

# **Die Bedeutung der Okklusion in der kieferorthopädischen & rekonstruktiven Zahnheilkunde**



**Prof. Dr. Markus Greven MSc., PhD., Bonn**

Hotel Graf Zeppelin, Stuttgart

10.11.2017

Bericht von:  
Dr. Julia Glögger, Ulm

# Inhaltsverzeichnis

|          |  |    |
|----------|--|----|
| <b>1</b> | <b>Curriculum Vitae</b> .....  | 3  |
| <b>2</b> | <b>Editorial</b> .....   | 4  |
| 2.1      | Einführung.....  | 4  |
| 2.2      | Umfassende zahnärztliche Wiederherstellung der Okklusion .....                   | 5  |
| <b>3</b> | <b>Funktionelle Faktoren des Kausystems</b> .....                                | 6  |
| 3.1      | Skelettale und dentale Klassen .....   | 6  |
| 3.2      | Kompensationsmechanismen .....   | 7  |
| 3.2.1    | Dentoalveoläre Kompensation .....  | 7  |
| 3.2.2    | Vertikale Kompensation .....   | 7  |
| 3.2.3    | Artikuläre Kompensation .....  | 8  |
| 3.3      | Stomatognathes System und Körperhaltung .....                                    | 8  |
| 3.4      | Aspekte der Evolution .....  | 8  |
| 3.5      | Kraniofaziale Wachstumstheorien .....  | 9  |
| 3.5.1    | Funktionelle Matrix-Theorie nach Moss.....                                       | 9  |
| 3.5.2    | Kybernetischer Regelkreis .....  | 9  |
| 3.5.3    | Einfluss einer gestörten Nasenatmung.....  | 10 |
| 3.6      | Genetik und Epigenetik .....   | 11 |
| 3.7      | Dimensionen und Toleranzen im Kauorgan.....                                      | 11 |
| <b>4</b> | <b>Kasuistiken - Klinisch praktische Anwendung im Alltag</b> .....               | 15 |
| 4.1      | Allgemeiner Ablauf .....   | 15 |
| 4.2      | Therapeutisches Vorgehen bei Klasse II .....                                     | 15 |
| 4.3      | Therapeutisches Vorgehen bei Klasse III .....                                    | 18 |
| 4.4      | Therapeutisches Vorgehen bei mandibulärer MLV .....                              | 19 |
| 4.5      | Kiefergelenksprobleme.....   | 20 |
| 4.5.1    | Fall 1: Diskusverlagerung mit Reposition.....                                    | 20 |
| 4.5.2    | Fall 2: Vollständige Diskusverlagerung.....                                      | 20 |
| 4.5.3    | Fall 3: Sekundär frontal offener Biss bei chronisch rheumatoider Arthritis ..... | 21 |
| 4.5.4    | Fall 4: Verkürzte Kaureihe bei retralem Zwangsbiss.....                          | 21 |
| 4.6      | Take Home Message .....  | 22 |
| <b>5</b> | <b>Schlussfolgerungen</b> .....  | 22 |
| <b>6</b> | <b>Literaturangaben</b> .....  | 23 |

## 1 Curriculum Vitae von Prof. Dr. Markus Greven, MSc., PhD., Bonn

- 1992-1995: Bundeswehrzahnarzt im Sanitätszentrum der Bundeswehr in Bonn
- 1995-1996: Assistenzarzt Universitätsklinik Wien/Prof.Slavicek
- seit 1996: niedergelassen in eigener Praxis/Praxisgemeinschaft
- seit 1994: komplette Kursserie zum Thema Funktion „Westerburger Kontakte“
- 1996-2000: Studiengruppe Parodontologie Prof. Dragoo im Karl-Häupl-Institut/ ZÄK Nordrhein
- bis 1999: Mitglied der Studiengruppe „Implantologie“ am Karl-Häupl-Institut/ZÄK Nordrhein
- 1995- heute: Studiengruppe „Wiener Schule“ nach Prof. Slavicek im Karl-Häupl Institut/ZÄK Nordrhein
- 1997-2001: universitäre Ausbildungsgänge „Funktionen/Dysfunktionen des Kauorgans“ und „Therapie des funktionsgestörten Kauorgans“ an der Donau-Universität Krems – MSc (Master of Science/Dental Sciences) Anerkennung des „Tätigkeitsschwerpunktes: Funktionstherapie“ ZÄK Nordrhein 2000
- 1997-2000: universitärer Ausbildungsgang „Kieferorthopädie des funktionsgestörten Kauorgans“ Prof. Sato an der Donau-Universität Krems – MSc (Master of Science/Kieferorthopädie), Anerkennung des „Tätigkeitsschwerpunktes: Kieferorthopädie“ ZÄK Nordrhein 2000
- seit 1997: Studiengruppe Kieferorthopädie „Intern. Research Group in Orthodontics in Funktion/Dysfunktion“ (4 Studiengruppentreffen jährlich)
- Mitglied und Gründer des interdisziplinären Ärztekreises „NETZWERK KIEFERGELENK“ in Bonn (mit Praxis Dr. Seuser)
- seit 2000: Mitglied private Fortbildungsgruppe „Gruppe 16“
- seit 2004: Wissenschaftlicher Mitarbeiter Kanagawa Dental College; Department of Craniofacial Growth and Development Dentistry; Prof. Sadao Sato; Japan

## 2 Editorial

(In Anlehnung an das Editorial zum GAK 208 von Dr. Patric Walter und Prof. Dr. Markus Greven)

### 2.1 Einführung

Welcher Zusammenhang besteht zwischen temporomandibulären Dysfunktionen und der Okklusion? Welchen Einfluss hat die Taktilität einzelner Zähne auf die orthodontische und rekonstruktive zahnärztliche Therapie und wie können wir diese optimal therapeutisch nutzen? Warum ist die Neigung der Okklusionsebene ein essentieller Bestandteil bei der Planung kieferorthopädischer wie rekonstruktiver Behandlungen? Welche okklusalen Kontakte führen zu Langzeitstabilität nach orthodontischer wie rekonstruktiver Therapie und warum?

Kurzum: Warum vereinfacht eine umfassende Kenntnis der okklusalen Gesetzmäßigkeiten die orthodontische wie rekonstruktive Therapie und verkompliziert diese nicht?

Diese und andere wichtige Fragen wurden beim GAK 227 durch einen umfassend Wissenden und umfassend Lehrenden zu dieser Kernthematik beantwortet: Prof. Markus Greven aus Bonn, offizieller Lehrbeauftragter der Wiener Schule nach Slavicek, stellte uns sein auf okklusale Medizin ausgerichtetes rekonstruktives Behandlungskonzept dar. Die Besonderheit besteht darin, dass Prof. Greven die Orthodontie nach Sato als festen und häufigen Bestandteil in seiner Therapie integriert hat und selbst durchführt.

Jeder der täglich am Patienten arbeitet, weiß: Ohne das profunde Wissen um Okklusion und Funktion im Kauorgan lässt sich nur wenig zufriedenstellende Zahnheilkunde verwirklichen. Die evidenzbasierten Studien geben hierzu leider wenig Feedback. Wie Peter Göllner es kürzlich beim GAK Spezial charmant formulierte: Beim Thema Okklusion sind wir gezwungen, uns auf unsere "intrinsische Evidenz" zu verlassen.

Gnathologie heute – Requiem oder Auferstehung? Notwendigkeit! – Prof. Gutowski hat es beim GAK 204 treffend herausgearbeitet: Die Erfahrung zur richtigen Einschätzung und erfolgreichen Therapie verschiedener Patientenfälle gewinnt man nur durch das Anwenden gnathologisch-diagnostischer und okklusal-therapeutischer Maßnahmen, nicht durch das Weglassen.

