

Aus der Klinik für Mund-, Kiefer- und Plastische Gesichtschirurgie der Medizinischen  
Fakultät der Universität Rostock  
Direktor: Prof. Dr. med. Dr. med. dent. Dr. h.c. K.K.H. Gundlach MSD, FDSRCS

**Tierexperimentelle Untersuchungen zum Vergleich verschiedener  
chirurgischer Vorgehensweisen bei der Therapie von  
Unterkiefergelenkfortsatzfrakturen**

Inauguraldissertation zur Erlangung des akademischen Grades Doktor der Zahnmedizin der  
Medizinischen Fakultät der Universität Rostock

vorgelegt von Gunnar Millow aus Augsburg

[urn:nbn:de:gbv:28-diss2010-0201-2](http://urn:nbn:de:gbv:28-diss2010-0201-2)

Dekan: Prof. Dr. med. Emil Christian Reisinger

1.Gutachter: Prof. Dr. med. Dr. med. dent. Dr. h.c. Karsten Kurt Helmut Gundlach MSD  
FDSRC

2.Gutachter: Prof. Dr. med. Dr. med. dent. Andreas Neff

3.Gutachter: Prof. Dr. med. Dr. med. dent. Kai-Olaf Henkel

verteidigt am 03.03.2009 in Rostock

## **Inhaltsverzeichnis**

	Seite
1. Einleitung und Fragestellung	3
2. Literaturübersicht	4
2.1.1. Anatomie des Unterkiefers unter besonderer Berücksichtigung des Kiefergelenks	4
2.1.2. Embryologie, Wachstum und Wachstum beeinflussende Faktoren des Unterkiefers unter besonderer Berücksichtigung des Kiefergelenks	12
2.2. Einteilung, Klinik und Therapie von Unterkiefergelenkfortsatzfrakturen, insbesondere Kollumluxationsfrakturen im Wachstumsalter	22
3. Material und Methode	32
3.1. Material	32
3.2. Methode	33
3.2.1. Vorgehen	33
3.2.2. Messstrecken und –winkel	35
3.2.3. Auswertung	40
4. Ergebnisse	47
4.1. Radiologische Befunde	47
4.2. Beurteilung des zufälligen Methodenfehlers	50
4.3. Asymmetrieindex	53
4.3.1. Asymmetrieindizes in Abhängigkeit vom postoperativen Intervall	54
4.3.2. Asymmetrieindizes in Abhängigkeit vom chirurgischen Vorgehen	57
5. Diskussion	59
5.1. Rolle von Tierexperimenten	59
5.2. Kritische Wertung der Ergebnisse	61
5.3. Folgerungen aus den Ergebnissen	63
5.4. Einordnung der Ergebnisse in die Veröffentlichungen anderer Autoren	66
6. Zusammenfassung	74
7. Literaturverzeichnis	75
8. Anhang	90
9. Thesen	95
10. Selbständigkeitserklärung	97
11. Danksagung	98

## 1. Einleitung und Fragestellung

Die Gelenkfortsatzfrakturen des Unterkiefers nehmen in der Traumatologie eine besondere Rolle ein. Während bei allen anderen Frakturen des Gesichtsschädels die operative Reposition und Fixation allgemein akzeptiert ist, wird diese auch heute noch für die Kondylusregion in der Literatur kontrovers diskutiert.

Die technisch schwierige Reposition des Gelenkfortsatzes sowie der komplizierte Zugang zum Kiefergelenk durch die Lage des Nervus facialis begründen diesen Umstand (Eckelt 2000). Bei Brüchen des Processus condylaris im Kindesalter ist die Indikation zum chirurgischen Vorgehen noch enger gefasst, da die Auswirkung der Therapie auf das wachsende Gewebe beachtet werden muss.

Die Kollumfraktur ist aber bei Kindern die häufigste Bruchstelle der Mandibula. Wichtigste Ursache sind Stürze auf das Kinn (Knobloch 1980). Solche Frakturen wurden bis jetzt überwiegend konservativ–funktionell behandelt. Mit der konservativen Therapie sind in der Vergangenheit befriedigende bis sehr gute Ergebnisse erreicht worden (Kristen 1966, Krüger 1971, Holtgrave et al. 1975, Knobloch 1980, Lammers et al. 1983, Gerlach et al. 1991). Es wird allerdings auch von Misserfolgen dieser Behandlung berichtet (Hollmann et al. 1986, Raveh et al. 1989). So wurden Wachstumsstörungen, Gesichtsasymmetrien, Kiefergelenksfunktionsstörungen und Ankylosen nach konservativer Therapie von Kollumluxationsfrakturen im Kindesalter beobachtet.

Bei Kindern mit stark dislozierten oder luxierten Gelenkfortsatzfrakturen, die älter als zehn Jahre alt sind, ist die konservativ–funktionelle Behandlung nicht immer ausreichend (Gundlach 1991).

In der vorliegenden Arbeit wird an juvenilen Minischweinen, mit Hilfe röntgenologischer Vermessungen, die Auswirkung von unterschiedlichen Konzepten zur Therapie von Frakturen des Collum mandibulae auf das Unterkieferwachstum untersucht.

Es sollte also festgestellt werden, ob:

1. Wachstumsstörungen an den Unterkiefern der Versuchstiere nachzuweisen waren.
2. Unterschiede der Auswirkung auf das Wachstum nach verschiedenem chirurgischen Vorgehen nachzuweisen waren.

## 2. Literaturübersicht

### 2.1.1. Anatomie des Unterkiefers unter besonderer Berücksichtigung des Kiefergelenks

Das Verständnis für die anatomischen und topografischen Besonderheiten des Unterkiefers ist eine Voraussetzung für seine adäquate Therapie.

Der Unterkiefer, Mandibula, ist eine frei bewegliche Spange, die durch die Kiefergelenke mit den Schläfenbeinen verbunden ist (Schumacher 1984).

Er besteht aus dem parabolisch gekrümmten Körper, Corpus mandibulae, und den paarigen Unterkieferästen, Rami ascendentes mandibulae. Von den Unterkieferästen zweigen die Muskelfortsätze, Processus coronoidei, und Gelenkfortsätze, Processus condylares, ab (Rauber und Kopsch 1998).

Am Unterkieferkörper unterscheidet man zwei Abschnitte, den unteren Basaltbogen, Basis mandibulae, und den oberen zahntragenden Alveolarfortsatz, Pars alveolaris.

Im mittleren Bereich des Körpers befindet sich vorn an der Außenseite der Kinnvorsprung, Protuberantia mentalis, zu dem beiderseits der Kinnhöcker, Tuberculum mentale, zu finden ist. In Höhe des zweiten Prämolaren findet sich in der Mitte des Körpers das Foramen mentale, durch das der Nervus mentalis und die Vasa mentalia hindurch treten. Die Linea obliqua verläuft an der Außenfläche des Körpers hinter dem ersten Molaren und geht in die Vorderkante des Unterkieferastes über.

An der Innenseite des Unterkieferkörpers liegt im Kinnbereich die Spina mentalis, die zwei flache Gruben, Fossae digastricae, trennt. Aus diesen entspringen die vorderen Bäuche der Musculi digastrici. Die Spina mentalis dient den Musculi genioglossi und geniohyoidei als Ursprung.

In schräg nach hinten steigender Richtung zieht sich eine Knochenleiste, die Linea mylohyoidea, an welcher der gleichnamige Muskel entspringt. Eine oberhalb dieser Linie im Prämolarenbereich gelegentlich auftretende Knochenwulst bezeichnet man als Torus mandibularis.

Im hinteren Drittel des Unterkieferkörpers unterhalb der Linea mylohyoidea befindet sich eine Grube für die Glandula submandibularis, die Fovea submandibularis. Oberhalb der Linie im vorderen Abschnitt des Unterkiefers liegt die Glandula sublingualis dem Knochen an und bildet dort die Fovea sublingualis.

Der Alveolarfortsatz entwickelt sich erst mit dem Durchbruch der Zähne. Er enthält die Zahnfächer, Alveoli dentales. Der Alveolarbogen ist im hinteren Bereich etwas stärker nach innen gekrümmmt als der Basalbogen. Der Alveolarfortsatz besteht aus einer äußeren und einer inneren Knochenlamelle, die zusammen mit den Septa interalveolaria die Zahnfächer begrenzen. An der Außenfläche wölbt sich der Knochen mit den Juga alveolaria vor, hauptsächlich im Bereich der Schneide- und Eckzähne. Bei fehlender funktioneller Beanspruchung bildet sich der Alveolarfortsatz zurück.

Der Unterkieferkörper geht am Kieferwinkel, Angulus mandibulae, in den aufsteigenden Unterkieferast über. Außen am Kieferwinkel befindet sich am Ansatz des Musculus massetericus eine Rauhigkeit, die Tuberrositas masseterica. An der Innenseite bildet der Ansatz des Musculus pterygoideus medialis die Tuberrositas pterygoidea.

Das Foramen mandibulae liegt zentral auf der Innenseite des aufsteigenden Astes. Dort beginnt der Mandibularkanal, Canalis mandibulae, der im Foramen mentale endet. Das Foramen mandibulae wird von einer Knochenplatte, Lingula mandibulae, überlagert. An dieser setzt das Ligamentum sphenomandibulare an. Die gelegentlich am Hinterrand des Foramen gefundene Knochenleiste wird als Antilingula bezeichnet. Vom Foramen mandibulae zieht eine Knochenrinne, der Sulcus mylohyoideus für den Nervus mylohyoideus, schräg nach unten vorn.

Die Größe des Kieferwinkels, sowie die Lage von Foramen mandibulae und Canalis mandibulae ändert sich während des Wachstums und der Funktionsperiode.

Der Ramus mandibula endet mit den zwei bereits erwähnten Fortsätzen, die von der Incisura mandibulae getrennt werden.

Der Muskel- oder Kronenfortsatz, Processus coronoideus, ist eine dreieckige flache Platte, an der die oberflächlichen Anteile des Musculus temporalis inserieren. Sein vorderer Rand setzt sich in die Vorderkante des Ramus fort. Eine Muskelleiste, Crista temporalis mandibulae, dient der tiefen Portion des Musculus temporalis als Ansatz. Hinter dem dritten Molar gabelt sich diese Leiste und schließt ein dreieckiges Feld ein, das Trigonum retromolare. Seitlich von der Crista temporalis mandibulae liegt eine Grube, die Fovea retromolaris.

Der Muskelfortsatz ist etwas länger als der dahinter liegende Gelenkfortsatz, Processus condylaris. Dieser trägt das walzenförmige Gelenkköpfchen und ist durch den schlanken Hals, Collum mandibulae, mit dem Kieferast verbunden. Der kraniale Abschnitt des Gelenkfortsatzes des Unterkiefers ist topografisch dem Kiefergelenk zuzuordnen.

Das Kiefergelenk befindet sich zwischen Unterkiefer und Schädelbasis. Es besteht im Einzelnen aus dem Gelenkkopf, der Gelenkgrube, dem Gelenkhöcker, einer Gelenkscheibe und der umgebenden Gelenkkapsel mit dazugehörigem Bandapparat (Schumacher 1984, Rauber und Kopsch 1998).

Der Gelenkkopf, Caput mandibulae, befindet sich am kranialen Ende des Gelenkfortsatzes und wird auch als Kondylus bezeichnet (Schumacher 1983). Er überragt den Ramus mandibulae nach medial. Dies wird auch Anteversio capitis genannt. Transversal beträgt die Breite des Köpfchens etwa 2 cm, sagittal etwa 0,5 cm (Häupl 1949, Pernkopf 1958).

Verlängert man die Längsachsen der Unterkieferköpfchen, so schneiden sie sich unter Normalbedingungen knapp vor dem Vorderrand des Foramen magnum unter einem Winkel von 150-160 Grad (Reichenbach 1970, Schumacher 1983). Der Kondylus überragt den Kondylushals medial stärker als lateral (Schröder 1987).

Ventral unter dem Caput mandibulae liegt eine Vertiefung, die Fovea pterygoidea, welche dem Musculus pterygoideus lateralis als Ansatz dient. Diese wird lateral von der Incisura mandibulae und medial von der Crista colli mandibulae begrenzt.

