

Aus der Klinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie  
(Direktor: Prof. Dr. Dr. J. Wiltfang)  
im Universitätsklinikum Schleswig-Holstein, Campus Kiel  
an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

**PROSPEKTIVE STUDIE ZUM EINFLUSS DER  
TRANSVERSALEN OBERKIEFERDISTRAKTION  
AUF DIE NASENATMUNG**

Inauguraldissertation  
zur  
Erlangung der Doktorwürde  
der Medizinischen Fakultät  
der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

vorgelegt von  
ROBERT SCHREMPF  
aus Crailsheim

Kiel 2011

1. BERICHTERSTATTER: PROFESSOR DR. DR. DR. H. C. K. WANGERIN

2. BERICHTERSTATTER: PROFESSOR DR. P. AMBROSCH

TAG DER MÜNDLICHEN PRÜFUNG: 21. AUGUST 2012

ZUM DRUCK GENEHMIGT, KIEL, DEN 21. AUGUST 2012

GEZ. PROFESSOR. DR. Y. AÇIL

FÜR TANJA



**I INHALTSVERZEICHNIS**

	<b>SEITE</b>
<b>I INHALTSVERZEICHNIS</b>	<b>I - III</b>
<b>II GLOSSARIUM</b>	<b>V</b>
<b>III EINLEITUNG</b>	<b>1</b>
Fragestellung	6
<b>IV MATERIAL UND METHODEN</b>	<b>7</b>
<b>1. Material</b>	<b>7</b>
1.1 Patientengut	7
1.2 Geräte, Verbrauchsmaterialien, Software	9
1.2.1 Rhinomanometrie	9
1.2.1.1 Hardware	9
1.2.1.2 Software	9
1.2.1.3 Sonstiges	9
1.2.2 Modellanalyse	10
1.2.3 Röntgen	10
1.2.3.1 Hardware	10
1.2.3.2 Software	10
1.2.4 Distraktoren	10
1.2.5 Statistik-Software	10
<b>2. Methoden</b>	<b>11</b>
2.1. Operatives Vorgehen	11
2.1.1 Standardverfahren der transversalen Oberkieferdistraktion	11
2.1.2 Hyrax <sup>®</sup> -Schraube	12
2.1.3 Fächerdehnschraube	12

	<b>SEITE</b>
2.1.4 Transpalatal Distractor nach MOMMAERTS (TPD®)	13
2.1.5 Distraktionsprotokoll	15
2.2. Messmethoden	16
2.2.1 Rhinomanometrie	16
2.2.2 Modellanalyse	19
2.2.2.1 Vordere Zahnbogenbreite im Oberkiefer nach PONT	19
2.2.2.2 Hintere Zahnbogenbreite im Oberkiefer nach PONT	19
2.2.3 Röntgenanalyse Schädel p.a.	20
<b>3. Versuchsdesign</b>	<b>22</b>
<b>4. Statistische Auswertung</b>	<b>22</b>
<b>V ERGEBNISSE</b>	<b>23</b>
<b>1. Rhinomanometrie</b>	<b>23</b>
1.1 Nasaler Volumenfluss	23
1.2 Nasaler Widerstand	29
<b>2. Modellanalyse</b>	<b>32</b>
<b>3. Röntgenanalyse Schädel p.a.</b>	<b>32</b>
<b>4. Korrelationen</b>	<b>33</b>
4.1 Auswirkung der transversalen Oberkieferdistraktion auf die Nasenatmung	33
4.2 Änderung der Nasenatmung in Abhängigkeit vom Ausgangszustand	36
<b>5. Vergleich der Distraktoren</b>	<b>38</b>

	<b>SEITE</b>
<b>VI DISKUSSION</b>	<b>39</b>
<b>1. Materialien und Geräte</b>	<b>39</b>
<b>2. Methodenkritik</b>	<b>39</b>
<b>3. Ergebniskritik</b>	<b>42</b>
3.1 Rhinomanometrie	42
3.1.1 Vergleich mit bestehenden Normwerten	44
3.2 Modellanalyse	46
3.3 Röntgenanalyse Schädel p.a.	46
3.4 Korrelationen	47
3.4.1 Auswirkung der transversalen Oberkieferdistraktion auf die Nasenatmung	47
3.4.2 Änderung der Nasenatmung in Abhängigkeit vom Ausgangszustand	48
3.5 Vergleich der Distraktoren	48
3.6 Einfluss der anatomischen Veränderungen auf die Nasenatmung	49
<b>4. Schlussfolgerung</b>	<b>51</b>
<b>VII ZUSAMMENFASSUNG</b>	<b>53</b>
<b>VIII LITERATURVERZEICHNIS</b>	<b>55</b>
<b>IX DANKSAGUNG</b>	<b>65</b>
<b>X LEBENSLAUF</b>	<b>67</b>





**II GLOSSARIUM**

Liste der in der vorliegenden Arbeit verwendeten Abkürzungen	
AAR	aktive anteriore Rhinomanometrie
Ap	Messpunkt an der Apertura piriformis
Av	Messpunkt am Oberkiefer-Alveolarfortsatz
FD a.o.	anterior offene Fächerdehnschraube
FD p.o.	posterior offene Fächerdehnschraube
FlexR / FlexL	nasaler Fluss expiratorisch rechts / links
FlinR / FlinL	nasaler Fluss inspiratorisch rechts / links
Flsumex	gesamter nasaler Fluss expiratorisch
Flsumin	gesamter nasaler Fluss inspiratorisch
GNE	Gaumennahterweiterung
Mx	Messpunkt an der Oberkieferbasis
n	Anzahl
Pa	Pascal
r	Korrelationskoeffizient nach PEARSON
r <sub>s</sub>	Korrelationskoeffizient nach SPEARMAN
RexR / RexL	nasaler Widerstand expiratorisch rechts / links
RinR / RinL	nasaler Widerstand inspiratorisch rechts / links
Schädel p.a.	Schädel-Röntgenaufnahme im posterior-anterioren Strahlengang
T1	Messzeitpunkt präoperativ
T2	Messzeitpunkt postoperativ
TPD <sup>®</sup>	Transpalatal Distractor, Distraktor nach MOMMAERTS
ZBH6_6	hintere Zahnbogenbreite
ZBV4_4	vordere Zahnbogenbreite



### **III EINLEITUNG**

Ein Fehlbiss kann einem Menschen oft schon von außen angesehen werden. Landläufig existieren Begriffe wie „Überbiss“ oder „Rückbiss“. Ersterer bezeichnet die Progenie mit einem im Verhältnis zum Oberkiefer zu langen Unterkiefer. Die Folge ist ein vorstehendes Kinn und eine ausgeprägt erscheinende Unterlippe. Prominente Vertreter hierfür sind beispielsweise die Angehörigen der Habsburger Dynastie („Habsburger Lippe“). Beim „Rückbiss“, der mandibulären Retrognathie, ist der Unterkiefer zu kurz für den Oberkiefer. Äußerlich resultiert ein fliehendes Kinn.

Ursache ist ein Fehlwachstum des Gesichtsschädels, bei dem Ober- und Unterkiefer in einer nicht regelhaften Position zueinander stehen. Eine seitliche Röntgenaufnahme des Schädels erlaubt die genaue Beurteilung dieser skelettalen Problematik.

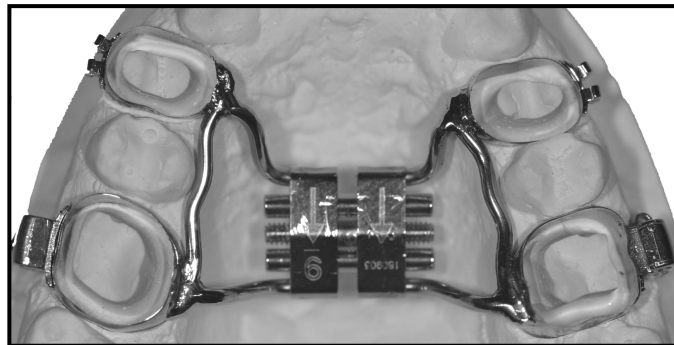
Daneben existiert das Problem der falschen Verzahnung von Ober- und Unterkiefer. Schließt der Betroffene den Mund, passen die Zahnbögen der beiden Kiefer nicht zueinander. Diese dentale Komponente eines Fehlbisses wird üblicherweise anhand von Gipsmodellen untersucht.

Zusätzlich zu den beschriebenen Missverhältnissen in anterior-posteriorer Richtung darf die Transversalebene nicht außer Acht gelassen werden. Auch hier sind die skelettale sowie die dentale Komponente zu beachten.

Der schmale knöcherne Oberkiefer ist häufig. Ein für den Oberkiefer zu schmaler Unterkiefer ist hingegen eine Rarität (62). Folge auf dentaler Ebene ist die transversale Zahnbogendiskrepanz. Sie wird im Gebiss durch ein- oder beidseitigen Kreuzbiss sichtbar.

Eine Schlüsselrolle bei der Erkennung des Kreuzbisses kommt dem Kieferorthopäden zu. Er diagnostiziert ihn bereits im Kleinkindesalter. Hierbei ist neben der klinischen Untersuchung die Analyse von Gipsmodellen von Ober- und Unterkiefer nötig. Die kieferorthopädische Behandlungsmethode der Wahl im Milchgebiss ist die Gaumennahterweiterung (GNE) mit einer Dehnplatte. Im bleibenden Gebiss kommt zumeist die im Folgenden beschriebene Hyrax<sup>®</sup>-Schraube zur Anwendung. Die Oberkieferzähne werden innerhalb mehrerer Monate überstellt. In der überwiegenden Zahl der Fälle kann der Kreuzbiss so dauerhaft erfolgreich beseitigt werden.

Erstmals beschrieb ANGELL 1860 die Methodik, den zu schmalen Oberkiefer mit Dehnapparaturen durch eine Gaumennahtsprengung zu behandeln (1). Er verklebte eine Schraubenapparatur zwischen den Oberkieferseitenzähnen. Durch Aktivierung zweier gegenläufiger Gewinde gelang es, die beiden Oberkieferhälften auseinander zu treiben. Mitte des vergangenen Jahrhunderts griffen DERICHSWEILER (27) und HAAS (39, 40) die Idee als GNE wieder auf. Beide stellten weiterentwickelte Geräte vor, die sich nicht nur an den Zähnen, sondern auch am Gaumen abstützten. Diese sollten die Kippung der Ankerzähne während der Dehnphase durch den Druck der Schraube vermeiden. BIEDERMANN konstruierte später die Hyrax<sup>®</sup>-Schraube (Abbildung 1) (15). Im Vergleich zu den o. g. Apparaturen erleichtert ihr graziler Aufbau die Mundhygiene. Gleichzeitig kann auch hier durch die körperliche Umfassung der Ankerzähne durch kieferorthopädische Bänder deren Kippung vermieden werden.



**Abbildung 1:** Hyrax<sup>®</sup>-Schraube, über Drahtarme an kieferorthopädischen Bändern fixiert

Mit der GNE wird die noch nicht (vollständig) verknöcherte Gaumennaht, die Sutura palatina, bei Kindern und Jugendlichen ohne chirurgische Maßnahmen geöffnet und verbreitert. Weiteres Wachstum führt dann zu einer fortschreitenden Verknöcherung der Suturen im Schädel, welche die Dehnung zunehmend behindert. Üblicherweise ist diese Verknöcherung bei jungen Frauen schon mit 14 bis 15 Jahren, bei jungen Männern erst mit 15 bis 16 Jahren abgeschlossen (53, 63, 64, 89, 90).

Wird dennoch versucht, den Oberkiefer beim Erwachsenen mit völlig verknöcherten Suturen zu dehnen, werden die Zähne seitwärts aus dem Kieferknochen gedrückt. Schäden am Zahnhalteapparat sind die Folge. Weiterhin besteht die Gefahr von Mikrofrakturen durch Stress auf Mittelgesicht und Schädelbasis (46, 73, 85).

Gelingt also die rein kieferorthopädische Überstellung des Kreuzbisses bis zum Ende des Wachstums nicht, kann der Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurg durch die im Folgenden erläuterte transversale Oberkieferdistraktion beitragen. Durch diese Operation kann die Verbreiterung des Oberkiefers auch bei Erwachsenen erfolgreich umgesetzt werden. Die Idee, den Oberkiefer durch eine Operation zu mobilisieren, um im Anschluss wieder eine Dehnapparatur einzusetzen, stammt aus den 70er Jahren. Bis heute wird mit Modifikationen nach der von BELL beschriebenen Methode operiert (11, 36, 54, 60, 69, 81). Sie beinhaltet einen horizontalen Sägeschnitt oberhalb der Zahnwurzeln zur Mobilisation des Oberkiefers. Zusätzlich wird mit einem Meißel der Processus pterygoideus als hinterer Pfeiler des Oberkiefers abgetrennt. Nach der Lösung dieser knöchernen Verbindungen zwischen Mittelgesicht und Oberkiefer wird der harte Gaumen in der Mittellinie der Länge nach sagittal durchtrennt. Danach können die beiden gelockerten Kieferhälften durch eine Dehnschraube auseinander getrieben werden. Meist kommt wie beim konservativen Vorgehen während des Wachstums wieder die oben beschriebene Hyrax<sup>®</sup>-Schraube zur Anwendung.

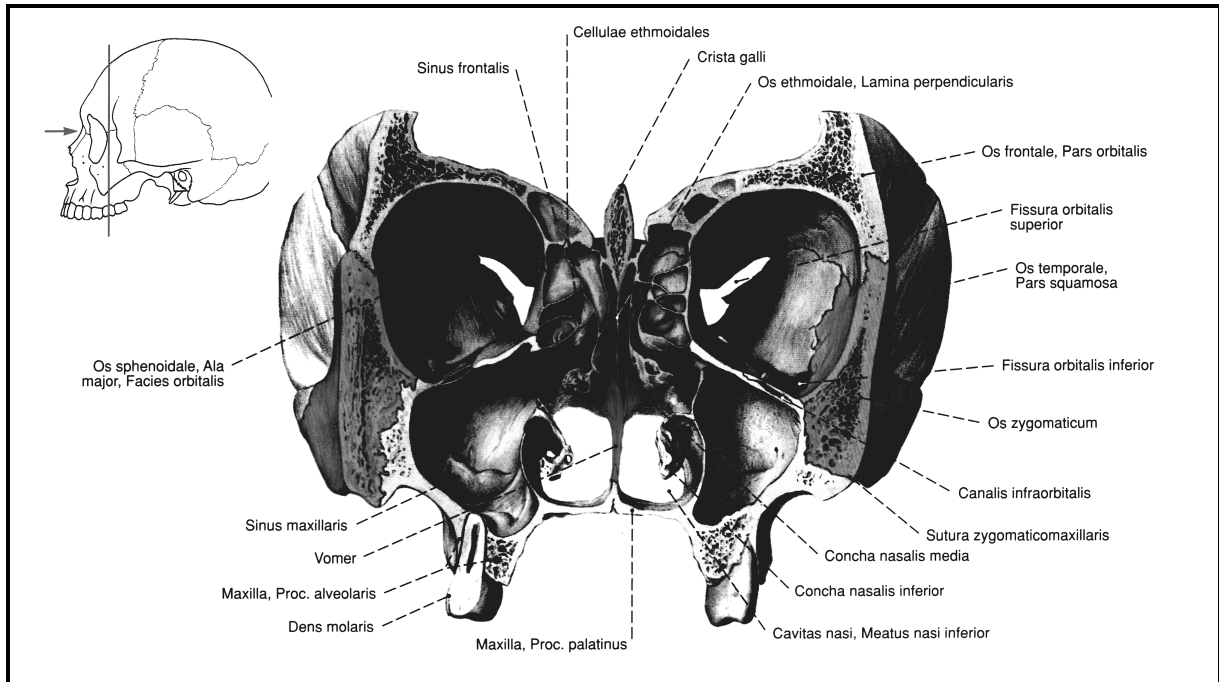
MOMMAERTS legte 1999 mit seinem „Transpalatal Distractor“ (TPD<sup>®</sup>) den Grundstein für eine neue knöchern verankerte Dehnschraube (Abbildung 2) (67). Durch direkte Fixierung des Geräts beidseits unter der Schleimhaut am Knochen des harten Gaumens wird die Belastung der Ankerzähne, die ungewollte Zahnbewegungen zur Folge hätte, ausgeschaltet. Der aktivierbare Teil des Geräts kommt in der Gaumenmitte zu liegen. Insbesondere bei Vorschädigung des Zahnhalteapparats oder wenn Zähne bereits verloren gegangen sind, wird der TPD<sup>®</sup> angewendet. Heute existiert eine Reihe unterschiedlicher knochenfixierter „Distraktoren“ (35, 41, 55, 78, 83).



**Abbildung 2:** Transpalatal Distractor (TPD<sup>®</sup>). Die Fußplatten sitzen unter der Schleimhaut dem harten Gaumen auf.

Die theoretischen Grundlagen zur „Distraction“ von Knochen lieferte CODIVILLA bereits 1905 (20). Er erkannte, dass die nach Durchtrennung knöcherner Strukturen einsetzenden Umbauvorgänge dazu genutzt werden können, um zusätzlichen Knochen zu gewinnen. In der zweiten Hälfte des vergangenen Jahrhunderts veröffentlichte ILIZAROV dann eine Vielzahl von Studien zur Distraction, insbesondere zur Verlängerung von Extremitäten (48). Auch die transversale Oberkieferdistraction bedient sich der Tatsache, dass bei der Expansion neuer Knochen im Distractionsspalt entsteht (54).

Die anatomischen Beziehungen zwischen Oberkiefer und Nase sind in Abbildung 3 nochmals veranschaulicht. Der größte Anteil des harten Gaumens wird durch die Maxilla (Oberkieferknochen) gebildet. Von kranial betrachtet handelt es sich hierbei um den Nasenboden. Auch die knöcherne Nasenöffnung (Apertura piriformis) ist Teil der Maxilla. Es ist leicht zu erkennen, dass ein schmaler Gaumen eine schmale innere Nase nach sich zieht. Auf der einen Seite resultiert der Kreuzbiss mit folglich falscher Verzahnung, auf der anderen Seite eine behinderte Nasenatmung.