## **2.2 Umfassende zahnärztliche Wiederherstellung der Okklusion in der kieferorthopädischen und rekonstruktiven Zahnheilkunde**

Die Indikationen für eine invasive, irreversible Behandlung bei Patienten und insbesondere Patienten, die temporomandibuläre Dysfunktionen (TMDs) aufweisen, wurden seit der zweiten Hälfte des letzten Jahrhunderts kontrovers diskutiert. Die Notwendigkeit des Einsatzes reproduzierbarer, dynamischer Aufzeichnungen und Messgeräte im Rahmen der klinisch-instrumentellen Funktionsanalyse in der gesamten zahnärztlichen Diagnostik und Behandlung ist ebenso umstritten. Alle Patienten zeigen heutzutage ein deutlich höheres Bewusstsein für qualitativ hochwertige Zahnheilkunde und fordern verbesserte Langlebigkeit der zahnärztlichen Therapien.

Funktionelle okklusionsbedingte Erkrankungen scheinen in den letzten wenigen Jahrzehnten zuzunehmen und die rasche Weiterentwicklung und Verbesserung zahnärztlicher Materialien und Technologien schaffen neue Möglichkeiten. Die Zahnmedizin braucht daher eine Neubewertung der entsprechenden diagnostischen und therapeutischen Verfahren, um invasiven zahnärztlichen Behandlungen und Therapieoptionen eine hohe Planungssicherheit zu gewähren. So wiederum wird optimaler Nutzen von Therapien für unsere Patienten gewährleistet.

Die Kiefergelenke und ihre räumliche Position innerhalb der Fossa Glenoidalis sind Schlüsselparameter für ungestörte Funktion - nicht nur des Kausystems sondern auch als Rezeptor und Vermittler für die Körperhaltung.

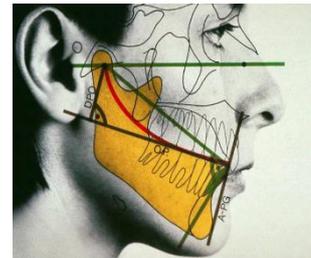
Chronische Erkrankungen der Wirbelsäule, Kopfschmerzen, Migräne, Schmerzen oder Geräusche der Kiefergelenke, Tinnitus, Trigeminus-Neuralgien oder auch unerklärliche pulpitisches Zahnschmerzen sind auch sehr häufig mit temporomandibulären Störungen verbunden. Patienten, Ärzte und Zahnärzte sind vertraut mit diesem Symptom-Komplex und "fürchten" diesen gleichzeitig.

Sehr häufig spielt die funktionelle, okklusale Komponente eine wichtige Rolle im Entstehen oder Auftreten dieser Symptome, da sie mit der statischen oder dynamischen Okklusion oft eng verbunden sind. Diese hochkomplexen pathologischen Bedingungen erfordern oft einen interdisziplinären Behandlungsansatz.

Im Folgenden soll ein systematisches, standardisiertes Diagnose-, Planungs- und Therapiekonzept zur Durchführung kieferorthopädischer und/ oder rekonstruktiver Behandlungen des Kausystems nach der Philosophie der Vienna School of interdisciplinary Dentistry (VieSID) in einem interdisziplinären Kontext besprochen werden, basierend auf komplexen Kasuistiken, um bestmögliche, langlebige Behandlungsergebnisse zu erzielen.

### 3 Funktionelle Faktoren des Kausystems

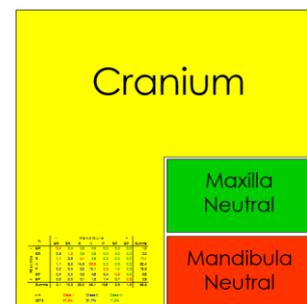
Zwischen der Okklusionsebene, der Speekurve, der skelettalen Klasse sowie der vertikalen Dimension besteht ein Zusammenhang [1, 2].



#### 3.1 Skelettale und dentale Klassen

Die Prävalenz der skelettalen Klassen I-III ist wie folgt:

- skelettale Kl. I: 36%
- skelettale Kl. II: 52%
- skelettale Kl. III: 12%



Diese können weiter in über 20 Untergruppen eingeteilt werden. Beispielsweise kann eine Klasse III durch eine maxilläre Retrognathie und/ oder mandibuläre Prognathie bedingt sein, eine Klasse II durch maxilläre Prognathie und/ oder mandibuläre Retrognathie.

Die Klasse II kommt in Europa häufiger vor als in Asien, wo dafür die Klasse I dominiert. Innerhalb von 30 Jahren hat sich die Prävalenz von Klasse II-Patienten verdoppelt [3]. Mitunter betrug ihr Anteil im 19. Jahrhundert sogar über 70% und pendelte sich im 21. Jahrhundert bei knapp über 50% ein.

Über 80% der drei skelettalen Klassen haben als gemeinsames Merkmal die Verschlüsselung in einer dentalen Klasse I. Somit stellt die dentale Klasse I das genetische Prinzip menschlicher Okklusion dar. Während des Wachstums nutzt die Natur spezifische Kompensationsmechanismen, um eine eu-funktionelle dentale Relation zu erreichen. Die Zähne haben in dieser Okklusion optimalen Zahnkontakt, sodass die Funktion in einer dentalen Klasse I wohl für das System am ökonomischsten ist. In vielen Fällen muss sich das System jedoch strukturell und/ oder

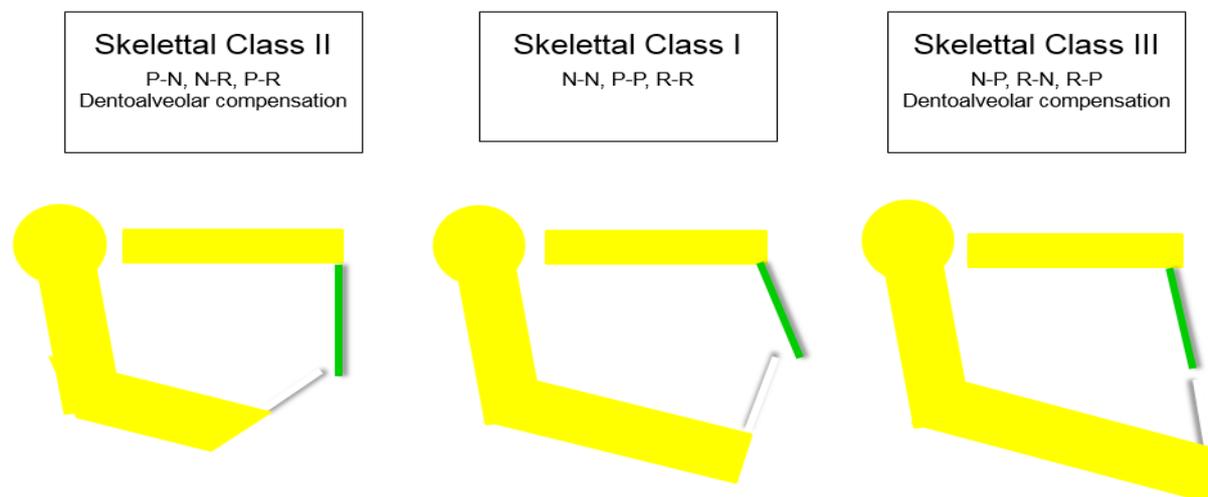
funktionell adaptieren. Mögliche Kompensationsmechanismen werden im nächsten Abschnitt beschrieben [4].

### 3.2 Kompensationsmechanismen

Vor Behandlungsbeginn sollte untersucht werden, ob bereits in irgendeiner Form eine Kompensation der skelettalen Klasse erfolgt ist.