Die Gelenkfläche des Kondylus besteht aus einem ventralen Abhang, der (nach Schröder 1935) eigentlichen Gelenkfläche, und einer hinteren steil abfallenden Fläche. Erstere hebt sich ventral gegen die Fovea pterygoidea ab und wird von der Ansatzlinie der Gelenkkapsel umrandet (Parma 1932). Eine Rauhigkeit, die etwa 6 mm unterhalb der Kondyluskuppe in horizontale Richtung verläuft, bildet nach Häupl (1949) die Grenze zum Collum mandibulae. Der als hauptsächlich artikulierende Fläche des Kondylus geltende ventrale Abhang ist mit Faserknorpel überzogen, während die dorsale Fläche einen straffen bindegewebigen Überzug besitzt (Parma 1932). Der Gelenkknorpel besteht aus einer oberflächlichen, wenig vaskularisierten Schicht. Während früherer Entwicklungsphasen ist diese Schicht zellreich, wird jedoch im Alter sehr faserreich. Die Fasern verlaufen oberflächlich parallel, darunter senkrecht zur Oberfläche. Die oberflächliche Schicht hat sich den Gleitbewegungen angepasst, die tiefere Schicht dämpft Zugkräfte und wirkt wie ein Stoßdämpfer (Parma 1932).

Der Faserknorpel ist in der Mitte dicker als in den Randzonen (Schumacher 1984). Unterhalb dieses bindegewebigen Knorpelgewebes liegt eine Schicht von Prächondroblasten. Diese ist ein Zentrum der Zellproliferation und produziert Knorpel für die spätere Ossifikation (Enlow 1989).

Die Form des Caput mandibulae ist nach Lang und Schiller (1976) annähernd walzenförmig. Fick (1911) bezeichnet es als ellipsoide Walze. Dowgjallo (1933) spricht von einem Dreiachsenellipsoid. Nach Schumacher (1972) weist die Form starke individuelle Variationen auf, wobei sogar noch zwischen rechtem und linkem Kondylus Unterschiede in Form und Stellung bestehen können.

Der temporale Gelenkteil besteht aus der Gelenkgrube, Fossa mandibularis, und dem Gelenkhöcker, Tuberculum articulare. Beide Anteile gehören überwiegend zur Pars squamosa des Os temporale und bilden eine S-förmige Gelenkbahn (Sieglbauer 1963, Schumacher 1972).

Die Fossa mandibularis ist wie der Gelenkknorpel des Kondylus in sagittaler und frontaler Ebene konkav gewölbt (Rauber und Kopsch 1998). Sie ist anterior durch das Tuberculum articulare, medial durch die Spina angularis des Os sphenoidale und die Crista tympanica des Os temporale, sowie posterior durch die Vorderwand des Meatus acusticus externus begrenzt. Als laterale Grenze bezeichnet Sieglbauer (1963) die Crista supramastoidea. Pernkopf (1958) hingegen sieht sie in der Ansatzlinie des Musculus temporalis an der Squama.

Die Gelenkgrube ist 2 bis 3 mal größer als die Gelenkfläche des Mandibularkopfes (Rauber und Kopsch 1998). Die vordere, zur Pars squamosa gehörende Fläche ist mit Faserknorpel überzogen und an der Artikulation beteiligt. Der hintere, im Bereich der Pars tympanica liegende Anteil ist mit verdicktem Periost bedeckt und liegt extrakapsulär (Reichenbach 1970).

Das Tuberculum articulare hat eine sattelförmige Gestalt und geht vorn in die Wurzel des Arcus zygomaticus über. In der Sagittalen ist das Tuberculum konvex und in der Transversalen leicht konkav gewölbt. Die Gelenkfläche der Fossa mandibularis geht kontinuierlich in die Facies articularis des Gelenkhöckers über. Diese ist ebenfalls mit Faserknorpel überzogen (Häupl 1949, Pernkopf 1958).

Das Tuberculum articulare bildet sich mit dem Zahndurchbruch. Der Neigungswinkel der Gelenkfläche zur Okklusionsebene beträgt beim Erwachsenen etwa 35 Grad, unterliegt jedoch starker Variabilität (Rebel 1954, Bauer und Gutowski 1978, Schumacher 1984).

Der Discus articularis ist eine faserknorpelige bikonkave Scheibe, die dem Kieferköpfchen kappenartig aufsitzt und den Gelenkraum in einen oberen und unteren Spalt teilt (Puff 1963, Schumacher 1983). Die Form ist ovoid.

Zentral in der intermediären Zone ist der Diskus 1 bis 2 mm dünn und besteht aus straffem Bindegewebe. In den Randzonen ist er dicker. Vorn beträgt seine Dicke 2 bis 3 mm, hinten 3

bis 4 mm. Die dicken Zonen bestehen aus straffem Bindegewebe, in das beim Erwachsenen Knorpelzellen eingelagert sind.

Wright und Moffet (1974) konnten nachweisen, dass bei Jugendlichen sämtliche Gelenkfläche des *Tuberculum articulare* und des *Discus articularis* nur aus kollagenem Bindegewebe bestehen. Der hintere Abschnitt, der in Ruhelage der Gelenkfläche des *Caput mandibulae* aufliegt, enthält Faserknorpel. Dorsal befindet sich die so genannte bilaminäre Zone. Das obere Blatt enthält neben kollagenen Fasern reichlich elastische Netze und ist am Rand der *Fissura petrosquamosa* befestigt. Der untere Anteil besteht aus straffem Bindegewebe und ist am *Collum mandibulae* verankert. Das zwischen den beiden Blättern befindliche, stark vaskularisierte Gewebe wird von Zenker (1956) als retroartikuläres Polster bezeichnet.

Der Diskus ist vorn, medial und lateral mit der Gelenkkapsel verwachsen (Schumacher 1984, Rauber und Kopsch 1998). Schon Wallisch (1909) konnte eine Korrelation zwischen der Form des *Tuberculum* und der des Diskus nachweisen. Danach kommt ein dicker hinterer Diskusabschnitt häufig bei einem hohen *Tuberculum* vor. Dementsprechend ist ein dünner hinterer Diskusbereich oft mit einem flachen *Tuberculum* kombiniert.

Alle Bereiche des Kiefergelenks unterliegen Formvariationen, die nach Alter und Gebrauchszustand mehr oder weniger stark sind. Der Diskus verschiebt sich mit den Kieferbewegungen und wirkt somit wie eine transportable Gelenkpfanne (Schumacher 1984). Aufgabe des Diskus ist es, die Inkongruenz zwischen den artikulierenden Gelenkflächen, sowie Größenunterschiede zwischen Gelenkpfanne und Kondylus auszugleichen (Schumacher 1984). Nach Hjörtsö (1960) besteht die Hauptaufgabe darin, die anatomischen Voraussetzungen für die spezielle Gelenkmechanik zu schaffen.

Danach bildet der bikonkave Diskus zwei Gelenkpfannen, so dass beide Knochenenden wie Gelenkköpfe angesehen werden können. Fick sprach schon 1910 von der gleichzeitigen Bewegung in allen vier Gelenken (rechts und links, oben und unten). Gernet und Rammelsberg (2000) bezeichnen das Kiefergelenk als das einzige „Doppelgelenk“ des Körpers.

Die Gelenkkapsel, *Capsula articularis*, ist relativ weit und bietet somit einen großen Bewegungsspielraum. Nach Sieglbauer (1963) hat die Gelenkinnenhaut im lateralen Teil der oberen Gelenkkammer eine Falte, die er als synovialen Diskus bezeichnet. Die Kapsel ist mit dem vorderen Rand des *Tuberculum articulare* verbunden, begrenzt lateral und medial die *Fossa mandibularis*. Hinten ist die Kapsel vor der *Fissura petrotympanica* verankert. Kaudal umfasst sie das *Collum mandibulae*, dorsal etwas weiter als ventral (Schumacher 1984,

Rauber und Kopsch 1998).

Zum Bandapparat des Kiefergelenks gehören :

#### 1. Das Ligamentum laterale

Es wird auch als Ligamentum temporomandibulare bezeichnet. Es entspringt lateral vom Gelenkhöcker und zieht schräg nach hinten unten, zur lateralen Seite des Collum mandibulae. Die hinteren Fasern haben eine Verbindung zur Gelenkkapsel und werden von Straßer (1913) als oberes Meniskusband bezeichnet.

#### 2. Das Ligamentum mediale

Es zieht auf der medialen Seite in gleicher Richtung, wie das Ligamentum laterale, ist allerdings erheblich schwächer.

#### 3. Das Ligamentum sphenomandibulare

Es ist ein Überbleibsel des Meckelschen Knorpels und zieht als flacher Bindegewebsstreifen von der Spina angularis des Keilbeins zur Lingula mandibulae.

#### 4. Das Ligamentum stylomandibulare

Es ist eine Verbindung zwischen Processus styloideus und hinterem Rand des Ramus mandibulae. Ein Teil der Fasern strahlen in die Faszie des Musculus pterygoideus medialis ein.

Die beiden zuletzt genannten Bänder besitzen keine direkten Verbindungen zur Gelenkkapsel. Die Seitenbänder allerdings beteiligen sich an der Führung des Kiefergelenks, außerdem schränken sie dessen Randbewegungen ein (Schumacher 1984, Rauber und Kopsch 1998).

Von besonderer Bedeutung für die Traumatologie des Unterkiefergelenkfortsatzes ist die Gefäßversorgung des Capitulums. Deshalb soll jetzt noch kurz darauf eingegangen werden. Die Blutversorgung des Kieferköpfchens ist bisher wenig untersucht worden. Castelli (1963) wies nach, dass Arterien den Kondylus über die Kapsel des Kiefergelenks sowie über den Musculus pterygoideus lateralis versorgen.

Nach Cadenat et al. (1972) soll die Blutversorgung des Gelenkkopfes über eine intraossäre Arterie erfolgen, die von der Arteria alveolaris inferior stammt.

Bei Untersuchungen von Gefäßverläufen an menschlichen Schädeln fand Anders (2002) keinen Hinweis auf eine intraossär aufsteigende Versorgung des Gelenkkopfes durch Zweige aus der Arteria alveolaris inferior. Eine Versorgung durch Gefäße des Musculus pterygoideus lateralis konnte er ebenfalls nicht finden.

Djindjian und Merland (1978) sowie Voy und Fuchs (1980) sehen die Versorgung hingegen aus einem System von Gefäßen, die aus den Arteriae maxillaris und temporalis superficialis zum Kiefergelenk ziehen und im Bereich der Gelenkkapsel radial in den Knochen einziehen. Schuberth (1998) hält die Versorgung des Kondylus über periostale Gefäße für wahrscheinlich.

Momentan überwiegen die Hinweise darauf, dass das Gelenkköpfchen von einer Zone feiner Kapillarschleifen umgeben wird und außerdem endostal über Äste der Arteria masseterica und Arteria facialis, zum Teil aber auch periostal, sowie über die Kapsel aus Gefäßen der Kaumuskulatur und der Arteria facialis versorgt wird (Voy und Fuchs 1980, Saka et al. 2002).

Das Kiefergelenk wird überwiegend durch ein ausreichend vaskularisiertes und gut durchblutetes Kapselgewebe ernährt. Die Blutgefäße stammen überwiegend aus der Arteria temporalis superficialis, aber auch aus Ästen der Arteriae masseterica, maxillaris, auricularis profunda sowie der Arteria tympanica anterior und wahrscheinlich liefert auch die Gefäßversorgung des Musculus pterygoideus lateralis einen Beitrag (Griffen 1959, Voy und Fuchs 1980, Anders 2002 und 2006).

Die Unterkiefer vom Schwein sind aufgrund vergleichbarer embryonaler Entwicklung und ähnlicher Ernährungsweise dem Menschen sehr ähnlich (Weaver et al. 1962). Vergleichende Untersuchungen von Gelenkköpfen ergaben besonders bei Schweinen mit einem Gewicht von 30 kg bzw. 60 kg starke Analogien zu menschlichen Kiefergelenkköpfchen (Kaduk et al. 2003).

Natürlich bestehen auch Unterschiede in der Anatomie des Unterkiefers zwischen Schwein und Mensch, vor allem, was die Anzahl der Zähne betrifft. Das Schweinegebiss wird als ursprüngliches Säugetiergebiss bezeichnet, weil es noch aus allen 44 Zähnen der niedersten Plazentalier besteht. Spezialisiert ist das Gebiss des Schweines durch die zu speziellen Werkzeugen geformten Eckzähne, die eine Besonderheit des Schweinegebisses darstellen

(Nickel et al. 1987). Das Schwein hat ein diphydontes Gebiss, das heißt in der Embryonalentwicklung wird wie beim Menschen eine zweimalige Dentition angelegt (Koch und Berg 1990).

## 2.1.2. Embryologie, Wachstum und Wachstum beeinflussende Faktoren des Unterkiefers unter besonderer Berücksichtigung des Kiefergelenks

Um Folgen von Störungen im wachsenden Gewebe zu vermeiden, sind zunächst erst einmal grundlegende Kenntnisse über dessen Entwicklung und das Wachstum beeinflussende Faktoren notwendig.

Der Begriff Wachstum ist bereits seit geraumer Zeit definiert. Diese Definition ist durch zunehmende Abstraktion allgemein gültig.

