemeine Anerkennung gefunden. Hierfür spricht das Fehlen des Alveolarfortsatzes beim Neugeborenen wie aber auch beim zahnlosen Greis. Um die klinische Bedeutung der epigenetischen Steuerungsmechanismen dem praktischen Kieferorthopäden verständlich zu machen, sei ein Beispiel aus dem Bauwesen angeführt. Es wäre irrational, wenn ein Chefarchitekt, der den Plan für einen großen Krankenhauskomplex entworfen hat, den Arbeitern und Handwerkern persönlich Anweisungen für die Durchführung spezifischer Bau- und Installationsarbeiten geben würde. Hierfür fehlen ihm die fachlichen Kompetenzen. Die Facharbeiter verfügen dank ihrer Ausbildung über Kenntnisse und Fertigkeiten, die eine sachgemäße Ausführung der handwerklichen Arbeiten vor Ort gewährleisten. Zur Organisation und Koordinierung der verschiedenen handwerklichen Leistungen erhalten die Arbeiter entsprechende Informationen von den verantwortlichen Vorarbeitern, Handwerksmeistern und Bauleitern bzw. mitarbeitenden Architekten. So ist ein ununterbrochener Informationsfluß vom Chefarchitekten über die verschiedenen Zwischeninstanzen bis hin zum Arbeiter gegeben. Auf diese Weise ist gewährleistet, daß die handwerklichen Arbeiten vor Ort sachgemäß durchgeführt werden und, dank der Informationsweitergabe, die verschiedenen Arbeitsgänge dem Planentwurf entsprechen und schließlich zur Vollendung des Baukomplexes führen. In Analogie zu dem Modell eines Krankenhausbaues wäre es gleichermaßen irrational, wenn der Aufbau des Alveolarfortsatzes der direkten Lenkung und Kontrolle des Genoms unterliegen würde. Die handwerklichen Leistungen der Facharbeiter wären vergleichbar mit denen der pluripotenten Zellen in den membranösen Wachstumszonen. Diese Zellen sind mit der Fähigkeit ausgestattet, sich zu Osteoblasten und Osteoklasten zu differenzieren und so den für die Entwicklung des Alveolarfortsatzes erforderlichen Prozeß von Knochenan- und Knochenabbau zu gewährleisten. Die osteogenetische Aktivität dieser Zellen wird jedoch eingeleitet und kontrolliert vom „epigenetischen Milieu", wobei dem Zahn eine führende Kontrollfunktion zukommt. Die Größenzunahme des Zahns, seine Formbildung und seine Bewegungen während der Eruption unterliegen der direkten genetischen Steuerung. So wie die Facharbeiter ihre Anweisungen nicht direkt vom Chefarchitekten erhalten, werden die osteogenen Matrizen im Alveolarknochen indirekt durch das epigenetische Induktionspotential des Zahns aktiviert und kontrolliert. Auf diese Weise erhalten in Analogie zu den „vor Ort arbeitenden Handwerkern" die pluripotenten Zellen die für ihre osteogene Aktivität erforderlichen Informationen.

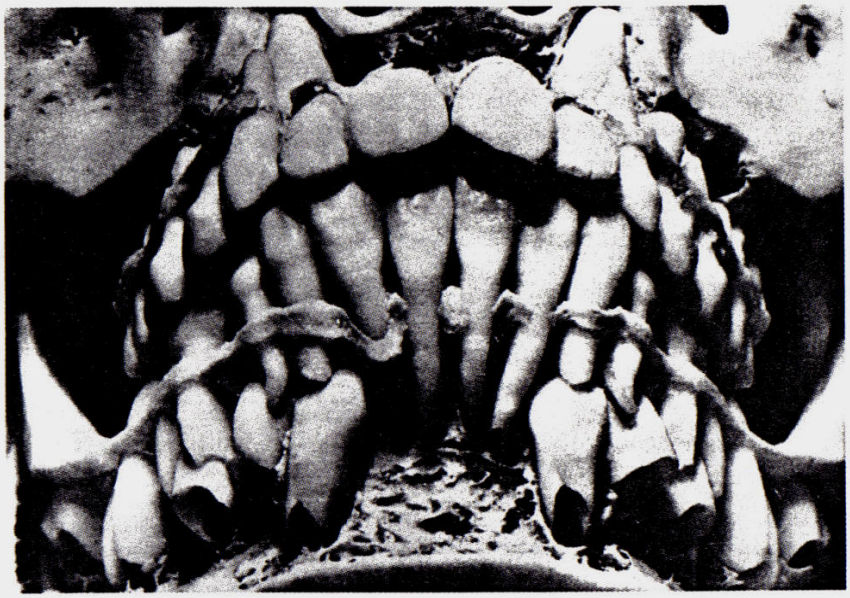
Epigenetische Steuerungsmechanismen entsprechen dem Prinzip der Weitergabe von genetischen Informationen, wobei die lokalen Bedingungen in der Peripherie Berücksichtigung finden. Damit wird wie bei technischen Modellen dem Prinzip der Organisation und Koordinierung der Arbeit entsprochen. Von der Natur ist es sehr weise eingerichtet, daß der Aufbau des Alveolarfortsatzes der epigeneti-

schen Lenkung und Kontrolle des Zahns überlassen wird. Der Zahn weiß am besten, welche Form und Stärke die Alveolenwände haben müssen, um ihm den notwendigen Halt zu geben. Ohne eine stabile Verankerung des Zahns im Alveolarknochen könnte das Gebiß den Anforderungen der mastikatorischen Funktion nicht gerecht werden.

Im Kapitel 2 haben wir ausgeführt, daß unter dem Gesichtspunkt der klinischen Nutzanwendung nur biomechanische bzw. biophysikalische Faktoren epigenetischer Induktionsmechanismen von Interesse sind. In dem Schema der Abb. 5 haben wir versucht, diese Faktoren in ihrer Bedeutung für die Aktivierung der osteogenen Matrizen aufzuzeigen.

Der von *van der Linden* und *Duterloo* (1976) herausgegebene Atlas bietet ausgezeichnete Möglichkeiten, die Wirkung dieser Faktoren im Sinne der epigenetischen Regulation von Wachstum und Formentwicklung des Alveolarfortsatzes verständlich zu machen. In den Fotografien der Abb. 82a und b, die diesem Atlas mit Genehmigung der Autoren entnommen sind, ist die dentoalveoläre Entwicklung in der Wechselgebißperiode dargestellt. Es ist zu erkennen, daß zwischen der Gebißentwicklung im Oberkiefer und der des Unterkiefers ein signifikanter Unter-

a



b

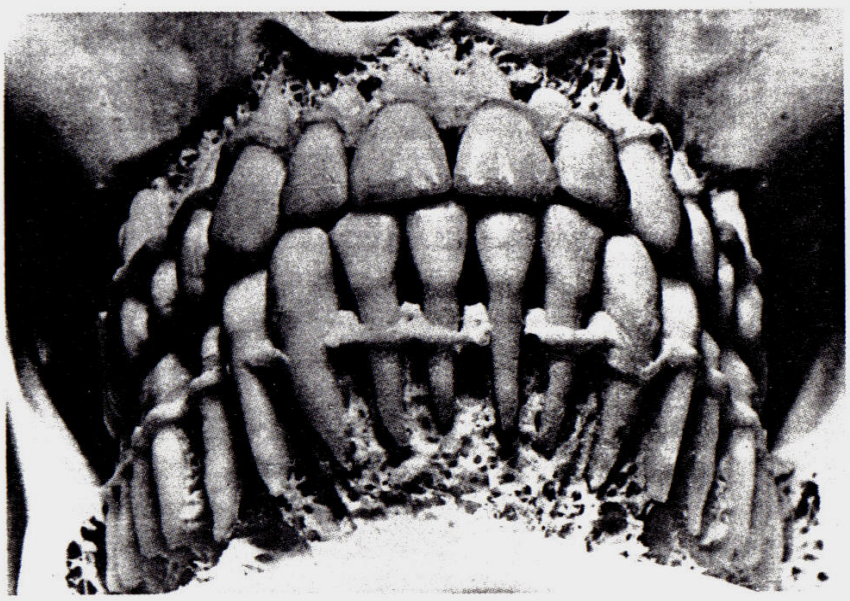


**Abb. 82a, b.** Aus dem Atlas von *van der Linden* und *Duterloo* (mit Genehmigung der Verfasser). Frühe Wechselgebißphase (a) und nach Abschluß der Entwicklung des bleibenden Gebisses (b)

schied besteht. Die Zahnkeime der oberen Eckzähne und Prämolaren stehen palatinal von den Seitenzähnen des Milchgebisses. Im Unterkiefer befinden sich diese Zähne, besonders ihre sich bildenden Wurzelspitzen, in einer ausgesprochenen Lateralposition. Das heißt, im Unterkiefer stehen die unteren Eckzähne und Prämolaren in einer lateral adäquat entwickelten apikalen Basis. Dies bedeutet, daß sich der Durchbruchsweg der oberen Eckzähne und Prämolaren in signifikanter Weise von dem der entsprechenden unteren Zähne unterscheidet. Im Oberkiefer müssen diese Zähne während ihrer Eruption in lateraler Richtung driften, um die Bildung eines adäquaten Alveolarfortsatzes zu induzieren. Im Unterkiefer brauchen sie sich während ihrer Bewegung in okklusaler Richtung nur aufzurichten, da sich ihre sich bildenden Wurzelspitzen bereits in einer lateralwärts gut entwickelten Alveolarbasis befinden.

Die Untersuchungen von *van der Linden* und *Duterloo* (1976) und *Duterloo* und Mitarbeitern (1974, 1975, 1977) haben gezeigt, daß während des Durchbruchs der bleibenden Zähne tiefgreifende Umbauvorgänge im Alveolarknochen stattfinden. Hiervon werden vor allem die bukkalen Alveolenwände betroffen, die zunehmend der Resorption unterliegen. Diese Untersuchungsbefunde decken sich mit den Ergebnissen unserer eigenen Untersuchungen (*Falck* 1969, *Fränkel* und *Falck* 1976). Bei der Longitudinalstudie in unserer Klinik wurden standardisierte seitliche Fernröntgenaufnahmen von 114 Fällen der Angle-Klasse II/2 verwendet, die in der Beobachtungszeit keiner kieferorthopädischen Behandlung unterzogen wurden. Die ersten Röntgenaufnahmen wurden in einem durchschnittlichen Lebensalter von 6 Jahren und 2 Monaten genommen, die letzten nach erfolgtem Durchbruch der oberen mittleren Schneidezähne. Anhand eines Fallbeispiels dieser Studie soll der Durchbruch des oberen mittleren Schneidezahns und der hierdurch ausgelöste Umbau der umgebenden Alveolenwände aufgezeigt werden. Im Vergleich zur ursprünglichen Steilstellung des oberen mittleren Schneidezahns (Abb. 83a) kam es zunächst zu einer Aufrichtung dieses Zahns und zur Vorwölbung der labialen Alveolenwand (Abb. 83b). Während der weiteren Eruption wurde die labiale Alveolenwand zunehmend resorbiert (Abb. 83c). Ein Kronenrest des Milchschneidezahns war aber noch vorhanden. Vor dem klinischen Durchbruch des bleibenden Schneidezahns war ein Röntgenschatten der äußeren Alveolenwand nicht mehr erkennbar. Im weiteren Verlauf des Durchbruchs kam es zur erneuten Richtungsänderung, d. h. zur Retroinklination des Schneidezahns.

In der Literatur wurde mehrfach die Vermutung geäußert, daß die während der Eruption zunehmende Steilstellung der oberen Schneidezähne in ursächlichem Zusammenhang mit der bei den Fällen der Angle-Klasse II/2 häufig anzutreffenden „hohen Lippenlinie" (high lip line) gesehen werden muß. Diese Ansicht wird durch die Ergebnisse unserer röntgenologischen Längsschnittuntersuchung gestützt. Beim Vergleich der Abb. 83b und c wird deutlich, daß sich die Achsenstellung des durchbrechenden oberen Frontzahns im Sinne der Retroinklination erst ändert, wenn dieser unter den Einfluß der hochliegenden Unterlippe kommt. Auch die Knickung der Zahnachse in der Gegend zwischen Zahnkrone und -wurzel führen wir auf die retrudierende Wirkung der Unterlippe zurück (s. Abb. 83d). Die Ergebnisse unserer kephalometrischen Untersuchungen stimmen mit den erwähnten Untersuchungsbefunden von *van der Linden* und *Duterloo* überein. Danach findet während des Durchbruchs der bleibenden Zähne ein signifikanter Umbau des Alveolarknochens statt. Hierbei kommt es zu erheblichen Resorptionen der äußeren Alveolarwände. Wie unsere Studie zeigt, ist schon lange Zeit vor dem klinischen Durchbruch des obe-

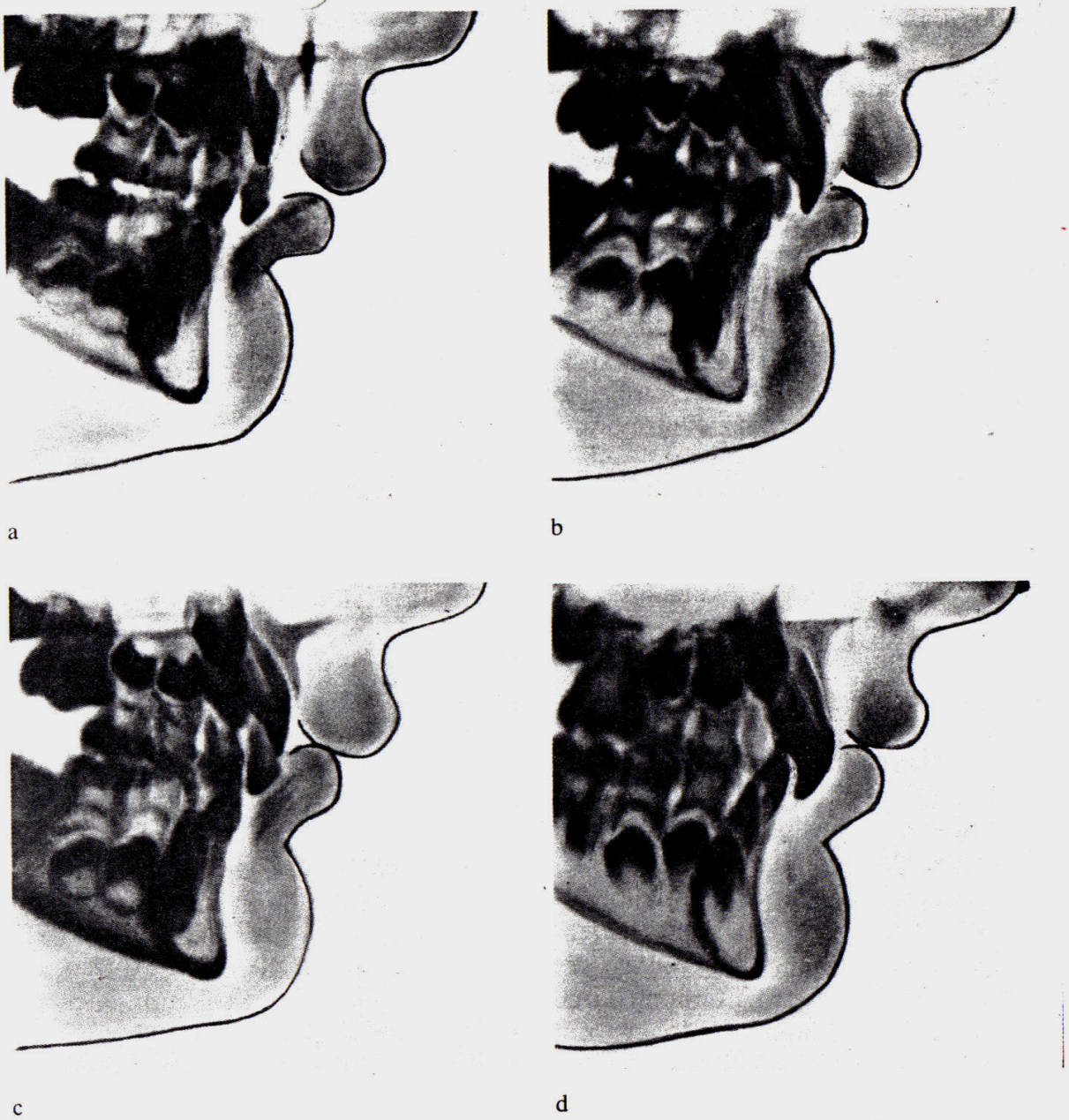



**Abb. 83a–d.** Veränderung des Achsenstands der oberen mittleren Schneidezähne bei ihrem Durchbruch am Beispiel des Deckbißträgers (Längsschnittuntersuchungen nach *Falck* 1969)

ren Schneidezahns ein Röntgenschatten der labialen Alveolenwand nicht mehr feststellbar. Hieraus läßt sich folgern, daß mit dem Durchbruch der bleibenden Zähne eine biomechanisch sehr labile Periode der dentoalveolären Entwicklung eingeleitet wird. Das heißt, der Eruptionsweg des durchbrechenden Zahns ist mechanischen Einflüssen der äußeren Weichteilkapsel im besonderen Maße ausgesetzt.

Bereits *Tomes* (1923) hat darauf aufmerksam gemacht, daß die Wachstumskräfte innerhalb des Parodontiums, die die Eruption des Zahns bewirken, diesen in die Richtung des geringsten Widerstandes bewegen. Unter diesem Aspekt kommt dem verminderten Widerstand der äußeren Alveolenwände durch die Resorption während der Eruption fundamentale Bedeutung für das Driften bzw. das Aufrichten der bleibenden Zähne zu. Auf diese Weise kann der Zahn seiner Aufgabe als epigenetischer Kontrollfaktor für die Weitung und Formentwicklung des Alveolarfortsatzes gerecht werden. Die Resorption der äußeren Alveolen-

wände birgt aber auch die große Gefahr, daß die Richtung des Eruptionsweges der durchbrechenden Zähne von außen in ungünstiger Weise beeinflußt werden kann. Die translatorische Bewegung des Zahns, der nach *Enlow* (1985) als ein wichtiger Prozeß des „growth movement" morphogenetische Bedeutung zukommt, kann dann vektoriell fehlgeleitet werden. Unsere Längsschnittuntersuchungen haben gezeigt, daß sich bei Fällen der Angle-Klasse II/2 die Keime der oberen Frontzähne anfänglich zumeist in einer normalen Achsenstellung befinden. Die Steilstellung der oberen Frontzähne läßt sich daher keinesfalls von der ursprünglichen Achsenstellung der Zahnkeime ableiten. Hierdurch wird unsere Annahme gestützt, daß bei der epigenetischen Steuerung der dentoalveolären Entwicklung der äußeren Weichteilkapsel große Bedeutung beizumessen ist. Diese Annahme sehen wir bestätigt durch die kephalometrischen Longitudinaluntersuchungen eines eineiigen Zwillingspaars, worüber wir in der Monographie „Funktionskieferorthopädie und der Mundvorhof als apparative Basis" (1967) berichtet haben. Bei dem einen Zwilling, bei dem wir die restriktive Wirkung der Unterlippe durch eine skelettierte Mundvorhofplatte mit seitlichen Aufbissen im Milchmolarenbereich ausgeschaltet hatten, stellte sich der obere mittlere Schneidezahn während seines Durchbruchs in eine normale Achsenstellung ein. Bei dem unbehandelten Zwilling kam es zu einer signifikanten Steilstellung, zur Deckbißstellung der oberen Schneidezähne. Der epigenetische Induktions- und Kontrollmechanismus des durchbrechenden Zahns muß daher in einem engen Zusammenhang mit dem oralen Funktionsraum und der ihn umschließenden Weichteilkapsel gesehen werden, worauf wir im Kapitel 2 bereits eingegangen sind.

## 12.2 Das Konzept der epigenetischen Hypothese als Arbeitsgrundlage für die Behandlung dentoalveolärer Fehlentwicklungen mit Hilfe des Funktionsreglers

Aus den vorhergehenden theoretischen Überlegungen läßt sich ableiten, daß die Entstehung dentoalveolärer Fehlentwicklungen in einem ursächlichen Zusammenhang mit Störungen der epigenetischen Regulationsmechanismen zu sehen ist. Um derartigen Störungen vorzubeugen bzw. sie orthopädisch zu eliminieren, müssen wir von der Tatsache ausgehen, daß während des Durchbruchs der bleibenden Zähne vorwiegend die äußeren Alveolenwände der Resorption unterliegen. Es ist äußerst selten, daß untere Eckzähne und Prämolaren lingualwärts durchbrechen. Im Oberkiefer wird der Durchbruch dieser Zähne nach palatinal häufiger beobachtet. Ursächlich dürfte hierfür die unterschiedliche Keimlage dieser Zähne, wie sie in den Abbildungen des Atlas von *van der Linden* und *Duterloo* erkennbar ist, verantwortlich sein. Schon in einer frühen Eruptionsphase können durch Palpation der bukkalen Alveolenwände die durch die unteren Eckzahn- und Prämolarenkeime verursachten Vorwölbungen festgestellt werden. Dieses Phänomen ist an der Lingualfläche des unteren Alveolarfortsatzes nicht zu beobachten. Hieraus läßt sich folgern, daß die Zunge vor dem klinischen Durchbruch keinen Einfluß auf den Eruptionsweg der unteren Eckzähne und Prämolaren ausübt. Zugleich wird die klinische Bedeutung des Vestibulums als geeignete Operationsbasis für den Einsatz eines orthopädischen Geräts evident. Mit Hilfe von vestibulären Schilden läßt sich der ungünstige Einfluß eines hypertonen Funktionsmusters der perioralen Muskulatur auf den Eruptionsweg der durchbrechenden bleibenden Zähne ausschalten (*Fränkel* 1974). Auf diese Weise wird dem

Zahn die Möglichkeit gegeben, sein epigenetisches Induktions- und Regulationspotential ungestört für eine adäquate Entwicklung des Alveolarfortsatzes zu entfalten. Diese therapeutische Möglichkeit besteht aber nur in der Eruptionsphase, in der der Zahn im Sinne der epigenetischen Regulation aktiv ist, d.h. während seiner translatorischen Bewegung. Dies ist von größter klinischer Bedeutung, wenn wir die dentoalveoläre Entwicklung im Unterkiefer orthopädisch beeinflussen wollen. Bereits *A. Lundström* (1923) hat mit Nachdruck betont, daß nach Durchbruch der bleibenden Zähne eine Nachentwicklung der apikalen Basis weder in transversaler noch sagittaler Richtung orthopädisch möglich ist. *Lundströms* Lehrsatz „Orthodontische Probleme sind Probleme der apikalen Basis", hat, soweit es die dentoalveoläre Entwicklung des Unterkiefers betrifft, auch heute noch volle Gültigkeit. Auf Grund der Untersuchungen von *Furstman* und *Bernick* (1972) besteht in bezug auf die Strukturen des Alveolarknochens zwischen Ober- und Unterkiefer ein beträchtlicher Unterschied. Nach Durchbruch der bleibenden Zähne sind die Alveolenwände im mandibulären Bereich einschließlich der Kortikalis viel dichter als im Oberkieferbereich. Eine orthopädische Beeinflussung der unteren apikalen Basis ist auch mit Hilfe des Funktionsreglers nicht mehr zu erwarten. Das epigenetische Induktionspotential der bleibenden unteren Zähne ist mit ihrem Durchbruch erschöpft. Eine orthopädische Beeinflussung der epigenetischen Steuerungsmechanismen bei der Formentwicklung im unteren dentoalveolären Bereich ist daher nur möglich, wenn die Behandlung zur Zeit des lebhaftesten Wachstums durchgeführt wird, d.h. in der Eruptionsphase. Hierbei ist zu beden-

**Tabelle 2.** Die durchschnittliche Distanzvergrößerung ($\bar{x}$) in mm zwischen dem Unterkieferrand und den sich bildenden Wurzelspitzen der bleibenden unteren Eckzähne und Prämolaren zwischen 6 Jahren, 9 Monaten und 12 Jahren, 5 Monaten

| Anzahl der Fälle (n = 111) | | |
|---|---|---|
| Zahn | $\bar{x}$ | s |
| 3 | 11,3 | 1,7 |
| 4 | 6,2 | 1,7 |
| 5 | 7,0 | 1,8 |

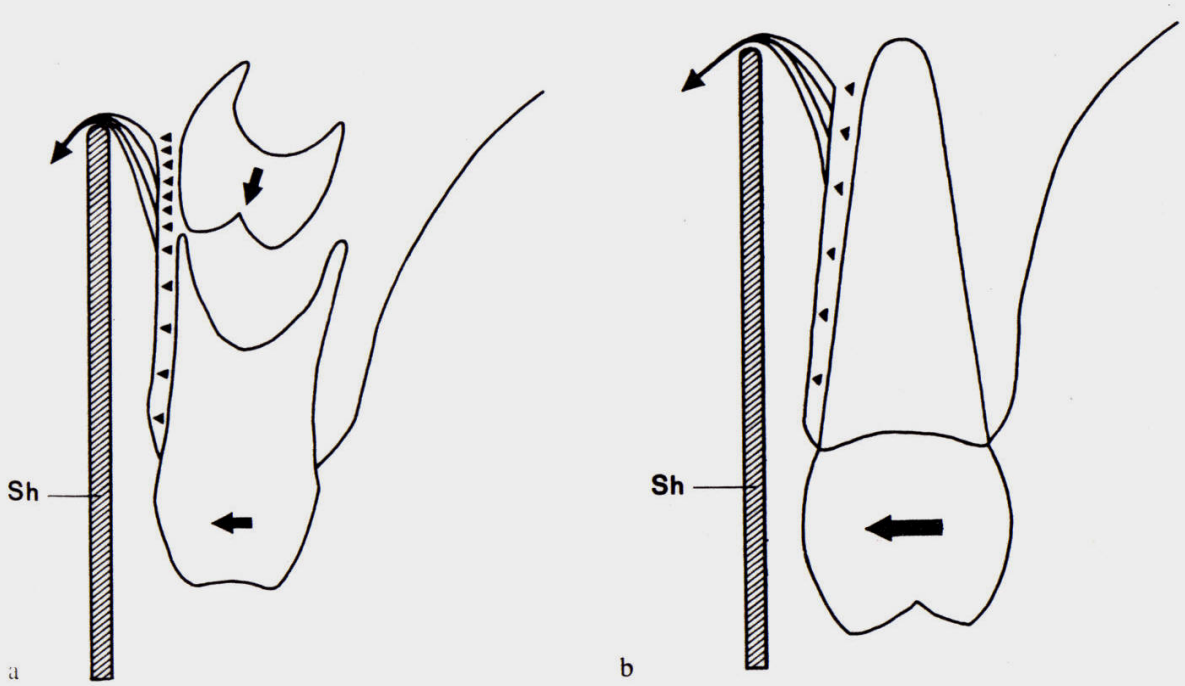



**Abb. 84a, b.** Wirkungsweise des Bukkalschilds bei Nachentwicklung der apikalen Basis im Wechselgebiß (a) und im bleibenden Gebiß (b)

ken, daß sich die Lage der Kryptenböden der unteren Eckzähne und Prämolaren in erheblichem Maße in okklusaler Richtung verändert. Die Untersuchungen von *Fränkel* und *Kober* (1975) haben die signifikante Lageveränderung der apikalen Basis in dieser kritischen Phase der Entwicklung belegt (Tab. 2).

Es ist daher unverständlich, daß viele Autoren noch heute den Beginn einer orthodontischen Behandlung in der pubertalen Entwicklungsperiode als besonders erfolgversprechend empfehlen. Dabei wird übersehen, daß der in dieser Zeit auftretende Wachstumsschub für die Entwicklung des Alveolarfortsatzes völlig bedeutungslos ist. Der essentielle wachstumsinduzierende Faktor ist die genetisch vorprogrammierte Bewegung des Zahns während der Eruption. Die Entwicklung dentoalveolärer Strukturen befindet sich in der Zeit des Zahnwechsels in ihrem kritischsten und entscheidendsten Stadium. Die Wechselgebißperiode bietet daher die günstigste Möglichkeit, den orthopädischen Lehrsatz in praxi zu realisieren, wonach der größte Erfolg einer Behandlung in der Zeit des lebhaftesten Wachstums zu erwarten ist. In Anbetracht der starken Resorption der labialen bzw. bukkalen Knochenbedeckung kommt der Weichteilführung von Lippen und Wangen eine wichtige, die Eruptionsbewegung lenkende Bedeutung zu, und zwar schon vor dem klinischen Durchbruch. Haltungsfehler, tonische Aberrationen der perioralen Muskulatur können daher den Entfaltungs- bzw. Aufrichtungsprozeß während der Eruption in ungünstiger Weise beeinflussen. In den Abb. 84a und b ist das Wirkungsprinzip der vestibulären Schilde des Funktionsreglers schematisch dargestellt. Auf Grund unserer klinischen Beobachtungen besteht auch nach Durchbruch der oberen Eckzähne und Prämolaren die Möglichkeit, mit Hilfe der abstehenden Seitenschilde eine Nachentwicklung der apikalen Basis zu erreichen. Im Unterkiefer ist ein solcher therapeutischer Effekt nur zu erwarten, wenn wir die Behandlung in der frühen Wechselgebißphase beginnen. Anhand von drei kasuistischen Beispielen sollen die Wirkungsweise und die Behandlungsmöglichkeiten des Funktionsreglers beim Vorliegen dentoalveolärer Fehlentwicklungen aufgezeigt werden.

## 12.3 Fallbeispiele

*Fall 1*

In der Abb. 85a sind die Anfangsmodelle eines Knaben mit einer Angle-Klasse II/2 wiedergegeben. Bei Beginn der Behandlung war der Patient 7 Jahre und 7 Monate alt. Es bestand ein ausgeprägter transversaler und sagittaler Engstand. Die gesamte Behandlung wurde nur mit dem Funktionsregler FR-2 durchgeführt. Die Zweitaufnahmen wurden im Alter von 13 Jahren, 5 Monaten genommen und zeigen eine gute Nachentwicklung des dentoalveolären Bogens sowohl in der Transversalen wie auch Sagittalen (Abb. 85b). Die dritten Modelle (Abb. 85c und e) wurden im Alter von 21 Jahren, 6 Monaten angefertigt, d. h., nachdem der Funktionsregler 7 Jahre, 1 Monat abgesetzt worden war. Danach wurde weder ein herausnehmbares noch festsitzendes Gerät getragen. Die Aufsichtsmodelle wurden mit Hilfe einer Schublehre an den von *Petrik* (1960) vorgeschlagenen Meßpunkten vermessen. Die transversale Weitung der Zahnbögen ist in den Modellaufnahmen in Millimetern wiedergegeben. Besonders bemerkenswert ist die transversale Nachentwicklung im unteren vorderen Zahnbogenbereich. Der frontale Engstand wurde behoben, ohne daß die unteren Frontzähne vorgekippt wurden. Die Modellaufnahme 85c zeigt, daß sowohl die transversale wie auch sagittale Nachentwicklung rezidivfrei blieb. Ein Rezidiv des unteren Frontzahnengstands trat nicht ein.

Bei der Bewertung dieses Behandlungsergebnisses muß immer bedacht werden,

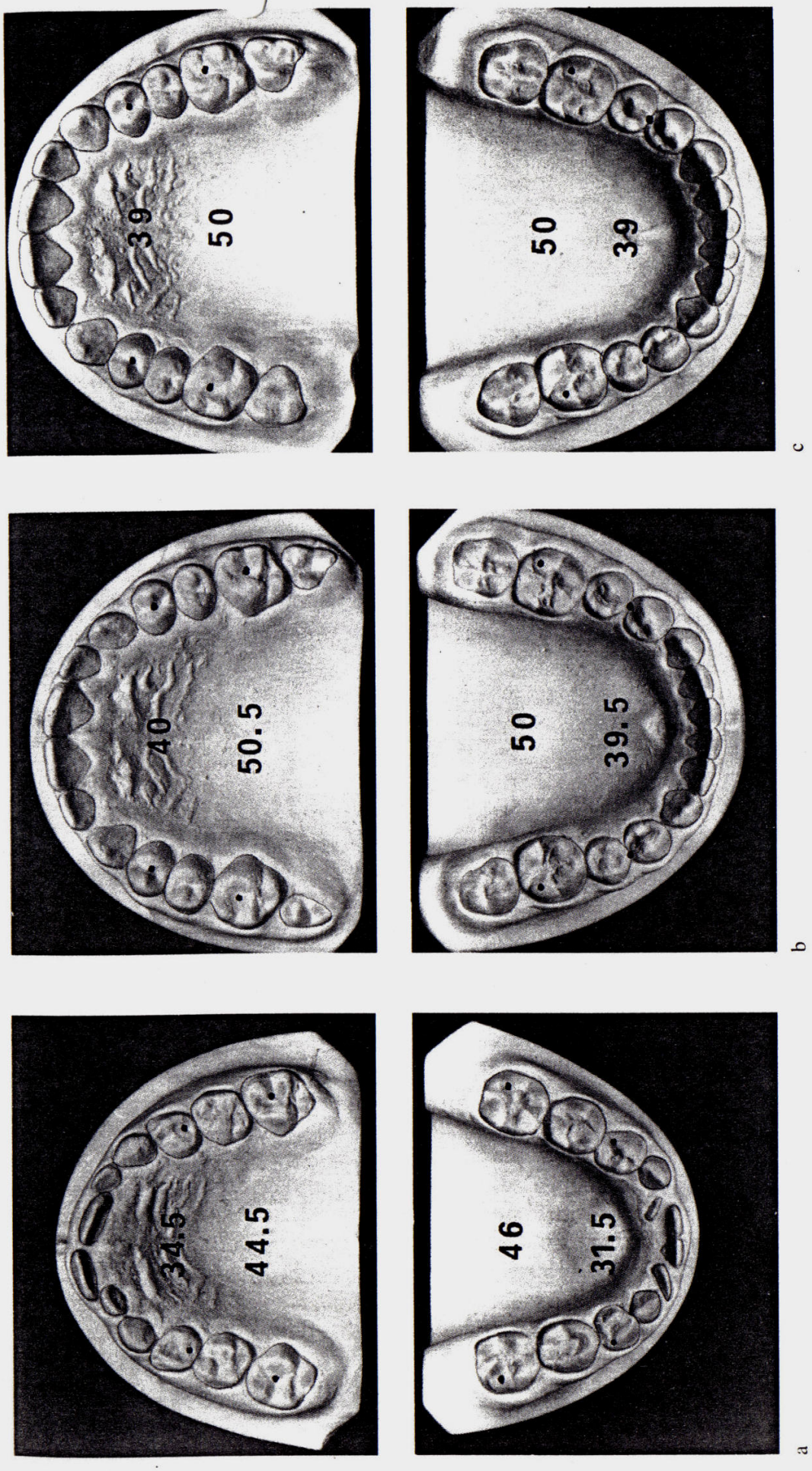
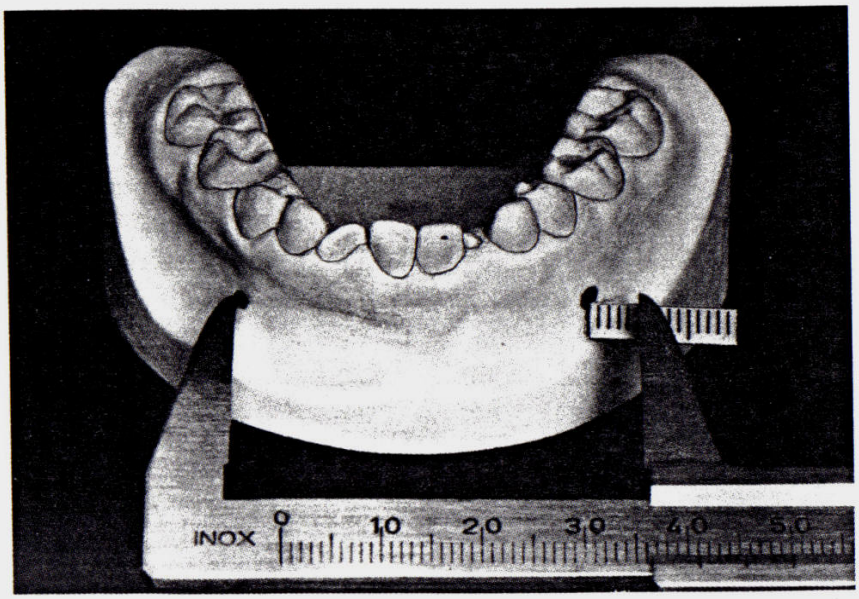



**Abb. 85a–c.** Fall 1. Gipsmodelle vor (a) und nach (b) der Behandlung mit dem FR-2. Zur Feststellung der Expansion wurden die von *Petrik* angegebenen Meßpunkte verwandt. Das Endmodell wurde 7 Jahre, 1 Monat nach Absetzen des Geräts angefertigt (c)

d




e

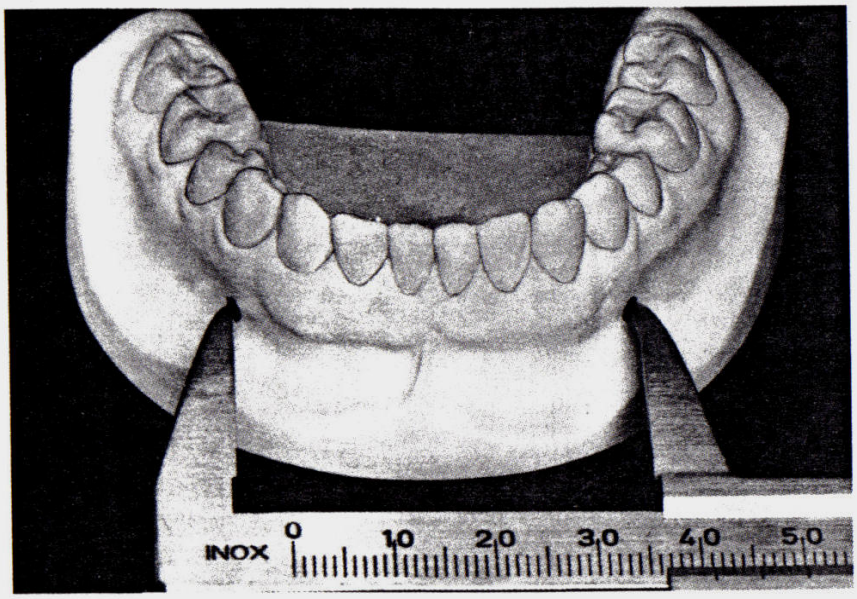
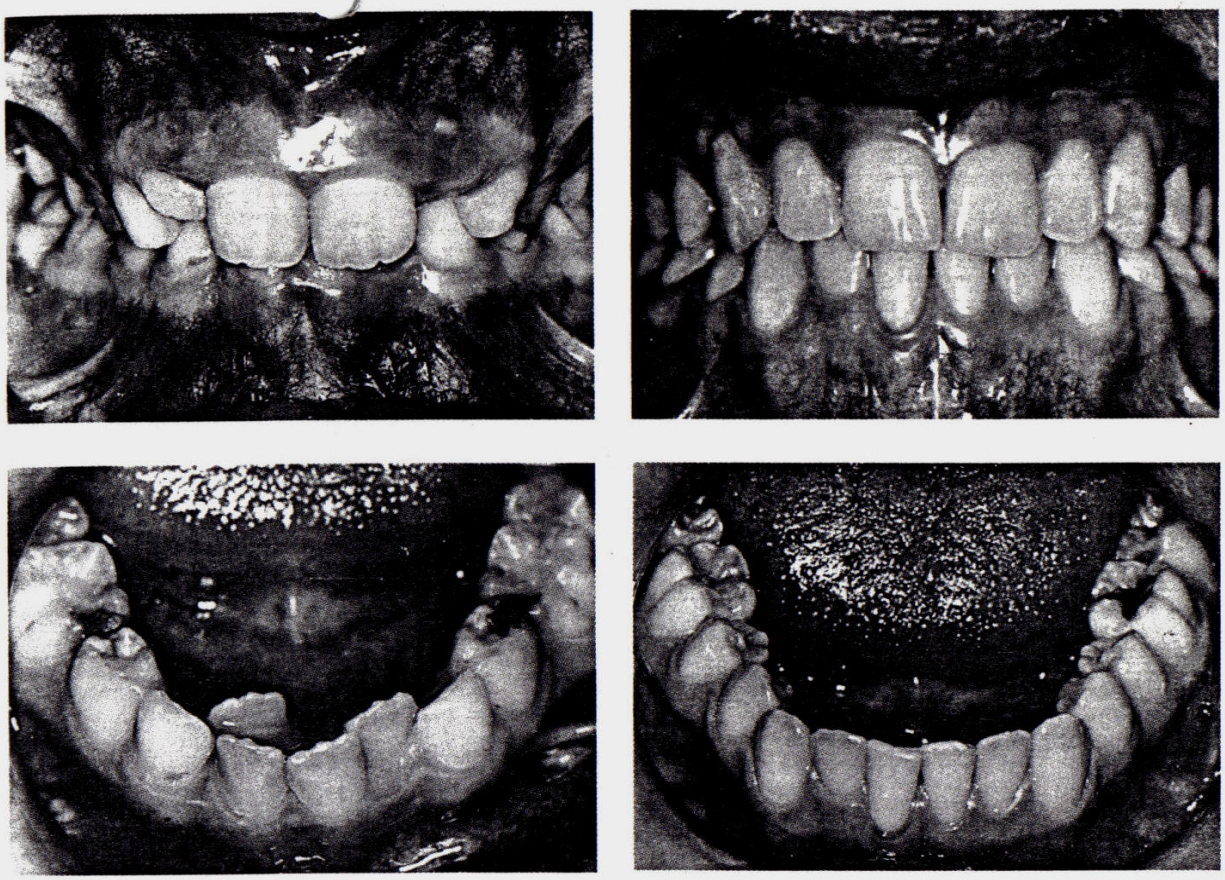



**Abb. 85 d, e.** Fall 1. Außenflächen des Alveolarfortsatzes vor (d) und 7 Jahre, 1 Monat nach Absetzen des Geräts (e)

daß die Weitung des dentoalveolären Bogens sich nicht als das Ergebnis einer mechanischen Expansion erklärt, wie das bei Verwendung der konventionellen Plattengeräte bzw. festsitzenden Apparaturen der Fall ist. Der Vergleich der Abb. 85 d und e zeigt deutlich, daß die transversale Nachentwicklung nicht nur auf den Zahnbogen beschränkt blieb. Es kam auch zu einer Weitung im Bereich der apikalen Basis. Die unteren Eckzähne und Prämolaren sind nach der Behandlung nicht bukkalwärts gekippt. Hieraus läßt sich schließen, daß ihre Wurzelspitzen in einer gut entwickelten apikalen Basis stehen. Auf die skelettalen Probleme dieses Falls wird im Kapitel 13 noch ausführlich eingegangen.

*Fall 2*

Dieses Mädchen war 7 Jahre, 6 Monate alt, als die ersten intraoralen Aufnahmen (Abb. 86 a) und die ersten Modellaufnahmen (Abb. 87 a) angefertigt wurden. Es handelte sich um eine Angle-Klasse I mit einem tiefen Frontzahnüberbiß. Besonders auffällig ist die Diskrepanz zwischen Zahngröße und Zahnbogengröße, vor allem im Unterkiefer. Wenn das Kind sich unbeobachtet fühlte, wurde die Unterlippe unter die Oberlippe angesogen. Dabei konnte man eine Hyperaktivität des Mus-



a b

**Abb. 86a, b.** Fall 2. Intraorale Aufnahmen vor FR-Behandlung (a) und 1 Jahr, 2 Monate nach Abschluß der Retention (b)

culus mentalis beobachten (Abb. 88a). Diesem abwegigen Funktionsmuster begegnen wir sehr häufig bei Fällen der Angle-Klasse II/2 bzw. Deckbiß. Der starke Platzmangel im Unterkiefer ließ eine konservative Therapie aussichtslos erscheinen. Da auf Grund unserer klinischen Erfahrungen eine Extraktionstherapie in diesen Fällen zumeist zu einer starken Konkavität des unteren Gesichtsprofils führt, haben wir uns entschlossen, die Behandlung dieses Kindes mit dem Funktionsregler zu versuchen.

Obwohl das Interesse der Eltern und die Mitarbeit des Patienten zu wünschen übrig ließen, konnte nach neunmonatiger Behandlung eine deutliche Weitung des unteren dentoalveolären Bogens beobachtet werden (Abb. 87b). Dies geht auch aus den intraoralen Aufnahmen (Abb. 86) hervor, die während der Retentionszeit angefertigt wurden. Die Abdrücke für die dritten Modelle (Abb. 87c) wurden 6 Monate nach Absetzen des Funktionsreglers genommen. Die Vergrößerung der Distanzen zwischen den Meßpunkten zeigt, daß eine erhebliche Weitung im unteren vorderen dentoalveolären Bogen erreicht werden konnte. Auf Grund langer klinischer Erfahrungen läßt sich eine derartige Nachentwicklung des unteren dentoalveolären Bogens mit dem Aktivator und seinen Modifikationen nicht erreichen. Bei Verwendung dieser Geräte kommt es zwar zu einer Dehnung und Streckung des Zahnbogens, die aber im wesentlichen auf einer Kippung der unteren Zähne beruhen.

Bei Spätkontrollen, d.h., wenn man den Patienten 3 bis 4 Jahre nach Absetzen des Gerätes wieder zu Gesicht bekommt, wird man ein erhebliches Rezidiv des Engstands, besonders im unteren Frontzahnbereich, feststellen. Wir sind der An-

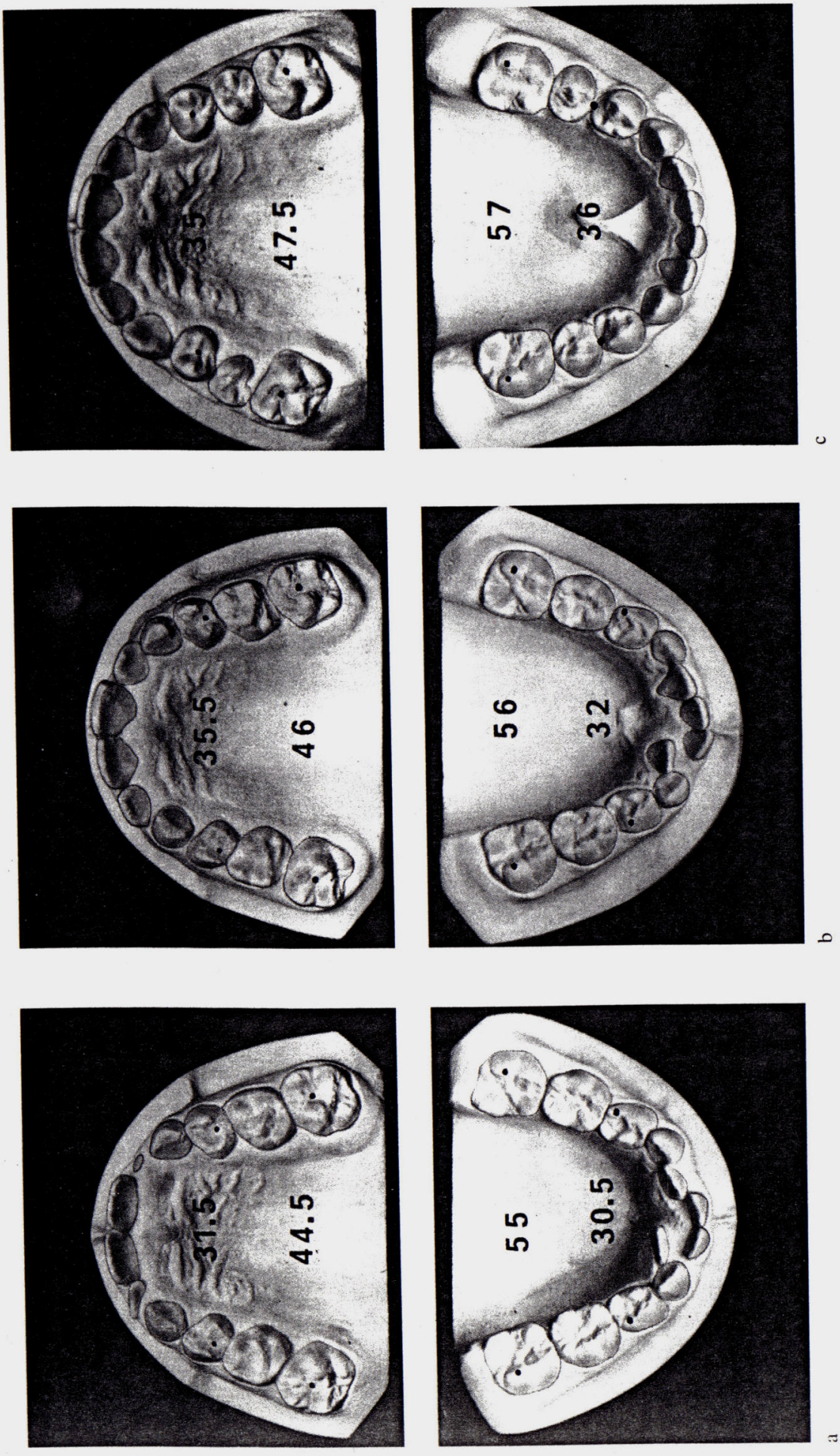



**Abb. 87a–c.** Fall 2. Modellaufsichtsaufnahmen vor (a), nach 9monatiger Behandlung mit dem Funktionsregler (b) und 6 Monate nach Absetzen des Geräts (c)

sicht, daß das Behandlungsergebnis in diesem Falle nur mit Hilfe der vestibulären Schilde des Funktionsreglers erreicht werden konnte. Eine Weitung der unteren Alveolarbasis kann bei der Verwendung anderer Geräte nicht erwartet werden.

Die Mundaufnahmen (Abb. 86b), die während der Retention genommen wurden, sowie die letzten Modellaufnahmen (Abb. 87c) lassen erkennen, daß der Engstand im unteren dentoalveolären Bereich nicht gänzlich behoben werden konnte. Insbesondere konnte kein regelrechter Kontakt zwischen den unteren seitlichen Schneidezähnen und Eckzähnen erreicht werden. Dies mag zum Teil auf die unbefriedigende Kooperation des Patienten zurückzuführen sein. In diesen Fällen macht sich eine Nachbehandlung mit festsitzenden Apparaturen erforderlich. Gleichzeitig wird der Funktionsregler FR-2 nachmittags für zwei Stunden und nachts als Retentionsgerät weiter getragen. Auf diese Weise beugen wir dem Rezidiv des hypertonen Funktionsmusters im Mentalisbereich vor. Leider zeigten sich die Eltern wie auch das Kind an einer solchen Behandlung nicht interessiert.

Legt man den Maßstab einer orthodontischen Diagnostik an, so wäre bei diesem Fall die Extraktionstherapie das Mittel der Wahl gewesen. Bei der Analyse des Gesichtsprofils (Abb. 88a) wird aber deutlich, daß sich eine Extraktionstherapie mit großer Wahrscheinlichkeit ungünstig auf die Gesichtsästhetik ausgewirkt hätte.

Nach Extraktion von 4 Prämolaren kommt es zumeist zum Einfallen der Lippen und zur Konkavität des unteren Gesichtsprofils, was sich mit zunehmendem Alter verstärkt. Bei solchen Patienten gilt es abzuwägen, ob man dem Gesicht oder dem Gebiß die vorrangige Bedeutung bei der Behandlungsplanung beimißt. Die Abb. 88b zeigt, daß mit der Funktionsreglerbehandlung ein ästhetisch befriedigendes Ergebnis in bezug auf das untere Gesichtsprofil erreicht werden konnte. Die hypertonen Funktionsmuster des Mentalismuskels und das Einziehen der Unterlippe konnten behoben werden. Beim Vergleich der anfänglichen und letzten Gesichtsaufnahme fällt auf, daß ein signifikantes Wachstum der Nase in rostraler Richtung stattgefunden hat. Eine Extraktionstherapie hätte sich daher besonders ungünstig auf das Mundprofil im Sinne der Konkavität ausgewirkt.

*Fall 3*

Die Anfangsmodelle dieses Patienten, die im Alter von 8 Jahren, 2 Monaten angefertigt wurden, zeigen einen ausgeprägten Zahnengstand, vor allem im vorderen Zahnbogenbereich des Unterkiefers (Abb. 89a). Es bestand ein geringer Distalbiß mit tiefem Überbiß (s. Abb. 91a). Nach einer Behandlungszeit von 1 Jahr, 6 Monaten mit dem Funktionsregler FR-2 konnte eine erhebliche Weitung der dentoalveolären Bögen beider Kiefer festgestellt werden (Abb. 89b). Der Abstand zwischen den unteren Eckzähnen vergrößerte sich um 3 Millimeter, so daß Platz für die unteren bleibenden Schneidezähne geschaffen werden konnte. Zur Behebung des starken Lingualstands der unteren seitlichen Schneidezähne lassen wir die unteren Lingualbögen den Lingualflächen dieser Zähne anliegen. So kann durch funktionsaktive Wirkung dieser Drahtelemente ein protrudierender Effekt erreicht werden. Nach Einordnung dieser Zähne werden die Lingualbögen leicht nach unten gebogen, so daß sie den Tuberkula anliegen. Auf diese Weise wird eine weitere Extrusion dieser Zähne verhindert, eine Maßnahme, die für die Behebung des frontalen Tiefbisses erforderlich ist.

Die dritten Modelle wurden im Alter von 17 Jahren, 5 Monaten hergestellt. Sie zeigen die dentoalveoläre Entwicklung 2 Jahre, 2 Monate nach Abschluß der Retention (Abb. 89c). Die Abb. 89d und e lassen deutlich erkennen, daß nicht nur der Zahnbogen, sondern auch die apikale

a

b

**Abb. 88 a, b.** Fall 2. Gesichtsaufnahmen vor FR-Behandlung und 6 Monate nach Abschluß der Retention

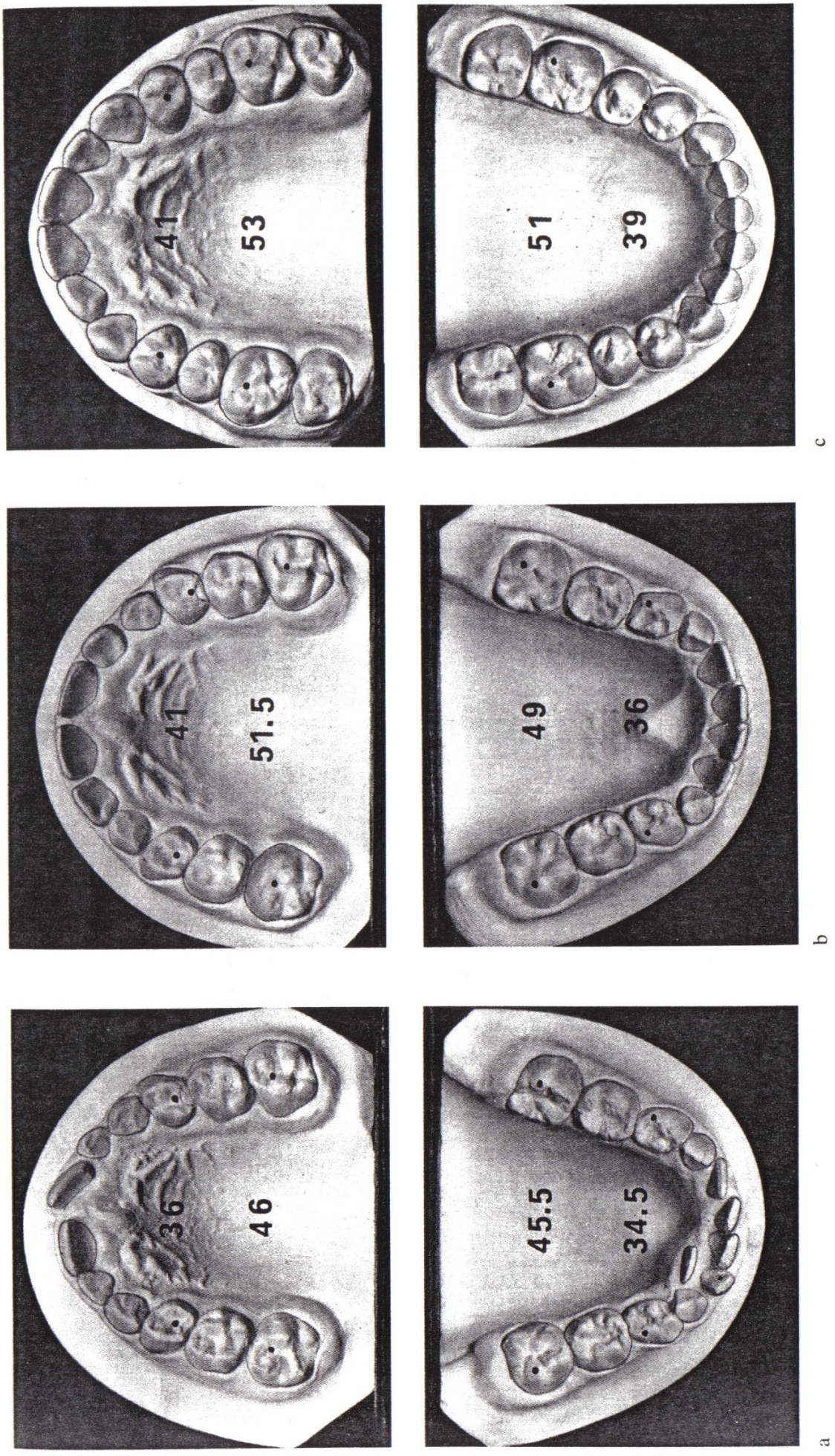
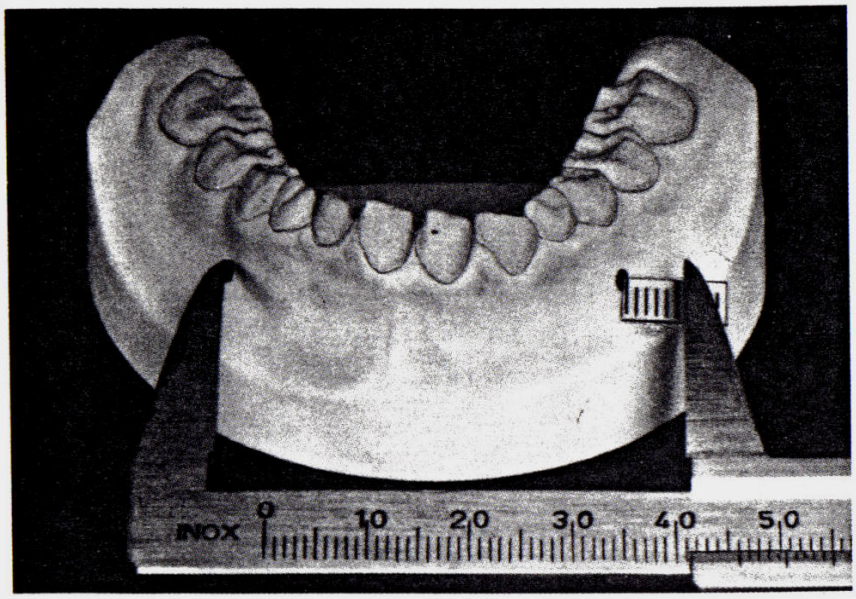



**Abb. 89a–c.** Fall 3. Modellaufsichtsaufnahmen vor (a), nach 1 Jahr, 6 Monaten Behandlung mit dem FR-1 (b) und im Alter von 17 Jahren, 5 Monaten (c)

d




e

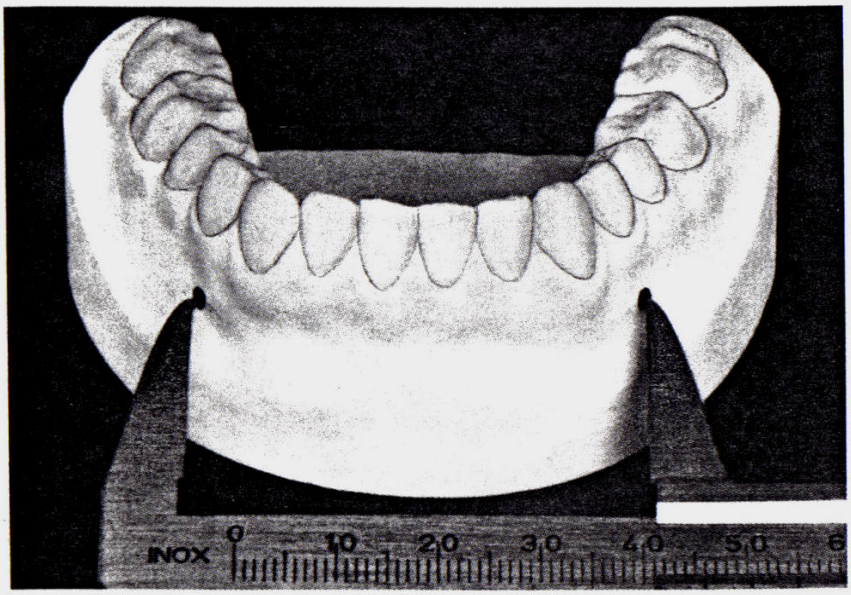



**Abb. 89d, e.** Fall 3. Weitung des Alveolarfortsatzes in der Gegend der Wurzeln der ersten Prämolaren um 6 mm

a b

**Abb. 90a, b.** Fall 3. Okzipito-frontale Fernröntgenaufnahmen im Alter von 6 Jahren, 11 Monaten (a) und 17 Jahren, 5 Monaten (b)

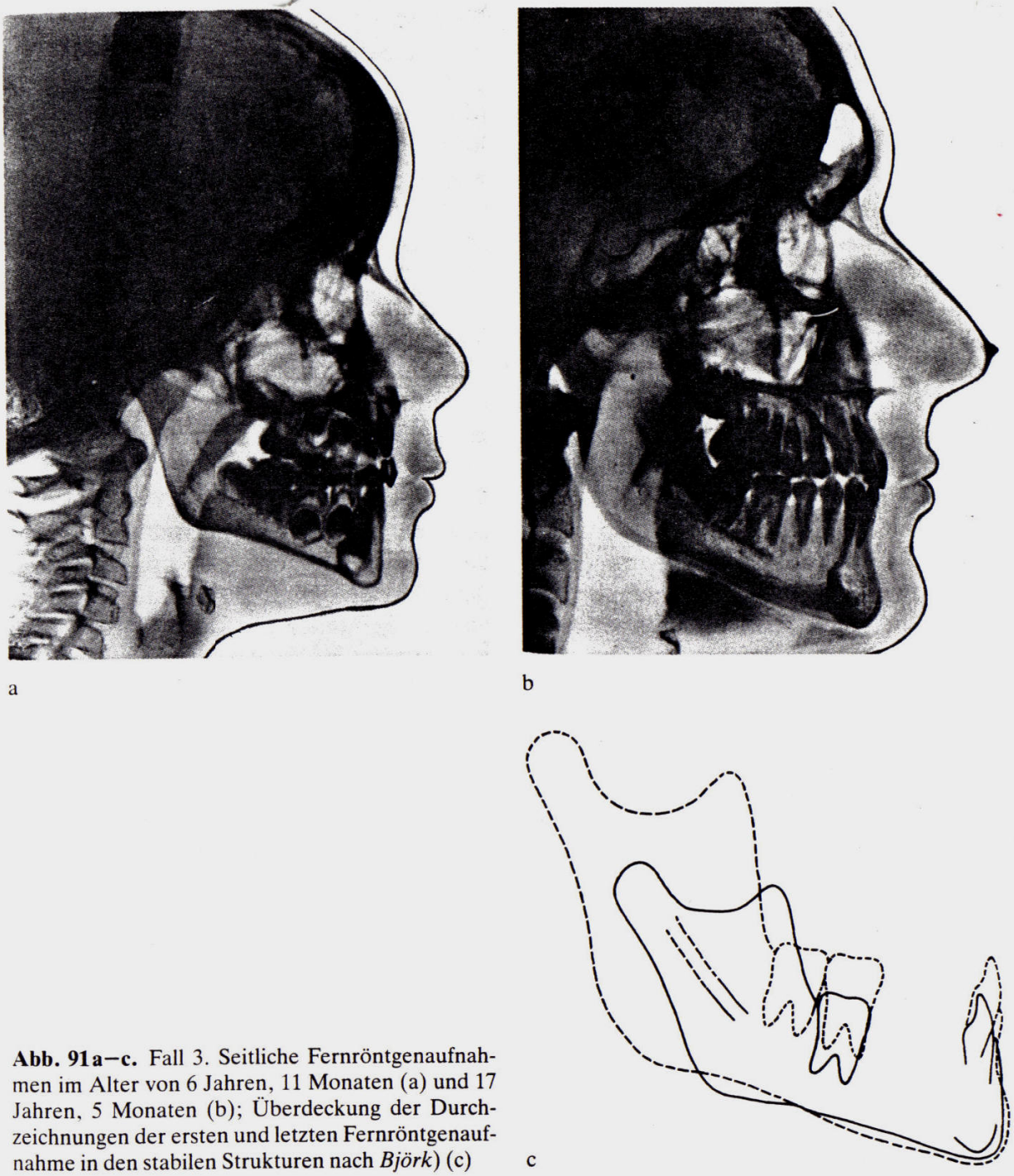


**Abb. 91a–c.** Fall 3. Seitliche Fernröntgenaufnahmen im Alter von 6 Jahren, 11 Monaten (a) und 17 Jahren, 5 Monaten (b); Überdeckung der Durchzeichnungen der ersten und letzten Fernröntgenaufnahme in den stabilen Strukturen nach *Björk*) (c)

Basis erheblich erweitert wurde. Dieser Behandlungseffekt läßt sich nicht durch eine aktive Kraftwirkung des Geräts erklären. Er kommt vielmehr durch die Wirkung der Bukkalschilde zustande, die die zirkumorale Weichteilkapsel dehnen und weiten. Auf diese Weise wird Raum geschaffen, in den sich die Zähne während ihrer Eruption hineinbewegen können. Dies läßt sich an den okzipitofrontalen Fernröntgenaufnahmen der Abb. 90a und b gut erkennen. In der Zeit der wachstumsbedingten Eigenbewegung kann sich das epigenetische Induktionspotential des Zahns für eine adäquate Formentwicklung des Alveolarfortsatzes auswirken. Auf diese Weise kommt es zu einer normgerechten Entwicklung der apikalen Basis, die nach *Lundström* (1923) die wichtigste Voraussetzung für die Stabilität der dentoalveolären Umformung ist. Daß tatsächlich eine Weitung

der Alveolarbasis erreicht werden konnte, läßt sich auch an der axialen Inklination der durchgebrochenen bleibenden Zähne erkennen (Abb. 89c und 91b). Die vestibulären Plattenelemente wirken sich während des Durchbruchs der bleibenden Zähne aber nicht nur auf die Entwicklung der lateralen Segmente, sondern auch auf die des frontalen Segments des Alveolarfortsatzes aus. Dies geht aus der Abb. 89c deutlich hervor. Hieraus läßt sich schließen, daß während der Funktionsreglerbehandlung die apikale Basis nicht nur in lateraler, sondern auch in sagittaler Dimension günstig beeinflußt werden konnte.

Die erste laterale Fernröntgenaufnahme (Abb. 91a) zeigt, daß sich die ersten Prämolaren des Unterkiefers bereits in einer fortgeschrittenen Eruptionsphase befinden. Im Gegensatz dazu ist der Kryptenboden der unteren Eckzähne dem Unterkieferrand sehr nahe gelegen. Wie die zweite seitliche Fernröntgenaufnahme (Abb. 91b) zeigt, findet während der Eruption eine erhebliche Lageveränderung der Kryptenböden bzw. der sich bildenden Wurzelspitzen der Prämolaren und Eckzähne statt. Diese Entwicklungsperiode bietet daher die günstigsten Möglichkeiten, sich orthopädisch in die Periode des lebhaftesten Wachstums im Alveolarknochen einzuschalten. Wie die Anfangsmodelle (Abb. 89a), läßt auch die seitliche Fernröntgenaufnahme (Abb. 91a) einen ausgeprägten Platzmangel im dentoalveolären Bereich erkennen. Besonders bemerkenswert ist, daß die vordere Kontur des Unterkiefers eine leichte Konvexität aufweist, ein Befund, der in diesem Entwicklungsstadium fast regelmäßig festzustellen ist. Auffallend gering ist der Abstand zwischen dem Punkt B zu dem vorderen Rand des Ramus. Hierdurch wird ein ausgeprägtes Defizit der dentoalveolären Entwicklung in sagittaler Richtung angezeigt. Die zweite Fernröntgenaufnahme, die 2 Jahre und 2 Monate nach Abschluß der Retention gefertigt wurde, läßt eine ganz erhebliche Nachentwicklung des Alveolarfortsatzes in sagittaler Richtung erkennen (Abb. 91b). Damit konnte Platz für die Molaren geschaffen und die anfängliche Raumenge überwunden werden. Mit der sagittalen Entwicklung des dentoalveolären Fortsatzes ging eine ganz erhebliche Verlängerung des Corpus mandibulae einher. Die Überdeckung der Durchzeichnungen der ersten und letzten Fernröntgenaufnahme (Abb. 91c) zeigt, daß während der Behandlung erhebliche Umbauprozesse im gesamten Unterkieferbereich stattgefunden haben. Dabei kam es zu einer Dorsalverlagerung des gesamten Ramus. Hierbei sollte man immer daran denken, daß sich diese erhebliche Nachentwicklung des Unterkiefers nur durch die Wirkung der vestibulären Plattenelemente des Funktionsreglers erklären läßt, d. h. durch die Weitung der zirkumoralen Weichteilkapsel. Auf die Umbauprozesse an der Nahtstelle zwischen Corpus mandibulae und Ramus und ihrer Bedeutung für die Nachentwicklung des Unterkiefers wird im nächsten Kapitel noch näher eingegangen. Die seitlichen Fernröntgenaufnahmen (Abb. 91a und b) zeigen, daß nicht nur die Entwicklung des Unterkiefers, sondern auch die des Mittelgesichts günstig beeinflußt werden konnte. Auffallend ist die stattgefundene Pneumatisation des Sinus maxillaris wie aber auch des Sinus frontalis.