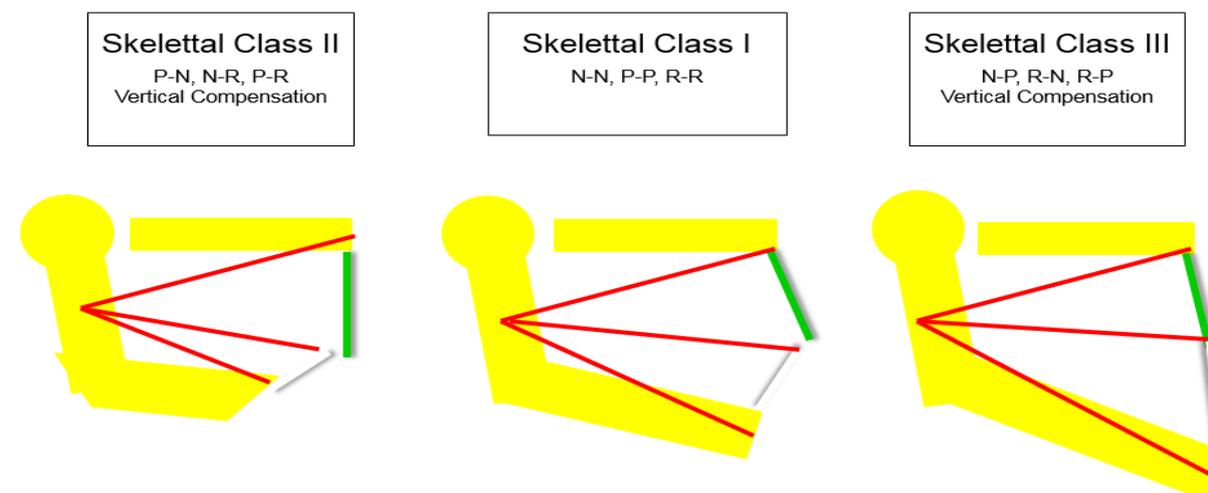
#### 3.2.1 Dentoalveoläre Kompensation (strukturell)

Die dentoalveoläre Kompensation einer Klasse II besteht aus einer reklinierten OK- und einer protrudierten UK-Front, die einer Klasse III umgekehrt aus einer protrudierten OK-Front und einer reklinierten UK-Front.



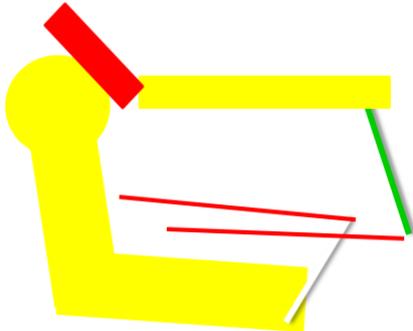
#### 3.2.2 Vertikale Kompensation (strukturell und funktionell)

Eine effiziente Verzahnung bei Klasse II wird durch eine anteriore Rotation des Unterkiefers erreicht, was die Vertikale abflacht. Eine Klasse III wird durch eine posteriore Unterkieferrotation mit Erhöhung der Vertikalen kompensiert.



### 3.2.3 Artikuläre Kompensation (strukturell und funktionell)

Bei Vorliegen einer extremen Klasse II erfolgt eine funktionelle Positionierung des Unterkiefers nach anterior. Dieser Vorschub wirkt sich auf die Speekurve aus.



Bei einer Klasse I beträgt der Winkel der Okklusionsebene zur Frankfurter Horizontalen 10-11°. Eine steile posteriore Okklusionsebene (bis zu 14°) korreliert stark mit einer kleinen retrudierten Mandibula mit posteriorer Rotation und einer kurzen vertikalen OK-Molaren-Höhe [5, 6]. Je stärker eine Klasse III ist, desto abgeflachter ist dagegen die Speekurve.

Es stellt sich die Frage, ob sich zuerst die Klasse II bzw. III oder die steile bzw. flache Okklusionsebene einstellen. Die Bildung der oberen Okklusionsebene erfolgt bereits in frühen Jahren mit Dominanz der 6er. Ist die Okklusionsebene steiler, so stellt sich der Unterkiefer tendenziell in einer Klasse II ein.

### 3.3 Stomatognathes System und Körperhaltung

Das stomatognathe System ist in den gesamten Organismus eingebettet und interagiert in diesem. Wenn die propriozeptive Information des stomatognathen Systems fehlerhaft ist, kann dies auch die Kopf- und Körperhaltung betreffen [7]. Weitere Untersuchungen zeigen Korrelationen zwischen dentalen Auffälligkeiten und Wirbelsäulenproblematiken, Kopfhaltung oder Beinlängendifferenz [8]. Die Körperhaltung sollte somit immer mit betrachtet werden.

Die Pufferzone zum Austarieren stellt das Kiefergelenk dar. Problematisch ist, dass in diesem Fall zwei Gelenke über einen Knochen (=Unterkiefer) verbunden sind.

### 3.4 Aspekte der Evolution

Primaten haben immer dieselbe Schädelkonfiguration. Der Molarenbereich verschlüsselt in einer Klasse I, der 3er-Bereich in einer Klasse III. Außerdem liegt immer ein posteriorer Stopp hinter dem Kiefergelenk vor.

Der nächste Verwandte des Menschen -der Schimpanse- steht uns genetisch sehr nahe. Doch obwohl nur ein Unterschied von 0,6% zwischen den Genomen liegt, hat sich die Funktion stark verändert [9]. Ein Schimpanse kann eine vier Mal höhere Muskelkraft in den Kaumuskeln entwickeln als der Mensch [10]. Dafür reduzierte der Unterkiefer in der Bevölkerung (weiche Nahrung, reduzierte Kaumuskelkräfte) signifikant seine Größe in allen drei Dimensionen, was heute zu einer wesentlich höheren Anzahl an impaktierten 8ern und insgesamt mehr Problemen mit Platzmangel beim Menschen führt. Wenig Veränderungen durch verschiedene Ernährungsgewohnheiten ergeben sich für den nasomaxillären Komplex [11].

### **3.5 Kraniofaziale Wachstumstheorien**

Die Morphologie und das Wachstum des Untergesichtes werden durch die Funktion der Dentition gelenkt und beeinflusst. Im wachsenden Gesichtsskelett ist die Adaptationsfähigkeit primär in der Funktion der Dentition lokalisiert und nur sekundär in den Suturen und Kondylen [12].

#### **3.5.1 Funktionelle Matrix-Theorie nach Moss**

Moss betrachtete das Skelett in einer dynamischeren und funktionelleren Weise als die Forschung vor ihm und vertrat vielmehr die Hypothese der funktionellen Matrix, die besagt, dass Wachstum nur als direkte Antwort auf Umwelteinflüsse bzw. auf Veränderungen der benachbarten Strukturen erfolgt. Die Morphologie passt sich der Funktion an: "Form follows function." Der Entwicklungsursprung aller kranialen Skelettelemente und ihre Veränderung in Größe und Form sind immer sekundär und kompensatorisch als Reaktion auf Reize der nicht skelettalen funktionellen Matrix [13].

#### **3.5.2 Kybernetischer Regelkreis**

Die Zunahme der vertikalen Dimension des kraniofazialen Komplexes resultiert aus:

- der Zunahme des nasalen Komplexes
- der Bewegung des OK-Komplexes nach unten
- der Zunahme der vertikalen Dimension der OK- und UK-Zähne

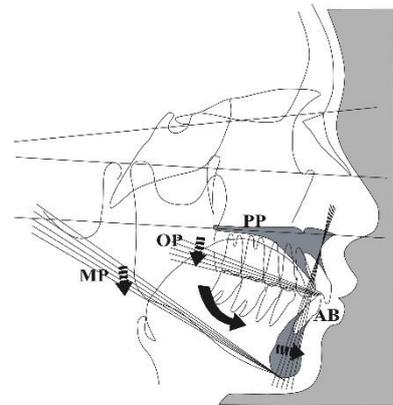
Entspricht die Summe der Wachstumsvorgänge in diesen vier Bereichen der Menge des Kondylenwachstums, so resultiert keine mandibuläre Rotation. Ist die vertikale

Dimension aus diesen Bereichen kleiner als das Kondylenwachstum, so resultiert eine anteriore Rotation des Unterkiefers. Im Fall einer vergrößerten vertikalen Dimension rotiert der Unterkiefer nach posterior (ungünstig!).