Rössle (1923) sagte, dass Wachstum Zunahme sei, bedingt durch den Ansatz von strukturell und funktionell vollwertiger lebender Masse.

Laut von Bertalanffy (1957) wird Wachstum als die Größenzunahme eines lebenden Systems beschrieben, welche sich daraus ergibt, dass der Aufbau den Abbau überwiegt.

Wachstum ist ein quantitativer Prozeß, der eine irreversibel mess- oderzählbare Vergrößerung zur Folge hat, stellte Specht (1968) fest.

Bertolini (1970) meinte, dass es dann zustande käme, wenn die Assimilation die Dissimilation überträfe.

Dausch-Neumann (1987) verstand unter Wachstum eine Größenzunahme in allen drei Dimensionen.

Eine speziellere Beschreibung des Wachstums gibt Enlow (1989). Er bezeichnete es als Zusammenwirken von remodellierenden und translativen Veränderungen.

Der Unterkiefer gehört zum Viscerocranum. Er entsteht durch desmale Ossifikation und gehört zum mesenchymal präformierten Desmocranum ebenso wie das Schädeldach. Im Gegensatz dazu gehört die Schädelbasis zum knorpelig präformierten Chondrocranium und entsteht durch enchondrale Ossifikation. Das Os temporale weist beide Ossifikationstypen auf. Die Quellen für dieses Material stammen aus dem Kopfmesenchym, den kranialen Somiten, sowie den ersten beiden Kiemenbögen (Schumacher 1984).

Im ersten Kiemenbogen liegt bei den Säugetieren der Mandibularwulst. Er enthält den Meckelschen Knorpel (Boenig 1967). Der Kondylenknorpel, welcher mitverantwortlich ist für das Unterkieferwachstum, entsteht unabhängig vom Chondrocranium und vom Meckelschen Knorpel (El Nabulsi und Krüger 1980).

Aus dem dorsalen Ende des Meckelschen Knorpels entsteht das primäre Kiefergelenk, ein späterer Teil des Mittelohres. Der ventrale Abschnitt geht bis auf einen kleinen Anteil, der sich an der Bildung der Unterkiefersymphyse beteiligt, zugrunde. Aus dem umgebenden Mesenchym des ventralen Anteils, entsteht die Mandibula (Schumacher 1984). Erste Zeichen der Verknöcherung des präformierten Mesenchyms erscheinen beim Menschen in der 6. Embryonalwoche (Youdelis 1966).

Die kondyläre Entwicklung beginnt in der 8. Woche (Baume 1962).

Der Kondylenknorpel beginnt sich in der 11. Woche herauszubilden. Er ist damit kein Teil des Primordialknorpels (Fränkel 1986). Etwa ab der 13. Woche findet man neben den appositionellen auch resorptive Veränderungen.

Die sich entwickelnde Mandibula nähert sich dem Os temporale in der 12. Embryonalwoche maximal. Das sekundäre Kiefergelenk entwickelt sich also in der Fetalperiode zeitlich später als die übrigen Gelenke.

Aus einer mesodermalen Verdichtung, dem kondylären Blastem, entstehen der Gelenkkopf, der Gelenkhals und Elemente des kaudalen Gelenkbereiches. Die kranialen Anteile entstammen dem glenoiden Blastem, der Diskus geht aus beiden Blastemen hervor (Baume 1962, Baume und Holz 1970). In der 14. Woche sind alle Gelenkstrukturen ausgebildet. Danach finden lediglich noch topographische Umformungen und Wachstum statt (Schröder 1987).

Mit dem fünften Monat sind die meisten am Unterkiefer ansetzenden Muskeln erkennbar (Schmidhuber 1930). Nach 26 Wochen erkennt man schon das Wachstumsmuster, welches später auch beim Erwachsenen vorliegt, mit Ausnahme der Inzisalregion (Enlow 1989).

Bei der Geburt hat das Kiefergelenk des Menschen noch relativ wenig differenzierte Strukturen. Der temporale Gelenkanteil lässt morphologisch ein kleines Tuberculum articulare und eine seichte Fossa articularis erkennen (Wright und Moffet 1974).

Der Kondylus zeigt eine kleinere anteroposteriore und eine größere mediolaterale Ausdehnung (Öberg et al. 1971). Das trifft auf den Discus articularis in gleicher Weise zu. Gleichzeitig neigt der Diskus sich leicht abwärts, parallel zur Neigung des kleinen Tuberculum articulare. Seine sagittale Kontur erscheint bikonkav aber weit weniger ausgeprägt, im Vergleich zum Erwachsenenalter (Wright und Moffet 1974).

Der postnatale Gestaltwandel der knöchernen Gelenkelemente und des Discus articularis vollzieht sich beim Menschen besonders schnell bis zur Kindheit (Wilson und Gardner 1982) und ist mit dem Auftreten des bleibenden Gebisses im Wesentlichen abgeschlossen.

Die entscheidenden Entwicklungstendenzen zeigen sich in einer Erhöhung des Tuberculum articulare durch Knochenapposition von 2 mm zum Zeitpunkt der Geburt bis auf 6-7 mm im Erwachsenenalter. Damit vertieft sich die Fossa articularis. Der Processus zygomaticus wächst im Verhältnis zur Squama temporalis nach lateral und abwärts, so dass sich der seitliche Rand der Fossa articularis und das Tuberculum articulare erweitern (Wright und Moffet 1974). Die typischen erwachsenen Strukturen der temporalen Gelenkanteile werden in der Phase des Wechselgebisses erreicht (Schröder 1987).

Der Kondylus unterliegt in seiner postnatalen Entwicklung nicht einem solchen unmittelbaren Gestaltwandel. Seine mediolaterale Ausdehnung wird größer (Lysell und Öberg 1966, Öberg et al. 1971, Wilson und Gardner 1982) Außerdem richtet er sich mehr horizontal aus (Wright und Moffet 1974).

In der Wechselgebissperiode wächst der Kondylus in allen drei Dimensionen. Ein Wachstumsschub in der Pubertät ist nicht zu erkennen (Wilson und Gardner 1982).

Dagegen kommt es zu einem deutlichen Wachstumsschub des aufsteigenden Unterkieferastes bei Mädchen im 7., bei Jungen im 8. Lebensjahr. Gleich nach dieser Längenzunahme folgt eine Phase der Wachstumsstagnation. Dieser Wachstumsimpuls korreliert nicht mit dem Körperlängenwachstum, deren Gipfel erst während der Pubertät, bei Mädchen mit 11 und bei Jungen mit 14 Jahren auftritt (Steuer 2003).

Der Discus articularis entwickelt sich in Abhängigkeit des Gestaltwandels der temporalen und kondylären Gelenkanteile. Seine stark ausgeprägte bikonkav Form bildet sich mit der Entwicklung des Tuberculum articulare besonders während der ersten Dentition heraus. Gleichzeitig neigt er sich stärker nach vorn und unten (Wright und Moffet 1974, Schröder 1987). Sein Wachstum in mediolateraler und anterioposteriorer Richtung passt sich stets der Ausdehnung der temporalen und kondylären Gelenkflächen an.

Die Verknöcherung des Unterkiefers beginnt in der Mitte des Körpers und breitet sich nach vorn und hinten aus.

Die knorpelige Symphysis mentalis ossifiziert erst in den ersten Monaten nach der Geburt (Schumacher 1984). Die Rami mandibulae sind kurz und überproportional breit in anterior – posteriorer Richtung. Der Kieferwinkel beträgt postnatal etwa 140 Grad. Der Processus

muscularis ist bereits kräftig ausgebildet (Miethke 2000). Es ist dorsal ein relativ breiter, vorn ein schmaler Alveolarwall vorhanden (Schulze 1993).

Im ersten Lebenshalbjahr wächst der unbezahnte Kiefer in sagittaler und transversaler Richtung um etwa 2 mm. Vom Beginn der ersten Dentition bis zu deren Abschluss kommt es vor allem infolge von Anlage, Bildung und Entwicklung der Zahnkeime zu einer Breitenzunahme von 4-10 mm (Dausch-Neumann 1987).

Die weitere Entwicklung ist durch eine Transformation in Richtung auf die endgültige Unterkieferform hin gekennzeichnet.

Der Kieferwinkel verkleinert sich bis auf etwa 120 Grad beim Erwachsenen (Schumacher 1984, Miethke 2000). Infolge des Milchzahndurchbruchs kommt es zur Alveolarfortsatzbildung und damit zur Höhenzunahme des Unterkieferkörpers. Durch Apposition am Hinterrand und Resorption an der Vorderkante des aufsteigenden Unterkieferastes, sowie Knochenanbau am ventralen Rand des Körpers kommt es zu einer Verlagerung des Unterkiefers nach unten und vorn (Baume 1955, Robinson und Sarnat 1955, Sarnat 1957). Diese Unterkieferrotation kann individuell sehr verschieden ausfallen (Miethke 2000).

Björk (1955) beobachtete, dass die Mandibula während ihres Wachstums nach anterior oder posterior rotiert mit einem damit einher gehenden jeweils charakteristischen Kondylenwachstum in Richtung und Größe. Die anteriore Rotation, man spricht auch vom horizontalen Wachstumsmuster oder counter clockwise rotation, beinhaltet ein nach superior und anterior gerichtetes Kondylenwachstum. Die posteriore Unterkieferrotation, auch vertikales Wachstumsmuster oder clockwise rotation genannt, ist gekennzeichnet durch ein nach posterior gerichtetes Kondylenwachstum.

Auch Miethke (2000) beschrieb diesen Zusammenhang zwischen der Wachstumsrichtung des Kondylus und der Rotation des Unterkiefers. Wenn sich der Gelenkfortsatz primär nach kranioventral entwickelt, rotiert der Unterkiefer nach vorn oben. Dann spricht er vom so genannten brachyfazialen Wachstumsmuster. Bei einem betont nach dorsokranial gerichtetem Wachstum erfolgt die Rotation nach unten hinten. Dies bezeichnete er als dolichofaziales Wachstumsmuster.

Durch die Umbauvorgänge am Ramus mandibulae verlängert sich der Unterkieferkörper. An dessen Basis kommt es durch linguale und bukkale Apposition zu einer Verbreiterung (Dausch-Neumann 1987).

Da das Schädelbreitenwachstum mit 2-3 Jahren beendet ist, liegt die definitive Position der Gelenkgruben an der Schädelbasis frühzeitig fest. Damit sind der Breitenentwicklung des Unterkiefers Grenzen gesetzt und es kommt in dieser Region zu einem überwiegenden Wachstum nach distal (Enlow 1989).

Die bereits erwähnte Verkleinerung des Kieferwinkels kommt durch differenzierte Resorption und kompensatorische Apposition zustande und ist wahrscheinlich Folge vermehrter und veränderter Muskelfunktionen (Kerr 1979).

Der Unterkiefer bewahrt zum Oberkiefer eine anatomische Balance. Die Form und Proportion des Unterkiefers wird während der fortschreitenden Größenzunahme konstant gehalten.

Enlow und Harris (1964) bezeichneten diesen Prozess von Apposition und Resorption als „remodeling“. Gleichzeitig finden Veränderungen durch Translation statt, das heißt durch sekundäre Verschiebung oder Verlagerung. Diese wird wiederum bedingt durch das Wachstum anderer Schädelabschnitte. Die Längenzunahme des Unterkieferkörpers erfolgt also durch posteriore Apposition und anteriore Resorption am Ramus mandibulae, welche nicht zur Verbreiterung des Ramus, sondern zu dessen Verschiebung nach posterior führt (Enlow 1968,1989).

Der Unterkiefer wächst also eher nach hinten, was gegen ein übergeordnetes mandibuläres Wachstumszentrum in der Gelenkregion spricht.

Die Rolle des kondylären Knorpels beim Wachstumsprozess des Unterkiefers wird in der Literatur kontrovers diskutiert. Die genaue Kenntnis darüber ist aber von überragender Bedeutung für die Klinik, insbesondere für die Therapie von Gelenkfortsatzfrakturen im Wachstumsalter, um Folgeschäden, vor allem Wachstumsstörungen, zu vermeiden. Von Wachstum in der Kondylusregion kann etwa bis zum 22. Lebensjahr ausgegangen werden (Engel und Brodie 1948).

Zahlreiche Autoren erkennen dem Kondylenknorpel eine entscheidende Bedeutung für das Wachstum der Mandibula zu. Wallisch (1912) stellte nach einseitiger Kondylusresektion bei einem Jungen Wachstumseinschränkungen auf der betroffenen Seite fest. Kantorowicz (1928) sprach als Erster die Vermutung aus, dass das Längenwachstum des Unterkiefers auch vom Gelenkköpfchen ausgeht. Wilson Charles (1925) sah das eigentliche Wachstumszentrum des Unterkiefers in der Gelenkregion.