## 12.4 Längsschnittuntersuchungen

### *12.4.1 Der Effekt der Bukkalschilde des Funktionsreglers auf die Durchbruchsrichtung der bleibenden unteren Eckzähne und Prämolaren*

Die Ergebnisse dieser Untersuchung wurden von *Fränkel, Müller* und *Falck* im Amer. J. Orthodont. (92: 109–116, 1987) veröffentlicht.

Das Patientengut bestand aus 113 Kindern, bei denen ein starker Engstand im Unterkieferzahnbogen vorlag. 84 Probanden wurden mit dem Funktionsregler behandelt, während 29 unbehandelte Fälle als Kontrollgruppe dienten. Bei der Auswahl des Untersuchungsguts war das wichtigste Kriterium, daß die vorliegenden okzipitofrontalen Fernröntgenaufnahmen eine exakte Identifikation der bukkalen Konturen der unteren Eckzähne und Prämolaren während der Beobachtungszeit zuließen. Der Durchbruch der unteren Eckzähne und Prämolaren wurde über einen Zeitraum von durchschnittlich 5 Jahren beobachtet, und zwar im Alter von 8 bis 13 Jahren. In beiden Gruppen wurden während der Beobachtungszeit keine bleibenden Zähne extrahiert.

Die Fernröntgenaufnahmen wurden bei Kieferschluß in zentraler Okklusion genommen. Der Abstand zwischen Focus und Film betrug 3,75 m. Diese große Distanz ermöglicht eine genaue Identifikation der bukkalen Konturen der durchbrechenden Zähne. Alle Messungen wurden an den Fernröntgenaufnahmen direkt vorgenommen. Um den Aufrichtungsprozeß während des Durchbruchs der unteren Eckzähne und Prämolaren feststellen zu können, wurden die Distanzveränderungen zwischen den Kronenspitzen (T) und den Wurzelmeßpunkten (R), die an der untersten bukkalen Kontur der sich bildenden Wurzelspitzen bestimmt wurden, gemessen (Abb. 92). Bei der Analyse der ersten Röntgenaufnahmen ergab sich zwischen der mit dem Funktionsregler behandelten Gruppe und der Kontrollgruppe kein signifikanter Unterschied. So war das Fernröntgenmaterial beider Gruppen identisch und erfüllte die Voraussetzungen für einen statistischen Vergleich.

In der Tabelle 3 sind die Weitungen zwischen den Bezugspunkten der ersten Unterkieferprämolaren während der Eruption wiedergegeben. Bei den mit Funktionsreglern behandelten Fällen konnte eine signifikant größere Weitung als bei

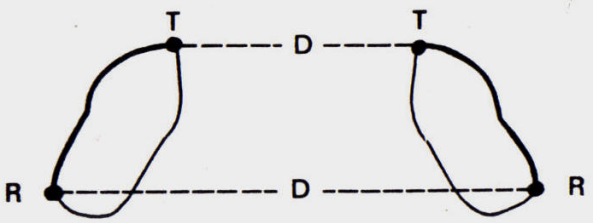



**Abb. 92.** Zur Erfassung der Weitung wurden die Distanzen (D) zwischen den Kronenspitzen der Eckzähne bzw. der bukkalen Höckerspitzen der ersten Prämolaren (T) und zwischen den an der Außenfläche der Wurzeln dieser Zähne markierten Radixpunkten (R) gemessen

**Tabelle 3.** Vergrößerung der Distanz zwischen den Kronenspitzen (T) und den Referenzpunkten an den Wurzeln der unteren ersten Prämolaren (R) in der FR-Gruppe und der Vergleichsgruppe in mm und der biostatistische Vergleich der Unterschiede mit dem t-Test

| | | $T_1$ | | $T_2$ | | Diff. | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Parameter | n | $\bar{x}$ | s | $\bar{x}$ | s | $\bar{x}$ | s | Signifikanz |
| **bukkale Kronenspitzen** | | | | | | | | |
| FR-Gruppe | 84 | 32,0 | 2,2 | 36,1 | 1,8 | 4,1 | 2,54 | xxx |
| Vergleichsgruppe | 29 | 33,8 | 2,8 | 34,4 | 2,1 | 0,6 | 2,54 | |
| **Wurzelpunkte (R)** | | | | | | | | |
| FR-Gruppe | 84 | 38,5 | 2,1 | 41,5 | 1,8 | 3,0 | 2,9 | xxx |
| Vergleichsgruppe | 29 | 39,2 | 2,5 | 40,3 | 2,3 | 1,1 | 2,3 | |

$T_1$ = Anfangswerte $T_2$ = Endwerte
xxx = $p < 0{,}001$

den unbehandelten Kindern festgestellt werden. Diese unterschiedliche Breitenentwicklung im dentoalveolären Bereich war statistisch hoch signifikant, wie aus der Tabelle 3 zu ersehen ist.

Bei dieser Untersuchung wurden auch die seitlichen Fernröntgenaufnahmen ausgewertet. Die kephalometrische Vermessung erfolgte unter der Zugrundelegung der von *Björk* angegebenen stabilen Referenzstrukturen im Bereich der Symphyse und des Mandibularkanals (Abb. 93). Hierbei ergab sich, daß die vestibulären Schilde des Funktionsreglers die dentoalveoläre Entwicklung nicht nur in der Lateralen, sondern auch in der Vertikalen und Sagittalen günstig beeinflußte (Tabellen 4 und 5). Die Distanz zwischen den Spitzen der Eckzähne (T1; T2) und der basalen Referenzlinie Sy-Cm vergrößerte sich während der Eruption in der Behandlungsgruppe um 16,6 mm. Bei der unbehandelten Vergleichsgruppe bewegten sich die Spitzen der unteren Eckzähne während ihres Durchbruchs wesentlich stärker nach distal als in der mit Funktionsreglern behandelten Gruppe (Tabelle 5). Zusammenfassend kann gesagt werden, daß der Funktionsregler den Eruptionsweg der unteren Eckzähne und Prämolaren in lateraler, anteroposteriorer und vertikaler Dimension beeinflußt.

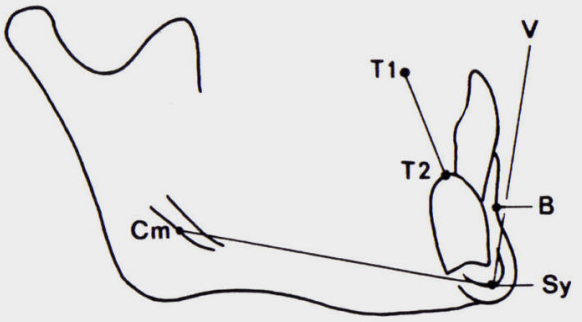



**Abb. 93.** Zur Feststellung der sagittalen und vertikalen Veränderungen im dentoalveolären Bereich wurden die stabilen Strukturen nach Björk verwendet. Auf der Verbindungslinie zwischen Cm (Mandibularkanal) und Sy (innere Strukturen der Symphyse) wurde im Punkt Sy die Senkrechte V errichtet

**Tabelle 4.** Vertikale Lageveränderungen (mm) der Kronenspitzen der unteren Eckzähne (T) zur Bezugsebene Sy-Cm (s. Abb. 93) während der Eruption in der FR-Gruppe und der Vergleichsgruppe

| Parameter | n | $T_1$ | | $T_2$ | | Diff. | | Signifikanz |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $\bar{x}$ | s | $\bar{x}$ | s | $\bar{x}$ | s | |
| **Eckzahnspitzen (T)** | | | | | | | | |
| FR-Gruppe | 84 | 14,8 | 2,7 | 31,4 | 3,1 | 16,6 | 3,4 | xx |
| Vergleichsgruppe | 21 | 16,0 | 2,9 | 30,7 | 3,4 | 14,7 | 3,4 | |

$T_1$ = Anfangswerte $T_2$ = Endwerte
xx = $p < 0{,}05$

**Tabelle 5.** Sagittale Veränderung der Distanz zwischen den Eckzahnspitzen (T) und der Senkrechten (V) (s. Abb. 93) während der Eruption in der FR-Gruppe und der Vergleichsgruppe

| Parameter | n | $T_1$ | | $T_2$ | | Diff. | | Signifikanz |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $\bar{x}$ | s | $\bar{x}$ | s | $\bar{x}$ | s | |
| **Eckzahnspitzen (T)** | | | | | | | | |
| FR-Gruppe | 84 | 10,3 | 2,2 | 14,0 | 2,9 | 3,7 | 2,6 | xxx |
| Vergleichsgruppe | 21 | 10,9 | 1,7 | 16,8 | 3,3 | 5,9 | 3,2 | |

$T_1$ = Anfangswerte $T_2$ = Endwerte
xxx = $p < 0{,}001$

Einzelheiten dieser Untersuchung bitten wir in dem im Amerikanischen Journal veröffentlichten Artikel nachzulesen.

### *12.4.2 Langzeitbeobachtung zur Bewertung der Stabilität der mit Funktionsreglern erzielten Weitung der dentoalveolären Bögen*

Diese Studie wurde von Frau *Dipl. med. Schneider* in unserer Klinik durchgeführt. Als Untersuchungsmaterial dienten die Anfangs- und Schlußmodelle von 80 Patienten mit ausgeprägter transversaler Entwicklungshemmung der oberen und unteren Zahnbögen. Bei der Behandlung dieser Patienten wurde keine andere Apparatur als der FR-1 oder FR-2 angewandt. Voraussetzung für die Aufnahme in das Untersuchungsgut war eine gute bzw. befriedigende Kooperation während der Behandlung und Retention. Bei Beginn der Langzeitstudie waren die Patienten im Durchschnitt 8 Jahre, 1 Monat alt.

Die aktive Behandlungsphase, in der der Funktionsregler zumindest 8 Stunden am Tage und nachts getragen werden sollte, betrug 2 Jahre, 8 Monate. Die Dauer der sich anschließenden Retentionszeit, in der der Funktionsregler im wesentlichen nur 1 bis 2 Stunden nachmittags und in der Nacht getragen wurde, betrug im Durchschnitt 2 Jahre, 9 Monate. Die Schlußmodelle wurden in einem Alter von durchschnittlich 18 Jahren, 3 Monaten angefertigt. Zu diesem Zeitpunkt war der zuletzt getragene Funktionsregler im Durchschnitt 4 Jahre, 8 Monate abgesetzt worden, d. h., nach Abschluß der Retention wurde kein Gerät mehr getragen.

Bei der Vermessung wurden die von *Petrik* (1960) angegebenen Bezugspunkte im Seitenzahngebiet angewandt. Zur Vermeidung von fehlerhaften Aussagen wurden die Modelle 3mal vermessen, und zwar nach Geschlechtern getrennt. In den Tabellen 6 und 7 sind die am Ende der

**Tabelle 6.** Die mit dem FR erreichten Dehnwerte (mm) bei Abschluß der Retention und 4 Jahre, 8 Monate danach im Oberkieferbereich

| | | | Dehnwerte am Ende der Retention | | Dehnwerte 4J. 8M. nach Retentionsabschluß | | Rückgang | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Geschlecht | Zähne | n | $\bar{x}$ | s | $\bar{x}$ | s | $\bar{x}$ | s |
| weiblich | $\underline{4-4}$ | 37 | 5,3 | 1,7 | 3,7 | 1,5 | −1,6 | 0,9 |
| männlich | $\underline{4-4}$ | 34 | 5,5 | 1,7 | 4,7 | 1,9 | −0,8 | 1,4 |
| weiblich | $\underline{6-6}$ | 45 | 5,0 | 1,7 | 3,7 | 1,6 | −1,3 | 1,3 |
| männlich | $\underline{6-6}$ | 35 | 5,6 | 1,5 | 4,8 | 1,8 | −0,8 | 1,0 |

**Tabelle 7.** Die mit dem FR erreichten Dehnwerte (mm) bei Abschluß der Retention und 4 Jahre, 8 Monate danach im Unterkieferbereich

| | | | Dehnwerte am Ende der Retention | | Dehnwerte 4J. 8M. nach Retentionsabschluß | | Rückgang | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Geschlecht | Zähne | n | $\bar{x}$ | s | $\bar{x}$ | s | $\bar{x}$ | s |
| weiblich | $\underline{4-4}$ | 27 | 3,3 | 1,4 | 2,2 | 1,3 | −1,1 | 0,7 |
| männlich | $\underline{4-4}$ | 23 | 4,0 | 2,0 | 2,9 | 2,4 | −1,1 | 1,4 |
| weiblich | $\underline{6-6}$ | 31 | 3,7 | 1,7 | 2,9 | 1,8 | −0,8 | 0,9 |
| männlich | $\underline{6-6}$ | 28 | 3,9 | 1,5 | 3,6 | 2,1 | −0,3 | 1,3 |

Retention festgestellten Weitungen der Zahnbögen und das Rezidiv der Expansionswerte 4 Jahre, 8 Monate nach Abschluß der Retention angegeben. Bei der Bewertung dieser Untersuchungsergebnisse sollte nicht übersehen werden, daß am Ende der Retentionszeit eine erhebliche Weitung der oberen Zahnbögen gemessen wurde, die bei den männlichen Probanden etwa 5,5 mm, bei den weiblichen 5,2 mm betrug. Im Unterkieferbereich waren die Dehnwerte etwas geringer, betrugen aber bei den männlichen Probanden im Durchschnitt 4 mm. Es fand also nach der Behandlung und Retention eine erhebliche Weitung der Zahnbögen statt. 4 Jahre, 8 Monate nach Abschluß der Retention verminderte sich die im Oberkieferbereich gemessene Expansion um 0,8 mm bzw. 1,6 mm, im Unterkiefer um 0,3 bzw. 1,1 mm. Das Rezidiv war bei den weiblichen Probanden etwas größer als bei den männlichen. Dieser Unterschied ist verständlich, wenn man bedenkt, daß die Weite der Zahnbögen bei den weiblichen Probanden in der Regel geringere Werte aufweist als bei den männlichen. So ließe sich der etwas größere Rückgang der Zahnbogenweitung bei den weiblichen Probanden als Folge einer Überexpansion erklären. Da die letzten Messungen im durchschnittlichen Alter von 18 Jahren, 3 Monaten durchgeführt wurden, lassen die Untersuchungsergebnisse den Schluß zu, daß die mit dem Funktionsregler erreichten Weitungen der im genetischen Plan vorgesehenen individuellen Entwicklung des Gebisses entsprechen.

### *12.4.3 Die Problematik der Kinnentwicklung beim Menschen; eine vergleichende fernröntgenologische Longitudinaluntersuchung*

Diese Studie wurde von Herrn Dipl. Stomat. *Udo Löffler* (1988, 1990) im Rahmen einer Promotion A durchgeführt.

Als Untersuchungsmaterial dienten die lateralen Fernröntgenaufnahmen von 90 ausschließlich mit Funktionsreglern behandelten Patienten mit mandibulärer Retrognathie. Das Durchschnittsalter betrug bei Beginn der Untersuchung 7,7 Jahre, bei Untersuchungsabschluß 16,1 Jahre. Die letzten Messungen wurden durchschnittlich 2,7 Jahre nach Abschluß der Retention vorgenommen. Als Kontrollgruppe dienten 60 unbehandelte Probanden mit mandibulärer Retrognathie, die über einen durchschnittlichen Zeitraum von 8,3 Jahren beobachtet wurden. Während der Untersuchung wurden in beiden Gruppen keine bleibenden Zähne extrahiert. Als Referenzbasis für die kephalometrische Analyse dienten die wachstumsstabilen Strukturen im Unterkieferbereich, wie sie von *Björk* (1969) vorgeschlagen wurden. Zur Vermessung der Veränderungen der vorderen Unterkieferkontur wurde das gleiche Koordinatensystem wie in der vorhergehenden Längsschnittuntersuchung verwendet (s. Abb. 93). Als zu vermessende Parameter dienten die Abstände zwischen der vertikalen Achse des Koordinatensystems und dem Pogonion bzw. dem Punkt B. Die Veränderungen dieser Parameter im Untersuchungszeitraum sind in der Tabelle 8 wiedergegeben. Der Abstand zwischen der vertikalen Achse und dem Pogonion vergrößerte sich in beiden Gruppen nur geringfügig. Das heißt, am Vorderrand des Kinns fand nur eine geringfügige Knochenapposition statt, was sich mit den Untersuchungen von *Björk* (1963) und *Enlow* und *Harris* (1964) deckt. Im Gegensatz dazu ergab sich zwischen der Funktionsreglergruppe und der Kontrollgruppe in bezug auf die Veränderung des Parameters Vertikale-Punkt B ein hoch signifikanter Unterschied. Eine Erklärung hierfür läßt sich nicht auf eine aktivmechanische Wirkung des Geräts, sondern auf die abschirmende Wirkung der vestibulären Plattenelemente des Funktionsreglers zurückführen, mit denen der hemmende Effekt des zirkumoralen Mus-

**Tabelle 8.** Durchschnittliche Veränderungen ($\bar{x}$) des Abstandes Pogonion-Vertikale und B-Punkt-Vertikale zwischen Anfangs- und Endwerten der Funktionsregler- (FR) und Kontrollgruppe (K) bei einem durchschnittlichen Untersuchungszeitraum von 8,3 Jahren

| Parameter | | n | $\bar{x}$ (mm) | s | Diff. | Sig. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Pg-Vertikale | FR-Gruppe | 90 | 0,3 | 0,3 | 0,1 | n.s. |
| | K-Gruppe | 60 | 0,2 | 0,3 | | |
| B-Punkt-Vertikale | FR-Gruppe | 90 | 0,4 | 0,8 | 2,3 | xxx |
| | K-Gruppe | 60 | 2,7 | 1,1 | | |

n.s. = nicht signifikant
xxx = $p < 0{,}001$

kelbandes auf die dentoalveoläre Entwicklung eliminiert wurde. Die bei der unbehandelten Vergleichsgruppe festgestellte Kinnprominenz ist daher als dentoalveoläre Entwicklungshemmung in der Sagittalen zu werten. Diese Erklärung wird durch die Untersuchungen von *Berg* und *Gebauer* (1982) gestützt. In Fällen, bei denen wegen starken Engstands im Frontsegment die unteren ersten Prämolaren entfernt worden waren, hatten sich die Extraktionslücken nach 6monatiger Beobachtungszeit etwa um eine halbe Prämolarenbreite verkleinert, und zwar zu 80% durch die Distalwanderung der Eckzähne. Dieses Untersuchungsergebnis deutet auf eine Kraft hin, die sich in dorsaler Richtung auf das untere dentoalveoläre Frontsegment auswirkt. Da bei dieser Untersuchung jede direkte mechanische Einwirkung auf die unteren Zähne vermieden wurde, kann die spontane Distalbewegung der unteren Eckzähne nur in einem ursächlichen Zusammenhang mit den perioralen Weichteilen gesehen werden, deren Spannung sich in eine dorsal gerichtete Druckwirkung umsetzt. Die Tatsache, daß die Extraktionslücke nur zu 20% durch eine Mesialwanderung der unteren zweiten Prämolaren zustande kam, widerspricht der weitverbreiteten Auffassung, daß der Zahnengstand im Unterkiefer sich vor allem durch das Mesialdriften der unteren Seitenzähne erklärt.

### *12.4.4 Abschließende Bemerkungen zur klinischen Problematik dentoalveolärer Fehlentwicklungen*

Bereits im Jahre 1923 hat *Lundström* mit Nachdruck darauf hingewiesen, daß eine Expansion des Zahnbogens in lateraler oder sagittaler Richtung nur dann von Bestand bleiben kann, wenn sie mit einer entsprechenden Nachentwicklung der apikalen Basis einhergeht. Seine Formulierung: „Orthodontische Probleme sind Probleme der apikalen Basis", hat heute noch volle Gültigkeit, sofern es um die Behandlung des Engstands im dentoalveolären Bogen des Unterkiefers geht. Untersuchungen haben gezeigt, daß nach Durchbruch der bleibenden Zähne eine Beeinflussung der unteren Alveolarbasis nicht mehr möglich ist. Auch die modernen festsitzenden Geräte sind nicht in der Lage, die apikale Basis des Unterkiefers nach Durchbruch der unteren Eckzähne und Prämolaren nachzuentwickeln. Dehnen und Strecken des Unterkieferzahnbogens im bleibenden Gebiß ist das Ergebnis von Zahnkippungen, was unweigerlich zum Rezidiv führt. *Nance* (1947), *Strang* (1949), *Tweed* (1966) und andere Autoren kamen zu der Schlußfolgerung, daß der Platzmangel im unteren Zahnbogen nur mit Hilfe der Extraktionstherapie behoben werden könne. Sie empfahlen, bei einer Diskrepanz zwischen Zahnbo-

gengröße und Zahngröße zu extrahieren. Sie glaubten, damit das Problem des Platzmangels gelöst zu haben. Diese Begründung der Extraktionstherapie erscheint durchaus logisch. Es besteht keine Frage, daß nach Extraktion von vier Prämolaren ausreichend Platz geschaffen werden kann, um die übrigen Zähne aus dem Engstand in eine normale Zahnbogenform zu bewegen. Damit glaubte man, die Voraussetzung für ein stabiles Ergebnis der orthodontischen Behandlung erfüllt zu haben.

Diese Annahme hat jedoch der Überprüfung durch Nachuntersuchungen abgeschlossener Fälle nicht standgehalten. Neuerliche Untersuchungen von *Little* und Mitarbeitern (1981), *Uhde* und Mitarbeitern (1983), *Shields* und Mitarbeitern (1985) sowie anderen Autoren haben nachgewiesen, daß in 70% der Fälle, bei denen vier Prämolaren extrahiert und die mit Hilfe der Edgewise-Technik erfolgreich behandelt worden waren, mehrere Jahre nach Abschluß der Retention der Engstand im Unterkiefer rezidivierte. *Little, Riedel* und *Artun* (1988) sind der Ansicht, daß das Rezidiv des Engstands im unteren Zahnbogen nur durch eine Dauerretention vermieden werden könne. Viele Autoren stellen resignierend fest, daß man sich mit dem Rezidiv des Engstands abfinden müsse. Das Rezidiv des Engstands wird heute als „tertiärer Engstand" bezeichnet, der beim rezenten Menschen als ein letztes Stadium der Gebißentwicklung aufzufassen sei.

Bei der Würdigung der Verdienste *Angles* um unser Fachgebiet ist übersehen worden, daß er uns den Weg für eine ursächliche Erklärung des Rezidivs gewiesen hat. Er war der erste in unserem Fachgebiet, der die Bedeutung funktioneller Einflüsse auf die Morphogenese im Kiefer-Gebiß-Bereich erkannt hat, worauf wir bereits im Kapitel 6 eingegangen sind. Der Wandel von einem morphologisch-mechanistischen Konzept zur funktionellen Orthopädie der Gebißanomalien, den er am Ende seiner Forschungstätigkeit vollzog, zeugt von der Größe dieses Genies. Unsere Behandlungsergebnisse bestätigen seine Auffassung, daß der Platzmangel, die Entwicklungshemmungen im dentoalveolären Bereich, einer ursächlichen Klärung nur dann zugeführt werden können, wenn funktionelle Einflüsse als Kausalfaktoren mit einbezogen werden. Der Zahnengstand beinhaltet nicht nur ein morphologisches Problem, ist nicht auf ein genetisch prädeterminiertes Mißverhältnis zwischen Zahngröße und Alveolarfortsatzgröße zurückzuführen, sondern muß immer im Zusammenhang mit der Größe des oralen Funktionsraums gesehen werden. Eine Einengung des oralen Funktionsraums steht aber im Kausalzusammenhang mit einer ungenügenden Größenentwicklung der äußeren Weichteilkapsel, wobei hypertonische Funktionsmuster der kapsulären Muskulatur ursächlich eine wichtige Rolle spielen. Der Funktionsregler versetzt uns in die Lage, unphysiologische Raumbedingungen wie aber auch abwegige tonische Funktionsmuster zu korrigieren und uns damit im Sinne einer Kausaltherapie zu engagieren. Auf diese Arbeitshypothese führen wir den Erfolg und die Stabilität der orthopädischen Umformung im dentoalveolären Bereich zurück.

# 13 Der Funktionsregler bei der Behandlung der mandibulären Retrusion

## 13.1 Die Bedeutung skelettaler Diskrepanzen für die Entstehung des Distalbisses

Nach *Sicher* (1947) müssen die Knochen des Hirnschädels und des Viszeralskeletts biologisch als eine Einheit gesehen werden. Demnach ließe sich der Schädel in zwei Teile zergliedern: 1) den beweglichen Unterkiefer, 2) alle anderen Schädelknochen, die durch Suturen bzw. Synchondrosen zu einem einzigen Knochengebilde zusammengefügt sind. *Sicher* hat darauf hingewiesen, daß sich Wachstum und Entwicklung des Unterkiefers eigengesetzlich vollziehen. Diese unterschiedliche Entwicklung zwischen Unterkiefer und den übrigen Teilen des Schädelskeletts wird besonders offenkundig beim Vorliegen der Chondrodystrophie. Bei dieser Mißbildung ist die Entwicklung der Schädelbasis gehemmt, wodurch die sagittale Entwicklung des Mittelgesichts betroffen ist. Im Gegensatz dazu entwikkelt sich der Unterkiefer zu normaler Größe. Das Mittelgesicht liegt in diesen Fällen zurück, so daß es zu einem „flachen" Gesichtsprofil bzw. zum Erscheinungsbild der sogenannten „unechten Progenie" kommt. *Sicher* ist der Ansicht, daß bei einer normalen Entwicklung der Schädelbasis und des Mittelgesichts die wesentliche Ursache für die Entstehung des Distalbisses in einer Fehlentwicklung des Unterkiefers zu suchen sei. Diese Auffassung deckt sich mit den Untersuchungsergebnissen von *McNamara* (1981). Danach ist der Distalbiß in der Regel nicht als die Manifestation einer übermäßigen Entwicklung des Oberkiefers, sondern einer mandibulären Entwicklungshemmung zu werten. Diese Annahme erscheint als durchaus begründet, wenn man bedenkt, daß das Mittelgesichtsskelett direkt oder indirekt fest mit der Schädelbasis verbunden ist. Wachstum und Entwicklung des Viszeralskeletts oberhalb des Nasenbodens werden daher im wesentlichen von genetischen Faktoren bestimmt, die für die sagittale Entwicklung der vorderen Schädelbasis verantwortlich sind.

Wir sind der Ansicht, daß der SNA-Winkel für die Erstellung eines Behandlungsplanes in Fällen der Angle-Klasse II keine verläßlichen Aussagen zu geben vermag. Ein über die Durchschnittsnorm vergrößerter SNA-Winkel kann durchaus das Symptom eines individuellen skelettalen Entwicklungsmusters sein. Keinesfalls kann von der Vergrößerung dieses kephalometrischen Winkelwerts die Anwendung der extraoralen Technik abgeleitet werden. In vielen Fällen würde eine solche orthopädische Maßnahme dem Charakter einer Entwicklungshemmung entsprechen, d. h. vektoriell einen Wachstumsstopp bedeuten („working against growth").

Beim Neugeborenen befindet sich der Unterkiefer in einer Rücklage. In einer

neuerlichen Untersuchung hat *Miethke* (1978) festgestellt, daß die Durchschnittsnorm der mandibulären Retrusion beim Neugeborenen 4 mm beträgt. Im Verlauf der postnatalen Entwicklung ist die Vorverlagerung des Unterkiefers Voraussetzung für die Einstellung normaler intermaxillärer Beziehungen. Eine mandibuläre Retrusion in späteren Entwicklungsstadien ließe sich daher ursächlich auf eine ausgebliebene Translation des Unterkiefers in rostraler Richtung zurückführen. Wir sind der Ansicht, daß das Ausbleiben dieses wichtigen Verlagerungsprozesses im Zusammenhang mit der Aufhängemuskulatur gesehen werden muß, die für die Lage des Unterkiefers verantwortlich ist. Auf diese Zusammenhänge zwischen Form und Funktion wird später noch ausführlich eingegangen.

## 13.2 Die Bedeutung des kondylären Wachstums für die Kieferorthopädie

In den letzten drei Jahrzehnten hat die Frage, ob eine mandibuläre Retrusion mit Hilfe der sogenannten „funktionskieferorthopädischen Geräte" erfolgreich, d. h. durch eine Nachentwicklung des Unterkieferbasalbogens behandelt werden könne, zu regen und kontroversen Diskussionen geführt. Hierbei haben sich die Vertreter einer funktionellen Therapie auf die Ergebnisse der Forschung gestützt. In einem Übersichtsreferat ist *Fränkel* (1986) auf die wichtigsten Ergebnisse der experimentellen Biologie, die sich mit dem kondylären Wachstum befaßt hat, eingegangen. Danach unterscheidet sich die kondyläre Wachstumszone in bezug auf den histologischen Aufbau und die Wachstumsdynamik grundlegend von den Wuchsknorpeln des Rumpf- und Gliedmaßenskeletts. Die Prozesse der Zellteilung und Histodifferenzierung, die von den mesenchymähnlichen Gewebestrukturen der kondylären Wachstumszone ihren Ausgang nehmen, sind die charakteristischen Merkmale des dynamischen Wachstumsgeschehens. Ohne den Zellnachschub aus der Prächondroblastenzone kann der Verlust der Knorpelzellen, der bei der enchondralen Ossifikation durch Chondroklasie entsteht, nicht gedeckt werden. Zellproliferation und Histodifferenzierung in der Prächondroblastenzone bestimmen daher weitgehend das Ausmaß der enchondralen Ossifikation und damit der Längenentwicklung des Unterkieferbasalbogens.

Strukturell und mit Bezug auf die Fähigkeit zu kompensatorischem bzw. adaptivem Wachstum ist die Prächondroblastenzone der „Kambiumschicht" des Periosts sehr ähnlich, mit dem Unterschied, daß sich die pluripotenten Zellen des Periosts zu Osteoblasten und die der kondylären Wachstumszone zu Chondroblasten differenzieren. Nach dem derzeitigen Stand der Forschung kann es keine Zweifel mehr geben, daß die Wachstumsprozesse am Kondylus stimuliert werden können. Dies ist durch den Nachweis einer erhöhten Zellteilung (*Petrovic* et al. 1973) und der verstärkten Längenentwicklung des Unterkiefers mit Hilfe der Implant-Methode (*McNamara* 1972; 1980) eindeutig belegt worden.

Die klinische Bedeutung dieser experimentellen Forschungsergebnisse läßt sich aus der Tatsache ableiten, daß die Strukturen der kondylären Wachstumszone in ihrem histologischen Aufbau bei der Ratte wie beim Affen mit denen des Menschen identisch sind. Mit Recht hat *van der Linden* (1971) darauf hingewiesen, daß es sich bei den Prozessen der Proliferation und Histodifferenzierung um „basic processes" handelt, die in analogen Gewebestrukturen bei den niederen Säugetieren genauso ablaufen wie bei den Primaten. Hieraus läßt sich ableiten, daß wir das kondyläre Wachstum auch beim Menschen stimulieren können, sofern es uns gelingt, die biomechanischen Bedingungen in der Umgebung des Kondylus in gleicher Weise zu verändern, wie das im

Tierexperiment erfol[illegible]. Es läßt sich daher schlußfolgern, daß die Ergebnisse der experimentellen Forschung neue Wege für eine erfolgversprechende Behandlung der mandibulären Retrognathie weisen. So sah man in der Rostralverlagerung des Unterkiefers mit Hilfe des Aktivators und seiner Modifikationen eine reale Möglichkeit, die kondyläre Wachstumszone zu stimulieren. Damit glaubte man das Problem einer Nachentwicklung des Unterkieferbasalbogens klinisch gelöst zu haben.

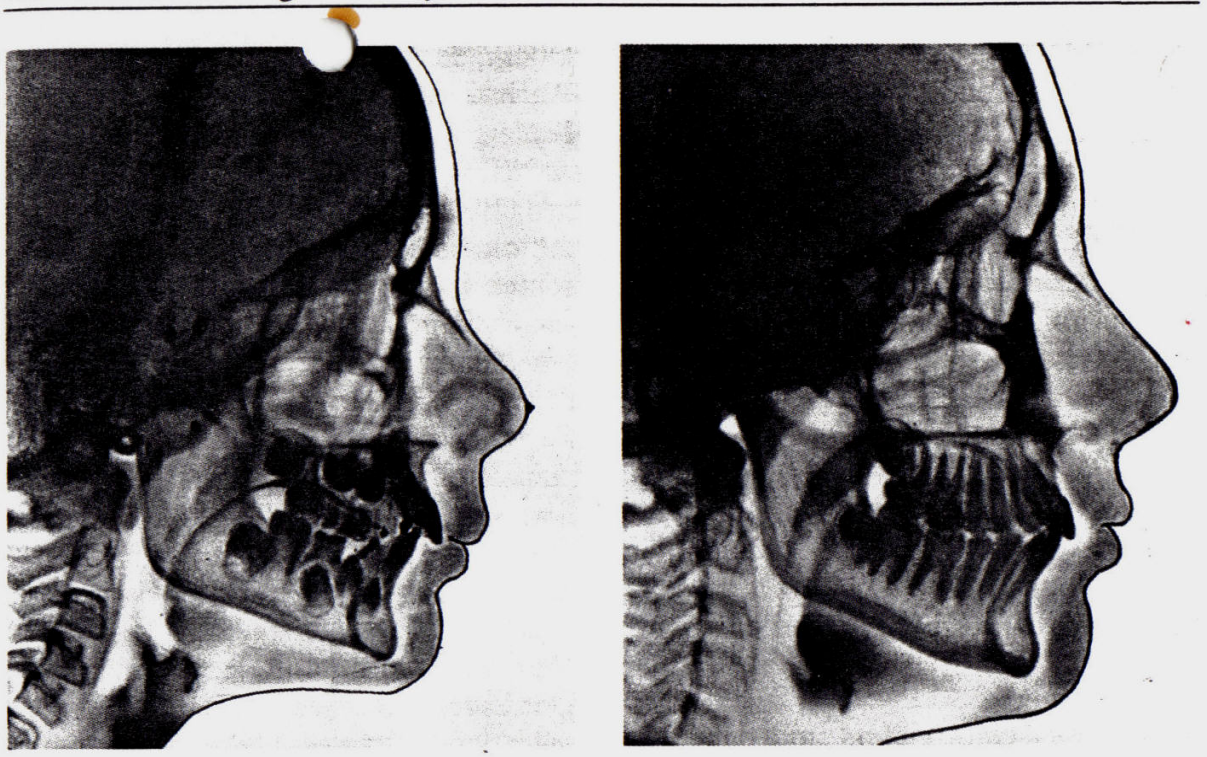
Der Kieferorthopäde sollte aber bedenken, daß sich eine Biopsie am behandelten Patienten verbietet. Er ist daher nicht in der Lage, durch histologische Untersuchungen oder numerische Bestimmung der Zellteilung die Stimulation der Wachstumsvorgänge am Kondylus seiner Patienten nachzuweisen. Dies gilt um so mehr, als eine mögliche Nutzanwendung experimenteller Forschungsergebnisse auch heute noch kontrovers diskutiert wird. Neuerliche Untersuchungen von *Copray, Jansen* und *Duterloo* (1985) haben gezeigt, daß biomechanische und biophysikalische Faktoren bei der Regulation der kondylären Wachstumsprozesse eine wichtige Rolle spielen. Man sollte sich aber größte Zurückhaltung auferlegen, die Termini der experimentellen Forschung bei der Erklärung klinischer Phänomene bedenkenlos zu übernehmen.

In der Vergangenheit hat man die Funktion des M. pterygoideus lateralis als biomechanischen Wirkungsfaktor eine vorrangige Bedeutung bei der Regulation der kondylären Wachstumsprozesse beigemessen. Die Untersuchungen von *Whetten* und *Johnston* (1985) haben jedoch gezeigt, daß dieser Muskel bei den im Experiment verwendeten Ratten keinesfalls als der entscheidende Regulationsfaktor gewertet werden kann. So kommen diese Autoren zu dem Schluß, daß jede biomechanische „Entlastung" des Kondylus, wie sie durch die Verlagerung des Unterkiefers nach rostral und kaudal zustande kommt, das Wachstumsgeschehen in der kondylären Wachstumszone zu stimulieren vermag. In Revision ihrer früheren Ansicht schlossen sich *Petrovic* und Mitarbeiter (1982) dieser Meinung an. Das heißt, der M. pterygoideus lateralis ist nur ein Faktor unter vielen möglichen anderen, die sich biomechanisch im Gelenkbereich wachstumsregulierend auswirken können. Auch *McNamara* und *Carlson* (1979) messen diesem Muskel keine monokausale Bedeutung bei und glauben, daß alle Faktoren, die die biomechanischen und biophysikalischen Umstände in der Gelenkregion verändern, das kondyläre Wachstum stimulierend oder retardierend beeinflussen können.

*Kremenak* (1972) hat anläßlich der Kraniofazialen Konferenz in Nijmegen mit Nachdruck betont, daß wir uns bei der Erforschung des kraniofazialen Wachstums noch im Anfangsstadium befinden. Wenn wir die Ergebnisse der experimentellen Biologie klinisch nutzen wollen, so müssen wir von der Tatsache ausgehen, daß jede kieferorthopädische Therapie, ganz gleich welches Apparatesystem wir benutzen, eine mechanische Intervention darstellt. Aus diesem Grunde sind nur biomechanische und biophysikalische Aspekte der experimentellen Forschung von realer klinischer Bedeutung. In dieser Sicht verdienen die Tierexperimente, bei denen die Unterkieferlage durch intraorale Geräte verändert wurde, unsere besondere Beachtung. *Stöckli* und *Willert* (1971), *McNamara* (1973), *McNamara* und Mitarbeiter (1975), *McNamara* und *Carlson* (1979), *Petrovic* und Mitarbeiter (1975), *Petrovic* und *Stutzmann* (1977), *Petrovic* und Mitarb. (1981), *McNamara* und *Bryan* (1987) und andere Autoren haben nachgewiesen, daß mit den verwendeten Vorschubgeräten eine Stimulation der kondylären Wachstumsprozesse erreicht werden kann. Es ist *Stöckli* (1973) hoch anzurechnen, daß er sich anläßlich des Kieferorthopädischen Weltkongresses in London bei der Diskussion der klinischen Umsetzung seiner experi-

mentellen Ergebnisse größte Zurückhaltung auferlegte. Aus einem Tierversuch, bei dem normale Kiefer-Gebiß-Verhältnisse im Sinne einer gnathischen Fehlentwicklung verändert wurden, könne man nicht simple Rückschlüsse für eine kieferorthopädische Nutzanwendung ziehen. Außerdem darf man nicht übersehen, daß sich Kiefer und Gebiß der Versuchstiere morphologisch wie aber auch in bezug auf die mastikatorische Funktion von denen des Menschen wesentlich unterscheiden. Dies gilt besonders für die Ratte, deren mastikatorischer Apparat die Funktion des Nagens zu versehen hat. Jede Vorverlagerung des Unterkiefers führt reflektorisch zu einer erhöhten Aktivität der Retraktoren, die die habituelle Unterkieferruhelage wiederherzustellen versuchen. Um ungünstige Auswirkungen der hierbei frei werdenden Kräfte auf das Gebiß auszuschalten, wurden bei den Versuchen mit Affen die Zähne des Ober- und Unterkiefers jeweils durch zementierte Metallschienen zu einem Block zusammengefaßt. Bei der Verwendung des Vorschubgerätes, wie es von *Petrovic* und Mitarbeitern (1975) im Rattenversuch benutzt wird, muß die beachtliche Länge der Schneidezahnwurzeln bedacht werden. Diese reichen mit ihren Wurzelspitzen bis unter die der letzten Molaren, was einen beachtlichen mechanischen Resistenzfaktor darstellt. So kann sich die Kraft der Retraktoren über die im Rattenversuch verwendete schiefe Ebene auf die unteren Schneidezähne nicht protrudierend auswirken. Die Tatsache, daß Zahnbewegungen als Folge der im Tierversuch verwendeten Vorschubgeräte, wenn überhaupt, nur in äußerst geringem Maße beobachtet wurden, ist in ihrer Bedeutung für eine mögliche klinische Nutzanwendung der experimentellen Ergebnisse nicht erkannt worden. Es wurde übersehen, daß bei Verwendung des Aktivators und seiner Modifikationen das Gebiß ungeschient bleibt, und daß die Wurzeln der menschlichen Zähne nicht die gleiche überdimensionierte Länge des Rattenschneidezahns aufweisen. So wirkt sich die Kraft der Retraktoren über die Führungsflächen dieser Geräte im Sinne einer Druckapplikation auf den Einzelzahn aus. Die Untersuchungen von *Graf* (1962) und *Witt* und *Komposch* (1971) haben gezeigt, daß bei einer Vorverlagerung des Unterkiefers um eine Prämolarenbreite die Kraft der Retraktoren, die die habituelle Unterkieferlage wiederherzustellen versuchen, im Durchschnitt 4,9 N (etwa 700 P) beträgt.

Es gibt im menschlichen Skelett keine Struktur, die in bezug auf Plastizität dem Alveolarknochen gleichkommt. Seine Bereitschaft, auf mechanischen Streß mit adaptiven, kompensatorischen Umbauprozessen zu antworten, ist das theoretische Fundament der Orthodontie. Hierauf beruht die Wirksamkeit unserer orthodontischen Geräte bei der Behandlung von Gebißfehlbildungen. Die Untersuchungen von *Weinstein* (1967) haben gezeigt, daß bereits Kräfte von 4 g Stellungsveränderungen der Zähne und Umbauprozesse im Alveolarknochen bewirken können. Die Grundlagen unseres Fachgebiets würden in Frage gestellt, wenn wir bei unseren arbeitshypothetischen Überlegungen die durch den Kontakt des Aktivators mit den Zähnen zustande kommende Druckapplikation ignorieren würden. Nach *Björk* (1972) reagieren die membranösen Wachstumszonen im Alveolarbereich auf den Aktivator viel schneller als die kondyläre Wachstumszone. Diese Ansicht wird durch die Längsschnittuntersuchungen von *Harvold* und *Vargervik* (1971), *Woodside* (1973), *Wieslander* und *Lagerström* (1979), *Janson* (1983), *Pancherz* (1984), *Vargervik* und *Harvold* (1985), *Lieb* und *Schlagbauer* (1972), *Bimler* (1983), *Mills* (1983) und anderen Autoren gestützt. Danach ist eine basale Nachentwicklung des Unterkiefers mit Hilfe der Aktivatoren nur in einem klinisch unbedeutenden Ausmaß möglich. Die wesentlichen Veränderungen während der Behandlung finden im dentoalveolären Be-



a b

**Abb. 94a, b.** Fernröntgenaufnahmen eines Patienten vor (a) und nach Behandlung (b) mit einem offenen Aktivator (*Klammt*). Die mechanische Wirkung des Geräts auf das Gebiß des Unterkiefers ist an der Mesialkippung der unteren Seiten- und Frontzähne deutlich zu erkennen

reich statt. Die Behandlung des Distalbisses mit dem Aktivator und seinen Modifikationen ist anhand von Fallbeispielen von vielen Autoren in Büchern und Zeitschriften beschrieben worden. Die dabei gezeigten Aufsichtsaufnahmen der Unterkiefermodelle lassen fast ausnahmslos die Labialkippung der unteren Frontzähne erkennen. Eigene kephalometrische Untersuchungen haben gezeigt, daß in der Regel alle Zähne des Unterkiefers auf die Druckapplikation des Aktivators mit einer Rostralbewegung antworten (Abb. 94a und b).

Bei der Umsetzung tierexperimenteller Forschungsergebnisse in die kieferorthopädische Praxis ist man einem Wunschdenken erlegen. Man glaubte, daß von einer Lageveränderung des Unterkiefers mit Aktivatoren die gleiche Stimulation der kondylären Wachstumszone erwartet werden könne, wie sie mit den im Tierexperiment verwendeten Vorschubgeräten erzielt wurde. Es wurde übersehen, daß beim Menschen der Zahnhalteapparat den Kräften der Retraktoren keinen dauerhaften Widerstand zu leisten vermag. Hierdurch wird es den Retraktoren erst möglich, im Sinne einer Rückverlagerung des Unterkiefers wirksam zu werden. Mit dem Zurücksinken des Unterkiefers geht aber auch eine Dorsalverlagerung der Kondyle einher. Das heißt, bei der Verwendung von Aktivatoren kommt es nicht zu einer permanenten Veränderung der biomechanischen Umstände im Gelenkbereich, die Voraussetzung für eine nachhaltige Stimulation des kondylären Wachstums ist. Aus diesem Grund ist *Mills* (1983) der Ansicht, daß der zunächst erfolgte Anbau an der dorsalen Fläche des Kondylus sehr wahrscheinlich durch resorptive Vorgänge wieder verlorengeht (Abb. 95a–c).

Hieraus läßt sich schlußfolgern, daß eine Stimulation der kondylären Wachstumszone und damit eine basale Nachentwicklung des Unterkiefers nur erreicht werden kann, wenn das verwendete kieferorthopädische Gerät eine konstante Vorverla-

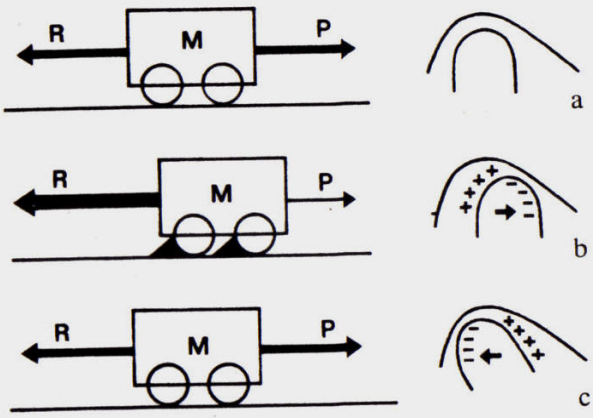



**Abb. 95a–c.** Schematische Darstellung der Wirkungsweise des Aktivators bei der Behandlung der mandibulären Retrusion. M = Unterkiefer, R = Retraktoren, P = Protraktoren. + = Apposition, – = Resorption am Kondylus

gerung des Unterkiefers und damit der Kondyle gewährleistet. Dies ist aber nur möglich, wenn Rostralbewegungen der unteren bzw. Dorsalverlagerungen der oberen Zähne vermieden werden. Das heißt, ein wachstumsstimulierender Effekt auf die kondyläre Wachstumszone kann nur dann erwartet werden, wenn eine permanente Vorverlagerung des Unterkiefers gewährleistet ist.

## 13.3 Der Umbau zwischen Ramus und Corpus mandibulae

Bei der Größen- und Formentwicklung eines Schädelknochens finden Wachstumsprozesse in allen seinen Teilen statt. Das heißt, beim Knochenanbau an einer Stelle machen sich Umbauprozesse in anderen Regionen des Knochens erforderlich. Nach *Enlow* sind diese Vorgänge, die er als „area relocation" bezeichnet, notwendig, um die im genetischen Plan vorgesehene Formgestaltung der Einzelknochen abzusichern. Hieraus folgt, daß das klinische Problem, das sich dem Kieferorthopäden bei der Behandlung der mandibulären Retrusion stellt, allein durch eine Verlängerung der Kondyle nicht gelöst werden kann. Für das Zustandekommen regelrechter Beziehungen zwischen Oberkiefer und Unterkiefer kommt den Wachstumsvorgängen im Bereich des Kiefergelenks nur partielle Bedeutung zu. *Enlow*s neuerliche Veröffentlichungen (1982, 1983), in denen er sich kritisch mit dieser Problematik auseinandersetzt, sollten von jedem Kieferorthopäden gelesen werden.

Die Tierexperimente haben gezeigt, daß durch eine Vorverlagerung des Unterkiefers mit Hilfe intraoraler Geräte zunächst nur die kondyläre Wachstumszone stimuliert wird. Auf diese Weise kommt es nach *Stutzmann* (1976) regelmäßig zu einer Vergrößerung des Winkels zwischen der Achse der Kondylen und der Mandibularebene. Dieser Befund deckt sich mit den Untersuchungsergebnissen von *McNamara* und *Graber* (1975), *McNamara* (1976), *McNamara* (1980) und *McNamara* und *Bryan* (1987). Bei diesen Experimenten wurden Metallimplantate verwendet, wodurch die morphologischen Veränderungen im Unterkieferbereich meßtechnisch exakt erfaßt werden konnten. Bei den Affen, deren Unterkiefer mit Hilfe festsitzender Schienen vorverlagert wurde, kam es zu einer signifikanten Verlängerung der Kondyle in dorsaler Richtung. Diese war im Vergleich zu der der Kontrolltiere um 45% größer. Bei einer Vermessung der von diesen Autoren veröffentlichten Durchzeichnungen der Röntgenbilder konnten wir jedoch feststellen, daß in bezug auf die Längenentwicklung des Corpus mandibulae zwischen den Versuchs- und Kontrolltieren kein Unterschied bestand. Das heißt, der Abstand zwischen den Implantaten und dem Hinterrand des Ramus im Bereich des Kieferwinkels vergrößerte sich in beiden Gruppen in gleichem Ausmaß.

Unsere kephalometrischen Longitudinaluntersuchungen haben gezeigt, daß es bei der Behandlung der mandibulären Retrusion mit Hilfe von Vorschubgeräten, ganz gleich welcher Art, zunächst nur zu einer Verlängerung der Kondylen kommt, was sich mit den tierexperimentellen Ergebnissen deckt. Erst im dritten Jahr nach

Behandlungsbeginn konnte eine Verlängerung des Corpus mandibulae durch Apposition am Hinterrand des Ramus festgestellt werden. *Enlow* (1968, 1982, 1983) wies darauf hin, daß der Kondylus nur einen kleinen Teil des Unterkiefers ausmacht. Beim Vorliegen einer mandibulären Retrognathie, ließe sich daher das Ziel einer orthopädischen Behandlung allein durch eine Verlängerung der Kondyle nicht erreichen. Von einer Nachentwicklung des gesamten Unterkiefers könne nur gesprochen werden, wenn mit der Verlängerung der Kondylen in dorsaler Richtung ein entsprechender Knochenanbau am Hinterrand der Rami stattgefunden hat. Der Knochenanbau am dorsalen Rand induziert resorptive Prozesse am Vorderrand. Dies entspricht dem Prinzip der „area relocation", wodurch eine adäquate Form- und Größenentwicklung des Ramus gewährleistet wird.
Den Umbauvorgängen an der Nahtstelle zwischen Ramus und Corpus mandibulae mißt *Enlow* große Bedeutung für die Form- und Längenentwicklung des Unterkiefers bei. Hierdurch erklärt sich das „Dorsaldriften" des gesamten Ramus. Dies aber ist Voraussetzung für die Verlängerung des Corpus mandibulae wie auch des Alveolarfortsatzes. Letzteres ist erforderlich, um Platz für den Durchbruch der unteren Molaren zu schaffen. Die Untersuchungen von *Richardson* (1987) haben gezeigt, daß dies von besonderer Bedeutung für den Durchbruch der unteren Weisheitszähne ist. So kommt den Umbauvorgängen an der Nahtstelle zwischen Ramus und Corpus mandibulae große Bedeutung für die Längenentwicklung des dentoalveolären Bogens zu. Im vorhergehenden Kapitel haben wir darauf hingewiesen, daß an der Vorderfläche des Kinns Knochenanbau, wenn überhaupt, nur in sehr geringem Maße stattfindet. Die für die Längenentwicklung des Unterkiefers entscheidenden Wachstumsprozesse vollziehen sich in seinem dorsalen Bereich. Dies wird bei der Diskussion des „Platzmangels" im Unterkiefer wie aber auch des gestörten Durchbruchs der Weisheitszähne zumeist außer acht gelassen. Die mit der Dorsalverlagerung des Ramus einhergehende Resorption seines Vorderrands ist ein integrierender Teilprozeß regelrechten Wachstums. Platzmangel für die unteren Zähne ist daher das Symptom einer Störung der Gesamtentwicklung des Unterkiefers. Schlußfolgernd läßt sich sagen, daß der Erfolg einer kieferorthopädischen Behandlung der mandibulären Retrusion davon abhängt, ob neben der Stimulation der kondylären Wachstumszone auch der Umbau des gesamten Ramus und die Verlängerung des Corpus mandibulae erreicht werden kann.

## 13.4 Die Bedeutung der Translation für die Entwicklung des Unterkiefers

Im theoretischen Teil dieses Buchs haben wir erläutert, welche große Bedeutung den räumlichen Lageveränderungen der einzelnen Schädelknochen für die kraniofaziale Morphogenese zukommt. Nach *Enlow* (1985) ist eine regelrechte Größen- und Formentwicklung des Schädels ohne diese Verlagerungsprozesse nicht denkbar. Für die Bezeichnung der Verlagerung der einzelnen Knochen hat sich der Terminus *Translation* eingebürgert. So kann eine regelrechte Größenentwicklung des Unterkiefers ohne seine Translation in rostraler bzw. kaudaler Richtung nicht stattfinden. Durch diese Verlagerung des Unterkiefers in toto wird der Raum geschaffen, der für eine Verlängerung der Kondyle bzw. für den Knochenanbau am Hinterrand des Ramus erforderlich ist. Nur so ist das Dorsaldriften des gesamten Ramus und die gleichgerichtete Verlängerung des Corpus mandibulae einschließlich des dentoalveolären Fortsatzes möglich. Die Translation des Unterkiefers in rostraler Richtung ist

Voraussetzung dafür, daß die räumliche Relation zwischen Halswirbelsäule und dem Hinterrand des Ramus während des Wachstums erhalten bleibt.

Es ist noch nicht lange her, daß man die Translation des Unterkiefers ursächlich durch das interstitielle Potential der kondylären Wachstumszone erklärte, d.h., daß dem Gelenkknorpel der gleiche gewebetrennende Effekt beigemessen wurde wie dem Knorpel der Epiphysenfugen. Diese Hypothese ist durch die Ergebnisse der experimentellen Forschung eindeutig widerlegt worden. Nach dem derzeitigen Stand der Wissenschaft ist es unvorstellbar, daß der Unterkiefer selbst Kräfte für seine translatorische Bewegung entfalten kann. Nach dem Transformationsgesetz von *Wolff* (1870) und der *Roux*schen „Lehre von der funktionellen Anpassung" (1895) lassen sich Gestaltung und Strukturierung der Knochen nur im ursächlichen Zusammenhang mit der Muskulatur begreifen. So läßt sich die Translation, eine während des Wachstums sich langsam vollziehende Lageveränderung des Unterkiefers, ohne Einbeziehung muskulärer Kräfte nicht erklären. In diesem Zusammenhang sei auf die umfangreiche tierexperimentelle Forschung *Schumachers* (1972, 1975) hingewiesen. Seine Untersuchungen haben gezeigt, daß sich der „formative Einfluß der Muskulatur im Schädelbereich besonders auf den Unterkiefer auswirkt, und zwar vorzugsweise auf den Ramus mandibulae". Nach experimentellen Eingriffen an Gliedern des maxillomandibulären Apparats wurden nicht nur „negative Veränderungen", sondern auch viele kompensatorische, die Funktion aufrecht erhaltende Reaktionsformen beobachtet. Es zeigt sich, daß der Funktionsausfall bestimmter Muskeln durch Hypertrophie anderer Muskelgruppen kompensiert wurde. Hierdurch wird die Vielfalt und Komplexität der reaktiven Prozesse zur Erhaltung des funktionellen Gleichgewichts deutlich. Mit Nachdruck hat *Schumacher* darauf hingewiesen, daß der formende Einfluß der Muskulatur auf die skelettale Entwicklung nur in bestimmten Wachstumsperioden zur Geltung kommt. Dies ist mit Bezug auf den Beginn einer orthopädischen Behandlung von großer klinischer Bedeutung.

Neuerlich hat *Kantomaa* (1984) einen interessanten Beitrag zum besseren Verständnis der Bedeutung funktioneller Einflüsse für die Entwicklung des Unterkiefers geleistet. Mit Hilfe einer besonderen Technik wurden beim Kaninchen Synostosen einiger neurokranialer Strukturen erzeugt. Durch diesen Eingriff wurde die im Entwicklungsgang eintretende Rostralverlagerung der Fossa glenoidalis verhindert, während die Kondylenposition unbeeinflußt blieb. So wurde das Lageverhältnis zwischen Kondyle und Fossa in der gleichen Weise verändert, wie bei den Tierexperimenten mit Hilfe von Vorschubgeräten, wodurch das kondyläre Wachstum stimuliert wurde. Allerdings verlangsamten sich diese Wachstumsprozesse sehr schnell und kamen schließlich zum Stillstand. So blieb ein erweiterter Raum zwischen der hinteren Begrenzung der Fossa glenoidalis und der Kondyle bestehen. Man hätte erwarten können, daß zur Behebung dieses instabilen Lageverhältnisses zwischen Kondyle und Fossa eine Rückverlagerung des Unterkiefers stattfindet. Dies wurde jedoch nicht beobachtet, d.h., es kam nicht zu einer Veränderung der intermaxillären bzw. der interokklusalen Beziehungen. Die anfängliche Akzeleration des kondylären Wachstums führte zwar zu einer Vergrößerung der Distanz zwischen der Kondyle und dem Hinterrand des Foramen mentale. Eine Verlängerung des Corpus mandibulae wurde jedoch nicht festgestellt. *Kantomaa* kommt aufgrund dieser Untersuchungsergebnisse zu dem Schluß, daß die Gewebe, besonders die Muskulatur, die den Unterkiefer mit den anderen Teilen des Schädels verbinden, für die Entwicklung der intermaxillären Beziehungen eine weit größere Bedeutung haben als das Wachstum der Kondyle.

Auf Grund dieser experimentellen Forschungsergebnisse ließe sich die mandibuläre Retrognathie in einen ursächlichen Zusammenhang mit einer Retardierung der im Erbgang vorgesehenen Translation des Unterkiefers bringen.

## 13.5 Prinzipien einer funktionellen Behandlung der mandibulären Retrusion

Aus den vorhergehenden Ausführungen läßt sich ableiten, daß die vordringliche Aufgabe einer orthopädischen Behandlung der mandibulären Retrusion darin besteht, für einen Nachvollzug der Unterkiefertranslation Sorge zu tragen. Um dieses Ziel zu erreichen, müssen wir zunächst das bei dieser Dysgnathie vorliegende „Raumproblem" lösen. Aus der Abb. 96a ist ersichtlich, daß der orale Funktionsraum in seinem kaudalen Anteil zu klein bzw. die zirkumorale Weichteilkapsel in der Sagittalen unterentwikkelt ist. Damit der Unterkiefer den ausgebliebenen Verlagerungsprozeß nachholen kann, muß die zirkumorale Weichteilkapsel entsprechend vergrößert werden (Abb. 96b). Mit der Vorverlagerung des Unterkiefers wird zugleich der Raum geschaffen, der für das Dorsaldriften des Ramus erforderlich ist (Abb. 96c). Auf diese Weise werden die Umbauprozesse an der Nahtstelle zwischen Ramus und Corpus mandibulae induziert, wodurch eine Verlängerung des dentoalveolären

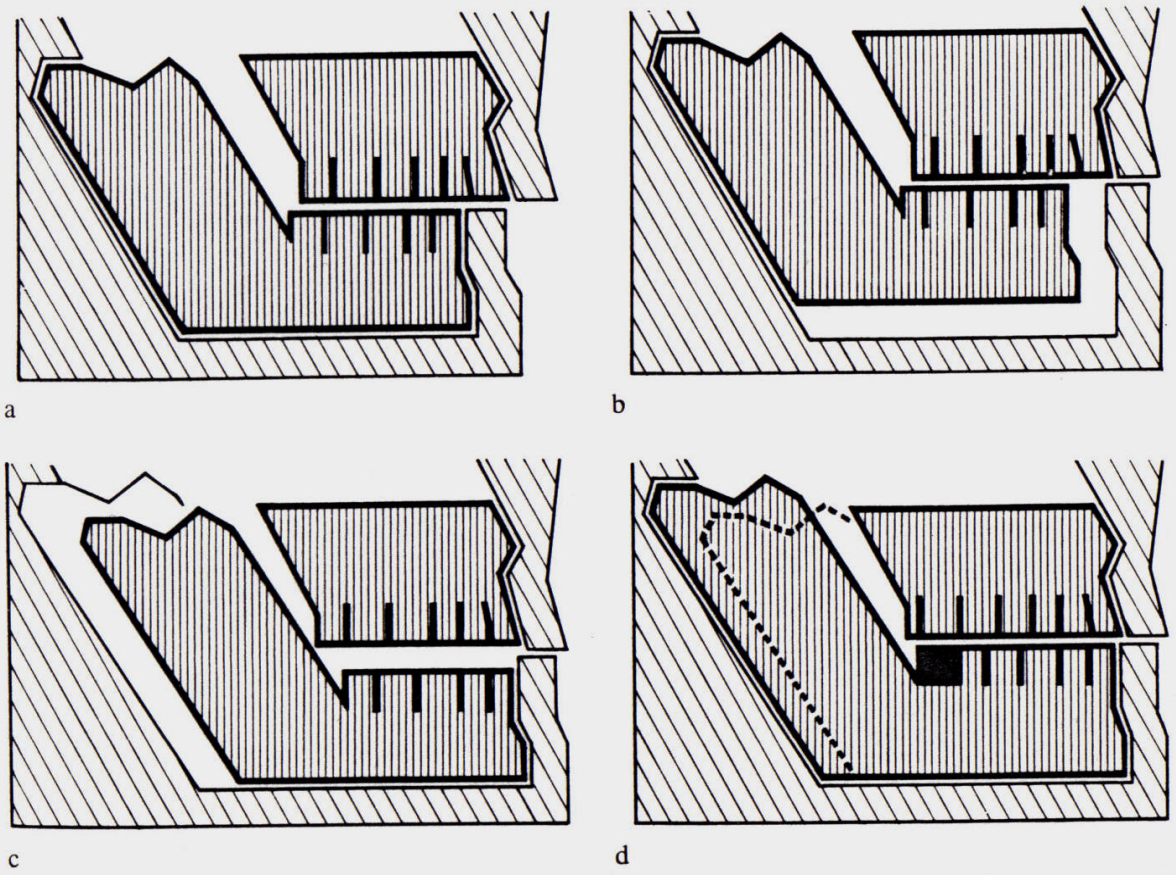



**Abb. 96a–d.** Schematische Darstellung der Wirkungsweise des Funktionsreglers bei Behandlung der mandibulären Retrusion. Zirkumorale Kapsel vor Behandlung (a), nach Expansion mit dem FR (b), und nach Translation des Unterkiefers in anteriorer und inferiorer Richtung (c), wodurch Raum für das Dorsaldriften des Ramus geschaffen wird. So werden die Umbauprozesse im Bereich des Kieferwinkels ausgelöst, die für eine Verlängerung des Corpus und des dentoalveolären Fortsatzes in dorsaler Richtung erforderlich sind (d)

Fortsatzes in dorsaler Richtung ermöglicht wird (Abb. 96d). Auf welche Weise der Funktionsregler die Lösung des Raumproblems anstrebt, ist in den Kapiteln 4 und 5 schon beschrieben worden (vgl. Abb. 10a, b und 20a, b).

Neben der Lösung des „Raumproblems" müssen aber auch die pathophysiologischen Funktionsmuster der Aufhängemuskulatur durch orthopädisches Training korrigiert werden. Beim Vorliegen einer mandibulären Retrusion ist die Überwindung der Haltungsschwäche der Protraktoren wichtigste Zielsetzung eines orthopädischen Trainings. Bei Verwendung des Aktivators wird der Unterkiefer in seiner Vorschubstellung mechanisch abgestützt. So sind die Protraktoren zu einer Leistung nicht gefordert. Ein Trainingseffekt kann daher nicht erwartet werden, besonders dann nicht, wenn das Gerät nur nachts getragen wird.

Mit dem Lingualschild des Funktionsreglers wird auf jede mechanische Abstützung der Unterkiefervorlage an den unteren Zähnen verzichtet. Wenn das Gerät ordnungsgemäß hergestellt und gehandhabt wird, kann daher eine Mesialbewegung der unteren Seitenzähne bzw. eine Labialkippung der unteren Frontzähne mit Sicherheit vermieden werden. Der Lingualschild ist durch zwei interokklusal verlaufende Drähte mit den vorderen Segmenten der Bukkalschilde verbunden (s. Abb. 18 und 22). Diese Verbindungsdrähte sind nur 1,0 mm stark. Würde, wie bei der Verwendung von Aktivatoren, der Konstruktionsbiß in einer Vorschubstellung von einer Prämolarenbreite genommen, würden diese Verbindungsdrähte durch die Kraft, mit der die Retraktoren den Unterkiefer in die habituelle Ruhelage zu bringen versuchen, verbogen. Das heißt, eine mechanische Abstützung des Unterkiefers in der Vorschubstellung ist mit Hilfe des Lingualschilds unmöglich.

Wenn wir bei der Behandlung der mandibulären Retrusion einen Nachvollzug der Unterkiefertranslation anstreben, sollten wir bedenken, daß sich die während der Entwicklung stattfindenden Verlagerungsprozesse nur langsam, in kleinen Schritten vollziehen. Bei einer orthopädischen Behandlung sollten wir daher die für die Translation des Unterkiefers notwendige Erweiterung der orofazialen Kapsel in kleinen Schritten vornehmen. Dies wird durch die Segmentierung der Bukkalschilde des Funktionsreglers ermöglicht. Das heißt, das vordere Segment des Funktionsreglers mit dem Lingualschild und den Lippenpelotten kann schrittweise nach vorn verstellt werden (s. Abb. 23a und b). Mit dieser Konstruktion entsprechen wir den Prinzipien eines biologischen Vorgehens. Die Aufhängemuskulatur wird nicht überfordert. Auf welche Weise eine Leistungssteigerung der Protraktoren mit Hilfe des Lingualschilds erreicht wird, ist im Kapitel 5 ausführlich beschrieben worden (s. auch Abb. 21). Wir können annehmen, daß die Protraktoren nach einem solchen Training in der Lage sind, den Unterkiefer in der gewünschten Vorschublage zu halten. Das heißt, die zirkumorale Weichteilkapsel wurde strukturell und funktionell so verändert, daß auch nach Absetzen des Geräts eine weitere Translation des Unterkiefers, wie im genetischen Plan vorgesehen, erwartet werden kann.

Ein weiterer großer Vorteil der langsamen Vororientierung des Unterkiefers liegt darin, daß die Retraktoren nur geringgradig gedehnt werden. So sind die Kräfte, mit denen sie die habituelle Ruhelage des Unterkiefers wiederherzustellen versuchen, sehr gering. Damit kann die reziproke Wirkung des Geräts, das sich mit den interdentalen Drähten an den oberen Seitenzähnen abstützt, gering gehalten werden. So werden Distalbewegungen der oberen Molaren bzw. Prämolaren nur in der Anfangsphase der Behandlung beobachtet. Unsere Longitudinaluntersuchungen haben nachgewiesen, daß sich die Behebung des Distalbisses mit Funktionsreglern weder durch eine Distalbewegung der oberen Seitenzähne

noch durch eine Mesialbewegung der unteren Seitenzähne erklären läßt. Die Annahme erscheint daher berechtigt, daß der mit Funktionsreglern erzielte Erfolg durch eine basale Nachentwicklung des Unterkiefers erreicht wurde.

Epidemiologische Untersuchungen haben gezeigt, daß bereits bei Kindern Symptome funktionspathologischer Zustände im Kiefergelenk festzustellen sind (*Lindquist* 1974, *Dibbets* 1977, *Grosfeld* und *Czarnecka* 1977). *Slavicek* und *Kulmer* (1987) haben darauf hingewiesen, daß bei einer relativ hohen Anzahl von Kindern und Jugendlichen Systemschwächen des ligamentären Apparats vorliegen. Dies sollte bedacht werden, wenn man eine Veränderung der Unterkieferruhelage mit Hilfe kieferorthopädischer Geräte vornimmt. Wir halten es für bedenklich, wenn bei der Behandlung mit Aktivatoren der Konstruktionsbiß in einer Vorschubstellung des Unterkiefers von 6 mm und mehr bei gleichzeitiger Sperrung des Bisses genommen wird. *Petrovic* und *Stutzmann* (1977) haben bei Ratten, bei denen mit dem Hyperpropulsor eine stärkere Vorverlagerung des Unterkiefers vorgenommen worden war, Symptome der Anämie im Gelenkbereich feststellen können. Interessant sind in diesem Zusammenhang die Untersuchungen von *Madone* und *Ingervall* (1984), die sich mit der Wirkung des Herrenaktivators befaßt haben. Bei Verwendung dieses Geräts wird bekanntlich der Registrationsbiß in einer extremen Veränderung der Unterkieferlage genommen. Nach Abschluß der Behandlung konnte häufig eine Diskrepanz zwischen der Interkuspidationsstellung (IK) und der retrudierten Kontaktposition (RK) des Unterkiefers festgestellt werden. Dies zeigt an, daß eine stabile Veränderung der Unterkieferlage nicht erreicht wurde. Das heißt, die Aufhängemuskulatur konnte nicht im Sinne einer neuen posturalen Balance zwischen Protraktoren und Retraktoren umtrainiert werden.