Eine Klasse I entwickelt sich also dadurch, dass die Vertikale zunimmt, die Okklusionsebene im hinteren Bereich abflacht und sich der Unterkiefer durch eine anteriore Rotation adaptiert. Schließlich findet Kondylenwachstum statt [18, 19].

Ein genetisch reguliertes Wachstum determiniert das Mittelgesichtswachstum. Es liegen keine autonomen Wachstumszonen vor. Zunächst findet ein primäres Displacement des nasomaxillären Komplexes statt. Durch suturales Wachstum erfolgt sekundär Schädelknochenwachstum. Das Displacement des maxillären Komplexes verändert die räumliche Position der Oberkieferdentition. Die Mandibula muss sich funktionell an die Oberkieferdentition adaptieren, um eine funktionierende Okklusion zu schaffen. Das heißt, dass der Unterkiefer fähig ist, auf sich verändernde okklusale Verhältnisse mit muskulärer Adaptation und lokal induziertem Kondylenwachstum zu reagieren. Er kann sich somit dem wachsenden Oberkiefer zunächst funktionell und sekundär strukturell anpassen [14-16].

Insgesamt wächst der Oberkiefer nach vorne unten. Ein Wachstum des Oberkiefers kann bis Mitte oder sogar fast Ende 20 festgestellt werden. Dabei findet das Wachstum überwiegend im posterioren Bereich statt. Deshalb nehmen die Winkel des Okklusionsplanums und des Mandibularplanums jeweils zur Frankfurter Horizontalen mit zunehmendem Alter ab, d.h. beide Ebenen werden flacher. Der Winkel AB-OP verändert sich nicht.



### 3.5.3 Einfluss einer gestörten Nasenatmung

Eine Verlegung der Atemwege führt bei Mundatmung häufig zu deformierten maxillären Strukturen. Dabei wird eine Unterentwicklung maxillärer Strukturen durch eine falsche Zungenposition begünstigt [17]. Häufig sind damit noch weitere Merkmale wie ein vertikales Wachstumsmuster, eine hypotone orale Muskulatur sowie Haltungs- und Sprachprobleme assoziiert.

### 3.6 Genetik und Epigenetik

Wie viel genau genetisch determiniert ist, ist nicht abschließend geklärt. Man geht jedoch davon aus, dass 25-30% genetisch bestimmt sind und der Rest durch Epigenetik beeinflusst wird. Dies lässt gute Chancen bestehen, auch bei schlechter genetischer Vorprogrammierung einen positiven Einfluss auf etwas bewirken zu können.

Genetik und Epigenetik führen zu:

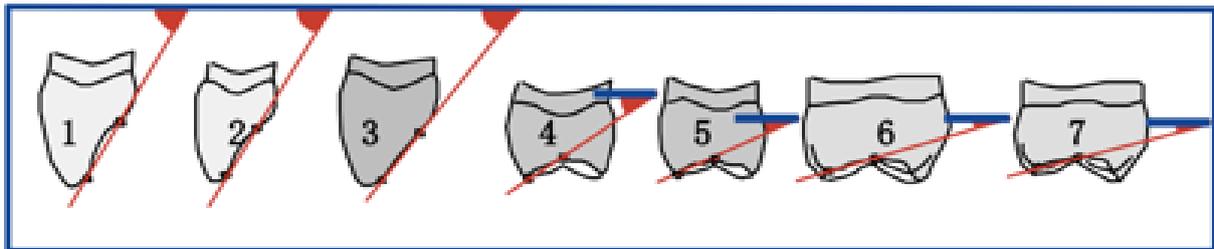
- aufrechter Körperhaltung
- Veränderung der Ernährung
- Gehirnentwicklung
- Sprachentwicklung
  - Reduktion der Kiefergröße
- Platzmangel für regulären Zahndurchbruch
  - Impaktion, posteriore Diskrepanz, Veränderung der posterioren Okklusionsebene

### 3.7 Dimensionen und Toleranzen im Kauorgan

Schädelknochen, Okklusion und Kiefergelenke sind zeitlebens gegenseitig voneinander abhängige und interaktive dynamische Strukturen, die sich in ständigem Umbau befinden. Die Kiefergelenke und ihre räumliche Position innerhalb der Fossa sind Schlüsselfaktoren für eine ungestörte Funktion -nicht nur für das Kausystem, sondern auch als Rezeptor und Mediator der Körperhaltung [20].

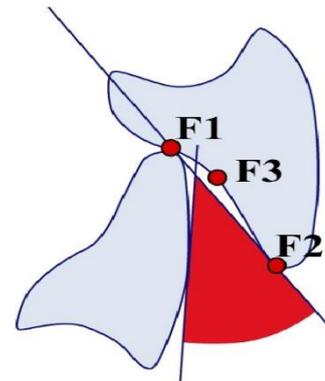
Das Kausystem erfordert ein ungestörtes automatisches Schließen von 28 bzw. 32 Zähnen in die statische Okklusion. Insgesamt ist dieses Organsystem äußerst individuell und hoch komplex. Die Präzision der Okklusion liegt innerhalb eines Bereiches von 0,02-0,03 mm, wohingegen die Zentrik nur mit einer Genauigkeit von 0,2 mm eingenommen werden kann. Außerdem hat das Kiefergelenk eine Deflexionstoleranz von nur 0,6-0,8 mm. Die Okklusion ist also präziser als das System auf Gelenkebene. Sie scheint ein fein abgestimmtes neurologisches Feedback-System zu sein, das die Unterkieferbewegungen gegen die Oberkieferdentition führt. Gleichzeitig scheinen Okklusionskontakte für die physiologische Positionierung der Kondylen verantwortlich zu sein. Die Kiefergelenksensoren sind somit nur von untergeordneter Bedeutung für die motorische Kontrolle des Kausystems.

Frontzähne sind propriozeptive Organe, die unter Funktion vermieden werden [1, 21]. Eine sequentielle Okklusion mit Dominanz der Eckzähne bei nach distal abnehmender Höckersteilheit führt zu einer Disklusion der Seitenzähne bei Bewegung. Dies lässt protrusive, laterotrusive und mediotrusive posteriore dentale Interferenzen vermeiden und scheint für eine ungestörte Funktion des neuromuskulären Systems am besten geeignet zu sein.



Die Winkeldifferenz zwischen der Steilheit der Eminentia articularis und der kontralateralen Eckzahnführung beträgt  $\leq 10^\circ$ . Wenn der Eckzahn  $> 10^\circ$  steiler als das gegenüberliegende Gelenk anguliert ist, drückt der Kondylus bei Mundschluss im Gelenk nach kraniodorsal.

Ein weiterer wichtiger Faktor für eine physiologische Okklusion ist der interkoronare Freiraum. Beträgt der interkoronare Winkel für die dynamische Bewegung  $< 10^\circ$ , so ist die Kaumuskelaktivität signifikant erhöht, was sich in Bruxismus auswirken kann [22]. Eine EMG-Studie von Tamaki et al. zeigte, dass sich die Aktivität des M. temporalis und des M. masseters bei Vorliegen von posterioren Kontakten während der dynamischen Okklusion fast verdoppeln. Eine zu steile Eckzahnführung, was den interkoronaren Freiraum reduziert, induziert also mandibuläre/ kondyläre Vermeidungsmechanismen mit hoher Muskelkraft.