**Abbildung 3:** Frontalschnitt durch den Gesichtsschädel mit Darstellung von Gaumen und knöcherner Nasenhöhle

Aus: Sobotta: Atlas der Anatomie des Menschen, 23. Auflage  
© 2010 Elsevier GmbH, Urban & Fischer Verlag München

Die Hauptaufgabe der Nase ist die Atmung. Der Widerstand, den die Atemluft bei Ein- und Ausatmung zu überwinden hat, muss sich für Wohlbefinden und Leistungsfähigkeit in bestimmten Grenzen bewegen. Im Bereich der äußeren Nase existieren mit äußerer und innerer Nasenklappe zwei Engstellen. Letztere wird für etwa 50 % des Atemwegwiderstands verantwortlich gemacht (52). Fluss und Widerstand des Atemstroms ändern sich durch den physiologischen Schwellungszyklus der Nasenschleimhaut ständig. Dieser Zyklus ist an der Schleimhaut der unteren Nasenmuscheln besonders ausgeprägt und beeinträchtigt die Nasenatmung. Mit einem Rhythmus von etwa zweieinhalb Stunden wechseln sich beide Seiten ab (59).

Die Nasenatmung stellt für den Menschen den Normalfall dar. Kann über diesen Weg nicht genug Atemluft aufgenommen werden, wird der Betroffene zum Mundatmer. Durch den geöffneten Mund kann der erhöhte Widerstand im Bereich der Nase umgangen werden. Folge ist ein Austrocknen der Mundhöhle, das die

Karieshäufigkeit ansteigen lässt. Die gleichzeitig oft vorliegende unnatürliche Zungenlage wirkt sich insbesondere bei Kindern negativ auf die Entwicklung der Kiefer und der Zahnstellung aus. Somit wird die Reinigung der Zähne erschwert und das Kariesrisiko steigt weiter. Da die Nase ihre Filterfunktion nicht mehr ausüben kann, erhöht sich ebenso das Auftreten von Infektionen der unteren Atemwege. Auch von schädlichen Auswirkungen auf die Statik der Wirbelsäule durch falsche Beanspruchung der Atemmuskulatur wird berichtet (7).

Zur Beurteilung der Nasenatmung hat sich die Rhinomanometrie als Routinemethode etabliert. Nach Erstbeschreibung durch SEMAREK 1958 konnte BACHMANN die Bedeutung herausstellen und zur weiten Verbreitung beitragen (6, 66, 84). Nach COLE zeigt sie das Vorhandensein, die Seite, die Lokalisation und die Schwere einer Nasenatmungsbehinderung (23).

### **Fragestellung**

1. Gibt es verlässliche dentale und skelettale Messpunkte zur Beurteilung der Auswirkungen der transversalen Oberkieferdistraktion?
2. Ändern sich nasaler Fluss und Widerstand, gemessen mit Hilfe der aktiven anterioren Rhinomanometrie, durch transversale Oberkieferdistraktion?
3. Wenn ja, profitieren die behandelten Patienten durch diesen Eingriff aufgrund einer postoperativ besseren Nasenatmung?
4. Sind diese Veränderungen anhand der verwendeten Messpunkte vorhersagbar?
5. Kann die Verbesserung der Nasenatmung als Indikation zur transversalen Oberkieferdistraktion herangezogen werden?



## **IV MATERIAL UND METHODEN**

### **1. Material**

#### **1.1 Patientengut**

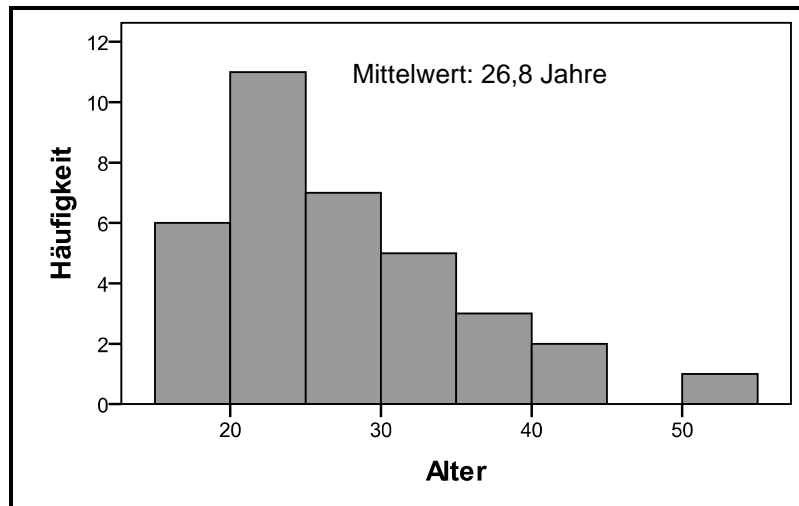
Alle 75 untersuchten Patienten stammen aus dem Patientengut der Klinik für Mund-, Kiefer- und plastische Gesichtschirurgie am Marienhospital Stuttgart. Die transversale Oberkieferdistraktion wurde als Vorbereitung auf die später geplante Umstellungsosteotomie der Kiefer aufgrund eines auch in anterior-posteriorer Richtung vorliegenden schweren Fehlbisses durchgeführt. Eine gleichzeitig bestehende transversale Zahnbogendiskrepanz bei schmalem Oberkiefer sollte so im ersten operativen Schritt behoben werden.

Das Alter der Patienten lag zwischen 17 und 52 Jahren mit einem Mittelwert bei 27,2 Jahren. 46 Patienten im Alter von 18 bis 52 Jahren (Mittelwert 26,8 Jahre) waren weiblich. 29 Patienten waren männlich, diese im Alter von 17 bis 48 Jahren (Mittelwert 27,8 Jahre).

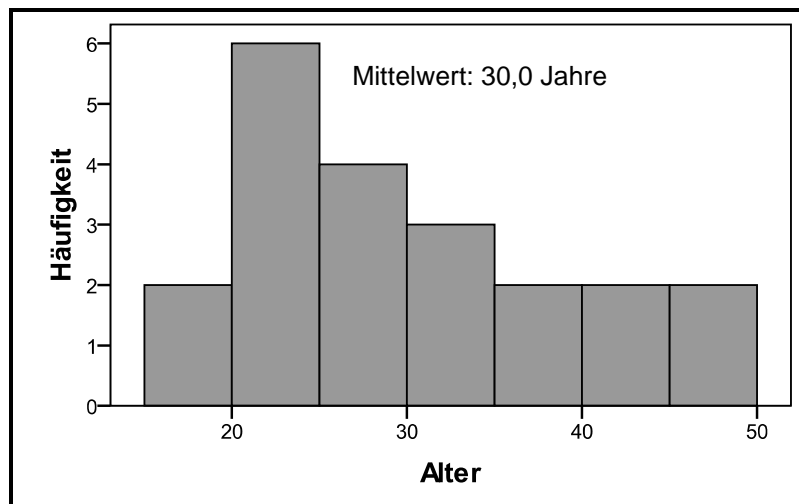
Es konnte eine große homogene Gruppe von 56 Patienten gebildet werden, die die Daten für die statistische Auswertung lieferte. Alle diese Patienten waren gesund und wurden mit der Hyrax<sup>®</sup>-Schraube behandelt. 35 Patienten waren weiblich und 21 waren männlich. Bei den Frauen reichte das Alter von 18 bis 52 Jahre, bei den Männern von 18 bis 48 Jahre. Die Altersverteilung ist mit Mittelwert in den folgenden Abbildungen 4 und 5 dargestellt.

Bei sieben Patienten kam die Fächerdehnschraube zum Einsatz, der TPD<sup>®</sup> bei acht Patienten. Diese insgesamt 15 Fälle wurden aufgrund der geringen Fallzahl nur einer beschreibenden Statistik unterzogen.

Vier Patienten mit Lippen-, Kiefer-, Gaumenspalte wurden vor den statistischen Berechnungen ausgeschlossen.



**Abbildung 4:** Altersverteilung weiblich



**Abbildung 5:** Altersverteilung männlich

Die Patienten wurden zu zwei Zeitpunkten im Abstand von mindestens 3 und maximal 36 Monaten untersucht:

T1 : präoperativ

T2 : postoperativ nach Abschluss der Retentionsphase und Lückenschluss in der Oberkieferfront

Zu diesen Zeitpunkten erfolgten die rhinomanometrischen Untersuchungen und es wurden Gipsmodelle des Oberkiefers sowie Schädel p.a.- Röntgenbilder angefertigt.

## 1.2 Geräte, Verbrauchsmaterialien und Software

### 1.2.1 Rhinomanometrie

#### 1.2.1.1 Hardware

- Messeinheit: MasterScope Rhino, Erich Jaeger GmbH, Höchberg, Vertrieb durch Viasys Healthcare, Höchberg

Technische Daten:

- Choanaldruck  $\pm 1$  kPa
  - Flussmessung: JAEGER Pneumotachograph
  - Flussbereich 0 bis  $\pm 20$  l/s
  - Flussgenauigkeit 0,2 - 12 l/s  $\pm 2$  %
  - Widerstand  $< 0,05$  kPa/ (l/s) bei 10 l/s
  - Volumenbestimmung durch digitale Integration
  - Volumenbereich 0 bis  $\pm 20$  l
  - Volumenauflösung:  $< 1$  ml
- Rechner: Personal Computer mit Intel Pentium Prozessor

#### 1.2.1.2 Software

- Betriebssystem: Windows XP, Version 5.1
- Messprogramm LabManager, Version 4.67.0.1, Erich Jaeger GmbH
- Modul Rhinomanometrie, Version 4.65.4.2, Erich Jaeger GmbH
- Modul Statistic Export, Version 4.65.1.0, Erich Jaeger GmbH

#### 1.2.1.3 Sonstiges

- Nasenmasken mit durchsichtiger Schale: im Lieferumfang
- Nasenadapter: Schaumstoffadapter, REF 105.2017.0 (Größe 2) und REF 105.2018.0 (Größe 3), ATMOS Medizin Technik GmbH & Co. KG, Lenzkirch
- Nasenspray zur Vasokonstriktion: Naphazolinchlorid-Nasentropfen 0,05 %, hergestellt durch die Hausapotheke

### 1.2.2 Modellanalyse

- Kieferorthopädische Situationsmodelle aus Alabastergips oder Superhartgips nach Abformung mit konfektioniertem Abformlöffel und Abformmasse aus Alginat
- Orthodontisches diagnostisches Besteck nach Prof. Dr. Dr. Korkhaus, Fa. Seitz & Haag, Giessen

### 1.2.3 Röntgen

#### 1.2.3.1 Hardware

- Röntgengerät Sirona Orthophos DS CEPH, Sirona Dental Systems GmbH, Bensheim

#### 1.2.3.2 Software

- J-Vision Version 3.3.13, TIANI Medgraph AG, Brunn / Gebirge, Österreich

### 1.2.4 Distraktoren

- Hyrax<sup>®</sup>-Schraube: Fa. Dentaurum KG, Ispringen
- Fächerdehnschrauben: Ragno-Schraube, Fa. Leone, Sesto Fiorentino – Florenz, Italien
- Transpalatal Distractor nach MOMMAERTS (TPD<sup>®</sup>), Fa. Surgitech, Brügge, Belgien

Die beiden erstgenannten Apparaturen wurden durch das Dentallabor des behandelnden Kieferorthopäden in die Dehnapparatur eingearbeitet. Die Patienten brachten diese dann zur Operation mit. Der TPD<sup>®</sup> wurde als Verbrauchsmaterial von der Klinik bereitgestellt.

### 1.2.5 Statistik-Software

PASW Statistics 17.0, Ausgabe 17.0.2, SPSS GmbH, München

## **2. Methoden**

### **2.1 Operatives Vorgehen**

#### **2.1.1 Standardverfahren der transversalen Oberkieferdistraktion**

Der Eingriff wird unter stationären Bedingungen vorgenommen. Er wird in oraler Intubationsnarkose durchgeführt.

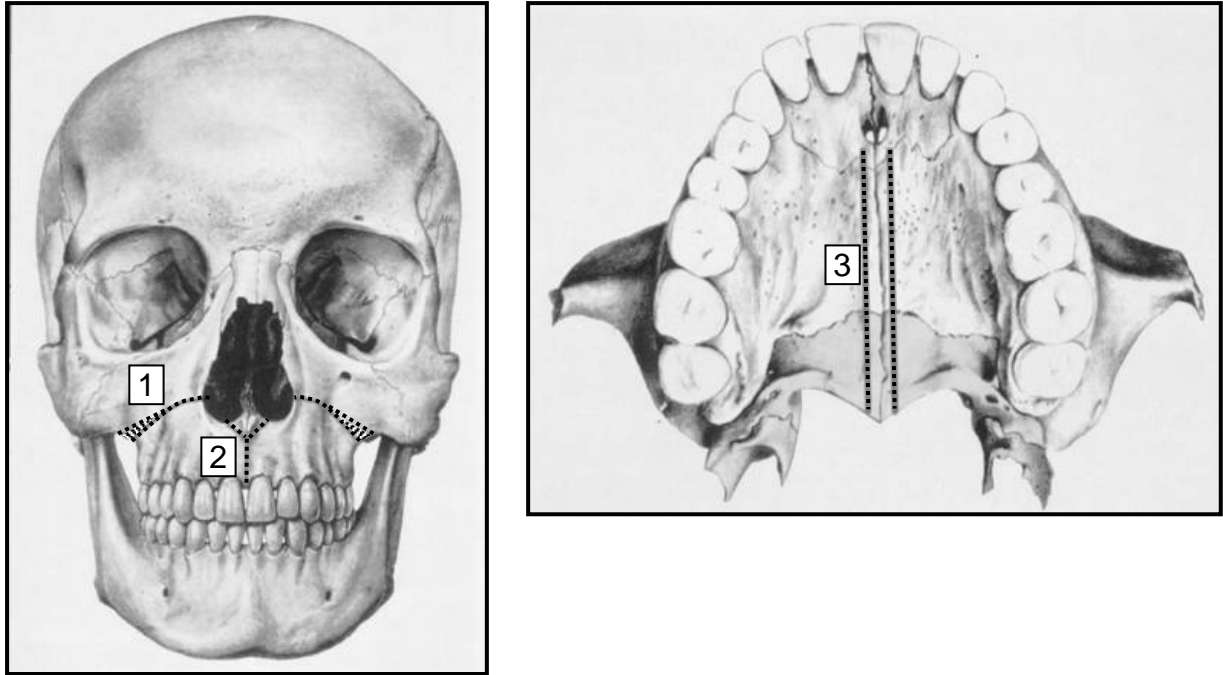
In einem ersten Schritt findet die Durchtrennung der knöchernen Verbindungen des Oberkiefers zum Gesichtsschädel in der Le Fort I-Ebene statt. Es erfolgt eine horizontale Osteotomie mit der längsoszillierenden Säge von der Crista zygomaticoalveolaris durch die faziale Kieferhöhlenwand bis zur Apertura piriformis auf beiden Seiten. Die Osteotomielinie sollte hierbei möglichst geradlinig verlaufen. Zusätzlich werden im Bereich der Crista zygomaticoalveolaris kleine Knochensegmente entfernt. Dies dient dazu, die Distraktion der beiden Oberkieferanteile nach lateral nicht zu stören und deren Kippung zu vermeiden (Abbildung 6).

Es folgt die vorsichtige Osteotomie des Alveolarfortsatzes in der Medianen zwischen den beiden Inzisivi des Oberkiefers mit dem Lambotte-Meißel. Zahnschäden müssen hierbei vermieden werden. Zuvor wird die Spina nasalis anterior V-förmig von der Prämaxilla gelöst, so dass sie am knorpeligen Nasenseptum gestielt bleiben kann.

Der dritte Schritt beinhaltet die beidseitige paraseptale Osteotomie entlang der Raphe palatina von der Gaumenseite aus. Hier wird das Os palatinum durch zwei Osteotomielinien von der A-Linie bis etwa zur Prämaxilla mit einer kleinen Fräse durchtrennt (Abbildung 7).

Die beiden so entstandenen Oberkiefersegmente werden nun gegeneinander und gegen den Gesichtsschädel mobilisiert. Nach dem Wundverschluss wird als letzter Schritt der Distraktor befestigt.

Eine Durchtrennung der lateralen Nasenwände fand nicht statt. Ebenso wurde auf eine vollständige Osteotomie des Processus pterygoideus in dieser Studie verzichtet.



**Abbildung 6 und 7:** Osteotomielinien zur transversalen Oberkieferdistraktion (gestrichelt dargestellt): Le Fort I-Osteotomie (1), mediane Osteotomie mit Aussparung der Spina nasalis anterior (2) und beidseits paraseptale Osteotomie (3).

Schraffiert dargestellt: Segmentosteotomien zur Vermeidung von Kippungen der mobilen Oberkieferanteile während der transversalen Oberkieferdistraktion

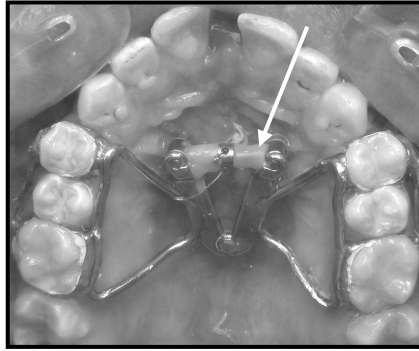
Beide Abbildungen aus: Sobotta: Atlas der Anatomie des Menschen, 23. Auflage  
© 2010 Elsevier GmbH, Urban & Fischer Verlag München

### 2.1.2 Hyrax<sup>®</sup>-Schraube

Hierbei handelt es sich um ein dental fixiertes Gerät. Es kommt am Gaumendach zu liegen und ist über Drahtarme an kieferorthopädische Bänder um die ersten Prämolaren und Molaren im Oberkiefer gelötet (Abbildung 1).

### 2.1.3 Fächerdehnschraube

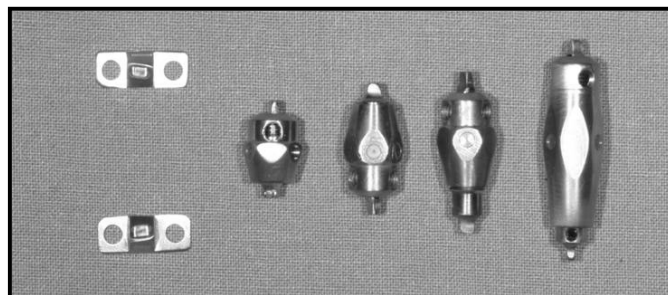
Auch die Fächerdehnschraube ist ein dental fixiertes Gerät. Der prinzipielle Aufbau der Dehnapparatur entspricht dem der Hyrax<sup>®</sup>-Schraube. Jedoch kann durch die Konstruktion als Scharnier einem unterschiedlichen Platzbedarf im vorderen und hinteren Zahnbogenbereich Rechnung getragen werden. So wird die Schraube entweder mit Öffnung nach anterior oder nach posterior in das Gerät eingearbeitet (Abbildung 8).