Nach *Selmer-Olsen* (1977) ist dies der Grund dafür, daß nach Aktivatorbehandlung nicht selten ein Doppelbiß zu beobachten ist. Bei einer Erklärung hierfür sollte man nicht vergessen, daß alle diese Geräte vorwiegend nachts getragen werden, und das von Beginn der Behandlung an. Es wird übersehen, daß während des Schlafs Aktivitäten der Muskulatur nur sporadisch auftreten und ihr Tonus stark herabgesetzt ist. Es ist ein Irrtum anzunehmen, daß die mandibuläre Aufhängemuskulatur während der Nacht den Unterkiefer in einer Vorschubstellung von 6 mm oder mehr halten könne. Es kommt zum sogenannten „Aussteigen", d. h., der Unterkiefer sinkt kaudalwärts ab. So wird der Unterkiefer in seiner Vorlage nicht mehr an den Lingualflächen des Alveolarfortsatzes, sondern an den der unteren Frontzähne gestützt, was zu ihrer Protrusion führt.

Aus diesen Gründen empfiehlt sich bei der Behandlung der mandibulären Retrusion eine allmähliche Veränderung der Unterkieferlage. Dies ist auch aus Gründen der Optimierung des orthopädischen Effekts angezeigt. Die Tierexperimente von *Petrovic, Stutzmann* und *Gasson* (1981), *McNamara* (1972) und *Stöckli* und *Willert* (1971) haben gezeigt, daß die durch die Lageveränderung des Kondylus herbeigeführte Stimulation des kondylären Wachstums zeitlich begrenzt ist. Durch eine Lageveränderung des Unterkiefers in Schüben läßt sich jeweils eine Reaktivierung der Wachstumsprozesse am Kondylus erreichen. Aus diesem Grunde wird bei der Behandlung der mandibulären Retrusion mit dem Funktionsregler regelmäßig eine schrittweise Veränderung der Unterkieferlage durchgeführt. Fallbeispiele und kephalometrische Längsschnittuntersuchungen sollen die Richtigkeit unserer Arbeitshypothese belegen.

## 13.6 Fallbeispiele

### *13.6.1 Langzeitbeobachtung unbehandelter Fälle*

In der DDR wurde die Schultauglichkeit durch eine obligatorische Vorschuluntersuchung festgestellt, die von Vertretern verschiedener medizinischer Disziplinen durchgeführt wurde. Auffällige Kiefer-Gebiß-Fehlbildungen wurden von dem Kinderstomatologen, der sich an dieser Untersuchung beteiligte, dem Kieferorthopäden überwiesen. Durch diese Früherfassung war es möglich, die Behandlung schwerer Dysgnathien frühzeitig einzuleiten. Allerdings waren nicht alle Eltern und Kinder von der Notwendigkeit einer kieferorthopädischen Behandlung zu überzeugen. So wurden wir in die Lage versetzt, die Kiefer-Gebißentwicklung unbehandelter Fälle zu verfolgen, wenn sie uns später von den Kinderzahnärzten, die routinemäßig in gewissen Abständen Schuluntersuchungen durchführten, erneut überwiesen wurden. Im folgenden sollen 2 Fälle beschrieben werden, bei denen wir die morphologische Entwicklung von der Kindheit bis zum Erwachsenenalter beobachten konnten.

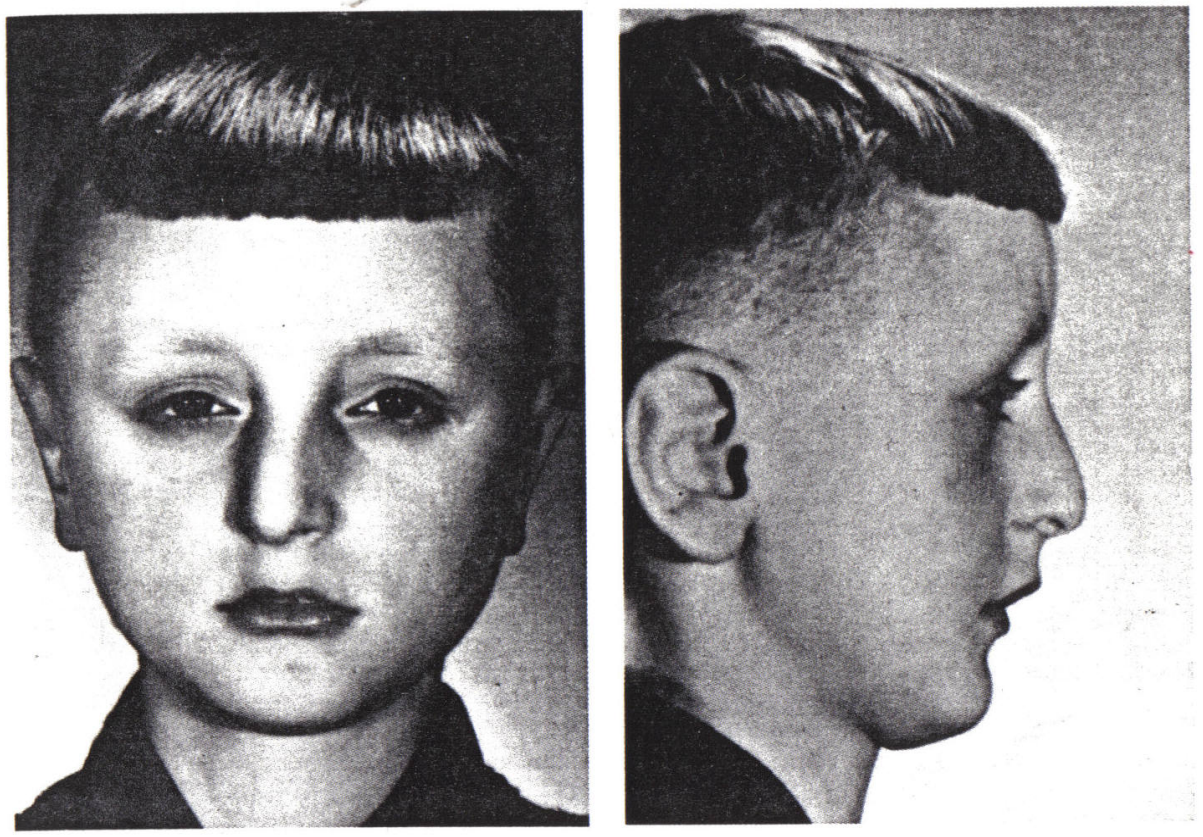
*Fall 1*

Bei diesem Knaben wurden die anfänglichen Gesichtsfotos und die erste Fernröntgenaufnahme im Alter von 9 Jahren, 2 Monaten genommen (Abb. 97a und Abb. 98a). Bei der Analyse des Gesichts fiel eine kurze Oberlippe auf. Lippenschluß war nicht vorhanden, wie die Anfangsaufnahmen erkennen lassen (Abb. 97a). Beim Schluckakt konnte eine außerordentlich starke Aktivität des M. mentalis beobachtet werden. Wenn das Kind sich unbeobachtet fühlte, wurde die Unterlippe zwischen die Lingualflächen der oberen und den Labialflächen der unteren Schneidezähne eingezogen bzw. eingesogen. All unser Bemühen, Eltern und Kind von der Dringlichkeit einer kieferorthopädischen Behandlung zu überzeugen, blieb ergebnislos.

Die letzten Gesichtsfotos und die letzte Fernröntgenaufnahme wurden im Alter von 23 Jahren angefertigt. Die Profilaufnahmen (Abb. 97b) lassen erkennen, daß sich im Beobachtungszeitraum die Disproportionen zwischen Mittelgesicht und Untergesicht nicht nur in der Sagittalen sondern auch in der Vertikalen erheblich verschlechtert haben. Besonders auffällig ist die relative Prominenz der Nase, was im Fernröntgenbild (Abb. 98b) zu erkennen ist. Die basale Diskrepanz zwischen Ober- und Unterkiefer blieb erhalten. Beim Vergleich der ersten mit der letzten Fernröntgenaufnahme ist die Veränderung der anterioren Kontur des Unterkiefers besonders auffällig. Wie bereits im vorhergehenden Kapitel besprochen, läßt sich die Verstärkung der Kinnprominenz nicht durch Knochenapposition an der frontalen Fläche des Kinns erklären. Sie ist vielmehr Ausdruck einer sagittalen Entwicklungshemmung im dentoalveolären Bereich. Die Verdickung der Lippen- und Kinnweichteile läßt auf eine Hyperaktivität bzw. auf einen Hypertonus des Kinnmuskels schließen. Die Oberlippe ist kurz, ihre Muskulatur hypotonisch. Die neuromuskulären Dysbalancen zwischen Ober- und Unterlippe sind an den Durchzeichnungen der Abb. 99a und b schematisch dargestellt. Die „frontale vertikale Muskelkette", ein Ausdruck, wie er in den USA gebraucht wird, erscheint zusammengebrochen. Die Fehlhaltung im Lippen-Kinn-Bereich läßt darauf schließen, daß das Gleichgewicht im antagonistischen Wechselspiel der Muskulatur in der gesamten Weichteilkapsel gestört ist.

*Fall 2*

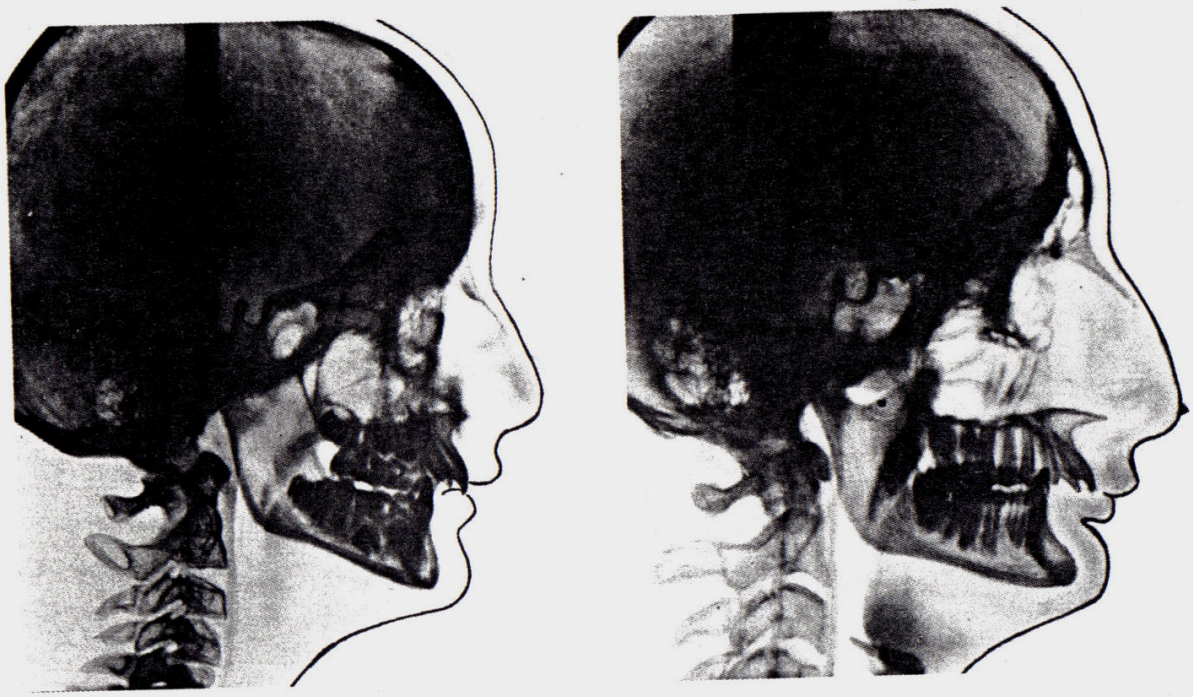
Die erste Fernröntgenaufnahme wurde bei diesem Mädchen im Alter von 8 Jahren, 11 Monaten aufgenommen (Abb. 100a). Die Dicke der Lippen läßt auf eine gute strukturelle Entwicklung der Lippenmuskulatur schließen. So könnte man annehmen, daß der vordere Abschluß des



a

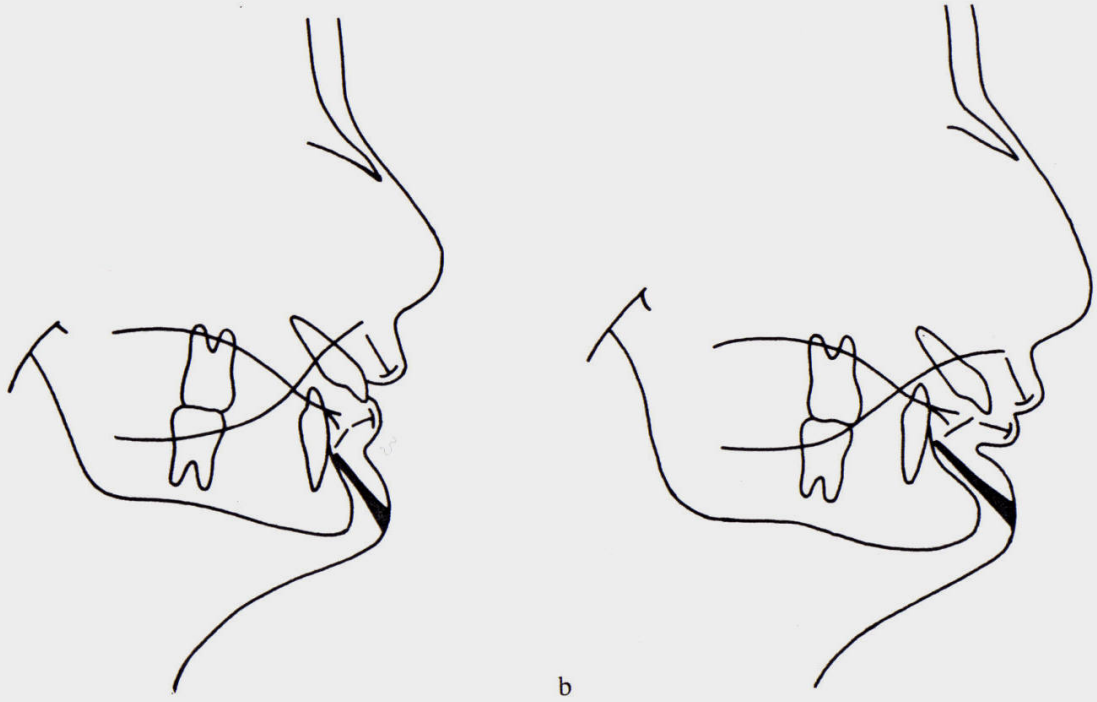
b

**Abb. 97a, b.** Fall 1. Gesichtsfotografien im Alter von 9 Jahren, 2 Monaten (a) und 23 Jahren (b). Eine kieferorthopädische Behandlung wurde abgelehnt. Während der Beobachtungszeit kam es zu einer erheblichen Verschlechterung des Gesichtsausdrucks



a b

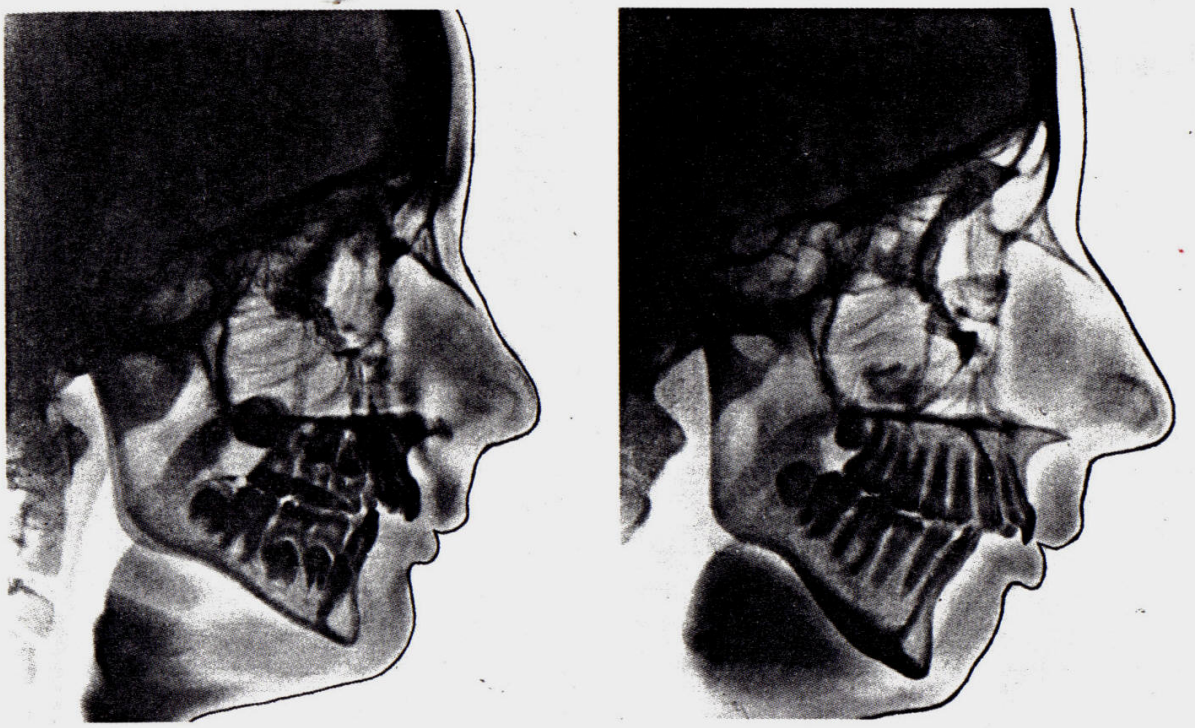
**Abb. 98a, b.** Fall 1. Die entsprechenden Fernröntgenaufnahmen zeigen eine beachtliche Hemmung der Unterkieferentwicklung



a b

**Abb. 99a, b.** Fall 1. Die Durchzeichnungen der Fernröntgenaufnahmen lassen den Kollaps der vorderen vertikalen Muskelkette und die posturalen Dysbalancen im Bereich der zirkumoralen Kapsel erkennen

oralen Funktionsraums gewährleistet ist. Wenn sich das Kind jedoch unbeobachtet fühlte, waren die Lippen geöffnet, und es bestand eine ausgesprochene Haltungsschwäche der Lippenschließmuskulatur. Aus der letzten Fernröntgenaufnahme, die im Alter von 18 Jahren, 8 Monaten genommen wurde, wird eine erhebliche Verschlechterung des skelettalen Entwicklungsmusters erkennbar. Besonders auffallend ist die starke Verlängerung der unteren Gesichtshöhe. In der Beobach-



a b

**Abb. 100a, b.** Fall 2. Die Fernröntgenaufnahmen eines unbehandelten Falls im Alter von 8 Jahren, 11 Monaten (a) und 18 Jahren, 8 Monaten (b). Beachte die Verlängerung der unteren Gesichtshöhe und die Verstärkung der mandibulären Rückwärtsrotation

**Tabelle 9.** Veränderung der Winkelwerte bei Fall 2 zwischen 8 Jahren, 11 Monaten und 18 Jahren, 8 Monaten

| Alter | 8 J. 11 M. | 18 J. 8 M. | Diff. |
|---|---|---|---|
| SNA | 76,5 | 80 | +3,5 |
| SNB | 71,5 | 70 | −1,5 |
| NS-MP | 35 | 44 | +9 |
| PP-MP | 25 | 34,5 | +9,5 |
| GO | 130 | 130 | 0 |

tungszeit kam es zu einer Vergrößerung des Winkels zwischen der Palatinalebene und der Mandibularebene (Tab. 9). Die Vertiefung der Incisura mandibularis und die Lageveränderung des Kinns in dorsaler Richtung sind Anzeichen dafür, daß eine mandibuläre Rückwärtsrotation stattgefunden hat. Bei der Funktionsanalyse am Ende der Beobachtungszeit wurde die Haltungsschwäche der Lippenschließmuskulatur besonders deutlich. Die Lippen konnten nur mit größter muskulärer Anstrengung geschlossen werden, wobei die Hyperaktivität des M. mentalis auffiel (Abb. 100b). Der Kontakt zwischen Ober- und Unterlippe konnte nur durch die „Hilfsfunktion" des M. mentalis herbeigeführt werden. Dieser Fall zeigt, daß ohne die Ausbildung und Reifung adäquater posturaler Funktionsmuster die Physiologie des orofazialen Komplexes gestört ist. Nach *Bosma* (1975) ist die Haltungsschwäche der anterioren vertikalen Muskelkette als Symptom einer ausgebliebenen bzw. retardierten Reifung tonischer Funktionsmuster zu werten.

*Tomer* und *Harvold* (1982) und *Harvold* (1983) sind der Ansicht, daß die Funktionsmuster der Gesichts- und Lippenmuskulatur für das Rotationsmuster des Unterkiefers große Bedeutung haben. Im antagonistischen Wechselspiel zur submandibulären Muskulatur kontrollieren diese Muskeln die Lage und damit die Entwicklung des Unterkiefers. Beim Vergleich der ersten und letzten Fernröntgenaufnahme (Abb. 100a und b)

läßt sich erkennen, daß sich die Distanz zwischen den oberen Molaren und der Palatinalebene nicht vergrößert hat. Dies widerspricht der Meinung, daß ein exzessives Vertikalwachstum im posterioren Anteil des maxillären dentoalveolären Fortsatzes bei der Entstehung der mandibulären Rückwärtsrotation eine ursächliche Rolle spiele, worauf später noch ausführlich eingegangen wird.

### *13.6.2 Behandelte Fälle*

Bei der Auswahl der Fallbeispiele kam es uns nicht darauf an, die Erfolgsmöglichkeiten des Funktionsreglers bei der Behandlung der mandibulären Retrusion zu demonstrieren. Mit den kasuistischen Beiträgen soll vielmehr klar gemacht werden, daß sich die Wirkungsweise des Funktionsreglers entscheidend von der des Aktivators und seiner Modifikationen unterscheidet. Der Funktionsregler ist ein kieferorthopädisches Übungsgerät. Seine primäre Aufgabe ist die Behebung unphysiologischer Raumbedingungen und abwegiger tonischer Funktionsmuster. Die morphologischen Veränderungen ergeben sich sekundär als Ergebnis der Wiederherstellung physiologischer Zustände im orofazialen Bereich. Sie erklären sich als spontane Anpassung der Form an die durch die Behandlung erzielte Normalisierung des „funktionellen Milieus".

Wie in der Allgemeinorthopädie, ist eine frühzeitige Erfassung der pathophysiologischen Zustände im orofazialen Bereich für die Planung einer erfolgreichen Behandlung von größter Bedeutung. Auch bei der Behandlung der mandibulären Retrusion ist der Funktionsregler vor allem dann erfolgreich, wenn die Behandlung in der frühen Wechselgebißphase begonnen wird. Entwicklung kann orthopädisch nur beeinflußt werden, wenn in der betreffenden Region die Entwicklung noch im Gange ist. Wenn die bleibenden Eckzähne und Prämolaren bereits durchgebrochen sind, sind die aktiven Wachstumsprozesse nicht nur im Alveolarknochen, sondern auch im gesamten Gesichtsskelett weitgehend zum Stillstand gekommen. Der Distalbiß hat sich im bleibenden Gebiß etabliert und auch die Entwicklung des Viszeralskeletts beeinflußt. Einer orthopädischen Behandlung der intermaxillären Fehlbeziehungen sind dann enge Grenzen gesetzt.

#### 13.6.2.1 Frühbehandlung der Angle-Klasse II/1

*Fall 3*

Die ersten Gesichtsaufnahmen und die dazugehörige Fernröntgenaufnahme dieses Mädchens wurden im Alter von 8 Jahren, 4 Monaten angefertigt (Abb. 101 a und 102 a). Es handelte sich um einen Distalbiß von einer Prämolarenbreite mit einer Schneidezahnstufe von 9 mm. Die anfänglichen Meßwerte (Tabelle 10) zeigen an, daß die bestehende mandibuläre Retrusion mit der Tendenz zur mandibulären Rückwärtsrotation und zum offenen Biß vergesellschaftet war. Die signifikante Vergrößerung des SNA Winkels und die prominente Oberlippe ließe die Annahme zu, daß die intermaxillären Fehlbeziehungen auf einer übermäßigen Vorentwicklung des Oberkiefers beruhe.

Wenn das Kind den Unterkiefer langsam in eine Neutralbißstellung vorschob, kam es aber zu einer Normalisierung der intermaxillären Beziehungen und des Weichteilprofils (Abb. 102 b). Die funktionelle Analyse läßt daher den Schluß zu, daß es

**Tabelle 10.** Veränderung der Winkelwerte bei Fall 3 zwischen 8 Jahren, 4 Monaten und 15 Jahren, 8 Monaten

| Alter | 8 J. 4 M. | 15 J. 8 M. | Diff. |
|---|---|---|---|
| SNA | 86,5 | 84 | −2,5 |
| SNB | 76 | 80 | +4 |
| NS-MP | 34,5 | 29,5 | −5 |
| PP-MP | 30,5 | 22,5 | −8 |
| GO | 123,5 | 117 | −6,5 |

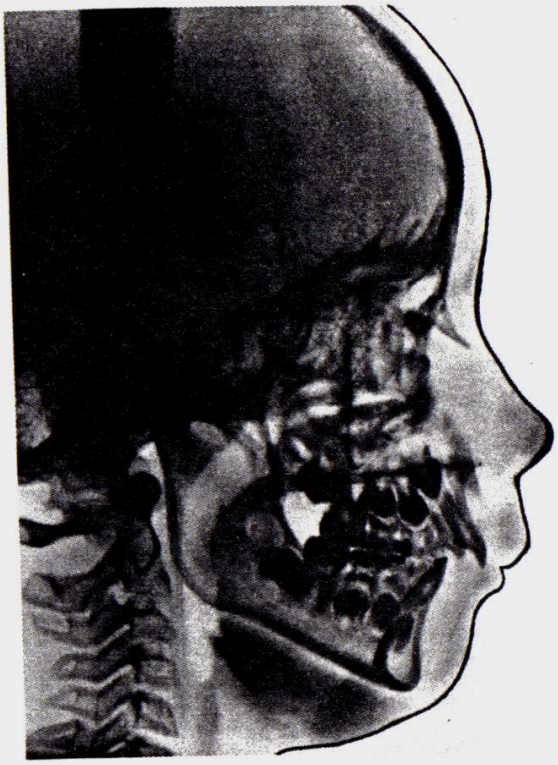
a

b

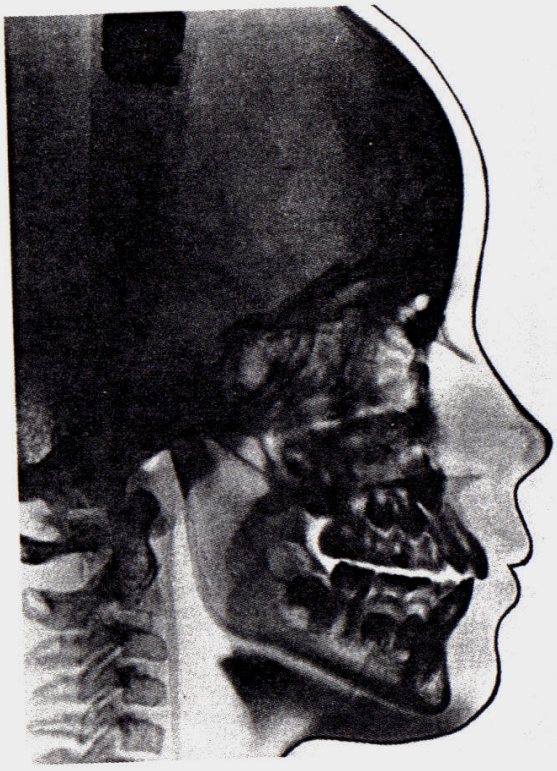
**Abb. 101a, b.** Fall 3. Gesichtsaufnahmen im Alter von 8 Jahren, 4 Monaten (a) und nach Behandlung mit dem FR-1 (b). Die Fehlhaltung im Bereich der Lippen und des Mundbodens wurde durch Lippenschließgymnastik mit dem FR behoben

sich nicht um eine maxilläre Protrusion, sondern um eine mandibuläre Retrusion handelt. Der Funktionstest zeigt auch, daß eine Tendenz zum frontalen offenen Biß besteht.

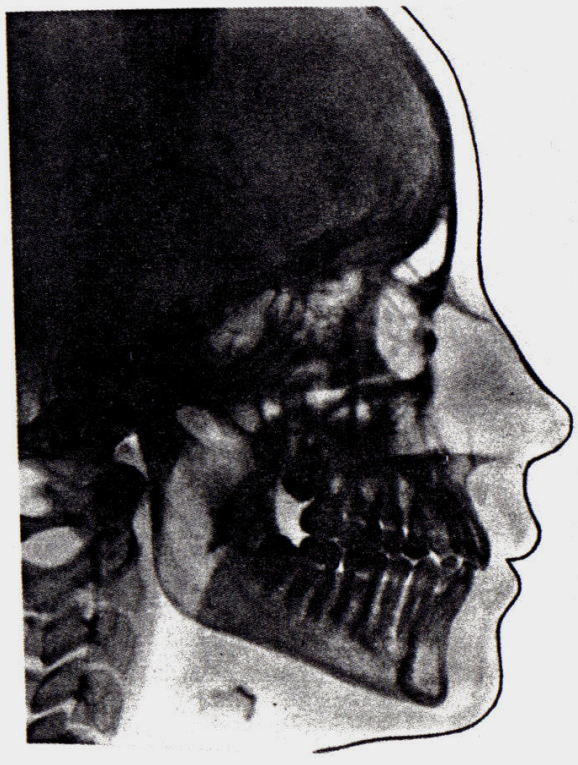
Mit dem Vorschub des Unterkiefers in Neutralokklusion wird deutlich, daß sich nicht nur die intermaxillären Beziehungen, sondern auch die Konturen der Weichteile im Lippen-, Kinn- und sub-



a



c



b

**Abb. 102a–c.** Fall 3. Die entsprechenden Fernröntgenaufnahmen vor (a), nach Vorschieben des Unterkiefers in die Neutralokklusion (b) und 1 Jahr, 6 Monate nach Absetzen des FR-1 (c). Beachte die signifikante Nachentwicklung des Unterkiefers in der Sagittalen, wodurch Platz für den Durchbruch der unteren Weisheitszähne geschaffen wurde

mandibulären Bereich im Sinne der individuellen Norm verändern. Prognostisch läßt sich aus dieser Funktionsanalyse ableiten, daß mit einem guten Erfolg einer orthopädischen Behandlung mit Hilfe des Funktionsreglers gerechnet werden kann. Die letzte Fernröntgenaufnahme (Abb. 102c) bestätigt diese Annahme.

Die Tabelle 11 gibt die Veränderung der verschiedenen Bezugspunkte in Ausmaß und Richtung wieder. Interessant ist, daß sich die Behandlung mit dem Funktionsregler keinesfalls restriktiv auf die Entwicklung des Oberkiefers ausgewirkt hat. Der Punkt A veränderte seine Lage in anteriorer Richtung um 7,5 mm, der obere Sechsjahrmolar um 9,5 mm. Die signifikant größere Vorwärtsbewegung der mandibulären Bezugspunkte zeigt an, daß die gesamte Unterkieferentwicklung stimuliert werden konnte. Mit der Einstellung in den Regelbiß wurden gleichzeitig die basalen Fehlbeziehungen zwischen Oberkiefer und Unterkiefer behoben. Bemerkenswert ist die Verlängerung des Corpus mandibulae. Die Abb. 103 zeigt, daß sich an der Nahtstelle zwischen Corpus und Ramus erhebliche Umbauvorgänge vollzogen haben, ohne die eine Dorsalentwicklung des dentoalveolären Fortsatzes nicht stattgefunden hätte. Ohne Resorption am Vorderrand des Ramus ist daher ein ungehinderter Durchbruch der unteren Molaren nicht möglich, worauf u. a. *Richardson* (1987) hingewiesen hat. Die Überdeckung der Fernröntgendurchzeichnungen in den von *Björk* angegebenen Strukturen zeigt, daß der Alveolarfortsatz nicht „nach vorn", sondern „nach hinten" wächst. Eine ursächliche Erklärung des Zahnengstands im Unterkiefer kann ohne Einbeziehung des Dorsaldriftens des Ramus, der Längenzunahme des Corpus mandibulae und der während des Wachstums stattfindenden Translation des Unterkiefers nicht gefunden werden. Das heißt, die Entwicklung des dentoalveolären Fortsatzes muß immer in engem Zusammenhang mit der Gesamtentwicklung des Unterkiefers gesehen werden. Aus der Abb. 103 ist ersichtlich, daß der anfänglich bestehende Platzmangel im unteren dentoalveolären Fortsatz nicht durch eine Vorkippung des anterioren Segments behoben wurde, sondern durch Platzbeschaffung im posterioren Bereich.

Das abwegige mandibuläre Rotationsmuster wurde korrigiert. Im Verhältnis zur vorderen unteren Gesichtshöhe kam es zu einer signifikanten Verlängerung des Ramus, was sich auch in den Veränderungen der Winkelwerte (Tabelle 10) ausdrückt. Daß die sagittalen und vertikalen Disproportionen im Viszeralskelett behoben wurden, läßt sich auf einen Blick erkennen, wenn die Durchzeichnungen im okzipitalen Referenzsystem überdeckt werden (Abb. 104). Es wird deutlich, daß die Behandlung dieses Kindes mit extraora-

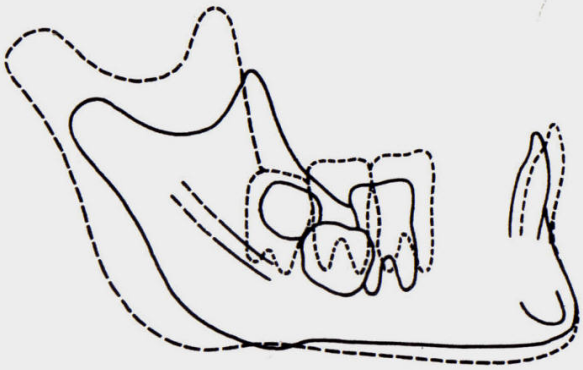


**Abb. 103.** Fall 3. Durchzeichnungen der ersten und letzten Fernröntgenaufnahme des Unterkiefers, überdeckt in den stabilen Strukturen (*Björk*), lassen das Dorsaldriften des Ramus und die Verlängerung des Corpus mandibulae erkennen

**Tabelle 11.** Lageveränderungen einiger Referenzpunkte zur Ordinate des okziptalen Referenzsystems (mm) bei Fall 3

| Alter | 8 J. 4 M. | 15 J. 8 M. | Diff. |
|---|---|---|---|
| N | 78,5 | 85,5 | 7 |
| S | 20,5 | 21,5 | 1 |
| A | 84 | 91,5 | 7,5 |
| PNS | 38 | 43 | 5 |
| B | 74 | 86,5 | 12,5 |
| Pg | 73,5 | 87 | 13,5 |
| $\frac{6}{}$ | 48 | 57,5 | 9,5 |
| $\frac{}{6}$ | 44 | 58,5 | 14,5 |

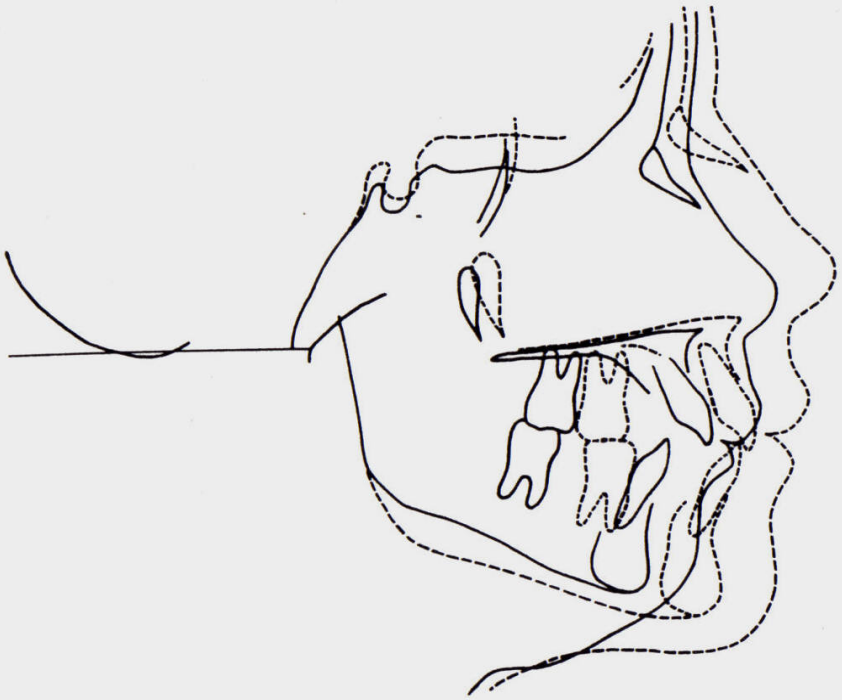


**Abb. 104.** Fall 3. Durchzeichnungen der ersten und letzten Fernröntgenaufnahme, überdeckt in dem okzipitalen Referenzsystem. Beachte die erhebliche Verlängerung des Ramus und die Normalisierung des mandibulären Rotationsmusters

ler Technik eine „Hemmung der skelettalen Entwicklung", ein „working against growth" bedeutet hätte. Dieser Fall ist auch ein Beispiel dafür, daß ein vergrößerter SNA Winkel für die Planung einer *kieferorthopädischen* Behandlung keine diagnostische Bedeutung hat. Leider ist die Fernröntgenanalyse nach *A. M. Schwarz* (1961) völlig in Vergessenheit geraten. Danach würde es sich in diesem Fall um ein „Vorgesicht" gehandelt haben, bei dem die Vergrößerung des SNA-Winkels die Regel ist. Die signifikante Verbesserung des Gesichtsausdrucks, wie sie aus der Abb. 101 b hervorgeht, läßt die Wirkung der vestibulären Plattenelemente des Funktionsreglers auf die Gesichtsweichteile erkennen. Durch die Behebung von Haltungsfehlern bzw. abwegigen Funktionsmustern der Gesichtsmuskulatur wird Kieferorthopädie so zur „Gesichtsorthopädie".

*Fall 4*

Dieser Knabe war 8 Jahre, 5 Monate alt, als die ersten Gesichts- und Fernröntgenaufnahmen sowie die Abdrücke für die Anfangsmodelle angefertigt wurden (Abb. 105 a, 106 a und 107 a). Der Distalbiß betrug eine halbe Prämolarenbreite. Der frontal offene Biß war vergesellschaftet mit der Tendenz zur mandibulären Rückwärtsrotation.

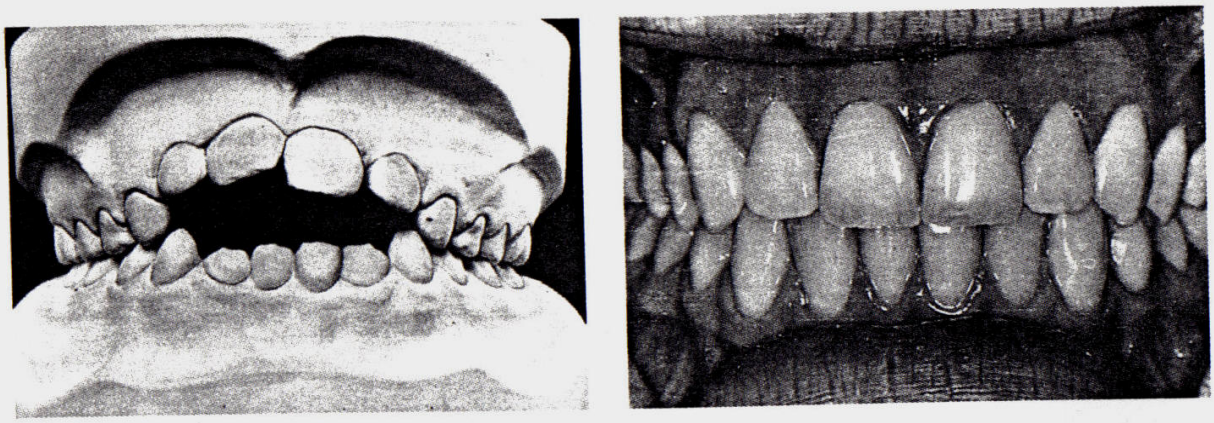
Die funktionelle Analyse ergab eine ausgeprägte Haltungsschwäche der Lippenschließmuskulatur, d. h., in der Ruhe waren die Lippen geöffnet, die Zunge lag protrudiert zwischen den Schneidekanten der oberen und unteren Incisivi. Beim Schluckakt konnte man exzessives Zungenpressen beobachten. Die erste Fernröntgenaufnahme (Abb. 107 a) ließ die Annahme zu, daß die Lippenmuskulatur in der Lage sei, einen kompetenten Lippenschluß zu gewährleisten. Nach Vorschieben des Unterkiefers in die Neutralbißlage wurde aber die Haltungsschwäche der Mundschließmuskulatur deutlich. Die Rachenmandel war vergrößert, der Kniebeugetest ergab jedoch, daß das Atmen durch die Nase hierdurch nicht behindert war.

In der Anfangsphase der Behandlung ließ die Mitarbeit des Patienten sehr zu wünschen übrig. Erst allmählich konnte der Patient für ein regelmäßiges Training des Lippenschlusses motiviert werden. Trotz der anfänglich bestehenden interdentalen Einlagerung der Zunge schloß sich der offene Biß spontan, ohne daß ein zun-

a

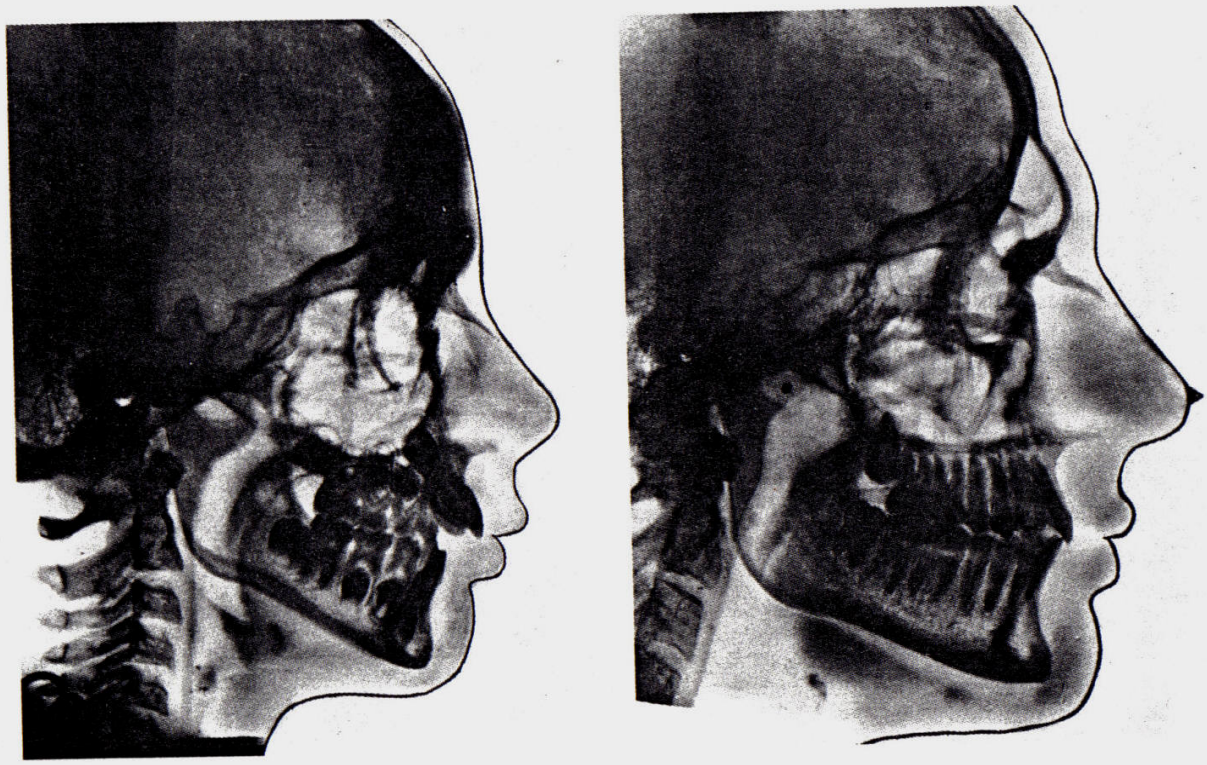
b

**Abb. 105a, b.** Fall 4. Gesichtsaufnahmen im Alter von 8 Jahren, 5 Monate (a) und 22 Jahren, 4 Monaten (b)



a b

**Abb. 106a, b.** Fall 4. Anfangsmodelle (a) und Mundaufnahme im Alter von 22 Jahren, 4 Monaten (b), 9 Jahre, 4 Monate nach Absetzen des Funktionsreglers



a b

**Abb. 107a, b.** Fall 4. Fernröntgenaufnahme vor der Behandlung mit dem FR-1 (a). Letzte Fernröntgenaufnahme wurde im Alter von 22 Jahren, 4 Monaten angefertigt (b)

geninhibierendes Geräteelement zur Anwendung gekommen wäre. Die Abb. 105b, 106b, 107b und 108 zeigen den Zustand 9 Jahre, 4 Monate nach Absetzen des Retentionsgeräts, d. h. des zuletzt getragenen Funktionsreglers. Die oberen und unteren Schneidezähne wurden aus ihrer protrudierten Stellung in eine normale Achsenstellung gebracht.

**Tabelle 12.** Veränderung der Winkelwerte bei Fall 4

| Alter | 8 J. 5 M. | 22 J. 4 M. | Diff. |
|---|---|---|---|
| SNA | 84 | 83 | − 1 |
| SNB | 77 | 80,5 | + 3,5 |
| NS-MP | 35,5 | 25 | −10,5 |
| PP-MP | 32,5 | 19,5 | −13 |
| GO | 128 | 116 | −12 |

**Tabelle 13.** Sagittale und vertikale Lageveränderungen einiger Referenzpunkte zu den Achsen des okzipitalen Referenzsystems (mm) bei Fall 4

| | Sagittale Veränderungen | | | Vertikale Veränderungen | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Alter | 8 J. 5 M. | 22 J. 4 M. | Diff. | 8 J. 5 M. | 22 J. 4 M. | Diff. |
| N | 78 | 84,5 | 6,5 | 47 | 55 | 8 |
| S | 13,5 | 14 | 0,5 | 33,5 | 36 | 2,5 |
| PNS | 37,5 | 42 | 4,5 | − 1,5 | − 2,5 | 1 |
| A | 83,5 | 92 | 8,5 | − 1 | − 2 | 1 |
| $\underline{6}$ | 44,5 | 58,5 | 14 | −12,5 | −18,5 | 6 |
| $\overline{6}$ | 44 | 60 | 16 | −19 | −24,5 | 5,5 |
| B | 78 | 93,5 | 15,5 | −39,5 | −41 | 1,5 |
| Pg | 78,5 | 98 | 19,5 | −50 | −55 | 5 |
| Me | 71 | 91,5 | 20,5 | −52 | −58 | 6 |
| Go 2 | 20,5 | 28,5 | 8 | −33 | −48 | 15 |

Die hierdurch entstandene Verkürzung der Bogenlänge wurde durch die Verlängerung des Corpus mandibulae und des dentoalveolären Fortsatzes in dorsaler Richtung kompensiert. So wurde Raum für den Durchbruch aller Molaren geschaffen. Dieses Behandlungsergebnis bestätigt die Feststellung von *Enlow*, daß das Dorsaldriften des gesamten Ramus Voraussetzung ist für eine erfolgreiche Behandlung der mandibulären Retrusion. Die Verkleinerung der Winkel zwischen Palatinalebene und Mandibularebene um 13°, des Gonion-Winkels um 12° (Tabelle 12 und Abb. 108) geben das Ausmaß der Umbauvorgänge im Kiefer-Gebiß-Bereich wieder. Die Stabilität des Schneidezahnüberbisses geht aus der Abb. 106b hervor. Besonders bemerkenswert ist die Veränderung der Relation zwischen der vorderen und hinteren Gesichtshöhe. Die erste Fernröntgenaufnahme (Abb. 107a) macht deutlich, daß sich die skelettale Hyperdivergenz im posterioren Bereich des Viszeralskeletts manifestiert. Kieferorthopädie heißt Orthopädie der Kiefer, d.h., das Ziel der Behandlung ist die Korrektur der skelettalen Disproportionen. So müssen in diesem Fall unsere orthopädischen Maßnahmen darauf gerichtet sein, die Verkürzung der hinteren Gesichtshöhe zu beheben. Die zweite Fernröntgenaufnahme (Abb. 107b) läßt erkennen, daß diese

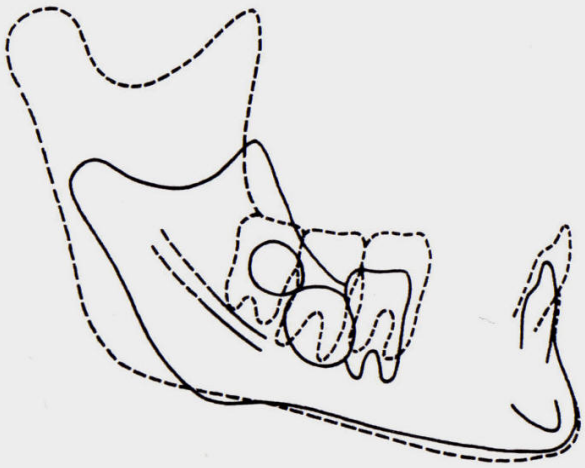


**Abb. 108.** Fall 4. Durchzeichnungen der ersten und letzten Fernröntgenaufnahme des Unterkiefers, in den stabilen Strukturen nach *Björk* überdeckt. Beachte die beträchtliche Verlängerung des Corpus und Ramus mandibulae und das Ausmaß der Umbauvorgänge an der Nahtstelle zwischen Corpus und Ramus

Aufgabe gelöst werden konnte. Unsere Behandlungsfälle zeigen, daß mit dem Funktionsregler die Relation zwischen vorderer unterer Gesichtshöhe und hinterer unterer Gesichtshöhe durch Verlängerung des Ramus im Sinne der Norm verändert werden kann. Auf Grund unserer Erfahrungen läßt sich dies mit Hilfe des Aktivators und seiner Modifikationen nicht erreichen. Aus der Tabelle 13 geht hervor, daß sich die untere Kontur des Gonions (Go 2) um 15 mm und die Position des Mentons (Me) nur um 6 mm kau-

dalwärts veränderte, woraus sich die Normalisierung des mandibulären Rotationsmusters erkennen läßt. Mit der Behebung der skelettalen Disproportionen und der Haltungsfehler der orofazialen Muskulatur kam es zu einer deutlichen Verbesserung des Gesichtsausdrucks (Abb. 105b).

*Fall 5*

Die ersten Gesichtsaufnahmen (Abb. 109a) und die Fernröntgenaufnahme der Abb. 110a gibt die extremen sagittalen und vertikalen Disproportionen im Viszeralbereich mit aller Deutlichkeit wieder. Die Modelle, die bereits früher gezeigt wurden (s. Abb. 85a), lassen eine extreme Entwicklungshemmung im dentoalveolären Bereich erkennen.

Ein Kontakt zwischen Ober- und Unterlippe war nur unter größter Anstrengung möglich, wobei der M. mentalis voll aktiv wurde, wie dies in der Profilaufnahme der Abb. 109a sichtbar wird. Der Knabe war chronischer Mundatmer. Die Rachenmandel und die Tonsillen waren signifikant vergrößert. Es bestand eine starke Einengung der pharyngealen Atempassage (Abb. 110a). Der Kniebeugetest ergab jedoch, daß Nasenatmung im Prinzip möglich war, wenn auch nicht ganz ohne Schwierigkeiten. Es wurde daher auf operative Maßnahmen zur Verkleinerung dieser Drüsen verzichtet. Das extrem starke Durchhängen des Mundbodens ist Ausdruck einer Kaudallage der Zunge, die wir in ursächlichem Zusammenhang mit der Verkleinerung des oralen Funktionsraums sehen.

Die Behandlung wurde im Alter von 7 Jahren und 7 Monaten begonnen und nur mit dem FR-2 durchgeführt. Nach einer aktiven Behandlungszeit von 2 Jahren, 1 Monat wurde der FR-2 als Retentionsgerät weitergetragen, und zwar etwa 3 Stunden am Nachmittag und nachts.

Die letzte Fernröntgenaufnahme (Abb. 110b), die Tabellen 14 und 15 geben Auskunft über die signifikanten Veränderungen des skelettalen Entwicklungsmusters. Mit Hilfe des okzipitalen Referenzsystems läßt sich exakt aufzeigen, in welchen Regionen des Splanchnokraniums sich die sagittalen bzw. vertikalen Disproportionen manifestieren, und ob und in welchem Ausmaß sie korrigiert wurden. Das Pogonion veränderte seine Position in anteriorer Richtung um 14,5 mm, Punkt A nur um 9,5 mm. Der

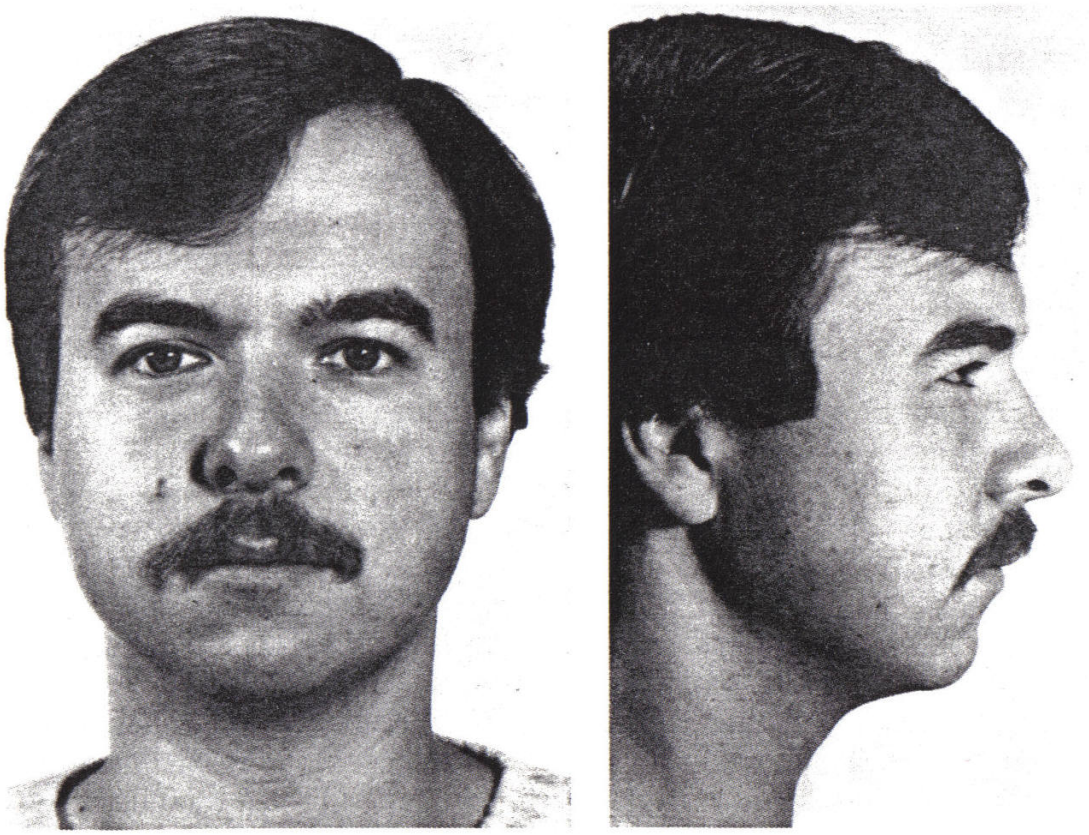
**Tabelle 14.** Veränderung der Winkelwerte bei Fall 5

| Alter | 5 J. 3 M. | 25 J. 3 M. | Diff. |
|---|---|---|---|
| SNA | 79,5 | 82,5 | + 3 |
| SNB | 70,5 | 78 | + 7,5 |
| NS-MP | 44 | 33,5 | −10,5 |
| PP-MP | 35,5 | 26 | − 9,5 |
| Go | 133,5 | 119 | −14,5 |

**Tabelle 15.** Sagittale und vertikale Positionsveränderungen einiger Referenzpunkte in Beziehung zu den Achsen des okzipitalen Referenzsystems bei Fall 5 (mm)

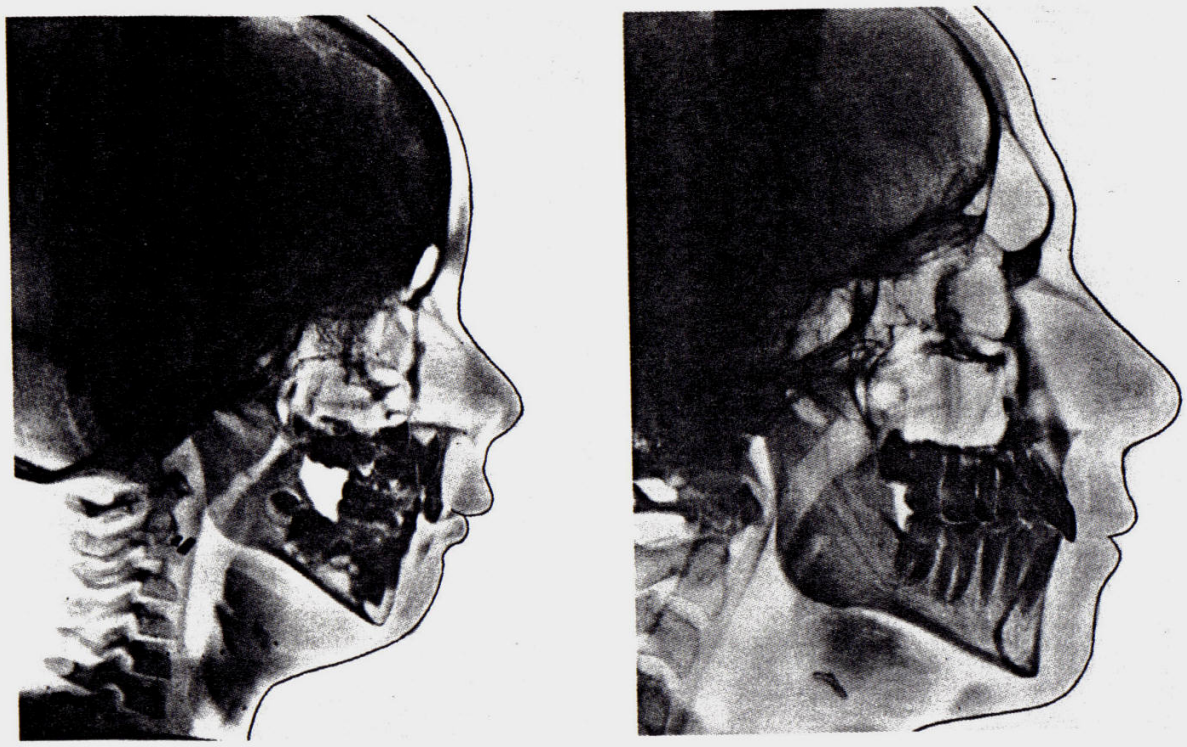
| | Sagittale Veränderungen | | | Vertikale Veränderungen | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Alter | 5 J. 3 M. | 25 J. 3 M. | Diff. | 5 J. 3 M. | 25 J. 3 M. | Diff. |
| N | 74 | 85 | 11 | 49 | 52 | 3 |
| S | 16 | 16,5 | 0,5 | 34 | 40,5 | 6,5 |
| PNS | 36 | 38 | 2 | 5 | − 1,5 | 6,5 |
| A | 77 | 86,5 | 9,5 | 2,5 | − 9 | 11,5 |
| $\frac{6}{}$ | 40 | 53 | 13 | 4 | −17,5 | 21,5 |
| $\frac{}{6}$ | 36 | 53 | 17 | −13,5 | −24 | 10,5 |
| B | 67 | 80 | 13 | −27 | −46 | 19 |
| Pg | 63,5 | 78 | 14,5 | −39 | −60 | 21 |
| Me | 57,5 | 71,5 | 14 | −41,5 | −63,5 | 22 |
| Go 2 | 21,5 | 22 | 0,5 | −22 | −41,5 | 19,5 |

a



b

**Abb. 109a, b.** Fall 5. Die Gesichtsaufnahmen vor (a) und nach Behandlung mit dem FR-2 im Alter von 25 Jahren, 1 Monat (b). Beachte die Straffung der Gesichtszüge und die Normalisierung zwischen oberer und unterer Gesichtshöhe



a b

**Abb. 110a, b.** Fall 5. Die entsprechenden Fernröntgenaufnahmen vor (a) und nach Funktionsreglerbehandlung (b). Die sagittalen und vertikalen Disproportionen des gesamten Viszeralskeletts wurden behoben. Beachte die Pneumatisation im Mittelgesicht und des Sinus frontalis

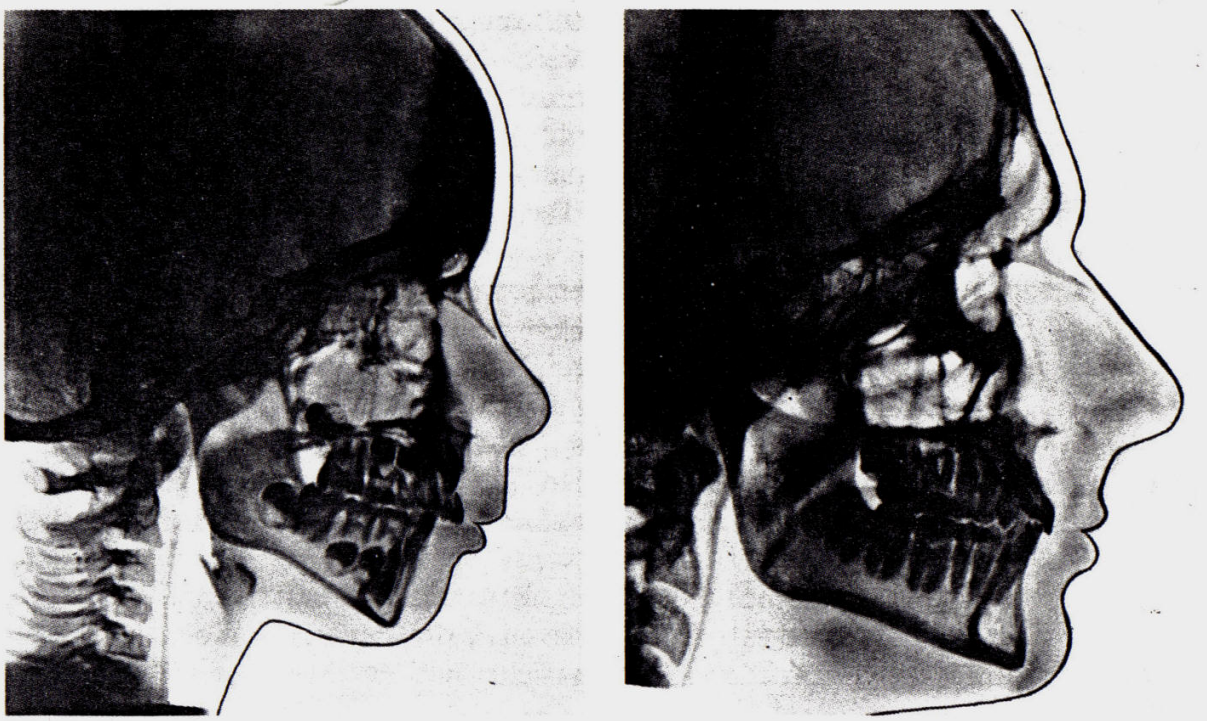
Winkel NS-MP verringerte sich um 10,5°, der Goniowinkel um 14,5° (Tabellen 14 und 15). Das anfänglich bestehende vertikale Entwicklungsmuster konnte im Sinne der Durchschnittsnorm korrigiert werden, was auch in der Veränderung des Weichteilprofils zum Ausdruck kommt. Natürlich lassen sich solche Behandlungsergebnisse nur bei ausgezeichneter Kooperation des Patienten, vor allen Dingen bei intensivem Lippenschließtraining erreichen.

Beim Vergleich der Fernröntgenaufnahmen vor und nach Beendigung der Behandlung fällt auf, daß eine signifikante Pneumatisation im Mittelgesichtsbereich sowie eine deutliche Erweiterung der pharyngealen Atempassage stattgefunden hat. Dies ist vor allem das Ergebnis der Lippenschließgymnastik. Ein kompetenter Abschluß des oralen Funktionsraums ist Voraussetzung für die Wiederherstellung physiologischer Bedingungen im orofazialen Bereich und, wie wir glauben, auch für die Stabilität der orthopädischen Umformung der dentoskelettalen Strukturen.

*Fall 6*

Bei diesem Knaben wurde die Behandlung mit dem FR-1 im Alter von 6 Jahren, 7 Monaten begonnen. Nach einer aktiven Behandlungszeit von 1 Jahr und 9 Monaten wurde das Gerät zur Retention etwa 3 bis 4 Stunden am Nachmittag und während der Nacht getragen. Nach 2 Jahren war die Herstellung eines neuen FR-1 notwendig, der nur noch nachts getragen wurde. Eine verlängerte Retention erschien angezeigt, da eine gewisse Aktivität des M. mentalis beim Lippenschluß noch vorhanden war. Im Alter von 13 Jahren, 6 Monaten wurde dieses Gerät abgesetzt, da der Lippenschluß ohne jede sichtbare Aktivität des Mentalismuskels erreicht werden konnte.