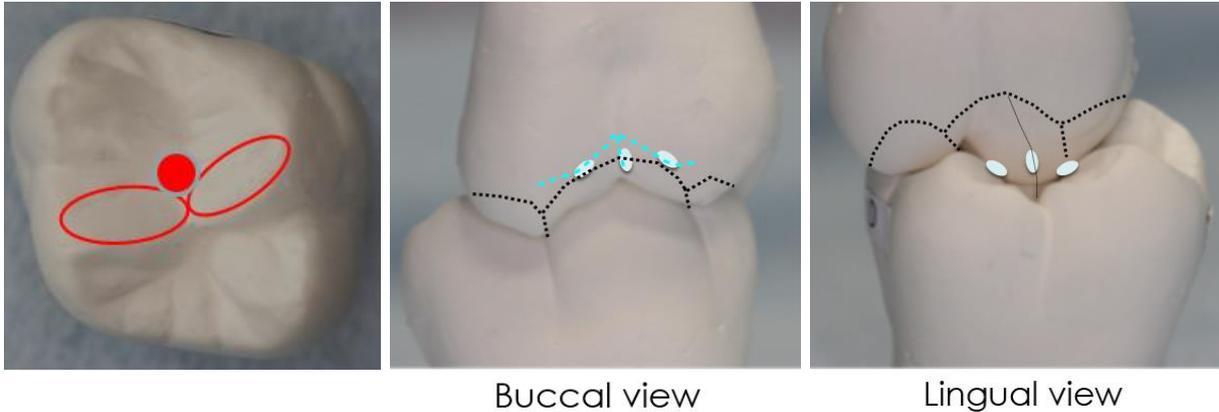


Eine nach distal, kranial oder transversal gerichtete Kraft ist immer mit einer Kondylusverlagerung assoziiert. Jegliches Überschreiten der Deviations- und/ oder Deflexionstoleranz von 0,6-0,8 mm in irgendeine Richtung belastet Kiefergelenkstrukturen wie die bilaminäre Zone, den Diskus, die Ligamente oder knöcherne Strukturen. Dies führt zu einer Schonhaltung, d.h. das Kausystem und benachbarte Organsysteme (Kopfhaltung, Schultergürtel, Wirbelsäule) kompensieren die Fehlbelastung [20]. Versagen im Fall von Malokklusionen oder Funktionsstörungen Kompensationsmechanismen, können sich bei Dekompensation durch

Gewebeschäden (Lockerung des Bandapparates, Entzündung der Kapsel, Diskus-/Kondylusverlagerung, Resorption von knöchernen Strukturen) Schmerzen entwickeln. Eine Studie von Christiansen et al. mit über 3500 Probanden konnte zeigen, dass bei allen Patienten mit Kiefergelenksbeschwerden ein dorsokraniales Überschreiten dieser Toleranzzone im Kiefergelenk vorlag. Auch eine Studie von Mito et al. konnte zeigen, dass eine Abweichung von  $\geq 0,7$  mm einen verlässlichen Indikator für eine intrakapsuläre Schädigung darstellt und signifikant mit klinischen Symptomen einer TMD assoziiert ist. Eine Studie von Greven et al. konnte anhand von Kondylographien und MRT-Aufnahmen zeigen, dass das Auftreten eines transversalen kondylären Versatzes bei symmetrischen Unterkieferbewegungen einen starken Indikator für eine TMD darstellt. Die Deviation einer Kondylenbewegung in der Größenordnung von 0,6-0,75 mm deutete auf eine Limitation des funktionellen Kiefergelenkspaltes und eine Störung der Kiefergelenke hin. Eine weitere Studie von Otsuka et al. stellte in einer MRT-Studie dar, dass eine Kiefergelenkbelastung nach retral auch aus neurologischem Blickwinkel betrachtet einen signifikanten Stresszustand darstellt. Künstlich erzeugte Kondylusverlagerungen beeinflussten die neurologische Aktivität von stressassoziierten Gehirnregionen deutlich. Die Schwelle hierfür lag bei 0,5-0,7 mm Auslenkung. Dabei konnte eine verstärkte Aktivität nicht nur in der Amygdala sichtbar gemacht werden, sondern auch im präfrontalen Kortex, sodass von einer unangenehmen Empfindung mit Bewusstsein ausgegangen werden konnte [23].

Die Zähne sind sehr gut innerviert, wobei die Tastempfindung über die schnellen Gamma-Fasern läuft. Generell liegt die Tastempfindung der Zähne bei 20-200  $\mu\text{m}$ , wobei der Oberkiefermolar mit 18-22  $\mu\text{m}$  den sensibelsten Zahn für statische und exzentrische Belastung darstellt. Hieraus resultiert eine hochsensible Empfindung [24]. Eine Studie von Shimasaki et al. zeigte anhand von MRTs, dass bei einer singulären Fehlbelastung des Oberkiefer-Molars in der Amygdala Aktivitäten im Sinne eines Fluchtreflexes ausgelöst werden. Auch eine Studie von Oda et al. zeigte, dass eine okklusale Interferenz von 0,5 mm eine signifikante neurologische Aktivität im sensorischen Kortex und in der Brodman's Area 46 auslöst [25].

Außerdem stellt der erste Molar den Schlüssel der Okklusion dar. Während des Wachstums und des Durchbruchs okkludiert der distobukkale Höcker des UK-6ers anterior der Crista transversa des OK-6ers. Diese verschlüsselt als retrusive Barriere die 6er in einer Klasse I. Des Weiteren sind die 6er in der Klasse I über den doppelten Tripodismus stabil verzahnt [4].



## 4 Kasuistiken - Klinisch praktische Anwendung im Alltag

Im zweiten Fortbildungsteil präsentierte Prof. Dr. Greven diverse Patientenfälle, die mittels der Multi-Loop Edgewise Archwire Technik (MEAW) therapiert wurden.



### 4.1 Allgemeiner Ablauf

Vor jeder Rekonstruktion oder Veränderung der Zahn-/ Zahnbogenmorphologie und -Position sind eine klinische Untersuchung, dreidimensionale Aufzeichnung der UK-Bewegung, Einartikulieren der Modelle sowie eine Modellanalyse absolut notwendig. Für die Gelenkbahnaufzeichnung findet bei Prof. Dr. Greven ein Kondylograph der Firma Gamma Dental Anwendung, da dieser sehr gut mit einem Artikulator kompatibel ist.

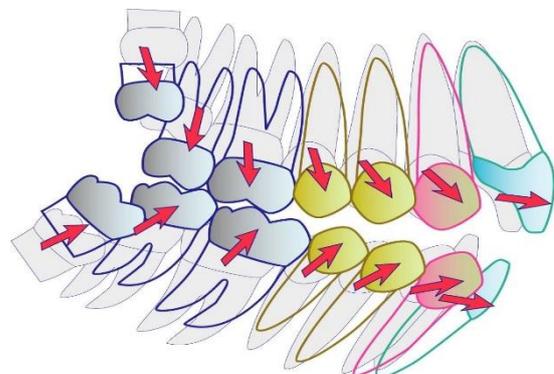
Nach Stellung der Diagnose wird die okklusale Rehabilitation unter strikter Beachtung der physiologischen Kondylenposition und unter Umsetzung der sequentiellen Führung mit Eckzahn-Dominanz umgesetzt. Die Situation nach erfolgter rekonstruktiver oder kieferorthopädischer Therapie kann im Follow-up erneut durch Kondylographie überprüft und ggf. adaptiert werden.

Als Retentionsgeräte nach Entbänderung verwendet Prof. Dr. Greven Hawley-Retainer.

Generelle Prinzipien zum Therapievorgehen sowie eine Auswahl an Fallbeispielen sind im Folgenden näher dargestellt.

### 4.2 Therapeutisches Vorgehen bei Klasse II

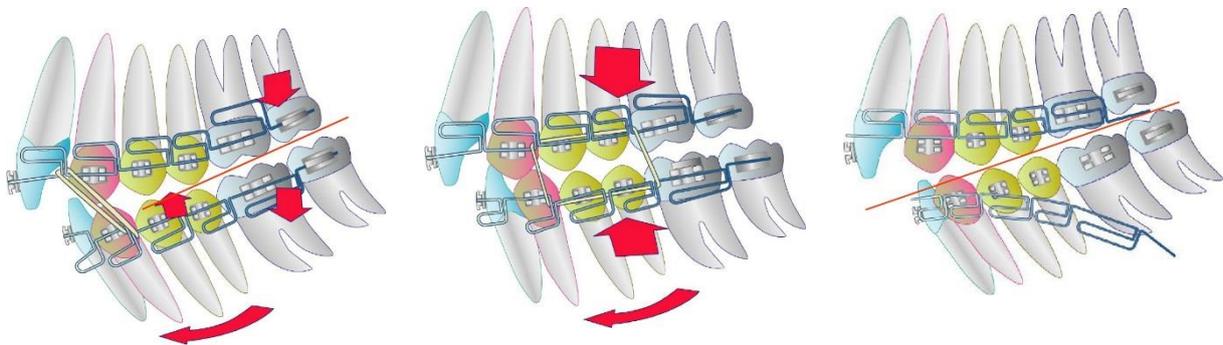
Charakteristisch für eine Klasse II ist unter anderem eine steile Okklusionsebene im posterioren Bereich des Oberkiefers. Diese ist bedingt durch eine posteriore Diskrepanz, die zu einem "Squeeze-out" der UK-Molaren führt. Die OK-Molaren sind dabei nur wenig durchgebrochen.