Schmidhuber (1930) wies nach experimenteller Gelenkknorpelresektion an Hunden eine Verringerung des Unterkieferwachstums nach. Er schlußfolgerte allerdings auch, dass der Kiefergelenkknorpel nur unter physiologischem Reiz Knochen produziert. Er sprach dem Kondylenknorpel eine dem Epiphysenknorpel vergleichbare Funktion beim Wachstum zu. Später wurden einerseits regelmäßig ähnliche Ergebnisse veröffentlicht (Gross 1934, Sarnat 1957, Walker 1960, Moffet 1966), die den Kondylenknorpel als Schrittmacher des Unterkieferwachstums sehen. Danach handelte es sich beim Unterkieferwachstum um eine überwiegend enchondrale Ossifikation.

Andererseits wurde diese Annahme danach von vielen Autoren widerlegt (Sicher 1947, Moss 1959, Enlow 1968, Petrovic et al. 1981). Moss und Salentijn (1971) sahen den Kondylenknorpel als Sitz eines sekundären und kompensatorischen Wachstumszentrums und funktionell und strukturell eher mit einem Gelenkknorpel vergleichbar. Enlow (1968) bezeichnet den Processus condylaris zwar als wichtige Wachstumszone, die ein regionales Feld repräsentiert, aber keinesfalls als Kontrollzone des gesamten Unterkieferwachstums. Für die Einschätzung der Rolle des Kondylus als Wachstumszentrum der Mandibula ist es von besonderer Bedeutung, ob der Kondylenknorpel von der Struktur einem Epiphysenknorpel oder einem Gelenkknorpel ähnelt. Dazu gibt es in der Literatur einige Veröffentlichungen.

Schmidhuber (1930) wertete Gelenkschnitte von menschlichen Feten histologisch aus. Er stellte große Ähnlichkeiten zu den Epiphysen der Extremitätenknochen fest und kam zu dem Schluss, dass der Gelenkknorpel des Unterkiefers doch die Eigenschaften eines Wachstumsknorpels habe. Schmidhuber spricht von einer „epiphysären Zone“. Er betont allerdings auch, dass deren Anteil am Wachstum gegenüber der Funktion gering sei. Außerdem ist zu berücksichtigen, dass er seine Schlussfolgerungen durch Untersuchungen von ausschließlich fetalem Gewebe zog.

Sicher (1947) stellte fest, dass Mitosen, als besonderes Charakteristikum der Wachstumsdynamik, im kondylären Knorpel nur vereinzelt anzutreffen sind. Koski (1968) zeigte, dass die Anordnung der neu gebildeten Zellen nicht der Richtung entspricht, in die der Processus condylaris wächst.

Durkin et al. (1969) verglichen epiphysären mit kondylärem Knorpel. Sie wiesen an Meerschweinchen nach, dass die Verkalkung im Epiphysenknorpel zwischen den Chondrozytensäulen erfolgt. Dagegen verkalkt der Kondylenknorpel in unmittelbarer Umgebung der Chondroblasten.

Van der Linden (1971) wies darauf hin, dass es sich bei den Prozessen der Proliferation und Histodifferenzierung um „basic processes“ handelt, die in analogen Gewebestrukturen niederer Säugetiere genauso ablaufen, wie bei den Primaten.

Petrovic et al. (1975) wiesen im kondylären Knorpel das Fehlen, der für epiphysären Knorpel charakteristischen Säulenformation der Chondroblasten nach.

Gundlach (1983) führte histologische Untersuchungen an Unterkiefergelenkfortsätzen von Nagetieren durch und konnte experimentell die Analogie des Kondylenknorpels mit einem Epiphysenknorpel bei Extremitätenknochen widerlegen. Er wies nach, dass die Mandibula an vielen Stellen gleichzeitig wächst. Von diesen ist der Processus condylaris nur eine.

Die Einschätzung, dass der Kondylenknorpel das Hauptwachstumszentrum des Unterkiefers sei, ist also nicht haltbar. Schumacher (1968) stellte nach Knorpelexzision am Capitulum von Hunden keine Wachstumseinschränkungen fest.

Hausser (1964) beschrieb eine starke Wachstumshemmung bei einer Aplasie des rechten Kondylus einer 13-jährigen Patientin, dagegen nur geringgradige Veränderungen nach Aplasie des linken Kiefergelenkes eines 9-jährigen Jungen. Er erklärt diesen Unterschied mit der weiter ausgiebig vorhandenen funktionellen Beanspruchung bei dem Jungen und deren Ausbleiben durch fehlende Okklusionskontakte bei der Patientin. Das gestörte Wachstum kann man also als Sekundärschaden durch ausbleibende funktionelle Impulse verstehen.

Bernabei und Johnston (1978) stellten nach Untersuchungen an Ratten fest, dass der Kondylus ein unabhängiges Wachstumspotential besitzt, aber nicht „das“ Wachstumszentrum des Unterkiefers ist.

Koski (1974) fasste zusammen, dass es auf struktureller Basis Gründe dafür geben kann, dass der Kondylenknorpel das Unterkieferwachstum in der embryonalen und fetalen Entwicklung realisiert. Er hält diese Feststellung in der postnatalen Entwicklung aber für inakzeptabel. Durch ventrocaudale Dislokation des Kondylus in der Gelenkgrube, lässt sich der kondyläre Wachstumsprozess stimulieren. Dies ist auf eine Veränderung der mechanischen Umstände der den Gelenkkopf umgebenen Weichteilstrukturen zurückzuführen, besonders des Spannungszustandes vom Musculus pterygoideus lateralis (McNamara 1973, Petrovic 1974 et al.)

Das Wachstum des Unterkiefers wird von zahlreichen Faktoren beeinflusst.

Van Limborgh (1970) nennt „intrinsic genetic factors“, die in den Zellen verankerte Informationen darstellen und dort ihr Wirkungsfeld haben, sowie „epigenetic factors“, die

ebenfalls genetisch determiniert sind, jedoch über Einflüsse anderer Strukturen des Kopfes vermittelt werden. Diese sind sowohl lokal (z.B. das Gehirn) als auch allgemein (z.B. Hormone) wirksam. Die unmittelbar umgebenden Strukturen werden als „environmental factors“ bezeichnet, welche ebenso lokal (z.B. Kaumuskeln) oder allgemein (z.B. Nahrungszusammensetzung) angreifen, also unmittelbar aus der Umgebung.

Den Einfluss der funktionellen Beanspruchung durch das umgebende Gewebe als Wachstumsimpuls für den Unterkiefer bezeichnete Moss (1959) als Leistung der „functional matrix“. Schumacher (1968) sprach vom Einfluss „formgestaltender Faktoren“. Das Konzept der funktionellen Matrix besagt, dass Knochenwachstum als Antwort auf die funktionellen Beziehungen zu verstehen ist, die durch alle mit dem Knochen assoziierten Weichgewebe bewirkt werden. Das heißt, der Knochen bestimmt Umfang und Richtung seines eigenen Wachstums nicht selbst, es läuft sekundär und adaptiv kompensatorisch ab. Die funktionelle Weichgewebsmatrix ist die eigentlich bestimmende Determinante des Knochenwachstumsprozesses. Natürlich mit Feedback von der skelettalen Komponente. Wobei die genetische Determinante fast vollständig in den Weichgeweben lokalisiert ist (Moss 1959, Moss und Rankow 1968, Moss und Salentijn 1969).

Ein Zusammenhang zwischen Ernährung und Unterkieferwachstum wird ebenfalls beschrieben. Moore (1965) stellte nach Diät an Ratten eine Wachstumsretardierung der Mandibula fest.

Besonders der Einfluss der Kaumuskulatur auf das Wachstum des Unterkiefers ist immer wieder untersucht worden. Bereits 1911 wies Hoffmann nach, dass die Form des Muskelfortsatzes von der Entwicklung und Funktion des Musculus temporalis abhängig ist. Boyd et al. (1967) hingegen stellten an Meerschweinchen nach Resektion des Schläfenmuskels bei intakter Blutversorgung keine Wachstums einschränkungen am Processus coronoideus fest. Nach van Limborgh (1970) hängen Sekundärveränderungen am Schädel nach Kaumuskelresektionen von den Versuchsbedingungen ab. Insbesondere die Masse und funktionelle Bedeutung der resizierten Muskeln, das Lebensalter zum Zeitpunkt des Eingriffs und die postoperative Lebensdauer der Versuchstiere spielen dabei eine Rolle. Nikitjuk (1968) begründete ein vermindertes Längenwachstum des Unterkiefers nach Kaumuskelresektion vor allem mit einer Druckminderung im Kiefergelenk, bei gleichzeitig verminderter Knochenspannung, außerdem mit Bewegungseinschränkungen.

Nach Scott (1962) ist die Kraftentfaltungsrichtung der Kaumuskulatur für Knochenresorptions- und –appositionsvorgänge maßgebend. Für das Kondylenwachstum spielt der Musculus pterygoideus lateralis eine besondere Rolle. Petrovic et al. (1974) wiesen nach, dass nach Resektion dieses Muskels die Prächondroblastenvermehrung im Kondylus nachlässt. Dies hat eine Verkürzung des Abstandes vom hinteren Kondylenrand zum Foramen mentale zur Folge.

Die Steuerung des kondylären Wachstums über Aktivitätsänderungen des Musculus pterygoideus lateralis wird in der kieferorthopädischen Therapie genutzt. Nach Schumacher (1968) konzentrieren sich funktionelle Reize der Kaumuskulatur am Unterkiefer besonders stark, so dass deren Resektion hier zu ausgeprägten Formveränderungen führt.

Auch die Zunge steht in enger Beziehung zur Mandibula. Rheinwald und Becker (1962) sind der Auffassung, dass die Zunge einen Wachstumsreiz am Alveolarfortsatz ausübt. Sie messen ihr eine entscheidende Rolle am Unterkieferwachstum im Sinne einer Stemmkörperwirkung bei.

Schumacher (1968) beobachtete nach operativer Zungenverkleinerung lokale Veränderungen am Unterkiefer. Bunn (1982) bestätigte die Wirkung der Zunge im Tierexperiment. Er stellte nach Teilresektionen der Zunge an Minischweinen eine Wachstumseinschränkung des Unterkiefers fest.

Neben den bereits erwähnten Zungen- und Kaumuskeln veranlassen auch die Muskulatur des Mundbodens, des Schlundes und die mimische Muskulatur Knochenumbauvorgänge während der Entwicklung und des Wachstums (Blechschmidt 1947).

Nach Häupl (1965) überwiegen während der embryonalen Phase Einflüsse der Erbanlagen, postembryonal dagegen muskulär–funktionelle Reize. Das unterstützt die Aussage Bakers (1941), der fetale Rattenunterkiefer in die Beine erwachsener Tiere transplantierte und die Ausbildung des Unterkiefers in seiner spezifischen Form mit anschließender Modifizierung an Stellen der Muskeleinwirkung beobachtete.

Dem Einfluss der Zähne für das Unterkieferwachstum wird in der Literatur einige Bedeutung beigemessen. Fauchard bekämpfte schon 1725 (aus Pfaff 1921) die frühzeitige Milchzahnextraktion. Schmidhuber (1930) beobachtete nach Zahnkeimentfernungen an Hunden zwar Unterentwicklungen, jedoch keine Wachstumsänderungen. Er sah die Zähne als Vermittler funktioneller Einflüsse.

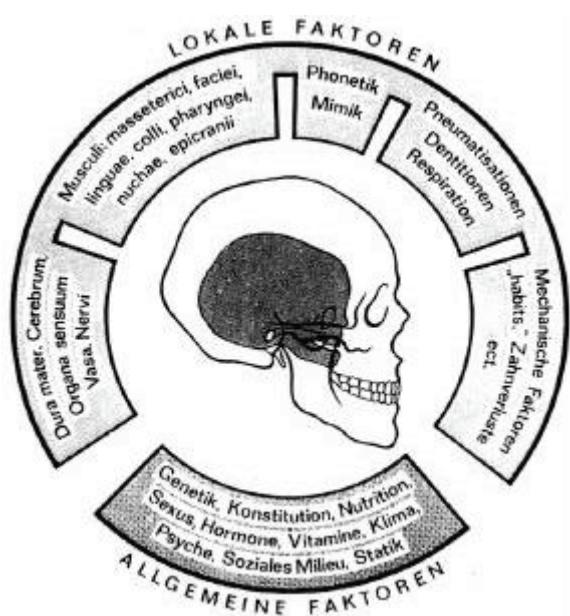
Petrovic und Stutzmann (1974) sahen durch Okklusionsveränderungen eine Zunahme der Wachstumsgeschwindigkeit in der Kondylusregion.

Das Zähne eine überragende Rolle bei der Herausbildung der Alveolarfortsätze haben, ist allgemein anerkannte Tatsache (Schumacher 1984).