Anhand der Fernröntgenaufnahmen (Abb. 111a und b), der Durchzeichnungen (Abb. 112, 113a und b), sowie der Tabellen 16 und 17 ist zu erkennen, daß



a b

**Abb. 111a, b.** Fall 6. Fernröntgenaufnahmen vor (a) und nach Behandlung mit dem FR-1 (b). Eine signifikante Nachentwicklung des Unterkiefers mit Behebung der mandibulären Rückwärtsrotation wurde erreicht. Beachte die Zunahme der Weichteildicke im Lippen- und Kinnbereich und die Korrektur der abwegigen Relation zwischen oberer und unterer Gesichtshöhe

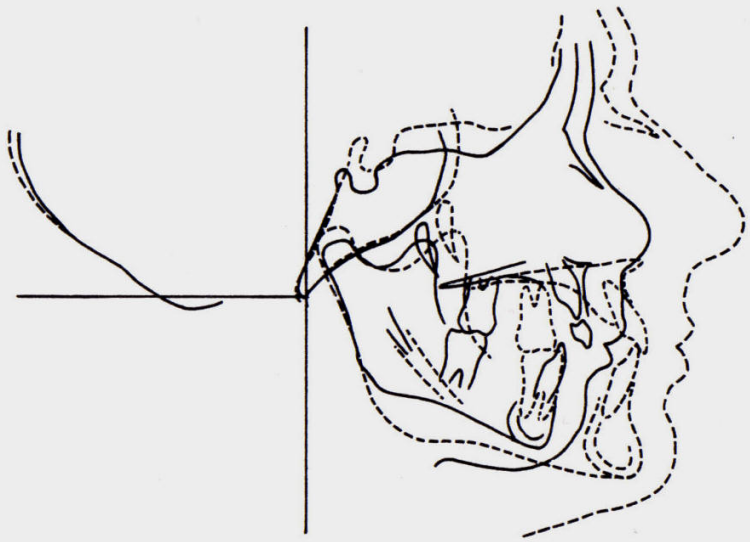


**Abb. 112.** Fall 6. Durchzeichnungen der ersten und letzten Fernröntgenaufnahme, überdeckt in dem okzipitalen Referenzsystem. Auffallend die Verlängerung des Ramus mandibulae

sich ein durchgreifender Wandel des skelettalen Entwicklungsmusters vollzogen hat. Wie die erste Fernröntgenaufnahme (Abb. 111a) zeigt, entspricht die vordere Kontur des Unterkiefers, d. h. die Verbindungslinie zwischen der Schneidezahnkante der unteren Incisivi und dem Pogonion, einer Geraden. Es besteht also anfänglich im Bereich des Supramentale keine Einziehung. Auch bei der letzten Aufnahme ist im Vergleich zum Pogonion nur eine leichte Eindellung in dieser Region zu erkennen. Hieraus läßt sich schließen, daß die Rostralentwicklung

der unteren Alveolarbasis nicht gehemmt wurde. Dies führen wir auf die abschirmende Wirkung der vestibulären Plattenelemente des Funktionsreglers zurück. Auffallend ist die Positionsveränderung des Pogonions in anteriorer Richtung. Hierdurch wird erkennbar, daß der Entwicklungsrückstand des Unterkiefers im Verhältnis zum Oberkiefer behoben wurde. Der Punkt A veränderte seine Position in anteriorer Richtung um 12,5 mm, das Pogonion um 26 mm (Tabelle 17). Die Wachstumsachse veränderte sich um 4° (Abb. 113a und b). Auffallend ist die Verlängerung des Ramus und das Verstreichen der Incisura mandibularis. Dies zeigt an, daß sich der Unterkiefer nicht nur in der Länge sondern auch in bezug auf das Rotationsmuster verändert hat. Der vertikale Wachstumstyp wandelte sich zu einem neutralen Wachstumsmuster (Abb. 112). Bemerkenswert ist auch die Erweiterung der pharyngealen Atempassage, die Pneumatisation des Mittelgesichts und des Sinus frontalis, ein Er-

**Tabelle 16.** Veränderung der Winkelwerte bei Fall 6

| Alter | 6 J. 7 M. | 17 J. 11 M. | Diff. |
|---|---|---|---|
| SNA | 80,5 | 79 | − 1,5 |
| SNB | 71,5 | 77,5 | + 6 |
| NS-MP | 37,5 | 27,5 | −10 |
| PP-MP | 30 | 18,5 | −11,5 |
| Go | 129,5 | 121 | − 8,5 |

**Tabelle 17.** Sagittale und vertikale Positionsveränderungen einiger Referenzpunkte zu den Achsen des okzipitalen Referenzsystems bei Fall 6

| | Sagittale Veränderungen | | | Vertikale Veränderungen | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Alter | 6 J. 7 M. | 17 J. 11 M. | Diff. | 6 J. 7 M. | 17 J. 11 M. | Diff. |
| N | 87,5 | 100,5 | 13 | 32 | 43,5 | 11,5 |
| S | 23,5 | 29 | 5,5 | 29 | 37 | 8 |
| PNS | 40 | 47,5 | 7,5 | − 6,5 | − 8 | 1,5 |
| A | 82,5 | 95 | 12,5 | −15 | −17 | 2 |
| $\frac{6}{}$ | 42,5 | 60 | 17,5 | −18,5 | −26,5 | 8 |
| $\frac{}{6}$ | 38 | 61 | 23 | −22 | −33 | 11 |
| B | 66,5 | 88 | 21,5 | −49 | −55 | 6 |
| Pg | 62,5 | 88,5 | 26 | −59,5 | −69 | 9,5 |
| Me | 56 | 81 | 25 | −60 | −73,5 | 13,5 |
| Go 2 | 18,5 | 25 | 6,5 | −34,5 | −50 | 15,5 |

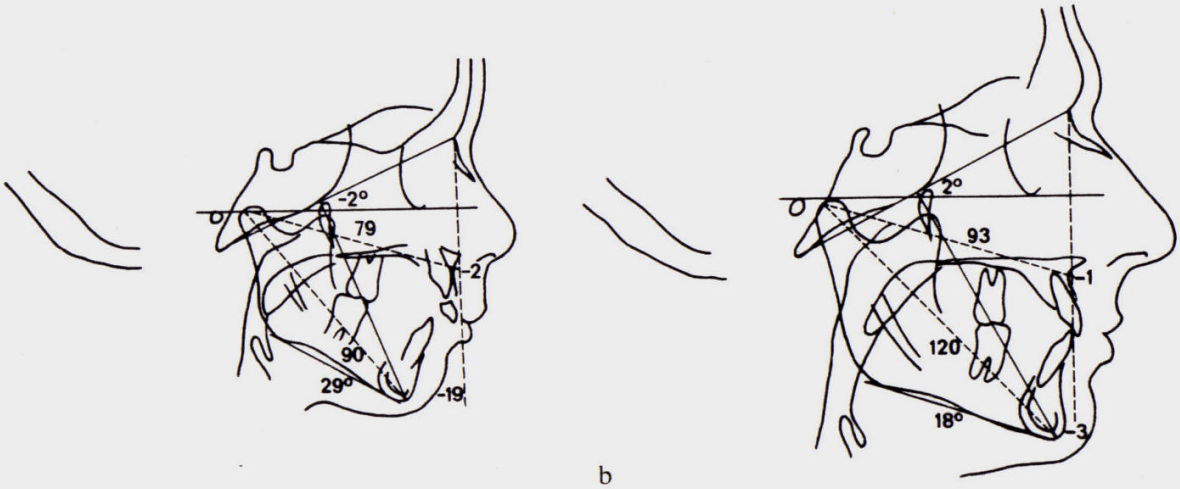


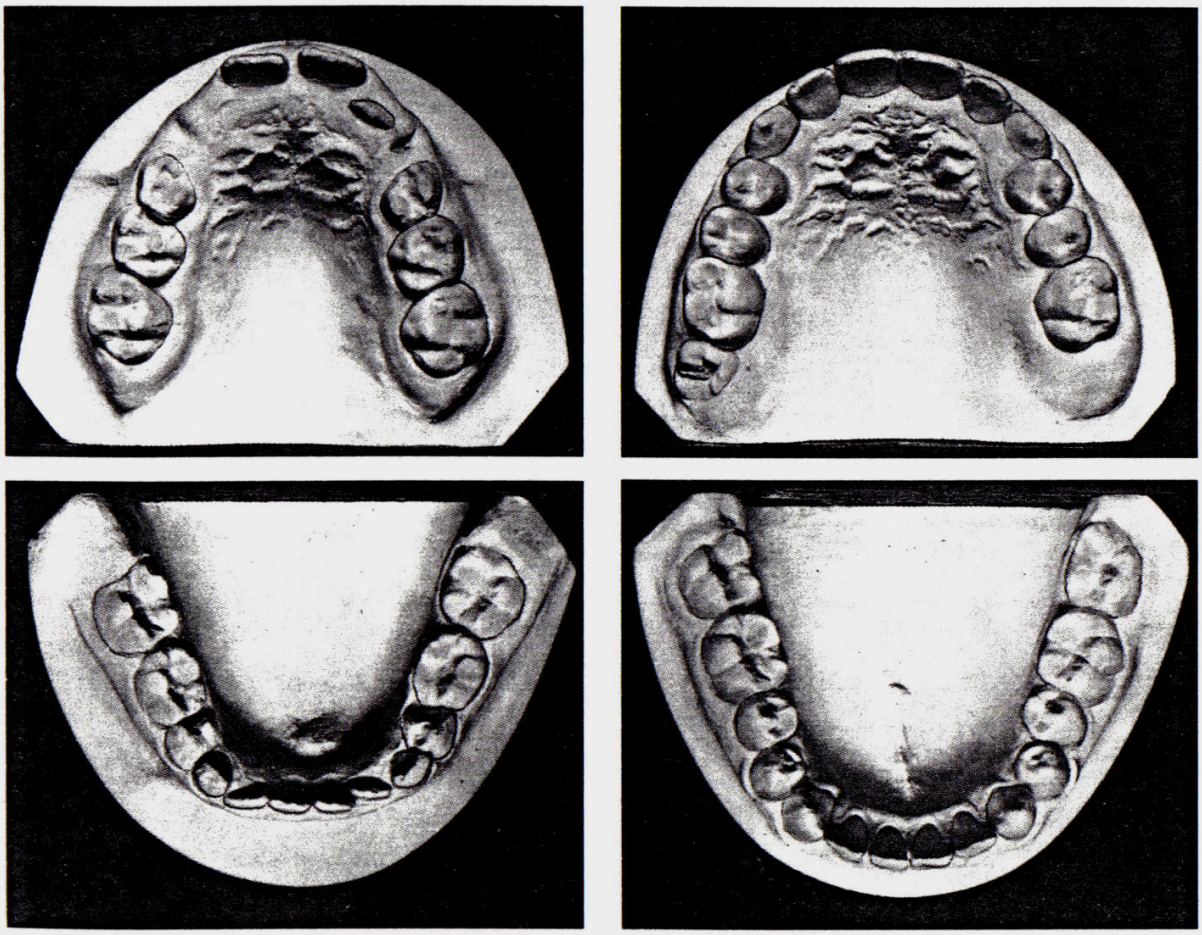

**Abb. 113a, b.** Fall 6. Durchzeichnungen der ersten (a) und letzten Fernröntgenaufnahme (b), analysiert nach der kephalometrischen Methode von McNamara

gebnis, das auf den Abschluß des oralen Funktionsraums durch Lippenschließgymnastik zurückzuführen ist. Bemerkenswert ist auch die signifikante Verdikkung der Lippen. Hieraus läßt sich ableiten, daß die Lippenschließmuskulatur erfolgreich trainiert werden konnte (Abb. 111b). Beim Lippenschluß ist eine exzessive Aktivität des M. mentalis nicht mehr festzustellen. Auf Grund unserer Beobachtungen wirkt sich die Lippenschließgymnastik auch auf die Position der Nasenspitze aus. Während des Trainings erhöht sich der Tonus der vorderen vertikalen Muskelkette, wodurch das Wachstum der Nasenknorpel richtungsmäßig beeinflußt werden kann.

*Fall 7*

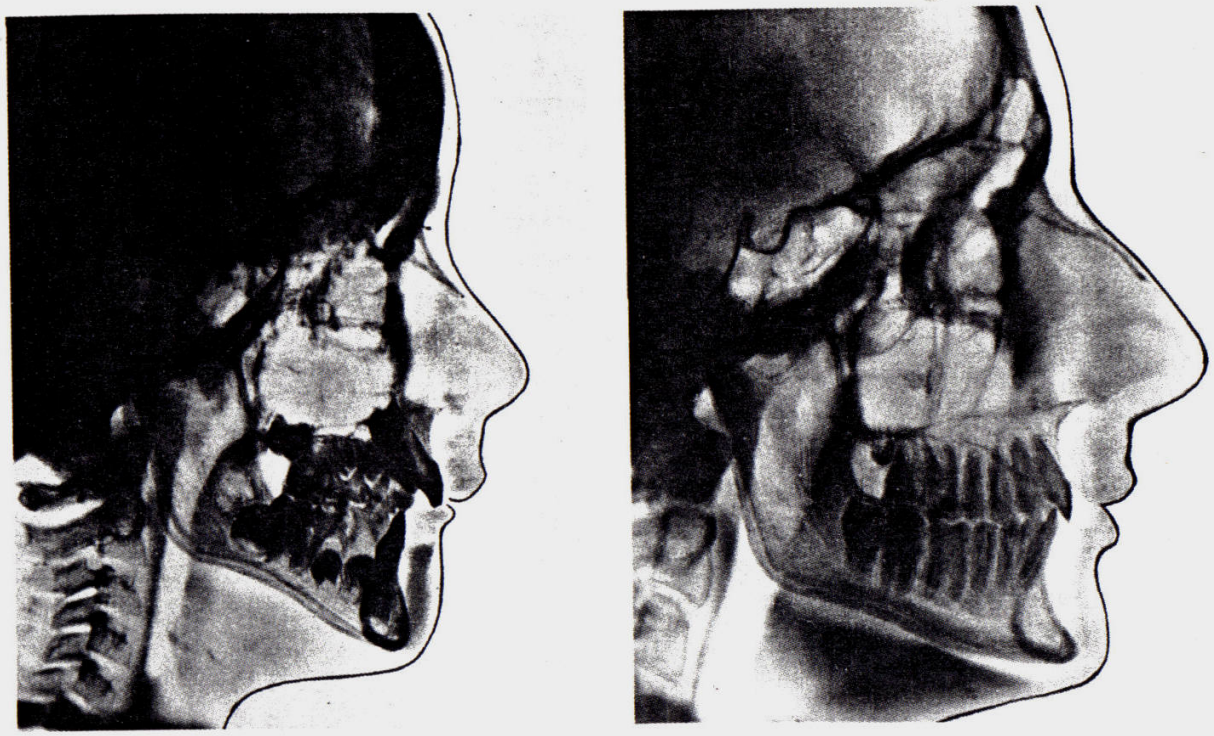
Bei der anfänglichen Befunderhebung wurde eine Diskrepanz zwischen Zahngröße und Zahnbogengröße festgestellt (Abb. 114a). Beim Vater des Patienten lag ein ausgesprochenes vertikales Entwicklungsmuster vor. Die Fernröntgenaufnahme (Abb. 115a) läßt bei dem Kind die Tendenz zur gleichen skelettalen Fehlentwicklung erkennen, so daß eine heriditäre Veranlagung angenommen werden kann. Anamnestisch litt das Kind häufig an Erkältungskrankheiten. Es bestand eine chronische Mundatmung. Die physische und geistige Entwicklung des Kindes war offensichtlich retardiert. Der Junge machte einen passiven, ängstlichen Eindruck.

Im Gegensatz zu den bisher gezeigten Fällen, lag bei diesem Knaben das Supramentale zurück (Abb. 115a). Wir führen dies auf ein Einziehen bzw. Einsaugen der Unterlippe zurück, d. h., die dentoalveoläre Entwicklung in sagittaler Rich-



a b

**Abb. 114a, b.** Fall 7. Modellaufsichtsaufnahmen vor Behandlung (a) und im Alter von 17 Jahren, 10 Monaten (b)



a b

**Abb. 115a, b.** Fall 7. Fernröntgenaufnahme vor Behandlung (a) und 2 Jahre, 9 Monate nach Absetzen des FR-1

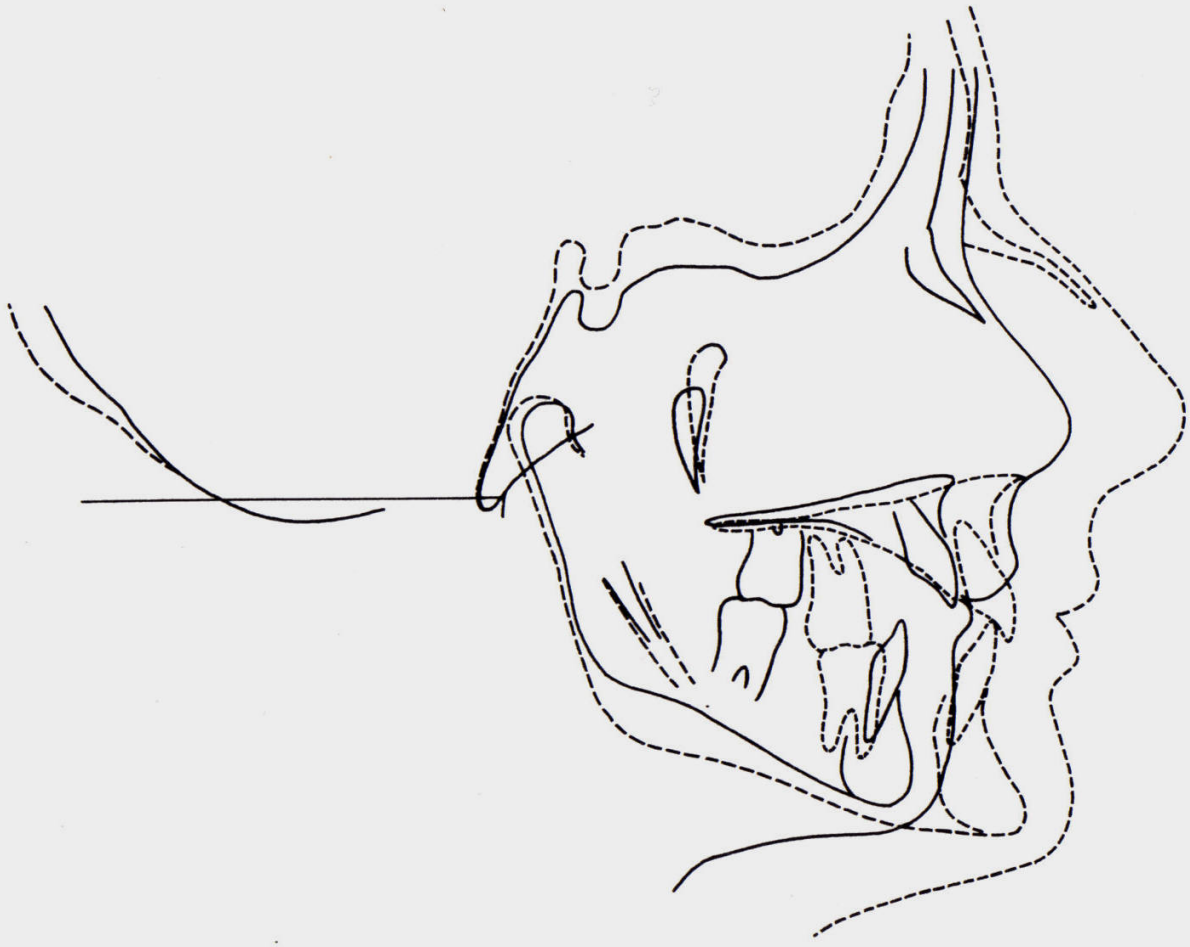
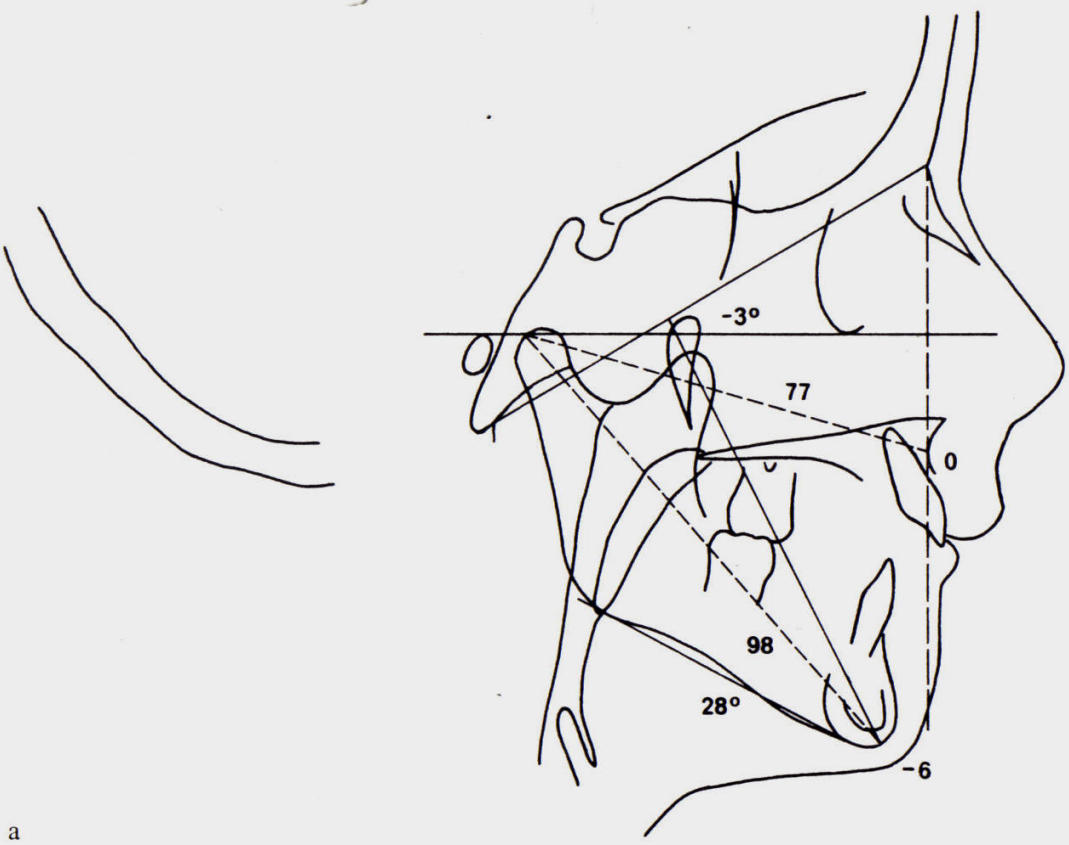
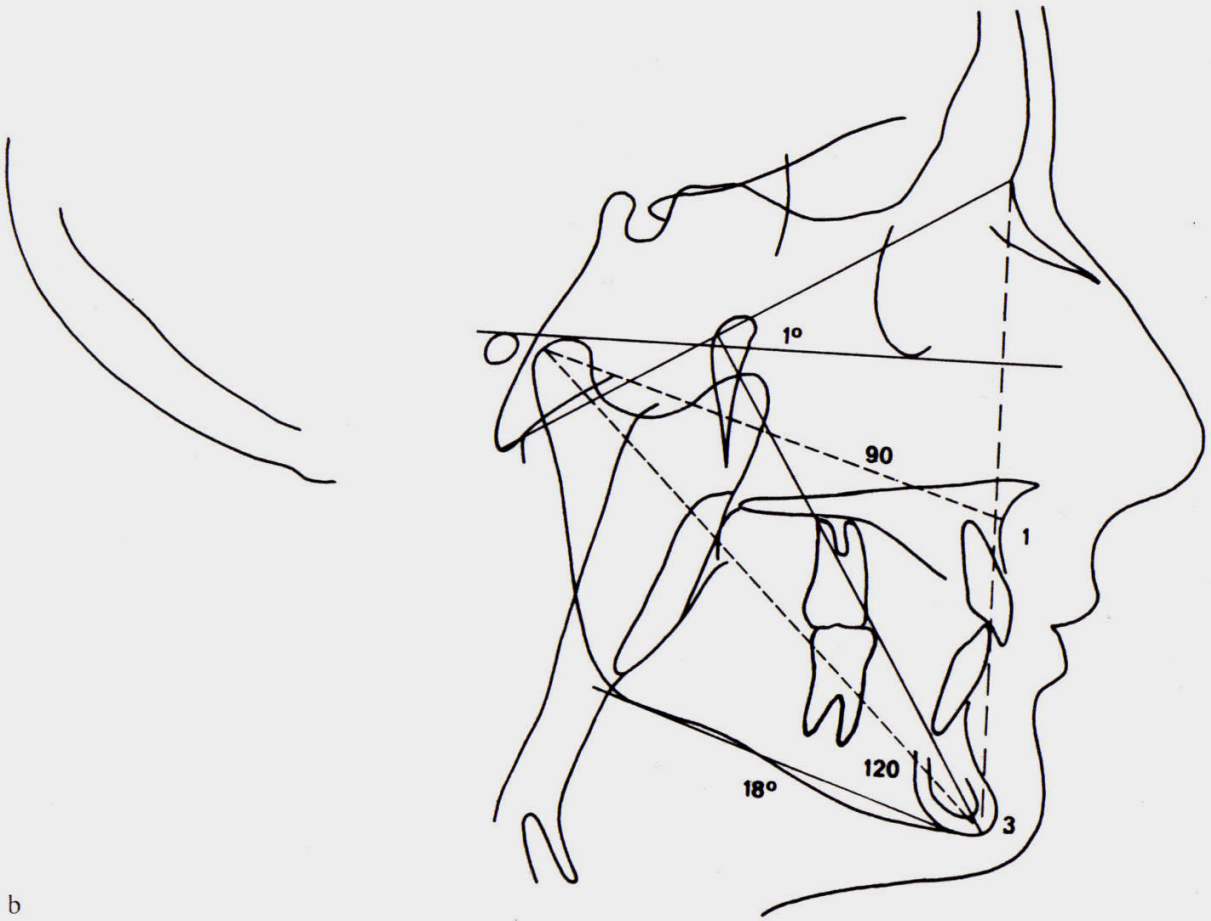


**Abb. 116.** Fall 7. Durchzeichnungen der ersten und letzten Fernröntgenaufnahme, überdeckt in dem okzipitalen Referenzsystem




a




b

**Abb. 117a, b.** Fall 7. Kephalometrische Auswertung der ersten (a) und letzten Fernröntgenaufnahme (b) nach der Methode von *McNamara*

tung wurde durch die restriktive Wirkung dieser Fehlfunktion gehemmt, wodurch sich der Zahnengstand im Unterkiefer erklärt. Während der Funktionsreglerbehandlung kam es zu einer signifikanten Nachentwicklung des dentoalveolären Fortsatzes in dorsaler Richtung. Der Zahnengstand wurde behoben (Abb. 114b) und ein adäquater Raum für den Durchbruch der Weisheitszähne wurde geschaffen. Die Durchzeichnungen der Fernröntgenaufnahmen (Abb. 116) zeigen, daß sowohl die sagittalen als auch die vertikalen Disproportionen im Sinne normaler Durchschnittswerte verändert werden konnten.

Der orthopädische Effekt der Lippenschließgymnastik kommt in der Pneumatisation des Mittelgesichts und des Sinus frontalis wie auch in der Erweiterung des Oropharynx zum Ausdruck. Besonders auffallend ist die Veränderung der Weichteilbedeckung im Bereich der Lippen und des Kinns. Die Nasenspitze veränderte ihre Position nach unten.

Die Korrektur des skelettalen Entwicklungsmusters wird auch durch die kephalometrische Analyse nach *McNamara* deutlich (Abb. 117a, b). Das kephalometrische Analyseverfahren nach *Fränkel* erlaubt eine wesentlich objektivere Erfassung der während der Behandlung stattgefundenen Veränderungen (Tabellen 18 und 19). Wir erhalten eine exakte Auskunft, in welcher Region und in welchem Ausmaß Veränderungen im dentoskelettalen Bereich stattgefunden haben. Außerdem können wir feststellen, wie sich das Wachstum der Synchondrosis sphenooccipitalis auf die Positionsveränderungen der Bezugspunkte Sella, Nasion, Orbitale und Pterygopalatinale ausgewirkt hat. So läßt sich differenzieren, inwieweit sich die lokalen Veränderungen im Splanchnokranium als Folge des Wachstums oder als Effekt der Behandlung erklären.

**Tabelle 18.** Veränderung der Winkelwerte bei Fall 7

| Alter | 7 J. 8 M. | 17 J. 10 M. | Diff. |
|---|---|---|---|
| SNA | 77,5 | 81 | + 3,5 |
| SNB | 71,5 | 78,5 | + 7 |
| NS-MP | 40 | 28,5 | −11,5 |
| PP-MP | 36 | 24 | −12 |
| Go | 130 | 122 | − 8 |

*Fall 8*

Bei diesem Fall handelt es sich um eine Angle-Klasse II/2 mit Engstand im oberen und unteren Zahnbogen, vergesellschaftet mit einem starken Schneidezahnüberbiß (Abb. 118a und 119a).

Die funktionelle Analyse ergab eine sogenannte „high lip line", d. h., die Unterlippe lag den Labialflächen der oberen

**Tabelle 19.** Sagittale und vertikale Positionsveränderungen einiger Referenzpunkte zu den Achsen des okzipitalen Referenzsystems bei Fall 7 (mm)

| | Sagittale Veränderungen | | | Vertikale Veränderungen | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Alter | 7 J. 8 M. | 17 J. 10 M. | Diff. | 7 J. 8 M. | 17 J. 10 M. | Diff. |
| N | 79 | 84 | 5 | 47,5 | 55,5 | 8 |
| S | 18 | 18 | 0 | 33 | 41 | 8 |
| PNS | 36 | 40 | 4 | − 5 | − 7,5 | 2,5 |
| A | 79,5 | 88,5 | 9 | − 4,5 | − 8,5 | 4 |
| $\frac{6}{}$ | 43 | 54 | 11 | −17 | −24,5 | 7,5 |
| $\frac{=}{6}$ | 39,5 | 56,5 | 17 | −22,5 | −31,5 | 9 |
| B | 71 | 86 | 15 | −38,5 | −43 | 4,5 |
| Pg | 73,5 | 93,5 | 20 | −55 | −60 | 5 |
| Me | 68 | 88 | 20 | −58,5 | −63,5 | 5 |
| Go 2 | 22 | 26,5 | 4,5 | −35 | −47 | 12 |

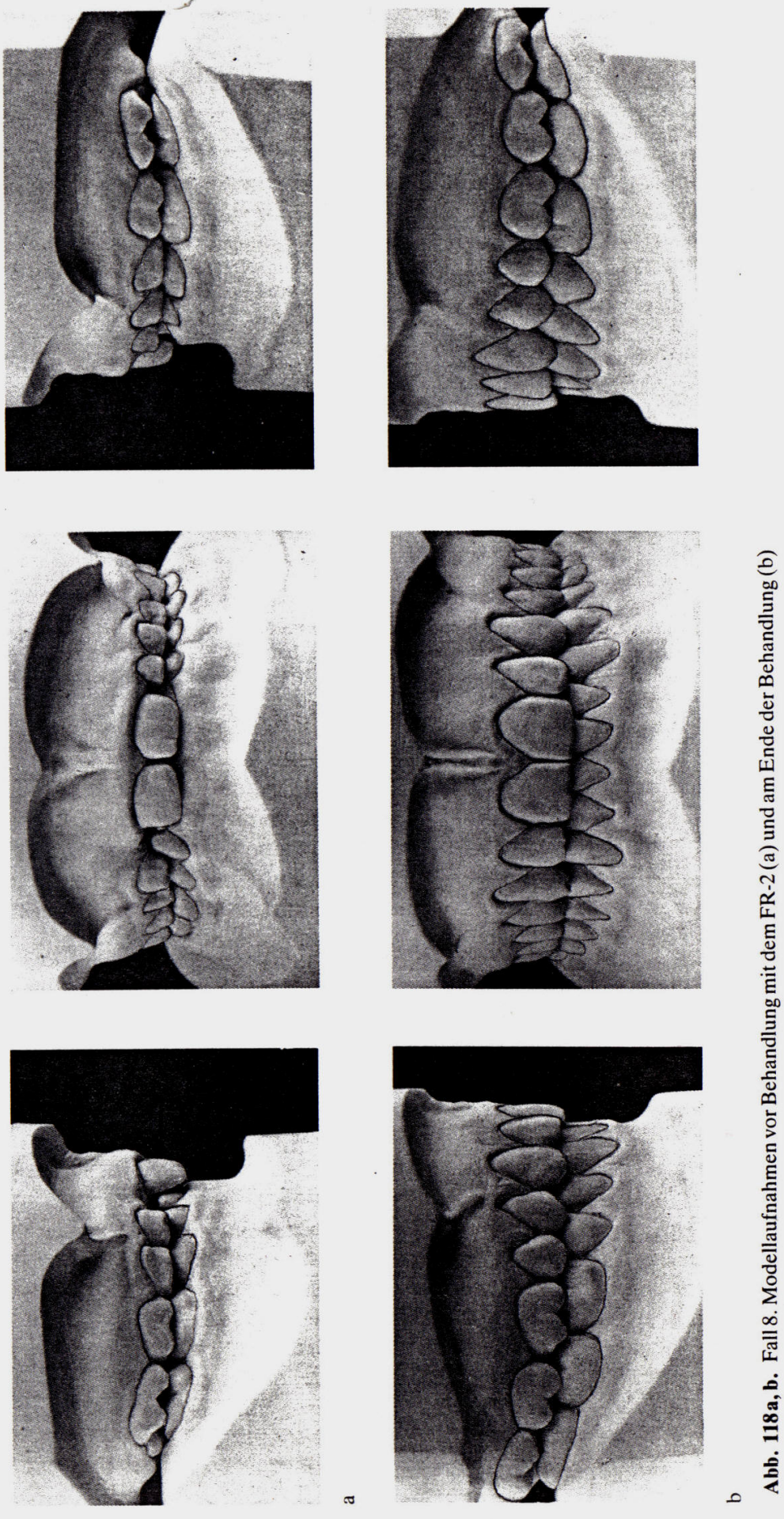
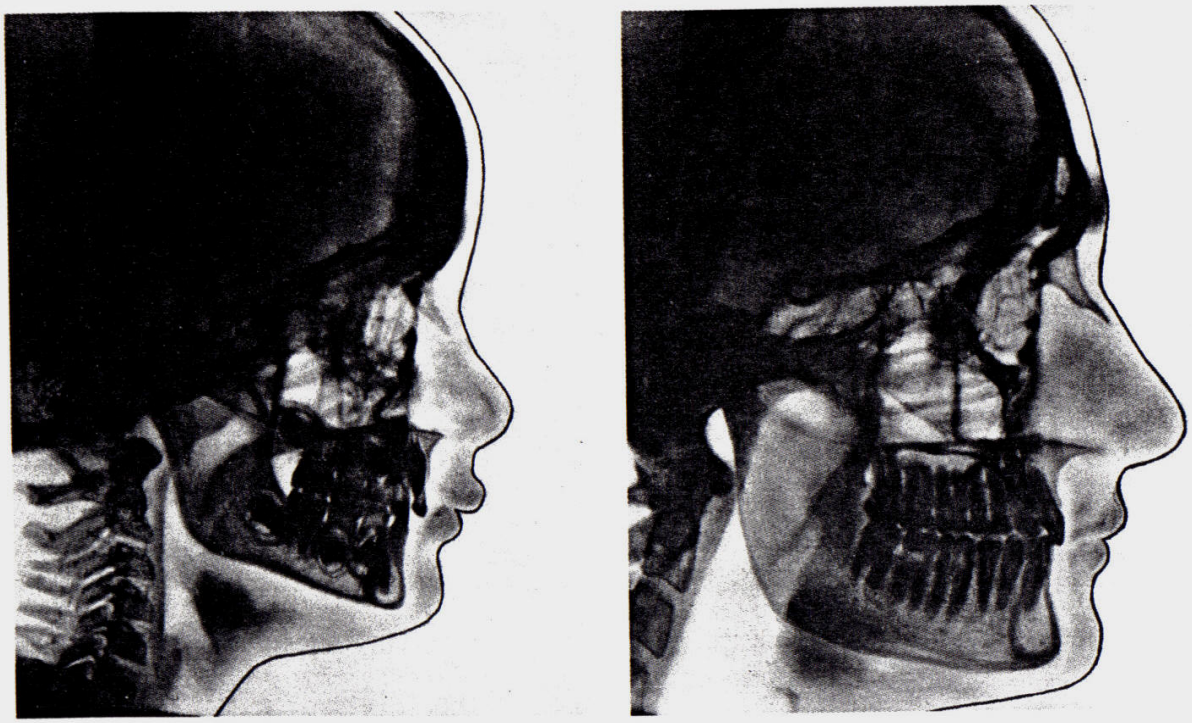


**Abb. 118a, b.** Fall 8. Modellaufnahmen vor Behandlung mit dem FR-2 (a) und am Ende der Behandlung (b)



a b

**Abb. 119a, b.** Fall 8. Die erste Fernröntgenaufnahme wurde im Alter von 6 Jahren, 2 Monaten (a), die letzte im Alter von 21 Jahren, 2 Monaten (b) angefertigt. Die Hebung des Bisses ging mit einer signifikanten Verlängerung des Ramus mandibulae einher. Beachte die Verbesserung der Lippenhaltung und die Pneumatisation im Mittelgesicht

**Tabelle 20.** Veränderung der Winkelwerte bei Fall 8

| Alter | 6 J. 2 M. | 21 J. 2 M. | Diff. |
|---|---|---|---|
| SNA | 76,5 | 76,5 | 0 |
| SNB | 72,5 | 77 | + 4,5 |
| NS-MP | 28 | 18 | −10 |
| PP-MP | 18 | 11 | − 7 |
| Go | 122,5 | 109 | −13,5 |

Schneidezähne an. Hierauf führen wir die Retroinklination dieser Zähne zurück. Wir glauben, daß diese Fehllage und Fehlhaltung im Bereich der Lippen auch für die Hemmung der Unterkieferentwicklung, besonders im dentoalveolären Bereich, verantwortlich ist.

Die Behandlung dieses Patienten wurde im Alter von 6 Jahren und 2 Monaten

**Tabelle 21.** Sagittale und vertikale Positionsveränderungen einiger Bezugspunkte zu den Achsen des okzipitalen Referenzsystem bei Fall 8 (mm)

| | Sagittale Veränderungen | | | Vertikale Veränderungen | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Alter | 6 J. 2 M. | 21 J. 2 M. | Diff. | 6 J. 2 M. | 21 J. 2 M. | Diff. |
| N | 81,5 | 94,5 | 13 | 51,5 | 59 | 7,5 |
| S | 18 | 23 | 5 | 32,5 | 39,5 | 7 |
| PNS | 42 | 47 | 5 | 5 | − 1,5 | 6,5 |
| A | 84,5 | 96 | 11,5 | 5 | − 2,5 | 7,5 |
| $\underline{6}$ | 47,5 | 65,5 | 18 | − 6 | −20 | 14 |
| $\overline{\underline{6}}$ | 46,5 | 67,5 | 21 | −13 | −25 | 12 |
| B | 81,5 | 98,5 | 17 | −25 | −35,5 | 10,5 |
| Pg | 82 | 104 | 22 | −36 | −48,5 | 12,5 |
| Me | 76 | 99 | 23 | −40 | −55,5 | 15,5 |
| Go 2 | 29 | 34 | 5 | −30,5 | −51 | 20,5 |

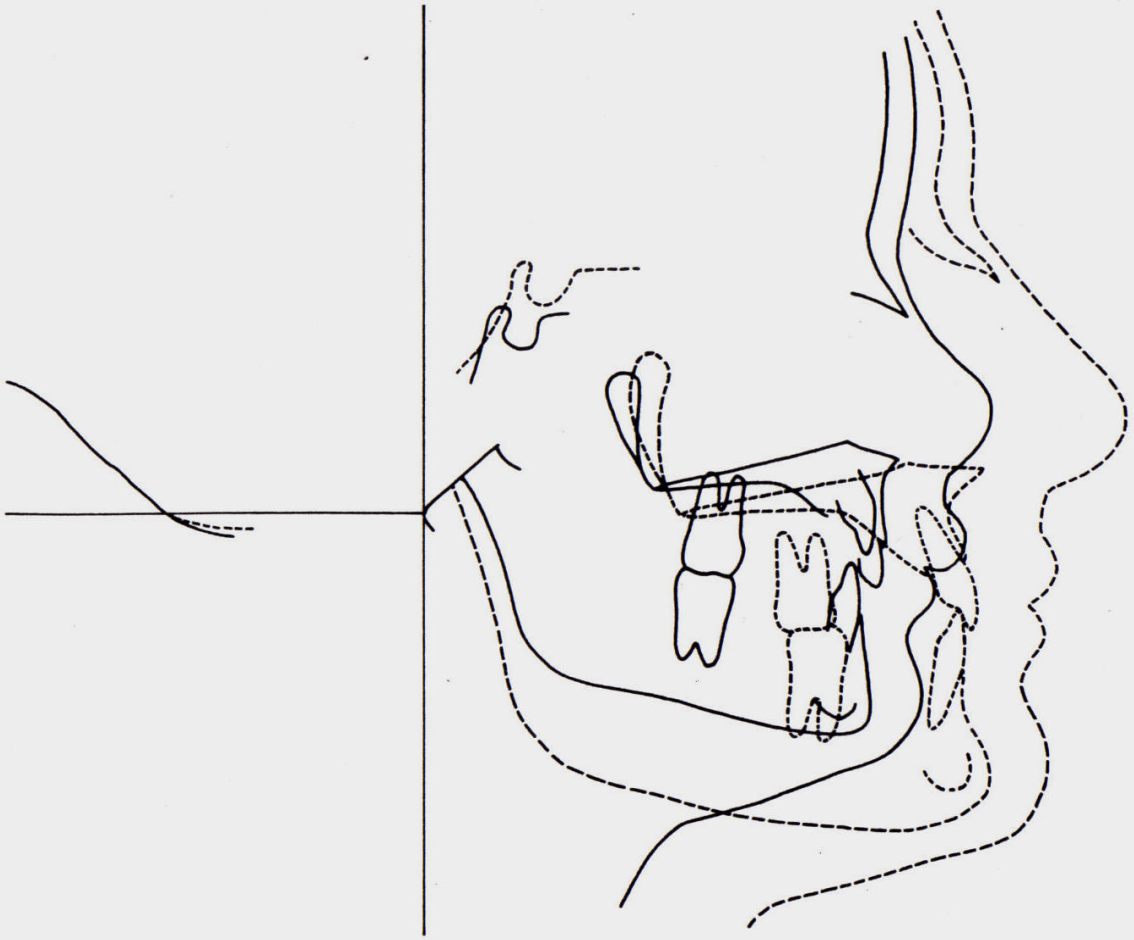


**Abb. 120.** Fall 8. Die Durchzeichnungen der ersten und letzten Fernröntgenaufnahme, überdeckt im okzipitalen Referenzsystem

begonnen. Wie bereits im Kapitel 5 ausgeführt, wird die Behandlung der Fälle der Angle-Klasse II/2 mit Mechanotherapie eingeleitet, d. h., die oberen Schneidezähne werden aus ihrer Fehlstellung mit Hilfe einer festsitzenden oder herausnehmbaren Apparatur zur normalen Achsenstellung protrudiert. Im Alter von 7 Jahren, 4 Monaten wurde die Behandlung mit dem FR-2 fortgesetzt. Nach Einstellung in den Regelbiß, was in diesen Fällen verhältnismäßig schnell geschieht, wurde der FR-2 für einige Stunden am Nachmittag und in der Nacht getragen. In der Retentionszeit hat dieses Gerät vor allem die Aufgabe, die Veränderungen im funktionellen Milieu sicherzustellen.

Wir sind der Ansicht, daß die heriditäre Veranlagung dieser Fehlentwicklung in den Besonderheiten des neuromuskulären Funktionsmusters zu suchen ist. Die Fehllage der Unterlippe und die Hyperaktivität des M. mentalis ist daher schwieriger zu korrigieren. Aus diesem Grunde lassen wir den Funktionsregler nach Abschluß der aktiven Behandlung für längere Zeit als Retentionsgerät tragen. Auf diese Weise gelingt es, eine bleibende Normalisierung der neuromuskulären Funktionsmuster im Lippen- und Kinnbereich zu erreichen und damit dem Rezidiv, des Deckbisses, vorzubeugen.

Die Schlußmodelle (Abb. 118b) zeigen, daß der Zahnengstand behoben werden konnte. Eine signifikante Verlängerung des dentoalveolären Bogens wurde ohne Protrusion des unteren anterioren Segments erreicht. Die Weisheitszähne sind durchgebrochen, und es besteht ein normaler Schneidezahnüberbiß. Die letzte Fernröntgenaufnahme (Abb. 119b), die Durchzeichnungen der Abb. 120 und die

Tabellen 20 und 21 geben die dentoskelettalen Veränderungen in der Sagittalen und Vertikalen wieder. Auffallend ist die Ramusverlängerung und die Distanzvergrößerung zwischen Palatinalebene und Mandibularebene. Dies zeigt, daß die vertikale Entwicklungshemmung nicht nur im dentoalveolären, sondern auch im skelettalen Bereich behoben wurde. Um derartige Ergebnisse zu erreichen, müssen die Bukkalschilde des Funktionsreglers vertikal entsprechend groß gestaltet sein und sich in der oberen Vestibulärfalte tief einlagern. Außerdem muß darauf geachtet werden, daß die Palatinal- bzw. die Lingualbögen den Tuberkula der Schneidezähne anliegen. Durch wiederholtes Aktivieren dieser Drähte während der Behandlung wird die erforderliche Bißöffnung erreicht. Die Korrektur des Steilstands der oberen Schneidezähne erfolgt bei der Funktionsreglerbehandlung nicht durch Torquen, sondern durch Proklination. Auf diese Weise kann eine Hemmung der Alveolarbasis in anteriorer Richtung und damit die Konkavität des unteren Gesichtsprofils vermieden werden.

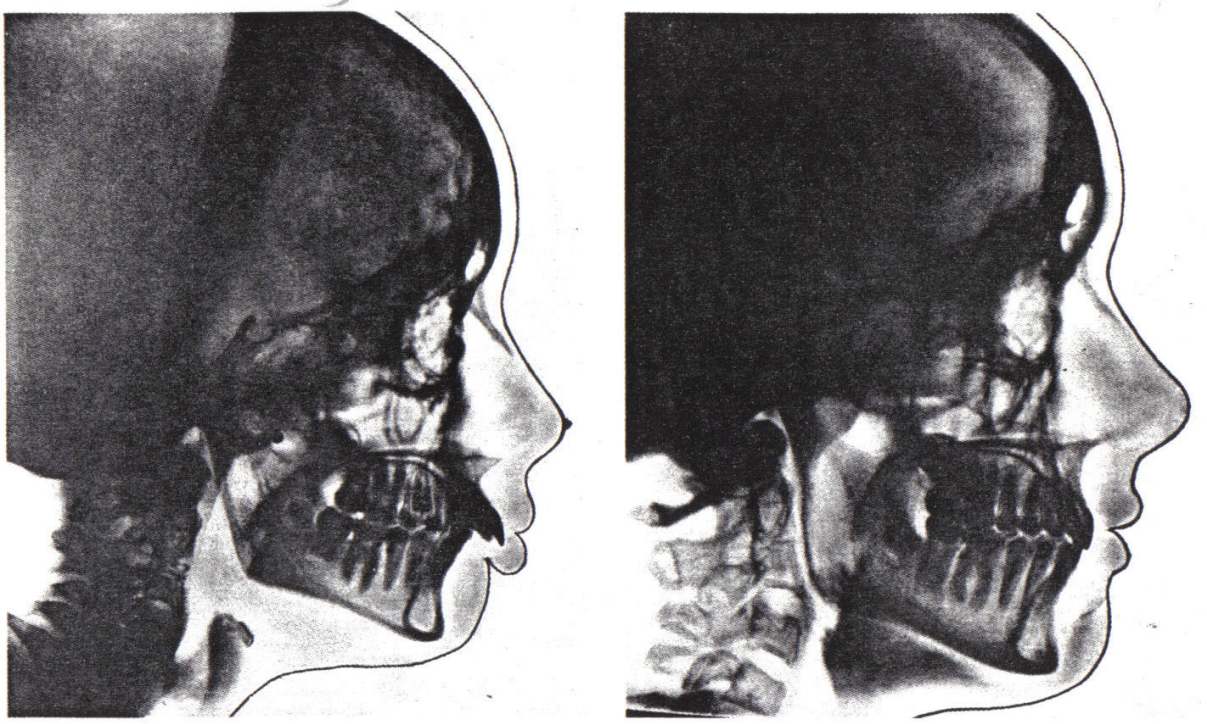
### 13.6.2.2 Anwendung des Funktionsreglers im bleibenden Gebiß

Die Tierexperimente von *McNamara* (1972) haben gezeigt, daß beim erwachsenen Versuchstier eine Verlängerung der Unterkieferbasis nicht mehr erreicht werden kann. Hieraus läßt sich folgern, daß eine orthopädische Nachentwicklung des Unterkiefers in hohem Maße davon abhängt, in welchem Alter wir die Behandlung beginnen, d.h., wir sollten uns an das Prinzip „working with growth" halten. Entwicklung läßt sich nur beeinflussen, wenn Entwicklung noch im Gange ist. Es ist daher ein großer Irrtum anzunehmen, die apikale Basis des Unterkiefers lasse sich auch nach Durchbruch der unteren Eckzähne und Prämolaren noch im Sinne einer Nachentwicklung beeinflussen. Auch mit dem Funktionsregler kann dann der Zahnengstand im anterioren Alveolarbogen des Unterkiefers nicht mehr behoben werden. Im Gegensatz dazu ist die Entwicklung des Unterkieferbasalbogens noch nicht abgeschlossen. Am Kondylus finden noch aktive Wachstumsprozesse statt. So läßt sich die basale Längenentwicklung des Unterkiefers auch noch in der Adoleszenz orthopädisch beeinflussen. Einige Fallbeispiele mögen das belegen.

*Fall 9*

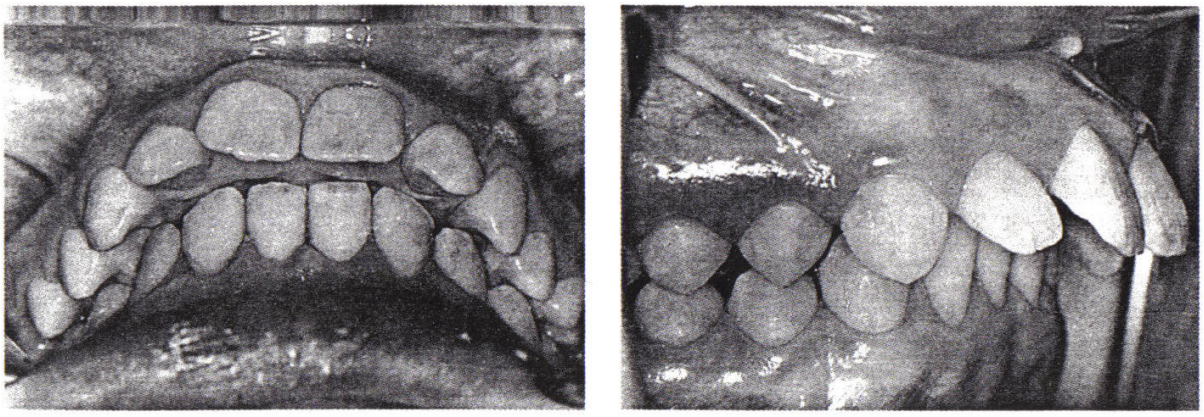
Bei dieser Patientin handelte es sich um eine Angle-Klasse II/1. Die erste Fernröntgenaufnahme (Abb. 121a) und die intraoralen Fotografien (122a), die im Alter von 12 Jahren und 1 Monat angefertigt wurden, zeigen eine starke Protrusion der oberen und unteren Schneidezähne. Das vordere dentoalveoläre Segment war im Verhältnis zur Unterkieferbasis weit vorgekippt. Bei der Behandlung dieser Fälle ist streng darauf zu achten, daß eine weitere Protrusion der unteren Frontzähne vermieden wird. Da ein extremer Tiefbiß vorhanden war (Abb. 121a und 122a), wurde dieser Fall mit dem FR-2 behandelt. Dieses Gerät wurde im Alter von 12 Jahren, 2 Monaten eingefügt. Nach einer Eintragezeit von 4 Monaten ließen wir den FR-2 am Tage etwa 8 Stunden und nachts tragen. Nach einer aktiven Behandlungszeit von 2 Jahren und 4 Monaten wurde ein zweiter FR-2 als Retentionsgerät eingefügt.

Denen, die mit dem Funktionsregler noch keine Erfahrungen haben, empfehlen wir zunächst eine aktive Vorbehandlung mit festsitzenden oder herausnehmbaren Geräten, um die starke Protrusion der oberen Schneidezähne zu beheben. Das zweite Fernröntgenbild (Abb. 121b) und die Durchzeichnungen (Abb. 124), überdeckt im okzipitalen Referenzsystem, zeigen das Ergebnis der Behandlung nach Absetzen des FR-2. Deutlich ist zu erkennen, daß es während der Behandlung zu einer Aufrichtung der Schneidezähne

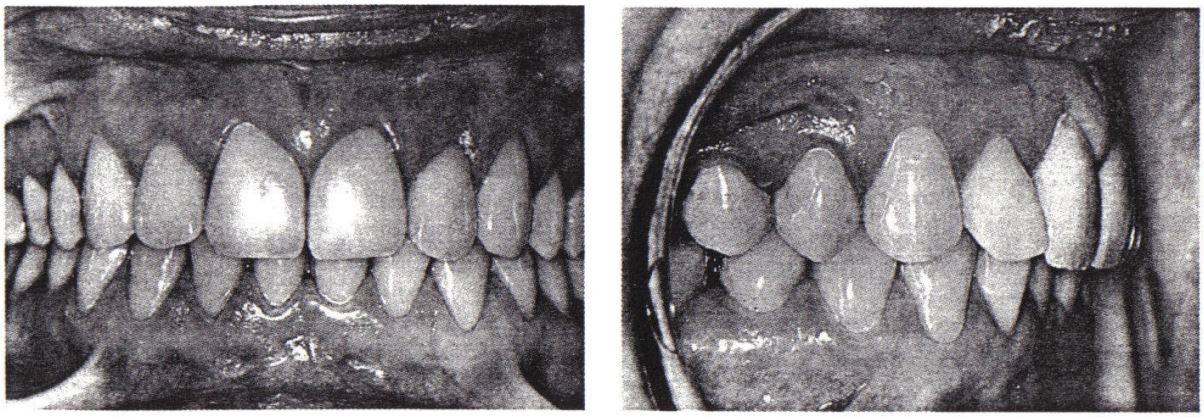


a b

**Abb. 121a, b.** Fall 9. Die Fernröntgenaufnahme vor (a) und nach Behandlung mit dem FR-2 (b). Die Vertikalentwicklung im dentoalveolären Bereich geht mit einer entsprechenden Verlängerung des Ramus mandibulae einher



a

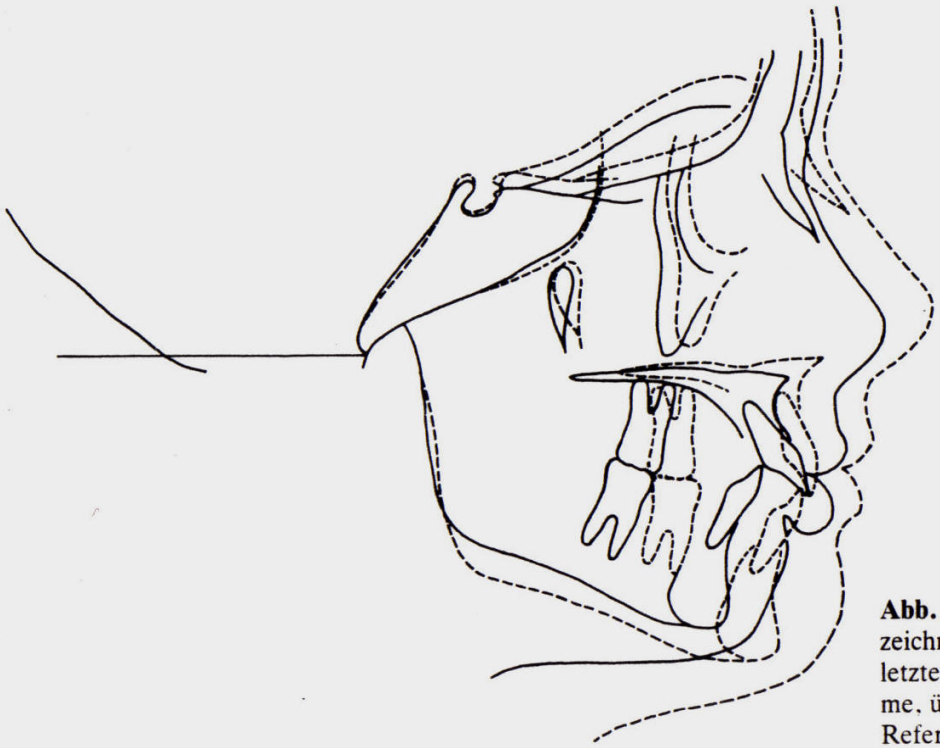


b

**Abb. 122a, b.** Fall 9. Intraorale Aufnahmen vor (a) und nach Behandlung mit dem FR-2 (b)

a b

**Abb. 123a, b.** Fall 9. Gesichtsaufnahmen vor (a) und im Alter von 25 Jahren, 4 Monaten (b)



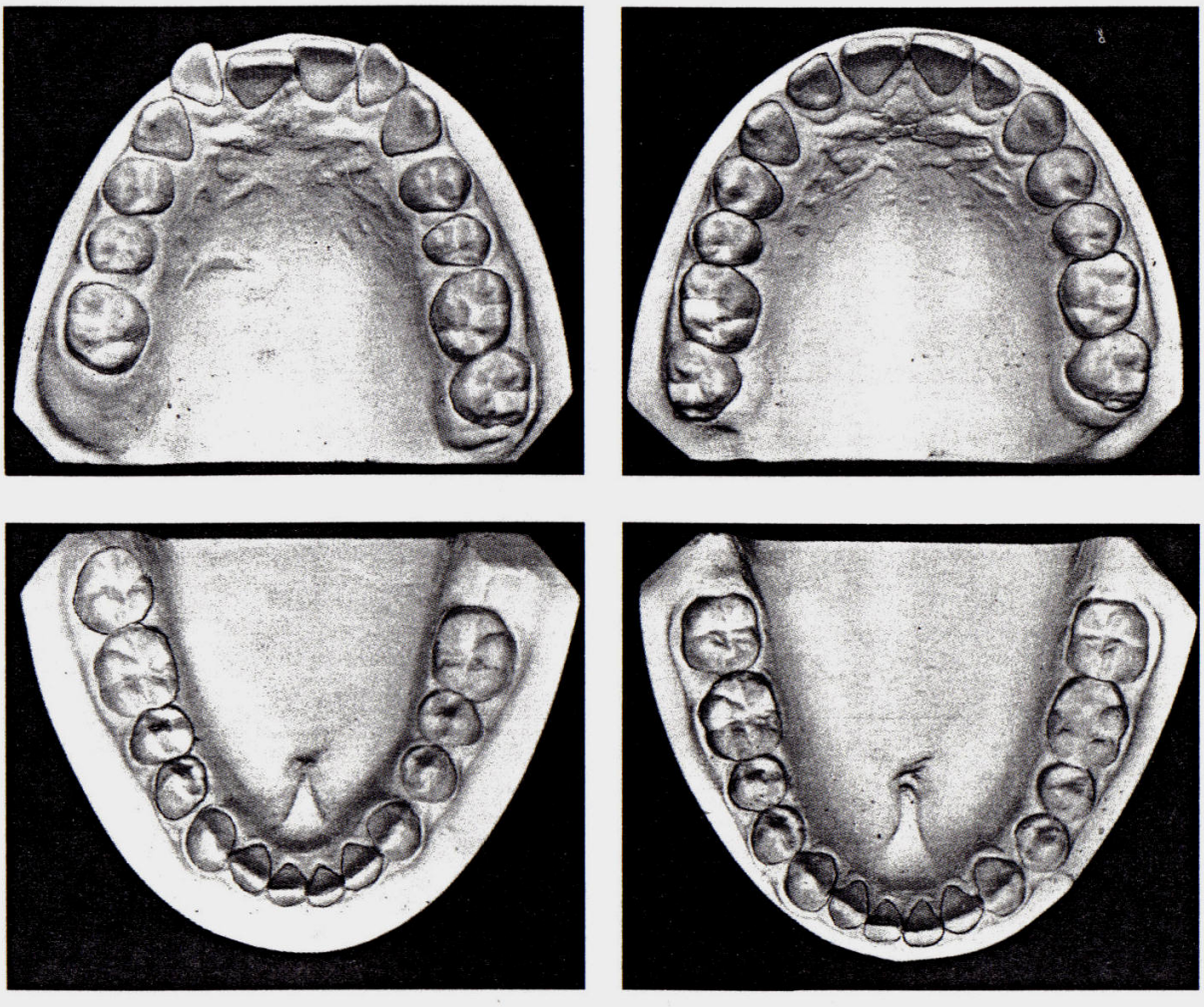
S. 161
**Abb. 125 a, b**

**Abb. 124.** Fall 9. Durchzeichnungen der ersten und letzten Fernröntgenaufnahme, überdeckt im okzipitalen Referenzsystem

kam. Der Raumgewinn, der für den Durchbruch der Molaren erforderlich war, erfolgte durch Verlängerung des dentoalveolären Bogens nach dorsal. Die Mundaufnahmen (Abb. 122b), die im Alter von 25 Jahren, 4 Monaten genommen wurden, zeigen die Stabilität der erreichten Umformung im dentoskelettalen Bereich 10 Jahre nach Absetzen des Geräts. Die Haltungsfehler im Lippenbereich wurden behoben und ein kompetenter Abschluß des oralen Funktionsraums wurde hergestellt. Die vor Beginn der Behandlung bestehende tiefe Einziehung der Mentolabialfalte konnte mit Hilfe der Lippenpelotten korrigiert und ein ästhetisch befriedigendes Resultat erreicht werden (Abb. 121b und 123a, b). Mit dem Umbau an der Nahtstelle zwischen Corpus und Ramus mandibulae ging eine basale Nachentwicklung des Unterkiefers einher, wodurch Raum für den Durchbruch auch der Weisheitszähne geschaffen wurde. Eine Fernröntgenaufnahme im Alter von 25 Jahren war wegen Schwangerschaft der Patientin nicht mehr möglich.

*Fall 10*

Die Modellaufnahmen dieser Patientin (Abb. 125a–c) zeigen die typischen Charakteristika des „Deckbisses" mit Schmalkiefer. Die unteren ersten und zweiten Prämolaren waren stark lingualwärts gekippt, d.h., im Seitenzahnbereich bestand Nonokklusion. Die Behandlung wurde mit einer aktiven Oberkieferplatte eingeleitet, um die Retrusion der oberen mittleren Schneidezähne zu beheben. Nach 3 Monaten Behandlung wurde der FR-2 eingefügt. Zu dieser Zeit war die Patientin 13 Jahre, 9 Monate alt.



a b

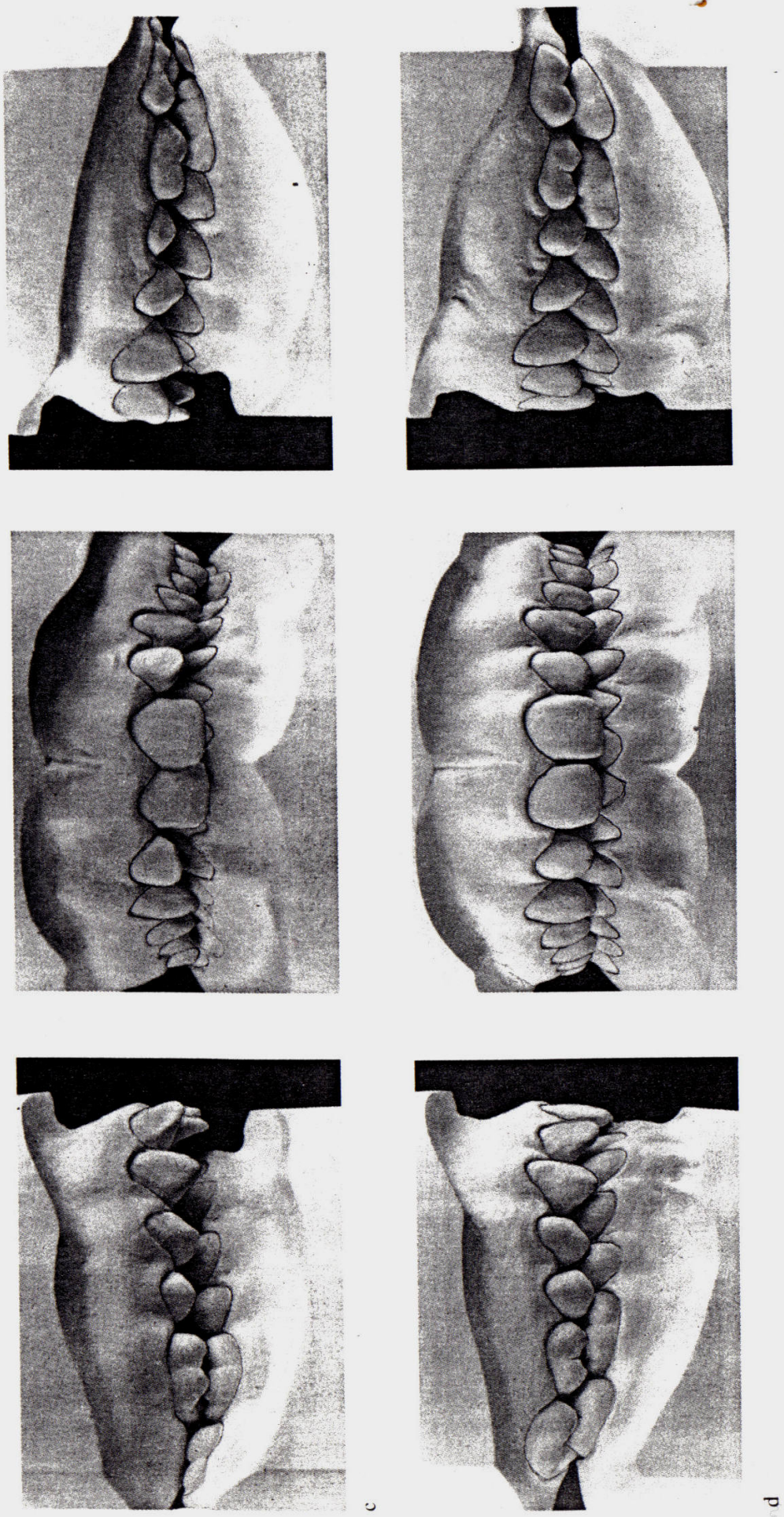
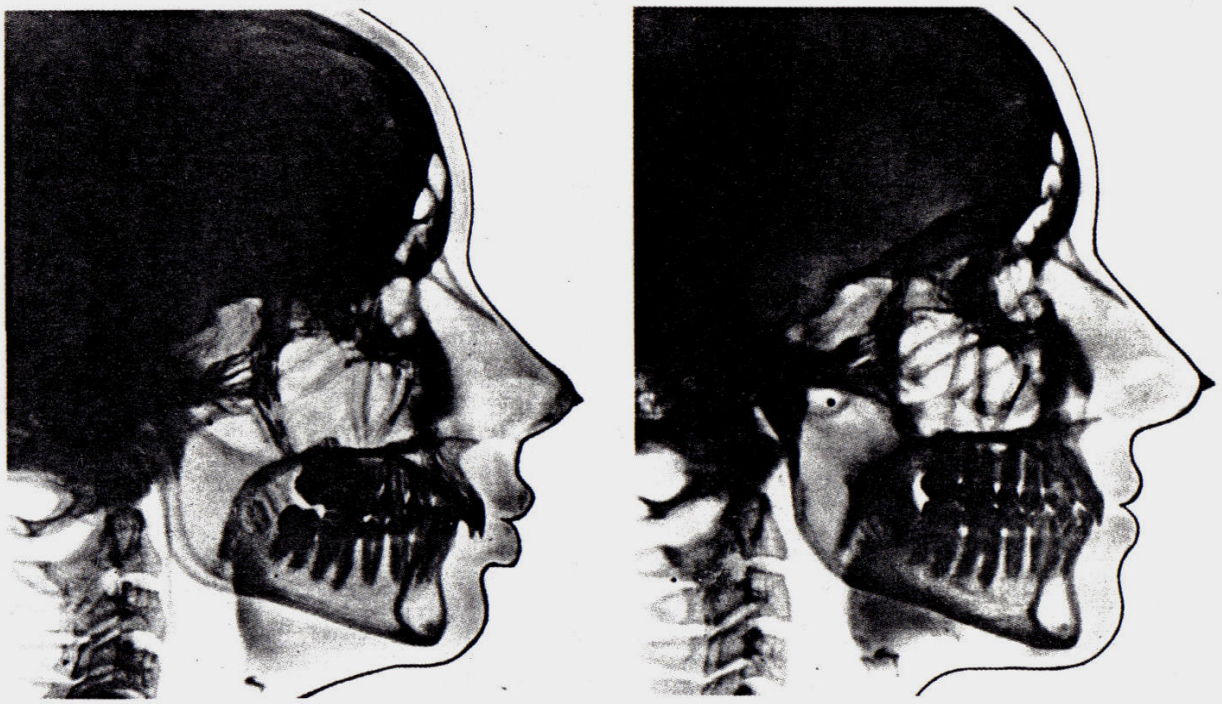
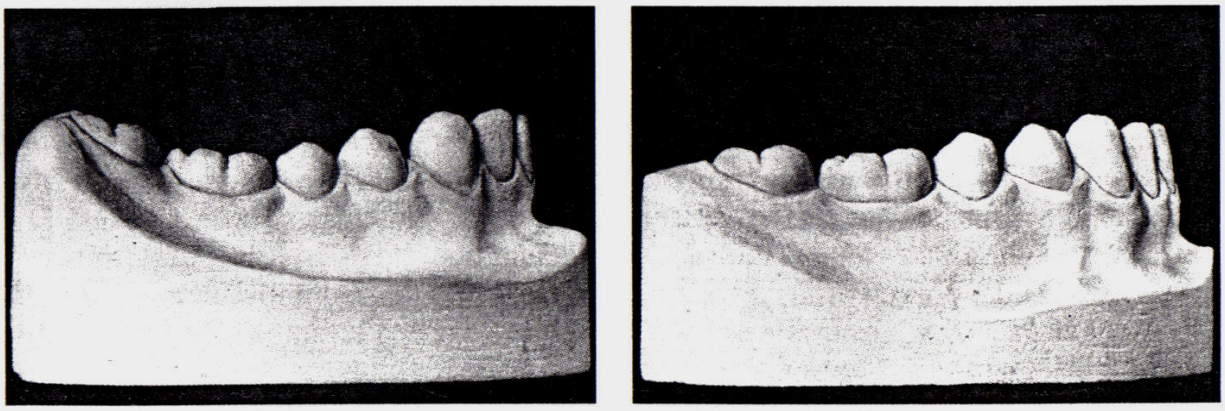


**Abb. 125a–d.** Fall 10. Modellaufnahmen vor Behandlung mit dem FR-2 (a, c) und im Alter von 21 Jahren, 1 Monat (b, d), 4 Jahre, 1 Monat nach Abschluß der Retention (s. auch S. 161)



a b

**Abb. 126a, b.** Fall 10. Fernröntgenaufnahme vor und nach Behandlung mit dem FR-2. Die Vertikalentwicklung im dentoalveolären Bereich ist skelettal durch Verlängerung des Ramus mandibulae abgesichert



a b

**Abb. 127a, b.** Fall 10. Seitliche Modellaufnahmen des Unterkiefers vor und im Alter von 21 Jahren, 1 Monat. Beachte die Nivellierung der *Spee*schen Kurve. Die unteren Frontzähne wurden nicht vorgekippt

**Tabelle 22.** Veränderung der Winkelwerte bei Fall 10

| Alter | 13. J. 4 M. | 19 J. 10 M. | Diff. |
|---|---|---|---|
| SNA | 81 | 80,5 | −0,5 |
| SNB | 75,5 | 78 | +2,5 |
| NS-MP | 31 | 31 | 0 |
| PP-MP | 23,5 | 23,5 | 0 |
| Go | 123,5 | 122,5 | −1 |

Nach einer aktiven Behandlungszeit von 2 Jahren wurde der FR-2 als Retentionsgerät für einige Stunden am Nachmittag und in der Nacht weitergetragen, und zwar für 1 Jahr und 3 Monate.
Die letzten Modelle wurden im Alter von 21 Jahren, 1 Monat angefertigt (125b und 125d). Obgleich 4 Jahre, 1 Monat kein Gerät mehr getragen worden war, blieb

**Tabelle 23.** Sagittale und vertikale Positionsveränderungen einiger Bezugspunkte zu den Achsen des okzipitalen Referenzsystems bei Fall 10 (mm)

| | Sagittale Veränderungen | | | Vertikale Veränderungen | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Alter | 13 J. 4 M. | 19 J. 10 M. | Diff. | 13 J. 4 M. | 19 J. 10 M. | Diff. |
| N | 95 | 96,5 | 1,5 | 35 | 35,5 | 0,5 |
| S | 25 | 25,5 | 0,5 | 30 | 30,5 | 0,5 |
| PNS | 46 | 46,5 | 0,5 | −11,5 | −12 | 0,5 |
| A | 91 | 91,5 | 0,5 | −20 | −20,5 | 0,5 |
| $\underline{6}$ | 54,5 | 55 | 0,5 | −24,5 | −27 | 2,5 |
| $\overline{6}$ | 50,5 | 54,5 | 4 | −30 | −33,5 | 3,5 |
| B | 80 | 83,5 | 3,5 | −50 | −56 | 6 |
| Pg | 80 | 83 | 3 | −62 | −67,5 | 5,5 |
| Me | 71 | 74 | 3 | −66,5 | −72,5 | 6 |
| Go 2 | 20,5 | 22,5 | 2 | −41,5 | −47,5 | 6 |

die Umformung im dentoalveolären Bereich stabil. Die Abb. 126a, b und 127a, b lassen erkennen, daß die Hebung des Bisses durch Extrusion der unteren Seitenzähne und durch Verlängerung des Ramus erfolgte. Dabei kam es zu einer Nivellierung der *Spee*schen Kurve. Die Tabellen 22 und 23 zeigen, daß die sagittalen und vertikalen Disproportionen im dentoskelettalen Bereich zur durchschnittlichen Norm korrigiert werden konnten. Die Streckung und Verbesserung des Weichteilprofils, die mit der Hebung des Bisses einhergingen, sind in der letzten Fernröntgenaufnahme (Abb. 126b) zu erkennen. Da die oberen Weisheitszähne nicht angelegt waren, entschlossen wir uns für eine spätere Extraktion der unteren dritten Molaren.