Diese steile Okklusionsebene bewirkt eine mandibuläre Rotation nach kaudal und dorsal, was neben einer Kompression im Kiefergelenk auch zu einem frontal offenen

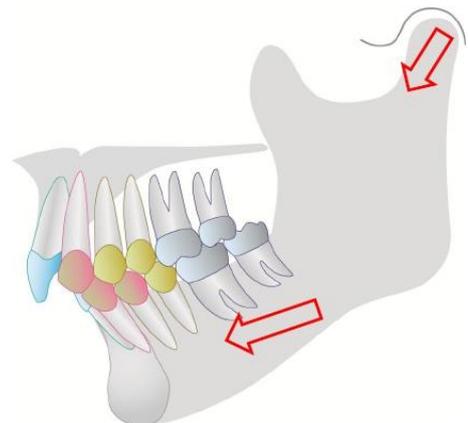
Biss führen kann.

Ein Behandlungsziel der Klasse II stellt deshalb das Abflachen der steilen Okklusionsebene durch Eliminierung der posterioren Diskrepanz in diesem Bereich dar. Dies wird durch eine Extrusion der Oberkiefermolaren und eine Intrusion der Molaren im Unterkiefer erreicht. So werden die Unterkiefermolaren mittels einer starken Intrusionsstufe im Multiloopbogen intrudiert, sodass die 6er und 7er vorübergehend diskluieren. Des Weiteren wird eine Extrusionsstufe im Prämolarenbereich eingebogen und die Oberkiefermolaren werden nachfolgend extrudiert. Parallel dazu muss der Patient anterior konsequent Gummizüge einhängen (3/16 inch, 6 oz).



Wichtig zur Kontrolle der Vertikalen ist neben der Entfernung der OK-8er außerdem vor allem die frühzeitige Entfernung der UK-8er. Auf diese Weise erhält der nach posterior rotierte Unterkiefer die Möglichkeit, sich nach anterior nach zu entwickeln bzw. ein zu rotieren.

Über die Prämolaren wird die Unterkieferposition auf einer flacheren Okklusionsebene eingestellt. Der wesentlichste Okklusionskontakt stellt hierbei der Kontakt des palatinalen Höckers des OK-4ers mit dem bukkalen Höcker des UK-4ers dar. Der Unterkiefer gleitet über diesen Vorkontakt nach anterior. Deshalb sollten die frontalen Kontakte nur so stark sein, dass in diesem Bereich eine Shimstockfolie noch leicht durchgezogen werden kann. Die UK-Molaren werden nachfolgend in ihrer Vertikalen gehalten, die OK-Molaren können sich dagegen vertikal nachentwickeln. Gegebenenfalls müssen die Frontzähne nachträglich leicht extrudiert werden, wenn sie durch die starke Extrusionsstufe im Prämolarenbereich intrudiert



wurden. Von einer Frontzahn-Extrusion mit frontalen Gummizügen rät Prof. Dr. Greven jedoch aufgrund der hohen Rezidivrate ab.

Stehen die Frontzähne in Supraposition, so kann mittels der Double-Arch-Wire-Technik ein zusätzlicher Intrusionsbogen im Frontzahnbereich angehängt werden.

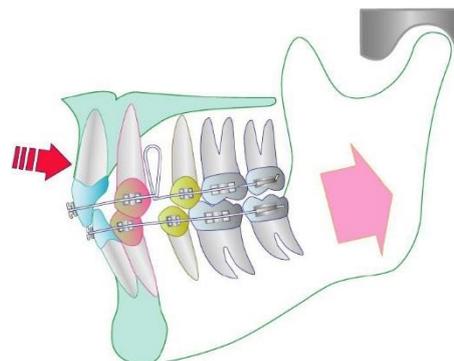
Fehlen die 4er bei einer Frühbehandlung noch, so kann man mit den Milchzähnen die bleibenden 4er imitieren, indem man durch Aufbau der Kaufläche einen Vorkontakt generiert. Die Schrägflächen müssen hierfür jedoch genau zur Kiefergelenkbahn passen, da sich ansonsten eine Klasse II auch verstärken kann.



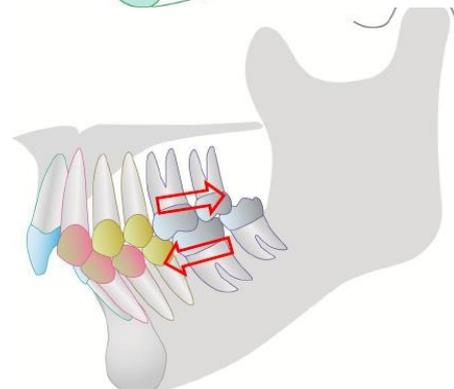
Ein Schwenk der Okklusionsebene von vier Grad ist ausreichend, um eine anteriore Rotation des Unterkiefers zu ermöglichen. Aufgrund der Rotationsbewegung macht sich die Veränderung im Mentonbereich nicht so stark bemerkbar.

Eine UK-Vorverlagerung von einer Prämolarenbreite macht am Kondylus eine Vorverlagerung von ungefähr drei Millimetern aus. Unmittelbar posttherapeutisch kann der Unterkiefer jedoch manuell noch nach retral geführt werden, was Jahre später meist nicht mehr möglich ist. Der genaue Effekt im Gelenk (knöcherner/ bindegewebige Umbauvorgänge) ist noch nicht abschließend geklärt und für den individuellen Patient nicht vorhersehbar.

Eine Prämolarenextraktion bei einer Klasse II sieht Prof. Dr. Greven als sehr kritisch an, da die mögliche Distanz zur Vorverlagerung des Unterkiefers dadurch verringert wird. Das Risiko, dass der Patient posterior im Gelenk verbleibt, ist erhöht.



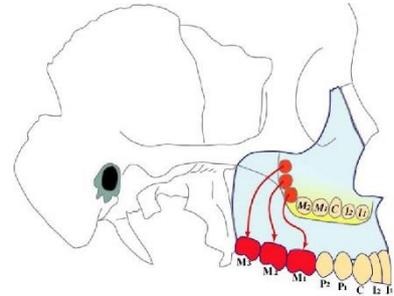
Die Distalisation der OK-Seitenzähne zur Einstellung einer neutralen Verzahnung führt zu einer Aufrichtung der Crista transversa des OK-Molaren nach distal und kranial, was der posterioren Abflachung der Okklusionsebene entgegen wirkt und den Unterkiefer eher distal hält.



Als Problem des Herbstscharniers zur Behandlung einer Klasse II sieht Prof. Dr. Greven die fehlende Kontrolle über die Extrusion der zweiten Oberkiefermolaren.