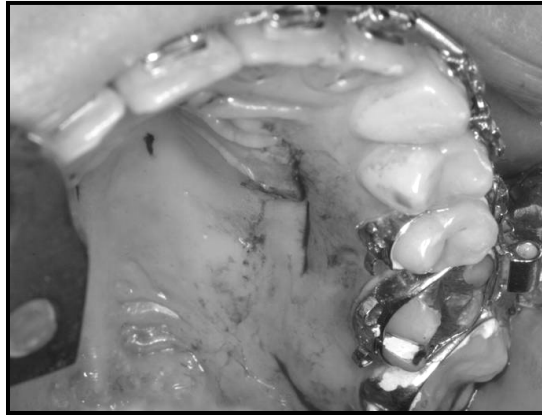
**Abbildung 8:** Fächerdehnschraube zur anterioren Dehnung des Oberkiefers. Das Distraktionsende ist erreicht, es ist ein Diastema zwischen den beiden mittleren Schneidezähnen entstanden. Das Gewinde ist mit Kunststoff versehen, um ein Zurückdrehen zu verhindern (Pfeil).

#### 2.1.4 Transpalatal Distractor nach MOMMAERTS (TPD®)

Dieses Gerät ist über Fußplatten subperiostal knöchern am harten Gaumen fixiert. Die Fußplatten werden über kleine Inzisionen in Höhe des zweiten Prämolaren unter die Schleimhaut gebracht und über Minischrauben befestigt. Anschließend wird die Distraktorwelle in die vorgesehenen Aufnahmen eingesteckt (Abbildungen 9, 10, 11 und 12). Zur Anwendung kommt es im Lückengebiss oder bei einem vorgeschädigten Zahnhalteapparat. Die Distraktorwelle verfügt über einen Außen-Sechskant, bei dem jede zweite Fläche farblich gekennzeichnet ist.



**Abbildung 9:** Transpalatal Distractor (TPD®); Fußplatten und Distraktorwellen in vier verschiedenen Größen



**Abbildung 10:** T-förmige gaumenseitige Inzisionen zur Fixierung des Transpalatal Distractor (TPD<sup>®</sup>)



**Abbildung 11:** Die Fußplatten des Transpalatal Distractor werden über die Inzisionen subperiostal platziert.



**Abbildung 12:** Die Distraktorwelle des Transpalatal Distractor in passender Größe wird in die vorgesehenen Aufnahmen der Fußplatten gesteckt.



### 2.1.5 Distraktionsprotokoll

Vier Tage postoperativ wird mit der Distraction im Oberkiefer begonnen. Zu diesem Zeitpunkt hat die Kallusbildung eingesetzt, die die Voraussetzung für die Knochenneubildung darstellt. Nach vorheriger Instruktion werden die Aktivierungen zwei Mal täglich im Abstand von zwölf Stunden durch den Patienten selbst vorgenommen. Kontrollen durch den Chirurgen oder den Kieferorthopäden erfolgen wöchentlich. Der Kieferorthopäde legt auch anhand seiner Platzanalyse das Ende der Distraction fest.

Bei der Hyrax<sup>®</sup>-Schraube erfolgt pro Aktivierung  $\frac{1}{4}$  Umdrehung, was bei einem Gewindehub von 0,8 mm einer Distaktionsstrecke von 0,2 mm entspricht.

Auch die Fächerdehnschraube weist einen Hub von 0,8 mm pro Umdrehung auf. Somit bedeutet eine Aktivierung, bei der ebenfalls  $\frac{1}{4}$  Umdrehung vorgenommen wird, eine Distaktionsstrecke von 0,2 mm am Gewinde. Bedingt durch die Dreiecks-Geometrie ist diese Strecke je nach Abstand von der Scharnierachse unterschiedlich.

Die Aktivierung des TPD<sup>®</sup> geschieht durch Drehung der Welle bis zur nächsten Farbmarkierung, also  $\frac{1}{3}$  Umdrehung. Bei einem Gewindehub von 1,0 mm entspricht dies 0,33 mm Distaktionsstrecke.

Je nach Distaktionsgerät werden die beiden Oberkiefersegmente also zweimal täglich um  $\frac{1}{5}$  bis  $\frac{1}{3}$  mm auseinander getrieben. Das Distaktionsende wird durch den Kieferorthopäden nach Modellanalyse festgelegt. Es schließt sich eine mindestens sechsmonatige Retentionsphase an, bei der das Gerät ohne weitere Aktivierung im Oberkiefer des Patienten verbleibt. In dieser Zeit werden die Schrauben gegen ein versehentliches Zurückdrehen gesichert. In die Distraktorwelle des TPD<sup>®</sup> wird hierzu eine Sicherungsschraube eingebracht. Die anderen Schrauben werden z. B. durch Auftragen von lichthärtendem Kunststoff geblockt.

## 2.2 Messmethoden

### 2.2.1 Rhinomanometrie

Bei der hier verwendeten aktiven anterioren Rhinomanometrie (AAR) werden für beide Seiten nacheinander zwei Messwerte bestimmt:

1. Der Differenzdruck zwischen dem Naseneingang und dem Nasenausgang (Choanen). Er wird zur Überwindung des Reibungswiderstands benötigt.
2. Der Volumenstrom durch die Nase als Durchflussmenge pro Zeiteinheit.

Diese beiden Messungen haben synchron zu erfolgen. Ihre Beziehung zueinander wird in der Strömungswiderstandskurve dargestellt. Der dargestellte Widerstand ist hierbei kein direkter Messwert sondern eine in Anlehnung an das OHM'sche Gesetz berechnete Größe. Die AAR ist aussagekräftig sowie einfach und schnell durchzuführen. Sowohl zum aktuellen Stand als auch zu Veränderungen der Durchgängigkeit, z. B. nach operativen Eingriffen, lassen sich konkrete Aussagen machen (6, 45, 79).

Die Messung erfolgt für beide Seiten getrennt. Über die nicht untersuchte Seite wird der Choanaldruck am äußeren Nasenloch abgenommen. Die Nasenhöhle dieser Seite wirkt hierbei nur als Verlängerung. Technische Durchführung und Auswertung erfolgen standardisiert (18, 19):

Ein Nasenloch wird mit einem Schaumstoffadapter verschlossen. Die Messung des Volumenflusses erfolgt an der freien Seite über eine dicht abschließende Nasenmaske. Der Choanaldruck kann durch einen in den Schaumstoffadapter integrierten Schlauch abgenommen werden. Der Patient atmet pro Messung bei geschlossenem Mund etwa fünf Atemzüge. Das Messprogramm berechnet aus diesen den arithmetischen Mittelwert.

Wichtig ist, dass der Schaumstoffadapter das Nasenloch dicht verschließt ohne den Nasenflügel zu verformen. Auch die Nasenmaske darf nicht auf die Nase drücken. Über die durchsichtige Schale besteht die Möglichkeit der Beobachtung.

Vor Messbeginn wird das Gerät kalibriert und alle Schläuche werden auf Durchgängigkeit überprüft. Der luftdichte Sitz von Nasenadapter und Maske wird ebenfalls kontrolliert.

Der Patient bereitet sich durch Ausschneiden der Nase vor. Es werden zwei Sprühstöße Naphazolinchlorid-Nasentropfen pro Seite appliziert, die vor Messbeginn 10 Minuten einwirken. Es wird eine aufrechte Haltung eingenommen.

Das Herzstück des Geräts ist ein Pneumotachograph, der über einen angeschlossenen Messwandler die gewünschten Daten erzeugt.



Quelle: Viasys

**Abbildung 13:** Rhinomanometrie-Messplatz

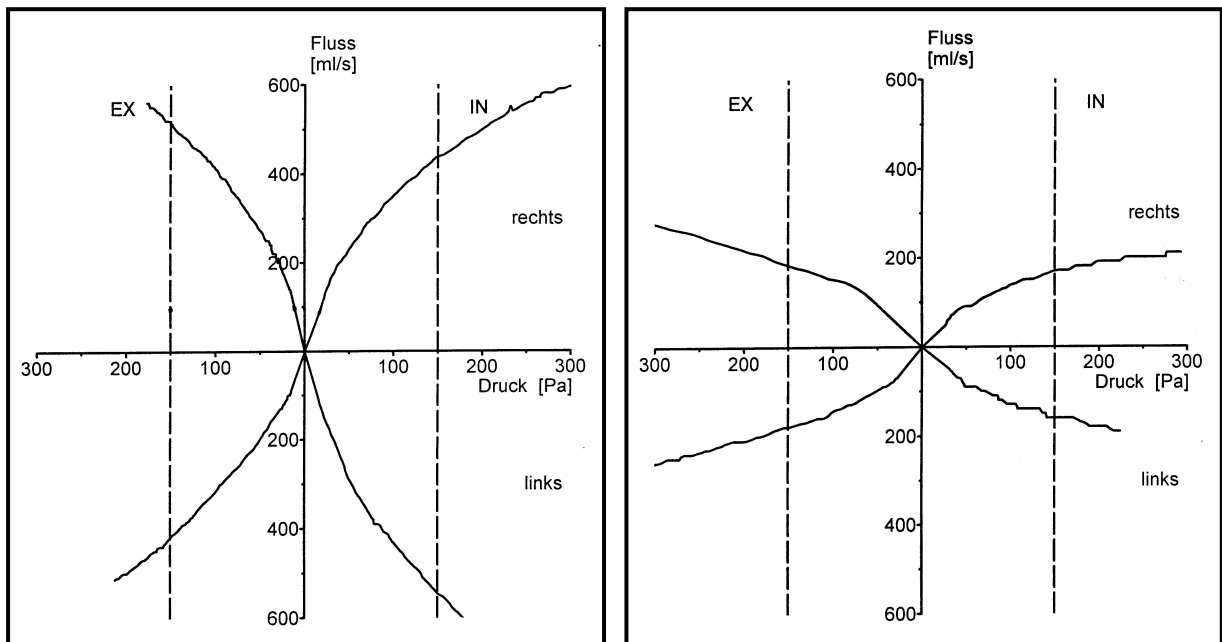
Sowohl der inspiratorische als auch der expiratorische Flusswert werden nacheinander getrennt für die linke (FlinL/FlexL) und die rechte Nasenseite (FlinR/FlexR) aufgezeichnet. Parallel werden inspiratorischer und expiratorischer Widerstand des vorderen Nasenabschnitts für jede Seite (RinL/RinR/RexL/RexR) berechnet.

Es entstehen S-förmige Widerstandskurven für beide Seiten, die am Bildschirm ausgegeben werden. Sie enthalten die vollständige Information der Untersuchung und haben immer die gleiche Grundform. So können anhand des Verlaufs fehlerhafte Messungen erkannt und verworfen werden. Je höher der Widerstand ist, desto näher an der x-Achse verläuft die Kurve.

Aufgrund der Tatsache, dass der Widerstand durch zunehmende Turbulenz im Verlauf des Atemzugs überproportional zum Fluss ansteigt, ist die Kurve gekrümmt. Die Elastizität insbesondere der Nasenklappe und ihre Erweiterung bei der

Einatmung führen zu unterschiedlichen Kurven bei Expiration und Inspiration. Diese werden getrennt voneinander aufgezeichnet.

Fluss- und Widerstandswerte an den Druckschwellen bzw. Differenzdruck-Werten 75 Pa, 150 Pa und 300 Pa werden als Zahlenwerte ausgegeben. Diese werden gespeichert und können zur späteren Auswertung als Datensatz exportiert werden. Zusätzlich ergeben sich Messwerte für den maximalen Fluss bei Inspiration und Expiration, jeweils getrennt für die rechte und die linke Seite (31, 79).

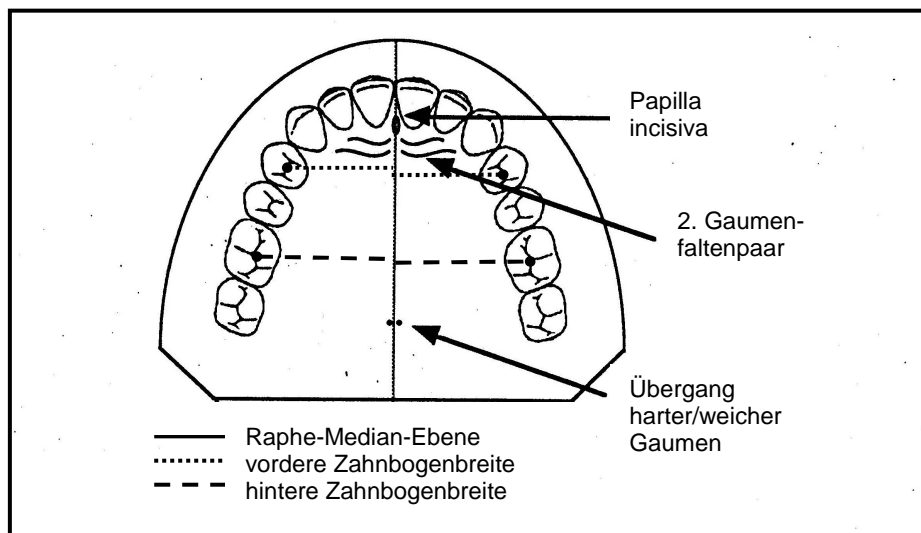


**Abbildung 14:** Beispiele für rhinomanometrische Widerstandskurven

links: normale Nasenatmung  
rechts: eingeschränkte Nasenatmung

### 2.2.2 Modellanalyse

Die Bestimmung der transversalen Zahnbogenbreite nach PONT (76) wurde entsprechend der zweidimensionalen kieferorthopädischen Modellanalyse zur Befunderhebung und Therapieplanung bei Fehlbissen durchgeführt. Unterteilt wird in die vordere und die hintere Zahnbogenbreite. Diese sind durch die Abstände zwischen den beiden ersten Prämolaren beziehungsweise den beiden ersten Molaren gegeben. Ausgehend von der Raphe-Median-Ebene wird zu den Messpunkten auf beiden Seiten gemessen (Abbildung 15) (76, 77). Die Zahnbogenbreiten werden mit dem KORKHAUS-Zirkel abgenommen.



**Abbildung 15:** Konstruktion von vorderer und hinterer Zahnbogenbreite auf dem Gipsmodell des Oberkiefers

#### 2.2.2.1 Vordere Zahnbogenbreite im Oberkiefer nach PONT (76)

Messpunkt für die vordere Zahnbogenbreite ist der tiefste Punkt der Querrissur des ersten Prämolaren auf beiden Seiten (vgl. Abbildung 15).

#### 2.2.2.2 Hintere Zahnbogenbreite im Oberkiefer nach PONT (76)

Messpunkt ist der Schnittpunkt der Querrissur mit der nach bukkal auslaufenden Fissur am ersten Molaren (vgl. Abbildung 15).

### 2.2.3 Röntgenanalyse Schädel p.a.

Der Patientenkopf wird so ausgerichtet, dass sowohl Objektebene als auch Filmebene senkrecht zum Zentralstrahl stehen. Über einen Kephalostaten mit Ohrlöcher und Nasenstütze wird die Reproduzierbarkeit gewährleistet.

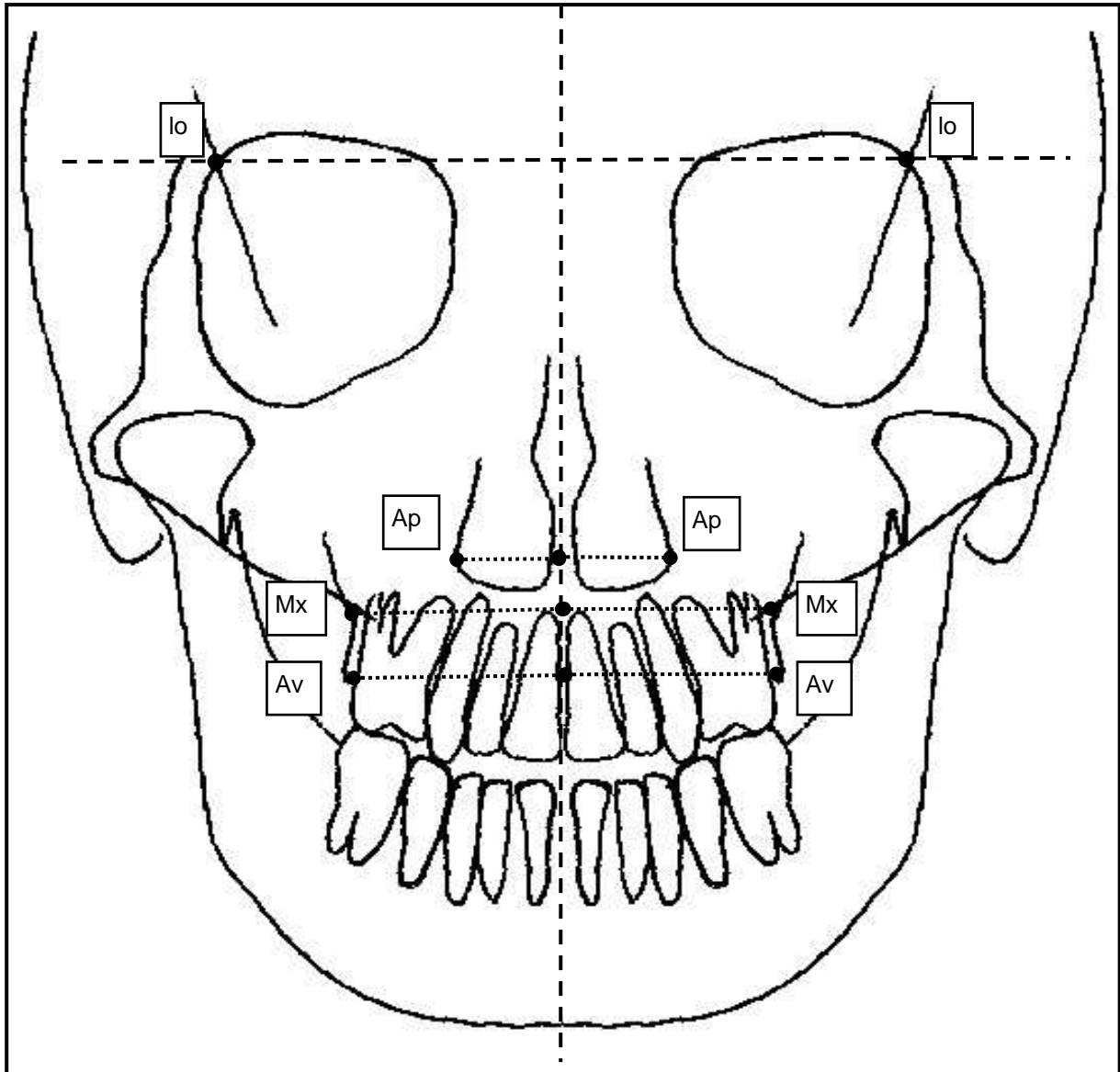
Die Vermessungen wurden am Bildschirm unter Verwendung der in die Demonstrations-Software integrierten Messfunktion vorgenommen. Dies hat den Vorteil der maßstabsgetreuen Vergrößerung zur besseren Identifizierung der Messpunkte.