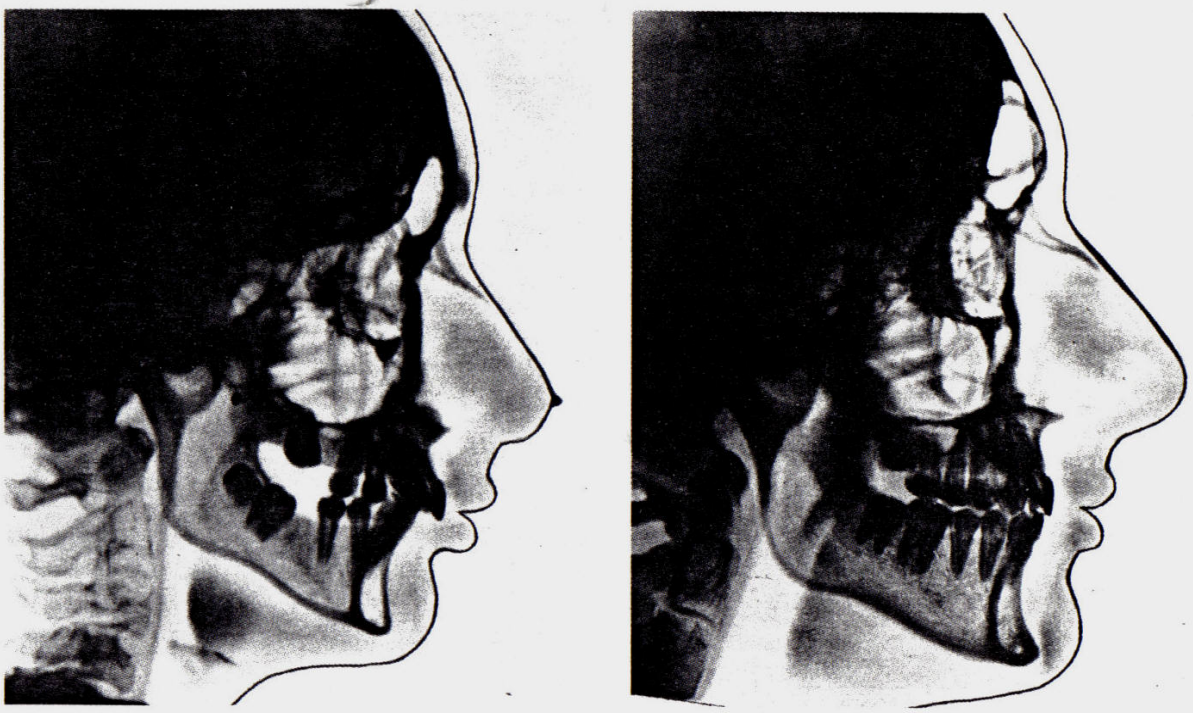
*Fall 11*

Bei diesem Patienten waren die ersten Molaren wegen starken Kariesbefalls extrahiert worden. Zur Anwendung kam nur der FR-2, der im Alter von 12 Jahren, 1 Monat eingefügt wurde. Nach einer aktiven Behandlungsperiode von 2 Jahren und 3 Monaten wurde ein zweiter FR-2 als Retentionsgerät angefertigt. Die Tabellen 24 und 25 zeigen, daß sowohl die sagittalen als auch die vertikalen Disproportionen im dentoskelettalen Bereich behoben werden konnten. Die Fernröntgenaufnahmen (Abb. 128a und b) lassen erkennen, daß mit der Hebung des Bisses im Frontbereich eine signifikante Verlängerung des Ramus stattfand. Das heißt, die Vertikalentwicklung im dentoalveolären Bereich wurde durch Verlängerung des Ramus skelettal abgesichert. Die Frontzähne des Ober- und Unterkiefers veränderten ihre abwegige Proklination zu einem normalen Achsenstand.

Bemerkenswert ist die Aufrichtung der zweiten Prämolaren und Molaren während des Lückenschlusses. Dies kann nicht als das Ergebnis einer aktiven Mechanotherapie erklärt werden. Der FR-2 verfügt über kein Drahtelement, mit dem entsprechende Zahnbewegungen durchgeführt werden könnten. Der stattgefundene Lückenschluß und die Nivellierung der Speeschen Kurve läßt sich nur auf die Wirkung der Bukkalschilde des Funktionsreglers zurückführen. Durch diese Schilde wird die interdentale und interokklusale Einlagerung der Wangen verhindert, worauf im Kapitel 5 bereits ausführ-

**Tabelle 24.** Veränderung der Winkelwerte bei Fall 11

| Alter | 12 J. | 17 J. 4 M. | Diff. |
|---|---|---|---|
| SNA | 76,5 | 76,5 | 0 |
| SNB | 71 | 74 | +3 |
| NS-MP | 36,5 | 35,5 | −1 |
| PP-MP | 25,5 | 23,5 | −2 |
| Go | 128 | 127,5 | −0,5 |



a b

**Abb. 128a, b.** Fall 11. Fernröntgenaufnahmen im Alter von 12 Jahren 1 Monat (a) und 17 Jahren 4 Monaten, 1 Jahr 9 Monate nach Beendigung der Retention mit dem FR-2 (b). Die Bißhebung wurde durch Verlängerung des Ramus mandibulae skelettal abgesichert. Die Extraktionslücken schlossen sich spontan durch annähernd körperliche Bewegung der Nachbarzähne. Die *Spee*sche Kurve nivellierte sich. Beachte die Pneumatisation des Sinus frontalis und die Normalisierung des Lippenschlusses

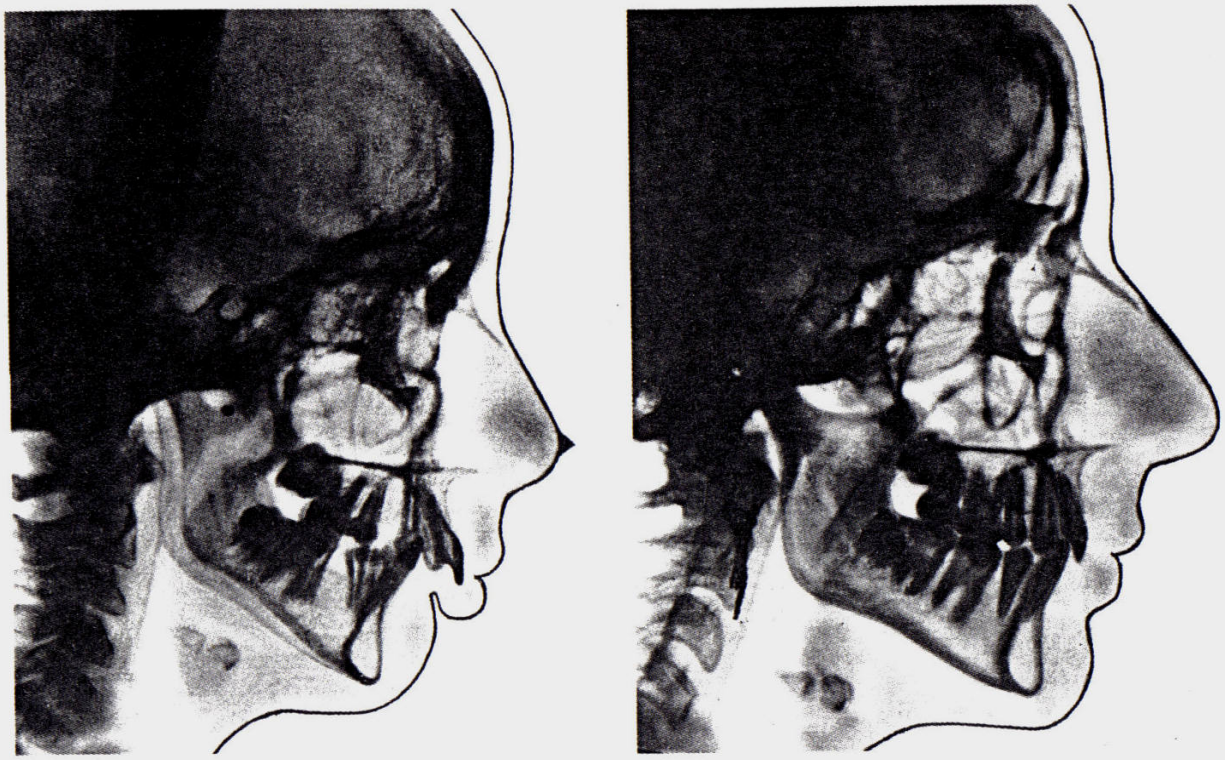
**Tabelle 25.** Sagittale und vertikale Positionsveränderungen einiger Bezugspunkte zu den Achsen des okzipitalen Referenzsystems bei Fall 11 (mm)

| | Sagittale Veränderungen | | | Vertikale Veränderungen | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Alter | 12 J. | 17 J. 4 M. | Diff. | 12 J. | 17 J. 4 M. | Diff. |
| N | 92,5 | 98,5 | 6 | 44 | 47,5 | 3,5 |
| S | 25 | 26 | 1 | 37 | 41,5 | 4,5 |
| PNS | 39,5 | 43 | 3,5 | −7 | −8 | 1 |
| A | 83,5 | 88,5 | 5 | −17,5 | −19 | 1,5 |
| B | 70,5 | 78 | 7,5 | −48 | −58 | 10 |
| Pg | 69,5 | 78,5 | 9 | −65 | −77 | 12 |
| Me | 63 | 70,5 | 7,5 | −68 | −80 | 12 |
| Go 2 | 17,5 | 20 | 2,5 | −39,5 | −51,5 | 12 |

lich eingegangen wurde (siehe Abb. 25a und b). Auch durch diesen Behandlungseffekt läßt sich die Bedeutung der äußeren Weichteilkapsel in ihrer Wirkung als „kapsuläre Matrix" erkennen.

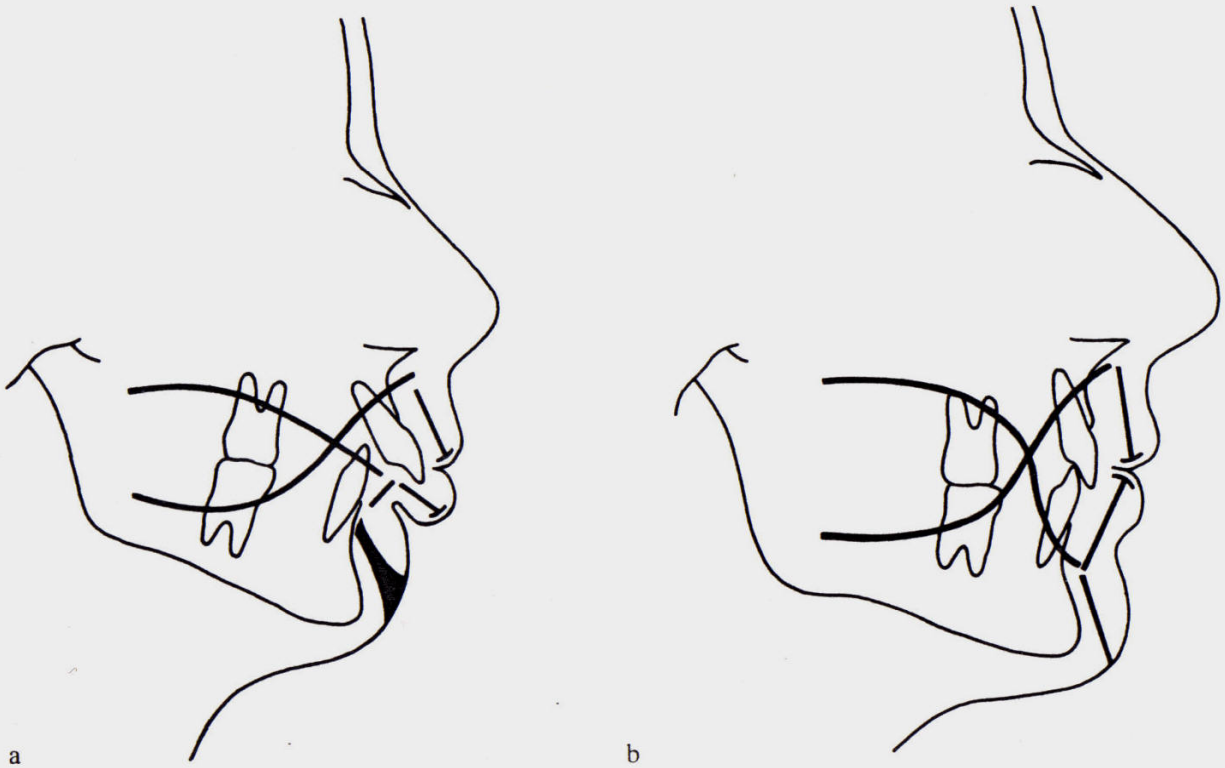
*Fall 12*

Als dieses Mädchen unsere Klinik aufsuchte, waren die zweiten unteren Prämolaren alio loco wegen starken Kariesbefalls bereits extrahiert worden. Auf unsere Veranlassung wurden als Ausgleich die oberen ersten Prämolaren entfernt. Die Abb. 129a zeigt den Zustand vor der Behandlung, die allein mit dem FR-2 durchgeführt wurde. Wie die zweite Fernröntgenaufnahme (Abb. 129b) deutlich erkennen läßt, konnte die anfangs bestehende skelettale Fehlentwicklung im Sinne normaler vertikaler und sagittaler Pro-



a b

**Abb. 129a, b.** Fall 12. Fernröntgenaufnahme nach Extraktion der oberen ersten Prämolaren und unteren zweiten Prämolaren (a). Das letzte Fernröntgenbild, angefertigt 4 Jahre 8 Monate nach Abschluß der Retention, zeigt die Behebung der vertikalen und sagittalen Disproportionen des Viszeralskeletts (b). Die Nachentwicklung des Unterkiefers ging mit einer erheblichen Verlängerung des Corpus mandibulae einher. Schluß der Extraktionslücken durch annähern körperliche Bewegungen der Nachbarzähne. Beachte die Verbesserung des Mundprofils



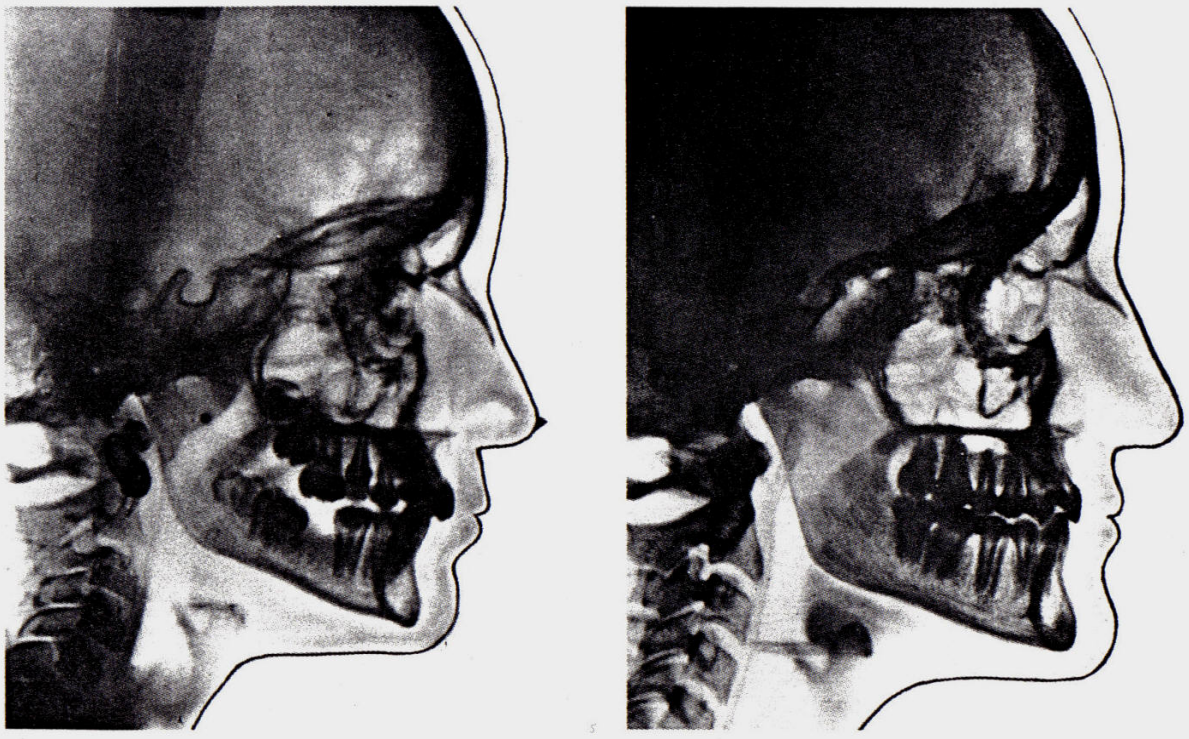
a b

**Abb. 130a, b.** Fall 12. Schematische Darstellung der Haltungsfehler im Bereich der zirkumoralen Weichteilkapsel vor (a) und nach Behandlung mit dem FR-2 anhand der Fernröntgendurchzeichnungen (b)

portionen korrigiert werden. Die Vergrößerung des Sinus maxillaris zeigt an, daß die Mittelgesichtsentwicklung durch die Behandlung in keiner Weise behindert wurde.

Gleichzeitig kam es zu einer signifikanten Verlängerung des Corpus mandibulae und des dentoalveolären Fortsatzes in posteriorer Richtung. So hat der untere Weisheitszahn Platz für einen ungestörten Durchbruch. Der Gonionwinkel verkleinerte sich um 7,5°, der Winkel zwischen der Nasion-Sella-Ebene und der Mandibularebene um 3,5°. Gleichzeitig kam es zu einer Verlängerung des Ramus. Die Veränderung dieser Parameter spricht für die Behebung der mandibulären Rückwärtsrotation. Dies kommt auch in der Positionsveränderung des Kinns in anteriorer Richtung zum Ausdruck. Auffallend ist der Schluß der Extraktionslükken durch eine nahezu körperliche Bewegung der Nachbarzähne. Diese Zahnbewegung erfolgte spontan, ohne daß irgendein aktiv-mechanisches Hilfselement zur Anwendung gekommen wäre. Die Okklusalebene änderte sich in ihrer Neigung. Ihre scharfe Einknickung in der Gegend der Extraktionslücke wurde durch eine Nivellierung der *Spee*schen Kurve behoben. In der Verlängerung des Ramus sehen wir die Voraussetzung für die Stabilität der Bißhebung. Dieses Behandlungsergebnis ist ein Beispiel dafür, daß mit dem Funktionsregler auch in der Adoleszenz nicht nur die kondyläre Wachstumszone aktiviert, sondern auch ein signifikanter Umbau an der Nahtstelle zwischen Corpus und Ramus erreicht werden kann.

Die schematische Darstellung der Abb. 130a und b soll verdeutlichen, daß die strukturellen und funktionellen Aberrationen der „kapsulären Matrix" im Sinne einer wohlausgeglichenen Balance im antagonistischen Gegenspiel der verschiedenen Muskelgruppen behoben werden konnten. Hierdurch wird unsere Arbeitshypothese gestützt, wonach das Vestibulum als apparative Basis einzigar-



a b

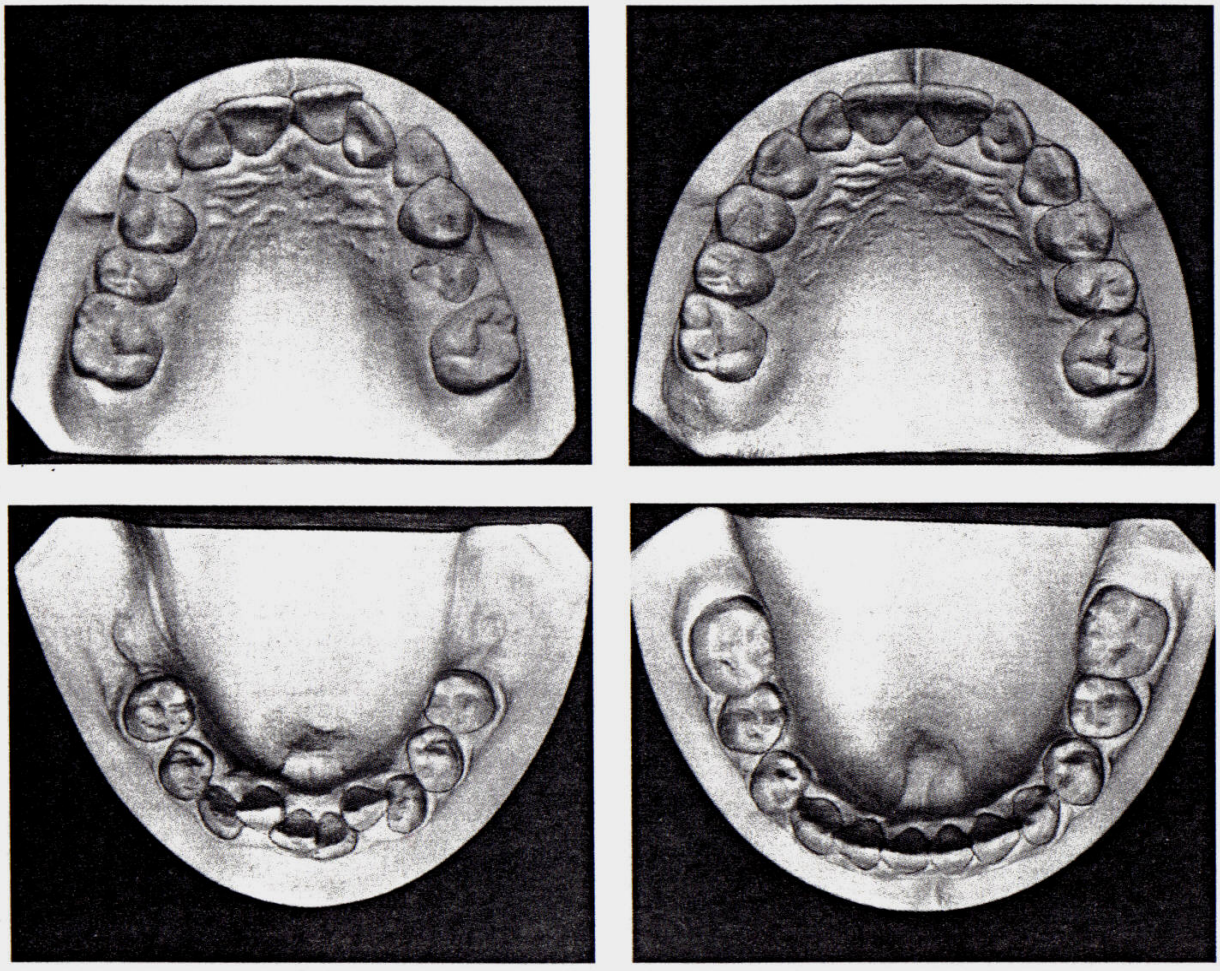
**Abb. 131a, b.** Fall 13. Fernröntgenaufnahmen vor (a) und nach Behandlung mit dem FR-2 (b). Skelettale Absicherung der Bißhebung durch Verlängerung des Ramus. Schluß der Extraktionslücken durch körperliche Bewegung der Nachbarzähne

tige Möglichkeiten bietet, bestehende Haltungsfehler der Gesichtsweichteile orthopädisch zu beeinflussen.

*Fall 13*

Als dieses Mädchen in unserer Klinik erschien, waren die ersten unteren Molaren alio loco extrahiert worden. Da die oberen Sechsjahrmolaren extrudiert waren, entschlossen wir uns zur Extraktion dieser Zähne (Abb. 131a). Die anfänglichen Modellaufnahmen (Abb. 132a) zeigen einen extrem starken Engstand im Bereich der vorderen Zahnbögen beider Kiefer. Zur Behebung des Engstands im oberen Frontbogen und zur Normalisierung der achsialen Rotationen der Frontzähne behandelten wir dieses Mädchen mit Hilfe einer modifizierten Y-Platte. Der Unterkiefer blieb dabei unbehandelt. Als die Patientin 11 Jahre, 9 Monate alt war, wurde die Behandlung mit dem FR-2 fortgesetzt. Nach einer aktiven Behandlungsphase von 2 Jahren, 6 Monaten wurde die zweite Modellaufnahme (Abb. 132b) angefertigt. Die letzte Fernröntgenaufnahme (Abb. 131b) wurde im Alter von 17 Jahren, 3 Monaten genommen. Zu diesem Zeitpunkt war der FR-2 bereits 2 Jahre und 2 Monate abgesetzt worden.

Interessant an diesem Fall ist, daß die Korrektur des Zahnengstands durch die Distalbewegung der unteren Eckzähne und Prämolaren spontan erfolgte. Aktiv wirkten nur die unteren Lingualbögen, mit deren Hilfe die seitlichen Schneidezähne in den Zahnbogen eingeordnet wurden. Unter der Wirkung der Bukkalschilde des FR-2 schlossen sich die Extraktionslücken, wobei es zu einer bemer-



a b

**Abb. 132a, b.** Fall 13. Modellaufsichtsaufnahmen vor und nach Behandlung mit dem FR-2

kenswerten Aufrichtung der unteren zweiten Molaren kam. Auch dieses Behandlungsergebnis zeigt, daß der interdentalen bzw. der interokklusalen Einlagerung der Wange große ursächliche Bedeutung für die Vertiefung der Speeschen Kurve, wie aber auch für die Kippung der Zähne in eine durch Extraktion entstandene Lücke zukommt. Derartige Behandlungsergebnisse dürften sich mit der Multibandtechnik keinesfalls besser erreichen lassen. Auf Grund unserer Erfahrungen kann bei Verwendung des Aktivators bzw. einer seiner Modifikationen eine derartig günstige Aufrichtung der der Extraktionslücke benachbarten Zähne nicht erwartet werden. Dies ist erklärlich, wenn man bedenkt, daß diese Geräte den Innenflächen der unteren Zähne anliegen und die interokklusale Einlagerung der Wangenweichteile nicht eliminieren. Vielmehr kommt es zu einer Mesialbewegung der Seitenzähne und zu einer Kippung im Frontzahnbereich. Mit dem Funktionsregler können derartige Nebenwirkungen vermieden werden. Die Abb. 131 b und 132 b zeigen, daß der Achsenstand der unteren Frontzähne der Durchschnittsnorm entspricht.

## 13.7 Fernröntgenologische Langzeitbeobachtungen

*Mills* (1983) hat sich in einer kritischen Analyse mit fernröntgenologischen Longitudinaluntersuchungen befaßt, die eine biostatistische Bewertung der mit den sogenannten „Funktionellen Geräten" erreichten Behandlungsergebnisse bei der Angle-Klasse II zum Gegenstand hatten. Bei seiner kritischen Analyse kam er zu der Feststellung, daß die meisten dieser Längsschnittuntersuchungen Mängel aufwiesen. So seien beispielsweise bei der Auswahl des Untersuchungsguts nur Patienten mit einem „günstigen Wachstumsmuster" berücksichtigt worden. Außerdem seien verhältnismäßig wenige Patienten, die nach Abschluß der Retention beobachtet wurden, in das Untersuchungsgut einbezogen worden. Auch bei der Bildung von Vergleichsgruppen seien Mängel festzustellen. Aus diesen Gründen müßte der Aussagewert der bisher gemachten kephalometrischen Langzeitstudien angezweifelt werden.

Wir sind der Ansicht, daß die bei den bisherigen Längsschnittuntersuchungen gebrauchten kephalometrischen Analyseverfahren eine objektive metrische Erfassung der im Kieferskelett stattgefundenen Veränderungen nicht zulassen. Wir stimmen der Feststellung von *Müller* (1959) und *Coben* (1979) zu, daß eine objektive Analyse skelettaler Veränderungen im Splanchnokranium nur dann möglich ist, wenn das Wachstum der Synchondrosis sphenooccipitalis einbezogen wird. Hierauf wurde bereits im Kapitel 8 ausführlich eingegangen. Auf Grund langjähriger Erfahrungen sind wir der Meinung, daß die okzipitalen Referenzstrukturen ausgezeichnete Möglichkeiten für eine metrische Erfolgsbewertung bieten. So wurde das in den letzten 30 Jahren in unserer Klinik gesammelte Fernröntgenmaterial von Herrn Dr. *Falck* (1985) im Rahmen einer Promotion B einer biostatistischen Analyse zugeführt, auf die im folgenden eingegangen wird.

### Erfolgsbewertung der mit Funktionsreglern erzielten Ergebnisse bei der Behandlung der mandibulären Retrusion mit Hilfe des von Fränkel entwickelten kephalometrischen Analyseverfahrens

Das Untersuchungsgut bestand aus 103 Kindern mit einer Angle-Klasse II, die mit einer mandibulären Retrusion vergesellschaftet war. Der Distalbiß betrug wenigstens eine halbe Prämolarenbreite. 58 der Probanden wurden mit dem Funktionsregler behandelt. 45 unbehandelte Fälle, die die gleichen dentoskelettalen Abweichungen aufwiesen, dienten als Vergleichsgruppe.

Die dentoskelettale Entwicklung beider Gruppen wurde über einen Zeitraum von durchschnittlich 7,84 Jahren beobachtet.

In der Abb. 133 sind die für die kephalometrische Analyse benutzten Bezugspunkte angegeben. Die Tabellen 26 und 27 geben die Veränderungen der verschiedenen Bezugspunkte in Relation zu dem okzipitalen Referenzsystem wieder, die während der Behandlung mit dem Funktionsregler und in der Retentionszeit stattgefunden haben. Es ist deutlich zu erkennen, daß sich im Vergleich zur Kontrollgruppe die mandibulären Bezugspunkte signifikant stärker in anteriorer Richtung bewegten. Bemerkenswert ist, daß das Pogonion (Pg) seine Position nach vorn etwa in gleichem Ausmaß veränderte wie die unteren ersten Molaren (6). Hieraus läßt sich schließen, daß mit der Vorverlagerung des Unterkiefers eine Mesialbewegung der unteren Seitenzähne vermieden werden konnte. Die Bezugspunkte des Mittelgesichts und Oberkiefers (N, Nsp, Spp, 6) bewegten sich in der FR-Gruppe signifikant mehr in anteriorer Richtung als die der Kontrollgruppe. Das heißt, daß die Sagittalentwicklung im Mittelgesicht durch den Funktionsregler nicht behindert, sondern stimuliert wurde. Das gleiche gilt auch für die Veränderungen in der Vertikalen. Aus der Tabelle 27 ist ersichtlich, daß sich der Funktionsregler auf die Eruption des oberen Sechsjahrmolaren nicht hemmend ausgewirkt hat. Im Unterkiefer ist die Verlängerung des Ramus bemerkenswert, was durch die Positionsveränderung des Go2 angezeigt wird. Auch die in der Tabelle 28 angeführten längenmäßigen Veränderungen der Meßstrecken bestätigen, daß mit Hilfe des Funktionsreglers die sagittalen Disproportionen zwischen Mittelgesicht und Untergesicht durch eine Stimulation der mandibulären Basalentwicklung behoben wurden.

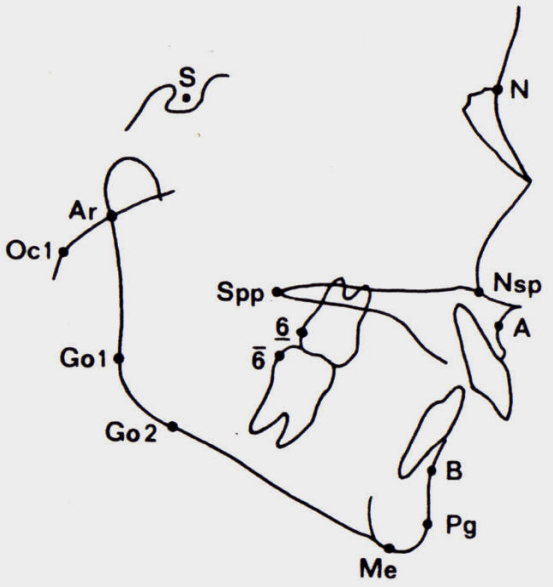



**Abb. 133.** Einige Referenzpunkte, die bei unseren Längsschnittuntersuchungen benutzt wurden

**Tabelle 26.** Sagittale Veränderungen einiger Bezugspunkte zur Ordinate des okzipitalen Referenzsystems in der FR-Gruppe (n = 58) und der Vergleichsgruppe (n = 45) und der biostatistische Vergleich der Unterschiede mit dem t-Test

| Parameter | FR-Gruppe | | Vergleichsgruppe | | t-Wert | Sig. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | $\bar{x}$ | s | $\bar{x}$ | s | | |
| N | 6,3 | 2,2 | 5,4 | 2,4 | 2,1 | x |
| Nsp | 7,3 | 2,6 | 5,9 | 2,9 | 2,6 | x |
| Spp | 3,8 | 1,9 | 2,5 | 1,5 | 3,6 | xxx |
| 6 | 10,4 | 3,2 | 7,8 | 3,4 | 3,9 | xxx |
| 6̄ | 14,8 | 3,6 | 8,5 | 3,6 | 8,2 | xxx |
| B | 12,4 | 3,8 | 6,0 | 4,1 | 8,1 | xxx |
| Pg | 14,0 | 4,8 | 7,3 | 4,9 | 7,0 | xxx |
| Ar | − 0,6 | 1,0 | −0,3 | 0,9 | 1,8 | n.s. |

Nsp = Nasospinale, Einstrahlung der apertura piriformis in den Nasenboden
x = $p < 0{,}05$
xx = $p < 0{,}01$
xxx = $< 0{,}001$
n.s. = nicht signifikant

**Tabelle 27.** Vertikale Positionsveränderungen einiger Bezugspunkte zur Abszisse des okzipitalen Referenzsystems in der FR-Gruppe (n = 58) und in der Vergleichsgruppe (n = 45) und der biostatistische Vergleich der Differenzen mit dem t-Test

| Parameter | FR-Gruppe | | Vergleichsgruppe | | t-Wert | Sig. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | $\bar{x}$ | s | $\bar{x}$ | s | | |
| N | 6,7 | 3,0 | 4,7 | 2,7 | 3,4 | xx |
| $\underline{6}$ | −7,1 | 2,9 | −7,0 | 3,6 | 0,2 | n.s. |
| $\overline{\underline{6}}$ | −7,3 | 2,2 | −5,5 | 3,5 | 2,8 | xx |
| Me | −9,9 | 3,6 | −7,0 | 4,2 | 3,8 | xxx |
| Go 2 | −9,2 | 3,2 | −5,7 | 3,6 | 5,3 | xxx |

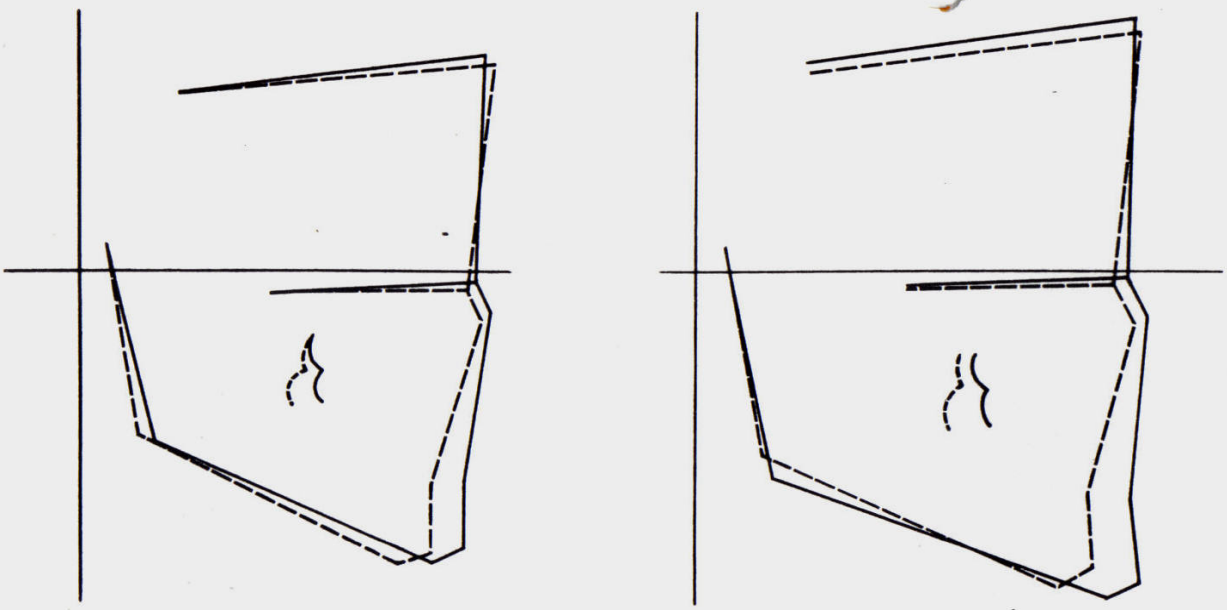
Go 2 = der unterste Punkt an der Kontur des Gonions
x = $p < 0{,}05$
xx = $p < 0{,}01$
xxx = $< 0{,}001$
n.s. = nicht signifikant

**Tabelle 28.** Veränderungen einiger Meßstrecken in der FR-Gruppe (n = 58) und der Vergleichsgruppe (n = 45) und der biostatistische Vergleich der Unterschiede mit dem t-Test

| Parameter | FR-Gruppe | | Vergleichsgruppe | | t-Wert | Sig. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | $\bar{x}$ | s | $\bar{x}$ | s | | |
| N-S | 4,9 | 1,5 | 3,9 | 1,7 | 3,3 | xx |
| Ar-Go 2 | 9,0 | 3,1 | 5.0 | 4,0 | 5,7 | xxx |
| Nsp-Me | 7,4 | 3,0 | 5,2 | 3,6 | 3,3 | xx |
| S-Go 2 | 14,8 | 4,2 | 9,8 | 4,6 | 5,7 | xxx |
| N-Me | 15,8 | 4,3 | 11,3 | 4,9 | 4,9 | xxx |
| Ar-Pg | 17,0 | 4,2 | 10,1 | 4,7 | 7,8 | xxx |
| Go 1-Pg | 11,9 | 3,4 | 8,0 | 4,0 | 5,4 | xxx |

Go 1 = der posteriorste Punkt an der Kontur des Gonions
x = $p < 0{,}05$
xx = $p < 0{,}01$
xxx = $p < 0{,}001$
n.s. = nicht signifikant

Zu gleichen Schlußfolgerungen kommt man, wenn man die von *McNamara* (1984) modifizierte *Ricketts*-Analyse verwendet (Tabelle 29). Auch eine signifikante Veränderung der Winkel SNA, SNB, ANB konnte festgestellt werden. Eine exakte metrische Erfassung der morphologischen Veränderungen im Splanchnokranium ist jedoch mit Hilfe dieser Analyseverfahren nicht möglich. Wie im Kapitel 8 eingehend erörtert, können die Kondylen, die Pars basilaris und die Crista interna des Os occipitale während des Wachstums ihre Relation zum Atlas und damit zur Wirbelsäule nicht verändern. Aus diesem Grunde eignet sich der Okzipitalpunkt (Oc1) in idealer Weise als Zentralpunkt eines Koordinatensystems. Wenn sich, wie bei der Verwendung der *Ricketts*-Analyse das Basion nach unten, d.h. in einer dem Wachstum entgegengesetzten Richtung bewegt, so wird deutlich, daß die Fossa pterygopalatina als kephalometrische Bezugsbasis für eine *kieferorthopädische* Erfolgsbewertung nicht geeignet ist. Bei einer kephalometrischen Analyse mit Hilfe des okzipitalen Referenzsystems haben wir niemals feststellen können, daß sich beispielsweise die Lage des Sella-Punkts nach unten oder des Nasions nach rückwärts veränderte. Die Tabellen 26 und 27 geben Aus-



a b

**Abb. 134a, b.** Die Polygona, überdeckt in dem okzipitalen Referenzsystem nach einer Behandlung mit dem Funktionsregler von 3 Jahren (a) und am Ende der Beobachtungsperiode (b). Vergleichsgruppe = unterbrochene Linien, FR-Gruppe = gerade Linien. Beachte, daß sich bei der Behandlung mit dem Funktionsregler die mandibuläre Nachentwicklung auch nach Absetzen des Geräts fortsetzt

**Tabelle 29.** Veränderungen einiger in der von *McNamara* angegebenen Analyse verwendeter Parameter in der FR-Gruppe (n = 36) und der Vergleichsgruppe (n = 34) und der biostatistische Vergleich der Unterschiede mit dem t-Test

| Variable | FR-Gruppe | | Vergleichsgruppe | | t-Wert | Sig. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | $\bar{x}$ | s | $\bar{x}$ | s | | |
| **Lineare Parameter (mm)** | | | | | | |
| OK-länge (L1) | 9,5 | 3,3 | 8,5 | 2,4 | 1,4 | n.s. |
| UK-länge (L2) | 18,9 | 4,8 | 13,8 | 5,1 | 4,3 | xxx |
| Diff. zw. L1 und L2 | 9,4 | 2,6 | 5,3 | 3,9 | 5,2 | xxx |
| OK-Position | − 0,1 | 1,6 | 0,4 | 1,6 | 1,5 | n.s. |
| UK-Position | 6,1 | 3,8 | 2,6 | 3,8 | 3,8 | xxx |
| anteriore untere Gesichtshöhe | 6,8 | 3,0 | 5,9 | 3,7 | 1,1 | n.s. |
| Ramuslänge | 11,7 | 4,0 | 8,7 | 3,9 | 3,2 | xx |
| Wachstumsachse (Ricketts) in Grad | 1,8 | 2,4 | 0,2 | 2,7 | 2,7 | xx |

x = $p < 0,05$
xx = $p < 0,01$
xxx = $p < 0,001$
n.s. = nicht signifikant

kunft, daß sich die Positionsveränderungen der verschiedenen Bezugspunkte durchaus im Bereich der Wahrscheinlichkeit vollzogen.

Die Überlagerung von Durchzeichnungen der Fernröntgenaufnahmen im okzipitalen Referenzsystem (Abb. 134a und b) lassen auf einen Blick erkennen, in welcher Region und in welchem Ausmaß Veränderungen im Kiefer-Gebiß-Bereich stattgefunden haben. Hierbei ist zu bedenken, daß nach Beendigung der kieferorthopädischen Behandlung die Umformung im Splanchnokranium noch nicht

abgeschlossen ist. Eine unbehinderte Fortsetzung der Formentwicklung kann aber nur dann erwartet werden, wenn die pathophysiologischen Raumbedingungen bzw. die abwegigen Funktionsmuster der Muskulatur behoben werden konnten. So können wir bei der Behandlung der mandibulären Retrusion mit einer unbehinderten Fortsetzung der mandibulären Translation nur dann rechnen, wenn durch orthopädisches Training die posturalen Dysbalancen zwischen Protraktoren und Retraktoren korrigiert wurden. Nur dann können wir erwarten, daß es auch nach Absetzen des Funktionsreglers zu weiterem Umbau an der Nahtstelle zwischen Ramus und Corpus mandibulae und damit zur Verlängerung des Unterkieferkörpers kommt.

Nach dem „Equivalent-balance-concept" von *Enlow* und Mitarbeitern (1969) ist in den sagittalen Beziehungen zwischen Oberkiefer und Unterkiefer die Länge des Corpus mandibulae das „Wachstums-Equivalent" zur Länge der Oberkieferbasis. Bei der Behandlung der mandibulären Retrusion ist daher die Verlängerung des Corpus mandibulae die Voraussetzung für die Wiederherstellung regelrechter intermaxillärer Beziehungen. Unsere Longitudinaluntersuchungen haben aber gezeigt, daß sich die Verlängerung des Unterkieferkörpers durch die Vergrößerung der Meßstrecke Go1–Pg frühestens 2 Jahre nach Beginn der Behandlung kephalometrisch nachweisen läßt. Es ist ein verhängnisvoller Irrtum, wenn man glaubt, die skelettalen Disproportionen dieser Dysgnathie in einer „orthopädischen Phase" von nur 6 bis 8 Monaten" korrigieren zu können.

## 13.8 Abschließende Bemerkungen

Anhand der kasuistischen Beiträge wollten wir die Beziehungen zwischen Form und Funktion verständlich machen. Aus diesem Grunde haben wir die Kopien der Fernröntgenaufnahmen gezeigt, denn nur so kommen neben den skelettalen Diskrepanzen auch die Abwegigkeiten des Weichteilmilieus zur Darstellung. Dies wird besonders eindrucksvoll durch die unbehandelten Fälle 1 und 2 verdeutlicht. In Verbindung mit der klinischen Untersuchung kann uns die kephalometrische Analyse des Weichteilmilieus wertvolle Hinweise geben, ob und inwieweit sich die dentoskelettale Fehlentwicklung durch den Einfluß pathophysiologischer Funktionsmuster erklären läßt. Bei den Fällen 3 bis 8 ist die mandibuläre Retrusion mehr oder weniger mit der Tendenz zur skelettalen Hyperdivergenz bzw. mit dem Entwicklungsmuster der mandibulären Rückwärtsrotation vergesellschaftet. Im englischen Sprachgebiet werden diese Dysgnathien als „high angle cases" bezeichnet. Ihre Behandlung gilt als prognostisch ungünstig. Auf Grund unserer klinischen Erfahrungen kann ein Erfolg nur erwartet werden, wenn diese Patienten einer frühzeitigen orthopädischen Behandlung zugeführt werden.

Die Fälle 9 bis 13 sollen zeigen, daß auch in der Adoleszenz noch gute Erfolgsaussichten für die Nachentwicklung des Unterkieferbasalbogens bestehen. Mit Nachdruck sei aber betont, daß eine Vergrößerung der unteren Alveolarbasis nicht mehr möglich ist, weder in der Sagittalen noch in der Lateralen. Auch bei Verwendung des Funktionsreglers kann eine rezidivfreie Weitung bzw. Streckung des Zahnbogens nur dann erwartet werden, wenn die betroffenen Zähne nicht über ihre normale Achsenstellung hinaus gekippt werden. Bei einem Zahnengstand im Unterkiefer ist daher in den meisten Fällen die Extraktion von Zähnen erforderlich. Sind gleichzeitig Fehlstände von Zähnen bzw. Zahngruppen oder achsiale Drehungen vorhanden, empfehlen wir die Vorbehandlung mit festsitzenden Apparaturen. Erst nach erfolgter orthodontischer Behandlung sollte der Funktionsregler zur Anwendung kommen, um

die bestehenden skelettalen Fehlbeziehungen zu korrigieren.

Wie die Fälle 11, 12 und 13 zeigen, kommt es unter der Wirkung der Bukkalschilde des Funktionsreglers zu einem spontanen Schluß der Extraktionslücken bei gleichzeitiger Aufrichtung der Nachbarzähne. Auch die Nivellierung der Speeschen Kurve erfolgt spontan, was wir auf die Eliminierung der interokklusalen Einlagerung der Wangenweichteile zurückführen. Nur in wenigen Fällen macht sich nachträglich eine Behandlung mit festsitzenden Apparaturen notwendig, um noch bestehende Zahnkippungen zu korrigieren.

Die Fallbeispiele und die Longitudinaluntersuchungen sind ein Beweis dafür, daß die sagittalen und vertikalen Disproportionen der mandibulären Retrusion behoben werden können. Derartige signifikante Veränderungen im Viszeralskelett haben wir bei Verwendung des Aktivators und seiner Modifikationen nicht erreichen können. Wir glauben, daß sich durch die Konstruktion des Funktionsreglers als orthopädisches Trainingsgerät neue Perspektiven eröffnen, um bei der Behandlung der mandibulären Retrusion den Prinzipien der Allgemeinorthopädie zu entsprechen.

# 14 Die Behandlung der Angle-Klasse III mit Hilfe des Funktionsreglers

Der Mesialbiß ist in der Regel vergesellschaftet mit einem umgekehrten Frontzahnüberbiß. Diese sagittalen Disproportionen können auf den dentoalveolären Bereich beschränkt sein. Eine abwegige Keimstellung der oberen Frontzähne kann zu einem umgekehrten Schneidezahnüberbiß führen, was sich auf die Gebißentwicklung des Oberkiefers restriktiv auswirken kann. Wenn sich diese sagittalen Disproportionen auf den dentoalveolären Bereich beschränken, beinhaltet diese Fehlbildung ein orthodontisches Problem. Seine Lösung bereitet einer frühzeitigen Behandlung keine Schwierigkeiten.

Der Mesialbiß kann aber auch Ausdruck skelettaler Disproportionen sein. Diese können einmal auf einer Entwicklungshemmung im Mittelgesichts- bzw. Oberkieferbereich, zum anderen auf einem exzessiven Längenwachstum des Unterkiefers beruhen. Da das Splanchnokranium als eine skelettale Einheit gewertet werden muß, sind diese beiden Erscheinungsformen selten allein anzutreffen. Es ist daher diagnostisch nicht einfach, genau zu definieren, ob die Ursache für die sagittalen Disproportionen nur im Oberkieferbereich bzw. nur im Unterkieferbereich zu suchen ist.

## 14.1 Zur funktionellen Problematik

*Rheinwald* und *Becker* (1962) haben in einer übermäßigen Größenentwicklung der Zunge einen wichtigen Kausalfaktor für die Entstehung der sogenannten „echten Progenie" gesehen. So glaubten sie mit der operativen Verkleinerung der Zunge den Weg für eine Kausalbehandlung dieser Dysgnathie gefunden zu haben. Auf Grund der Mißerfolge, die bei späteren Kontrollen beobachtet wurden, wurde die Haltlosigkeit ihrer Hypothese offenkundig. Da die Zunge mit ihrem mächtigsten Muskel, dem M. genioglossus, mit dem Unterkiefer fest verbunden ist, kann sie nach *Eschler* (1965) auf die Lage des Unterkiefers im Sinne einer Vorwärtstranslation keinen Einfluß nehmen.

In den Kapiteln 4 und 5 haben wir darauf hingewiesen, daß die gestörte Raumfunktion bei einer ursächlichen Erklärung der Kiefer-Gebiß-Fehlbildungen mit einbezogen werden muß (s. Abb. 11a und 27a). Unsere klinischen Beobachtungen haben gezeigt, daß bei der Progenie ein Mißverhältnis zwischen dem oberen und unteren Teil des Mundinnenraums besteht (Abb. 135). Einmal ist die Einengung des Zungenraums durch eine vertikale Entwicklungshemmung im Oberkieferbereich bedingt, was sich in einem flachen Gaumengewölbe äußert (Abb. 136a). Die Entwicklung des Ober-

kiefers kann aber auch in der Lateralen gehemmt sein. Hierbei kommt es zur Ausbildung eines engen und hohen Gaumens, häufig verbunden mit einem bilateralen Kreuzbiß (Abb. 136b). In beiden Fällen ist der obere Teil des Mundinnenraumes zu klein, wodurch es zu einer Verdrängung bzw. Verlagerung der Zunge in kaudaler Richtung kommt. Auf diese Fehllage der Zunge führen wir die konkave Ausweitung der unteren Alveolarfortsätze bzw. die steilabfallende Lingualfläche des unteren Frontsegments zurück, ein Phänomen, das wir bei der mandibulären Protrusion fast regelmäßig beobachten (Abb. 136a und b). Wie im theoretischen Teil dieses Buches bereits ausgeführt, sollte die gestörte Physiologie des Raums in enger Wechselbeziehung zu Abwegigkeiten neuromuskulärer Funktionsmuster gesehen werden. So kann die Kaudallage der Zunge zu einer Störung des hinteren Mundraumabschlusses und damit zu einer Einengung des Oropharynx führen. Hiervon sind vor allem Patienten mit vergrößerten Tonsillen betroffen. In diesen Fällen werden reflektorisch entsprechende Schutzmechanismen wirksam, d.h., die protraktorischen Anteile der Aufhängemuskulatur werden aktiviert, wodurch es zu einer Vorverlagerung des Unterkiefers und der Zunge kommt. So könnte die kaudale Fehllage der Zunge zu einer verstärkten Translation des Unterkiefers führen, was man bei einer ursächlichen Erklärung der mandibulären Protrusion nicht außer acht lassen sollte.

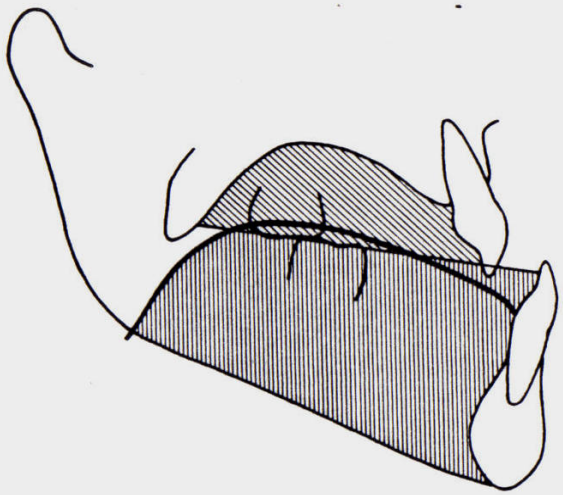
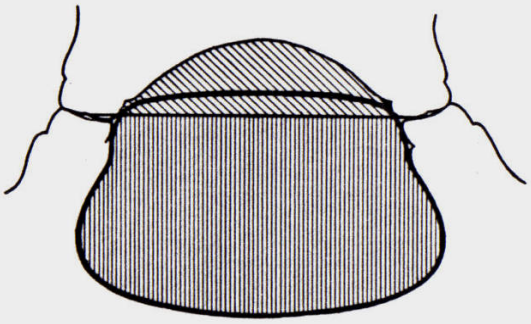
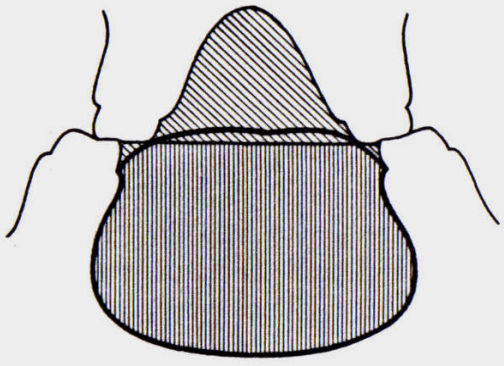


**Abb. 135.** Die Abwegigkeiten des oralen Funktionsraums bei Progenie in Seitenansicht



a



b

**Abb. 136a, b.** Bei Progenie ist der untere Anteil des oralen Funktionsraums vergrößert, der obere Anteil durch vertikale Entwicklungshemmung (a) bzw. durch laterale Entwicklungshemmung (b) verkleinert

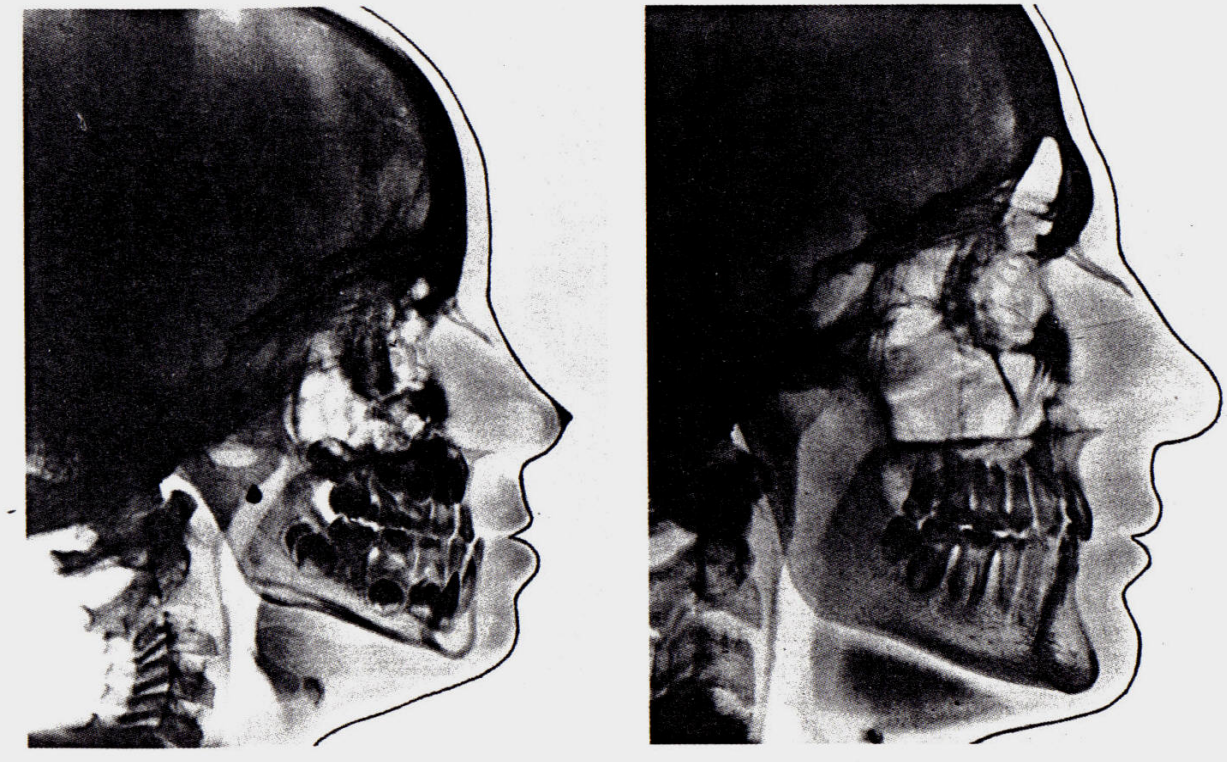
Aus dem Vorhergehenden ergibt sich, daß wir bei der Behandlung der skelettalen Diskrepanzen der Angle-Klasse III in der Wiederherstellung physiologischer Raumbedingungen das vorrangige Ziel einer funktionellen Therapie zu sehen haben. Auf welche Weise wir diese Aufgabe mit dem FR-3 zu lösen versuchen, ist bereits in den Kapiteln 4 und 5 beschrieben worden. Mit Hilfe der vestibulären Schilde wird der obere Anteil der zirkumoralen Kapsel expandiert und so Raum für die Nachentwicklung des Oberkiefers geschaffen. Wir glauben, daß durch die Zugspannung, die durch die abstehenden Schilde hervorgerufen wird, nicht nur die Entwicklung im dentoalveolären, son-

dern auch im basalen Bereich des Oberkiefers stimuliert werden kann, und zwar nicht nur in der Lateralen, sondern auch in der Sagittalen. Auf diese Weise wird der Mundinnenraum im Bereich des Oberkiefers vergrößert und so der Zunge die Möglichkeit gegeben, ihre Position aus der kaudalen Fehllage im Sinne der Norm zu verändern. Im Gegensatz zum FR-3 wird bei Verwendung des Aktivators und seiner Modifikationen, besonders wenn sie mit Schrauben kombiniert sind, der Zungenraum erheblich eingeengt. Dies kann sich sehr ungünstig auswirken, besonders wenn die Progenie mit einer mandibulären Rückwärtsrotation vergesellschaftet ist. Neben der Behebung der gestörten Physiologie des Raums wirkt der FR-3 aber auch im Sinne eines orthopädischen Trainingsgeräts. So können Dysbalancen im antagonistischen Wechselspiel der verschiedenen Muskelgruppen innerhalb der äußeren Weichteilkapsel wie aber auch zwischen den Protraktoren und Retraktoren der Aufhängemuskulatur behoben werden. Die folgenden Fallbeispiele mögen die Wirkungsweise des Funktionsreglers als orthopädisches Trainingsgerät verdeutlichen.

## 14.2 Fallbeispiele

*Fall 1*

Dieser Knabe war 6 Jahre, 5 Monate alt, als die erste Fernröntgenaufnahme (Abb. 137a) und die Gesichtsfotos (Abb. 138a und b) angefertigt wurden. Der Mesialbiß war vergesellschaftet mit einer skelettalen Entwicklungshemmung im Oberkiefer und einer mandibulären Protrusion. Die Fotografie des Vaters (Abb. 139a und b) läßt die Annahme zu, daß bei der Entstehung der Dysgnathie des Jungen eine hereditäre Veranlagung vorlag. Die anfänglichen Gesichtsfotografien zeigen die Fehlhaltung in der Lippenregion. Der



a b

**Abb. 137a, b.** Fall 1. Fernröntgenaufnahmen eines Progeniefalls vor Behandlung mit dem FR-3 und bei Abschluß der Beobachtungsperiode. Beachte die beträchtliche Pneumatisation im Mittelgesicht und des Sinus frontalis. Die sagittalen und vertikalen Disproportionen des Viszeralskeletts wurden behoben

a b

c

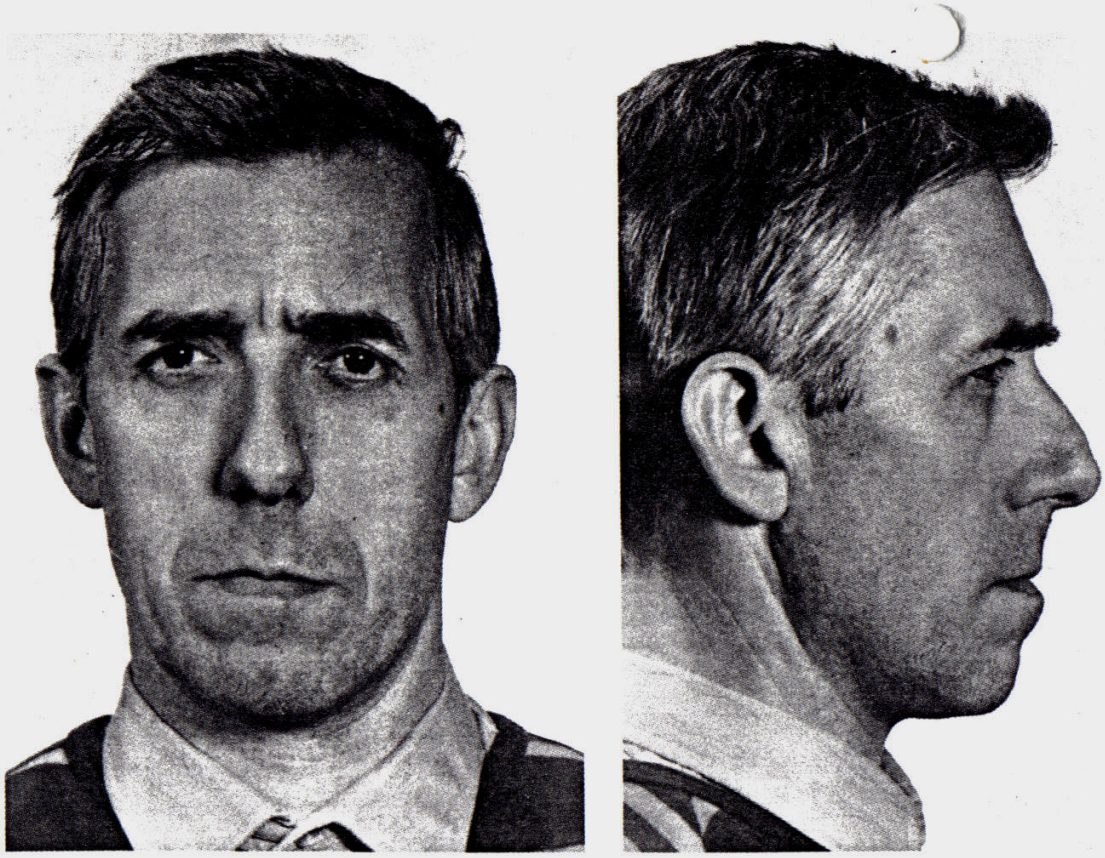
**Abb. 138a–c.** Fall 1. Fehlhaltung der Lippen vor (a) bzw. nach Lippenschluß (b) bei Behandlungsbeginn und ihre Behebung nach Abschluß der Beobachtung (c)

Lippenschluß war nur willkürlich und mit Hilfe des M. mentalis möglich (Abb. 138b). Die Profilaufnahme des Vaters (Abb. 139b) läßt ein Mißverhältnis zwischen der vorderen oberen und unteren Gesichtshöhe erkennen, wie dies in abgeschwächter Form auch bei der Profilaufnahme des Kindes (138b) sichtbar wird. Die Adenoide und Tonsillen waren stärker vergrößert. Mit Hilfe des Kniebeugetestes konnten wir jedoch feststellen, daß die Atmung durch diese Drüsenvergrößerungen nicht ernstlich behindert war. Das Kind atmete mehr durch den Mund als durch die Nase.

Obgleich die ersten bleibenden Molaren durchgebrochen waren, lag eine signifikante Retardation der Eruption sowohl der oberen als auch unteren Schneidezähne vor (Abb. 137a). Diese Störung der Gebißentwicklung konnten wir bei schweren Progeniefällen nicht selten feststellen. Bei der Behandlung dieser Fälle wird der Funktionsregler im Sinne der Steuerung des Zahndurchbruchs wirksam. Mit Hilfe der Lippenschilde des FR-3 erweitern wir den oralen Funktionsraum nach rostral. Gleichzeitig wirkt sich die durch die Oberlippenpelotten erzeugte Zugspannung in der Umschlagfalte günstig auf die Durchbruchsrichtung der oberen Schneidezähne aus.

*Behandlungsverlauf*

Die Behandlung mit dem FR-3 wurde im Alter von 6 Jahren, 5 Monaten begonnen. Wird die Bißnahme nicht in einer übermäßigen Rücklage des Unterkiefers genommen, gewöhnen sich die Patienten an den FR-3 sehr schnell. Hierdurch verkürzt sich die Eintragezeit. So lassen wir im allgemeinen den FR-3 schon nach 4 bis 6 Wochen auch nachts tragen. Die aktive Behandlungszeit, in der der FR-3 wenigstens 10 Stunden am Tag und nachts getragen werden soll, betrug 2 Jahre, 2 Monate. Mit der Behebung der intermaxillären Fehlbeziehungen verliert der FR-3 seine Wirkung. Dies ist erkennbar an der Verkleinerung des Abstands zwischen



a b

**Abb. 139a, b.** Fall 1. Gesichtsaufnahmen des Vaters

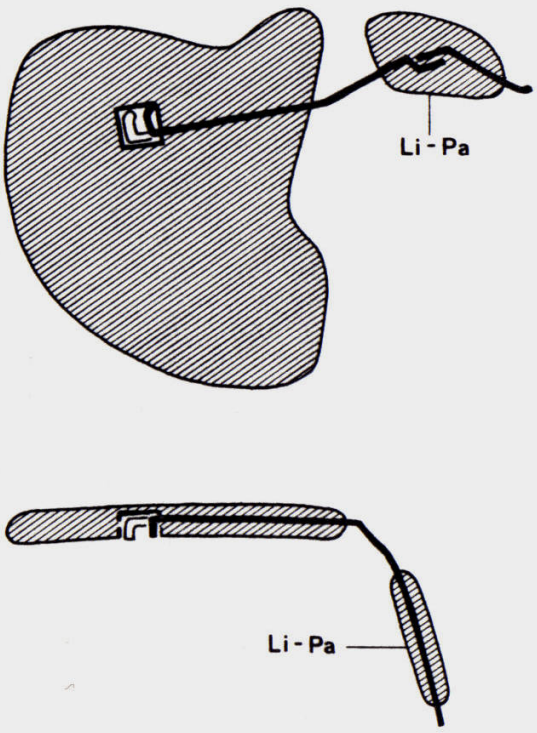



**Abb. 140.** Vorstellen der Oberlippenpelotten des FR-3 (Li-Pa) in schematischer Darstellung

den Innenflächen der oberen Lippenpelotten und den Außenflächen des Alveolarfortsatzes. Während der Behandlung macht sich daher in den meisten Fällen eine „Aktivierung" des FR-3 notwendig. Zu diesem Zweck werden, wie die Abb. 140 zeigt, die hakenförmigen Enden der Verbindungsdrähte zwischen Lippenpelotten und Bukkalschild von der Innenseite her mit einem entsprechenden Rosenbohrer freigelegt. Danach können die Verbindungsbögen aus dem Seitenschild unter vorsichtigem Hin- und Herdrehen herausgezogen werden. Am besten bedient man sich dabei einer Flachzange mit abgerundeten Kanten. Wenn die Verbindungsbögen keine Krümmung aufweisen, so macht das Herausdrehen und die weitere Vorverstellung der Lippenpelotten keine Schwierigkeiten. Die Bohrstelle wird danach mit schnellhärtendem Kunst-

stoff verschlossen, um Zurückgleiten der Drähte zu verhindern. Es sei an dieser Stelle noch einmal mit Nachdruck darauf hingewiesen, daß eine erfolgreiche Behebung der skelettalen Diskrepanzen bei der mandibulären Protrusion bzw. maxillären Retrusion nur erwartet werden kann, wenn das dynamische Wechselspiel des FR-3 voll wirksam wird. Leider haben wir immer wieder beobachten müssen, daß der Palatinalbogen bzw. der Protrusionsdraht falsch gebogen waren und sich interdental einlagerten. Damit wird eine sagittale Beweglichkeit des Geräts blokkiert. Das Gerät kann sich dann nur noch im dentoalveolären Bereich auswirken. Eine basale Nachentwicklung im Oberkiefer bzw. Mittelgesicht wie aber auch eine Hemmung der Basalentwicklung des Unterkiefers bleiben aus.