Dass Knochenwachstum auch von der Vaskularisation abhängt, konnte Felts (1957) durch experimentelle Knochentransplantationen nachweisen.

Über die Steuerung des Knochenwachstums durch hypophysäre Wachstumshormone berichtete Baume (1957). Petrovic et al.(1974) wiesen allerdings durch Untersuchungen an Ratten nach, dass im Kondylenknorpel durch Gabe von Wachstumshormonen keine Erhöhung der mitotischen Aktivität zu erkennen war, im Gelenkknorpel der Tibia hingegen schon.

Schumacher (1973) hat ein Schema für das Wachstum des gesamten Schädels entwickelt. Er unterscheidet zwischen allgemeinen und lokalen Faktoren. Manche können sich in ihrer Wirkung addieren, andere kompensieren.



Schema der auf das kraniofaziale Wachstum wirkenden Faktoren  
(nach G.H. Schumacher 1997).

## 2.2. Einteilung, Klinik und Therapie von Unterkiefergelenkfortsatzfrakturen, insbesondere Kollumluxationsfrakturen im Wachstumsalter

Gelenkfortsatzfrakturen des Unterkiefers nehmen in der Traumatologie des Gesichtsschädelns eine besondere Rolle ein.

Die Therapie der Brüche des Processus condylaris muss neben der Konsolidierung der Fragmente auch auf die Wiederherstellung der Gelenkfunktion und der physiologischen Okklusion ausgerichtet sein. Stark dislozierte Frakturen werden nach den allgemeinen Regeln der Traumatologie reponiert und fixiert. Für alle Frakturen des Unterkieferkörpers sowie des Mittelgesichts gelten diese Grundsätze, während in der Therapie der Gelenkfortsatzfrakturen der Mandibula die Indikation zur operativen Reposition und Fixation in der Literatur kontrovers diskutiert wird.

Ursachen für diese Diskussion, sind in der besonderen topographischen Anatomie der Kiefergelenkregion zu finden. Der Verlauf des Nervus facialis erschwert den Zugang zum Processus condylaris und wegen der engen Zugangswege lässt sich der Gelenkfortsatz nur schwer reponieren.

Innerhalb der Gesichtsschädelfrakturen stellen die Frakturen des Unterkiefers mit 65 bis 80% den größten Anteil dar (Hoppe et al. 1964, Müller 1963, Becker und Austermann 1981, Sonnenburg und Härtel 1985). In einem Vergleich von retrospektiven Studien ermittelte Ramm (2005) in Hamburg eine Zunahme der Unterkieferfrakturen von den 1980ern zu den 90er Jahren um ca. 30%.

Brüche des Gelenkfortsatzes nehmen etwa ein Viertel bis ein Drittel aller Unterkieferfrakturen ein (Herfert 1955, Bolle 1962, Muska et al. 1973, Keutken et al. 1983, Horch und Herzog 1990). Depprich et al. (2007) ermittelten die isolierte Gelenkfortsatzfraktur mit einem Anteil von 47% als häufigsten einfachen Bruch im Gesichtsschädelbereich. Knobloch (1980) gab für Erwachsene einen Wert von 35% an.

Die besondere Häufigkeit dieser Frakturlokalisation ist in der Anatomie der Region und der Mechanik der auftreffenden Kräfte begründet. Das Collum mandibulae stellt die schwächste Stelle des Unterkiefers dar (Spiessl und Schroll 1972). Aufgrund dieses Umstandes kommt es dort zu den meisten Frakturen, obwohl das Kiefergelenk hinter dem Processus zygomaticus in der Fossa glenoidalis geschützt liegt (Horch und Herzog 1990).

Gelenkfortsatzfrakturen sind aber dem Mechanismus ihrer Entstehung nach überwiegend indirekte Biegungsbrüche, die durch Gewalt auf das Kinn und den seitlichen Unterkiefer hervorgerufen werden. Durch kranial von unten gerichtete Gewalt auf den Kieferwinkel entsteht dagegen eine Abscherungsfraktur (Austermann und Lisiak 1980).

Hauptsächliche Ursachen für die Frakturen des Unterkiefers sind Verkehrsunfälle und Rohheitsdelikte, vor allem Faustschläge. Arbeitsunfälle, Sport- und Spielverletzungen sowie Stürze werden seltener als Ursachen beobachtet (Jeckel et al. 1983, Sonnenburg und Härtel 1985).

Als häufigste Ätiologie für Gelenkfortsatzfrakturen gaben Mielke und Janenz (1991) mit 43% Rohheitsdelikte an, wobei die Hälfte dieser Frakturen unter dem Einfluss von Alkohol verursacht wurde.

Eine praxisnahe Klassifikation der Gelenkfortsatzfrakturen sollte sowohl therapeutische als auch prognostische Aspekte berücksichtigen. International werden derzeit unterschiedliche Klassifikationen gebraucht, was Vergleiche von Behandlungsergebnissen erschwert.

Allein im deutschen Sprachraum wird von Frakturen des Köpfchens, des Kondylus oder aber von Kollumfrakturen gesprochen (Eckelt 2000).

Waßmund schlug bereits 1927 eine Einteilung der Frakturen des Unterkiefergelenkfortsatzes vor, die sich an der Lokalisation des Bruches und der Dislokation des Gelenkkopfes orientiert und die auch heute noch ihre Gültigkeit besitzt:

1. Frakturen des Kieferhalses mit relativ geringer Verlagerung des Köpfchens.  
Der Winkel zwischen Kopf und Ramusachse beträgt 10 bis 45 Grad.
2. Nach dem zusätzlichen Reißen der medialen Portion der Gelenkkapsel beträgt der Winkel zwischen Kopf und Ramusachse 45 bis 90 Grad.
3. Frakturen sind beschränkt auf das Gebiet der Fossa glenoidalis, die Fragmente haben keinen Kontakt, der Gelenkkopf ist nach medial vorne verlagert und liegt außerhalb der Kapsel.
4. Der Gelenkkopf artikuliert auf oder vor der artikulären Erhöhung.
5. Vertikale oder schräge Fraktur durch den Gelenkkopf.

Unter Berücksichtigung anatomischer Strukturen und des therapeutischen Vorgehens hat sich folgende Einteilung bewährt (Horch und Herzog 1990):

1. Kapitulumfrakturen.
2. Intrakapsuläre Collumfraktur (hohe Gelenkfortsatzfraktur) - liegt oberhalb der Ansatzlinie des Musculus pterygoideus lateralis.
3. Extrakapsuläre Fraktur (mittlere Gelenkfortsatzfraktur) - liegt unterhalb der Ansatzlinie des Muskels.
4. Frakturen der Gelenkfortsatzbasis - verläuft von der Incisura mandibulae zum Hinterrand des Ramus mandibulae.
5. Luxationsfrakturen - der Gelenkkopf verlässt unter Zerreissung der Kapsel die Gelenkpfanne nach
  - medial (am häufigsten),
  - vorn,
  - hinten oder
  - lateral (sehr selten).

Die Diagnose einer Gelenkfortsatzfraktur wird in den meisten Fällen klinisch vermutet und röntgenologisch gesichert. Die klinischen Anzeichen sind abhängig von der Höhe der Fraktur und vom Dislokationsgrad der Fragmente, insbesondere ihre Beziehung zum Ansatz des Musculus pterygoideus lateralis.

Es bestehen in jedem Falle eine schmerzhafte Einschränkung der Mundöffnung, sowie ein Stauchungsschmerz, der durch Druck auf das Kinn bei leicht geöffnetem Mund ausgelöst wird. Dieser Schmerz kann allerdings auch bei Kontusion oder Distorsion auftreten.

Ein Frühkontakt in der Molarenregion der erkrankten Seite und ein daraus resultierender offener Biss im Frontzahnbereich der gesunden Seite sowie eine Mittellinienabweichung zur Frakturseite entstehen durch die Verlagerung des großen Fragments nach dorsal und kranial. Aus doppelseitigen Brüchen der Gelenkfortsätze resultiert eine symmetrische Rücklage des Unterkiefers.

Bei Frakturen oberhalb des Muskelansatzpunktes sind außerdem eine Druckschmerhaftigkeit im Gelenkbereich sowie eine Okklusionsstörung infolge des intrakapsulären Ödems bemerkbar. Dadurch wird ein Abweichen zur gesunden Seite im Sinn der Bonnet-Schonstellung bewirkt.

Brüche unterhalb des Ansatzpunktes des Musculus pteryoideus lateralis bedingen durch den Funktionsausfall des Muskels bei der Vorschubbewegung und der Mundöffnung des Unterkiefers eine Seitenabweichung zur verletzten Seite. Außerdem ist dann die Mediotrusion, das sind Bewegungen zur gesunden Seite, nicht möglich. Eine zusätzliche Dislokation bewirkt beim Kontaktverlust der Bruchflächen eine fehlende Mitbewegung des Gelenkkopfes bei der Mundöffnung.

Die Dislokation ist, wie auch die Luxation, durch Einlegen des kleinen Fingers in den äußeren Gehörgang palpatorisch nachweisbar (Horch und Herzog 1990, Eckelt 2000).

Zu beachten gilt es, dass Gelenkfortsatzfrakturen häufig im Zusammenhang mit Unterkieferkörperfrakturen auftreten. Mielke und Janenz (1991) berichteten, dass 14,4% der Unterkieferfrakturen aus dieser Kombination bestanden.

Eine röntgenologische Darstellung des Kiefergelenks in zwei Ebenen ist unerlässlich für eine exakte Diagnose.

Bewährt haben sich dazu die Panoramaschichtaufnahme und die posterior-anterior Röntgenaufnahme nach Clementschitsch. Eine erweiterte Diagnostik ist mit Hilfe der Kiefergelenkaufnahmen nach Schüller oder nach Hofrath möglich.

Die Einführung der Computertomographie stellte eine wesentliche Verbesserung in der Diagnoseerstellung dar. Insbesondere Frakturen im Bereich des Gelenkkopfes sind oft nur mit dessen Hilfe eindeutig zu erkennen.

Zur Abklärung von Weichteilverletzungen kann das Magnetresonantomogramm unterstützend eingesetzt werden (Puig et al. 2001). Damit lässt sich die Position des Diskus auch im Falle einer Gelenkfortsatzfraktur nachweisen. Arthroskopische Untersuchungen sind aufgrund ihrer möglichen Komplikationen und durch die Verbreitung der Kernspintomographie weitgehend überholt (Bergé et al. 2001).

Zur Kontrolle nach Repositionen ist auch die Ultraschalldiagnostik anwendbar. Es ist jedoch nicht mit Sicherheit möglich, eine Gelenkfortsatzfraktur mit dem Ultraschall auszuschließen (Eckelt 2000). Sonographisch lassen sich dem gegenüber der Gelenkspalt, sowie die Lage des Discus articularis sehr gut darstellen (Jank et al. 2002).

Bis zu Beginn des vergangenen Jahrhunderts erfolgte die Therapie der Frakturen des Unterkiefergelenkfortsatzes in allen Fällen konservativ.

Schon im ersten Lehrbuch der Medizin, dem Edwin - Smith - Papyrus, um etwa 3000 vor Christus, ist zur Behandlung von Kieferverrenkungen, so bezeichnete man damals sowohl Frakturen als auch Luxationen, Ruhigstellung mit Verschnürung angegeben.

Erst am Anfang des 20. Jahrhunderts kam Bewegung in das Therapieschema.

Scheff (1910) erwähnte als Erster ein operatives Verfahren zur Fixation mit Hilfe von Drahtnähten.

Die vorher so häufigen Ankylosen konnten allerdings erst mit der Einführung und regelmäßigen Anwendung der Röntgentechnologie und den damit verbundenen verbesserten Möglichkeiten der Diagnostik und der konsekutiven Therapie weitgehend vermieden werden. Waßmund (1927) fixierte die Fragmente mit einer Drahtosteosynthese, führte aber auch schon 1927 eine Plattenosteosynthese durch.

Demgegenüber stand ein konservatives Therapiekonzept, welches von Ruedi (1928) vertreten wurde. Er empfahl eine langzeitige Immobilisation mit späteren aktiven Dehnungsübungen. Die Behandlungsergebnisse nach operativer und konservativer Therapie unterschieden sich damals kaum, wobei das operative Konzept Risiken von Folgeschäden, wie Resorptionen des Gelenkfortsatzes oder Schädigungen des Nervus facialis beinhaltete.

In den nachfolgenden Jahrzehnten verbesserte sich das funktionelle Behandlungsschema durch Einführung funktionskieferorthopädischer Geräte und die Verkürzung der Immobilisationszeiten (Joos 1991).