Die Auswertung erfolgte in Anlehnung an die von BYLOFF (17) sowie von ATHANASIOU (4) beschriebenen Methoden. Zur Festlegung der Gesichtsmitte wird das Lot durch die Mitte der Verbindungslinie der beiden Latero-Orbitale (lo) gefällt. Die Latero-Orbitale entstehen beidseits an der äußeren Kontur des Orbitarings. Diese kreuzt eine Linie, die durch die äußere Oberfläche der Ala major des Os sphenoidale im Bereich der Fossa temporalis gebildet wird.

Von diesem Lot wird die Senkrechte zu den drei Messpunkten gezeichnet und der Abstand gemessen.

Drei bilaterale Messpunkte wurden verwendet:

1. Ap: am weitesten lateraler Punkt der Apertura piriformis kaudal der Osteotomielinie
2. Mx: Einziehung des Oberkiefer-Alveolarfortsatzes lateral am Übergang zum Jochbein
3. Av: Kontaktpunkt der Alveole mit der Krone des ersten oberen Molaren in Höhe des Zahnhalses bukkal



**Abbildung 16:** Durchzeichnung einer Schädel p.a.- Aufnahme, Markierung der verwendeten Messpunkte und Konstruktion der zu vermessenden Strecken.

lo: Latero-Orbitale

Ap: am weitesten lateraler Punkt der Apertura piriformis kaudal der Osteotomielinie

Mx: Einziehung des Oberkiefer-Alveolarfortsatzes lateral am Übergang zum Jochbein

Av: Kontaktpunkt der Alveole mit der Krone des ersten oberen Molaren in Höhe des Zahnhalses bukkal

### **3. Versuchsdesign**

Die Auswirkungen der transversalen Oberkieferdistraction auf den nasalen Atemwegswiderstand bei Patienten mit schweren Fehlbissen waren zu untersuchen. Zur prä- und postoperativen Beurteilung der Nasenatmung wurde die aktive anteriore Rhinomanometrie verwendet.

Um die Auswirkungen auf den nasalen Atemwegswiderstand in Beziehung zur transversalen Dehnung setzen zu können, musste auch diese quantifiziert werden. Es wurden sowohl dentale als auch skelettale Messungen herangezogen.

Die am Gipsmodell gemessene vordere und hintere Zahnbogenbreite im Oberkiefer nach PONT (76) dienen zur Beurteilung des Dehnungsmaßes im dentalen Bereich.

Drei definierte Messpunkte im Röntgenbild des Schädels im posterior-anterioren Strahlengang (Schädel p.a.) zeigten die transversalen Veränderungen im knöchernen Oberkiefer (4, 17).

### **4. Statistische Auswertung**

Mit Hilfe des Statistik-Programms PASW erfolgte die Berechnung von Mittelwerten und Standardabweichungen der Messwerte. Zum Mittelwertsvergleich diente der T-Test für unabhängige Stichproben mit einem Signifikanzniveau von  $p < 0,05$ . Dies ist bei klinischen Studien mit normalverteilten Stichproben üblich. Zum Teil wurde zur Überprüfung der WILCOXON-Test als nicht parametrisches Verfahren herangezogen.

Die Korrelationsanalysen nach PEARSON und nach SPEARMAN dienen zur Darstellung der Zusammenhänge zwischen dem Ausmaß der Verbreiterung des Oberkiefers und den Veränderungen innerhalb der Nase (94).



**V ERGEBNISSE**

Den in den folgenden Abschnitten 1 bis 4 dargestellten Ergebnissen liegen die Untersuchungen der Patientengruppe zu Grunde, die mit der Hyrax<sup>®</sup>-Schraube behandelt wurde. In Abschnitt 5 wird auf die verschiedenen Distraktoren Hyrax<sup>®</sup>-Schraube, Fächerdehnschraube und TPD<sup>®</sup> eingegangen.

**1. Rhinomanometrie**

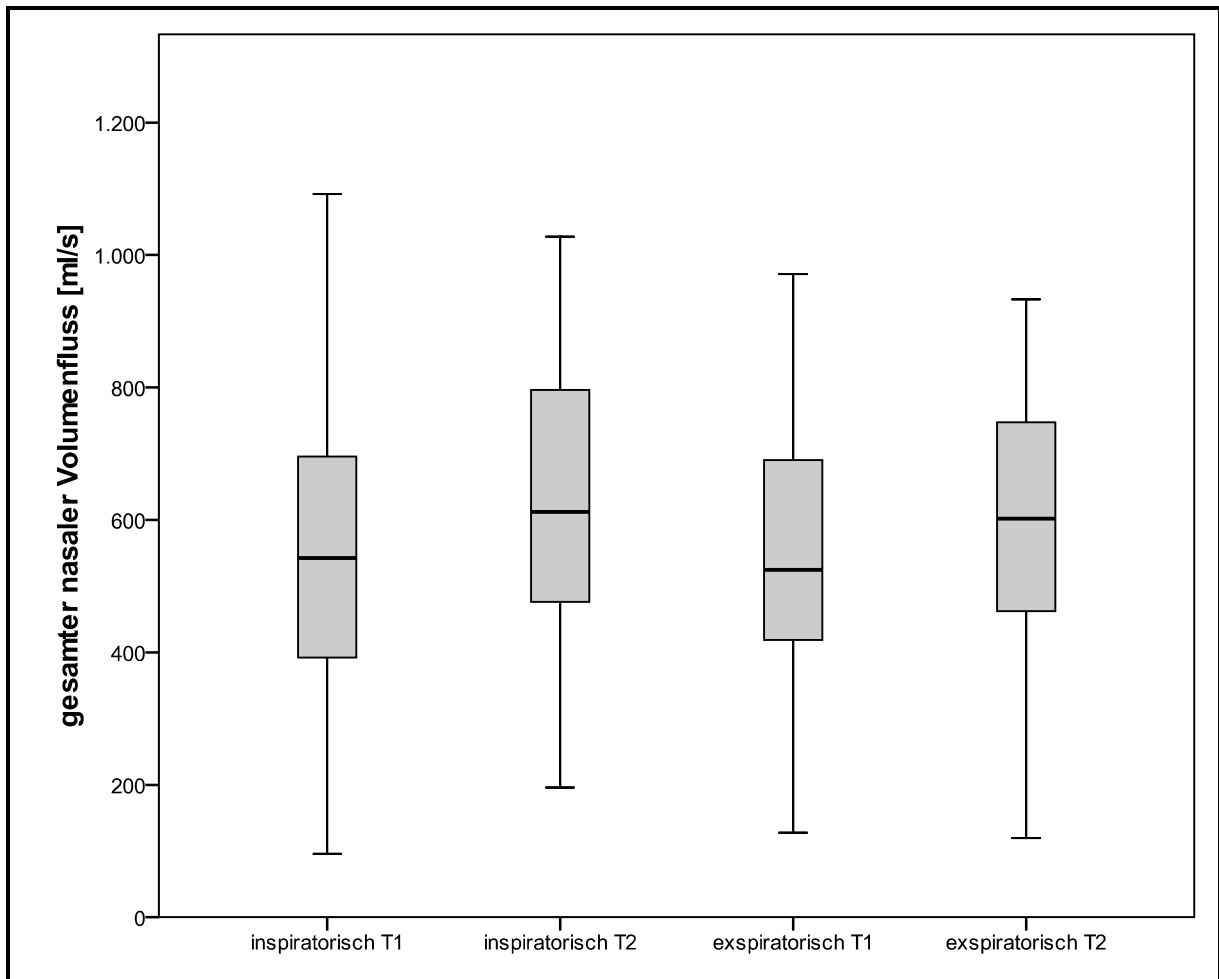
**1.1 Nasaler Volumenfluss**

Die rhinomanometrische Untersuchung zeigt nach transversaler Oberkieferdistraktion eine Zunahme des nasalen Volumenflusses sowohl bei Einatmung als auch bei Ausatmung. Dies gilt im Einzelnen auch für die für beide Seiten getrennt vorliegenden Flusswerte bei allen drei Druckschwellen sowie beim maximalen Fluss. Aufgrund extrem hoher Werte, insbesondere bei den Messungen des nasalen Widerstands, wurde ein Ausreißer aus den entsprechenden Analysen herausgenommen.

Die postoperative Vergrößerung des gesamten nasalen Volumenflusses ist bei Einatmung statistisch signifikant (paarweiser T-Test,  $p < 0,05$ ). Bei Ausatmung wird dieses Signifikanzniveau trotz eines deutlich sichtbaren Unterschieds knapp verfehlt ( $p = 0,09$ ). Dies ist in erster Linie auf die relativ kleine Fallzahl zurückzuführen.

**Tabelle 1:** Gesamter nasaler Volumenfluss [ml/s] präoperativ (T1) und postoperativ (T2) bei Druckmarkierung 150 Pa, Anzahl (n) = 55

	Mittelwert	Standardabweichung
Fluss inspiratorisch gesamt T1	548,7	228,2
Fluss inspiratorisch gesamt T2	627,4	211,0
Fluss expiratorisch gesamt T1	544,5	203,6
Fluss expiratorisch gesamt T2	598,5	187,0



**Abbildung 17:** Boxplot zum gesamten nasalen Volumenfluss

Für die Messung des Volumenflusses bei Druckschwelle 75 Pa gilt: Mit einer Ausnahme ist die Veränderung zu postoperativ größeren Werten statistisch signifikant ( $p < 0,05$ ). Lediglich bei Expiration und Messung auf der linken Seite wird das Signifikanzniveau mit  $p = 0,28$  verfehlt. Ungeachtet dessen zeigt sich auch hier dieselbe Tendenz wie bei den drei signifikanten Veränderungen.

**Tabelle 2:** Nasaler Volumenfluss [ml/s] präoperativ (T1) und postoperativ (T2) bei Druckmarkierung 75 Pa, getrennt für beide Seiten

	n	Mittelwert	Standardabweichung
Fluss inspiratorisch rechts T1	55	158,6	85,4
Fluss inspiratorisch rechts T2		185,7	88,5
Fluss inspiratorisch links T1	54	161,6	87,5
Fluss inspiratorisch links T2		193,4	82,9
Fluss expiratorisch rechts T1	55	153,1	78,2
Fluss expiratorisch rechts T2		176,8	75,7
Fluss expiratorisch links T1	55	173,6	84,5
Fluss expiratorisch links T2		187,5	71,0

Bei Druckmarkierung 150 Pa kann für die Messung des Volumenflusses bei Inspiration auf der linken Seite postoperativ eine statistisch signifikante Zunahme festgestellt werden ( $p < 0,05$ ). Die anderen Messungen verfehlen dieses Signifikanzniveau zum Teil knapp. Die Mittelwertsdifferenzen, das 95%-Konfidenzintervall sowie die p-Werte sind in Tabelle 4 angegeben.

**Tabelle 3:** Nasaler Volumenfluss [ml/s] präoperativ (T1) und postoperativ (T2) bei Druckmarkierung 150 Pa, getrennt für beide Seiten

	n	Mittelwert	Standardabweichung
Fluss inspiratorisch rechts T1	55	275,2	134,5
Fluss inspiratorisch rechts T2		307,8	128,6
Fluss inspiratorisch links T1	55	273,5	137,4
Fluss inspiratorisch links T2		319,6	121,2
Fluss expiratorisch rechts T1	55	256,5	118,6
Fluss expiratorisch rechts T2		292,1	114,1
Fluss expiratorisch links T1	55	288,0	121,4
Fluss expiratorisch links T2		306,4	102,4

**Tabelle 4:** Mittelwertsdifferenzen und Konfidenzintervall [ml/s] sowie Signifikanzniveau für die Messung des Volumenflusses bei Druckmarkierung 150 Pa.

	Mittelwertsdifferenz	95% Konfidenzintervall		p
		von	bis	
Fluss inspiratorisch rechts	32,6	- 9,4	74,7	0,13
Fluss inspiratorisch links	46,1*	1,7	90,4	< 0,05
Fluss expiratorisch rechts	35,6*	- 0,4	71,6	0,05
Fluss expiratorisch links	18,4	- 17,5	54,4	0,31

\* 2-seitig signifikant mit  $p < 0,05$

Es folgen in Tabelle 5 die Messungen bei Druckmarkierung 300 Pa mit deutlich reduzierten Fallzahlen. Daher wird das Signifikanzniveau von  $p < 0,05$  trotz deutlicher Unterschiede verfehlt. Die entsprechende Darstellung erscheint in Tabelle 6.

**Tabelle 5:** Nasaler Volumenfluss [ml/s] präoperativ (T1) und postoperativ (T2) bei Druckmarkierung 300 Pa, getrennt für beide Seiten

	n	Mittelwert	Standardabweichung
Fluss inspiratorisch rechts T1	26	373,1	200,7
Fluss inspiratorisch rechts T2		437,4	176,2
Fluss inspiratorisch links T1	27	379,0	182,8
Fluss inspiratorisch links T2		432,4	200,3
Fluss expiratorisch rechts T1	16	354,9	165,9
Fluss expiratorisch rechts T2		429,6	141,5
Fluss expiratorisch links T1	15	338,9	152,9
Fluss expiratorisch links T2		407,3	194,7

**Tabelle 6:** Mittelwertsdifferenzen und Konfidenzintervall [ml/s] sowie Signifikanzniveau für die Messung des Volumenflusses bei Druckmarkierung 300 Pa

	Mittelwertsdifferenz	95%-Konfidenzintervall		p
		von	bis	
Fluss inspiratorisch rechts	64,3	- 21,4	150,1	0,14
Fluss inspiratorisch links	53,4	- 38,4	145,3	0,24
Fluss expiratorisch rechts	74,7	- 46,7	196,0	0,21
Fluss expiratorisch links	68,4	- 34,1	171,0	0,17

Der maximale nasale Volumenfluss nimmt sowohl für die linke Seite bei Inspiration als auch für die rechte Seite bei Expiration postoperativ statistisch signifikant zu ( $p < 0,05$ ). Dieses Signifikanzniveau wird für die Einatmung auf der rechten Seite mit  $p = 0,09$  knapp verfehlt. Gleiches gilt für die Ausatmung auf der linken Seite ( $p = 0,39$ ).

**Tabelle 7:** Maximaler nasaler Volumenfluss [ml/s] präoperativ (T1) und postoperativ (T2), getrennt für beide Seiten

	n	Mittelwert	Standardabweichung
maximaler Fluss inspiratorisch rechts T1	54	490,3	194,8
maximaler Fluss inspiratorisch rechts T2		545,7	214,6
maximaler Fluss inspiratorisch links T1	39	506,1	204,9
maximaler Fluss inspiratorisch links T2		609,3	244,0
maximaler Fluss expiratorisch rechts T1	51	453,4	200,2
maximaler Fluss expiratorisch rechts T2		524,8	218,0
maximaler Fluss expiratorisch links T1	44	522,1	216,8
maximaler Fluss expiratorisch links T2		556,9	186,7

1.2 Nasaler Widerstand

Analog zum Volumenfluss nehmen die Werte für den nasalen Widerstand postoperativ im Vergleich zur präoperativen Messung ab. Das Signifikanzniveau von  $p < 0,05$  wird jedoch nicht erreicht.

**Tabelle 8:** Nasaler Widerstand [kPa•s/l] präoperativ (T1) und postoperativ (T2) bei Druckmarkierung 75 Pa, getrennt für beide Seiten

	n	Mittelwert	Standardabweichung
Widerstand inspiratorisch rechts T1	54	0,71	0,76
Widerstand inspiratorisch rechts T2		0,57	0,68
Widerstand inspiratorisch links T1	53	0,71	0,97
Widerstand inspiratorisch links T2		0,50	0,58
Widerstand expiratorisch rechts T1	55	0,74	0,97
Widerstand expiratorisch rechts T2		0,53	0,44
Widerstand expiratorisch links T1	54	0,53	0,40
Widerstand expiratorisch links T2		0,47	0,43

Die Ergebnisse wurden mit einem nichtparametrischen Verfahren (WILCOXON-Test) überprüft. Hierbei ergaben sich keine relevanten Unterschiede im Vergleich zum paarweisen T-Test.

**Tabelle 9:** Nasaler Widerstand [kPa•s/l] präoperativ (T1) und postoperativ (T2) bei Druckmarkierung 150 Pa, getrennt für beide Seiten

	n	Mittelwert	Standardabweichung
Widerstand inspiratorisch rechts T1	55	0,73	0,61
Widerstand inspiratorisch rechts T2		0,60	0,46
Widerstand inspiratorisch links T1	54	0,77	0,77
Widerstand inspiratorisch links T2		0,58	0,68
Widerstand expiratorisch rechts T1	55	0,81	0,96
Widerstand expiratorisch rechts T2		0,60	0,41
Widerstand expiratorisch links T1	55	0,72	1,06
Widerstand expiratorisch links T2		0,57	0,46

Die Ergebnisse wurden mit einem nichtparametrischen Verfahren (WILCOXON-Test) überprüft. Hierbei ergaben sich keine relevanten Unterschiede im Vergleich zum paarweisen T-Test.