Während des Behandlungsverlaufs ergab sich durch eine überdurchschnittliche Breite der oberen Schneidezähne eine signifikante Diskrepanz zwischen Zahngröße und Zahnbogengröße. Aus diesem Grunde machte sich die Extraktion der oberen ersten Prämolaren erforderlich. Trotz dieser Extraktion konnte eine gute sagittale Nachentwicklung nicht nur im oberen dentoalveolären Bereich, sondern auch des gesamten Mittelgesichts erreicht werden (Abb. 137b und 141). Auffallend ist die während der Behandlung bzw. in der Retention erfolgte Pneumatisation des Sinus maxillaris und Sinus frontalis. Dies dürfte sich erklären einmal durch die Normalisierung der Atmung, wie aber auch durch die Zugwirkung, wie sie durch die abstehenden oberen vestibulären Schilde entsteht. Der Punkt A veränderte seine Position in Relation zu der vertikalen Achse des okzipitalen Koordinatensystems um 13,5 mm nach vorn, das Nasion um 14 mm. Die Tabellen 30 und 31 lassen

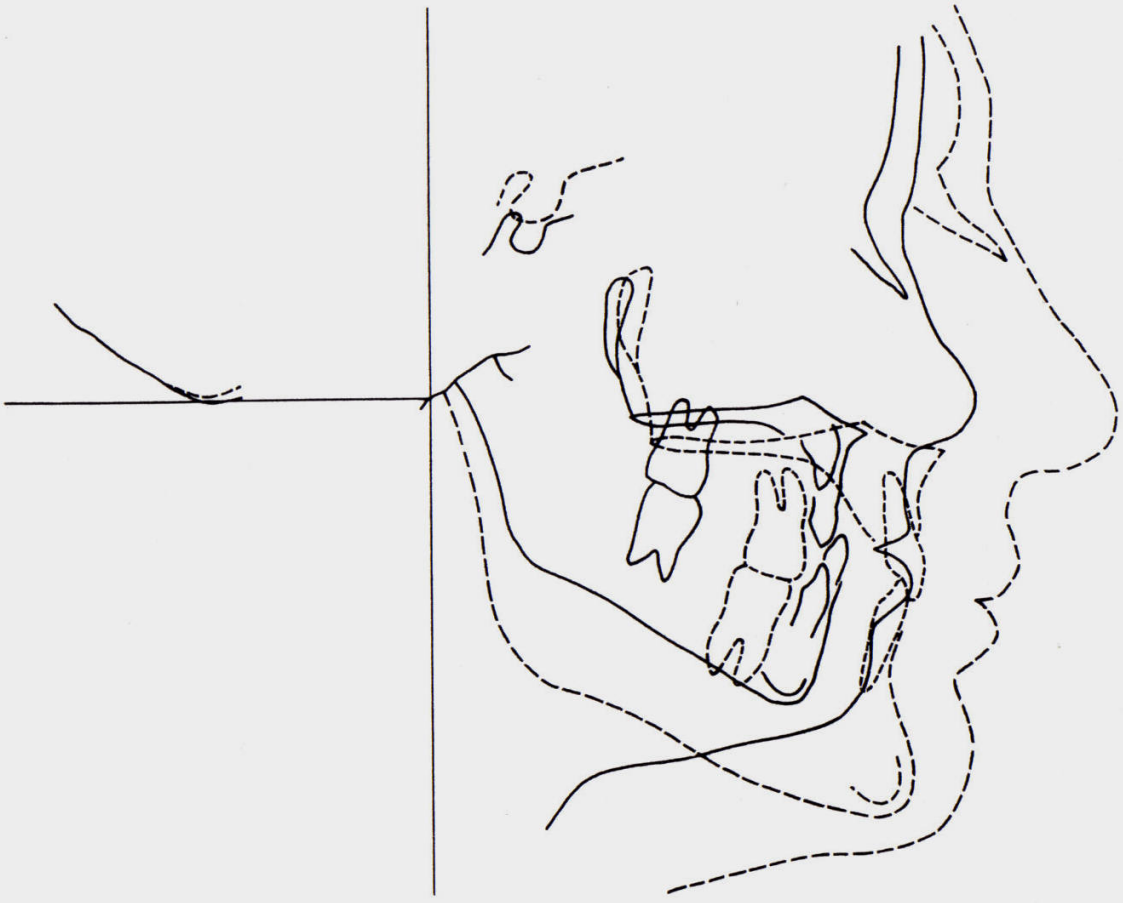


**Abb. 141.** Fall 1. Durchzeichnung der ersten und letzten Fernröntgenaufnahme, überdeckt im okzipitalen Referenzsystem

**Tabelle 30.** Sagittale und vertikale Positionsveränderungen einiger Bezugspunkte zu den Achsen des okzipitalen Referenzsystems im Fall 1 (mm)

| | Sagittale Veränderungen | | | Vertikale Veränderungen | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Alter | 6 J. 5 M. | 18 J. 9 M. | Diff. | 6 J. 5 M. | 18 J. 9 M. | Diff. |
| N | 82 | 96 | 14 | 30 | 36 | 6 |
| S | 20 | 22,5 | 2,5 | 28 | 34,5 | 6,5 |
| PNS | 36,5 | 40 | 3,5 | − 6 | −11 | 5 |
| A | 75,5 | 89 | 13,5 | −16 | −22 | 6 |
| $\frac{6}{}$ | 39,5 | 56,5 | 17 | −14 | −32 | 18 |
| $\frac{}{6}$ | 38,5 | 54 | 15,5 | −20,5 | −36,5 | 16 |
| B | 71 | 81,5 | 10,5 | −43,5 | −54 | 10,5 |
| Pg | 68 | 84 | 16 | −54,5 | −76,5 | 22 |
| Me | 59,5 | 75,5 | 16 | −59 | −81 | 22 |
| Go 2 | 21 | 22 | 1 | −33,5 | −54,5 | 20,5 |

**Tabelle 31.** Veränderung der Winkelwerte bei Fall 1

| Alter | 6 J. 5 M. | 18 J. 9 M. | Diff. |
|---|---|---|---|
| SNA | 80 | 82 | + 2 |
| SNB | 80 | 79,5 | − 0,5 |
| NS-MP | 35 | 27,5 | − 7,5 |
| PP-MP | 26,5 | 21 | − 5,5 |
| NS-PP | 8,5 | 6,5 | − 2 |
| Go | 140 | 125 | −15 |

deutlich erkennen, daß sich die Wirkung des FR-3 keinesfalls nur auf die dentoalveoläre Entwicklung ausgewirkt hat, sondern daß die skelettalen Diskrepanzen im Splanchnokranium sowohl in sagittaler als auch in vertikaler Richtung korrigiert werden konnten. Besonders bemerkenswert ist die Verkleinerung des Gonionwinkels um 15° und die Verlängerung des Ramus mandibulae. Hierdurch wird das Ausmaß des Umbaus an der Nahtstelle zwischen Ramus und Corpus mandibulae erkennbar. Wenn die Bukkalschilde und der untere Labialbogen dem Alveolarfortsatz bzw. den Frontzähnen des Unterkiefers eng anliegen, wird der FR-3 im Sinne der Hemmung wirksam. Das heißt, der Unterkiefer wird in seiner rostralen Translation behindert. Das kondyläre Wachstum wird aus der sagittalen in die vertikale Richtung umgelenkt, wie dies aus der veränderten Achsenrichtung der Kondyle (Abb. 137a und b) zu erkennen ist. Dabei kommt es wahrscheinlich auch zu einem Umbau der Fossa glenoidalis (Abb. 141). Mit dem FR-3 sind wir in der Lage, nicht nur die Mittelgesichtsentwicklung günstig zu beeinflussen, sondern auch gleichzeitig einer übermäßigen Basalentwicklung des Unterkiefers entgegenzuwirken. Bemerkenswert ist, daß sich trotz der hemmenden Wirkung des FR-3 der dentoalveoläre Fortsatz des Unterkiefers nach dorsal verlängern konnte. So hat der untere Weisheitszahn Platz für einen ungestörten Durchbruch. Die unteren Schneidezähne stehen in einer guten axialen Inklination.

Bei der Bewertung des Behandlungserfolgs sollte nicht übersehen werden, daß die letzte Fernröntgenaufnahme im Alter von 18 Jahren, 9 Monaten angefertigt wurde, d. h. 7 Jahre, 3 Monate nach Absetzen des letzten, als Retentionsgerät getragenen FR-3. Die Stabilität dieses Behandlungsergebnisses sehen wir als ein sicheres Anzeichen für die erfolgreiche Behebung der funktionellen Abweichungen durch orthopädisches Training. Das heißt, durch Erreichen physiologischer Funktionsmuster der Aufhängemuskulatur konnte das translatorische Wachstum des Unterkiefers in normale Bahnen gelenkt werden. Die Nachentwicklung im Oberkiefer- bzw. Mittelgesichtsbereich erklärt sich als Normalisierung der „kapsulären Matrix".

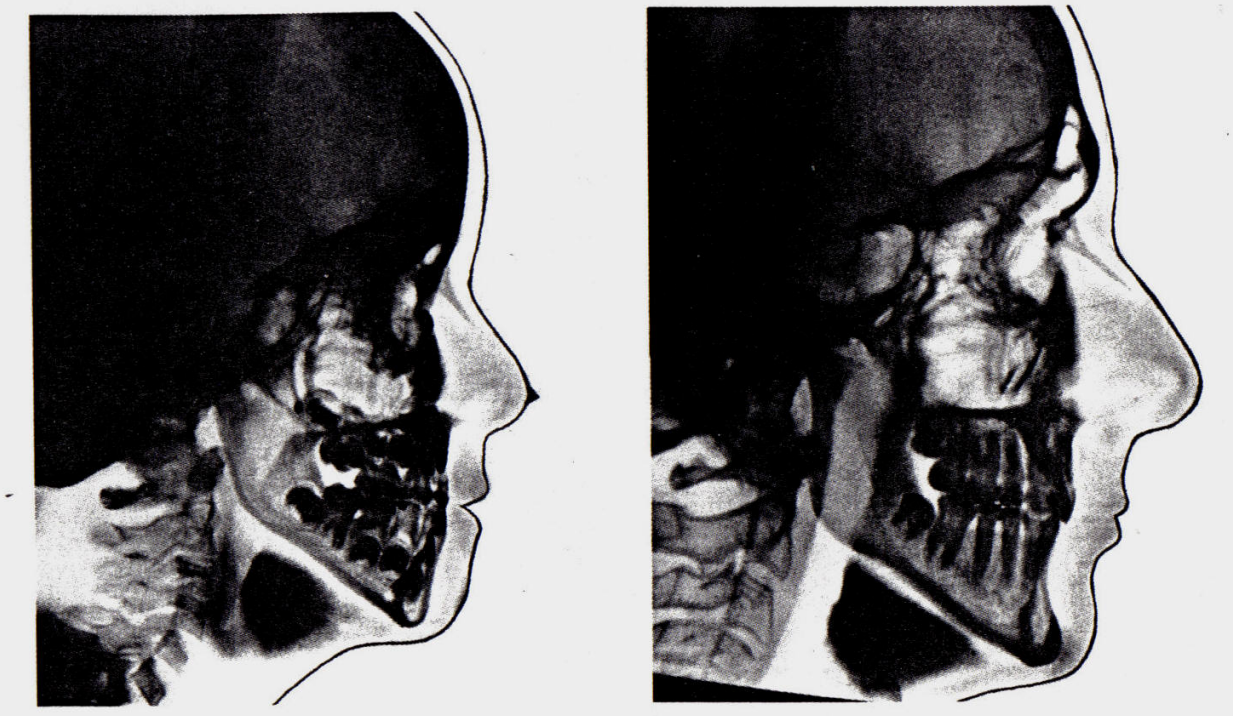
*Fall 2*

Bei diesem Knaben war im Alter von 5 Jahren eine Adenotomie durchgeführt worden. Die Funktionsprüfung ergab jedoch, daß das Kind vorwiegend durch den Mund atmete. Es lag eine ausgeprägte Haltungsschwäche der Lippenschließmuskulatur vor. Wie die erste Fernröntgenaufnahme (Abb. 142a) zeigt, konnten die Lippen nur mit größter Anstrengung geschlossen werden, wobei palpatorisch eine exzessive Aktivität des M. mentalis festgestellt wurde. Wie beim vorhergehenden Fallbeispiel, so war auch bei diesem Patienten eine signifikante Retardation des Schneidezahndurchbruchs erkennbar (Abb. 142a). Der Mesialbiß war vergesellschaftet mit Kantenbiß im Frontzahngebiet. Die gnathische Fehlentwicklung war geprägt durch skelettale Hyperdivergenz und mandibuläre Rückwärtsrotation, was als ein prognostisch ungünstiges Entwicklungsmuster zu werten ist.

*Behandlungsverlauf*

Die Behandlung mit dem FR-3 wurde im Alter von 6 Jahren und 7 Monaten begonnen. Die Mitarbeit des Patienten war gut, so daß wir die aktive Behandlung nach 1 Jahr und 7 Monaten beenden konnten. Danach wurde der FR-3 als Retentionsgerät nur nachmittags und nachts getragen. Während des Zahnwechsels wurde offenkundig, daß nicht genügend Platz für alle bleibenden Zähne vorhanden war. Da die unteren bleibenden ersten Molaren stark kariös waren, wurden diese und als Ausgleich auch die ersten oberen Prämolaren entfernt. In der Folgezeit wurde nur der FR-3 als Retentionsgerät nachmittags und nachts weitergetragen und die Lippenschließgymnastik fortgesetzt.

Die letzte Fernröntgenaufnahme wurde im Alter von 19 Jahren, 6 Monaten genommen (Abb. 142b), 6 Jahre, 2 Monate nachdem der FR-3 abgesetzt worden war.



a b

**Abb. 142a, b.** Fall 2. Fernröntgenaufnahmen im Alter von 6 Jahren, 6 Monaten (a) und 19 Jahren, 6 Monaten (b). Verkleinerung des Gonionwinkels um 14,5°. Skelettale Hyperdivergenz wurde behoben. Beachte Verdickung der Lippenweichteile als Ergebnis des Mundschließtrainings. Pneumatisation des Mittelgesichts gibt das Ausmaß der Nachentwicklung an

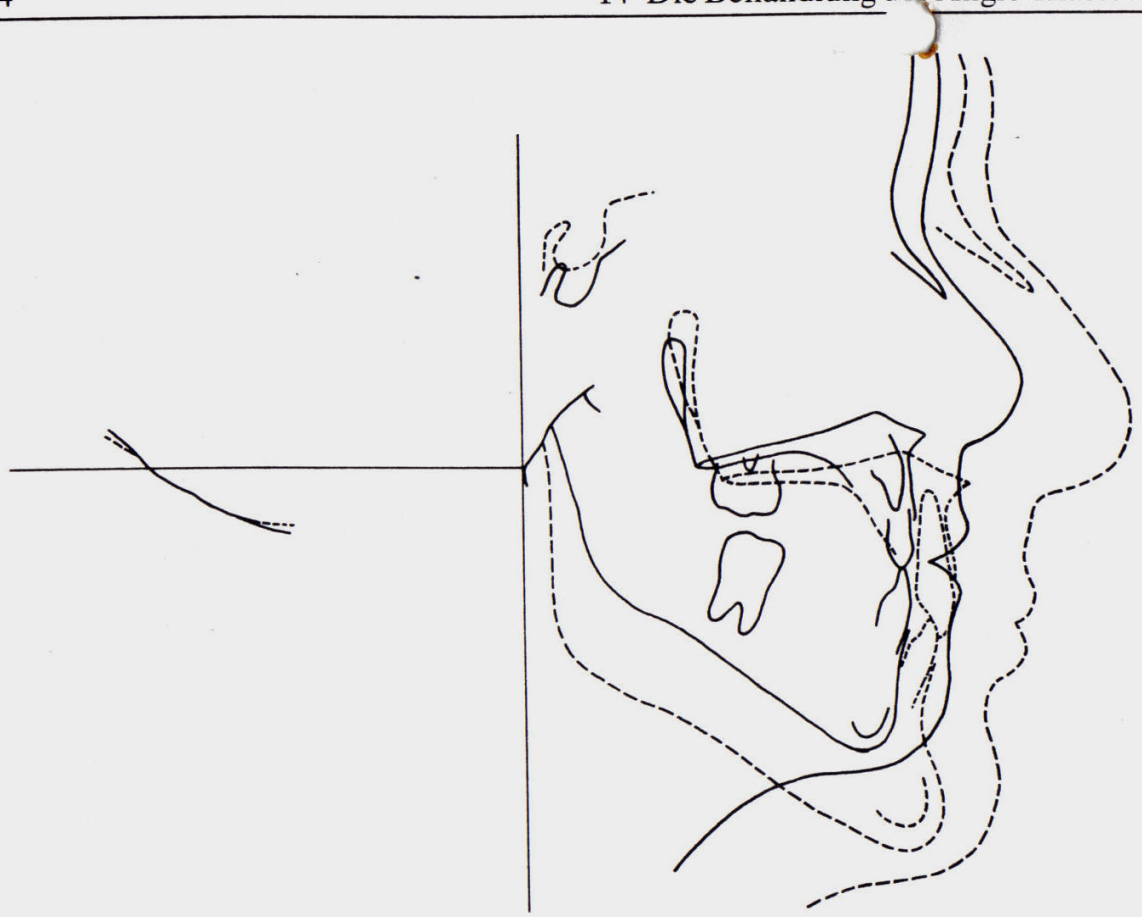


**Abb. 143.** Fall 2. Durchzeichnung der ersten und letzten Fernröntgenaufnahme, überdeckt im okzipitalen Referenzsystem. Das Dorsaldriften des gesamten Ramus läßt den Hemmungseffekt des FR-3 auf die Unterkieferentwicklung erkennen

**Tabelle 32.** Sagittale und vertikale Positionsveränderungen einiger Bezugspunkte zu den Achsen des okzipitalen Referenzsystems bei Fall 2 (mm)

| | Sagittale Veränderungen | | | Vertikale Veränderungen | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Alter | 6 J. 6 M. | 19 J. 6 M. | Diff. | 6 J. 6 M. | 19 J. 6 M. | Diff. |
| N | 68 | 78,5 | 10,5 | 47 | 54,5 | 7,5 |
| S | 10 | 11 | 1 | 33 | 40,5 | 7,5 |
| PNS | 32 | 36 | 4 | 0 | − 3 | 3 |
| A | 70,5 | 77,5 | 7 | 1,5 | − 9,5 | 11 |
| 6 | 34,5 | 47,5 | 13 | − 4 | −23,5 | 19,5 |
| B | 68,5 | 72,5 | 4 | −37 | −47,5 | 10,5 |
| Pg | 68 | 76,5 | 8,5 | −47 | −65 | 18 |
| Me | 60 | 68 | 8 | −52 | −71 | 19 |
| Go 2 | 17,5 | 18,5 | 1 | −23,5 | −41,5 | 18 |

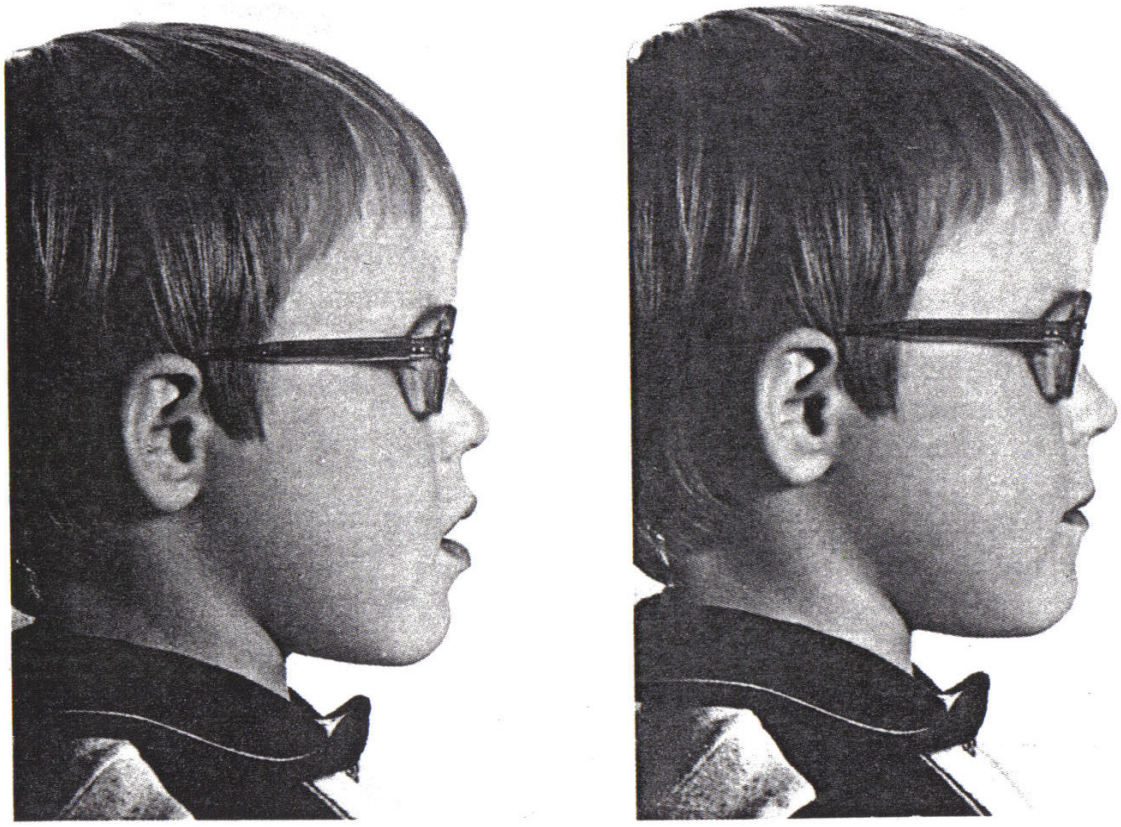
Die Entwicklung im Oberkiefer und Mittelgesicht konnte während der Behandlung erheblich stimuliert werden, und zwar sowohl in der Sagittalen als auch in der Vertikalen. Bemerkenswert ist die stattgefundene Pneumatisation des Sinus maxillaris und Sinus frontalis, wobei es zu einer Senkung des vorderen Nasenbodens kam. Die erhebliche Zunahme der

**Tabelle 33.** Veränderung der Winkelwerte bei Fall 2

| Alter | 6 J. 6 M. | 19 J. 6 M. | Diff. |
|---|---|---|---|
| SNA | 79 | 77 | − 2 |
| SNB | 76,5 | 74,5 | − 2 |
| NS-MP | 48 | 43 | − 5 |
| PP-MP | 41,5 | 30,5 | −11 |
| NS-PP | 6,5 | 12,5 | + 6 |
| Go | 140 | 125,5 | −14,5 |

Lippendicke führen wir auf die gute Kooperation des Patienten bei der Lippenschließgymnastik zurück. Durch dieses Training wurde ein spannungsfreier vorderer Abschluß des oralen Funktionsraums erreicht. Beim Vergleich der ersten mit der letzten Fernröntgenaufnahme (Abb. 142a und b) ist deutlich zu erkennen, daß das anfänglich bestehende vertikale Entwicklungsmuster im Sinne einer normgerechten sagittalen Entwicklung des gesamten Viszeralskeletts verändert werden konnte. Hierbei kam es zu einer starken Verlängerung des Ramus und Verkleinerung des Gonionwinkels bei gleichzeitiger Schwenkung des gesamten Ramus nach dorsal. Der Schluß der Extraktionslücken erfolgte ohne jede aktivmechanische Bewegung der Zähne, nur unter der Wirkung der Bukkalschilde des FR-3. Bemerkenswert ist auch die Verbesserung des Gesichtsprofils.
Die stimulierende Wirkung des FR-3 auf die Mittelgesichtsentwicklung bzw. seine hemmende Wirkung auf die Unterkieferentwicklung ist auch aus der Überdekkung der Durchzeichnungen (Abb. 143) und den Tabellen 32 und 33 ersichtlich.

*Fall 3*
Die Anamnese ergab, daß dieses Mädchen schon in früher Kindheit wegen chronischer Infektion des Respirationstrakts, oft verbunden mit akuter Mittelohrentzündung, mehrfach in HNO-Behandlung gewesen war. Im Alter von 5 Jahren wurden die vergrößerte Rachenmandel und die Tonsillen chirurgisch entfernt. Offensichtlich hatten diese operativen Maßnahmen keinen Einfluß auf den Atemmodus. Wie die Abb. 144a zeigt, lag eine ausgeprägte Haltungsschwäche im Lippenbereich vor. Die Funktionsprüfung ergab, daß das Mädchen vorwiegend durch den Mund atmete. Der Lippenschluß war nur mit Anstrengung und verstärkter Aktivität des Kinnmuskels möglich (Abb. 144b). Der Mesialbiß war vergesellschaftet mit einem frontal offenen Biß und bilateralen Kreuzbiß (Abb. 146a). Beim Schlucken preßte sich die Zunge zwischen die Schneidekanten der oberen und unteren Incisivi. Da das Kind einen sehr ängstlichen und passiven Eindruck machte, ordneten wir zunächst nur Lippenschließtraining an. Auf diese Weise können wir das Vertrauen der Kinder gewinnen und zugleich ihre Kooperationsbereitschaft testen. Das erste Fernröntgenbild (Abb. 145a), das etwa 4 Monate später als die Modelle angefertigt wurde, zeigt, daß sich der offene Biß geschlossen hatte, ohne daß irgendein Gerät zur Anwendung gekommen wäre.
Der Durchbruch der oberen bleibenden Schneidezähne war retardiert, wie wir dies bei Entwicklungshemmung im Mittelgesichtsbereich häufig beobachten. Im Alter von 6 Jahren wurde der FR-3 eingefügt. Nach 2 Monaten hatte die Patientin das Gerät tags und nachts getragen. Nach einer aktiven Behandlungsperiode von etwa 2½ Jahren wurde ein weiterer FR-3 als Retentionsgerät eingefügt. Er wurde im Alter von 11 Jahren 3 Monaten abgesetzt. Während der Behandlung und der Retention wurde also kein anderes Gerät als der FR-3 getragen.
Die Modellaufnahmen (Abb. 146b) zeigen, daß allein unter der Wirkung des FR-3 der bilaterale Kreuzbiß behoben werden konnte. Im Seitenzahngebiet bestehen normale intermaxilläre Beziehungen. Im Frontbereich wird das Behandlungsergebnis durch einen guten Schneidezahnüberbiß abgesichert. Mit der Expansion des oberen Teils der äußeren Weichteilkapsel kam es zur Weitung des oberen dentoalveolären Bogens (Abb. 146c und d). Hierdurch wurde der Zunge der Raum zur Verfügung gestellt, um sich aus ihrer kaudalen Fehllage zu befreien. Mit der Normalisierung ihrer Lage konnte sich der formative Effekt der Zunge auf die Entwicklung des Gaumengewölbes günstig auswirken. So erklärt sich die Weitung des Gaumengewölbes als eine spontane Adaptation der Form an die veränderte Funktion.
Die letzte Fernröntgenaufnahme und die

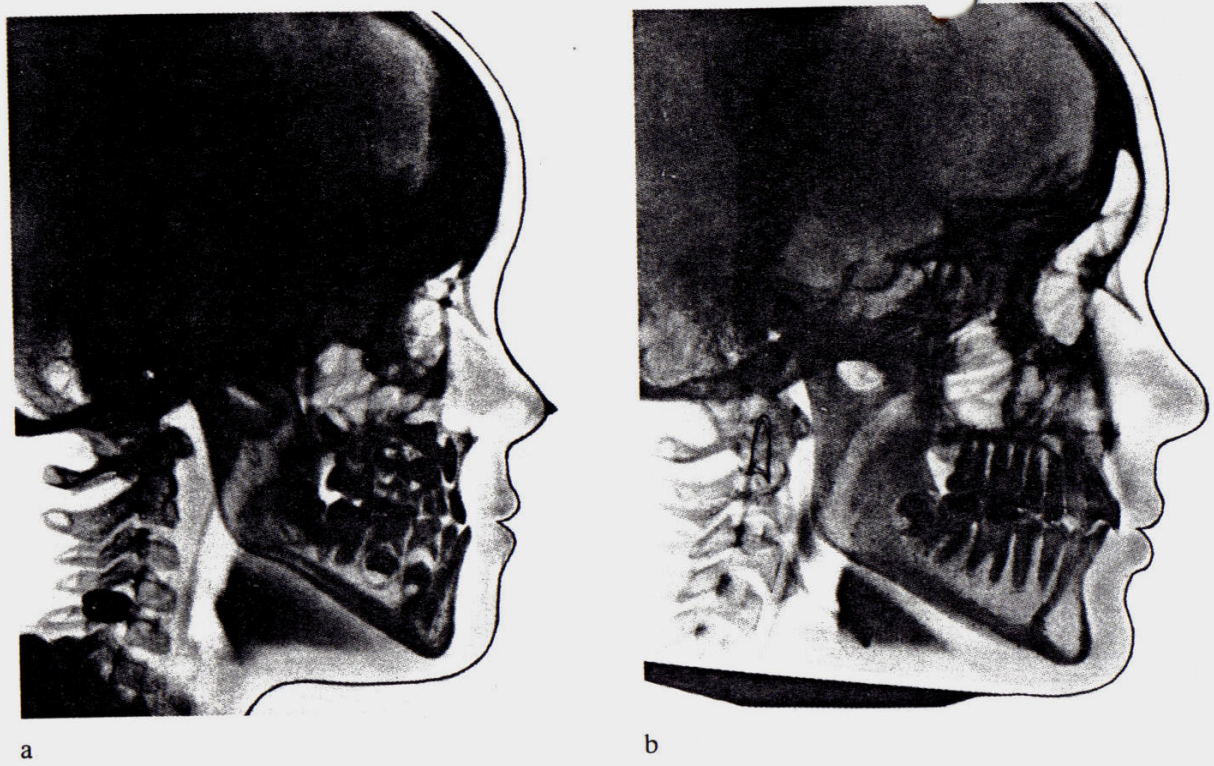


a b

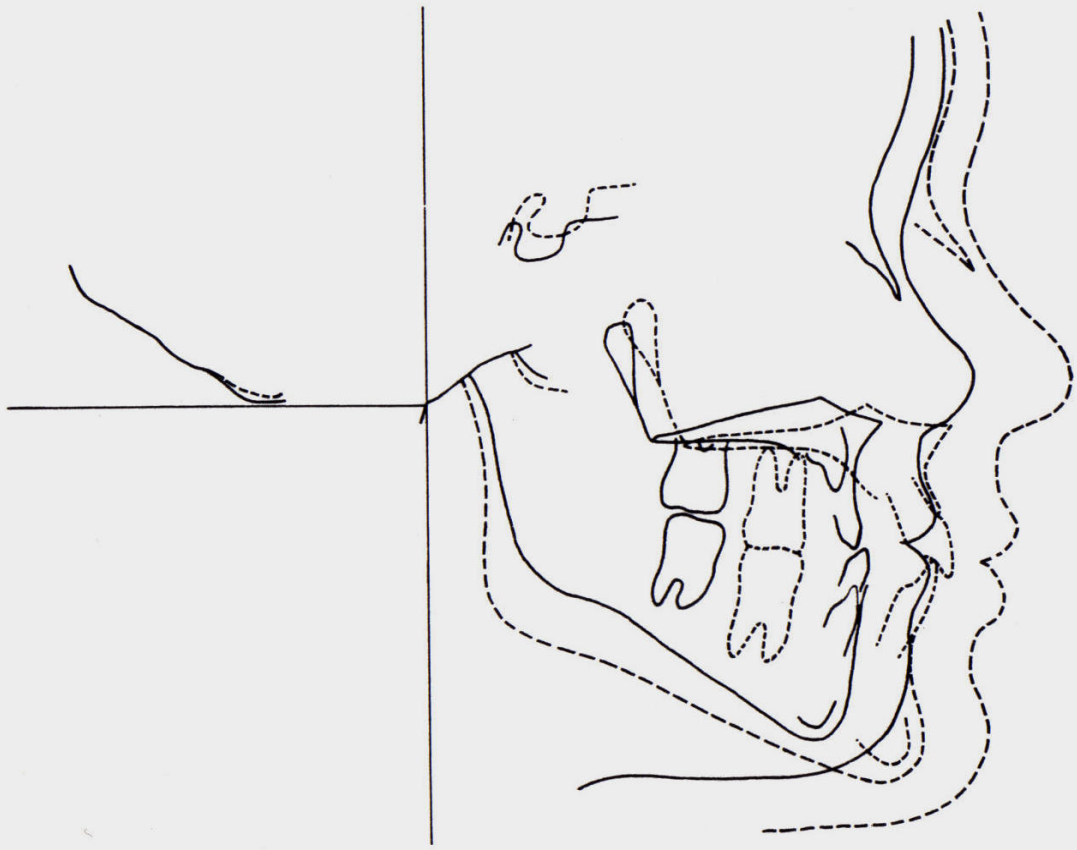
c

**Abb. 144a–c.** Fall 3. Gesichtsaufnahmen vor (a), nach Lippenschluß (b) bei Behandlungsbeginn und im Alter von 14 Jahren, 10 Monaten

Überdeckung der Durchzeichnungen im okzipitalen Koordinatensystem (Abb. 145b und c) zeigen die signifikanten skelettalen Veränderungen, die mit Hilfe des Funktionsreglers erreicht wurden. Bemerkenswert ist die erhebliche Nachentwicklung im Mittelgesicht, sowohl sagittal als auch vertikal. Letzteres wird besonders erkennbar durch die veränderte Neigung des Nasenbodens. Dieser senkt sich in seinem vorderen Anteil, wodurch es zu einer signifikanten Verlängerung der vorderen mittleren Gesichtshöhe kommt. Der Punkt A veränderte seine Position in anteriorer Richtung um 12,5 mm. Interessant ist auch, daß es zu einer signifikanten Vorverlagerung der Spina nasalis posterior (PNS) kam. Diese werten wir als ein Zeichen dafür, daß sich der Funktionsregler nicht nur dentoalveolär, sondern auch auf die Entwicklung des gesamten Oberkiefers ausgewirkt hat. Die sagittalen und vertikalen Positionsveränderungen der verschiedenen Bezugspunkte (Tabelle 34) geben verläßliche Auskunft über Ausmaß und Richtung der regionalen Umbauvorgänge. Besondere Beachtung verdient, daß sich der Gonionwinkel um 17°, der Winkel zwischen der Palatinalebene und Mandibularebene (PP-MP) um 8,5° verkleinerten (Tabelle 35). Hierdurch wird angezeigt, daß die skelettale Hyperdivergenz behoben werden konnte. Beim Vergleich der ersten und letzten Fernröntgenaufnahme (Abb. 145a und b), wie aber auch aus der Überdeckung der Durchzeichnungen (Abb. 145c), läßt sich erkennen, daß es, wie bei den vorhergehenden Fällen, zu einem signifikanten Dorsaldriften des gesamten Ramus kam. In der Verlagerung des Artikulare in dorsaler Richtung kommt der die Unterkieferentwicklung hemmende Effekt des FR-3 in eindrucksvoller Weise zum Ausdruck. Wir glauben, daß sich der FR-3 nicht nur in einer Hemmung der mandibulären Entwicklung auswirkt, sondern daß es gleichzeitig auch zu einem Umbau der Fossa glenoidalis kommt.

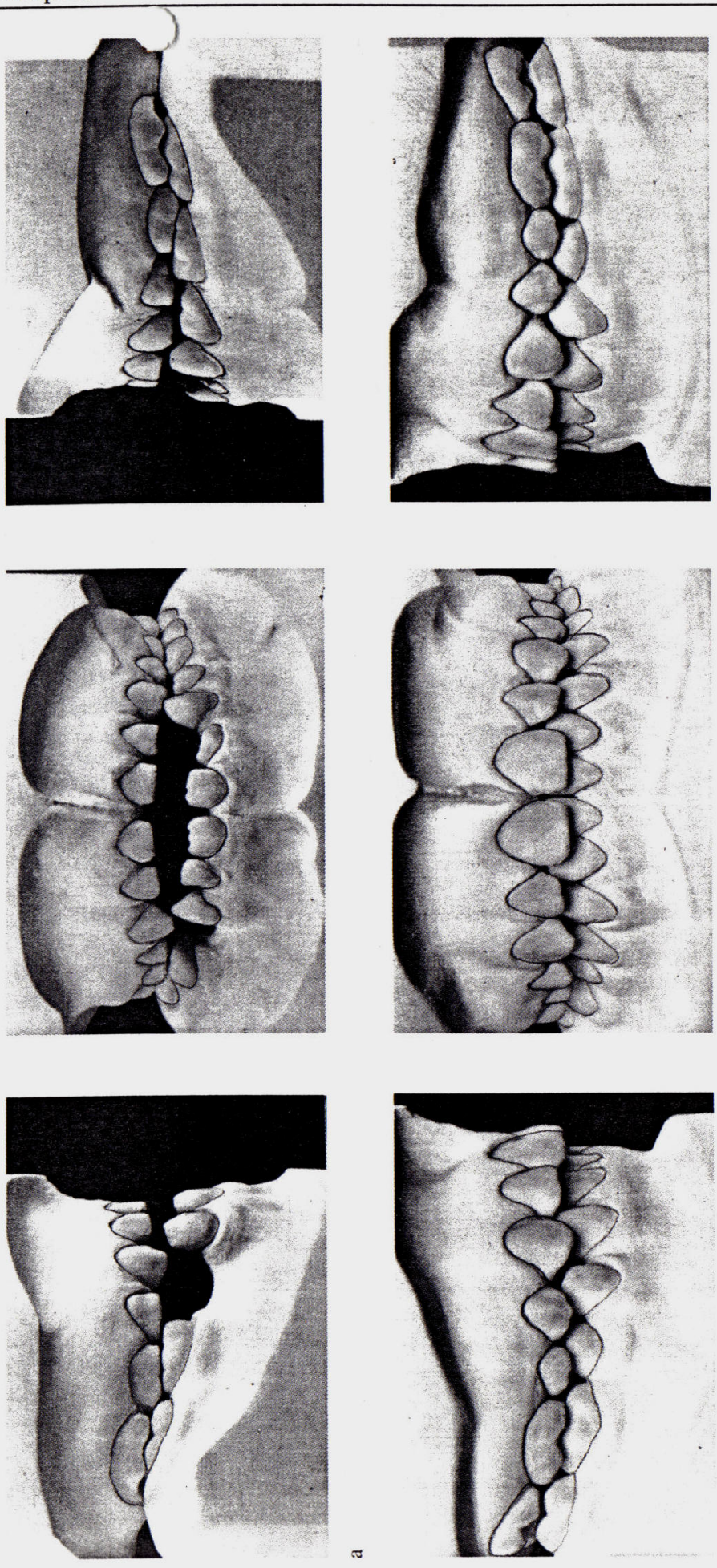


a b



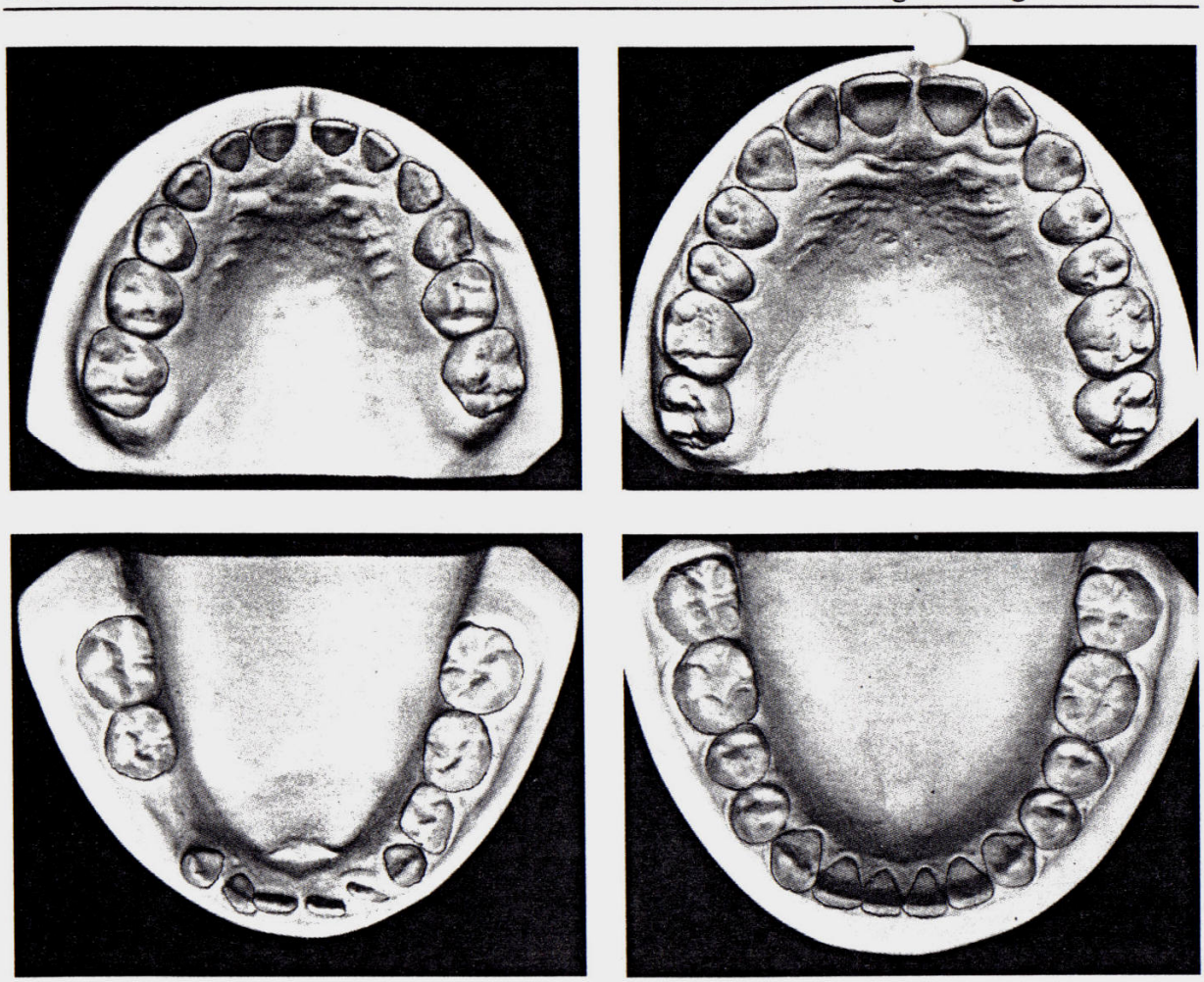
c

**Abb. 145a–c.** Fall 3. Fernröntgenaufnahmen vor (a) und nach Behandlung mit dem FR-3 (b). Der Hemmungseffekt des FR-3 ist erkennbar an der Verkleinerung des Gonionwinkels um 17° und der Dorsalverlagerung des Ramus (c)



a b

**Abb. 146a, b**



c d

**Abb. 146a–d.** Fall 3. Modellaufnahmen vor der Behandlung mit dem FR-3 (a und c) und am Abschluß der Beobachtung (b und d). Der frontale offene Biß schloß sich ohne Verwendung eines zungeninhibierenden Elements. Die Korrektur des bilateralen Kreuzbisses erfolgte spontan als Ergebnis der Weitung der äußeren Weichteilkapsel mit dem FR-3

**Tabelle 34.** Sagittale und vertikale Positionsveränderungen einiger Bezugspunkte zu den Achsen des okzipitalen Referenzsystems bei Fall 3 (mm)

| | Sagittale Veränderungen | | | Vertikale Veränderungen | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Alter | 5 J. 5 M. | 14 J. 10 M. | Diff. | 5 J. 5 M. | 14 J. 10 M. | Diff. |
| N | 81,5 | 92 | 10,5 | 36 | 42,5 | 6,5 |
| S | 21 | 24,5 | 3,5 | 28,5 | 34,5 | 6 |
| PNS | 40,5 | 47,5 | 7 | − 6,5 | − 8 | 1,5 |
| A | 78,5 | 91 | 12,5 | −11 | −12,5 | 1,5 |
| $\underline{\underline{6}}$ | 42,5 | 58 | 15,5 | −16 | −23,5 | 7,5 |
| $\underline{6}$ | 43 | 58,5 | 15,5 | −23 | −28 | 5 |
| B | 77,5 | 87,5 | 10 | −46 | −47 | 1 |
| Pg | 75 | 89 | 14 | −59,5 | −66 | 6,5 |
| Me | 67 | 81 | 14 | −61,5 | −68,5 | 7 |
| Go 2 | 22,5 | 23 | 0,5 | −34 | −43,5 | 9,5 |

**Tabelle 35.** Veränderung [illegible] Winkelwerte bei Fall 3

| Alter | 5 J. 5 M. | 14 J. 10 M. | Diff. |
|---|---|---|---|
| SNA | 79 | 82 | + 3 |
| SNB | 80 | 80 | 0 |
| NS-MP | 40 | 30,5 | − 9,5 |
| PP-MP | 36,5 | 28 | − 8,5 |
| Go | 137,5 | 120,5 | −17 |

Zugegebenermaßen kann man ähnliche morphologische Veränderungen auch mit der Gesichtsmaske erzielen. Bei dieser Behandlung wird die Umformung durch direkte mechanische Kraftwirkung erzwungen. Die abwegigen Funktionsmechanismen werden mit diesem Gerät nicht beeinflußt. Bei der Verwendung des FR-3 ergibt sich die Formveränderung spontan als Anpassung an die Wiederherstellung physiologischer Raumbedingungen und neuromuskulärer Funktionsmuster. Wir glauben, daß wir auf diese Weise die wichtigsten Voraussetzungen für die Stabilität der morphologischen Umformung erfüllt haben.

Die letzte Fernröntgenaufnahme, die Durchzeichnungen (Abb. 145b und c) und die letzten Gesichtsaufnahmen (Abb. 144c) lassen die erheblichen Verbesserungen des Gesichtsprofils erkennen. Beim Lippenschluß wird der Mentalismuskel nicht mehr aktiv. Die tiefen, anfänglich bestehenden Nasolabialfalten sind verstrichen. Es kam zu einer Verbreiterung der Nasenflügel und der Nasenöffnungen. Die Profilaufnahmen (Abb. 144) lassen den Effekt der Mundschließgymnastik auf die Nase erkennen. Schon bei willkürlichem Lippenschluß vor Beginn der Behandlung kommt es zu einer leichten Senkung der Nasenspitze (Abb. 144b). Die letzte Profilaufnahme (Abb. 144c) macht deutlich, daß das Wachstum der Nasenknorpel vektoriell beeinflußt werden konnte. Der ungezwungene Lippenschluß ist ein sicheres Anzeichen für die Behebung der oralen Fehlatmung. Die erste Fernröntgenaufnahme zeigt, daß sich trotz der durchgeführten Adenotomie die Rachenmandel wieder vergrößert hatte. Während der Behandlung kam es zu ihrer spontanen Rückbildung (Abb. 145b).

## 14.3 Longitudinalstudien

Es ist verständlich, daß bei dem progenen Formenkreis eine biostatistische Bewertung der mit dem Funktionsregler erzielten Behandlungsergebnisse auf Schwierigkeiten stößt. Der Grund hierfür ist vor allem in der Tatsache zu sehen, daß diese Fälle nur äußerst selten unbehandelt bleiben. So ist die Bildung einer Vergleichsgruppe sehr schwierig. Erst in jüngster Zeit konnten wir ein Untersuchungsgut zusammenstellen, das den Anforderungen einer statistisch abgesicherten Erfolgsbewertung genügt. Zur Zeit wird das gesammelte Material von Herrn *Hertig* einer kephalometrischen Longitudinaluntersuchung zugeführt.

### Vergleich von 74 schweren Klasse III Fällen, die mit dem FR-3 behandelt wurden, mit 58 Klasse-II-Fällen, behandelt mit FR-1 oder FR-2 (*Fränkel*, 1970)

Bei diesen Untersuchungen haben wir die Ergebnisse der mit dem FR-3 behandelten Fälle mit denen verglichen, die wir bei Behandlung der Angle-Klasse II mit Hilfe des FR-1 bzw. FR-2 erreichen konnten. Dabei zeigte sich, daß mit Hilfe des FR-3 eine deutlich stärkere Stimulation der Oberkiefer- bzw. Mittelgesichtsentwicklung erzielt werden konnte als bei den Fällen der Angle-Klasse II.

### Möglichkeiten der sagittalen Nachentwicklung maxillärer Strukturen mit dem Funktionsregler Typ III (*Falck* 1981)

Bei dieser Studie wurde der Einfluß des FR-3 auf die dentoalveoläre Entwicklung des Oberkiefers untersucht. Unter der Anwendung der von *Björk* und *Skieller* (1972) vorgeschlagenen Referenzstruktu-

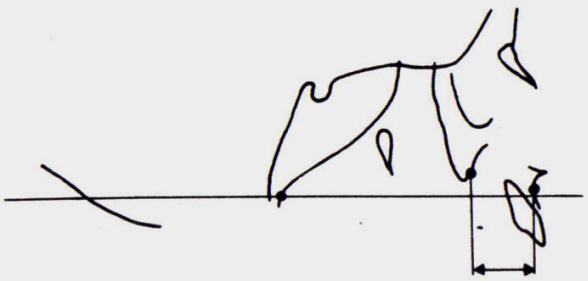


**Abb. 147.** Referenzen zum Nachweis der Oberkiefernachentwicklung bei Verwendung der von *Björk* angegebenen Strukturen des Os zygomaticum

ren des Os zygomaticum veränderte der Punkt A seine Position in anteriorer Richtung um durchschnittlich 2,07 mm in der FR-3 Gruppe, während diese Distanz in der unbehandelten Kontrollgruppe stabil blieb (Abb. 147).

## 14.4 Abschließende Bemerkungen

Um die Wirkungsweise des FR-3 bei der Behandlung der Progenie verstehen zu können, sei nochmals auf die Untersuchungen von *Delaire* (1978) hingewiesen. Er mißt dem Ansatz der Muskulatur in der maxillären Vestibularfalte große Bedeutung für die Entwicklung des Oberkiefers bzw. Mittelgesichts bei. Mit den vom Oberkiefer abstehenden Bukkalschilden und den oberen Lippenpelotten wird eine direkte orthopädische Intervention in dieser Region ermöglicht. Die auf diese Weise erzeugte Zugspannung in der Umschlagfalte ist beträchtlich. Ihr entwicklungsstimulierender Effekt kommt in der signifikanten Nachentwicklung des Oberkiefers und des gesamten Mittelgesichts zum Ausdruck. Gleichzeitig wirkt sich der Funktionsregler hemmend auf die Entwicklung des Unterkiefers aus. Allerdings ist die Korrektur skelettaler Disproportionen auch bei der Progenie nur dann möglich, wenn wir uns frühzeitig in die Entwicklungsprozesse einschalten. Wie bereits ausgeführt, sind schwierige Progeniefälle nicht selten vergesellschaftet mit einer Retardation des Schneidezahndurchbruchs. Der FR-3 bietet günstige Möglichkeiten, die Durchbruchsrichtung der oberen bleibenden Schneidezähne zu beeinflussen und so einen normalen Schneidezahnüberbiß zu erreichen. Dies wirkt sich stimulierend auf die Entwicklung des gesamten Oberkiefers bzw. Mittelgesichts aus.

Es soll nicht unerwähnt bleiben, daß bei der Herstellung des FR-3 die Fehlerquote relativ gering ist. Ein weiterer Vorteil ist, daß dieses Gerät vom Patienten schnell adaptiert wird, so daß in der Regel mit einer guten Kooperation gerechnet werden kann. Aus diesem Grunde empfehlen wir dem Kieferorthopäden, der mit dem Funktionsregler noch keine Erfahrung hat, mit der Behandlung der Angle-Klasse III zu beginnen.

# 15 Die orthopädische Behandlung des skelettalen offenen Bisses mit Hilfe des Funktionsreglers

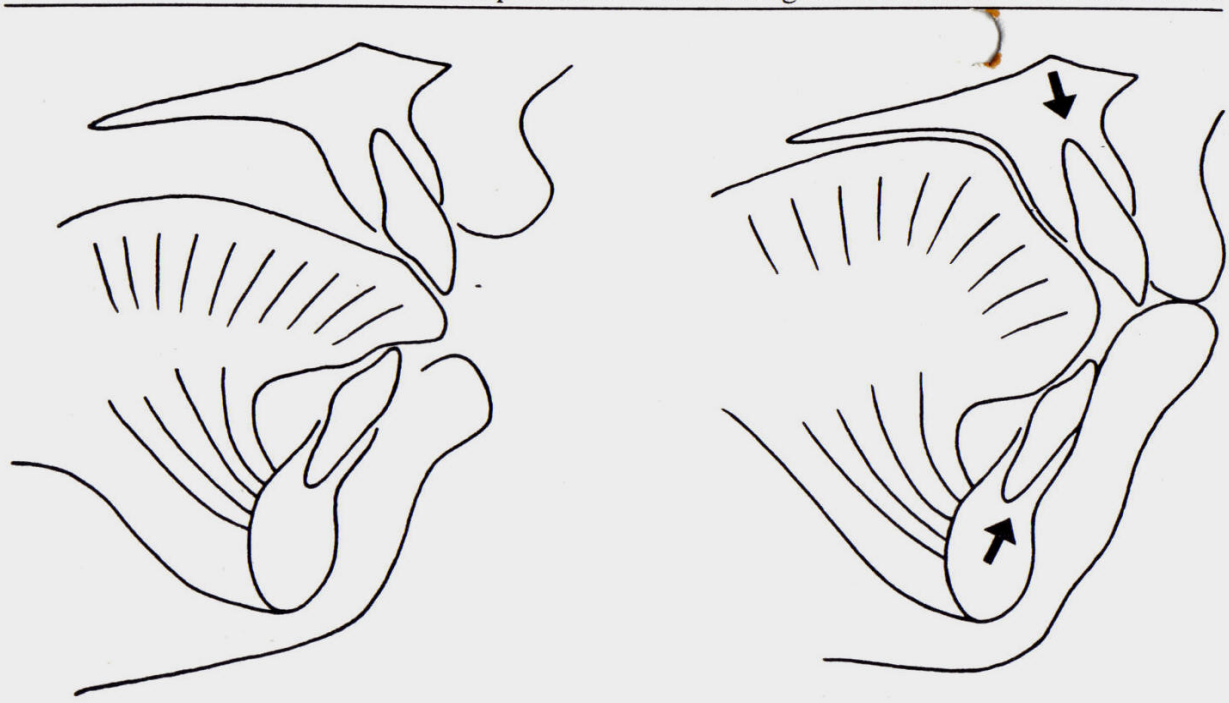
## 15.1 Zur Ätiologie des skelettalen offenen Bisses

Früher war man der Ansicht, daß die vertikalen Disproportionen dieser Dysgnathie in einem ursächlichen Zusammenhang mit der Rachitis zu sehen seien. Durch diese Erkrankung werde die mechanische Widerstandskraft des Knochens gegenüber muskulärer Krafteinwirkung stark herabgesetzt. So erkläre sich die mandibuläre Rückwärtsrotation und die ausgeprägte Incisura prämasseterica als Folgeerscheinung der Rachitis. Die systematische Rachitisprophylaxe hat jedoch gezeigt, daß diese Erkrankung als ätiologischer Faktor für die Genese des skelettal offenen Bisses keine Bedeutung mehr hat.

Auf Grund der Tatsache, daß die skelettalen Diskrepanzen dieser Fehlbildung weder mit festsitzenden noch herausnehmbaren Geräten korrigiert werden konnten, wurde von vielen Autoren eine genetische Veranlagung angenommen. Diese Hypothese wurde durch die Untersuchungen von *Hunter* (1965) gestützt. Danach unterliegt die skelettale Entwicklung des Splanchnokraniums in der Vertikalen der direkten genetischen Kontrolle in stärkerem Maß als in der Sagittalen.

Nach dem 2. Weltkrieg hat man den Einflüssen der Muskulatur für die Entstehung der Gebißfehlbildungen große Bedeutung beigemessen. So glaubte man, daß das Zungenpressen beim Schluckakt eine bedeutsame Rolle bei der Entstehung des frontalen offenen Bisses spiele. Diese Fehlfunktion wurde als Ausbleiben der Reifung neuromuskulärer Funktionsmuster gewertet und als „infantiles Schlucken" bezeichnet. Die Vertreter der sogenannten „myofunktionellen Therapie" empfahlen daher entsprechende Zungengymnastik in Verbindung mit Sprachübungen. Um die deformierende Wirkung dieser Fehlfunktion zu eliminieren, wurden und werden auch heute noch Zungengitter in Verbindung mit herausnehmbaren oder festsitzenden Geräten verwendet. Auf diese Weise kann eine Einlagerung der Zunge zwischen die Schneidekanten der Incisivi verhindert werden. In den fünfziger Jahren haben auch wir derartige Geräte bei der Behandlung des skelettalen offenen Bisses verwendet. In den meisten Fällen konnten wir nach einer Behandlungszeit von 6–8 Monaten feststellen, daß sich der offene Biß geschlossen hatte (*Fränkel* 1967). Nachuntersuchungen zeigten jedoch, daß in allen Fällen, bei denen eine Diskrepanz zwischen Lippenlänge und unterer Gesichtshöhe bestand, der frontale offene Biß rezidivierte.

Dieser Befund deckt sich mit den Beobachtungen von *Ballard* (1965). Er sieht in dem Mißverhältnis zwischen Lippenlänge und unterer Gesichtshöhe die wesentliche Ursache für die Entstehung des skelettalen offenen Bisses. Der Fehlfunktion der Zunge maß er nur geringe ursächliche Be-



a b

**Abb. 148a, b.** Schematische Darstellung des vorderen Abschlusses des oralen Funktionsraums durch die Zunge (a) bzw. Lippen (b). Die Pfeile geben den kieferschließenden Effekt der Lippenschließgymnastik an (b)

deutung bei. Das Zungenpressen sei ein sekundäres Phänomen. Es sollte als eine adaptive, kompensatorische Funktion gewertet werden. Diese sei notwendig, um den vorderen Abschluß des oralen Funktionsraums sicherzustellen. Bei Vorliegen eines frontalen offenen Bisses könne daher das Zungenpressen beim Schluckakt keinesfalls als „Habit" gewertet werden. Auch wir sind der Ansicht, daß bei einer ursächlichen Erklärung des frontalen offenen Bisses die protrusive Funktion der Zunge in engem Zusammenhang mit der Inkompetenz des Lippenschlusses gesehen werden muß. Wir können uns aber der Meinung von *Ballard*, daß der offene Mund auf verkürzten Strukturen der Lippenweichteile beruhe, nicht anschließen. Unsere klinischen Beobachtungen haben gezeigt, daß auch bei einer stark vergrößerten unteren Gesichtshöhe die Lippen in Kontakt gebracht werden können (Abb. 148a und b). Hierfür bedarf es allerdings einer großen Kraftanstrengung und der synergistischen Aktivität des Kinnmuskels. Wir glauben daher, daß das Fehlen des Mundraumabschlusses auf eine Funktionsschwäche der Mundschließmuskulatur zurückzuführen ist. Das heißt, die Ausbildung bzw. Reifung physiologischer Funktionsmuster der Lippenschließmuskulatur ist während der Entwicklung ausgeblieben. In der Überwindung dieser Haltungsschwäche durch orthopädisches Training sehen wir daher die vorrangige Aufgabe bei der Behandlung des skelettalen offenen Bisses.

Nach *Tomer* und *Harvold* (1982) stehen die Lippen- und Gesichtsmuskeln in einer engen funktionellen Beziehung zur Kaumuskulatur. Diese Hypothese wird durch unsere klinischen Beobachtungen gestützt. Wenn ein Kind mit gnathisch offenem Biß aufgefordert wird, die Lippen zu schließen, so läßt sich palpatorisch regelmäßig eine spontane Aktivität im Bereich des M. temporalis und M. masseter feststellen. In diesem Zusammenhang sei auf die tierexperimentelle Forschung von *Harvold* (1973, 1975) hingewiesen. Durch Verschluß des Nares zwang er die Affen, durch den Mund zu atmen. Auf diesen Eingriff reagierten die Versuchstiere in unterschiedlicher Weise. Einige der Af-

fen senkten den Unterkiefer und formten die Zungenoberfläche zu einer Furche. So war es ihnen möglich, durch den Mund zu atmen. Bei diesen Versuchstieren kam es in der Folge zur mandibulären Rückwärtsrotation und zur Ausbildung eines skelettalen offenen Bisses. Hieraus ließe sich ableiten, daß zwischen der Inkompetenz des vorderen Mundraumabschlusses, der Aufhängemuskulatur, dem mandibulären Rotationsmuster und dem skelettalen offenen Biß ursächliche Zusammenhänge bestehen. Betrachtet man diese Kausalkette in umgekehrter Folge, erhalten wir wertvolle Hinweise für die Entwicklung eines funktionellen Konzepts bei der Behandlung dieser Dysgnathie. Das heißt, wenn wir mit Hilfe der Lippenschließgymnastik einen kompetenten Abschluß des oralen Funktionsraums erreichen, können wir annehmen, daß die Aufhängemuskulatur im Sinne der mandibulären Vorwärtsrotation umtrainiert und damit die wichtigste Voraussetzung für die Korrektur des skelettalen offenen Bisses erfüllt werden konnte.

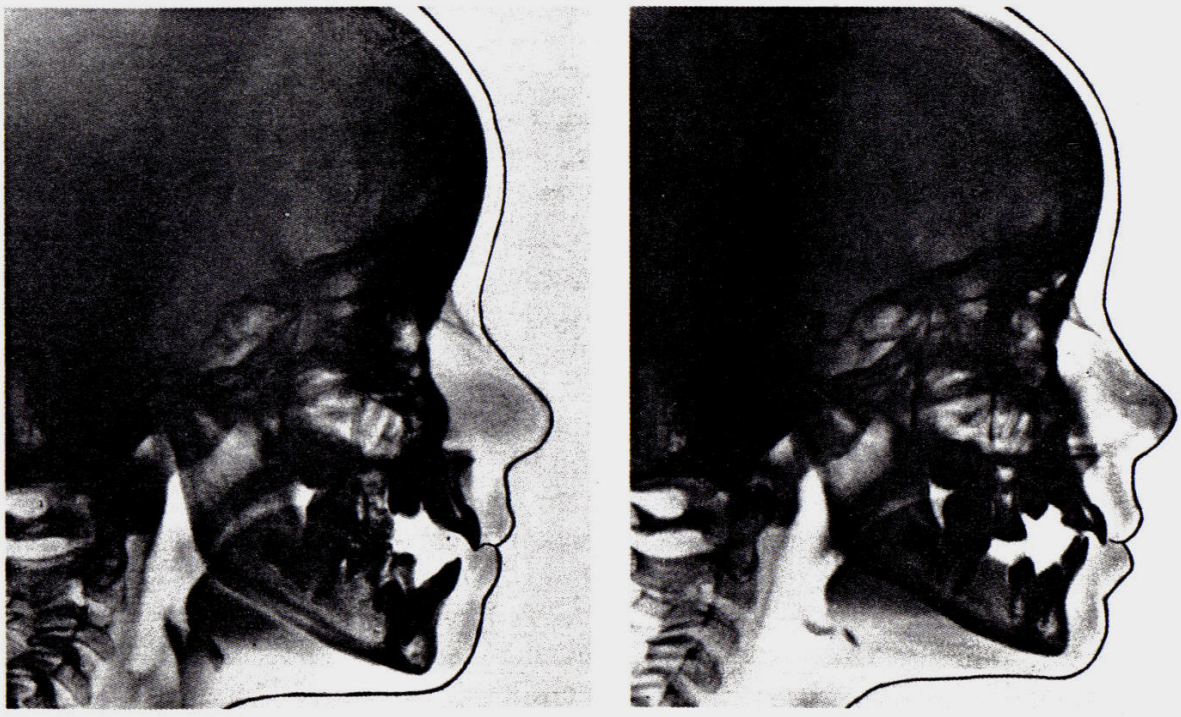
## 15.2 Fallbeispiele

*Fall 1*

Bei dieser Patientin lag eine chronische Mundatmung vor. Der vordere Mundraumabschluß war gestört. Die Lippen konnten nur mit Anstrengung geschlossen werden, wobei palpatorisch eine deutliche Aktivität des M. mentalis festgestellt wurde. Die Anamnese ergab, daß das Kind schon in frühem Alter an chronischen Infektionen der Atemwege litt. Die Tonsillen waren vergrößert. Die erste Fernröntgenaufnahme (Abb. 149a) wurde im Alter von 7 Jahren, 7 Monaten genommen. Alle zweiten Prämolaren waren aplastisch. Es bestand ein leichter Distalbiß, vergesellschaftet mit einer bialveolären Protrusion und einem offenen Biß im Frontzahnbereich. Die untere Gesichtshöhe war im Verhältnis zur mittleren vergrößert.

*Behandlungsverlauf*

Die Behandlung erfolgte ausschließlich durch Lippenschließgymnastik. Die zwei-



a b

**Abb. 149a, b.** Fall 1. Fernröntgenaufnahmen vor und nach Durchführung der Lippenschließgymnastik ohne Verwendung irgendeines kieferorthopädischen Geräts

te Fernröntgenaufnahme wurde im Alter von 8 Jahren, 10 Monaten angefertigt. Obwohl kein orthodontisches bzw. kieferorthopädisches Gerät getragen worden war, hatte sich der offene Biß spontan geschlossen. Auch eine Verbesserung der bialveolären Protrusion konnte festgestellt werden. Die untere Gesichtshöhe hatte sich während des Lippenschlußtrainings verkleinert. Besonders imponierend ist die Veränderung des Weichteilprofils. Der Lippenschluß kommt nach der Behandlung ungezwungen zustande, ohne daß eine kompensatorische Aktivität des Mentalismuskels festzustellen ist. Die Lippen haben deutlich an Dicke zugenommen. Der vordere Abschluß des oralen Funktionsraums ist gesichert, womit die Umstellung von der Mundatmung zur physiologischen Nasenatmung erreicht werden konnte. Leider verzog das Kind, so daß wir die weitere dentoskelettale Entwicklung nicht mehr verfolgen konnten.

*Fall 2*

Die erste Fernröntgenaufnahme (Abb. 150a) und die Gesichtsfotografien (s. Abb. 151a) wurden im Alter von 4 Jahren, 11 Monaten angefertigt. Die Lippen des Knaben waren immer geöffnet. Es bestand chronische Mundatmung. Der Patient litt schon seit früher Kindheit an chronischen Infektionen der Atemwege, häufig vergesellschaftet mit einer Otitis media. Im Alter von 3 Jahren, 6 Monaten wurde die vergrößerte Rachenmandel entfernt. Das erste Fernröntgenbild (Abb. 150a) zeigt jedoch ein völliges Rezidiv der Adenoide mit einer starken Einengung der pharyngealen Atempassage. Das Kind war chronischer Daumenlutscher und machte einen verängstigten Eindruck. Der Gesichtsausdruck (Abb. 151a) läßt die Annahme zu, daß die physische und psychische Entwicklung des Kindes stark gestört war. Dieser Fall ist ein eindrucksvolles Beispiel, daß die Behandlung dieser schweren Kiefer-Gebiß-Fehlbildung eine psychosomatische Problematik beinhaltet. So haben wir auch die Persistenz des Lutschens bei diesem Kind als neurotisches Verhalten zu werten.

*Behandlungsverlauf*

In einer eingehenden Aussprache haben wir den Eltern erklärt, daß das Abgewöhnen des Lutschens als erster wichtiger Schritt der Behandlung in Angriff zu nehmen sei. Hierbei müsse mit aller Vorsicht vorgegangen werden, um spätere Widerstände gegen eine kieferorthopädische Behandlung zu vermeiden. Zunächst verordneten wir eine Mundvorhofplatte nach *Schönherr*, um das Abgewöhnen des Daumenlutschens zu erleichtern. Im ersten Jahr der Behandlung erschien das Kind in Abständen von etwa 6 Wochen. Dabei kam es uns vor allem darauf an, das Vertrauen des Patienten zu gewinnen und ihn allmählich an die Atmosphäre des Behandlungszimmers zu gewöhnen.