Nach dem 2. Weltkrieg nahm die operative Versorgung bei bestimmten Bruchformen zu. An der Hamburger Kieferklinik stieg die Zahl der operativ versorgten Unterkieferfrakturen – mit Ausnahme der Kollumfrakturen - von 1962 bis 1972, von 8 auf 35% (Pfeifer et al. 1975).

Aber auch die operative Therapie der Unterkiefergelenkfortsatzfrakturen erhielt durch die Einführung funktionsstabilen Osteosyntheseverfahren neue Impulse. Koberg und Momma (1978) sowie Champy et al. (1978) beschrieben Verfahren mit Miniplatten. Petzel (1980) berichtete von einer weiteren funktionsstabilen Methode mittels Zugschraubenosteosynthese. Damit wurde es möglich, gleichzeitig die Fragmente in regelrechter Position zu fixieren und eine frühzeitige Mobilisation des Unterkiefers zu gewährleisten (Eckelt 2000).

Krenkel (1992) empfahl zur besseren Verteilung der Kompressionskraft eine Unterlegscheibe an der Schraube am distalen Fragment.

Ein Nachteil liegt in dem notwendigen Zweiteingriff zur Entfernung des Osteosynthesematerials. Daher wäre insbesondere in der schwer zugänglichen Gelenkregion ein resorbierbares Material von besonderem Interesse. Noguchi et al. (1998) führten dazu erste experimentelle Untersuchungen durch. In neueren Studien berichteten Ashammakhi et al. (2004) von guten Langzeitergebnissen nach dem Einsatz von resorbierbarem Osteosynthesematerial in der Gesichtschirurgie. Fels (1998) ermittelte beim Vergleich verschiedener Osteosyntheseverfahren gute Ergebnisse für Miniplatten und Zugschrauben. Wobei erstere geringfügig besser abschnitten.

Auch heute noch stehen sich, wie seit fast einem Jahrhundert, die zwei Therapiekonzepte gegenüber – operativ und konservativ.

Die Entscheidung darüber, welche Behandlungsalternative Erfolg versprechender ist, hängt offensichtlich von verschiedenen Faktoren ab.

Joos und Kleinheinz (1998) nennen dafür die Höhe der Fraktur, den Dislokationsgrad, sowie den Verlust an Höhe des aufsteigenden Unterkieferastes.

Es ist nicht möglich, ein disloziertes Kieferköpfchen mit konservativen Methoden aufzurichten, zu reponieren und sich in seiner alten anatomisch korrekten Stellung knöchern konsolidieren zu lassen.

Ein disloziertes oder luxiertes Kiefergelenkköpfchen verheilt entweder in Fehlstellung oder es wird resorbiert mit gleichzeitiger Bildung einer gelenkähnlichen Struktur am verbliebenen Knochenstumpf des aufsteigenden Astes (Faupel 1974). Thorén et al. (1998) bezeichneten dieses als Neokondylus.

Viele Autoren plädieren für funktionsstabile Osteosyntheseverfahren bei stark dislozierten und bei luxierten Gelenkknorpelzerrüttungen (Platz und Müller-Schelken 1979, Baker et al. 1998).

Die zu wählende Therapieform hängt also im Wesentlichen von der Frakturlokalisation, dem Ausmaß der Dislokation bzw. Luxation und vom Alter der Patienten ab (Bos et al. 1999).

Zide (2001) sieht unabhängig von der Frakturlokalisation die Indikation zur operativen Versorgung bei dislozierten Frakturen und instabiler Vertikaldimension als gegeben.

Selbst „nur“ dislozierte Kapitulumfrakturen können heute funktionsstabil osteosynthetisch versorgt werden (Hlawitschka et al. 2005, Neff et al. 2005) und geben bessere Ergebnisse als die konservative Methode (Umstadt et al. 2000).

Nach Schneider (2005) ist die operative Versorgung von Gelenkfortsatzfrakturen bei stark dislozierten Luxationsfrakturen, sowie erheblich dislozierten Gelenkfortsatzfrakturen jeder Lokalisation und diakapitulären Frakturen mit Verlust der vertikalen Höhe des Ramus mandibulae indiziert.

Unter den Brüchen des Unterkiefers erfordern die Kollumfrakturen bei Kindern aber eine gesonderte Betrachtung, da sich diese Patienten noch im Wachstum befinden.

Gerade im Kindesalter sind Brüche des Unterkiefergelenkfortsatzes besonders häufig. Greve und Pöhl (1991) ermittelten, dass 49,1% aller Unterkieferfrakturen in diesem Bereich zu finden sind.

Knobloch (1980) wies die Kollumfraktur mit 40% als prozentual häufigste Bruchstelle der Mandibula aus. Als Hauptursache ermittelte sie den Fahrradsturz auf das Kinn, mit Häufung im Alter von 9 – 12 Jahren.

Eine frühzeitige Diagnose und die adäquate Behandlung bewahren den kindlichen Patienten vor Dauerschäden, wie Gesichtssymmetrie, Vogelgesicht oder Ankylose (Proffit 1980).

Zu den Therapieergebnissen kindlicher Kollumfrakturen gibt es eine große Anzahl an Veröffentlichungen. Ein grundsätzliches Problem aller Arbeiten, die sich damit auseinandersetzen, ist die Schwierigkeit, statistisch fundierte Aussagen zu machen.

Die Vielzahl an Variablen (zum Beispiel Alter, Geschlecht, Wachstumstyp des Gesichtsschädels, Frakturtyp, ein- oder beidseitige Gelenkbeteiligung, Okklusion oder Behandlungsmodus), erschweren eine Einordnung (Cornelius et al. 1991).

Mit der konservativ–funktionellen Therapie wurden in der Vergangenheit befriedigende bis sehr gute Ergebnisse erreicht (Kristen 1966, Krüger 1971, Holtgrave et al. 1975, Knobloch 1980, Lammers et al. 1983, Gerlach et al. 1991).

Im Rahmen der verschiedenen konservativen Behandlungskonzepte von Kiefergelenkfortsatzfrakturen im Wachstumsalter erfolgt die funktionelle Therapie meist nach einer Phase der Ruhigstellung.

Allerdings gab Krüger (1971) eine weitgehend alleinige Behandlung mit dem Aktivator an. Kristen (1966) berichtete von funktionell voll befriedigender und anatomisch nahezu befriedigender Ausheilung nach Kiefergelenkluxationsfrakturen im Wachstumsalter. Ein primär operatives Vorgehen hielt Kristen für nicht indiziert. Er beobachtete eine rasche und spontane Wiederaufrichtung des Gelenkkopfes bis zum 12. Lebensjahr, im höheren

Lebensalter aber etwas langsamer.

Holtgrave et al. (1975) hingegen behaupteten, dass eine Wiederaufrichtung des luxierten und dislozierten Gelenkfortsatzes nicht stattfindet. Demnach wird das vom aufsteigenden Ast losgelöste Fragment abgebaut und es entsteht durch laufenden Umbau ein „neues“ funktionstüchtiges Kieferköpfchen. Holtgrave et al. sahen vor allem Kinder unter 10 Jahren aufgrund der beschleunigten Wachstumsvorgänge zu diesem Umbau fähig. Sie hielten eine funktionsstabile Osteosynthese bei exakter Reposition am Collum mandibulae des Kindes für nicht realisierbar.

Miller und McDonald (1986) berichteten von einem 9-jährigen Jungen, bei dem es nach beidseitiger Kondylusfraktur mit Zertrümmerung des linken Köpfchens, zu einer vollständigen Remodellation kam.

Bei experimentell herbei geführten dislozierten Gelenkfortsatzfrakturen bei einem Monat alten Ratten fanden Teixeira et al. (2006) degenerative Veränderungen am Gelenkfortsatz, sowie Asymmetrien der Höhe des Mandibularkörpers und der Maxilla.

Altmann und Gundlach (1992) beobachteten bei Kindern ab dem 9. Lebensjahr eine deutliche Verschlechterung der Behandlungsergebnisse.

Auch Lammers et al. (1983) widersprachen einer Wiederaufrichtung des alten Gelenkfortsatzes gegen den Zug des Musculus pterygoideus lateralis. Sie berichteten von guten bis sehr guten klinischen Therapieresultaten bei Kindern. Allerdings konnten in 42% der Fälle röntgenologische Veränderungen im Kiefergelenk nachgewiesen werden.

Jacobsen und Lund (1972) berichteten, dass es auf der Frakturseite neben Wachstumshemmungen auch zu einem überkompensierten Wachstum kommen kann. Gerlach et al. (1991) beobachteten unter funktionellem Einfluss eine Neubildung des Gelenkfortsatzes sowie des Gelenkkopfes durch appositionelles Knochenwachstum mit teilweiser Resorption des luxierten Fragments.

Es wurden nach konservativ–funktioneller Behandlung kindlicher Kollumluxationen allerdings auch weniger gute Ergebnisse beobachtet.

Raveh et al. (1989) berichteten von 26 operativ therapierten Kiefergelenksankylosen, die sämtlich nach konservativ behandelten Kollumfrakturen auftraten.

Auch Hollmann et al. (1986) konnten Wachstumsstörungen, Gesichtsasymmetrien, Kiefergelenksfunktionsstörungen und Ankylosen nach konservativer Therapie von Kollumluxationsfrakturen im Kindesalter beobachten.

Paoli et al. (2007) beschrieben einen Fall, in dem eine Kapitulumfraktur im Kindesalter zu einer späteren Ausbildung einer Schlaf-Apnoe führte.

Daher wurde in den letzten Jahren bei stark dislozierten oder luxierten Kollumfrakturen auch im Wachstumsalter häufiger die Indikation zur operativen Reposition des luxierten Köpfchens gestellt (Hollmann et al. 1977, Hoopes et al. 1979, Rodloff et al. 1991).

Timmel und Hollmann (1980) legten als Indikation für die chirurgische Reposition des luxierten Kapitulums fest, dass der Winkel zwischen der Achse des Kollums vom Kieferköpfchenfragment und der Achse des aufsteigenden Unterkieferastes (gemessen in einer posterior-anterior Aufnahme) mindestens 30 Grad beträgt und dass kein flächenhafter Kontakt zwischen den Bruchfragmenten vorhanden ist.

Rasse et al. (1991) konnten bei der operativen Behandlung von Kondylusfrakturen im Wachstumsalter gute Ergebnisse erzielen. Bei einem Vergleich mit einer konservativ behandelten Gruppe konnten sie trotz wesentlich ungünstigerer Ausgangslage der operativ versorgten Gruppe gleich gute Ergebnisse erreichen. Diese Therapie stellt eine Erweiterung der Behandlungsmöglichkeiten dar, allerdings führten sie keine funktionsstabile Osteosynthese durch.

Gundlach et al. (1991) erwägen bei Kiefergelenkluxationsfrakturen an Kindern, die älter als 10 Jahre alt sind, neben der offenen kieferchirurgischen Reposition auch die Fixation der Fragmente.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die konservativ-funktionelle Therapie bei jüngeren Kindern zu hervorragenden Ergebnissen führt. Bei älteren Kindern mit stark dislozierten oder luxierten Gelenkfortsatzfrakturen hat die operative Reposition durchaus ihre Berechtigung, wie sie bei der Behandlung von Erwachsenen Patienten allgemein akzeptiert ist.

Die Altersgrenze, bis zu der ein kindlicher Organismus in der Lage ist, durch die Kombination von resorptiven Prozessen und adaptivem Knochenwachstum einen neuen Gelenkfortsatz aufzubauen, wird in der Literatur mit 8 bis 10 Jahren angegeben. Unterhalb dieser Altersgrenze sollte eine offene Reposition nicht durchgeführt werden, da der Einfluss der funktionellen Matrix als alleiniger Stimulus für die vollständige Neubildung eines Processus condylaris ausreicht (Altmann und Gundlach 1991).

Zur Beantwortung der Frage, ob eine funktionsstabile Osteosynthese auch im Wachstumsalter folgenlos, das heißt ohne negative Einflüsse auf das weitere Kieferwachstum, möglich ist, bedarf es noch weiterer Untersuchungen, die auch in dieser Arbeit vorgenommen werden sollten.

### 3. Material und Methode

#### 3.1 .Material

In der vorliegenden Arbeit wurden die Unterkiefer von 10 juvenilen Minischweinen untersucht. Die Tiere gehören zur Rasse der Göttinger Miniatschweine. Sie stammen aus der Zucht Göttingen Minipigs ApS ELLEGAARD Dänemark. Die Tiere wurden bei natürlichen Tag- Nachtrhythmus gehalten und normal gefüttert.

Das Miniatschwein ist eine durch züchterische Maßnahmen entstandene kleinwüchsige Versuchsschweinerasse. Es wird seit mehr als 45 Jahren zu medizinischen und biologischen Versuchszwecken verwendet (Leucht et al. 1982).