**Tabelle 10:** Nasaler Widerstand [kPa•s/l] präoperativ (T1) und postoperativ (T2) bei Druckmarkierung 300 Pa, getrennt für beide Seiten

	n	Mittelwert	Standardabweichung
Widerstand inspiratorisch rechts T1	26	1,11	0,86
Widerstand inspiratorisch rechts T2		0,80	0,44
Widerstand inspiratorisch links T1	26	1,05	1,13
Widerstand inspiratorisch links T2		0,88	0,75
Widerstand expiratorisch rechts T1	16	1,02	0,52
Widerstand expiratorisch rechts T2		0,75	0,32
Widerstand expiratorisch links T1	14	1,00	0,81
Widerstand expiratorisch links T2		0,92	0,79

Die Ergebnisse wurden mit einem nichtparametrischen Verfahren (WILCOXON-Test) überprüft. Hierbei ergaben sich keine relevanten Unterschiede im Vergleich zum paarweisen T-Test.

## **2. Modellanalyse**

Die Modellanalyse ergibt statistisch signifikante Zunahmen sowohl bei vorderer als auch hinterer Zahnbogenbreite postoperativ (paarweise T-Tests,  $p < 0,05$ ).

**Tabelle 11:** Zahnbogenbreiten [mm] präoperativ (T1) und postoperativ (T2), Anzahl (n) = 54

	Mittelwert	Standardabweichung
vordere Zahnbogenbreite T1	32,53	3,33
vordere Zahnbogenbreite T2	38,71	2,71
hintere Zahnbogenbreite T1	43,62	3,66
hintere Zahnbogenbreite T2	49,27	4,10

## **3. Röntgenanalyse Schädel p.a.**

Auch der Abstand der drei gewählten Messpunkte in der Schädel p.a. Aufnahme vergrößert sich postoperativ signifikant ( $p < 0,0005$ ).

**Tabelle 12:** skelettale Verbreiterung des Oberkiefers [mm], Anzahl (n) = 53

	Mittelwert	Standardabweichung
Apertura piriformis Ap-Ap T1	30,51	2,88
Apertura piriformis Ap-Ap T2	31,81	3,26
Oberkieferbasis Mx-Mx T1	61,03	5,06
Oberkieferbasis Mx-Mx T2	62,95	5,18
Alveolarfortsatz Av-Av T1	60,35	4,14
Alveolarfortsatz Av-Av T2	63,76	3,70

## **4. Korrelationen**

### **4.1 Auswirkung der transversalen Oberkieferdehnung auf die Nasenatmung**

Mit Hilfe der Korrelationsanalyse nach PEARSON wurde untersucht, welchen Einfluss die Oberkieferdehnung auf die Nasenatmung hat. Hierzu wurde bei allen vorhandenen Messwerten zunächst die Differenz zwischen den Untersuchungszeitpunkten T1 und T2 berechnet. Mit diesen Differenzwerten wurde der Korrelationskoeffizient nach PEARSON (nachfolgend abgekürzt mit „r“) bestimmt. Wertepaare wurden hierbei jeweils aus den Fluss- bzw. Widerstandsmesswerten der rhinomanometrischen Untersuchung und den Messwerten der Modellanalyse bzw. der Röntgenanalyse gebildet.

Bei der gewählten Irrtumswahrscheinlichkeit von maximal 5 % (signifikantes Ergebnis bei  $p < 0,05$ ) lassen sich einzelne Korrelationen als signifikant herausheben. Dies betrifft vor allem die Korrelationen der Flusswerte mit der Änderung des am weitesten lateralen Punktes am Alveolarfortsatz. Die entsprechenden Korrelationskoeffizienten (r) sind in der folgenden Tabelle 13 mit einem Stern (\*) markiert. Einige der Einzelkorrelationen basieren auf extrem niedrigen Fallzahlen ( $n < 30$ ) und verfehlen daher auch bei relativ hohen Korrelationswerten das Signifikanzniveau. Bei einem Wert von  $r > 0,400$  oder bei  $p = 0,05$  sind diese dennoch hervorgehoben (fett, aber ohne Stern). Trotz der verfehlten Signifikanz liegen hier Hinweise auf eine Korrelation vor.

**Tabelle 13:** Korrelationen der Differenzen. Wertepaare aus den Messwerten der Modellanalyse bzw. Röntgenanalyse und den Messwerten der rhinomanometrischen Untersuchung

		Differenz ZBV4_4 T2-T1	Differenz ZBH6_6 T2-T1	Differenz Ap_Ap T2-T1	Differenz Mx_Mx T2-T1	Differenz Av_Av T2-T1
Differenz FlinR75 T2-T1	r	- 0,188	- 0,064	0,068	0,137	<b>0,341*</b>
	p	0,174	0,644	0,629	0,328	0,013
	n	54	54	53	53	53
Differenz FlinL75 T2-T1	r	- 0,013	- 0,113	0,077	- 0,097	0,153
	p	0,928	0,419	0,587	0,496	0,280
	n	53	53	52	52	52
Differenz FlexR75 T2-T1	r	- 0,086	- 0,071	0,162	0,156	<b>0,270</b>
	p	0,536	0,608	0,245	0,264	0,050
	n	54	54	53	53	53
Differenz FlexL75 T2-T1	r	0,026	- 0,045	0,122	- 0,020	0,130
	p	0,850	0,746	0,383	0,887	0,353
	n	54	54	53	53	53
Differenz RinR75 T2-T1	r	<b>0,306*</b>	0,229	- 0,015	- 0,099	- 0,108
	p	0,026	0,099	0,917	0,486	0,446
	n	53	53	52	52	52
Differenz RinL75 T2-T1	r	0,132	0,049	- 0,091	- 0,016	- 0,110
	p	0,352	0,729	0,524	0,909	0,444
	n	52	52	51	51	51
Differenz RexR75 T2-T1	r	0,128	0,130	- 0,019	- 0,053	- 0,090
	p	0,355	0,351	0,890	0,705	0,520
	n	54	54	53	53	53
Differenz RexL75 T2-T1	r	0,040	- 0,005	- 0,093	0,004	- 0,087
	p	0,775	0,970	0,510	0,980	0,537
	n	53	53	52	52	52
Differenz FlinR150 T2-T1	r	- 0,121	- 0,030	0,138	0,097	<b>0,339*</b>
	p	0,383	0,829	0,323	0,488	0,013
	n	54	54	53	53	53
Differenz FlinL150 T2-T1	r	0,003	- 0,102	0,035	- 0,059	0,210
	p	0,983	0,461	0,803	0,673	0,130
	n	54	54	53	53	53
Differenz FlexR150 T2-T1	r	- 0,137	- 0,078	0,155	0,170	<b>0,329*</b>
	p	0,322	0,577	0,267	0,224	0,016
	n	54	54	53	53	53
Differenz FlexL150 T2-T1	r	0,018	- 0,055	0,101	- 0,044	0,155
	p	0,897	0,690	0,471	0,755	0,267
	n	54	54	53	53	53
Differenz RinR150 T2-T1	r	0,267	0,143	- 0,076	- 0,075	- 0,230
	p	0,051	0,303	0,590	0,592	0,098
	n	54	54	53	53	53
Differenz RinL150 T2-T1	r	0,047	0,033	- 0,033	- 0,067	- 0,161
	p	0,737	0,812	0,814	0,637	0,254
	n	53	53	52	52	52
Differenz RexR150 T2-T1	r	0,172	0,135	- 0,021	- 0,053	- 0,127
	p	0,213	0,330	0,883	0,709	0,365
	n	54	54	53	53	53

Tabelle 13 (Fortsetzung)

		Differenz ZBV4_4 T2-T1	Differenz ZBH6_6 T2-T1	Differenz Ap_Ap T2-T1	Differenz Mx_Mx T2-T1	Differenz Av_Av T2-T1
Differenz RexL150 T2-T1	r	0,016	0,008	- 0,128	0,078	- 0,067
	p	0,908	0,957	0,359	0,579	0,631
	n	54	54	53	53	53
Differenz FlinR300 T2-T1	r	- 0,079	0,047	<b>0,419<sup>*</sup></b>	- 0,040	<b>0,404<sup>*</sup></b>
	p	0,700	0,821	0,037	0,850	0,045
	n	26	26	25	25	25
Differenz FlinL300 T2-T1	r	- 0,012	0,100	<b>0,401<sup>*</sup></b>	0,373	<b>0,452<sup>*</sup></b>
	p	0,953	0,619	0,042	0,060	0,020
	n	27	27	26	26	26
Differenz FlexR300 T2-T1	r	- 0,166	- 0,362	0,196	- 0,056	0,229
	p	0,538	0,169	0,452	0,830	0,377
	n	16	16	17	17	17
Differenz FlexL300 T2-T1	r	<b>- 0,518<sup>*</sup></b>	<b>- 0,620<sup>*</sup></b>	0,254	0,054	0,119
	p	0,048	0,014	0,360	0,849	0,674
	n	15	15	15	15	15
Differenz RinR300 T2-T1	r	0,202	0,024	- 0,158	- 0,030	- 0,330
	p	0,323	0,906	0,452	0,888	0,107
	n	26	26	25	25	25
Differenz RinL300 T2-T1	r	0,137	- 0,034	- 0,300	- 0,196	- 0,217
	p	0,505	0,870	0,145	0,348	0,297
	n	26	26	25	25	25
Differenz RexR300 T2-T1	r	0,294	0,219	- 0,092	- 0,023	- 0,351
	p	0,269	0,416	0,726	0,930	0,167
	n	16	16	17	17	17
Differenz RexL300 T2-T1	r	<b>0,410</b>	<b>0,474</b>	- 0,246	- 0,153	- 0,152
	p	0,145	0,087	0,397	0,601	0,605
	n	14	14	14	14	14
Differenz Flsumin T2-T1	r	- 0,068	- 0,080	0,100	0,020	<b>0,319<sup>*</sup></b>
	p	0,623	0,564	0,475	0,884	0,020
	n	54	54	53	53	53
Differenz Flsumex T2-T1	r	- 0,068	- 0,076	0,144	0,072	<b>0,272<sup>*</sup></b>
	p	0,627	0,585	0,304	0,610	0,049
	n	54	54	53	53	53
Differenz FlinRmax T2-T1	r	0,051	0,053	0,211	0,174	0,259
	p	0,719	0,707	0,133	0,217	0,064
	n	53	53	52	52	52
Differenz FlinLmax T2-T1	r	0,063	- 0,099	0,021	0,136	0,190
	p	0,708	0,554	0,900	0,414	0,254
	n	38	38	38	38	38
Differenz FlexRmax T2-T1	r	0,140	0,110	- 0,009	0,238	<b>0,348<sup>*</sup></b>
	p	0,331	0,447	0,952	0,100	0,014
	n	50	50	49	49	49
Differenz FlexLmax T2-T1	r	0,191	0,104	- 0,285	0,076	- 0,112
	p	0,220	0,505	0,071	0,639	0,487
	n	43	43	41	41	41

#### 4.2 Änderung der Nasenatmung in Abhängigkeit vom Ausgangszustand

Zur Klärung der Frage, ob Patienten mit präoperativ eingeschränkter Nasenatmung mehr von dem Eingriff profitieren als solche ohne bzw. mit geringerer Einschränkung, wurde ebenfalls die paarweise Korrelation nach PEARSON berechnet. Um den Einfluss von Ausreißern auszuschließen, wurde zusätzlich die Korrelation nach SPEARMAN herangezogen. Der entsprechende Korrelationskoeffizient wird nachfolgend mit „ $r_s$ “ bezeichnet. Korreliert wurden die Fluss- und Widerstandsmesswerte präoperativ mit der Differenz der Messwerte zwischen den Untersuchungszeitpunkten T2 und T1, jeweils beim Referenzdruck von 150 Pa.

Fast durchgehend ergibt sich eine negative Korrelation, die zum Teil sehr hoch ausfällt. Lediglich der Wert für  $r$  beim Widerstand bei der Ausatmung auf der linken Seite kann nur das Signifikanzniveau von  $p < 0,05$  halten. Alle übrigen Werte sowohl bei Fluss und Widerstand als auch bei Ein- und Ausatmung erreichen das Signifikanzniveau von  $p < 0,01$ .

Die Werte für  $r$  und für  $r_s$  liegen zumeist sehr dicht beieinander. Tabelle 14 zeigt die Berechnungen im Überblick.

**Tabelle 14:** Korrelationen der Messwerte präoperativ mit der Differenz postoperativ – präoperativ (T2-T1) nach PEARSON (r) und SPEARMAN (r<sub>s</sub>)

FlinR150	r	- 0.567**
	r <sub>s</sub>	- 0.534**
	n	75
FlinL150	r	- 0.618**
	r <sub>s</sub>	- 0.581**
	n	74
FlexR150	r	- 0.538**
	r <sub>s</sub>	- 0.456**
	n	75
FlexL150	r	- 0.609**
	r <sub>s</sub>	- 0.549**
	n	74
RinR150	r	- 0.793**
	r <sub>s</sub>	- 0.705**
	n	75
RinL150	r	- 0.640**
	r <sub>s</sub>	- 0.552**
	n	73
RexR150	r	- 0.934**
	r <sub>s</sub>	- 0.696**
	n	75
RexL150	r	- 0.272*
	r <sub>s</sub>	- 0.485**
	n	74
Flsumin150	r	- 0.593**
	r <sub>s</sub>	- 0.578**
	n	74
Flsumex150	r	- 0.560**
	r <sub>s</sub>	- 0.539**
	n	74

\* Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,05 signifikant (zweiseitig).

\*\* Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 signifikant (zweiseitig).

### 5. Vergleich der Distraktoren

Die Mittelwerte der Flusswert-Differenzen unterscheiden sich in Abhängigkeit vom verwendeten Distraktor nicht in einem verwertbaren Umfang. Dies gilt nicht für die in der Röntgenanalyse ermittelten Werte. Die skeletale Verbreiterung des Oberkiefers ist bei Verwendung des TPD<sup>®</sup> am größten. Hier werden durch diese Schraube bei allen drei Messungen die größten Differenzen erreicht. Für eine weitergehende statistische Auswertung reicht die Fallzahl von acht Patienten aber nicht aus, weshalb hier auf die Darstellung von Kennwerten der schließenden Statistik verzichtet wird.

**Tabelle 15:** skeletale Verbreiterung in Abhängigkeit der verwendeten Distraktoren mit jeweiliger Fallzahl (n)

Distraktor		Differenzen T2-T1 [mm]		
		Ap-Ap	Mx-Mx	Av-Av
FD a. o. (n = 5)	Mittelwert	0,90	0,98	1,36
	(Standardabweichung)	(0,87)	(0,98)	(1,07)
FD p. o. (n = 2)	Mittelwert	0,50	0,45	2,90
	(Standardabweichung)	(0,99)	(1,06)	(1,27)
Hyrax <sup>®</sup> (n = 56)	Mittelwert	1,31	1,97	3,45
	(Standardabweichung)	(1,55)	(1,61)	(2,15)
TPD <sup>®</sup> (n = 8)	Mittelwert	2,18	3,03	3,75
	(Standardabweichung)	(0,85)	(2,43)	(2,02)
Gesamt (n = 71)	Mittelwert	1,36	1,98	3,32
	(Standardabweichung)	(1,46)	(1,72)	(2,11)

FD a.o.: anterior offene Fächerdehnschraube

FD p.o.: posterior offene Fächerdehnschraube

Hyrax<sup>®</sup>: Hyrax<sup>®</sup>-Schraube



## **VI DISKUSSION**

### **1. Materialien und Geräte**

Alle für diese Arbeit verwendeten Materialien und Geräte entsprechen dem aktuellen medizinischen und technischen Standard. Sie sind frei verkäuflich und werden in der alltäglichen Routine regelmäßig angewandt. Gleiches gilt für die benutzten Computerprogramme.

### **2. Methodenkritik**

Transversale Zahnbogendiskrepanz und behinderte Nasenatmung hängen untrennbar zusammen. Liegt eines dieser beiden Probleme vor, so weist es oft auf das andere hin. Eine intakte Nasenatmung ist wichtig für die kraniofaziale Entwicklung und somit für die Entwicklung des Oberkiefers. Störungen können zu Kieferanomalien führen (6, 51). Leider wird bis heute oft nur einer dieser beiden Aspekte beachtet und therapeutisch angegangen. Die Hauptursache dürfte wohl darin liegen, dass sich mit der Hals-, Nasen-, Ohrenheilkunde und der Kieferorthopädie zwei unterschiedliche Fachgebiete mit diesen Problematiken beschäftigen.

Die Auswirkungen der Gaumennahterweiterung auf die Nasenatmung bei Kindern und Jugendlichen sind in der Literatur vielfach erwähnt und in unterschiedlicher Qualität untersucht (5, 9, 14, 16, 24, 29, 30, 32, 38, 42, 44, 51, 61, 68, 72, 74, 75, 93, 96). Dem Einfluss der körperlichen Entwicklung gebührt hier besondere Aufmerksamkeit. Die Vielzahl der entsprechenden Veröffentlichungen sollte jedoch nicht über zwei Punkte hinwegtäuschen:

1. Es existiert bei weitem keine Einigkeit über die Untersuchungsmethoden.
2. Die betrachteten Fallzahlen sind zum Teil sehr niedrig.

Dieselben Nachteile sind in der Literatur im Zusammenhang mit der transversalen Oberkieferdistraktion zu finden. Hinzu kommt, dass diesbezüglich bislang deutlich weniger Arbeiten vorliegen. Erst in den letzten Jahren erscheinen zunehmend Veröffentlichungen zu diesem Thema (5, 8, 9, 12, 26, 56, 65, 72, 80, 81, 88, 97).

Noch 2007 beklagt BARALDI, dass die Auswirkungen auf die Nase oft nur klinisch und subjektiv beurteilt werden (8, 39, 86). Mit dieser prospektiven Studie sollen in systematischer Art und Weise und anhand einer großen Fallzahl diese Schwachstellen vermieden werden.

Wenn auch nicht alle, so beschreiben doch die meisten der Autoren eine Verbesserung der Nasenatmung nach transversaler Oberkieferdistraction. Die Ergebnisse müssen allerdings unter Beachtung von drei Kernpunkten gesehen werden:

1. Welche Operationsmethode wurde angewandt?
2. Wie wurde das Ausmaß der transversalen Dehnung bestimmt?
3. Wie und wann wurde die Veränderung der Nasenatmung gemessen?