### 4.3 Therapeutisches Vorgehen bei Klasse III

Charakteristisch für eine Klasse III ist unter anderem eine flache Okklusionsebene. Diese resultiert aus einer Supraeruption, dem sogenannten „Squeeze-out“ der Zähne im OK-Molarenbereich. Außerdem kippen die posterioren Zähne nach mesial. Ursächlich hierfür ist ein Molarenengstand im Oberkiefer, der durch ein



Missverhältnis von Zahnbreite zu Kiefergröße bedingt ist und sich ebenfalls in einer Retention bzw. Impaktion der Weisheitszähne äußern kann. Die Supraeruption der Molaren führt zu einer Zunahme der Vertikalen und generiert okklusale Interferenzen im Molarenbereich. Funktionell wird dieser vergrößerte Vertikalabstand durch eine anteriore Rotation des Unterkiefers kompensiert. Die Klasse III stellt daher eher eine vertikal als anteroposterior bedingte Anomalie dar [12].

Bleibt die funktionelle Anpassung des Unterkiefers aus, so resultiert durch eine posteriore UK-Rotation ein frontal offener Biss. Prof. Dr. Greven zeigte hierzu zwei Patientenfälle (Alter: 13 und 16 Jahre) mit Entwicklung eines frontal offenen Bisses. Nach alleiniger Entfernung der Weisheitszähne ohne weitere Therapie korrigierten sich die Okklusionsebenen von selbst. Partiiell erfolgte der Schluss des offenen Bisses auch durch dentoalveoläre Kompensation (=Elongation) der Zähne.

Bei anderen hyperdivergenten Klasse III-Fällen werden an Stelle einer Extraktionstherapie oder einer kombiniert kieferorthopädisch-kieferchirurgischen Behandlung folgende Behandlungsziele konservativ mittels der MEAW umgesetzt:

- Beheben des Molarenengstands (=posteriore Diskrepanz) so früh wie möglich
- Versteilerung der flachen Okklusionsebene durch Kippung der Okklusionsebene
- Reduktion der Vertikalen im Molarenbereich durch Intrusion der OK-Molaren und Aufrichtung der UK-Molaren

Zunächst wird die posteriore Diskrepanz durch Extraktion aller 8er aufgelöst. Zur Vermeidung von Komplikationen während der Weisheitszahn-Extraktion werden teilweise anstatt der OK-8er die zweiten Molaren extrahiert, sofern die vorhandenen Weisheitszähne später in die Zahnreihe eingeordnet werden können. In diesen Fällen

müssen jedoch die UK-7er, solange der Antagonistenkontakt fehlt, in ihrem Durchbruch kontrolliert werden.

Nach der Nivellierungsphase werden zur Eliminierung der Interferenzen in beiden Kiefern Multiloopbögen mit progressiver Tip-back-Aktivierung im Prämolaren- und Molarenbereich eingegliedert. Parallel dazu trägt der Patient im Frontzahnbereich kurze Klasse III Gummizüge (3/16 inch, 6 oz). Nachfolgend wird zur Einstellung der Unterkieferposition die Tip-back-Aktivierung im Molarenbereich verstärkt und eine Extrusionsstufe im Prämolarenbereich eingebogen. Durch die Abnahme der Vertikalen im Molarenbereich wird der Unterkiefer nach distal geführt, der Overbite vergrößert sich. Zur Versteilerung des Okklusionsplanums werden die Tip-back-Biegungen aus den Multiloopbögen entfernt und eine Extrusionsstufe im Molarenbereich des Unterkiefers eingebogen. Abschließend erfolgt die Feinadjustierung hinsichtlich Führung und Interkuspitation.

#### **4.4 Therapeutisches Vorgehen bei mandibulärer MLV**

Aufgrund der meist unklaren Genese (Genetik, Trauma, Habits,...) dieser Dysgnathie werden Patienten mit Laterognathie meist kombiniert kieferorthopädisch-kieferchirurgisch therapiert. Ursächlich für eine Laterognathie kann jedoch auch eine unilaterale posteriore Diskrepanz sein. Deshalb ist es wichtig, prätherapeutisch jegliche Seitendifferenz hinsichtlich der vertikalen Dimension korrekt zu diagnostizieren.

Im vorliegenden asymmetrischen Fall lag eine Laterognathie sowohl in Kombination mit einer Klasse II als auch mit einer Klasse III vor, wobei die Vertikale auf der distal verzahnten Seite erniedrigt, auf der mesial verzahnten Seite erhöht war. Prof. Dr. Greven therapierte diesen Patienten ebenfalls konservativ mittels MEAW. Auf der Klasse II verzahnten Seite sollte der Unterkiefer durch stärkere Biegungen im Unterkiefer nach anterior kommen, auf der Klasse III verzahnten Seite sollte er sich durch verstärkte Biegungen im Oberkiefer neutral einstellen. Parallel dazu wurden einseitig kurze Klasse II- bzw. kurze Klasse III-Gummizüge getragen. Auf diese Weise verschlüsselte Prof. Dr. Greven zunächst die 6er, brachte danach die 7er und Prämolaren wieder in Kontakt und richtete abschließend die Frontzähne aus.

## 4.5 Kiefergelenksprobleme

### 4.5.1 Fall 1: Diskusverlagerung mit Reposition

Prof Dr. Greven zeigte eine Patientin, deren Lebensqualität durch Hörverlust, Tinnitus und Schwindel stark beeinträchtigt war. In der Kondylographie zeigten sich eine Diskusverlagerung mit Reposition sowie ein retrales Abgleiten des Kondylus bei Mundschluss um 2 mm, was ein kontinuierliches Mikrotrauma im Kiefergelenk auslöste. Auch im MRT konnten im präfrontalen Kortex sowie in der Amygdala Signale detektiert werden, die eine erhöhte Muskelaktivität anzeigten.



Nach 13 Monaten aktiver Behandlung mittels MEAW zeigte sich die Kondylographie normal und auch die Aktivität in den stressassoziierten Gehirnarealen reduzierte sich im MRT signifikant. Außerdem konnte im MRT eine Entlastung des betroffenen Kiefergelenks festgestellt werden. Die ursprünglichen Symptome der Patientin waren verschwunden.

### 4.5.2 Fall 2: Vollständige Diskusverlagerung

Diese 29-jährige Patientin gab anamnestisch starke Kopfschmerzen, eine Blockade bei der Mundöffnung sowie Schmerzen beim Kauen und Sprechen an. Die Diagnostik ergab eine vollständige Diskusverlagerung beidseits sowie eine einseitige bukkale Nonokklusion. In der Kondylographie wurde die therapeutische Okklusion 2 mm weiter anterior und 1 mm weiter lateral ermittelt. Zur Entlastung der bilaminären Zone wurde deshalb im Artikulator zunächst eine Schiene in dieser neu ermittelten Position angefertigt. Sowohl die Mundöffnung als auch die transversale Komponente verbesserten sich.

Für die nachfolgende kieferorthopädische Umsetzung der Okklusion mit Schiene in den Zahnbogen kommt es laut Prof. Dr. Greven nicht auf die identische Umsetzung der Schienenposition an. Jedoch muss die Behandlung mittels MEAW in die richtige Richtung (hier nach anterior) erfolgen. Als aufwändigere Alternative kann die Schiene während der kieferorthopädischen Behandlung partiell in Situ belassen und sukzessive reduziert werden.

Im vorliegenden Patientenfall zeigte ein posttherapeutisches MRT, dass die Disken nicht vollständig reponiert werden konnten. Jedoch zeigte sich im MRT sowohl

während der Schienentherapie als auch nach Abschluss der kieferorthopädischen Behandlung eine reduzierte Aktivität in der Amygdala.

#### 4.5.3 Fall 3: Sekundär frontal offener Biss bei chronisch rheumatoider Arthritis

Bei dieser 32-jährigen Patientin waren krankheitsbedingt beide Kiefergelenksköpfchen zerstört. Infolgedessen wurde durch Quetschung der bilaminären Zone die Vaskularisierung gestört. Mittels der MEAW-Technik konnte der offene Biss geschlossen werden. Im MRT zeigte sich, dass sich am Kondylus trotz Grunderkrankung wieder ein Knorpelüberzug oder eine fibröse Narbe bildete. Ein pufferndes Gewebe war somit posttherapeutisch zumindest wieder vorhanden.