Es ist eine genetisch reine, durch bedeutende Verringerung von Masse und Größe gekennzeichnete Rasse mit ähnlichen oder gleichen anatomischen, physiologischen, hämatologischen und biochemischen Parametern wie das auf extremen Fleischansatz gezüchtete Hausschwein (Begliger et al. 1975).

Durch partielle Übereinstimmung der oralen Gewebestrukturen und des Kauvorganges mit denen des Menschen wird das Miniatschwein als Versuchstier in der Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde bevorzugt (Drommer 1981, Ulrici et al. 1984, Schmelzeisen und Schön 1998, Saka et al. 2002).

Zu Beginn der vorliegenden Untersuchungen waren die Schweine sechs Monate alt. In diesem Alter beginnt die Geschlechtsreifung der Tiere (Christenson und Ford 1979). Die in diesem Experiment verwendeten Göttinger Minipigs entsprachen etwa dem Alter eines 10-jährigen Kindes (Wilhelm 2001).

Es handelte sich ausschließlich um männliche Tiere. An ihnen wurden operative Eingriffe vorgenommen. Das postoperative Intervall war bei den einzelnen Tieren unterschiedlich lang. Danach wurden sie getötet und die Unterkiefer entnommen. Von diesen sind Röntgenbilder angefertigt und anschließend vermessen worden.

### 3.2. Methode

#### 3.2.1. Vorgehen

Nachdem die Genehmigung der Tierversuchskommission vorlag, wurden die zu untersuchenden Tiere in fünf Gruppen mit jeweils zwei Minischweinen eingeteilt.

Die Tiere der ersten Gruppe wurden 20 Tage post operationem getötet. Die der Gruppe zwei nach 42 Tagen. Das postoperative Intervall bei den Tieren der dritten Gruppe betrug 63 Tage, das der vierten Gruppe 119 Tage. Die beiden Tiere der fünften Gruppe wurden nach 245 Tagen getötet (Tabelle 1).

Es wurden zwei verschiedene operative Eingriffe je Gruppe durchgeführt:

- An einem Tier der Gruppe erfolgte rechtsseitig nach präaurikulärem Zugang eine schräge, geradlinige Osteotomie im kaudalen Bereich des Collum mandibulae. Anschließend wurde das komplette Fragment mit dem Capitulum aus der Gelenkpfanne herausluxiert, so dass es vollständig von allen umgebenden anatomischen Strukturen getrennt war. Danach wurde das Kieferköpfchen vorsichtig wieder in seine natürliche Lage reponiert und die Wunde vernäht.
- Bei dem zweiten Tier jeder Gruppe erfolgte bei gleichem Vorgehen zusätzlich nach der Reposition des Capitulum die Versorgung der Fraktur mittels Miniplattenosteosynthese.

Verwendet wurden Miniplatten mit monocorticalen Schrauben. Die Platten gehörten zum System Centerdrive der Firma Martin.



Tier 52327, vollständig herausluxiertes Fragment

Alle Eingriffe erfolgten nach tierärztlichen und chirurgischen Standards.

Die Tiere wurden mit 0,1 mg Atropin®, 80 mg Streßnil® und 250 mg Hypnodil® intraperitoneal prämediziert. Danach wurde die Narkose mit Streßnil® und Hypnodil® mittels Katheter über die Vena jugularis interna eingeleitet.

Die Operationen wurden im Tieroperationssaal der medizinischen Fakultät der Universität Rostock durchgeführt.

Die Tiere wurden nach den Operationen mit weicher Kost oral gefüttert. Alle Minischweine, die mit einer Miniplatte versorgt wurden, erhielten post operationem zusätzlich vier Tage lang ein Antibiotikum. Dabei handelte es sich um ein Penicillin/Streptomycin-Präparat.

Nach entsprechendem postoperativem Intervall wurden die Tiere durch Überdosierung von Narcoron® (Barbiturat) eingeschläfert, ebenfalls nach Prämedikation mit Atropin®, Streßnil® und Hypnodil®.

Anschließend wurden die Unterkiefer entnommen und standen den nachfolgenden Untersuchungen zur Verfügung.

Sämtliche Eingriffe erfolgten unter tierärztlicher Kontrolle.

Tabelle 1

Einteilung der Versuchstiere

Gruppe	postoperatives Intervall	Osteotomie ohne Osteosynthese	Osteotomie mit Miniplattenosteosynthese
1	20 Tage	52415	52327
2	42 Tage	52343	52303
3	63 Tage	52292	52302
4	119 Tage	52273	52275
5	245 Tage	52222	52223

### 3.2.2. Messstrecken und –winkel

Die Röntgenaufnahmen wurden in der Röntgenabteilung der Zahnklinik der Universität Rostock unter Mitwirkung des Fachpersonals durchgeführt.

Dabei konnten in vorherigen Untersuchungen erarbeitete Standards genutzt werden (Fels 1998). Der Abstand vom Focus zur Auflagefläche des Unterkiefers betrug 1,30 m.

Als erstes wurde der Unterkiefer in der Mandibulargrundebene (Bunn 1982) geröntgt. Nach dieser Aufsichtaufnahme wurde er im Bereich der Symphyse median durchtrennt. Von den so entstandenen Unterkieferhälften wurde dann je eine laterale Aufnahme mit demselben Focusabstand gemacht. Dadurch ist ein Seitenvergleich möglich geworden.

Nach Festlegung der Messstrecken und –winkel wurde jedes Röntgenbild durchgezeichnet, vermessen und die Werte aufgezeichnet. Im Abstand von zwei Monaten ist die Messung wiederholt worden.

Die ausgewählten Strecken und –winkel wurden in Anlehnung an kieferorthopädische Fernröntgenanalysen und an vorangegangene Untersuchungen von Becker, Hübner und Pommerenke (1985), sowie Fels (1998) festgelegt und durch selbst entwickelte Messstrecken ergänzt.

Es ergaben sich Bilder in zwei Ebenen.

In der Sagittalebene wurden für das Unterkieferprofil folgende Unterkieferlängen festgelegt:

1. Condylion posterius – Gnathion
2. Punkt hinter dem letzten Molar – Gnathion
3. Länge der Tangente am Unterkieferkörper

Folgende Höhen wurden am Unterkieferprofil in Bezug zur Tangente am Unterkieferkörper gemessen:

1. Condylion superius
2. Coronion
3. kaudale Begrenzung der Incisura mandibulae
4. Corpus mandibulae vor dem ersten Molar

Am Unterkieferprofil wurde ein Winkel vermessen:

$\beta$  – Gonionwinkel

Winkel zwischen den Tangenten am Unterkieferkörper und am aufsteigenden Unterkieferast.

In der Horizontalebene wurden in der Unterkieferaufsicht folgende Strecken der Unterkieferbreiten gemessen:

1. Mittellinie – Condylion mediale rechts
2. Mittellinie – Condylion mediale links
3. Mittellinie – Condylion laterale rechts
4. Mittellinie – Condylion laterale links

Gemessene Unterkieferlängen in der Aufsicht:

1. Condylion posterius – Gnathion rechts
2. Condylion posterius – Gnathion links
3. Condylion mediale – Gnathion rechts
4. Condylion mediale – Gnathion links
5. Condylion laterale – Gnathion rechts
6. Condylion laterale – Gnathion links

Ein Winkel wurde in der Unterkieferaufsicht vermessen:

$\alpha$  – hinterer Öffnungswinkel

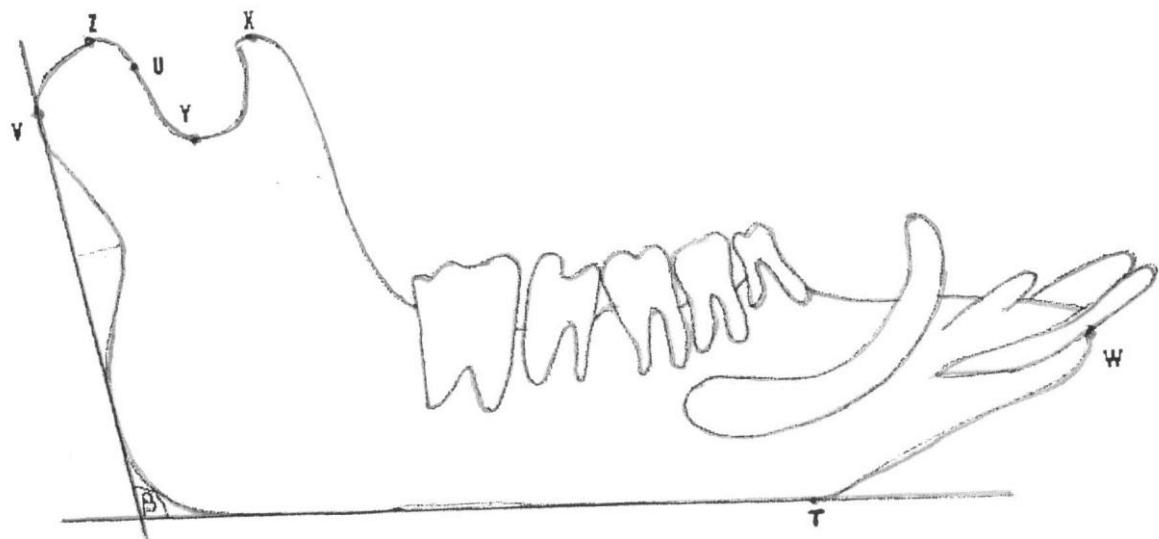
Scheitelpunkt war der Schnittpunkt zwischen der Medianebene und der Verbindungsgeraden der medialen Höcker der 4.

Prämolaren. Die Schenkel verliefen durch die Condylia lateralia. Um eventuell vorhandene Asymmetrien zu quantifizieren, wurde der hintere Öffnungswinkel in der Medianebene in einen rechten  $\alpha_1$  und in einen linken  $\alpha_2$  geteilt. Die Lage der Medianebene wurde nach Bestimmung von Gnathion, Punctum infradentale und jeweils fünf Breitenmessungen zwischen den Incisivi und den letzten Molaren festgelegt.

Das Capitulum wurde in zwei Ebenen vermesssen:

1. Condylion laterale – Condylion mediale (Horizontalebene)
2. Condylion anterius – Condylion posterius (Vertikalebene)

## UK Profil



T – Gnathion

U – Condylion anterius

V – Condylion posterius

W – Punctum infradentale

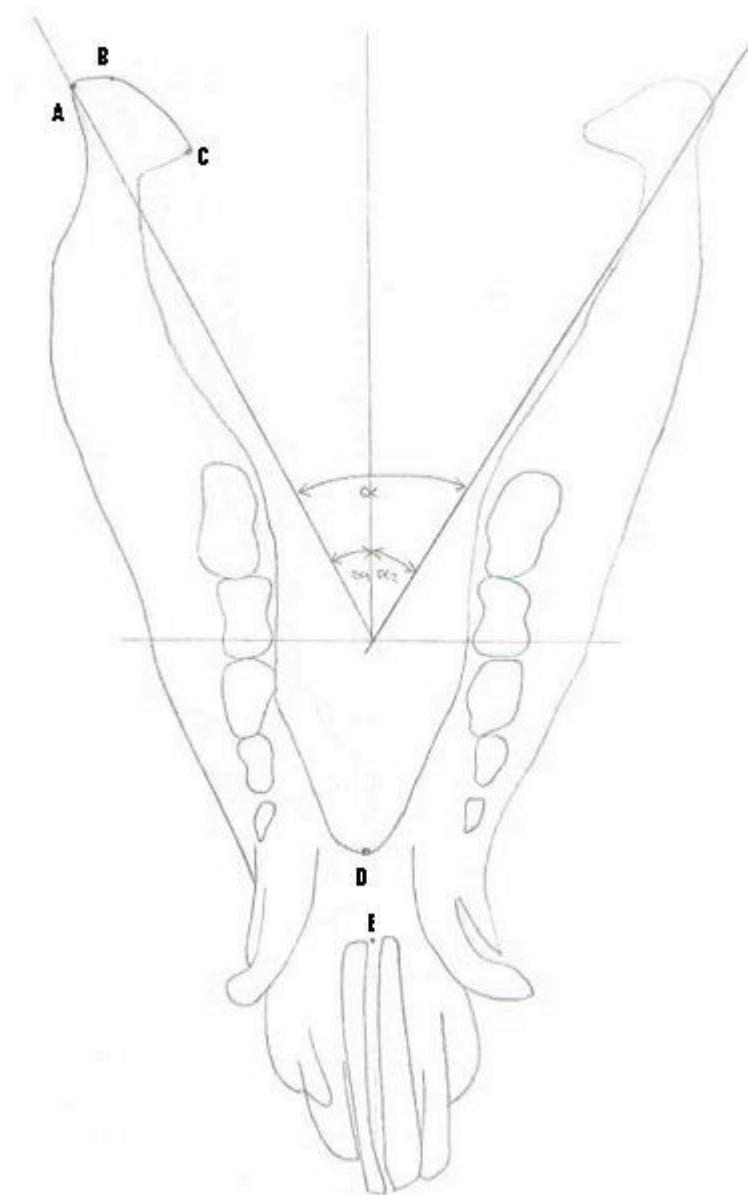
X – Coronion

Y – Incisur

Z – Condylion superius

$\beta$  – Gonionwinkel

UK Aufsicht



A – Condylion laterale

B – Condylion posterius

C – Condylion mediale

D – Gnathion

E – Punctum infradentale

$\alpha$  – hinterer Öffnungswinkel

### 3.2.3. Auswertung

Durch die gemessenen Strecken und Winkel wurde eine biostatische Bestimmung von Asymmetrien an den Unterkiefern der Miniaturschweine möglich.