Die hier untersuchten Patienten wurden in Anlehnung an die von BELL (11) beschriebene Methodik operiert. KUNKEL (56) wendet dieselben Osteotomien an wie wir. Wenige Autoren osteotomieren zusätzlich den Processus pterygoideus. Hierdurch soll ein weiterer Widerstandspunkt in der Seitwärtsbewegung der Oberkiefersegmente ausgeschaltet werden. Rezidive, d. h. der Verlust von zunächst hinzugewonnener Breite, sollen somit vermieden werden (8, 12). Im Gegensatz hierzu versuchen deutlich mehr Chirurgen das Ausmaß der Intervention zu reduzieren. Sie beschreiben ihre Techniken mit Attributen, die eine besondere Schonung des Patienten vermitteln sollen. Bei GLASSMAN bedeutet „konservativ“, dass er Osteotomien in kritischen Regionen vermeidet, um das Risiko stärkerer Blutungen zu umgehen (36). „Ambulant“ operiert BAYS, da er nicht unter Vollnarkose, sondern nur am sedierten Patienten arbeitet (10). Reduzierte Schleimhautinzisionen und kleine Operationsinstrumente veranlassen HERNANDEZ-ALFARO und MORSELLI dazu, ihre Methoden als „minimalinvasiv“ zu bezeichnen (43, 69).

Das Ausmaß der vorgenommenen Dehnung muss selbstverständlich in Beziehung zur eingetretenen Änderung der Nasenatmung gesetzt werden. Gipsmodelle des Oberkieferzahnbogens und das Schädel p.a.- Röntgenbild sind einfach zu erstellen und somit schnell verfügbar. Die Modellanalyse nach PONT (76) gibt die Messpunkte auf dem Gipsmodell vor. Weniger einheitlich verhält es sich mit der Analyse der Schädel p.a.-Aufnahme. ATHANASIOU hat der Auswertung Struktur gegeben (3, 4). Auch BYLOFF (17) hat ein vergleichbares Verfahren beschrieben und angewandt. So

kann auf seine Vorgaben zurückgegriffen werden. Durch die Wahl zusätzlicher Messpunkte werden sie auf unsere Fragestellungen anwendbar.

Aufwändige radiologische Untersuchungen wie konventionelle Tomografie oder die Computertomografie können aufgrund der hohen Strahlenbelastung nicht routinemäßig zur Evaluation herangezogen werden. Die Digitale Volumentomografie (DVT) hingegen könnte zukünftig eine Rolle spielen, hält aber gerade erst Einzug in die Praxen der Ärzte.

Das größere Problem stellt die Beurteilung der Nasenatmung dar, da alle bekannten Verfahren viele Fehlerquellen bergen. Zwei Methoden haben sich etabliert: Die akustische Rhinometrie und die Rhinomanometrie. Erstere hat bis heute rein wissenschaftlichen Charakter, während die Rhinomanometrie bereits deutlich weiter in HNO-Praxen und –Ambulanzen verbreitet ist. Insbesondere zur Beurteilung von postoperativen Veränderungen im Bereich der Nase ist sie gut geeignet (45, 79). Ihre Anwendung bei Patienten mit Kieferanomalien hilft, Misserfolge durch falsche Indikationsstellung bei chirurgischen Eingriffen im Bereich der Nase zu vermeiden (6). Für den Kieferorthopäden ist sie ein Hilfsmittel, Zusammenhänge zwischen einer Nasenatmungsbehinderung bzw. Mundatmung und Zahnfehlstellungen sowie dem Schädelaufbau zu erkennen (23).

Sie wird noch 2007 von NEELEY als „Gold-Standard“ zur Untersuchung des nasalen Flusses bezeichnet (72). Gleicher Meinung ist SCHUMACHER 2004 (79). Zur Bestimmung von nasalem Fluss und Widerstand lässt sich die auch von uns gewählte „aktive anteriore Rhinomanometrie“ am verlässlichsten anwenden. Sie ist unabhängiger von der Mitarbeit des Patienten als passive und posteriore Varianten (6, 78, 79). Daher hat sie sich etabliert, auch wenn die Atmung während der Messung nur durch ein Nasenloch zugelassen wird und dies zu einer erhöhten Strömungsgeschwindigkeit führt (31). Um die Vergleichbarkeit zu ermöglichen, wurden die Vorgaben des Standardization Committee on Objective Assessment of the Nasal Airway (früher: International Committee on Standardization of Rhinomanometry) beachtet (18, 19).

Vor den Messungen wurden je Seite zwei Sprühstöße Naphazolinchlorid 0,05 % verabreicht, um den Einfluss des nasalen Schwellungszyklus so weit wie möglich auszuschalten. Nach einer Wartezeit von 10 Minuten, in denen sich die Atmung des Patienten beruhigen konnte, erfolgte die Messung. CLEMENT stellt die Anwendung

von abschwellenden Nasentropfen frei (18, 19). HIRSCHBERG und COLE halten sie für essentiell und auch SZUCS beschreibt eine verlässlichere Widerstandsmessung nach Abschwellen (21, 45, 87). Grund ist der Einfluss des oben beschriebenen nasalen Schwellungszyklus auf die methodisch bedingte zeitversetzte Messung der beiden Seiten. Bei einer Zyklusdauer von etwa 2,5 Stunden treten schon innerhalb von 30 Minuten Differenzen der Widerstandswerte von bis zu 93 % auf einer Seite auf (59). Ohne Abschwellen ist die Rhinomanometrie somit nur eine Momentaufnahme. Weiter wird davon ausgegangen, dass der Nasenwiderstand im abgeschwollenen Zustand um etwa ein Drittel niedriger liegt als ohne die Applikation eines entsprechenden Medikaments (22, 34).

### **3. Ergebniskritik**

#### **3.1 Rhinomanometrie**

Die rhinomanometrische Untersuchung lieferte folgende Messwerte:

Nasaler Volumenfluss:

- gesamter nasaler Fluss inspiratorisch bei Druckmarkierung 150 Pa
- gesamter nasaler Fluss expiratorisch bei Druckmarkierung 150 Pa
- nasaler Fluss rechts inspiratorisch bei Druckmarkierung 75, 150 und 300 Pa
- nasaler Fluss rechts expiratorisch bei Druckmarkierung 75, 150 und 300 Pa
- nasaler Fluss links inspiratorisch bei Druckmarkierung 75, 150 und 300 Pa
- nasaler Fluss links expiratorisch bei Druckmarkierung 75, 150 und 300 Pa
- maximaler nasaler Fluss rechts inspiratorisch
- maximaler nasaler Fluss rechts expiratorisch
- maximaler nasaler Fluss links inspiratorisch
- maximaler nasaler Fluss links expiratorisch

Nasaler Widerstand:

- nasaler Widerstand rechts inspiratorisch bei Druckmarkierung 75, 150 und 300 Pa
- nasaler Widerstand rechts expiratorisch bei Druckmarkierung 75, 150 und 300 Pa
- nasaler Widerstand links inspiratorisch bei Druckmarkierung 75, 150 und 300 Pa
- nasaler Widerstand links expiratorisch bei Druckmarkierung 75, 150 und 300 Pa

Insgesamt stellt sich eine Zunahme des nasalen Volumenflusses nach transversaler Oberkieferdistraktion dar. Dies gilt für alle oben erwähnten Auswertungen. Das Signifikanzniveau von  $p < 0,05$  wird nicht von allen Messungen erreicht, was im Folgenden erläutert werden soll.

Größte Bedeutung haben die Messergebnisse bei Druckmarkierung 150 Pa. Dies ist, auch nach den Vorgaben des Standardisierungs-Komitees, der international gebräuchlichste Referenzdruck zur Auswertung rhinomanometrischer Messungen (6, 18, 31, 79). Hier ist die Vergrößerung mit einer Mittelwertsdifferenz von 46,1 ml/s im Vergleich von prä- zu postoperativ bei Inspiration auf der linken Seite am deutlichsten ( $p < 0,05$ ). Die anderen drei Mittelwertsdifferenzen sind geringer (18,4 bis 35,6 ml/s), besitzen aber dasselbe Vorzeichen. Somit kann eindeutig die Vergrößerung des nasalen Volumenflusses nach transversaler Oberkieferdistraktion gezeigt werden. Kleine Unterschiede werden bei der hier vorliegenden Fallzahl ( $n = 55$ ) jedoch noch nicht statistisch signifikant. Nochmals soll wie eingangs darauf hingewiesen werden, dass Studien mit noch geringerer Fallzahl einer kritischen Bewertung bedürfen (5, 12, 26, 56, 88, 97).

Die Messungen bei Druckmarkierung 75 Pa liefern ein homogeneres Bild. Hier wird bei drei von vier Messungen das Signifikanzniveau von  $p < 0,05$  erreicht.

Ebenfalls deutlich ist auch die Zunahme des Volumenflusses beim Referenzdruck von 300 Pa. Da nicht alle Patienten diesen Druck bei den Atemzügen aufbauen konnten, reduziert sich die Anzahl der auswertbaren Daten. Die kleinere Fallzahl ( $n = 15$  bis  $n = 27$ ) führt letztendlich dazu, dass die Ergebnisse bei allen vier Messungen durchweg nicht signifikant sind.

Der gesamte nasale Volumenfluss, ebenfalls beim Referenzdruck von 150 Pa angegeben, unterstreicht die Zunahme postoperativ. Die zugehörigen Messwerte wurden vom Gerät durch Addition der Messwerte der beiden Seiten berechnet. Dieses Verfahren stellt eine akzeptierte einfache Näherung dar, wird jedoch durchaus auch kritisch gesehen (21, 31, 71). Bei freier Atmung durch die gesamte Nase beeinflussen sich die beiden Seiten. Die Messanordnung mit jeweils einer verschlossenen Seite vermag dies nicht zu berücksichtigen.

Der nasale Widerstand wurde zum Vergleich der prä- und postoperativen Situation ebenfalls bestimmt. Alle gefundenen Messwerte zeigen passend zu den oben beschriebenen Werten für den nasalen Fluss kleinere Widerstände nach transversaler Oberkieferdistraktion. Leider sind die Ergebnisse durchweg nicht signifikant. Da die Widerstandsmessung in diesem Zusammenhang nur selten beschrieben wird (5, 72), ist die Bestätigung der in sämtlichen Messungen vorhandenen Reduktion postoperativ allemal von Interesse.

Frühere Studien fanden bei mit Gaumennahterweiterung behandelten Kindern und Jugendlichen zwar zum Teil ebenfalls reduzierte Werte (5, 30, 32, 42, 44, 93). Andere Autoren beschrieben die Änderung des Widerstands jedoch als nicht vorhersehbar und stark von Wachstum und Entwicklung beeinflusst (72). So wird die Gaumennahterweiterung bei Kindern allein zur Behebung einer Nasenatmungsbehinderung abgelehnt. Die kieferorthopädische Indikation zur Behandlung eines zu schmalen Oberkiefers bleibt hiervon unberührt (32, 42, 93).

### 3.1.1 Vergleich mit bestehenden Normwerten

Literatur zu Normwerten für rhinomanometrische Untersuchungen ist nur spärlich vorhanden und uneinheitlich. Dies macht es insbesondere für Fluss-Werte sehr schwer, die gefundenen Werte in Beziehung zu früheren Untersuchungen zu setzen. BACHMANN (6) und LENZ (58) äußern sich zum gesamten Volumenfluss bei einem Referenzdruck von 150 Pa. Jedoch führten sie lediglich Messungen ohne Anschwellen der Nasenschleimhaut durch. Dies gilt auch für ZAPLETAL (98), der Kinder und Jugendliche untersuchte. Er gibt Normwerte in Abhängigkeit der Körpergröße und der Nasenseite an. Tabelle 16 zeigt eine Übersicht der angesprochenen Arbeiten. Aus ZAPLETAL (98) wird der Bereich der über 160 cm großen bis 19-jährigen Jugendlichen dargestellt. In unserem Kollektiv nähern sich die Fluss-Werte nach transversaler Oberkieferdistraktion den Normwerten deutlich an, erreichen diese jedoch nicht.

**Tabelle 16:** Normwerte für den nasalen Volumenfluss aus der Literatur

	Gesamter Fluss bei 150 Pa in ml/s	Fluss für eine Seite bei 150 Pa in ml/s
BACHMANN (6)	800 - 1000	ca. 330 - 410
LENZ (58)	670 ± 160	
ZAPLETAL (98)		

Klarere Aussagen sind zu Normwerten für den nasalen Widerstand zu finden. COLE (22) führte eine Studie mit 2500 Personen durch. Wie er untersuchte auch GAMMERT (34) seine 54 Probanden im abgeschwollenen Zustand. Tabelle 17 zeigt die veröffentlichten Normwerte.

**Tabelle 17:** Normwerte für den nasalen Widerstand für eine Seite aus der Literatur

	Mittelwert bei 150 Pa in kPa*s/l	Obergrenze bei 150 Pa in kPa*s/l
COLE (22)	0,23	0,4
GAMMERT (34)	0,4	0,6

Entsprechend den postoperativen Veränderungen beim nasalen Fluss bewegen sich auch die Widerstandswerte eindeutig in Richtung Norm. Nach GAMMERT (34) können bei uns sogar alle präoperativ zu hohen Widerstandswerte durch die transversale Oberkieferdistraktion in den Normbereich überführt werden. Dies unterstreicht den positiven Effekt des Eingriffs für die Betroffenen.

### 3.2 Modellanalyse

Sowohl vordere als auch hintere Zahnbogenbreite nehmen nach transversaler Oberkieferdistraktion statistisch signifikant zu. Mit einer Mittelwertsdifferenz von 6,18 mm bei der vorderen und 5,65 mm bei der hinteren Zahnbogenbreite zeigt sich eine annähernd parallele Öffnung der Gaumennaht, wie sie zur Geometrie der verwendeten Hyrax<sup>®</sup>-Schraube passt. Es soll nochmals betont werden, dass die untersuchten Patienten ohne explizite Osteotomie des Processus pterygoideus operiert wurden. Dies könnte die im Vergleich zu posterior weitere Dehnung des anterioren Zahnbogens erklären. Die Interpretation dieses Phänomens ist nicht Inhalt der vorliegenden Untersuchung. Es sei aber erwähnt, dass sich bereits einige Studien mit diesem Thema beschäftigt haben (13, 17, 26, 56, 57, 82, 88, 100).

### 3.3 Röntgenanalyse Schädel p.a.

Die drei Messpunkte auf der Schädel p.a.-Aufnahme liegen allesamt unterhalb der Osteotomielinie, wobei die Distanz von dieser Linie in der Vertikalen von Ap über Mx nach Av zunimmt. In umgekehrter Reihenfolge vergrößert sich die Entfernung vom Kraftansatz der Dehnapparatur. Der Abstand der bilateralen Messpunkte nimmt postoperativ von kranial nach kaudal von 1,3 mm (Ap-Ap) über 1,92 mm (Mx-Mx) nach 3,41 mm (Av-Av) zu. Die von BYLOFF (17) gemessene skelettale Verbreiterung in der Nähe der Osteotomie von 1,3 mm stimmt hiermit überein. Auch kann das von diesen und weiteren Autoren beschriebene Tipping von bis zu 10° bestätigt werden (70, 99). Die beiden Oberkiefersegmente bewegen sich demnach weniger im Sinne einer Parallelverschiebung nach lateral. Vielmehr rotieren sie um ein kranial des Oberkiefers liegendes Rotationszentrum. Im Unterschied zur vorliegenden Arbeit wurde bei BYLOFF (17) die Osteotomie des Processus pterygoideus durchgeführt, auf die beidseits paraseptale Osteotomie von palatinal jedoch verzichtet. In computertomografischen Untersuchungen wurde festgestellt, dass sich diese Rotation auch auf die Nasenhöhle auswirkt (2, 26, 37, 82, 88). Das Ausmaß der Volumenzunahme nimmt bei diesen Autoren in kraniodorsaler Richtung ab.



### 3.4 Korrelationen

#### 3.4.1 Auswirkung der transversalen Oberkieferdistraction auf die Nasenatmung

Die Berechnung des Korrelationskoeffizienten nach PEARSON sollte Zusammenhänge zwischen der transversalen Dehnung auf dentaler und skelettaler Ebene und der Änderung von nasalem Fluss und Widerstand aufzeigen. Die Ergebnisse zeichnen ein uneinheitliches Bild. Signifikante Korrelationen finden sich insbesondere bei den Korrelationen der Flusswerte mit den am weitesten kaudal und dorsal liegenden Punkten. Von den im Schädel p.a.- Röntgenbild erfassten Veränderungen scheint also die Dehnung im hinteren Teil des Oberkiefers den größten Einfluss auf die Zunahme des nasalen Flusses zu haben. Auch HERSHEY beschreibt nach Gaumennahterweiterung bei Kindern die größte, wenn auch schwache Korrelation zwischen der Widerstandsabnahme und der Verbreiterung im Bereich des zweiten Molaren (44). BARALDI konnte keine Korrelation zwischen den cephalometrischen und rhinometrischen Messungen nach transversaler Oberkieferdistraction finden. Er sucht die Ursache für die Änderungen im Bereich der Nase in ihrem anterioren Teil. Dieser ist auf dem Schädel p.a.- Röntgenbild nicht auszuwerten (8). TAUSCHE und DEEB vermissen ebenfalls eine Korrelation zwischen Dehnung und Volumenzunahme (26, 88). Die Zunahme des Nasenvolumens wird von beiden unterschiedlich interpretiert. Auf dieses Thema soll unten noch näher eingegangen werden.

Zu beachten bleibt, dass es sich bei Av um einen knöchernen Messpunkt handelt. In der klinischen Anwendung darf dieser Punkt nicht durch die einfacher zu messende Zahnbogenbreite mit ihren dentalen Messpunkten ersetzt werden. Ausschlaggebend sind die skelettalen Veränderungen, auf die über Messungen an den Okklusalfächen nicht ohne weiteres rückgeschlossen werden darf. Von einer Verwendung der dentalen Messpunkte wird daher abgeraten (17).