#### 4.5.4 Fall 4: Verkürzte Kaureihe bei retralem Zwangsbiss

Bei diesem 35-jährigen Patient lag im Unterkiefer eine verkürzte Kaureihe vor. Außerdem gab er in der Anamnese starke Kopfschmerzen, Schmerzen im Bereich der HWS und der Schulter sowie häufige Kiefergelenksblockaden an. Die Kondylographie ergab eine physiologische UK-Lage 2-3 mm weiter anterior. Es folgte eine prothetische Gesamtanierung. Bereits im Wax-Up wurde ein Frühkontakt auf den palatinalen Höcker der OK-4er modelliert. Durch die stärkere Erhöhung der Vertikalen im posterioren Bereich im Vergleich zu anterior, konnte eine anteriore Rotation des Wachstums imitiert werden. Das Follow-up zeigte nach 15 Jahren einen anterior und transversal adaptierten Unterkiefer bei Beschwerdefreiheit. Dies wurde durch Bildung einer neuen IKP mit retrusiver Kontrolle und dynamischer Okklusion mit Eckzahn-Führung erreicht.



## 4.6 Take Home Message

Prof. Dr. Greven betont, die Behandlungen insgesamt früh anzufangen, um individuell angepasst Einfluss auf die Okklusionsebene nehmen zu können. Das beste Alter, um therapeutisch einzugreifen, liegt zwischen 6-9 Jahren. In dieser Phase stellen die 6er die einzigen Zähne mit Relief in der ansonsten flachen Milchdentition des Seitenzahnbereichs dar.

In den meisten Fällen sollten die 8er frühzeitig entfernt werden. Bei einer Klasse II sind dies v.a. die UK-8er, bei einer Kl. III die OK-8er. Für UK-8er kann die Enukleation bereits mit 10 Jahren vorgenommen werden.

Eine natürlich gewachsene Asymmetrie stellt ebenfalls eine Herausforderung an die Therapie, weshalb auch in diesen Fällen bereits eine Frühbehandlung begonnen werden sollte.

## 5 Schlussfolgerungen

Das Kauorgan stellt eine hoch komplexe Einheit dar. Sowohl Diagnostik als auch Therapie können nur durchgeführt werden, indem die Funktion in einem interdisziplinären Kontext analysiert wird. Eine frühe symptomlose Dysfunktion kann nur durch eine klinische und instrumentelle Funktionsanalyse entdeckt werden.

In jedem Entwicklungsstadium des Kauorgans sind die dynamischen Okklusionsebenen die entscheidenden Strukturen.

Außerdem ist eine physiologische Fossa-Kondylus-Diskus-Relation - sowohl in statischem als auch in dynamischem Zustand - nicht nur für das Wachstum, die Entwicklung und für eine harmonische Funktion des Kauorgans wichtig, sondern auch für fast alle benachbarten Organsysteme.

Das neuromuskuläre System wird konstant durch Zahnkontakte kontrolliert (Feedback-System). Somit stellt die IKP die höchste Dominanzstufe dar. Die Kontrolle der Okklusionsebene und des Führungssystems sind äußerst individuell. Die Wahl des Okklusionskonzeptes spielt in der Prävention und Therapie von funktionellen Problemen eine große Rolle - nicht nur für das Kauorgan [20].

## 6 Literaturangaben

1. Weinberg, L.A., *The role of stress, occlusion, and condyle position in TMJ dysfunction-pain*. J Prosthet Dent, 1983. **49**(4): p. 532-45.
2. Orthlieb, J.D., *The curve of Spee: understanding the sagittal organization of mandibular teeth*. Cranio, 1997. **15**(4): p. 333-40.
3. Myllarniemi, S., *Malocclusion in Finnish rural children An epidemiological study of different stages of dental development*. Suom Hammaslaak Toim, 1970. **66**(5): p. 219-64.
4. Slavicek, R., [*Functional determinants of the masticatory system*]. Zahnarzt, 1985. **29**(10): p. 663-4, 667-70, 673-4.
5. Fushima, K., et al., *Significance of the cant of the posterior occlusal plane in class II division 1 malocclusions*. Eur J Orthod, 1996. **18**(1): p. 27-40.
6. Tanaka, E.M. and S. Sato, *Longitudinal alteration of the occlusal plane and development of different dentoskeletal frames during growth*. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2008. **134**(5): p. 602 e1-11; discussion 602-3.
7. Cuccia, A. and C. Caradonna, *The relationship between the stomatognathic system and body posture*. Clinics (Sao Paulo), 2009. **64**(1): p. 61-6.
8. Hanke, B.A., E. Motschall, and J.C. Turp, *Association between orthopedic and dental findings: what level of evidence is available?* J Orofac Orthop, 2007. **68**(2): p. 91-107.
9. Enard, W., et al., *Intra- and interspecific variation in primate gene expression patterns*. Science, 2002. **296**(5566): p. 340-3.
10. Perry, G.H., B.C. Verrelli, and A.C. Stone, *Comparative analyses reveal a complex history of molecular evolution for human MYH16*. Mol Biol Evol, 2005. **22**(3): p. 379-82.
11. von Cramon-Taubadel, N., *Global human mandibular variation reflects differences in agricultural and hunter-gatherer subsistence strategies*. Proc Natl Acad Sci U S A, 2011. **108**(49): p. 19546-51.
12. Sato, S., *Case report: developmental characterization of skeletal Class III malocclusion*. Angle Orthod, 1994. **64**(2): p. 105-11; discussion 111-2.
13. Moss, M.L., *The functional matrix hypothesis revisited. 3. The genomic thesis*. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 1997. **112**(3): p. 338-42.
14. Petrovic, A., *Control of postnatal growth of secondary cartilages of the mandible by mechanisms regulating occlusion. Cybernetic model*. Trans Eur Orthod Soc, 1974: p. 69-75.
15. Petrovic, A. and J. Stutzmann, [*Control of postnatal growth of the facial skeleton. Experimental data and a cybernetic model*]. Actual Odontostomatol (Paris), 1979(128): p. 811-41.
16. Petrovic, A.G., J.J. Stutzmann, and C.L. Oudet, [*Control processes in postnatal growth of mandibular condyle cartilage*]. Rev Iberoam Ortod, 1986. **6**(1): p. 11-58.
17. Arnett, G.W., et al., *Soft tissue cephalometric analysis: diagnosis and treatment planning of dentofacial deformity*. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 1999. **116**(3): p. 239-53.
18. McNamara, J.A., Jr., *Functional adaptations in the temporomandibular joint*. Dent Clin North Am, 1975. **19**(3): p. 457-71.
19. McNamara, J.A., Jr. and D.S. Carlson, *Quantitative analysis of temporomandibular joint adaptations to protrusive function*. Am J Orthod, 1979. **76**(6): p. 593-611.

20. Greven, M.D.M.D.M.P., A.D.M. Landry, and A.D.M.D.M.P. Carmignani, *Comprehensive dental diagnosis and treatment planning for occlusal rehabilitation: a perspective*. *Cranio*, 2016. **34**(4): p. 215-7.
21. Lundeen, H.C., E.F. Shryock, and C.H. Gibbs, *An evaluation of mandibular border movements: their character and significance*. *J Prosthet Dent*, 1978. **40**(4): p. 442-52.
22. Tao, J., et al., *The study of grinding patterns and factors influencing the grinding areas during sleep bruxism*. *Arch Oral Biol*, 2015. **60**(10): p. 1595-600.
23. Otsuka, T., et al., *Effects of mandibular deviation on brain activation during clenching: an fMRI preliminary study*. *Cranio*, 2009. **27**(2): p. 88-93.
24. Enkling, N., et al., *Investigating interocclusal perception in tactile teeth sensibility using symmetric and asymmetric analysis*. *Clin Oral Investig*, 2010. **14**(6): p. 683-90.
25. Oda, M., et al., *Identification and adjustment of experimental occlusal interference using functional magnetic resonance imaging*. *BMC Oral Health*, 2014. **14**: p. 124.