Das zweite Fernröntgenbild (Abb. 150b) wurde im Alter von 9 Jahren, 4 Monaten genommen. Die starke Protrusion der oberen Schneidezähne ist sicherlich auf das Daumenlutschen zurückzuführen, das bis zu dieser Zeit noch persistierte. Die Wurzeln der Milchmolaren sind verhältnismäßig wenig resorbiert. So entspricht die Gebißentwicklung dem Stadium der frühen Wechselgebißperiode. Die Lippen konnten nur mit äußerster Kraftanstrengung in Kontakt gebracht werden. In der Zwischenzeit hatte das Kind seine Angst vor einer Behandlung abgelegt. So konnten wir den Knaben für eine Lippenschließgymnastik gewinnen. Im Alter von 9 Jahren, 10 Monaten wurde ein FR-4 eingefügt, an den sich das Kind sehr schnell gewöhnte. Die dritte Fernröntgenaufnahme wurde im Alter von 13 Jahren, 1 Monat angefertigt. Der Effekt des Lippenschließtrainings ist an der Zunahme der Dicke der Lippenweichteile deutlich zu erkennen. Der offene Biß hatte sich geschlossen. Die oberen Schneidezähne stehen annähernd in einem normalen Achsenstand. Im Mittelgesicht fand

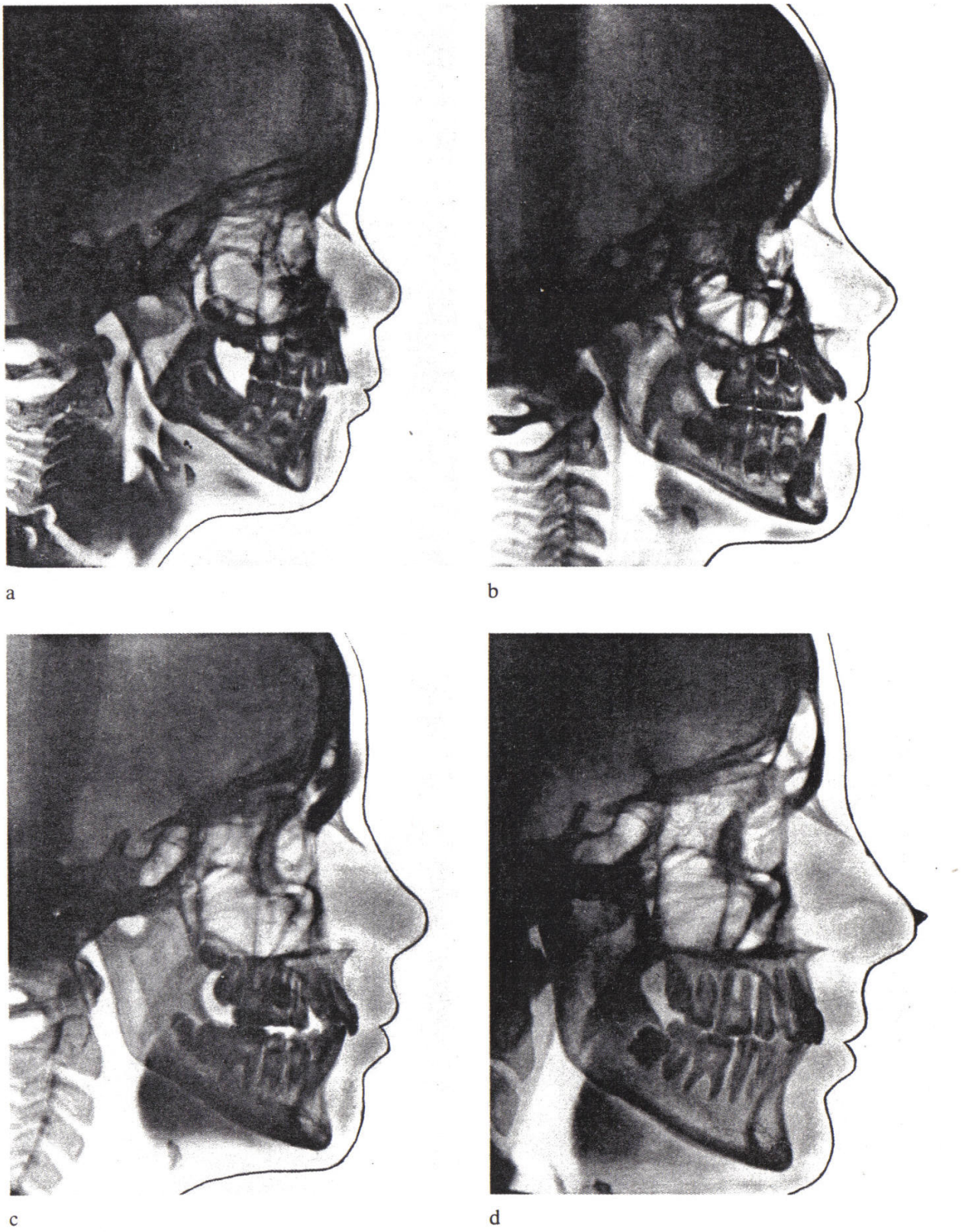



**Abb. 150a–d.** Fall 2. Fernröntgenaufnahme im Alter von 4 Jahren, 11 Monaten (a), 9 Jahren, 4 Monaten (b) und nach Lippenschließgymnastik mit dem FR-4 (c). Die letzte Fernröntgenaufnahme wurde 5 Jahre, 9 Monate nach Absetzen des FR-4 angefertigt. Der Gonionwinkel verringerte sich um 15° und der Winkel zwischen Palatinalebene und Mandibularebene um 10,5°

Medizin...
für Zahn-, M...
der ...

**Tabelle 36.** Sagittale und vertikale Positionsveränderungen einiger Bezugspunkte zu den Achsen des okzipitalen Referenzsystems bei Fall 2 (mm)

| | Sagittale Veränderungen | | | Vertikale Veränderungen | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Alter | 4 J. 11 M. | 20 J. 1 M. | Diff. | 4 J. 11 M. | 20 J. 1 M. | Diff. |
| N | 74 | 86 | 12 | 48 | 59 | 11 |
| S | 15 | 17,5 | 2,5 | 31 | 39,5 | 8,5 |
| PNS | 36,5 | 43,5 | 7 | 2 | 0,5 | 1,5 |
| A | 79 | 93,5 | 14,5 | 7 | 1 | 6 |
| $\overline{6}$ | 37,5 | 60,5 | 23 | −19,5 | −26,5 | 7 |
| B | 76 | 92 | 16 | −28 | −38 | 10 |
| Pg | 75 | 97 | 22 | −45 | −61 | 16 |
| Me | 70 | 91,5 | 21,5 | −47,5 | −64 | 16,5 |
| Go 2 | 27,5 | 33 | 5,5 | −28,5 | −47,5 | 19 |

**Tabelle 37.** Veränderung der Winkelwerte bei Fall 2

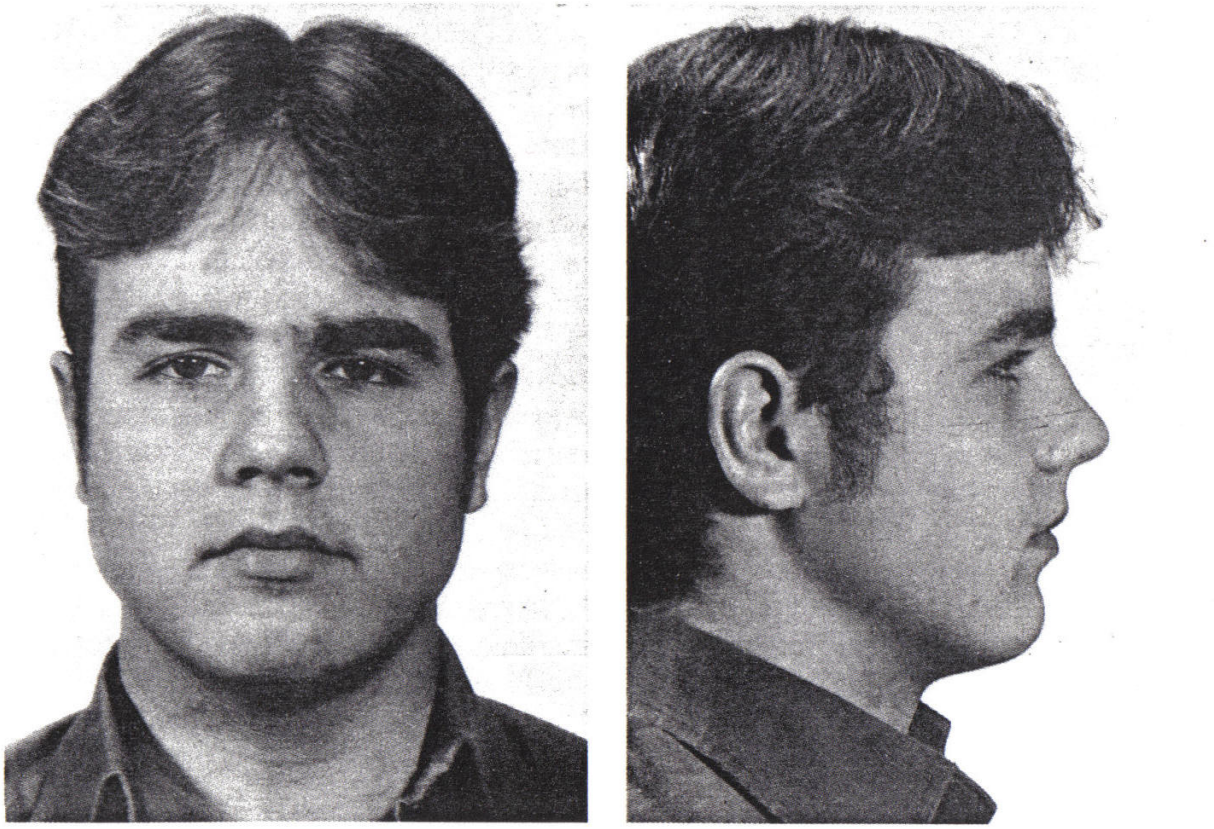
| Alter | 4 J. 11 M. | 20 J. 1 M. | Diff. |
|---|---|---|---|
| SNA | 80,5 | 81 | + 0,5 |
| SNB | 75 | 77,5 | + 2,5 |
| NS-MP | 41 | 32 | − 9 |
| PP-MP | 36,5 | 26 | −10,5 |
| NS-PP | 4,5 | 6 | + 1,5 |
| Go | 142 | 127 | −15 |

eine signifikante Nachentwicklung sowohl in der Sagittalen als auch Vertikalen statt. Interessant ist die Senkung des Nasenbodens im vorderen Bereich. Im Unterkiefer fällt vor allem die Verkleinerung des Gonionwinkels auf. Das Verhältnis zwischen vorderer oberer und unterer Gesichtshöhe entspricht annähernd normgerechten Werten. Durch die Retrusion des oberen Frontsegments war es im Seitenzahnbereich zu einem starken Platzmangel gekommen, vor allem auf der rechten Seite. Wir entschlossen uns daher zur Extraktion des rechten oberen ersten Prämolaren und des linken oberen zweiten Prämolaren. Danach wurde der FR-4 als Retentionsgerät, d. h. einige Stunden am Nachmittag und in der Nacht getragen. Die Lippenschließgymnastik wurde fortgesetzt. Nach 1 Jahr, 1 Monat wurde das Gerät abgesetzt. Das letzte Fernröntgenbild (Abb. 150 d), das im Alter von 20 Jahren, 1 Monat angefertigt wurde, zeigt die Behebung der skelettalen Disproportionen sowohl in der Sagittalen als auch in der Vertikalen. Im Oberkiefer kam es zu einer weiteren Senkung des vorderen Nasenbodens. Auffallend ist die signifikante Vergrößerung des Sinus maxillaris und Sinus frontalis. Ursächlich spielt hierbei die Umstellung von der Mundatmung zur physiologischen Atmung durch die Nase eine bedeutsame Rolle.

Die Normalisierung des skelettalen Entwicklungsmusters geht auch aus den Tabellen 36 und 37 deutlich hervor. Bemerkenswert ist, daß sich der Winkel zwischen Palatinalebene und Mandibularebene um 10,5° und der Gonionwinkel um 15° verkleinerten. Die Diskrepanz zwischen vorderer und hinterer Gesichtshöhe ist behoben. Dies erklärt sich vor allem durch die Verlängerung des Ramus. Die Vertiefung der Incisura prämasseterica, die in der ersten Fernröntgenaufnahme (Abb. 150 a) zu sehen ist, läßt sich in der vierten Fernröntgenaufnahme (Abb. 150 d) nicht mehr erkennen.

Anfänglich können die Lippen nur mit größter Kraftanstrengung in Kontakt gebracht werden. Dabei kommt es im Bereich der Lippen- und Kinnweichteile zu einer erheblichen Zugspannung. Sie führt zu einer Verdünnung der Weichteildecke im Kinnbereich (Abb. 150 a und b). Diese vertikale Zugspannung wirkt sich auf die Lage des Kinns im Sinne der Elevation aus. Das heißt, mit der Lippenschließ-

a



b

**Abb. 151a, b.** Fall 2. Gesichtsaufnahmen vor der Behandlung (a) und im Alter von 20 Jahren, 1 Monat (b). Die Disproportionen zwischen mittlerer und unterer Gesichtshöhe sowie die Haltungsfehler im Lippen- und Mundbodenbereich wurden behoben

gymnastik wird einer weiteren Senkung des Kinns bzw. der Rückwärtsrotation des Unterkiefers entgegengewirkt. Wir glauben, daß auch die Senkung des vorderen Nasenbodens wie auch der Nasenspitze auf die Zugspannung der vorderen vertikalen Muskelkette zurückzuführen ist. Die signifikante Verbesserung des Weichteilprofils, die gleichmäßige Zunahme der Weichteildicke im Lippen- und Kinnbereich lassen sich nicht als passive Anpassung an die veränderten Konturen im dentoskelettalen Bereich erklären. Sie sind vielmehr das Ergebnis eines regelmäßig durchgeführten Trainings der Lippenschließmuskulatur. Nur auf diese Weise konnte die anfänglich bestehende Haltungsschwäche überwunden werden, die Unterlippe einen zwanglosen Kontakt mit der Oberlippe finden, und die orale Fehlatmung überwunden werden. Damit haben wir einen wesentlichen Beitrag für die physische, aber auch psychische Entwicklung des Kindes geleistet.

Die Gesichtsaufnahmen (Abb. 151a) lassen erkennen, wie nachteilig sich die Disproportionen im Gesichtsaufbau und die Haltungsschwäche der Gesichtsweichteile physiognomisch auswirken. Nach *Gershater* (1968) ist der offene Mund Ausdruck der Haltungsschwäche, die bei der Entstehung des skelettalen offenen Bisses eine wichtige Rolle spielt. Bei der Untersuchung von geistig retardierten Kindern war von den festgestellten Kiefer-Gebiß-Fehlbildungen der skelettale offene Biß anteilmäßig mit 32,3% vertreten.

*Schultz* (1959) sieht den Mundschluß im Zusammenhang mit den Primitivreaktionen, deren Leitmotiv in dem Streben nach Sicherung liege. Die Bedeutung eines spannungsnormalen Mundschlusses für die Persönlichkeitswertung kommt auch in der Bezeichnung „geschlossene Persönlichkeit" in eindrucksvoller Weise zum Ausdruck. Wenn in der Allgemeinorthopädie die Haltungsschwäche als ein psychisch-physisches Problem betrachtet wird, so hat das für die Regio oralis ganz besondere Geltung (*Dahmen* und *Hepp* zit. bei *Fränkel* 1967). Die Ausdrücke „den Mund hängen lassen" oder „ein langes Gesicht ziehen" geben in charakteristischer Weise wieder, welch enge Beziehungen zwischen dem Tonus der orofazialen Muskulatur und der Gefühlssphäre bestehen. In dieser Sicht erscheint es erlaubt, einer kieferorthopädischen Übungstherapie, die zur Wiederherstellung einer normalen Mundschlußfunktion führt, einen psychagogischen, ja in besonderen Fällen einen psychotherapeutischen Effekt zuzuschreiben. Die Ordnung, die wir in der Regio oralis erzielen, kann sich psychisch sehr positiv auswirken. Dies wird an den Verbesserungen des Gesichtsausdrucks nach erfolgter Behandlung in eindrucksvoller Weise deutlich (Abb. 151b).

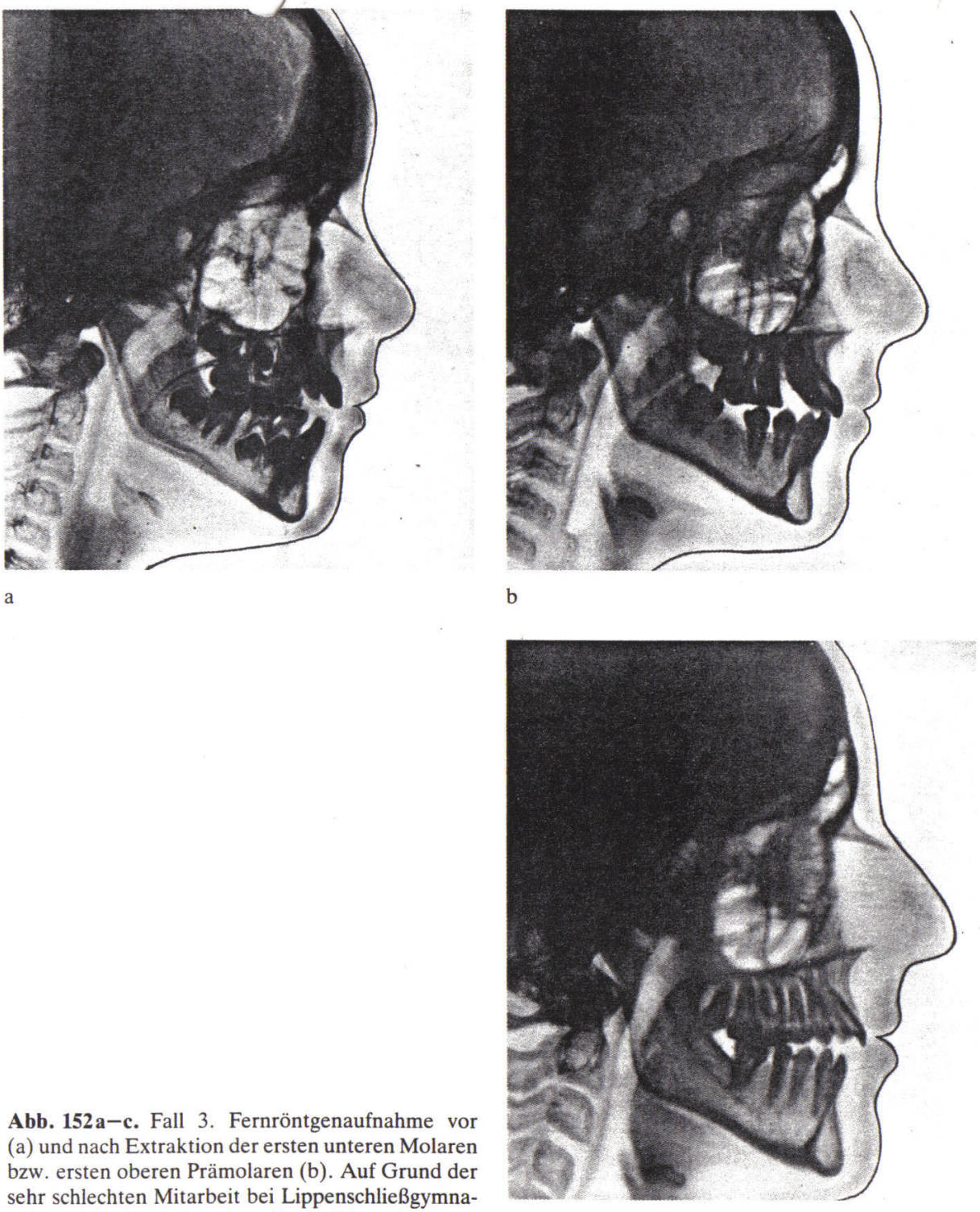
*Fall 3*

Die erste Fernröntgenaufnahme (Abb. 152a) und die Gesichtsfotografien (Abb. 153a) wurden angefertigt, als dieses Mädchen 8 Jahre, 5 Monate alt war. Die Lippen konnten nur mit Kraftanstrengung geschlossen werden, wobei sich palpatorisch eine deutliche Aktivität des M. mentalis feststellen ließ. Die Atmung erfolgte vorwiegend durch den Mund. Der Kniebeugetest ergab jedoch, daß das Atmen durch die Nase möglich war.

*Behandlungsverlauf*

Wegen starken Kariesbefalls mußten die unteren Sechsjahrmolaren entfernt werden. Um das stark protrudierte vordere Segment nach dorsal bewegen zu können, wurden im Oberkiefer die ersten Prämolaren extrahiert. Danach erfolgte die Behandlung mit dem FR-1. Die Mitarbeit der Patientin ließ zu wünschen übrig.

Die zweite Fernröntgenaufnahme (Abb. 152b) und die Gesichtsaufnahmen (Abb. 153b) wurden im Alter von 11 Jahren, 8 Monaten genommen. Sie lassen einen Teilerfolg erkennen. Man könnte annehmen, daß ein kompetenter Lippenschluß erreicht wurde. Dies ließe sich auch aus der Verbreiterung der Nares



a b c

**Abb. 152a–c.** Fall 3. Fernröntgenaufnahme vor (a) und nach Extraktion der ersten unteren Molaren bzw. ersten oberen Prämolaren (b). Auf Grund der sehr schlechten Mitarbeit bei Lippenschließgymnastik Rezidiv des skelettalen offenen Bisses (c)

schließen. Wenn sich das Kind jedoch unbeobachtet fühlte, war der Mund geöffnet. Auf Grund unserer klinischen Erfahrungen sind wir sehr skeptisch bei der Beurteilung der Kompetenz des Lippenschlusses. Unsere Patienten wissen genau, welchen Wert wir dem Lippenschluß beimessen. So haben die Kinder die Lippen immer geschlossen, wenn sie das Behandlungszimmer betreten. Es hat sich uns als nützlich erwiesen, das Kind unauffällig durch eine Schwester beobachten zu lassen, wenn es im Wartezimmer sitzt. Bei einer solchen Untersuchung zeigte sich, daß unsere Patientin einen kompetenten Lippenschluß noch nicht erreicht hatte.

a b

c d

**Abb. 153a–d.** Fall 3. Gesichtsaufnahmen vor (a) und nach 3jähriger Behandlung (b) und im Alter von 26 Jahren, 2 Monaten (c und d)

**Tabelle 38.** Sagittale und vertikale Positionsveränderungen einiger Bezugspunkte zu den Achsen des okzipitalen Referenzsystems bei Fall 3 (mm)

| | Sagittale Veränderungen | | | Vertikale Veränderungen | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Alter | 8 J. 5 M. | 26 J. 2 M. | Diff. | 8 J. 5 M. | 26 J. 2 M. | Diff. |
| N | 76,5 | 80,5 | 4 | 40 | 47 | 7 |
| S | 17,5 | 17,5 | 0 | 30 | 34 | 4 |
| PNS | 34,5 | 37,5 | 3 | − 4 | − 4,5 | 0,5 |
| A | 73,5 | 79 | 5,5 | − 7 | − 8 | 1 |
| B | 68,5 | 76 | 7,5 | −39 | −44,5 | 5,5 |
| Pg | 67 | 77 | 10 | −53 | −62 | 9 |
| Me | 60,5 | 71 | 10,5 | −56,5 | −66,5 | 10 |
| Go 2 | 20 | 23 | 3 | −32,5 | −43 | 10,5 |

**Tabelle 39.** Veränderung der Winkelwerte bei Fall 3

| Alter | 8 J. 5 M. | 26 J. 2 M. | Diff. |
|---|---|---|---|
| SNA | 77 | 77 | 0 |
| SNB | 74,5 | 76 | +1,5 |
| NS-MP | 40 | 37,5 | −2,5 |
| PP-MP | 36,5 | 34 | −2,5 |
| NS-PP | 3,5 | 3,5 | 0 |
| Go | 137,5 | 133 | −4,5 |

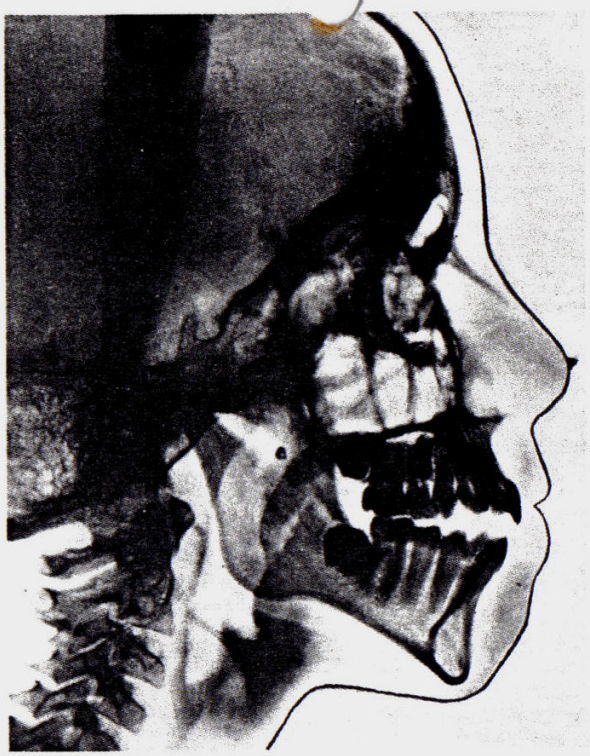
Auch das Fernröntgenbild hat für die Beurteilung des Lippenschlusses keine Aussagekraft. Wir sollten bedenken, daß die Röntgenaufnahme bei Kieferschluß genommen wird. Dadurch wird das Schließen der Lippen erleichtert. Dies kann zur Fehleinschätzung der Kompetenz des Mundraumabschlusses wie auch der Unterkieferruhelage führen.

Das dritte Fernröntgenbild (Abb. 152c) zeigt den Zustand im Alter von 26 Jahren, 2 Monaten. Das Verhältnis zwischen mittlerer und unterer Gesichtshöhe hat sich erheblich verschlechtert. Dies dürfte sich vor allem durch die Schwenkung des vorderen Nasenbodens in kranialer Richtung erklären. Der offene Biß rezidivierte, und es kam zu einer Verstärkung der skelettalen Hyperdivergenz (Tab. 38 u. 39). Die Gesichtsaufnahmen (Abb. 153c) könnten den Eindruck erwecken, als sei der Lippenschluß kompetent. In entspannter Haltung (Abb. 153d) wurde der Mund jedoch offen gehalten. Die klinische Untersuchung ergab, daß vorwiegend durch den Mund geatmet wurde. Interessant ist, daß beim Vergleich mit der Abb. 153b die Nares sich wieder verschmälert haben. Wie uns die Patientin berichtete, hatte sie nach dem Teilerfolg, wie er aus den Abb. 152b und 153b zu erkennen ist, das Training der Lippenschließmuskulatur abgebrochen. Ein kompetenter Abschluß des oralen Funktionsraums konnte daher nicht erreicht werden. So kam es nicht zu der gewünschten Zugspannung im Bereich der vorderen vertikalen Muskelkette und der skelettale offene Biß rezidivierte. Dieser Fall zeigt, daß die Extraktion von Molaren allein keinesfalls genügt, um die vertikalen Disproportionen im Viszeralskelett zu beheben.

Bemerkenswert ist, daß sich die Lücke, die durch die Extraktion der unteren ersten bleibenden Molaren entstanden ist, spontan geschlossen hatte. Dabei haben sich die Nachbarzähne zu einem fast normalen Achsenstand aufgerichtet. Dies führen wir auf die Bukkalschilde des Funktionsreglers zurück, der von der Patientin noch für längere Zeit nachts getragen worden war.

*Fall 4*

Das Mädchen wurde uns im Alter von 9 Jahren, 8 Monaten zur Behandlung überwiesen. Die erste Fernröntgenaufnahme (Abb. 154a) zeigt die charakteristischen Symptome des skelettalen offenen Bisses. Es bestand eine hochgradige bialveoläre



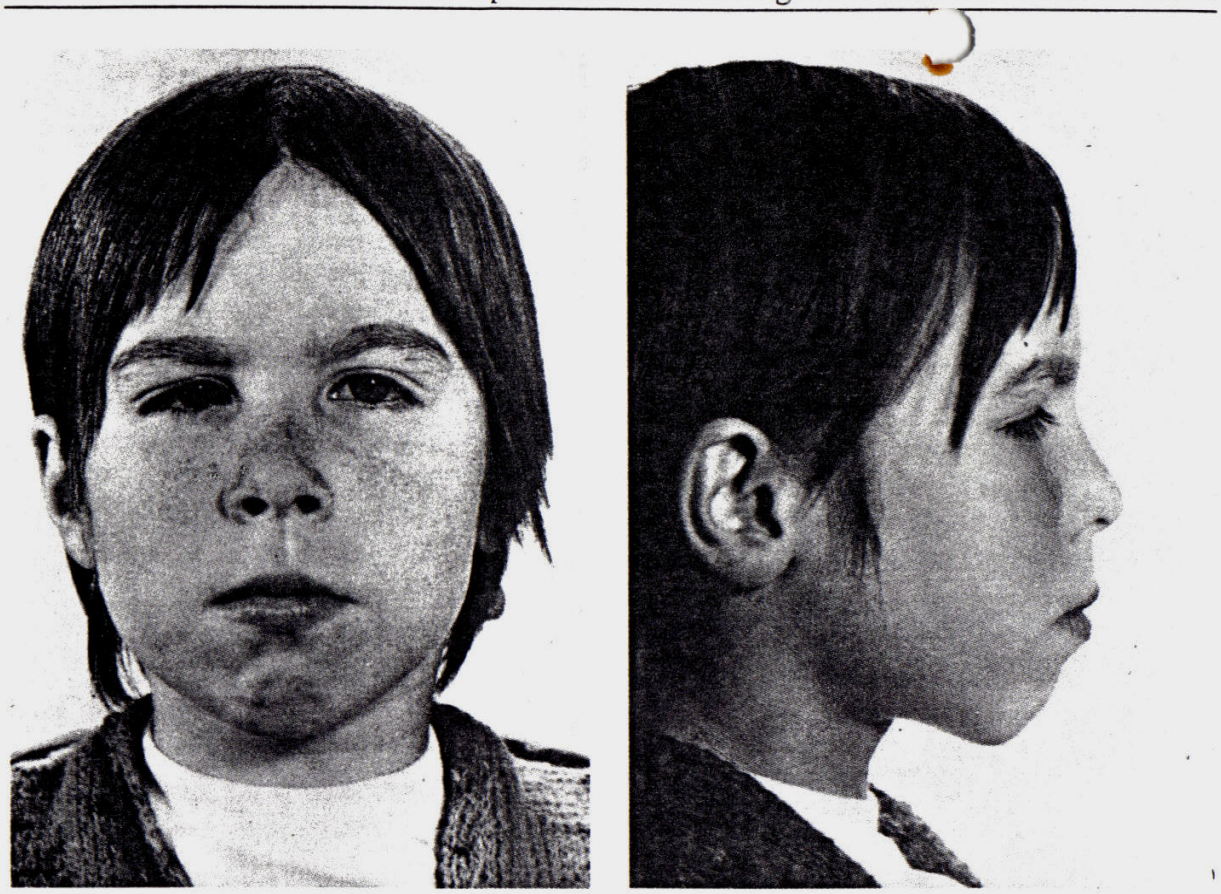
a

b

c

**Abb. 154a–c.** Fall 4. Fernröntgenaufnahmen vor (a), nach Extraktion aller ersten bleibenden Molaren und Lippenschließgymnastik (b) und im Alter von 19 Jahren 10 Monaten (c). Kein kieferorthopädisches Behandlungsgerät kam zur Anwendung

Protrusion. Ein Kontakt zwischen Oberlippe und Unterlippe konnte nur unter größter Kraftanstrengung herbeigeführt und nur für kurze Zeit aufrecht erhalten werden (Abb. 155a). Die Durchführung einer Lippenschließgymnastik erschien daher unmöglich. Erschwerend kam hinzu, daß die bleibenden Eckzähne und die Prämolaren bereits durchgebrochen waren. Die Möglichkeit einer frühzeitigen Behandlung in der Wechselgebißperiode war nicht mehr gegeben. Eine orthopädi-



a

b

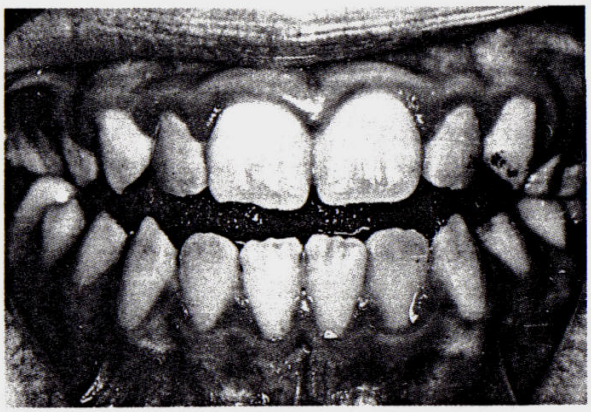
**Abb. 155a, b.** Fall 4. Gesichtsaufnahmen vor Lippenschließgymnastik und im Alter von 19 Jahren, 10 Monaten. Beachte die beträchtliche Verbesserung des Gesichtsausdrucks

sche Behandlung dieser schweren Dysgnathie erschien aussichtslos. Wir empfahlen daher den Eltern, uns das Kind im Alter von 16 bis 17 Jahren zur Einleitung einer orthopädisch-chirurgischen Behandlung wieder vorzustellen.

Wie uns die Eltern mitteilten, litt das Kind unter der erheblichen Entstellung des Gesichts. Schon in früher Kindheit war es den Hänseleien und dem Spott ihrer Spielkameraden ausgesetzt gewesen. Dies hatte zur Vereinsamung und zu Minderwertigkeitsgefühlen geführt, die die Erziehung des Kindes sehr schwierig gestaltete. Unlust, ängstliches Verhalten wechselten mit Reizbarkeit und Launenhaftigkeit. Häufig kam es zu Trotzreaktionen und jähzornigen Entladungen. Diese Anzeichen der Verhaltensstörung hatten sich mit Schuleintritt noch wesentlich verstärkt. Die Eltern teilten uns mit, daß sich das Kind von einer kieferorthopädischen Behandlung eine Verbesserung ihrer Gesichtsentstellung erhoffte. Sie fragten, ob nicht doch irgend eine Möglichkeit bestünde, dem Kind zu helfen. Nach dieser Aussprache mit den Eltern war uns klar, daß die Verhaltensstörung dieses Mädchens in einem engen ursächlichen Zusammenhang mit der durch die schwere Dysgnathie verursachten physiognomischen Entstellung zu sehen war. Aus diesem Grund hielten wir ein Aufschieben der Behandlung für unverantwortlich, da Dauerschäden, schwere Störungen der psychischen Entwicklung zu befürchten waren.

In Abwesenheit der Eltern haben wir dem Kind zunächst Fotografien von Patienten gezeigt, die wir mit orthopädischer Gymnastik behandelt hatten. Es kam uns darauf an, dem Kind klar zu machen, daß der Gesichtsausdruck mit Hilfe einer Lippenschließgymnastik erheblich verbessert werden kann. Ein solcher Erfolg sei allerdings nicht in kurzer Zeit zu erreichen und erfordere eine intensive Mitarbeit. Das Kind zeigte sich interessiert und war bereit, das Schließen der Lippen zu üben. Nach der dritten Sitzung, etwa nach 2 Monaten, konnten wir feststellen, daß die Lippenschließübungen tatsächlich durchgeführt worden waren, und die Lippen für längere Zeit geschlossen gehalten werden konnten. Nachdem dieser Kooperationstest positiv ausgefallen war, wurden nach Rücksprache mit den Eltern die ersten bleibenden Molaren extrahiert. In Anbetracht der extremen bialveolären Protrusion war eine Extraktionstherapie auf jeden Fall angezeigt. Da beim Schlußbiß aber nur die Sechsjahrmolaren in Kontakt kamen, wurden diese Zähne extrahiert, um so das Training des Lippenschlusses zu erleichtern.

Der Spiegel hat sich uns als ein ausgezeichnetes Hilfsmittel erwiesen, um das Kind für eine intensive Mitarbeit zu motivieren. So wurden bei jeder Sitzung die physiognomischen Verbesserungen, die im Ver-



a

b

**Abb. 156a, b** Fall 4. Intraorale Aufnahmen im Alter von 9 Jahren, 8 Monaten und 19 Jahren, 10 Monaten

**Tabelle 40.** Sagittale und vertikale Positionsveränderungen einiger Bezugspunkte zu den Achsen des okzipitalen Referenzsystems bei Fall 4 (mm)

| | Sagittale Veränderungen | | | Vertikale Veränderungen | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Alter | 9 J. 8 M. | 19 J. 10 M. | Diff. | 9 J. 8 M. | 19 J. 10 M. | Diff. |
| N | 74 | 76 | 2 | 59,5 | 65 | 5,5 |
| S | 13 | 10 | − 3 | 38 | 40,5 | 2,5 |
| PNS | 42 | 45 | 3 | 7,5 | 6,5 | 1 |
| A | 82 | 87 | 5 | 9,5 | 9 | 0,5 |
| B | 79 | 87,5 | 8,5 | −29 | −28,5 | −0,5 |
| Pg | 77 | 89 | 12 | −45 | −44,5 | −0,5 |
| Me | 71 | 84 | 13 | −49 | −49,5 | +0,5 |
| Go 2 | 24 | 27 | 3 | −27 | −31 | +4 |

**Tabelle 41.** Veränderung der Winkelwerte bei Fall 4

| Alter | 9 J. 8 M. | 19 J. 10 M. | Diff. |
|---|---|---|---|
| SNA | 80 | 81 | +1 |
| SNB | 73 | 77 | +4 |
| NS-MP | 45 | 37,5 | −7,5 |
| PP-MP | 37 | 29 | −8 |
| NS-PP | 8 | 8,5 | +0,5 |
| Go | 130,5 | 121,5 | −9 |

gleich zu den anfangs gemachten Gesichtsaufnahmen eingetreten waren, dem Mädchen vor Augen geführt. Die zweite Fernröntgenaufnahme (Abb. 154b), die ungefähr nach 1 Jahr, 5 Monaten Übungstherapie angefertigt wurde, zeigt eine erhebliche Verbesserung des Gesichtsprofils. Offensichtlich können die Lippen wesentlich leichter in Kontakt gebracht werden, wobei sich die anfänglich exzessive Aktivität des M. mentalis deutlich verringert hat. Das letzte Fernröntgenbild (Abb. 154c) und die Gesichtsfotografien (Abb. 155b), die im Alter von 19 Jahren, 10 Monaten angefertigt wurden, zeigen, daß ein kompetenter Abschluß des oralen Funktionsraums erreicht werden konnte. Die Lippen können zwanglos ohne jede kompensatorische Leistung des M. mentalis geschlossen gehalten werden. Bemerkenswert sind die skelettalen Veränderungen im Viszeralskelett, die ohne jedes Gerät, allein durch die Lippenschließgymnastik erreicht werden konnten. Die mandibuläre Formentwicklung wurde im Sinne der Vorwärtsrotation beeinflußt. Die sagittalen und vertikalen Disproportionen des Viszeralskeletts konnten behoben werden. Es kam zu einer Senkung des vorderen Nasenbodens. Die Tabelle 40 gibt Auskunft, in welchem Ausmaß und in welcher Richtung die skelettale Entwicklung beeinflußt wurde. Das Nasion veränderte seine Position um 2 mm nach vorn und um 5,5 mm kranialwärts. Interessant ist, daß sich der Sellapunkt um 3 mm nach dorsal und um 2,5 mm nach oben bewegte. Dies ist ein Beispiel dafür, daß die N-S als kephalometrische Bezugsbasis unzuverlässig ist. Die Vorwärtsbewegung des Pogonions und Mentons um 12 mm bzw. 13 mm zeigt das Ausmaß der Unterkiefernachentwicklung in der Sagittalen. Besonders hervorzuheben ist, daß in der Beobachtungszeit von reichlich 10 Jahren keine Senkung des Mentons stattfand. Da es gleichzeitig zu einer Schwenkung des vorderen Nasenbodens nach kaudal kam, erfolgte eine Verkleinerung der unteren Gesichtshöhe. Wir glauben, daß dies auf der Zugspannung im Bereich der vorderen vertikalen Muskelkette beruht, wie sie durch die Lippenschließgymnastik entsteht. Auch die Korrektur der bialveolären Protrusion führen wir auf diese Zugspannung zurück, die sich auf die Frontzähne in einer dorsal gerichteten Druckapplikation auswirkt. Die Tabelle 41 läßt erkennen, daß sich die Korrektur der skelettalen Hyperdivergenz vor allem

durch die morphologischen Veränderungen im Unterkieferbereich erklärt. So verkleinerte sich der Winkel zwischen Palatinalebene und Mandibularebene um 8°, der Gonionwinkel um 9°. Die Knikkung des Corpus mandibulae in der Incisura prämasseterica (Abb. 154a) ist im letzten Fernröntgenbild (Abb. 154c) nicht mehr zu erkennen. Ganz offensichtlich ist die mandibuläre Entwicklung im Sinne der Vorwärtsrotation beeinflußt worden. Eindrucksvoll ist die spontan erfolgte Korrektur der Gebißfehlbildung (Abb. 156a und b). Allein durch Lippenschließgymnastik kam es zum Schluß des offenen Bisses. Der Zahnbogen hat sich geweitet, und normale okklusale Beziehungen zwischen Ober- und Unterkiefer haben sich eingestellt.

Die Tatsache, daß die Veränderungen im Kiefer- und Gebißbereich spontan erfolgten, stützt unsere Arbeitshypothese, daß mit der Behebung der Haltungsschwäche im Lippenbereich auch die Funktionsmuster der Aufhängemuskulatur günstig beeinflußt werden können. Das heißt, mit dem Erreichen eines kompetenten Mundraumabschlusses kam es auch zur Korrektur der posturalen Dysbalance zwischen Vorwärts- und Rückwärtsrotatoren. Beim Vergleich der Gesichtsfotos vor und nach der Behandlung wird deutlich, daß nicht nur die abwegigen tonischen Funktionsmuster im Lippen-Kinn-Bereich, sondern auch die der gesamten Gesichtsmuskulatur behoben werden konnten. Wir glauben, daß ein zwangloser, kompetenter Lippenschluß, wie er bei dieser Patientin erreicht wurde (Abb. 155b), als ein zuverlässiger Indikator für ein erfolgreiches Umtrainieren der gesamten orofazialen Muskulatur zu werten ist. Die erheblichen physiognomischen Verbesserungen zeigen, daß mit der zunehmenden Beherrschung des Mundschlusses ein bemerkenswerter Wandel in der Persönlichkeitsentwicklung stattgefunden hat. Die Korrektur der Haltungsfehler, die wir im gesamten Gesichtsbereich erzielen konnten, hat sich positiv im psychischen Bereich niedergeschlagen und zur Erhöhung des Selbstwertgefühls geführt. Wie uns die Eltern mitteilten, hatten sich der soziale Umgang mit den Mitschülern wie aber auch die Schulleistungen des Kindes zunehmend gebessert. Die tiefgreifenden Veränderungen des Gesichtsausdrucks, die wir mit Hilfe der Lippenschließgymnastik erreicht haben, zeigen, daß wir uns im Sinne einer psychosomatischen Ganzheitstherapie engagieren konnten. Hierbei sollte nicht außer acht gelassen werden, daß wir mit der Wiederherstellung der physiologischen Atmung durch die Nase einen weiteren Beitrag für eine gesunde Gesamtentwicklung des Kindes geleistet haben.

Beim Vergleich zwischen der ersten und letzten Fernröntgenaufnahme (Abb. 154a und c) wird deutlich, daß die skelettale Hyperdivergenz im wesentlichen durch die Verkleinerung der vorderen unteren Gesichtshöhe behoben wurde. Eine stärkere Verlängerung des Ramus mandibulae wurde nicht erreicht. Dies führen wir darauf zurück, daß diese Patientin oh-

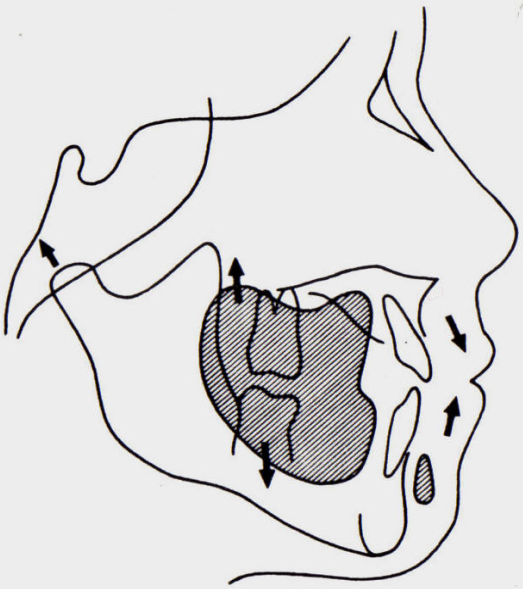


**Abb. 157.** Grafische Darstellung der Wirkungsweise des Funktionsreglers bei mandibulärer Rückwärtsrotation. Bei Lippenschluß wird das hintere obere Ende des Bukkalschilds zum Rotationszentrum, wodurch eine Dislokation des Kondylus in kaudaler Richtung erfolgt

ne die Verwendung des Funktionsreglers behandelt wurde.

Um die Wirkungsweise des Funktionsreglers bei der Behebung der skelettalen Hyperdivergenz zu verstehen, sollte bedacht werden, daß sich die oberen posterioren Enden der Bukkalschilde tief in die obere Vestibularfalte einlagern. In der Abb. 157 soll graphisch dargestellt werden, daß von dem Druck dieser Schildenden eine Signalwirkung ausgeht. Das heißt, die zentralen Regelmechanismen werden angesprochen, die Drucksensation in der Umschlagfalte durch Senkung des Ramus mandibulae zu beheben. Auf diese Weise kommt es zu einer Dislokation des Kondylus in kaudaler Richtung, wodurch das kondyläre Wachstum stimuliert und seine Richtung in die Vertikale umgelenkt wird. Dieser Behandlungseffekt kann aber nur erwartet werden, wenn durch orthopädisches Training gleichzeitig eine Tonussteigerung der Lippenschließmuskulatur erreicht wird. Lippenschließgymnastik ist Voraussetzung dafür, daß die mandibuläre Entwicklung im Sinne der Vorwärtsrotation beeinflußt werden kann, bzw. daß sich die Enden der Bukkalschilde als „Rotationszentrum" in der Umschlagfalte auswirken können. Diese Hypothese wird durch die signifikante Verlängerung des Ramus, die wir bei richtiger Konstruktion der Bukkalschilde des Funktionsreglers regelmäßig beobachten, gestützt.

## 15.3 Kephalometrische Längsschnittuntersuchungen

*Fränkel, Ch.* (1980), *Fränkel, R.* und *Fränkel, Ch.* (1982, 1983)

*Untersuchungsgut*

Wichtigste Kriterien für die Auswahl des Probandenguts waren: 1. Vorhandensein der charakteristischen Disproportionen des skelettalen offenen Bisses; 2. gestörtes Verhältnis zwischen Lippenlänge und unterer Gesichtshöhe; 3. Haltungsschwäche der Lippenschließmuskulatur; 4. Kompetenter Mundraumabschluß bei den mit Funktionsregler behandelten Fällen am Ende der Beobachtung.

Das erste Fernröntgenbild wurde bei den 11 unbehandelten Probanden (Vergleichsgruppe) im Alter von durchschnittlich 8 Jahren, die letzte Fernröntgenaufnahme im Alter von etwa 16 Jahren, 8 Monaten, bei den 30 mit Funktionsregler behandelten Patienten (FR-Gruppe) im durchschnittlichen Alter von 7 Jahren, 2 Monaten, bzw. von 15 Jahren, 1 Monat genommen. So wurde die skelettale Entwicklung in beiden Gruppen von der ersten Wechselgebißphase bis in die postpuberale Entwicklung, d. h. über einen Zeitraum von etwa 8 Jahren, kontrolliert. Die seitlichen Fernröntgenbilder wurden in einem Focus-Film-Abstand von 3,75 m angefertigt. Die Analyse der Fernröntgenaufnahmen erfolgte nach den Verfahren von *Jarabak, Nahoum* und *Fränkel*.

*Kasuistische Beispiele*

Die Abb. 158 und 159 a und b zeigen, daß sich bei dem unbehandelten Fall A die vertikalen Disproportionen in der Beob-

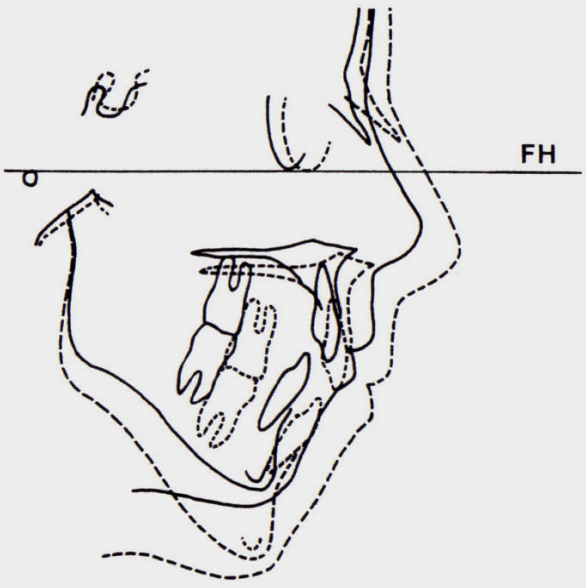
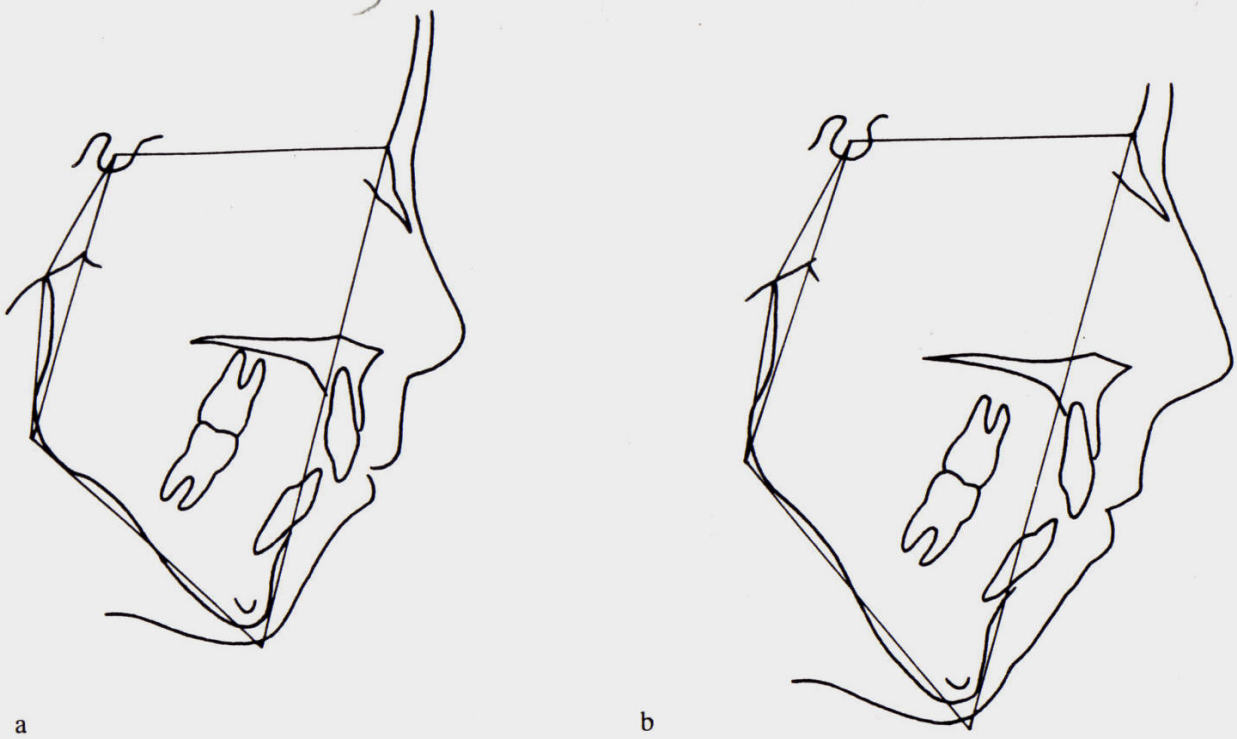



**Abb. 158.** Fall A. Fernröntgendurchzeichnungen des unbehandelten Falls, überdeckt in der Frankfurter Horizontalen, zeigen die Verschlechterung der skelettalen Disproportionen



a b

**Abb. 159a, b.** Fall A. Fernröntgendurchzeichnungen vor und am Ende der Beobachtungszeit zeigen die Verstärkung der skelettalen Hyperdivergenz

achtungszeit verschlechterten. Die sagittale Entwicklung des Viszeralskeletts war stark gehemmt, besonders in seinem unteren Anteil. Im Gegensatz dazu konnte bei dem mit dem Funktionsregler behandelten Fall B (Abb. 160, 161a und b) das anfänglich bestehende vertikale Entwicklungsmuster im Sinne der Norm beeinflußt werden. Das zu Beginn der Behandlung bestehende abwegige Rotationsmuster des Unterkiefers wurde behoben, was vor allem durch die Verlängerung des Ramus zum Ausdruck kommt. Bemerkenswert ist die Normalisierung der Relation zwischen vorderer und hinterer Gesichtshöhe, was durch die Veränderung des Quotienten nach *Jarabak* von 56% zu 63,5% angezeigt wird. Dieses Behandlungsergebnis erklärt sich vor allem durch die signifikante Verlängerung der hinteren Gesichtshöhe. Wenn wir die Durchzeichnungen dieser beiden Fällen vergleichen, so fällt auf, daß in dem unbehandelten Fall A die Achsenrichtung der unteren ersten Molaren während der 8jährigen Beobachtung unverändert blieb. Im behandelten Fall B kam es zu einer signifikanten Aufrichtung dieser Zähne. Nach *Björk* und *Skieller* (1972) ist dies ein charakteristisches Symptom für eine erfolgte Rotation des Unterkiefers in toto. Die Veränderung des Rotationsmusters bei

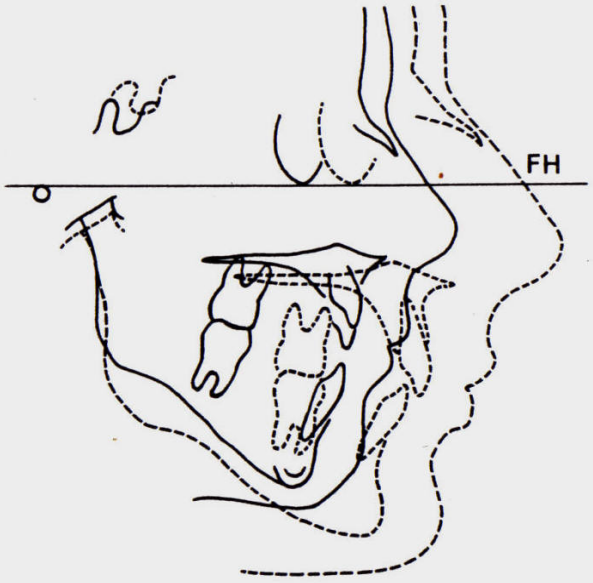
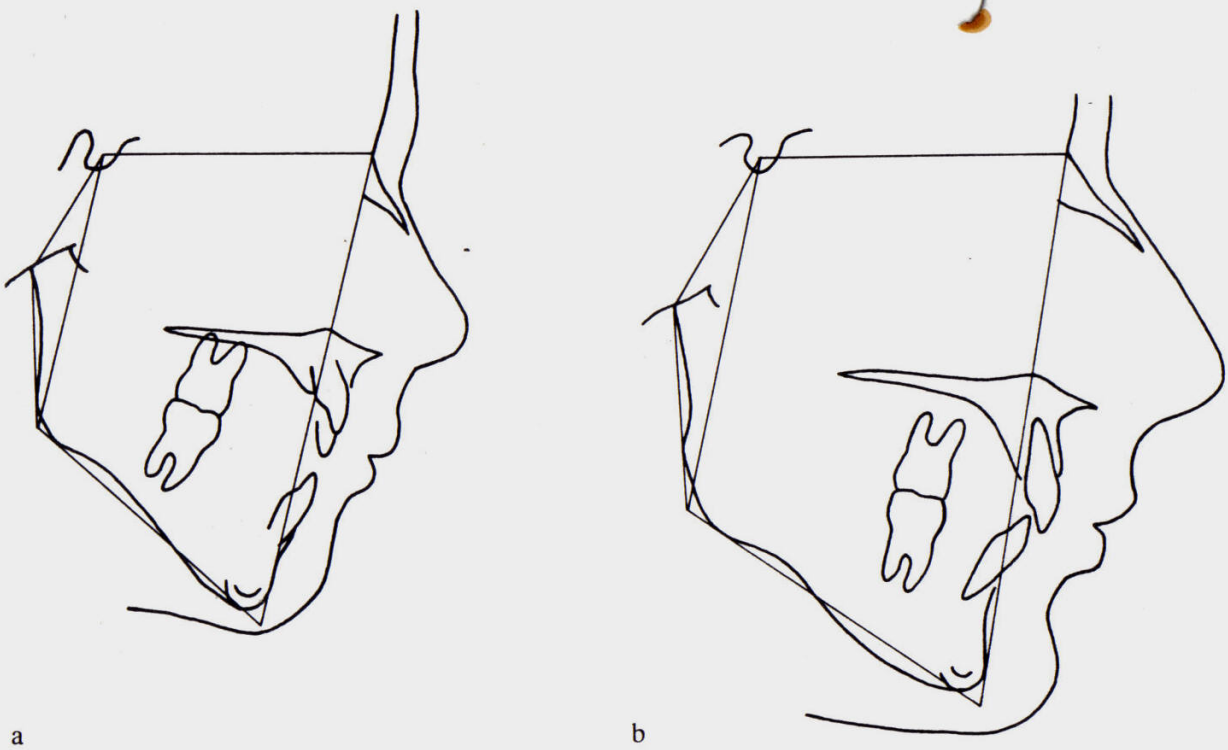
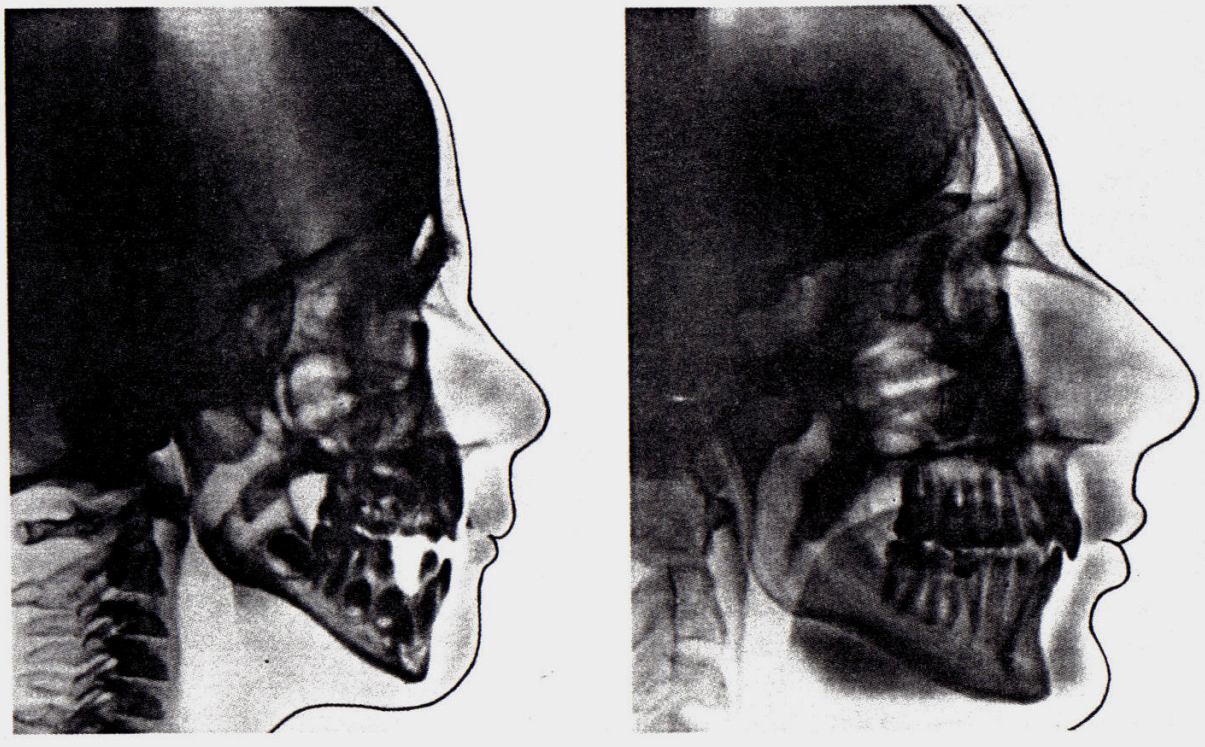



**Abb. 160.** Fall B. Durchzeichnungen der Fernröntgenaufnahmen des behandelten Falls, überdeckt in der Frankfurter Horizontalen. Während der Behandlung veränderte sich das skelettale Entwicklungsmuster von einem vertikalen zu einem horizontalen Typ



a b

**Abb. 161a, b.** Fall B. Durchzeichnungen der ersten Fernröntgenaufnahme (a) und nach Behandlung bzw. am Ende der Beobachtung (b)



a b

**Abb. 162a, b.** Fall B. Fernröntgenaufnahmen vor (a) und nach Lippenschließgymnastik mit dem Funktionsregler (b). Das skelettale Entwicklungsmuster entwickelte sich im Sinne normaler Proportionen. Beachte die Veränderungen im Lippenbereich

dem Fall B geht auch aus der Verkleinerung des Winkels zwischen Palatinalebene und Mandibularebene um 9,5° und des Gonionwinkels um 4,5° hervor (Tabelle 42). Im unbehandelten Fall A nahmen diese Winkel zu. Auffallend ist auch die Pneumatisation des Sinus maxillaris und Sinus frontalis, die während der Behandlung mit dem Funktionsregler im Fall B stattfand (Abb. 162b). Die gleichmäßige Verstärkung der Weichteildecke im Frontbereich läßt den Effekt des vestibulären Trainingsgeräts erkennen.

Die Tabellen 43 und 44 geben die Veränderungen einiger Parameter wieder, wie sie für die biostatistische Bewertung der Untersuchungsergebnisse verwendet wurden. Diese Daten zeigen, daß sich das skelettale Entwicklungsmuster der Hyperdivergenz bei den mit dem Funktionsregler behandelten Fällen im Sinne normaler Durchschnittswerte verändert hat. Im Gegensatz dazu verstärkten sich bei der unbehandelten Vergleichsgruppe die skelettalen Disproportionen. Die hochsignifikanten Unterschiede zwischen beiden Gruppen kommen auch in den Abb. 163 und 164 zum Ausdruck. Bei Verwendung der vertikalen Achse des okzipitalen Koordinatensystems wird deutlich, daß sich die Lippenschließgymnastik auf die Inklination der Palatinalebene im Sinne einer Senkung ausgewirkt hat. Das heißt, in der FR-Gruppe kam es nicht nur zu einer mandibulären Vorwärtsrotation. Die Untersuchungen von *Lundström* und *Woodside* (1980, 1981 und 1983) haben gezeigt, daß es bei Fällen mit skelettaler Hyperdivergenz zwischen dem neunten Lebensjahr und dem Abschluß des Wachstums zu einer leichten Rückwärtsrotation des Unterkiefers kommt. Die kephalometrischen Studien von *Cangialosi* (1984) lassen die Annahme zu, daß beim

**Tabelle 42.** Veränderungen der Winkelwerte bei Fall A und B

| Parameter | Fall A | Fall B |
|---|---|---|
| SN-MP | +7 | −7,5 |
| SN-PP | −0,5 | +2 |
| PP-MP | +7,5 | −9,5 |
| Go | +1,5 | −4,5 |

**Tabelle 43.** Durchschnittliche Veränderungen einiger von *Nahoum* (1972) angegebenen Winkelwerte in der FR-Gruppe (n = 30) und der Vergleichsgruppe (n = 11) und der biostatistische Vergleich der Unterschiede mit dem t-Test

| Parameter | FR-Gruppe | Vergleichsgruppe | Diff. | Sig. |
|---|---|---|---|---|
| SN-PP | +2,3 | −0,4 | 2,7 | xxx |
| SN-MP | −5,7 | +2,5 | 8,2 | xxx |
| PP-MP | −8 | +2,9 | 10,9 | xxx |
| Go | −6,4 | +0,4 | 6,8 | xxx |

xxx = $p < 0{,}001$

**Tabelle 44.** Durchschnittliche Veränderungen des Verhältnisses zwischen der vorderen oberen (UFH) zur unteren Gesichtshöhe (LFH) nach *Nahoum* und des Quotienten nach *Jarabak* in der FR-Gruppe (n = 30) und der Vergleichsgruppe (n = 11) und der biostatistische Vergleich der Unterschiede mit dem t-Test

| Relationen | FR-Gruppe | Vergleichsgruppe | Diff. | Sig. |
|---|---|---|---|---|
| UFH / LFH (Nahoum) | +0,053 | −0,018 | 0,071 | xxx |
| $\frac{PFH \cdot 100}{AFH}$ (Jarabak Quotient) | +5,4 | −0,3 | 5,7 | xxx |

xxx = $p < 0{,}001$

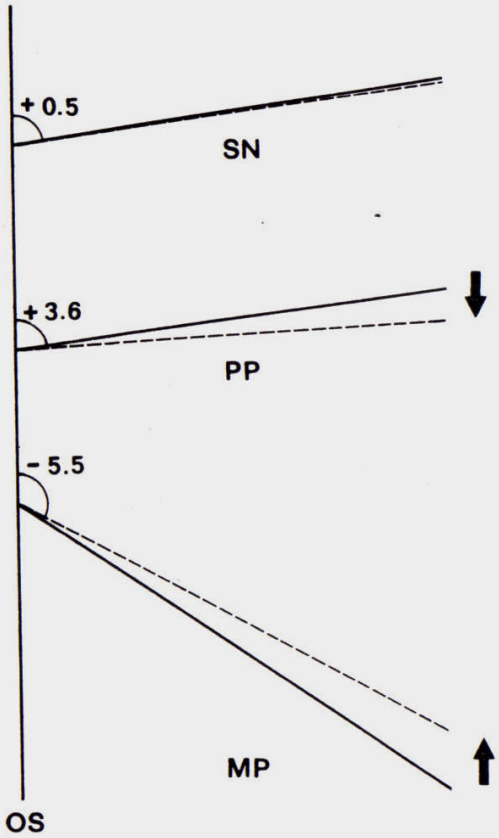



**Abb. 163.** Winkelmäßige Veränderungen der Sella-Nasionebene (SN), der Palatinalebene (PP) und der Mandibularebene (MP) in Relation zur Vertikalachse des okzipitalen Referenzsystems in der mit dem Funktionsregler behandelten Gruppe. Anfängliche Messungen = durchgezogene Linien; abschließende Messungen = unterbrochene Linien

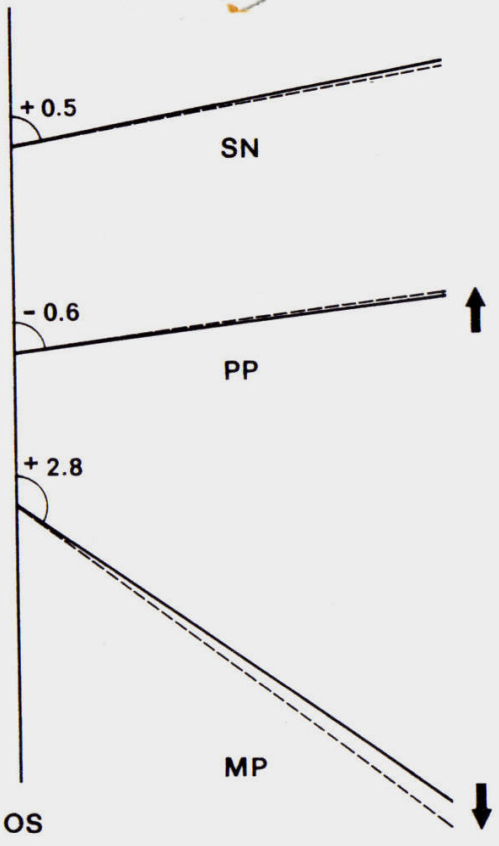



**Abb. 164.** Winkelmäßige Veränderungen der Sella-Nasionebene (SN), der Palatinalebene (PP) und der Mandibularebene (MP) in Relation zur Ordinate des okzipitalen Referenzsystems in der unbehandelten Kontrollgruppe

hyperdivergierenden Wachstumsmuster die vertikalen und sagittalen Proportionen im Viszeralbereich von der Periode des Wechselgebisses an relativ konstant blieben. Aus diesen Untersuchungen läßt sich schlußfolgern, daß die Behebung der skelettalen Hyperdivergenz, die wir mit dem Funktionsregler erreichen konnten, als Ergebnis der Behandlung zu werten ist.