Die weiteren signifikanten Korrelationen finden sich bei Wertepaaren, die die rhinomanometrische Messung bei der Druckmarkierung 300 Pa beinhalten. Diesen Referenzdruck konnten nur wenige Patienten erreichen. So sind die zugrunde liegenden Fallzahlen sehr gering. Eine Interpretation und eine Konsequenz für die Praxis lassen sie nicht zu.

Letztendlich reichen die verwendeten dentalen und skelettalen Messpunkte zur exakten Vorhersage der Veränderungen im Bereich der Nasenatmung nicht aus. Zu

viele weitere anatomische und physiologische Gegebenheiten nehmen Einfluss hierauf. In Kapitel 3.6 sollen diese näher beleuchtet werden.

#### 3.4.2 Änderung der Nasenatmung in Abhängigkeit vom Ausgangszustand

Von großer Bedeutung ist die Frage, ob und welche Patienten hinsichtlich der Nasenatmung von dem Eingriff profitieren. Auch hier wurde die Korrelation nach PEARSON angewandt. Zusätzlich sollte durch Berechnung der SPEARMAN-Korrelation der Einfluss von Ausreißern ausgeschlossen werden. Ausschließlich negative Korrelationen von präoperativem Messwert und therapeutisch bedingter Änderung bestätigen: Je kleiner der nasale Fluss bzw. je größer der Widerstand präoperativ war, desto mehr wirkte sich die transversale Oberkieferdistraktion aus. Die Entwicklung in Richtung größerer Fluss- bzw. kleinerer Widerstandswerte ist zweifellos als vorteilhaft für die Patienten zu werten.

#### 3.5 Vergleich der Distraktoren

Die geringen Unterschiede der Mittelwertsdifferenzen beim nasalen Fluss bei Betrachtung der verschiedenen Distraktionsgeräte lassen keine statistische Auswertung zu. Zwar konnte gezeigt werden, dass der TPD<sup>®</sup> als knochenverankertes Gerät die größte skelettale Verbreiterung aller untersuchten Geräte bewirkt. Jedoch verbietet auch hier die Fallzahl von acht Patienten eine weiterführende statistische Auswertung. Andere Autoren haben sich bereits mit diesem Thema befasst. Durchaus unterschiedlich beurteilt wird, ob die oben beschriebene Kippung der Ankerzähne oder der Oberkiefersegmente (Tipping) durch diese Geräte entfällt (2, 26, 99). Dies würde die zumeist vorgenommene Überkorrektur überflüssig machen. Statistisch verwertbare Daten hierzu gibt es bislang jedoch nicht (92).

Innerhalb der zahngetragenen Geräte scheint die Hyrax<sup>®</sup>-Schraube eine stärkere skelettale Verbreiterung zu bewirken als die Fächerdehnschraube. Für das nicht chirurgische Verfahren wurde dies bereits beschrieben (28).

### 3.6 Einfluss der anatomischen Veränderungen auf die Nasenatmung

Die Zunahme des Nasenvolumens durch transversale Oberkieferdistraktion steht außer Frage (57). Erklärungen für die Vergrößerung und die verantwortlichen Mechanismen existieren jedoch viele:

Wie oben beschrieben, ist bei der transversalen Oberkieferdistraktion von einer Rotation der beiden Segmente um ein kranio-dorsal liegendes Rotationszentrum auszugehen. Die größte knöcherne Verbreiterung findet demnach im Bereich des anterioren Nasenbodens statt. Es stellt sich die Frage, ob diese Verbreiterung ursächlich für eine Zunahme des Volumenflusses bzw. für die Abnahme des nasalen Widerstands ist. Die hier vorgestellten Ergebnisse deuten darauf hin, dass die, wenn auch geringere, Verbreiterung im dorsalen Bereich der Nase den größeren Effekt auf die Nasenatmung hat. Dem gegenüber steht die Aussage von KASE, der Änderungen im hinteren Nasenbereich vergleichsweise kleine Auswirkungen auf den Fluss zuschreibt (49).

Ein weiterer Aspekt wird von TAUSCHE (88) geliefert. Auch er stellt die in kranio-dorsaler Richtung geringer werdende Dehnung fest. Er sieht den Grund für eine bessere Nasenatmung nach transversaler Oberkieferdistraktion in der Tatsache, dass die lateralen Nasenwände mit zur Seite bewegt werden. Der Vollständigkeit halber muss erwähnt werden, dass DEEB aus der gleichen Arbeitsgruppe diese Aussage im Folgejahr relativiert und den größten Einfluss auf das Nasenvolumen in der Verbreiterung des anterioren Nasenbodens sucht (26).

Eine Absenkung des Nasenbodens und folglich eine Zunahme des Nasenvolumens vermutet CROSS (25). In computertomografisch gestützten Untersuchungen konnte SEEBERGER diese Absenkung insbesondere im anterioren Anteil bestätigen (81, 82). Er beschreibt neben der Verbreiterung eine Rotation des Oberkiefers nach vorne unten, wie sie bereits bei BYLOFF zu finden ist (17).

Große Bedeutung wird auch den Weichteilveränderungen beigemessen. Insbesondere die Nasenklappe kann nicht außer Acht gelassen werden. Ihr großer Einfluss auf den Atemstrom als engste Stelle in der Nase ist unumstritten und einer der wichtigsten Aspekte in der funktionellen Rhinochirurgie (47, 49, 78). DORUK geht davon aus, dass eine Oberkiefer-Enge eine enge Nasenklappe verursacht und eine Verbreiterung des Oberkiefers Abhilfe schaffen kann (29, 30). KUNKEL hat neben einer Volumenzunahme innerhalb der Nase die Vergrößerung des Nasenklappenquerschnitts nach transversaler Oberkieferdistraktion festgestellt (56). Noch

konkreter äußert sich WRIEDT, der beschreibt, dass der zuvor reduzierte Nasenklappenquerschnitt postoperativ Normalwerte erreicht (97).

Lediglich ENOKI konnte keine Änderung im Bereich der Nasenklappe feststellen. Er untersuchte nur die Auswirkungen der Gaumennahterweiterung bei Kindern mit akustischer Rhinometrie und bleibt mit dieser Aussage bislang alleine (32).

Nicht unerheblich erscheinen weiter die Veränderung der Stellung der Nasenflügel und die Beeinflussung von Beschaffenheit und Funktion der Muskulatur der äußeren Nase. Nicht erst die Verbreiterung des Oberkiefers, sondern bereits der operative Zugang mit Ablösung der Weichteile von der knöchernen Unterlage führt zu neuen Verhältnissen. Im Zusammenhang mit der LeFort I-Osteotomie existiert hierzu eine Untersuchung von ERBE (33). Dieser stellt eine signifikante Verbreiterung der äußeren Nase im Bereich der Nasenflügel fest.

#### **4. Schlussfolgerung**

1. Die Auswirkungen der transversalen Oberkieferdistraktion auf den Oberkieferzahnbogen und den Gesichtsschädel können sowohl durch die für den dentalen als auch durch die für den skelettalen Bereich gewählten Messpunkte verlässlich quantifiziert werden. Ebenso erklären sie die dreidimensionalen Veränderungen, insbesondere die Rotationskomponente bei der Seitwärtsbewegung der Oberkiefersegmente. Die diesbezüglich bereits vorhandenen Informationen aus der Literatur können ergänzt werden.

2. Mit Hilfe der aktiven anterioren Rhinomanometrie gelang es uns, die Zunahme des nasalen Flusses sowie die Reduktion des nasalen Widerstands nach transversaler Oberkieferdistraktion eindeutig nachzuweisen.

3. Je schlechter die Ausgangswerte für nasalen Fluss und Widerstand waren, umso größer waren die Veränderungen in Richtung der Normbereiche. Somit profitieren die behandelten Patienten mit einer eingeschränkten Nasenatmung eindeutig von diesem Eingriff.

4. Die Vorhersagbarkeit der Veränderungen ist problematisch. Es fällt schwer, das Ausmaß der vorgenommenen Dehnung, anhand welcher Messpunkte auch immer es quantifiziert wird, einer bestimmten Änderung der Nasenatmung zuzuordnen. Dies zeigen die eingeschränkten Korrelationen.

5. Im Rahmen eines Behandlungskonzepts ist es kritisch, die transversale Oberkieferdistraktion zu indizieren, wenn hiermit nur die Nasenatmung beeinflusst werden soll. Ohne die Notwendigkeit einer Korrektur von Zahn- oder Kieferfehlstellungen fehlen ausschlaggebende Gründe für diesen Eingriff. Entsprechende Überlegungen existieren zur Gaumennahterweiterung bei Kindern (32, 42, 93).

Ziel sollte es deshalb sein, die Kooperation von Kieferorthopäden als Fach-Zahnarzt und Hals-, Nasen-, Ohrenarzt (HNO) als Fach-Arzt zu fördern. Die vorliegende Arbeit soll auf die Dringlichkeit des Problems aufmerksam machen.



## **VII ZUSAMMENFASSUNG**

**Einleitung:** Kreuzbiss und behinderte Nasenatmung sind zwei gesundheitliche Probleme, deren Zusammenhang und Wechselwirkungen bei weitem nicht immer ausreichend erkannt werden. Durch die transversale Oberkieferdistraktion wird der Kreuzbiss behoben und die Nasenatmung beeinflusst.

**Material und Methoden:** Bei 75 Patienten führten wir die transversale Oberkieferdistraktion durch und untersuchten mit Hilfe der aktiven anterioren Rhinomanometrie deren Auswirkung auf nasalen Fluss und Widerstand. Anhand von reproduzierbaren Messpunkten auf Gipsmodellen des Oberkiefers und Schädel p.a.-Röntgenaufnahmen wurden die dentalen und skelettalen Veränderungen durch die transversale Oberkieferdistraktion bestimmt. Zusätzlich konnten so Erkenntnisse über die räumliche Geometrie des Distraktionsvorgangs gewonnen werden. Im Anschluss wurden die Informationen in Beziehung zu den Veränderungen im Bereich der Nase gesetzt.

**Ergebnisse:** Es konnte gezeigt werden, dass es nach transversaler Oberkieferdistraktion zu einer Verbesserung der Nasenatmung kommt. Anhand der dentalen und skelettalen Messpunkte lassen sich sowohl die Verbreiterung des Oberkieferzahnbogens als auch die knöchernen Veränderungen im Gesichtsschädel nachvollziehen. Die Korrelation zwischen diesen Messpunkten und den rhinomanometrischen Ergebnissen ist jedoch schwach.

**Diskussion:** Nasaler Fluss und Widerstand ändern sich durch die transversale Oberkieferdistraktion zum Vorteil des Probanden, allerdings mit unterschiedlicher statistischer Signifikanz. Die dentalen und skelettalen Messpunkte reichen zur Vorhersage der Veränderungen im Bereich der Nase alleine nicht aus. Zu vielschichtig sind die anatomischen und physiologischen Einflussfaktoren. Eindeutig ließ sich allerdings zeigen, dass Patienten mit präoperativ größerer Einschränkung mehr von dieser Behandlung profitieren als solche mit geringerem Defizit.

An 15 Patienten, die mit anderen Distraktionsgeräten als der Hyrax<sup>®</sup>-Schraube behandelt wurden, konnten erste Anhaltspunkte über die abweichende Distraktionsgeometrie herausgearbeitet werden.

Zukünftig sollte die Kooperation zwischen Hals-, Nasen-, Ohrenärzten und Kieferorthopäden verbessert werden.





**VIII LITERATURVERZEICHNIS**

- 1 ANGELL EH (1860)  
Treatment of irregularity of the permanent or adult teeth  
Dent-Cosmos 1: 540-4
- 2 ARAS A, AKAY MC, CUKUROVA I, GÜNBAY T, ISIKSAL E, ARAS I (2010)  
Dimensional changes of the nasal cavity after transpalatal distraction using  
bone-borne distractor: An acoustic rhinometry and computed tomography  
evaluation  
J-Oral-Maxillofac-Surg 68(7): 1487-97
- 3 ATHANASIOU AE, MIETHKE R, VAN DER MEIJ AJW (1999)  
Random errors in localization of landmarks in postero-anterior cephalograms  
Br-J-Orthod 26(4): 273-84
- 4 ATHANASIOU AE, VAN DER MEIJ AJW (1995)  
Posteroanterior (Frontal) Cephalometry  
in: Athanasiou AE: Orthodontic Cephalometry (141-61)  
Mosby-Wolfe, London
- 5 BABACAN H, SÖKÜCÜ O, DORUK C, AY S (2006)  
Rapid maxillary expansion and surgically assisted rapid maxillary expansion  
effects on nasal volume  
Angle-Orthod 76(1): 66-71
- 6 BACHMANN W (1982)  
Die Funktionsdiagnostik der behinderten Nasenatmung: Einführung in die  
Rhinomanometrie  
Springer, Berlin-Heidelberg-New York
- 7 BAHNEMANN F (1979)  
Mundatmung als Krankheitsfaktor  
Fortschr-Kieferorthop 40(2): 117-36
- 8 BARALDI CE, PRETTO SM, PURICELLI E (2007)  
Evaluation of surgically assisted maxillary expansion using acoustic  
rhinometry and postero-anterior cephalometry  
Int-J-Oral-Maxillofac-Surg 36(4): 305–9
- 9 BASCIFTCI FA, MUTLU N, KARAMAN AI, MALKOC S, KÜCÜKKOLBASI H (2002)  
Does the timing and method of rapid maxillary expansion have an effect on the  
changes in nasal dimensions?  
Angel-Orthod 72(2): 118-23

- 10 BAYS RA, GRECO JM (1992)  
Surgically assisted rapid palatal expansion: an outpatient technique with long-term stability  
J-Oral-Maxillofac-Surg 50(2): 110-3
- 11 BELL WH, EPKER BN (1976)  
Surgical-orthodontic expansion of the maxilla  
Am-J-Orthod 70(5): 517-28
- 12 BERRETIN-FELIX G, YAMASHITA RP, FILHO HN, GONCALES ES, TRINDADE AS, TRINDADE IE (2006)  
Short- and long-term effect of surgically assisted maxillary expansion on nasal airway size  
J-Craniofac-Surg 17(6): 1045-9
- 13 BETTS NJ, VANARSDALL RL, BARBER HD, HIGGINS-BARBER K, FONSECA RJ (1995)  
Diagnosis and treatment of transverse maxillary deficiency  
Int-J-Adult-Orthodon-Orthognath-Surg 10(2): 75-96
- 14 BICAKCI AA, AGAR U, SÖKÜCÜ O, BABACAN H, DORUK C (2005)  
Nasal airway changes due to rapid maxillary expansion timing  
Angle-Orthod 75(1): 1–6
- 15 BIEDERMANN W (1968)  
An hygienic appliance for rapid expansion  
J-Pract-Orthod 2: 67-70
- 16 BÖSSNER S (2006)  
Die Wirkung der Gaumennahterweiterung auf die Nasenatmung im Verlauf der aktiven Dehnung bei Patienten mit transversaler Enge im Oberkiefer. Eine rhinomanometrisch-röntgenologische Studie  
Med. Diss., München
- 17 BYLOFF FK, MOSSAZ CF (2004)  
Skeletal and dental changes following surgically assisted rapid palatal expansion  
Eur-J-Orthod 26(4): 403-9
- 18 CLEMENT PAR (1984)  
Committee report on standardization of rhinomanometry  
Rhinology 22(3): 151-5
- 19 CLEMENT PAR, GORDTS F (2005)  
Consensus report on acoustic rhinometry and rhinomanometry  
Rhinology 43(3): 169-79
- 20 CODIVILLA A (1905)  
On the means of lengthening, in the lower limbs, the muscles and tissues which are shortened through deformity  
Am-J-Orthop-Surg 2: 353

- 21 COLE P (1989)  
Rhinomanometry 1988: Practice and trends  
Laryngoscope 99(3): 311-5
- 22 COLE P (1997)  
Nasal airflow resistance: a survey of 2500 assessments  
Am-J-Rhinol 11(6): 415-20
- 23 COLE P, FENTON RS (2006)  
Contemporary rhinomanometry  
J-Otolaryngol 35(2): 83-7
- 24 COMPADRETTI GC, TASCA I, BONETTI GA (2006)  
Nasal airway measurements in children treated by rapid maxillary expansion  
Am-J-Rhinol 20(4): 385-93
- 25 CROSS DL, McDONALD JP (2000)  
Effect of rapid maxillary expansion on skeletal, dental, and nasal structures: a postero-anterior cephalometric study  
Eur-J-Orthod 22(5): 519-28
- 26 DEEB W, HANSEN L, HOTAN T, HIETSCHOLD V, HARZER W, TAUSCHE E (2010)  
Changes in nasal volume after surgically assisted bone-borne rapid maxillary expansion  
Am-J-Orthod-Dentofacial-Orthop 137(6): 782-9
- 27 DERICHSWEILER H (1956)  
Die Gaumennahterweiterung. Methode, Indikation und klinische Bedeutung  
Hanser, München
- 28 DORUK C, BICAKCI AA, BASCIFTCI FA, AGAR U, BABACAN H (2004)  
A comparison of the effects of rapid maxillary expansion and fan-type rapid maxillary expansion on dentofacial structures  
Angle-Orthod 74(2): 184-94
- 29 DORUK C, SÖKÜCÜ O, BICAKCI AA, YILMAZ U, TAS F (2007)  
Comparison of nasal volume changes during rapid maxillary expansion using acoustic rhinometry and computed tomography  
Eur-J-Orthod 29(3): 251-5
- 30 DORUK C, SÖKÜCÜ O, SEZER H, CANBAY EI (2004)  
Evaluation of nasal airway resistance during rapid maxillary expansion using acoustic rhinometry  
Eur-J-Orthod 26(4): 397-401
- 31 EICHLER J (1988)  
Einführung in die Technik der Rhinomanometrie  
– Anwendungen in der Rhinologie und Allergologie –  
Quintessenz, Berlin