## 15.4 Abschließende Bemerkungen

Im englischen Sprachgebiet wird zur morphologischen Charakterisierung des skelettalen offenen Bisses häufig die Bezeichnung „Long face syndrom" gebraucht. Man sollte jedoch bedenken, daß bei Dolichozephalie ein langes und schmales Gesicht der ethnischen Norm entspricht. Mit dem Ausdruck „Long face syndrom" können daher die charakteristischen Merkmale der skelettalen Fehlbildung dieser Dysgnathie nicht erfaßt werden. Diese manifestieren sich vielmehr in den vertikalen Disproportionen des Viszeralskeletts, insbesondere durch das Mißverhältnis zwischen vorderer Gesichtshöhe (VGH) und hinterer Gesichtshöhe (HGH). Diese vertikale Diskrepanz finden wir keinesfalls nur beim Langschädel. Nach *Korkhaus* (1939), *Sassouni* (1969), *Sergl* (1973), *Björk* (1969), *Hellmann* (1931), *Nahoum, Horowitz* und *Benedicto* (1972) und *Schendel* und Mitarbeitern (1976) ist die abnorme Relation VGH-HGH vor allem durch die Verkürzung des Ramus mandibulae bedingt. Die

wichtigste Aufgabe, die es bei der Behebung der skelettalen Hyperdivergenz zu lösen gilt, liegt daher in einer orthopädischen Verlängerung des Ramus mandibulae. Nach *Nemeth* und *Isaacson* (1974) ist diese Aufgabe mit Hilfe der konventionellen festsitzenden bzw. herausnehmbaren Geräte nicht zu lösen. Zur Zeit bestünde daher nur die Möglichkeit, die Vertikalentwicklung im posterioren dentoalveolären Bereich zu hemmen, um sie auf diese Weise der Längenentwicklung des Ramus anzupassen. Um die Eruption bzw. Extrusion der oberen Molaren zu hemmen, werden beispielsweise Aufbißblöcke im Seitenzahngebiet in Verbindung mit festsitzenden bzw. herausnehmbaren Geräten, häufig kombiniert mit extraoraler Technik, verwendet. Neuerdings kommt zu diesem Zweck auch die magnetische Kraftwirkung zum Einsatz. Alle diese Geräte führen mehr oder weniger zu einer Öffnung des Bisses bzw. zur Verlängerung der vorderen unteren Gesichtshöhe. Hierdurch wird Lippenschließgymnastik erschwert oder gar unmöglich gemacht, und damit der Erfolg einer funktionellen Therapie in Frage gestellt.

Wir sollten bedenken, daß eine Intrusion der Molaren zu einer Verkürzung der hinteren Gesichtshöhe führt. Das heißt, eine solche Maßnahme würde zur Verstärkung der skelettalen Hyperdivergenz beitragen. Unsere Längsschnittuntersuchungen haben gezeigt, daß mit Hilfe des Funktionsreglers die skelettale Hyperdivergenz durch die Verlängerung des Ramus mandibulae behoben werden kann. Damit können wir uns im Sinne einer Kausaltherapie engagieren, d. h., die orthopädische Korrektur der vertikalen Disproportion erfolgt an der Stelle des Viszeralskeletts, wo sie sich manifestiert. Gleichzeitig wird durch Lippenschließgymnastik eine Tonussteigerung der Mundschließmuskulatur erreicht, womit einer Verlängerung der vorderen unteren Gesichtshöhe (VUGH) entgegengewirkt wird. Durch die Behebung der Disproportion zwischen Ramuslänge und der VUGH wird das mandibuläre Entwicklungsmuster im Sinne der Vorwärtsrotation beeinflußt, was wir anhand der Fallbeispiele und der Ergebnisse der Langzeitbeobachtungen demonstriert haben.

Mit dem Erreichen eines kompetenten Lippenschlusses wird zugleich die Fehlatmung durch den Mund, die wir in der Regel beim skelettalen offenen Biß vorfinden, behoben. Auf diese Weise haben wir sowohl in dem oralen wie aber auch nasopharyngealen Funktionsraum normale physiologische Bedingungen wiederhergestellt. Hierauf führen wir die Nachentwicklung des Mittelgesichts zurück, wie sie in der Pneumatisation des Sinus maxillaris und frontalis bzw. der Senkung des vorderen Nasenbodens zum Ausdruck kommt. Damit wird zur Normalisierung des Verhältnisses zwischen der vorderen oberen und unteren Gesichtshöhe beigetragen. In diesem Zusammenhang sei nochmals auf die Untersuchungen von *Link* und *Handl* (1954), *Greven* (1955) und *Ojala* (1957) hingewiesen, die der respiratorischen Funktion für die Pneumatisation große Bedeutung beimessen.

Die pessimistische Ansicht, daß die Disproportionen beim skelettalen offenen Biß einer orthopädischen Behandlung unzugänglich sind, wird durch unsere fernröntgenologischen Untersuchungen widerlegt. Allerdings gilt wie bei allen schweren skelettalen Fehlentwicklungen auch hier, daß eine frühzeitig eingeleitete Behandlung die günstigsten Erfolgsaussichten bietet. In der späten Adoleszenz ist in den meisten Fällen eine erfolgversprechende Behandlung des skelettalen offenen Bisses nur mit mechanisch orthopädischen bzw. orthopädisch-chirurgischen Maßnahmen möglich. Dabei sollte nicht übersehen werden, daß die „Spätbehandlung" dieser Dysgnathie mit einer hohen Rezidivquote belastet ist. Hierüber haben viele Autoren berichtet, so in jüngster Zeit *Denison, Kokich* und *Shapiro* (1989). Sie fanden, daß bei 42,9% der

Patienten, bei denen eine Osteotomie nach LeFort 1 vorgenommen worden war, der offene Biß rezidivierte. Wie *Poulton* (1977) sind auch diese Autoren der Ansicht, daß abwegige Funktionsmuster der orofazialen Muskulatur hierbei eine wichtige ursächliche Rolle spielen. In der Allgemeinorthopädie sind nach jedem mechanischen bzw. chirurgischen Richten skelettaler Deformitäten Physiotherapie und orthopädische Gymnastik integrierende Maßnahmen der Behandlung. Wir sollten diesem Beispiel folgen und nach mechanischer bzw. chirurgischer Korrektur des skelettalen offenen Bisses zur Sicherung des Erfolgs orthopädische Gymnastik durchführen. Hierfür erscheint uns Lippenschließgymnastik mit dem Funktionsregler gute Erfolgsaussichten zu bieten.

# Nachwort

Unser Fachgebiet ist ein noch sehr junger Sproß am Baume der Heilkunde. Seine Gründung geht auf den Amerikaner *Edward Angle* zurück, dem wir die erste sinnvolle Klassifikation der Gebißanomalien verdanken. Besondere Verdienste hat er sich um die Konstruktion von Apparaturen erworben, mit denen Fehlstände von Zähnen bzw. Zahngruppen durch mechanisches Richten korrigiert werden können. Mit einem solchen Gerät habe ich als Student der Universität Leipzig im Jahr 1928 meinen ersten Patienten behandelt. 1930 nahm ich an Kursen von *Korkhaus* teil, in denen wir mit der von *Mershon* und anderen Autoren entwickelten Technik vertraut gemacht wurden. Seit dieser Zeit habe ich meine Patienten bis Anfang der 40er Jahre nur mit festsitzenden orthodontischen Geräten behandelt. Bedenkt man, daß *Angle* als Begründer der Orthodontie gilt, so darf ich für mich in Anspruch nehmen, die Entwicklung unseres Fachgebiets von Anfang an miterlebt zu haben.

Mit der Einführung des *Andresen*schen Monoblocs vollzog sich in unserem Fachgebiet ein tiefgreifender Wandel. Im deutschsprachigen Teil Europas sah man mit der Anwendung dieses Geräts die Realisierung einer funktionellen Kieferorthopädie gegeben. Die Orthodontie mit festsitzenden Apparaturen wurde als simple mechanische Arbeitsweise abgewertet, von der man sich durch Umbenennung unseres Fachs zur *Kieferorthopädie* distanzierte. Es erregte Verwunderung, ja Befremden, als in dieser Zeit *Hotz* sein Lehrbuch unter dem Titel „Orthodontie in der täglichen Praxis" herausgab. In der Einleitung schreibt er: „Es mag manchem Leser wenig fortschrittlich, vielleicht sogar als Rückschritt erscheinen, wenn im Titel dieses Buches die alte Bezeichnung „Orthodontie" anstelle der im deutschen Sprachgebiet heute üblichen „Kieferorthopädie" gebraucht wird." Weiter schreibt er: „Ob und wie weit die Kiefer, d. h. Ober- und Unterkieferbasis, in den drei Dimensionen des Raums in Form und Lage beeinflußt und verändert werden können, ist vorläufig und wahrscheinlich noch für längere Zeit eine umstrittene Frage." Inzwischen haben die Ergebnisse kephalometrischer Längsschnittuntersuchungen gezeigt, daß der Aktivator und seine Modifikationen die Entwicklung der Kieferbasen nur äußerst geringgradig zu beeinflussen vermögen. Dies deckt sich mit den Ergebnissen unserer eigenen Longitudinalstudien. Danach bleibt die Wirkung dieser Geräte vorwiegend auf den dentoalveolären Bereich beschränkt. Das klinische Problem einer *Kieferorthopädie*, d. h. einer orthopädischen Korrektur von Fehlentwicklungen des Kieferskeletts, kann daher als noch nicht gelöst betrachtet werden.

Nach *Roux* (1895) liegt das Prinzip einer funktionellen Orthopädie darin, „neue Funktionsweisen zu erlernen und durch Übung Leichtigkeit und Sicherheit in der

Ausführung derselben zu erwerben". In der Allgemeinorthopädie hat die Entwicklung einer funktionellen Behandlungsweise im Sinne der *Roux*schen Lehre einen hohen Grad von Vollkommenheit erreicht. Die Deformierungen des Skeletts werden in einem engen ursächlichen Zusammenhang mit Haltungsfehlern gesehen. Orthopädische Gymnastik und Muskeltraining sind daher integrale Bestandteile einer funktionellen Orthopädie. Die hervorragenden Erfolge, die bei der Behandlung von Skelettdeformierungen im Kindesalter durch orthopädische Gymnastik erreicht werden, waren Ansporn und Wegweiser für die Entwicklung unseres Konzepts. Demgemäß besteht die vorrangige Aufgabe einer funktionellen Orthopädie im orofazialen Bereich darin, abwegige tonische Funktionsmuster der regionalen Muskulatur aufzuspüren und durch orthopädische Gymnastik zu beheben. Das wichtigste Problem, das es hierbei zu lösen galt, war die Konstruktion eines orthopädischen Übungs- und Trainingsgeräts. Auf welche Weise der Funktionsregler diesen Anforderungen gerecht wird, ist im ersten Teil dieses Buchs ausführlich behandelt worden.

In der Allgemeinorthopädie hat die lange klinische Erfahrung gezeigt, daß abwegige Funktionsmuster der Muskulatur nur durch ein sehr vorsichtig eingeleitetes und allmählich steigerndes Training im Sinne der physiologischen Norm verändert werden können. Die Behebung von Haltungsfehlern der Muskulatur bzw. unphysiologischer Raumbedingungen im orofazialen Bereich erfordert daher Zeit und Geduld. Der Funktionsregler verliert den Charakter eines orthopädischen Trainingsgeräts, wenn, wie wir das so häufig beobachten konnten, seine Bukkalschilde vom dentoalveolären Fortsatz zu weit abstehen. Es widerspricht dem *Roux*schen Konzept einer funktionellen Orthopädie, wenn der Funktionsregler schon nach 4 Wochen nachts getragen, oder wenn beim Vorliegen einer mandibulären Retrusion die erste Bißregistration in einer Unterkiefervorlage von mehr als 2,5 mm genommen wird.

Um den Funktionsregler als orthopädisches Trainingsgerät korrekt herstellen und klinisch anwenden zu können, sind umfassende Kenntnisse auf dem Gebiet der postnatalen Entwicklung und Reifung neuromuskulärer Funktionsmuster erforderlich. Diese Prozesse müssen in engem Zusammenhang mit der Reifung des Zentralnervensystems gesehen werden, wobei sich Einflüsse der Umgebung stimulierend wie aber auch retardierend auswirken können. *Bosma* (1975) bezeichnet diese Periode des „Lernens" als die „kritische Phase" beim Aufbau neuromuskulärer Funktionsmuster. *Moyers* (1978) hat in seinem Lehrbuch der „Reifung der Muskulatur" ein besonderes Kapitel gewidmet. Er hat damit einen wesentlichen Beitrag geleistet, um die Bedeutung funktioneller Einflüsse für die kraniofaziale Morphogenese verstehen zu können. Die Realisierung einer funktionellen Orthopädie im orofazialen Bereich stellt den Kieferorthopäden vor neue, schwierige Aufgaben, deren Lösung entsprechendes Umdenken und eine längere Einarbeitung erforderlich macht. Wir glauben aber, daß der hierfür benötigte Aufwand von Arbeit und Zeit durch die Erfolge, die sich mit einer funktionellen Orthopädie erzielen lassen, reichlich aufgewogen wird. Unsere Longitudinalstudien, wie aber auch die angeführten Fallbeispiele lassen keinen Zweifel zu, daß mit dem Funktionsregler sowohl die sagittalen als auch vertikalen Disproportionen des Viszeralskeletts erfolgreich korrigiert werden können. Ähnliche Ergebnisse haben wir bei Verwendung des Bionators, des offenen Aktivators oder vergleichbarer Geräte nicht erreichen können, wobei wir uns auf eine lange klinische Erfahrung stützen.

Bei korrekter Konstruktion und klinischer Handhabung des Funktionsreglers als orthopädisches Übungsgerät lassen sich aber nicht nur die Abwegigkeiten der Form, sondern auch der Funktion behe-

ben. So können wir durch orthopädisches Training physiologische Raumbedingungen und Funktionsmuster der Muskulatur im orofazialen Bereich wieder herstellen. Mit den im Vestibulum liegenden Schilden lassen sich durch eine direkte Intervention Fehlhaltungen, abwegige tonische Funktionsmuster der Gesichtsmuskulatur beheben. Anhand eines umfangreichen Dokumentationsmaterials haben wir zeigen können, daß die Korrektur der skelettalen Diskrepanzen wie auch die Behebung abwegiger Funktionsmuster der Muskulatur, besonders im Gesichtsbereich, zu erheblichen physiognomischen Verbesserungen führt. Unter diesem Aspekt eröffnet der Funktionsregler neue Perspektiven, um im Einzelfall das individuelle Optimum der Gesichtsästhetik zu erreichen. Auf diese Weise qualifiziert sich eine funktionelle Orthopädie mit dem Funktionsregler zur „Gesichtsorthopädie". Mit der Umorientierung vom *Gebiß* zum *Gesicht* werden neue Maßstäbe gesetzt. Wenn man bedenkt, welche Bedeutung der Ästhetik des Gesichts im menschlichen Miteinander, für Berufs- und Partnerwahl, für die Persönlichkeitsentwicklung sowie für die Einschätzung durch die soziale Umwelt zukommt, wirkt sich eine solche Behandlung im Sinne einer psychosomatischen Ganzheitsbehandlung aus. Zudem sollte nicht übersehen werden, daß mit einer funktionellen Orthopädie noch eine weitere therapeutische Möglichkeit erschlossen wird. Wenn durch orthopädisches Training die Haltungsschwäche der Lippenschließmuskulatur überwunden und ein kompetenter Abschluß des oralen Funktionsraums erreicht werden kann, haben wir die wichtigste Voraussetzung für die Umstellung von der Mundatmung zur Nasenatmung geschaffen. Denken wir an die schwerwiegenden Fernwirkungen der Mundatmung auf die Gesamtentwicklung und Leistungsfähigkeit des Kindes, so eröffnet sich ein weiterer Aspekt der funktionellen Kieferorthopädie im Sinne der Ganzheitsbehandlung.

Allerdings sollte nicht übersehen werden, daß einer solchen Behandlung Grenzen gesetzt sind. Entwicklung läßt sich nur beeinflussen, solange Entwicklung im Gange ist. Der richtige Zeitpunkt des Behandlungsbeginns ist daher von allergrößter Bedeutung. In späteren Entwicklungsstadien verringern sich die Erfolgsaussichten, skelettale Deformierungen durch orthopädische Gymnastik zu korrigieren. In der späten Adoleszenz bzw. im Erwachsenenalter wird man ein zufriedenstellendes Behandlungsergebnis nur noch durch chirurgische Maßnahmen erreichen können. In den letzten zwei Dezennien sind die chirurgischen Techniken erheblich verbessert worden, so daß skelettale Diskrepanzen im Splanchnokranium erfolgreich behandelt werden können. Leider gibt es nur sehr wenige Langzeitstudien, die über die Stabilität der chirurgischen Korrektur, d. h. wenigstens 3 Jahre nach Beendigung der Retention, verläßlich Auskunft geben. Kephalometrische Langzeitbeobachtungen in jüngster Zeit haben gezeigt, daß die chirurgische Behandlung von Fehlentwicklungen des Gesichtsskeletts mit einer hohen Rezidivquote belastet ist. Den Grund hierfür sehen wir darin, daß der Bedeutung der Funktion für die gnathische Formentwicklung nicht die gebührende Beachtung beigemessen wird. Wie in der Kieferorthopädie, so kann auch in der Kieferchirurgie ein bleibender Erfolg nur erwartet werden, wenn wir den Prinzipien der Allgemeinorthopädie folgen. Eine Behandlung mit Hilfe mechanischer Stützapparate bzw. chirurgischer Maßnahmen wird regelmäßig durch orthopädische Gymnastik ergänzt. Wir glauben, daß der Funktionsregler als Übungs- und Trainingsgerät gute Erfolgsaussichten bietet, um die Stabilität der kieferchirurgischen Korrektur sicherzustellen, worauf wir bereits hingewiesen haben.

Bei der Wahl des Titels für unser Buch haben wir bewußt den Terminus *Kieferorthopädie* vermieden. Mit dieser Fachbezeichnung legen wir uns in der orthopädi-

schen Aufgabenstellung fest. Bei einer kieferorthopädischen Behandlung geht es allein um die Korrektur der Kieferfehlbildung. Dabei wird übersehen, daß die Entwicklung der Kieferknochen nur im engen Zusammenhang mit der des gesamten Viszeralskeletts verstanden werden kann. Wir halten die Bezeichnung *Orthopädie im orofazialen Bereich* für besser. Damit wird das gesamte Operationsfeld unserer therapeutischen Maßnahmen erfaßt, d. h., nicht nur die abwegige Entwicklung der Kiefer, sondern auch die des gesamten Gesichtsskeletts wird in unsere orthopädische Aufgabenstellung einbezogen. Außerdem können Fehlhaltungen der Weichteile und abwegige Funktionsmuster der Muskulatur des orofazialen Bereiches bei der Behandlungsplanung berücksichtigt werden. In der Fachbezeichnung *Kieferorthopädie* werden die Fehlentwicklungen des *Gebisses*, d. h. eines integralen Bestandteiles der regionalen Hartgewebe, nicht berücksichtigt. Hierbei wird völlig übersehen, daß in der täglichen Praxis die Behandlung der Gebißanomalien und die Wiederherstellung regelrechter Okklusionsverhältnisse den weitaus größten Zeitaufwand erfordert. Mit der Fachbezeichnung Kieferorthopädie kommt eine Abwertung der Orthodontie zum Ausdruck. Dies wird verständlich, wenn man bedenkt, daß *Andresen* und *Häupl* die Behandlung mit festsitzenden Geräten kategorisch ablehnten. Diese Kontraeinstellung hat sich durch das triumphale Come-back der festsitzenden Apparatur als schwerwiegender Irrtum erwiesen.

Die hervorragenden Behandlungsergebnisse, die sich mit der modernen Multiband- bzw. Multibrackettechnik erzielen lassen, haben auch im deutschsprachigen Teil Europas zu einer Rückorientierung zur Orthodontie geführt. Besonders imponierte die Schnelligkeit, mit der sich die Korrektur der Gebißfehlbildung erreichen läßt. Außerdem wird bei der Verwendung der festsitzenden Geräte die Lösung des Motivationsproblems zur Kooperation von Kind und Eltern wesentlich leichter gemacht. Alle diese Faktoren haben auch große ökonomische Bedeutung, wobei wir nicht übersehen sollten, daß die Behandlung mit der modernen festsitzenden Technik von den Krankenkassen besonders hoch honoriert wird. Es ist daher verständlich, daß sich in unserem Fachgebiet Diagnostik, Planung und Durchführung der Behandlung in den letzten 3 Jahrzehnten in zunehmendem Maße nach den in den USA entwickelten Prinzipien der Orthodontie ausgerichtet haben.

Es erhebt sich die Frage, inwieweit ist die Fachbezeichnung *Kieferorthopädie* noch berechtigt? Stehen die Fehlentwicklungen der Kiefer noch im Mittelpunkt unserer diagnostischen und orthopädischen Bemühungen? Sollten wir nicht die kritischen Einwände von *Hotz* ernst nehmen? Sollten wir uns nicht mit der bescheideneren Fachbezeichnung *Orthodontie* begnügen? Dies gilt um so mehr, als die kephalometrischen Longitudinaluntersuchungen gezeigt haben, daß die Wirkung des Aktivators und seiner Modifikationen im wesentlichen auf den dentoalveolären Bereich beschränkt bleibt.

*Proffit* steht auf dem Standpunkt, daß mit den modernen festsitzenden Geräten in 80% der Patienten gute bis befriedigende Behandlungsergebnisse erreicht werden können, wenn sie in geeigneten Fällen mit der extraoralen Technik kombiniert werden. Diese Ansicht können wir zustimmen, sofern die Behandlung nach Durchbruch der bleibenden Eckzähne und Prämolaren begonnen wird. In der chirurgischen Orthopädie sieht *Proffit* die Möglichkeit der Ergänzung, d. h., auch bei den restlichen 20% der Patienten läßt sich durch nachträgliche chirurgische Korrektur der skelettalen Diskrepanzen ein gutes Behandlungsergebnis erzielen.

In unserem Fachgebiet gibt es kein Universalgerät, mit dem alle klinischen Probleme einer Lösung zugeführt werden können. Dies gilt auch für die Verwendung des Funktionsreglers. Geht es um die Lösung orthodontischer Aufgaben im

bleibenden Gebiß, so verwenden auch wir die konventionellen herausnehmbaren und festsitzenden Apparaturen. Wir können uns nicht vorstellen, daß eine optimale Versorgung unserer Patienten ohne die Verwendung der modernen Multiband- bzw. Multibrackettechnik möglich ist. Wie *Proffit* so glauben auch wir, daß der Mechanotherapie bei der Bewältigung unserer orthopädischen Aufgaben Grenzen gesetzt sind. Bei der Suche, unsere therapeutischen Möglichkeiten zu erweitern bzw. zu ergänzen, waren für uns die hervorragenden Ergebnisse, die in der Allgemeinorthopädie bei der Behandlung von Skelettdeformierungen im Kindesalter mit Hilfe orthopädischer Gymnastik erreicht werden, wegweisend. In der Entwicklung des Funktionsreglers zum orthopädischen Trainingsgerät sehen wir reale Möglichkeiten, abwegige Funktionsmuster im orofazialen Bereich zu beheben und damit die Voraussetzung für eine spontane Rehabilitation der morphologischen Entwicklung zu schaffen. Unsere 30jährige Erfahrung mit dem Funktionsregler läßt den Schluß zu, daß bei richtiger Indikation bzw. bei richtiger Wahl des Behandlungsbeginns das *Roux*-sche Konzept einer funktionellen Orthopädie im orofazialen Bereich realisiert werden kann, wobei das Gesicht unserer Patienten im Mittelpunkt des Interesses steht, diagnostisch wie therapeutisch.

# Literaturverzeichnis

## Erläuterungen zum Literaturverzeichnis

Die Zusammenstellung des Literaturverzeichnisses erfolgte unter dem Gesichtspunkt, dem Leser unser Konzept von einer funktionellen Orthopädie verständlich zu machen. Von den Ergebnissen der Grundlagenforschung bzw. der experimentellen Biologie haben wir einige wenige angeführt, die dem Kieferorthopäden helfen mögen, den Funktionsregler als orthopädisches Trainingsgerät zu begreifen und in der Praxis erfolgreich anzuwenden.

*Altmann, K.:* Untersuchungen über Frakturheilung unter besonderen experimentellen Bedingungen. Z. Anat. Entwickl. Gesch. 114: 457, 1949

*Angle, E. H.:* Treatment of malocclusion of the teeth: Angle's system (7 the ed.) S. S. White, Philadelphia 1907

*Ballard, C. F.:* Variations of posture and behavior of the lips and tongue which determine the position of the labial segments: The implications in orthodontics, prosthetics and speech. Trans. Europ. Orthod. Soc. 67–93, 1965

*Balters, W.:* Allgemeines zur Atmung und zur Atmungsstörung. Fortschr. Kieferorthop. 15: 193, 1954

*Baud, Ch. A.:* Harmonie der Gesichtszüge. S. Karger-Verlag, Basel, München 1982

*Berg, R.* and *Gebauer, U.:* Spontaneous changes in the mandibular arch following first premolar extractions. Europ. Journal of Orthod. 4: 93–98, 1982

*Bimler, H. P.:* JCO Interviews Dr. H. P. Bimler on Functional Appliances. JCO 17: 39–49, 1983

*Björk, A.:* The Relationship of the Jaws to the Cranium. In: Introduction to Orthodontics. Herausg. Lundström, A., McGraw-Hill Book Company, Inc. New York, Toronto, London 1960

– Variations in the growth pattern of the human mandible: longitudinal radiographic study by the implant method. J. Dent. Res. 42: 400–411, 1963

– Prediction of mandibular growth rotation. Am. J. Orthod. 55: 585–599, 1969

– The role of genetic and local environmental factors in normal and abnormal morphogenesis. Proceedings of the Craniofacial Conference, Nijmegen, 67–80 Swets and Zeitlinger B. V., 1972

– und *Björk, L.:* Artificial deformation and craniofacial asymmetry in ancient Peruvians. J. Dent. Res.: 353, 1964

– and *Skieller, V.:* Facial development and tooth eruption, Am. J. Orthod. 62: 339–383, 1972

*Bosma, J. F.:* Form and function in the mouth and pharynx of the human infant. In: Control Mechanisms in Craniofacial Growth, J. A. McNamara, Jr. (Ed.), Monograph 3, Craniofacial Growth Series, Center for Human Growth and Development, The University of Michigan, Ann Arbor, 1975

*Bostock, J.:* Exterior Gestation, Primitive Sleep, Enuresis and Asthma: A Study in

Aetiology. Medical J. of Australia 2: 149–153, 1958

*Brace, C. L.:* Occlusion to the anthropological eye. In: The biology of occlusal development. A McNamara (ed.), Monograph 7, Craniofacial Growth Series, Center for Human Growth and Development, The University of Michigan, Ann Arbor, 1977

*Cangialosi, Th. J.:* Skeletal morphologic features of anterior open bite. Am. J. Orthod. 85: 28–36, 1984

*Coben, S. E.:* Growth Concepts. Angle Orthod. 31: 194–201, 1961

– Basion Horizontal Coordinate Tracing Film. Reprinted from the J. of Clinic. Orthodont. 13: 1979, The Benson, Jenkintown, PA 19046

*Copray, J. C. V. M.; Jansen, H. W. B.; Duterloo, H. S.:* The role of biomechanical factors in mandibular condylar cartilage growth and remodeling in vitro. In: Carlson DS, McNamara, JA Jr, Ribbens, KA (editors): Developmental aspects to temporomandibular joint disorders, Monograph No. 16, Craniofacial Growth Series, Center for Human Growth and Development, University of Michigan, Ann Arbor, 1985

*Corruccini, R. S.:* An epidemiologic transition in dental occlusion in world populations. Am. J. Orthod. 86: 419–426, 1984

– and *Potter, R. H. Y.:* Genetic analysis of occlusal variation in twins. Am. J. Orthod. 78: 140–154, 1980

– and *Whitley, L. D.:* Occlusal variation in a rural Kentucky community. Am. J. Orthod. 79: 250–262, 1981

*Cotta, H.; Heipertz, W.; Kersten, H.; Koester, G.; Marquardt, E.; Puhl, W.; Rompe, G.; tumSuden-Weickmann, A.:* Krankengymnastik, Bd. 5 Orthopädie. Georg Thieme Verlag Stuttgart, New York 1985

*De Coster, L.:* Eine neue Bezugslinie mit großer Genauigkeit zum Studium sagittaler - Fernröntgenaufnahmen. Fortschr. Kieferorthop. 13: 49–56, 1952

*Delaire, J.:* The potential role of facial muscles in monitoring maxillary growth and morphogenesis. In: Muscle Adaptation in the Craniofacial Region, D. S. Carlson and J. A. McNamara, Jr. (Eds.), Monograph 8, Craniofacial Growth Series, Center for Human Growth and Development, The University of Michigan, Ann Arbor, 1978

*Denison, T. F., Kokich, V. G.* and *Shapiro, P. A.:* Stability of maxillary surgery in openbite versus nonopenbite malocclusions. Angle Orthod. 59: 5–10, 1989

*Dibbets, J.:* Juvenile temporomandibular joint dysfunction and craniofacial growth. Stafleu en Tholen, B. V. Leiden, 1977

*Dullemeijer, P.:* Methodology in cranio-facial biology. Proceedings of the Craniofacial Conference, Nijmegen, 1–32, Swets and Zeitlinger B. C. 1972

– Concepts and approaches in animal morphology. Van Gorcum & Comp. B. V., Assen, The Netherlands, 1974

*Duterloo, H. S.:* The Impact of Orthodontic Treatment Procedures on the Remodeling of Alveolar Bone. Studieweek 1975 van 28 april–2 mei 1975. Ned. Ver. voor Orthod. Studie

– *Atkinson, P. J., Woodhead, C.* and *Strong, M.:* Bony density changes in the mandibular cortex of the rhesus monkey (Macaca mulatta) Arch. oral. Biol. 19: 241–248, 1974

– and *Bierman, M. W. J.:* Morphological changes in alveolar bone during the development of the dentition in man. In: The Biology of Occlusal Development Monograph No. 7: 242–253, Craniofacial Growth Series Center for Human Growth and Development, The University of Michigan, Ann Arbor, 1977

*Easton, J. W.* and *Carlson, D. S.:* Adaption of the lateral pterygoid and superficial masseter muscles to mandibular protrusion in the rat. Am. J. Orthod. 97: 149–158, 1990

*Eckert-Möbius, A.:* Grenzprobleme der Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde und der Hals-, Nasen- und Ohrenheilkunde aus rhinologischer Sicht. Dtsch. Zahn-, Mund- u. Kieferheilk. 37: 216, 1962

*Eismann, D.:* Ätiologie der endogen und exogen bedingten Dysgnathien. In: Morphophysiologische Grundlagen des orofazialen Systems und Einführung in die spezielle stomatologische Krankheitslehre. Hrsg. v. Taatz, H., Verlag Johann Ambrosius Barth, Leipzig 1976

*Enlow, D. H.:* The human face. Hoeber Medical Div., Harper und Row, New York, 1968

– Role of the TMJ in facial growth and development. In: The President's Conference on the Examination, Diagnoses and Management of Temporomandibular Disorders. Convened by Griffiths R. H. President (1982) American Dental Association, In Chicago, June 1–4, 1982

– Dr. Donald H. Enlow on Craniofacial

Growth. JCO Interviews, JCO 17: 669–679, 1983
- Biological targets in the control process of facial growth. In: Physiologic principles of functional appliances. Graber, T. M. (ed.), C. V. Mosby Company, 1985
- und *Harris, D. B.:* A study of the postnatal growth of the human mandible. Am. J. Orthod. 50: 15–28, 1964
- *Moyers, R. E., Hunter, W. S.* and *McNamara, J. A.:* A procedure for the analysis of intrinsic facial form and growth. Am. J. Orthod. 56, 1969

*Eschler, J.:* Zur Physiologie und Pathologie der Ruhelage des Unterkiefers. Fortschr. Kieferorthop. 26: 31–42, 1965

*Falck, F.:* Röntgenologische Längsschnittuntersuchungen bei Deckbißträgern unter besonderer Berücksichtigung von Keimanlage und Topogenese der bleibenden Frontzähne. Dissertation Universität Leipzig, 1969
- Möglichkeiten der sagittalen Nachentwicklung maxillärer Strukturen mit dem Funktionsregler Typ III. Zahn-, Mund- u. Kieferheilkd. 69: 465–471, 1981
- Zur Stabilität der De-Coster-Linie und der Okzipitalbasis nach Fränkel. Zahn-, Mund- u. Kieferheilkd. 70: 232–237, 1982
- Kephalometrische Längsschnittuntersuchung über Behandlungsergebnisse der mandibulären Retrognathie mit Funktionsreglern im Vergleich zu einer Kontrollgruppe. Med. Diss. (B), Berlin 1985

*Feuer, D. D.:* The value of the PM reference line for estimating natural head position. Angle Orthodont. 44: 189–193, 1974

*Fleischer-Peters, A.* und *Scholz, U.:* Psychologie und Psychosomatik in der Kieferorthopädie. Carl Hanser Verlag, München, Wien 1985

*Fränkel, Chr.:* Funktionelle Aspekte des skelettalen offenen Bisses. Promotion speech at the University of Jena, Jena, GDR, 1980
- und *Kober, M.:* Fernröntgenologische Längsschnittuntersuchungen über die vertikale Lageveränderung der bleibenden Eckzähne und Prämolaren des Ober- und Unterkiefers während der eruptiven Phase. Thesis. Humboldt University, Berlin, 1975

*Fränkel, R.:* Die Dynamik des interokklusalen Unterdruckes. Dtsch. Zahnärztl. Zeitschr. 22: 1282, 1967
- Fernröntgenanalyse nach Okzipitalkreuz und natürlicher Kopfhaltung. Dtsch. Stomatol. 19: 673–681, 1969
- Maxillary retrusion in Class III and treatment with the function corrector III. Trans. Europ. Orthod. Soc. 46: 249–260, 1970
- Decrowding during eruption under the screening influence of vestibular shields. Am. J. Orthod. 65: 372–406, 1974
- The applicability of the occipital reference base in cephalometrics. Am. J. Orthodont. 77: 379–395, 1980
- Lip seal training in treatment of open bite. Europ. J. Orthod. 2: 219–228, 1980
- Biomechanical aspects of the form/function relationship in craniofacial morphogenesis: a clinician's approach. In: Clinical alteration of the growing face. Eds.: McNamara, J. A., Ribbens, K. A., Howe, R. P. Monograph No. 14: 107–130, Craniofacial Growth Series, Center for Human Growth and Development, The University of Michigan, Ann Arbor, 1983
- Technik und Handhabung der Funktionsregler. – 3. Auflage – Berlin: Verlag Volk und Gesundheit, 1984
- Das condyläre Wachstum – Ergebnisse der experimentellen Forschung und ihre klinischen Aspekte. In: Craniogenesis and Craniofacial Growth. Herausg. Schumacher, G.-H. Nova acta Leopoldina 58: 69–75, 1986
- and *Falck, F.:* Zahndurchbruch und Vererbung beim Deckbiß. Fortschr. Kieferorthop. 28: 175–181, 1976
- und *Fränkel, Ch.:* Funktionelle Aspekte des skelettalen offenen Bisses. Fortschr. Kieferorthop. 43: 8–18, 1982
- – A functional approach to treatment of skeletal open bite. Am. J. Orthod. 84: 54–67, 1983
- and *Löffler, U.:* Functional aspects of mandibular crowding. Eur. J. Orthod. 12: 224–229, 1990
- *Müller, M., Falck, F.:* The uprighting effect of the Fränkel appliance on the mandibular canines and premolars during eruption. Am. J. Orthod. 92: 109–116, 1987

*Furstman, L.* and *Bernick, S.:* Clinical considerations of the periodontium. Am. J. Orthod. 61: 138–158, 1972

*Gans, C.:* Three considerations in evaluating factors affecting the growth of the midface. In: Factors Affecting the growth of the Midface, J. A. McNamara (ed.), Monograph 6, Craniofacial Growth Series, Center for Human Growth and Development, The University of Michigan, Ann Arbor, Michigan, 1976

*Garn, S.M.* and *Bailey, S.* ... Genetics of maturational processes. In: Human Growth: A Treatise. F. Falkner and J.M. Tanner (eds.), Plenum Press, London, 1978

*Genecov, J.S., Sinclair, P.M.,* and *Dechow, P.C.:* Development of the nose and soft tissue profile. The Angle Orthop. 60: 191–198, 1990

*Gershater, M.M.:* The psychological dimension in orthodontic diagnosis and treatment. Am. J. Orthod. 54: 327–338, 1968

*Gooris, Ch.G.M., Artun, J.* and *Joondeph, D.R.:* Eruption of mandibular third molars after second-molar extractions: A radiographic study. Am. J. Orthod. 98: 161–167, 1990

*Gould, M.S.E.* and *Picton, D.C.A.:* Sub-atmospheric pressures and forces recorded from the labiobuccal surfaces of teeth during swallowing in adult males. Brit. J. Orthodont. 2: 121–125, 1975

*Graber, L.W.:* Psycho-social implications of dentofacial appearance. A dissertation submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of doctor of philosophy (human growth and development) in the university of Michigan, 1980

*Graf, F.:* Funktionelle Kräfte bei bimaxillären Regulationsapparaten. Dissert. Universität Bern, 1962

*Greven, H.:* Tierexperimentelle Untersuchungen zum Pneumatisationsproblem. Arch. f. Ohren-, Nasen- u. Kehlkopfkrh. Springer, Berlin–Göttingen–Heidelberg 1955

*Grosfeld, O.* and *Czarnecka, B.:* Musculoarticular disorders of the stomatognathic system in school children examined according to clinical criteria. J. Oral Rehabil. 4: 193, 1977

*Harlow, H.F.* and *Hansen, E.W.:* The Maternal Affectional System of Rhesus Monkeys. In: H.L. Rheingold (ed.): Maternal Behavior in Mammals, New York: 277–278, 1963

*Harris, E.F.* and *Smith, R.J.:* A study of occlusion and arch widths in families. Am. J. Orthod. 78: 155–161, 1980

*Harvold, E.P.:* Experiments on mandibular morphogenesis. In McNamara, J.A., Jr. (editor): Determinants of mandibular form and growth, Craniofacial Growth Series, Monograph No. 4, Ann Arbor, 1975, Center for Human Growth and Development, The University of Michigan

– Altering craniofacial growth: force application and neuromuscular – bone interaction. In: Clinical alteration of the growing face, J.A. McNamara, Jr., K.A. Ribbens, R.P. Howe (eds.), Monograph 14, Craniofacial Growth Series, Center for Human Growth and Development. The University of Michigan, Ann Arbor, 1983

– and *Vargervik, K.:* Morphogenetic response to activator treatment. Am. J. Orthod. 60: 478–490, 1971

– – and *Chierici, G.:* Primate experiments on oral sensation and dental malocclusions. Am. J. Orthodont. 63: 494–508, 1973

*Hellmann, M.:* Open bite Int. J. Orthod. Oral Surg. 17: 421–444, 1931

*Herren, P.:* The activator's mode of action. Am. J. Orthod. 45: 512–527, 1959

*Hixon, E.* and *Klein, P.:* Simplified mechanics: A means of treatment based on available scientific information. Am. J. Orthod. 62: 113–141, 1972

*Holdaway, R.A.:* A soft-tissue cephalometric analysis and its use in orthodontic treatment planning, Part II. Am. J. Orthod. 85: 279–293, 1984

*Hotz, R.P.:* Application and appliance manipulation of functional forces. Am. J. Orthod. 58: 459–478, 1970

*Hunter, W.S.:* A study of the inheritance of craniofacial characteristics as seen in lateral cephalograms of 72 like-sexed twins. Trans. Europ. Orthod. Soc. 41: 59, 1965

*Janson, I.:* Skeletal and dentoalveolar changes in patients treated with a Bionator during prepubertal and pubertal growth. In: Clinical alteration of the growing face. Eds.: McNamara, J.A., Ribbens, K.A., Howe, R.P. Monograph No. 14: 131–154, Craniofacial Growth Series, Center for Human Growth and Development, The University of Michigan, Ann Arbor, 1983

*Kantomaa, T.:* Effect of increased posterior displacement of the glenoid fossa on mandibular growth: a methodological study on the rabbit. Eur. J. Orthod. 6: 15–24, 1984

*King, G.J., Keeling, St.D., Hocever, R.A.* and *Wheeler, T.T.:* The timing of treatment for Class II malocclusions in children: a literature review. The Angle Orthod. 60: 87–97, 1990

*Klink-Heckmann, U.* und *Bredy, E.:* Orthopädische Stomatologie. 2. Auflage, Johann Ambrosius Barth, Leipzig 1980

*Korkhaus, G.:* Handbuch der Zahnheilkunde. Bd. IV. 1. und 2. Aufl. Verlag J.F. Bergmann, München 1939

*Kremenak, Ch. R.:* Circumstances limiting the development and verification of a comprehensive theory of craniofacial morphogenesis. Craniofacial Conference Nijmegen, 1972

*Kummer, B.:* Mechanische Beanspruchung und funktionelle Anpassung des Knochens. Verh. anat. Ges. (Jena) 72: 21–46, 1978

*Leonhard, K.:* Der menschliche Ausdruck. Johann Ambrosius Barth Verlag, Leipzig 1968

*Lieb, G.* und *Schlagbauer, P.:* Möglichkeiten einer Beeinflussung des Gesichtsschädels am Rhesusaffen. Fortschr. Kieferorthop. 33: 113–121, 1972

*Linder-Aronson, S.:* Respiratory function in relation to facial morphology and the dentition. Brit. J. Orthod. 6: 1–13, 1979

*Lindqvist, B.:* Bruxism in twins. Acta Odontol. Scand. 32: 177, 1974

*Link, R. U., Handl, K.:* Tubenfunktion und Pneumatisation des Mittelohres. Arch. f. Ohren-, Nasen- und Kehlkopfkrh. Springer, Berlin–Göttingen–Heidelberg 1954

*Little, R. M., Riedel, R. A., Artun, J.:* An evaluation of changes in mandibular anterior alignment from 10 to 20 years postretention. Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop. 93: 423–428, 1988

– *Wallen, T. R., Riedel, R. A.:* Stability and relapse of mandibular anterior alignment. Am. J. Orthod. 80: 349–365, 1981

*Little, R. M., Riedel, R. A.,* and *Stein, A.:* Mandibular arch length increase during the mixed dentition: Postretention evaluation of stability and relapse. Am. J. Orthod. 97: 393–404, 1990

*Löffler, U.:* Die Problematik der Kinnentwicklung beim Menschen. Eine vergleichende fernröntgenologische Untersuchung. Med. Diss., Berlin 1988

*Lubit, E. C., Wallach, M. A.* and *Schwalb, R.:* A study of the relationship of maximal perioral muscle pressure and tonic resting pressure using a pneumohydraulic capillary infusion system. The Angle Orthod. 60: 215–220, 1990

*Lundström, A.:* Malocclusion of the teeth regarded as a problem in connection with the apical base. Stockholm, A. B. Fahlcrantz, 1923

– Head posture in relation to slope of the Sella-Nasion line-reader comment. Angle Orthod. 52: 79–82, 1982

– and *Woodside, D. G.:* Individual variation in growth directions expressed at the chin and the midface. Eur. J. Orthod. 2: 65–79, 1980

– – A comparison of various facial and occlusal characteristic in mature individuals with vertical and horizontal growth direction expressed at the chin. Eur. J. Orthod. 3: 227–235, 1981

– – Longitudinal changes in facial type in cases with vertical and horizontal mandibular growth directions. Eur. J. Orthod. 5: 259–268, 1983

*Madone, G.* and *Ingervall, B.:* Stabilität des Resultates und Funktion des Kausystems nach Distalbißbehandlung mit dem Herren-Aktivator. Schweiz. Mschr. Zahnmed. 94, Nr. 5, 1984

*McNamara, J. A., Jr.:* Neuromuscular and skeletal adaptations to altered orofacial function. Monograph 1, Craniofacial Growth Series. Center for Human Growth and Development, The University of Michigan, Ann Arbor, 1972

– Neuromuscular and skeletal adaptations to altered function in the orofacial regions. Am. J. Orthod. 64: 578–606, 1973

– Experimentelle Untersuchungen des Unterkieferwachstums. Inform. Orthod. Kieferorthop. 7: 219–243, 1976

– Functional determinants of craniofacial size and shape. Eur. J. Orthod. 2: 131–159, 1980

– Influence of Respiratory Pattern on Craniofacial Growth. Angle Orthod. 51: 269–300, 1981

– Components of Class II malocclusion in children 8–10 years of age. Angle Orthod. 51: 177–202, 1981

– A method of cephalometric evaluation. Am. J. Orthod. 86: 449–469, 1984

– and *Bryan, F. A.:* Long term mandibular adaptations to protrusive function: An experimental study in macaca mulatta. Am. J. Orthod. 92: 98–108, 1987

– and *Carlson, D. S.:* Quantitative analysis of temporomandibular joint adaptations to protrusive function. Am. J. Orthod. 76: 593–611, 1979

– *Connelly, T. G.* and *McBride, M. C.:* Histological studies of temporomandibular joint adaptations. In: Determinants of Mandibular Form and Growth, J. A. McNamara, Jr. (Ed.), Monograph 4, Craniofacial Growth Series, Center for Human Growth and Development, The University of Michigan, Ann Arbor, 1975

– and *Graber, L. W.:* Mandibular growth in the rhesus monkey (Macaca mulatta). Am. J. Phys. Anthrop. 42: 15–24, 1975

*Miethke, R. R.:* Zur Entwicklung der Kiefer und Lippen bei menschlichen Feten von der 17. bis zur 42. Woche. Med. Habil.-Schr., Berlin (West), 1978

*Miller, A. J., Vargervik, K.:* Neuromuscular changes during long-term adaptation for the Rhesus Monkey to oral respiration. In: Naso-Respiratory Function and Craniofacial Growth, J. A. McNamara, Jr. (Ed.), Monograph 9 Craniofacial Growth Series, Center for Human Growth and Development, The University of Michigan, Ann Arbor, 1979

*Mills, J. R. E.:* Clinical Control of Craniofacial Growth: A Skeptic's Viewpoint. In: Clinical Alteration of the Growing Face, J. A. McNamara, Jr., K. Aa. Ribbens and R. P. Howe (Eds.), Monograph 14, Craniofacial Growth Series, Center for Human Growth and Development, The University of Michigan, Ann Arbor, 1983

*Montagu, A.:* Touching. New York, Hagerstown, San Francisco, London, 1972

*Moorrees, C. F. A.; et al.:* New norms for the mesh diagram analysis. Am. J. Orthod. 69: 57–71, 1976

– and *Kean, M. R.:* Natural head position, a basic consideration for the analysis of cephalometric radiographs. Am. J. Physiol. Anthropol. 16: 213–234, 1958

– *Lebret, L. M. L., Reed, R. B., Kent, R. L., Glatky, Jr.* and *C. B.:* The computerized mesk diagram analysis. In: Transactions of the 3rd International Orthodontic Congress. J. T. Cook (Ed.), C. v. Mosby Co., St. Louis, 1975

*Moss, M. L.:* The primacy of functional matrices in orofacial growth. Dent. Practitioner 19: 65–73, 1968

– A theoretical analysis of the functional matrix. Acta Biother. 18: 195–202, 1969

– Functional cranial analysis and the functional matrix. Internat. J. Orthod. 17: 21–31, 1979

– Genetics, epigenetics and causation. Am. J. Orthod. 80: 366–375, 1981

– The functional matrix hypothesis and epigenetics. In: Physiologic principles of functional appliances. Graber, T. M. (ed.), C. V. Mosby Company, 1985

– and *Moss-Salentijn, L.:* The muscle-bone interface: A analysis of a morphological boundary. In: Muscle adaptation in the Craniofacial Region. McNamara. Monograph No. 8: 39–72, Craniofacial Growth Series, Center for Human Growth and Development, The University of Michigan, Ann Arbor, 1978

*Moore, R. N., Igel, K. A.* and *Boice, P. A.:* Vertical and horizontal components of functional appliance therapy. Am. J. Orthod. 96: 433–443, 1989

*Moyers, R. E.:* Handbook of Orthodontics. Year Book Medical Publishers Incorp. 1973

*Müller, G.:* Erkennen und Darstellen des Wachstums an der Synchondrosis sphenooccipitalis nach Fernröntgenaufnahmen. Fortschr. Kieferothop. 20: 80–86, 1959 a

– Über die wachstumsbedingten Lageveränderungen von Selle turcica, Nasion und Porion in der Norma lateralis nach Fernröntgenaufnahmen. Fortschr. Kieferorthop. 20: 204–213, 1959 b

*Nahoum, H. I., Horowitz, S. L.* and *Benedicto, E. A.:* Varieties of anterior open-bite. Am. J. Orthod. 61: 486–492, 1972

*Nance, H. N.:* The limitations of orthodontic treatment. Part I. Am. J. Orthod. 33: 177–223, 1947

*Nemeth, R. B.* and *Isaacson, R. J.:* Vertical anterior relapse. Am. J. Orthod. 65: 565–585, 1974

*Noltemeier, H.:* Einführung in die allgemeine Kiefer- und Gesichtsorthopädie, Band I. Buchdruckerei P. Dobler, Alfeld 1949 a

– Einführung in die spezielle Kiefer- und Gesichtsorthopädie, Band II. Buchdruckerei P. Dobler, Alfeld 1949 b

*Ojala, L.:* Pneumatisation of the bone and environmental factor. Acta oto-laryng. Helsinki 1957

*Pancherz, H.:* Cephalometric analysis of skeletal and dental changes contributing to Class II correction in activator treatment. Am. J. Orthod. 85: 125–135, 1984

*Pauwels, F.:* Eine neue Theorie über den Einfluß mechanischer Reize auf die Differenzierung des Stützgewebes. Z. Anat. Entwickl.-Gesch. 121: 478, 1960

*Peiper, A.:* Die Eigenart der kindlichen Hirntätigkeit. VEB Georg Thieme, Leipzig, 1961

*Petrik, L.:* In: Tabellen für die kieferorthopädische Behandlung. ed. Sieberth, P., Johann Ambrosius Barth Verlag, Leipzig 1960

*Petrovic, A., N. Gasson* and *C. Oudet:* Growth hormone, postural mandibular hyperpropulsion and condylar prechondro-

blast proliferation in rat. Tenth Annual Meeting of the Int'l. Assoc. Dent. Res., Continental Div., Strasbourg, 1973

– and *Stutzmann, J.:* Further investigations of the functioning of the „comparator" of the servosystem (respective positions of the upper and lower dental arches) in the control of the condylar cartilage growth rate and of the lengthening of the mandible. In: The Biology of Occlusal Development, Monograph No. 7: 255–291, Craniofacial Growth Series, Center for Human Growth and Development, The University of Michigan, Ann Arbor, 1977

– – and *Gasson, N.:* The final length of the mandible: Is it genetically predetermined? In: Craniofacial biology. Ed. Carlson, D. S. Monograph No. 10: 105–126, Craniofacial Growth Series, Center for Human Growth and Development, The University of Michigan, Ann Arbor, 1981

– – and *Oudet, C.:* Control processes in the postnatal growth of the condylar cartilage of the mandible. In: Determinants of Mandibular Form and Growth. Monograph No. 4: 101–153, Craniofacial Growth Series, Center for Human Growth and Development, The University of Michigan, Ann Arbor, 1975

– – – Defects in mandibular growth resulting from condylectomy and resection of the pterygoid and masseter muscles. In: McNamara, J. A., Jr., Carlson, D. S., Ribbens, K. A. (editors): The effect of surgical intervention on craniofacial growth. Monograph No. 12, Craniofacial Growth Series, Center for Human Growth and Development, University of Michigan, Ann Arbor, 1982

*Poulton, D. R.:* Surgical-orthodontic correction of mandibular deformity, Presented at the Third International Conference for Orthodontists, Munich, 3–5 Nov. 1977

*Proffit, W. R.:* Muscle Pressures and Tooth Position: North American Whites and Australian Aborigines. The Angle Orthod. 45, 1–11, 1975

*Reitan, K.:* The initial tissue reaction incident to orthodontic tooth movement as related to the influence of function. An experimental histological study on animal and human material. Thesis, University of Oslo, 1951

*Rennert, H.* und *Quandt, J.:* Werkzeug und Symbol – Der Mund in psychologischer und psychiatrischer Sicht. Beiträge zur Zahnheilk. und ihren Grenzgebieten, J. A. Barth-Verlag, Leipzig 1962

*Rheinwald, U.* und *Becker, R.:* Die Beziehungen der Zunge zum normalen und gestörten Wachstum des Unterkiefers. Fortschr. Kieferorthop. 23: 5–16, 1962

*Richardson, M.:* Der Raum für die dritten Unterkiefermolaren. Information aus Orthodontie und Kieferorthopädie 19: 447–452, 1987

*Richardson, M.*, and *Mills, K.:* Late lower arch crowding: The effect of second molar extraction. Am. J. Orthod. 98: 242–246, 1990

*Ricketts, R. M.:* Perspectives in the clinical application of cephalometrics. Angle Orthod. 51: 115–150, 1981

*Roux, W.:* Entwicklungsmechanik der Organismen, Bd. I und II, Verlag W. Engelmann, Leipzig 1895

*Rugh, J. D.* and *Solberg, W. K.:* Psychological implications in temporomandibular pain and dysfunction. In: Temporomandibular Joint-Function and Dysfunction. G. Zarb and G. E. Carlsson (Eds.), Munksgaard, Copenhagen, 1979

*Salzmann, J. A.:* Limitations of roentgenographic cephalometrics. Am. J. Orthod. 50: 169–188, 1964

*Sassouni, V.:* „A classification of skeletal facial types" Am. J. Orthod. 55: 109–123, 1969

*Schendel, S. A., Eisenfeld, J. H.; Bell, W. H.; Epker, B. N.; Mishelevich, D. J.:* The long face syndrome: vertical maxillary excess. Am. J. Orthod. 70: 398–408, 1976

*Schmuth, P. F.:* Gesichts- und Schädelprofilanalyse als Hilfe bei der kieferorthopädischen Diagnose und Behandlungsplanung? Zahn-Mund-Kieferheilkd. 76: 367–373, 1988

*Schönherr, E.:* Natürliche Kopfhaltung, individuelle Kauebene und ihr Wert für die kieferorthopädische Profil- und Modellanalyse. Fortschr. Kieferorthop. 28: 297–312, 1967

*Schultz, J. H.:* Psyche und Parafunktionen. Dtsch. zahnärztl. Zeitschrift 16: 1459, 1961

*Schumacher, G.-H.:* The maxillo-mandibular apparatus in the light of experimental investigations. In: Morphology of the maxillo-mandibular apparatus. Ed. by G.-H. Schumacher. VEB G. Thieme Leipzig, 13–25, 1972

– und *Fanghänel, J.:* Einfluß experimentell erzeugter Bipedie auf das Schädelwachstum. Verh. anat. Ges., Jena 69: 807–813, 1975

*Schwarz, A. M.:* Die Röntgenostatik. Verlag Urban & Schwarzenberg, München–Berlin 1958

– Lehrgang der Gebißregelung. Band I, 3. Aufl., Urban u. Schwarzenberg, Wien–Innsbruck, 1961

*Selmer-Olsen, R.:* Cited in Graber, T.M. and Neumann, B.: Removable orthodontic appliance. W.B. Saunders Company, Philadelphia, 1977

*Sergl, G.:* Bedeutung der Funktion für den vertikalen Gebißaufbau. Fortschr. Kieferorthop. 34: 199–211, 1973

*Sessle, B.J., Woodside, D.G., Borque, P., Gurza, S., Powell, G., Voudouris, J., Metaxas, A.,* and *Altuna, G.:* Effect of functional appliances on jaw muscle activity. Am. J. Orthod. 98: 222–230, 1990

*Shields, T.E., Little, R.M.* and *Chapko, M.K.:* Stability and relapse of mandibular anterior alignment: A cephalometric appraisal of first-premolar-extraction cases treated by traditional edgewise orthodontics. Am. J. Orthod. 87: 27–38, 1985

*Sicher, H.:* The growth of the mandible. Am. J. Orthod. 33: 30–35, 1947

*Skieller, V.:* Cephalometric Growth Analysis in Treatment of Overbite. Trans. Europ. Orthod. Soc.: 147–158, 1967

*Slavicek, R., Kulmer, S.:* Die Rolle des Orthodonten in der Diagnose und Therapie der Dysfunktion. Information aus Orthodontie und Kieferorthopädie 19: 137–144, 1987

*Solberg, W.K.:* Current concepts on the development of TMJ Dysfunction. In: Developmental aspects of temporomandibular joint disorders. Carlson, D.S., McNamara, J.S., Ribbens, K.A. (Eds.), Monograph No. 16, Craniofacial Growth Series, Center for Human Growth and Development, The University of Michigan, Ann Arbor, 1984

*Spitz, R.:* The First Year of Life. International Universities Press, New York, 1965

*Steiner, C.C.:* The use of cephalometrics as an aid to planning and assessing orthodontic treatment. Am. J. Orthod. 46: 721–735, 1960

*Stöckli, P.W.* und *Willert, H.G.:* Tissue reactions in the temporomandibular joint resulting from anterior displacement of the mandible in the monkey. Am. J. Orthod. 60: 142–155, 1971

*Strang, R.H.W.:* The fallacy of expansion as a treatment procedure. Angle Orthod. 19: 12–22, 1949

*Stricker, G. et al.:* Psychosocial aspects of craniofacial disfigurement. Am. J. Orthod. 76: 410–422, 1979

*Stutzmann, J.:* Particularities de la croissance postnatale des cartilages secondaires du squelette facial. Recherches in vivo et en culture organotypique chez le jeune rat, sur les processus de commande et de regulation. These de Doctorat d'Etat es-Sciences, U.L.P. Strasbourg, p. 230, 1976

*Sugawara, J., Asano, T., Endo, N.,* and *Mitani, H.:* Long-term effects of chinoap therapy on skeletal profile in mandibular prognathism. Am. J. Orthod. 98: 127–133, 1990

*Tomer, B.S.* and *Harvold, E.P.:* Primate experiments on mandibular growth direction. Am. J. Orthod. 82: 114–119, 1982

*Tomes, Ch.S.:* A manual of dental anatomy. New York 1923, The Macmillan Company

*Tweed, C.H.:* Clinical Orthodontics. 2 vol. St. Louis, C.V. Mosby Co., 1966

*Uhde, M.D., Sadowsky, C.* and *Begole, E.A.:* Long-term stability of dental relationships after orthodontic treatment. Angle Orthod. 53: 240–252, 1983

*Van der Klaauw, C.J.:* Size and position of the functional components of the skull. A contribution to the knowledge of the architecture of the skull, based on data in the literature. Arch. Neerl. Zool. 9: 1–176, 1948

– Size and position of the functional components of the skull (continuation). Arch. Neerl. Zool. 9: 177–368, 1951

*Van der Linden, F.P.G.M.:* The significance of growth research for orthodontics. Trans. Europ. Orthod. Soc. 47: 61–68, 1971

– and *Duterloo, H.S.:* Development of the Human Dentition – An Atlas. Harper and Row, New York, 1976

*Van Limborgh, J.:* A new view on the control of the morphogenesis of the skull. Acta morph. Neerl.-Scand. 8: 143–160, 1970

– The role of genetic and local environment factors in the control of postnatal craniofacial morphogenesis. Craniofacial Conference Nijmegen: 47–58, 1972

– Factors controlling skeletal morphogenesis. In: The International Conference on Factors and Mechanisms Influencing Bone Growth, A.D. Dixon and B.G. Sarnat (Eds.), Alan Liss, New York, 1982

– Morphogenic control of craniofacial growth. In: Clinic Alteration of the Growing Face, McNamara, J.A., Ribbens, K.A., Howe, R.P. (Eds.), Monograph

No. 14, Craniofacial Growth Series, Center for Human Growth and Development, The University of Michigan, Ann Arbor, Michigan, 1983

*Vargervik, K.* and *Harvold, E. P.:* Response to activator treatment in Class II malocclusions. Am. J. Orthod. 88: 242–251, 1985

*Watson, R. M., Warren, E. W.* and *Fischer, N. D.:* Nasal resistance, skeletal classification and mouthbreathing in orthodontic patients. Am. J. Orthod. 54: 367–379, 1968

*Weinstein, S.:* Minimal forces in tooth movement. Am. J. Orthod. 53: 881–903, 1967

*Whatmore, G. B.* and *Kohli, D. R.:* Dysponesis: A neurophysiological factor in functional disorders. Behav. Sci. 13: 102, 1968

*Whetten, L. L.* and *Johnston, L. E.:* The control of condylar growth: An experimental evaluation of the role of the lateral pterygoid muscle. Am. J. Orthod. 88: 181–190, 1985

*Wieslander, L., Lagerström, L.:* The effect of activator treatment in Class II malocclusions. Am. J. Orthod. 75: 20–26, 1979

*Witt, E., Komposch, G.:* Intermaxilläre Kraftwirkung bimaxillärer Geräte. Fortschr. Kieferorthop. 32: 345–352, 1971

*Wolff, J.:* Über die inneren Architekturen des Knochens, Virchow Arch. Path. Anat. 50: 389–453, 1870

*Woodside, D. G.:* Some effects of activator treatment on the mandible and the midface. Trans. Europ. Orthod. Soc. 443–447, 1973

*Yuen, St. W. H., Hwang, J. C. C.* and *Poon, P. W. F.:* Changes in power spectrum of electromyograms of masseter and anterior temporal muscles during functional appliance therapy in children. Am. J. Orthod. 97: 301–307, 1990

# Sachverzeichnis


Abdruck 71
Abdrucklöffel, orthodontischer 71
Abstützung, intermaxilläre 74, 80, 94, 96
Adoleszenz 173, 215
Aktivator 126, 133
Allgemeinorthopädie 1, 29, 66, 200
Alveolarfortsatz 38, 100
–, Formentwicklung 115
Alveolarknochen 100
–, Umbau 102
Analyse, kephalometrische 58
Angle-Klasse II 123, 169
–, II/2 19, 30, 86, 102, 104, 154, 158
–, III 176, 192
Arzt-Patient-Beziehung 44
Ästhetik 68
Atempassage 20, 21
Ätiologie der Kiefer- und Gebißfehlbildungen 41
Auflagedorn 80
Aufrichten 103

Basis, apikale 105
Befunderhebung 47
Behandlungsphase, aktive 94
Behandlungsplanung 47
Behandlungsverlauf 98
Bezugspunkte 64
Biß, skelettaler offener 193, 200
Bißhebung 167
Bißnahme 72
Bißregistration 73
Bukkalschild 24, 31, 115, 169, 210
–, Durchbruchrichtung 116
Bukkalschilde, Segmentierung 28

Corpus 129, 131, 141, 161, 182
Crista occipitalis interna 61

Deckbißstellung 104
Dekubitus 77, 81, 82, 98
Diagnostik 47
Diskrepanzen, sagittale 48
Disproportionen 69
–, skelettale 58, 65, 198
–, vertikale 48, 146, 164, 193, 208
Doppelbiß 133
Dorsaldriften 129, 131, 141, 145
Drahtauflage 91
Driften 103
Durchschnittsnormen 47
Dysbalancen 27, 177

Eckzahnschlaufe 74, 78
–, modifizierte 31
Edgewise-Technik 122
Einlagerung, interdentale 74, 75, 80, 91
–, interokklusale 169
Einschleifen 96
Eintragen des FR-3 97, 98
Engstand 18
Entwicklungshemmung 121
–, dentoalveoläre 18
Entwicklungsmuster, vertikales 151
Erbanlagen 41
Eruption 100, 102, 103, 116
Eruptionsweg 103, 118
Expansion 108
Extraktion 169, 173, 204
Extraktionslücke 167, 169, 174
Extraktionstherapie 111, 122

Faktoren, hereditäre 41
–, umweltbedingte 41
Fernröntgenaufnahme, okzipitofrontale 115, 117
Fernröntgenbild 57, 58
Formanalyse 48
Forschungsergebnisse, anthropologische 42

Frühbehandlung 39, 40, 94
Funktionsanalyse 49
Funktionsmuster, abwegige 58
–, neuromuskuläre 10, 46
–, pathophysiologische 58, 173
–, Reifung muskulärer 43
–, –, neuromuskulärer 13
–, –, tonischer 15
Funktionsraum 10, 20
–, oraler 17
Funktionsräume, nasopharyngeale 13
Funktionsregler, Herstellung 71
–, Indikation 37
–, Wirkungsweise 22
–, -1, Indikation 39
–, -2, Indikation 39
–, -3, Indikation 40
–, -4, Indikation 40
Funktionsreglertyp FR-1 23, 73
–, FR-2 29, 87
–, FR-3 31, 87
–, FR-4 35, 91
Funktionstest 140

Ganzheitstherapie, psychosomatische 209
Gebiß, bleibendes 158
Gebißentwicklung 99
Gesichtsorthopädie 69
Guldentherapie 67
Gymnastik 38
–, erzwungene 22, 25, 66
–, orthopädische 24, 93

Haltungsfehler 38, 46, 58, 161, 209
Haltungsschwäche 17, 20, 137, 183, 185, 200
Hirnschädel, Deformierung 6
Hyperdivergenz, skelettale 145, 173, 183, 204, 209, 213, 215
Hypertonie 16
Hypothese, epigenetische 4
Hypotonie 16

Kinnentwicklung 120
Kinnprominenz 134
Kniebeugetest 54, 142, 146
Knochenwachstum 4
Knochenwachstumszonen 8
Kondyle 128, 130
Kondylus 124, 125, 133, 159
Konstruktionsbiß 73
Kontrolle, epigenetische 101
Kontrollgruppe 117
Kooperation 66, 94
Koordinatensystem, okzipitales 60, 62, 187
Kopfbandagen 6
Kopfhaltung, natürliche 60
–, Registrierung 60
Kraft 126
Kunststoffschilde 85

Labialbogen 78, 91
Limborgh, Konzept nach van 9
Lingualdrähte 84
Lingualschild 26, 132
Lippenpelotten 25, 81, 89, 95
–, Form 82
–, Vorverstellung 180
–, des FR-3 32
Lippenrot, adhäsive Zonen 25
Lippenschließgymnastik 66, 98, 148, 183, 195, 198, 205, 215
Lippenschließmuskulatur 25
Lippenschluß 142, 179, 191, 201
Longitudinaluntersuchung 120, 169, 191
Lutschen 42

Matrix, funktionelle 9
–, kapsuläre 12, 165
–, -Theorie, funktionelle 5
Matrizen, osteogene 5
Mentalismuskel 196
Mesialbiß 175
Metallimplantate 128
Milieu, psychosoziales 44
Molaren, Durchbruch 161
Motivation 66
Motivationspsychologie 45
Mundatmung 20, 70, 151, 195, 196, 198
Mundraum, Form und Größe 16
Mundschließgymnastik 67, 191
Muskelkette, vertikale 137, 151, 200
–, vordere vertikale 204, 208
Muskelschlingen, posturale Dysbalancen 25
Muskulatur, abwegige Funktionsmuster der orofazialen 58
–, abwegige Haltefunktionen 16
–, Dysbalancen 17
–, pathophysiologische Funktionsmuster 16
–, Tonus der orfazialen 45, 200
Mutter-Kind-Beziehung 43
Myotherapie 66

Nasenatmung 13, 20, 146, 196
Nasion-Sella-Linie 58

Oberkiefer, Entwicklung 33, 34
–, Entwicklungshemmer 175
Oberlippenpelotten 90
Okzipitalkreuz 61

Okzipitalpunkt OC 1 60, 1
–, OC 2 60
Os occipitalis 59

Palatinalbügel 74, 80, 90
Parafunktionen 43
Pars bailaris 62
Pathophysiologie, nasopharyngeale 20
– des orofazialen Komplexes 16
Pelotten, Stützwirkung 25
Persönlichkeitsdiagnostik 69
Peruaner 8, 46
Physiologie des orofazialen Komplexes 12
Pneumatisation 14, 150, 154, 181, 215
Profilanalyse 72
Progenie 18, 32, 175, 192
Protraktoren 26, 27, 132, 133, 173, 177
Protrusionsbogen 89

Radieren 73
Radierung 73, 87
–, interdentale 75, 89
Ramus 129, 131, 141, 145, 161, 182, 210
–, Verlängerung 150, 167, 210
Raum 16
Referenzbasis, kephalometrische 59
Referenzstrukturen, okzipitale 169
–, stabile 118
Referenzsystem, okzipitales 59, 62, 170, 171
Regulation, epigenetische 6, 9
Respirationsmodus 21, 54
Retentionsgerät, Indikation des Funktionsreglers als 40
Retraktoren 26, 27, 126, 133, 173, 177
Retrusion, mandibuläre 26, 124, 128, 132, 133
Rezidiv 122
Rotationsmuster 211
Rückwärtsrotation 213
–, mandibuläre 19, 137, 173

Schädelbasis, vordere 58
Schädelentwickulung 4, 9
Schneidezahnkantenbiß 73
SNA-Winkel 142
Spätbehandlung 39, 30
Speesche Kurve 164, 174
Sychondrosis sphenooccipitalis 58, 154, 169

Tiefbiß 158
Tonus der orofazialen Muskulatur 44
Translation 18, 129, 131, 132, 141, 182

Umschlagfalte 73
Umwelteinflüsse 41
Unterkiefer, Lageveränderung 28
–, Rotationsmuster 137
–, Vororientierung 132
–, Vorschub 140
Unterkieferverschiebetest 49
Unterkiefervorlage, Abstützung 26
Untersuchungen, epidemiologische 46

Variationsbreite, individuelle 57
Verbindungsbögen 90
Verbindungsdrähte 81
Vestibularfalte, maxilläre 192
Vestibulärschild 23
Viszeralskelett, Disproportionen 214
Vorwärtsrotation 213

Wachsdicke 77
Wachsfutter 77, 82, 87, 89
Wachstum, kondyläres 124, 125, 127, 182
Wachstumszone 5, 38
–, kondyläre 8, 124, 125, 127
Wangenschild 25
Wechselbißperiode, frühe 93
Wechselgebiß 95
Wechselgebißperiode 101, 106
Wechselgebißphase, frühe 38, 138
–, späte 94
Weichteilkapsel 11, 13, 15, 19, 132
–, Dysbalancen 25
–, zirkumorale 131
Weisheitszähne 129
Wirkungsweise des FR-3 33

Zahnbogen 121
Zähne 103
Zahnengstand 111, 121, 158
Zahngröße 122
Zugspannung 33, 176, 192
Zunge, interokklusale Einlagerung 30
–, kausale Fehllage 76
Zungenpressen 142, 193, 194
Zungenraum 177