- 32 ENOKI C, VALERA FC, LESSA FC, ELIAS AM, MATSUMOTO MA, ANSELMO-LIMA WT (2006)  
Effect of rapid maxillary expansion on the dimension of the nasal cavity and on nasal air resistance  
Int-J-Pediatr-Otorhinolaryngol 70(7): 1225-30
- 33 ERBE M, LEHOTAY M, GÖDE U, WIGAND ME, NEUKAM FW (2001)  
Nasal airway changes after Le Fort I - impaction and advancement: anatomical and functional findings  
Int-J-Oral-Maxillofac-Surg 30(2): 123-9
- 34 GAMMERT C, HAMPL K, HERRMANN P (1988)  
Normal values in rhinomanometry  
HNO 36(10): 399-405
- 35 GERLACH KL, ZAHL C (2003)  
Transversal palatal expansion using a palatal distractor  
J-Orofac-Orthop 64(6): 443-9
- 36 GLASSMAN AS, NAHIGIAN SJ, MEDWAY JM, ARONOWITZ HI (1984)  
Conservative surgical orthodontic adult rapid palatal expansion: Sixteen cases  
Am-J-Orthod 86(3): 207-13
- 37 GOLDENBERG DC, ALONSO N, GOLDENBERG FC, GEBRIN ES, AMARAL TS, SCANAVINI MA, FERREIRA MC (2007)  
Using computed tomography to evaluate maxillary changes after surgically assisted rapid palatal expansion  
J-Craniofac-Surg 18(2): 302-11
- 38 GORDON JM, ROSENBLATT M, WITMANS M, CAREY JP, HEO G, MAJOR PW, FLORES-MIR C (2009)  
Rapid palatal expansion effects on nasal airway dimensions as measured by acoustic rhinometry. A systematic review  
Angle-Orthod 79(5): 1000-7
- 39 HAAS AJ (1961)  
Rapid palatal expansion of the maxillary dental arch and nasal cavity by opening the midfacial suture  
Angle-Orthod 31: 73-90
- 40 HAAS AJ (1965)  
The treatment of maxillary deficiency by opening the midpalatal suture  
Angle-Orthod 35: 200-17
- 41 HANSEN L, TAUSCHE E, HIETSCHOLD V, HOTAN T, LAGRAVÈRE M, HARZER W (2007)  
Skeletally-anchored rapid maxillary expansion using the Dresden Distractor  
J-Orofac-Orthop 68(2): 148-58

- 42 HARTGERINK DV, VIG PS, ABBOTT DW (1987)  
The effect of rapid maxillary expansion on nasal airway resistance  
Am-J-Orthod-Dentofac-Orthop 92(5): 381-9
- 43 HERNANDEZ-ALFARO F, BUENO JM, DIAZ A, PAGÉZ CM (2010)  
Minimally invasive surgically assisted rapid palatal expansion with limited approach under sedation: A report of 283 consecutive cases  
J-Oral-Maxillofac-Surg 68(9): 2154-8
- 44 HERSHEY HG, STEWART BL, WARREN DW (1976)  
Changes in nasal airway resistance associated with rapid maxillary expansion  
Am-J-Orthod 69(3): 274-84
- 45 HIRSCHBERG A (2002)  
Rhinomanometry: An update  
ORL 64(4): 263–7
- 46 HOLBERG C, STEINHÄUSER S, RUDZKI-JANSON I (2007)  
Rapid maxillary expansion in adults: cranial stress reduction depending on the extent of surgery  
Eur-J-Orthod 29(1): 31-6
- 47 HOWARD BK, ROHRICH RJ (2002)  
Understanding the nasal airway: principles and practice  
Plast-Reconstr-Surg 109(3): 1128-46
- 48 ILIZAROV GA (1990)  
Clinical applications of the tension–stress effect for limb lengthening  
Clin-Orthop 250: 8-26
- 49 KASE Y, HILBERG O, PEDERSEN OF (1994)  
Posture and nasal patency: Evaluation by acoustic rhinometry  
Acta-Otolaryngol 114(1): 70-4
- 50 KERN EB (1973)  
Rhinomanometry  
Otolaryngol-Clin-North-Am 6(3): 863-74
- 51 KILIC N, OKTAY H (2008)  
Effects of rapid maxillary expansion on nasal breathing and some naso-respiratory and breathing problems in growing children: a literature review  
Int-J-Pediatr-Otorhinolaryngol 72(11): 1595-601
- 52 KIMMELMAN CP (1989)  
The problem of nasal obstruction  
Otolaryngol-Clin-North-Am 22(2): 253-64

- 53 KORN EL, BAUMRIND S (1990)  
Transverse development of the human jaws between the ages of 8.5 and 15.5 years, studied longitudinally with use of implants  
J-Dent-Res 69(6): 1298-306
- 54 KOUDSTAAL MJ, POORT LJ, VAN DER WAL KGH, WOLVIUS EB, PRAHL-ANDERSEN B, SCHULTEN AJM (2005)  
Surgically assisted rapid maxillary expansion (SARME): a review of the literature  
Int-J-Oral-Maxillofac-Surg 34(7): 709-14
- 55 KOUDSTAAL MJ, VAN DER WAL KGH, WOLVIUS EB, SCHULTEN AJM (2006)  
The Rotterdam Palatal Distractor: introduction of the new bone-borne device and report of the pilot study  
Int-J-Oral-Maxillofac-Surg 35(1): 31-5
- 56 KUNKEL M, EKERT O, WAGNER W (1999)  
Veränderungen des nasalen Atemwegs durch transversale Distraction des Oberkiefers  
Mund-Kiefer-Gesichts-Chir 3(1): 12-6
- 57 LAGRAVÈRE MO, MAJOR PW, FLORES-MIR C (2006)  
Dental and skeletal changes following surgically assisted rapid maxillary expansion  
Int-J-Oral-Maxillofac-Surg 35(6): 481-7
- 58 LENZ H, EICHLER J, WEGENER U (1983)  
Normal values of nasal airflow measured by a new rhinorheomanometer with a modified prandtl-type tube and linear relation  
Laryngo-Rhino-Otol 62(9): 405-15
- 59 LENZ H, THEELEN W, EICHLER J (1985)  
Nasal cycle using rhinomanometric measurements  
HNO 33(2): 58-61
- 60 LINES PA (1975)  
Adult rapid maxillary expansion with corticotomy  
Am-J-Orthod 67(1): 44-56
- 61 MATSUMOTO MA, ITIKAWA CE, VALERA FC, FARIA G, ANSELMO-LIMA WT (2010)  
Long-term effects of rapid maxillary expansion on nasal area and nasal airway resistance  
Am-J-Rhinol-Allergy 24(2): 161-5
- 62 MCNAMARA JA (2000)  
Maxillary transverse deficiency  
Am-J-Orthod-Dentofac-Orthop 117(5): 567-70

- 63 MELSEN B (1972)  
A histological study of the influence of sutural morphology and skeletal maturation on rapid palatal expansion in children  
Trans-Eur-Orthod-Soc 48: 499-507
- 64 MELSEN B (1975)  
Palatal growth studied on human autopsy material  
Am-J-Orthod 68(1): 42-54
- 65 MITSUDA ST, PEREIRA MD, PASSOS AP, HINO CT, FERREIRA LM (2010)  
Effects of surgically assisted rapid maxillary expansion on nasal dimensions using acoustic rhinometry  
Oral-Surg-Oral-Med-Oral-Pathol-Oral-Radiol-Endod 109(2): 191-6
- 66 MLYNSKI G, LÖW J (1993)  
Die Rhinoresistometrie - eine Weiterentwicklung der Rhinomanometrie  
Laryngo-Rhino-Otol 72(12): 608-10
- 67 MOMMAERTS MY (1999)  
Transpalatal distraction as a method of maxillary expansion  
Br-J-Oral-Maxillofac-Surg 37(4): 268-72
- 68 MONINI S, MALAGOLA C, VILLA MP, TRIPODI C, TARENTINI S, MALAGNINO I, MARRONE V, LAZZARINO AI, BARBARA M (2009)  
Rapid maxillary expansion for the treatment of nasal obstruction in children younger than 12 years  
Arch-Otolaryngol-Head-Neck-Surg 135(1): 22-7
- 69 MORSELLI PG (1997)  
Surgical maxillary expansion: a new minimally invasive technique  
J-Craniomaxillofac-Surg 25(2): 80-4
- 70 NAIMI A, PAPAGEORGE M, SHASTRI K (2007)  
Dental and skeletal changes following surgically assisted rapid palatal expansion  
Int-J-Oral-Maxillofac-Surg 36(11): 1021
- 71 NAITO K, IWATA S (1997)  
Current advances in rhinomanometry  
Eur-Arch-Otorhinolaryngol 254(7): 309-12
- 72 NEELEY WW, EDGIN WA, GONZALES DA (2007)  
A review of the effects of expansion of the nasal base on nasal airflow and resistance  
J-Oral-Maxillofac-Surg 65(6):1174-9
- 73 NORTHWAY WM, MEADE JB (1997)  
Surgically assisted rapid maxillary expansion: A comparison of technique, response, and stability  
Angle-Orthod 67(4): 309-20

- 74 OLIVEIRA DE FELIPPE NL, DA SILVEIRA AC, VIANA G, KUSNOTO B, SMITH B, EVANS CA (2008)  
Relationship between rapid maxillary expansion and nasal cavity size and airway resistance: short- and long-term effects  
Am-J-Orthod-Dentofac-Orthop 134(3): 370-82
- 75 PALAISA J, NGAN P, MARTIN C, RAZMUS T (2007)  
Use of convectional tomography to evaluate changes in the nasal cavity with rapid palatal expansion  
Am-J-Orthod-Dentofac-Orthop 132(4): 458-66
- 76 PONT A (1909)  
Der Zahn-Index in der Orthodontie  
Z-Zahnärztl-Orthop 3: 306-21
- 77 SANDER FG (2000)  
Modellanalyse  
in: Diedrich P: Kieferorthopädie I – Orofaziale Entwicklung und Diagnostik (193-219)  
Urban & Fischer, München-Jena
- 78 SCHUMACHER MJ (1989)  
Rhinomanometry  
J-Allergy-Clin-Immunol 83(4): 711-8
- 79 SCHUMACHER MJ (2004)  
Nasal dyspnea: The place of rhinomanometry in its objective assessment  
Am-J-Rhinol 18(1): 41-6
- 80 SCHWARZ GM, THRASH WJ, BYRD DL, JACOBS JD (1985)  
Tomographic assessment of nasal septal changes following surgical-orthodontic rapid maxillary expansion  
Am-J-Orthod 87(1): 39-45
- 81 SEEBERGER R, KATER W, DAVIDS R, THIELE OC (2010)  
Long term effects of surgically assisted rapid maxillary expansion without performing osteotomy of the pterygoid plates  
J-Craniomaxillofac-Surg 38(3): 175-8
- 82 SEEBERGER R, KATER W, SCHULTE-GEERS M, THIELE OC, DAVIDS R, HOFELE CH, FREIER K (2010)  
Chirurgisch unterstützte transversale Oberkieferdistraction: Auswirkungen auf Nasenwege und Nasenseptum  
HNO 58(8): 806-11
- 83 SEITZ O, LANDES CA, DISSMANN JP, SADER R, KLEIN CM (2008)  
Reliable surgically assisted rapid palatal expansion by Maxillary Widening Device  
J-Craniofac-Surg 19(3): 846-9



- 84 SEMAREK A (1958)  
Objektive Beurteilung der Nasendurchgängigkeit  
Z-Laryngol-Rhinol-Otol 37: 248-61
- 85 SHETTY V, CARIDAD JM, CAPUTO AA, CHACONAS SJ (1994)  
Biomechanical rationale for the surgical-orthodontic expansion of the adult maxilla  
J-Oral-Maxillofac-Surg 52(7): 742-9
- 86 SILVERSTEIN K, QUINN PD (1997)  
Surgically-assisted rapid palatal expansion for management of transverse maxillary deficiency  
J-Oral-Maxillofac-Surg 55(7): 725-7
- 87 SZUCS E, KAUFMAN L, CLEMET PAR (1995)  
Nasal resistance – a reliable assessment of nasal patency?  
Clin-Otolaryngol-Allied-Sci 20(5): 390-5
- 88 TAUSCHE E, DEEB W, HASEN L, HIETSCHOLD V, HARZER W, SCHNEIDER M (2009)  
CT analysis of nasal volume changes after surgically-assisted rapid maxillary expansion  
J-Orofac-Orthop 70(4): 306-17
- 89 TIMMS DJ (1981)  
Rapid maxillary expansion  
Quintessence, Chicago-Berlin-Rio de Janeiro-Tokyo
- 90 TIMMS DJ, VERO D (1981)  
The relationship of rapid maxillary expansion to surgery with special reference to midpalatal synostosis  
Br-J-Oral-Surg 19(3): 180-96
- 91 UNNO T, NAITOH Y, SAKAMOTO N, HORIKAWA H (1986)  
Nasal resistance measured by anterior rhinomanometry  
Rhinology 24(1): 49-55
- 92 VERSTRAATEN J, KUIJPERS-JAGTMAN AM, MOMMAERTS MY, BERGE SJ, NADA RM, SCHOLS JG (2010)  
A systematic review of the effects of bone-borne surgical assisted rapid maxillary expansion  
J-Craniomaxillofac-Surg 38(3): 166-74
- 93 WARREN DW, HERSHEY HG, TURVEY TA, HINTON VA, HAIRFIELD, WM (1987)  
The nasal airway following maxillary expansion  
Am-J-Orthod-Dentofac-Orthop 91(2): 111-6
- 94 WEISS C (2008)  
Die Beschreibung eines Zusammenhangs  
in: Weiss C: Basiswissen medizinische Statistik (79-100)  
Springer, Berlin-Heidelberg-New York

- 95 WHEELER SM, COREY JP (2008)  
Evaluation of upper airway obstruction - An ENT perspective  
Pulm-Pharmacol-Ther 21(3): 433-41
- 96 WHITE BC, WOODSIDE DG, COLE P (1989)  
The effect of rapid maxillary expansion on nasal airway resistance  
J-Otolaryngol 18(4): 137-43
- 97 WRIEDT S, KUNKEL M, ZENTNER A, WAHLMANN UW (2001)  
Surgically assisted rapid palatal expansion. An acoustic rhinometric,  
morphometric and sonographic investigation  
J-Orofac-Orthop 62(2): 107-15
- 98 ZAPLETAL A, CHALUPOVA J (2002)  
Nasal airflow and resistance measured by active anterior rhinomanometry in  
healthy children and adolescents  
Pediater-Pulmonol 33(3): 174-80
- 99 ZEMANN W, FEICHTINGER M, SCHANBACHER M, LINECKER A, KÄRCHER H,  
SANTLER G (2007)  
Changes of maxillofacial structures after surgical assisted rapid maxillary  
expansion  
Int-J-Oral-Maxillofac-Surg 36(11): 1021-2
- 100 ZEMANN W, SCHANBACHER M, FEICHTINGER M, LINECKER A, KÄRCHER H (2009)  
Dentoalveolar changes after surgically assisted maxillary expansion: a three-  
dimensional evaluation  
Oral-Surg-Oral-Med-Oral-Pathol-Oral-Radiol-Endod 107(1): 36-42

**IX DANKSAGUNG**

Herrn Prof. Dr. med. Dr. med. dent. Dr. h. c. Konrad Wangerin danke ich herzlich für die Überlassung des Themas und für die freundliche und kompetente Betreuung. Seinen Rat konnte ich jederzeit in Anspruch nehmen.

Herrn Dr. med. Dr. med. dent. Werner Zoder und Herrn Dr. med. Jochen Kuder danke ich für die kollegiale Zusammenarbeit bei der Ausarbeitung der Methodik und der Integration der Arbeit in die Alltagsroutine.

Herrn Prof. Dr. med. Dr. med. dent. Helmut Steinhart und den Kollegen der Abteilung für Hals-, Nasen- Ohrenheilkunde danke ich für die freundliche Unterstützung und die Überlassung des Rhinomanometrie-Messplatzes.

Herrn Andreas Kögel vom Institut Schreier, Tübingen, danke ich für seine Unterstützung bei der statistischen Auswertung und der Interpretation der Messergebnisse.

Den Damen in der MKG-Ambulanz und in der Ambulanz der HNO-Klinik danke ich für ihre Assistenz bei den Untersuchungen.

Wiederum besonders zu danken habe ich außerdem meiner Tanja. Ihre Unterstützung schaffte mir den Freiraum zur Fertigstellung der Arbeit. Ihre Hilfe beim Korrekturlesen ersparte mir viel Zeit.



**X LEBENS LAUF**

Robert Schrempp 10. Juni 1976 Crailsheim verheiratet, 1 Sohn deutsch	<b><u>Persönliche Daten</u></b> Name Geburtsdatum Geburtsort Familienstand Staatsangehörigkeit
1982 – März 1986 März 1986 – Juli 1986 1986 - 1995 Juni 1995	<b><u>Schul Ausbildung</u></b> Georg-Mangold-Schule, Bischofsheim (Hessen) Hofherrnschule, Aalen / Württ. Schubart-Gymnasium Aalen Allgemeine Hochschulreife
Juli 1995 – Juli 1996	<b><u>Zivildienst</u></b> Lebenshilfe für Menschen mit geistiger Behinderung, Aalen
WS 96/97 - WS 98/99 Oktober 1997 März 1999	<b><u>Hochschulausbildung</u></b> Studium Zahnmedizin, Universität Ulm Naturwissenschaftliche Vorprüfung Zahnärztliche Vorprüfung
SS 99 - WS 03/04 August 1999 WS 99/00  April 2001	Studium Medizin, Universität Tübingen Ärztliche Vorprüfung Wiederaufnahme Studium Zahnmedizin, Universität Tübingen 1. Abschnitt der Ärztlichen Prüfung
Mai 2002 Juni 2002	Zahnärztliche Prüfung Approbation als Zahnarzt
März 2003 April 2003 - März 2004 Mai 2004 Oktober 2004	2. Abschnitt der Ärztlichen Prüfung Praktisches Jahr, Marienhospital Stuttgart 3. Abschnitt der Ärztlichen Prüfung Approbation als Arzt
Juli 2004 - März 2010  September 2008  März 2009 seit April 2010	<b><u>Beruflicher Werdegang</u></b> Tätigkeit als Arzt im Praktikum, im Anschluss als Assistenzarzt und Facharzt im Marienhospital Stuttgart, Klinik für Mund-, Kiefer-, und Gesichtschirurgie Anerkennung zum Facharzt für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie Anerkennung zum Fachzahnarzt für Oralchirurgie Tätigkeit als angestellter Mund-, Kiefer- und Gesichts- chirurg, Überörtliche Berufsausübungsgemeinschaft MKG Regensburg - Passau
Dezember 2004	<b><u>Promotion</u></b> Promotion zum Dr. med. dent., Universität Tübingen