Zu deren Quantifizierung wurde der Asymmetrieindex nach Duncker (1903) genutzt. Danach ist das Maß des individuellen Grades der Asymmetrie eines bilateral-homologen Merkmalpaars die relative Differenz seiner Varianten

$$\frac{v_d - v_s}{v_d + v_s}$$

mit den Grenzwerten 0 und  $\pm 1$ .

Daraus ergibt sich folgende Formel:

$$\frac{\text{MESSWERT LINKS} - \text{MESSWERT RECHTS}}{\text{MESSWERT LINKS} + \text{MESSWERT RECHTS}} * 100 = \text{Asymmetriegrad}$$

Die statistische Aussagekraft ist auf Grund des sehr kleinen Versuchskollektivs eingeschränkt. Trotzdem sollte eine Erhöhung der Zahl an Versuchstieren aus ethischen Erwägungen nicht angestrebt werden. Es sollte versucht werden, der Aufgabenstellung auch mit der geringen Anzahl an Tieren gerecht zu werden.

Die Vermessung von Hand erfordert allerdings eine exakte Fehleranalyse.

Zur Bestimmung des zufälligen Fehlers wurden alle Werte jedes Röntgenbildes zweimal gemessen. Die Vermessungen erfolgten unabhängig voneinander im Abstand von zwei Monaten.

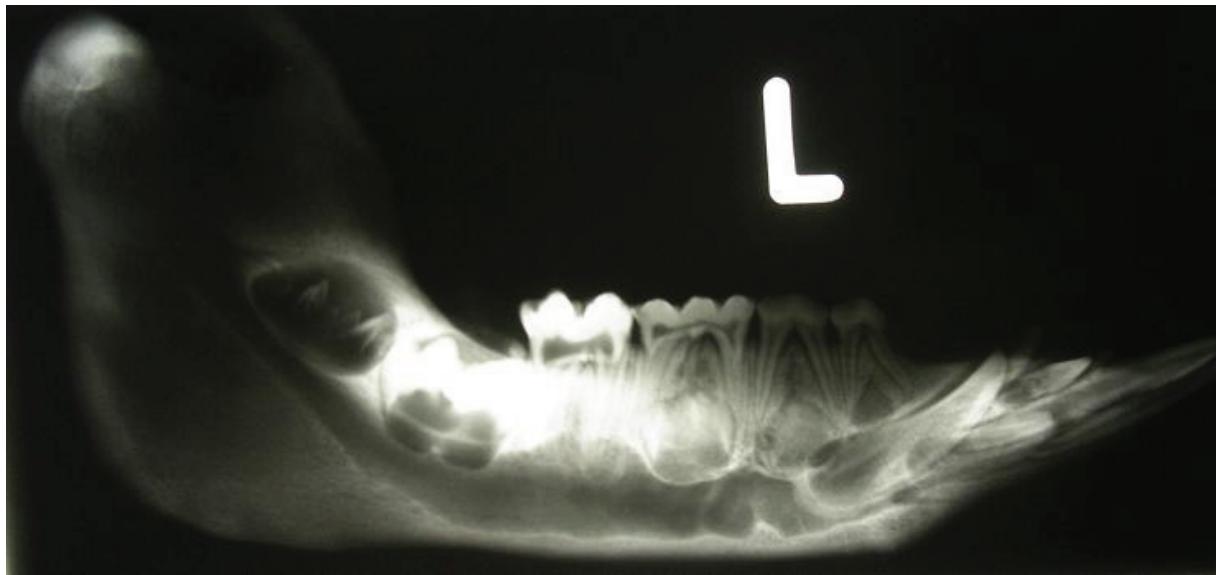
Durch Bestimmung der Differenzen zwischen erstem und zweitem Messwert ist es möglich, den zufälligen Methodenfehler –  $S_e$  – nach Dahlberg (1940) zu berechnen.

$$S_e = \sqrt{\frac{\sum d^2}{n-1}}$$

d – Differenz zwischen 1. und 2. Messwert

n – Anzahl der Doppelmessungen

Wenn der zufällige Methodenfehler die totale Varianz –  $S^2$  – um mehr als 3% übersteigt, ist die verwendete Messmethode für die betroffene Variable ungeeignet (Midtgard et al. 1974). Zur Beurteilung des zufälligen Methodenfehlers ist dieser also ins Verhältnis zur totalen Varianz zu setzen (Linder-Aronson 1972).



Ansicht

Unterkieferprofil links  
nicht operiert  
Tier 52415



Ansicht UK Profil rechts  
operiertes Collum mandibulae ohne  
Plattenosteosynthese  
24 Tage postoperatives Intervall  
Tier 52343



Ansicht

UK Profil rechts  
operiertes Collum mandibulae mit Miniplatte  
postoperatives Intervall 245 Tage  
Tier 52223



Ansicht

UK Aufsicht  
operiertes Collum mandibulae ohne  
Plattenosteosynthese rechts  
postoperatives Intervall 42 Tage  
Tier 52343



Ansicht UK Aufsicht mit Miniplatte  
operiertes Collum mandibulae mit  
Plattenosteosynthese rechts  
postoperatives Intervall 245 Tage  
Tier 52223

## 4. Ergebnisse

### 4.1. Radiologische Befunde

Es war festzustellen, dass mit zunehmendem Heilungsverlauf die Anzahl und der Schweregrad der radiologisch nachweisbaren Deformationen und unphysiologischen Positionen abgenommen haben, unabhängig von der chirurgischen Vorgehensweise. Wobei die Ergebnisse bei der funktionsstabilen Osteosynthese etwas besser waren als bei den Tieren, bei denen das Capitulum nur reponiert, aber nicht fixiert worden waren. Mit Ausnahme des Schweines Nr. 52275, welches die Platte vorzeitig verloren hatte.

Bei den Tieren der ersten Versuchsgruppe, die nach 20 Tagen getötet wurden, waren besonders auffällige Befunde erkennbar. Bei dem osteosynthetisierten Schwein zeigte sich der Kondylus regelrecht in Form und Position. Der Bruchspalt war durchgehend zu erkennen und es zeigte sich eine Stufe zwischen dem großen und kleinen Fragment am Hinterrand des aufsteigenden Astes.

Das andere Tier ließ auf der rechten Seite im Profil einen deformierten Gelenkfortsatz, sowie einen verstümmelten Kronenfortsatz, außerdem in der Aufsicht einen nach medial abgeknickten und deformierten Kondylus erkennen.

Die Radioluzenz zeigte vor allem bei dem nicht osteosynthetisierten Schwein eine deutliche Verschattung gegenüber der nicht operierten Gegenseite.

Nach 42 Tagen wurden die Tiere der zweiten Gruppe getötet. Das funktionsstabil versorgte Tier zeigte einen etwas deformierten, aber in regelrechter Form befindlichen Kondylus, eine Deformation am Hinterrand des aufsteigenden Astes und eine unregelmäßige Knochenstruktur um den Spalt.

Bei dem anderen Schwein dieser Gruppe war der Kondylus ein wenig klobiger und leicht nach posterior rotiert.

Die Bruchspalten waren bei beiden durchgehend zu erkennen. Die Kondylen zeigten bei beiden Tieren stärkere, wolkige Verschattungen beidseits des Bruchspaltes. Auf den nicht operierten Seiten wurde dies nicht beobachtet.

Die Tötung der Tiere von Gruppe drei erfolgte 63 Tage post operationem. Bei beiden Schweinen waren nur geringfügige Deformationen der Kondylen zu erkennen. Sie befanden

sich in regelrechter Position. Die Radioluzenz war auf der operierten und der Gegenseite nahezu identisch.

Auffällig war die starke Eindellung an dem mit Miniplatte versorgten Schwein und die Einkerbung bei dem anderen Tier dieser Gruppe jeweils am Hinterrand des aufsteigenden Astes. Die Bruchspalten waren nicht mehr durchgehend zu erkennen. Die operierten Seiten zeigten stärkere nahezu durchgehende Verschattungen gegenüber der Gegenseite – nicht so diffus wie bei den Tieren der zweiten Gruppe.

Die Tiere der vierten Gruppe wurden nach 119 Tagen getötet. Bei dem osteosynthetisierten Schwein kam es zu einem postoperativen Plattenverlust. Der Bruchspalt war durchgehend sichtbar. Am Hinterrand des aufsteigenden Astes sah man eine deutliche Einziehung und Einkerbung. Der Kondylus war deformiert und nach posterior rotiert und zeigte eine ungleichmäßige Radioluzenz.

Das andere Tier dieser Gruppe ließ einen regelrecht positionierten und leicht deformierten Kondylus erkennen. Die Radioluzenz war mit der nicht osteotomierten Gegenseite nahezu identisch.

Nach 245 Tagen erfolgte die Tötung der Tiere der letzten Gruppe. Im Profil waren bei beiden Schweinen auf der operierten Seite Eindellungen am Hinterrand des aufsteigenden Astes zu erkennen. Das nicht osteosynthetisierte Tier zeigte am posterioren Rand des Kiefergelenkköpfchens eine Kerbe. Die Kondylen waren in Form, Lage und Radioluzenz unauffällig

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass alle Capitula eingehieilt waren und keine Nekrosen auftraten. Die Form und Position der Kondylen, sowie deren Radioluzenz zeigten Unterschiede zur nicht osteotomierten Gegenseite, welche aber mit zunehmendem postoperativen Intervall geringer wurden.

Bei allen Schweinen zeigten sich am Hinterrand des aufsteigenden Astes unterhalb der Osteotomiestelle Eindellungen, die mit zunehmender Heilungsdauer flacher wurden.

Die Entwicklung der Zähne war nahezu seitengleich und unabhängig von der Art der gewählten Therapie. Lediglich beim Versuchstier 52222 zeigte sich ein etwas verzögerter

Durchbruch des 2. Prämolaren auf der nicht operierten Seite und eine leicht zurückgebliebene Entwicklung der Zähne gegenüber dem mittels Osteosynthese versorgtem Schwein (52223) der gleichen Gruppe (245 Tage postoperatives Intervall).

#### 4.2. Beurteilung des zufälligen Methodenfehlers

Der zufällige Methodenfehler wurde nach der oben beschriebenen Methode von Dahlberg (1940) ermittelt.

Die gemessenen Werte überschritten bei keiner Messstrecke den Grenzwert von 3% (Lindner-Aronsson). Damit erwies sich die gewählte Methode als geeignet und der zufällige Methodenfehler konnte in dieser Arbeit unberücksichtigt bleiben.

In der Tabelle 1 sind die Ergebnisse der Fehleranalyse für die Vermessungen der Unterkieferprofile aufgeführt. Tabelle 2 stellt die entsprechenden Werte der Messstrecken für die Unterkieferaufsichten dar.

## Fehleranalyse

Tabelle 1 Messstrecken der Unterkieferprofile

	Messstrecke	n	x(d)	Se <sup>2</sup>	S <sup>2</sup>	Se <sup>2</sup> in % von S <sup>2</sup>
1	Tangente an UK-Körper	20	109,86	0,03	52,88	0,06
2	Condylion posterius - Gnathion	20	133,98	0,08	77,43	0,10
3	Punkt hinter dem 1. Molar - Gnathion	20	90,02	0,06	7,76	0,72
4	Condylion superius - Tangente an UK-Körper	20	70,32	0,04	40,87	0,09
5	Incisura mandibularis - Tangente an UK-Körper	20	61,69	0,04	28,51	0,15
6	Coronion - Tangente an UK-Körper	20	72,47	0,04	47,61	0,08
7	Höhe UK-Körper hinter 2. Prämolar	20	28,47	0,00	15,24	0,00
8	Condylion posterius - Condylion anterius	20	19,82	0,04	1,96	1,92
9	Gonionwinkel	20	101,09	0,02	22,96	0,19

n = Anzahl der Doppelmessungen

x(d) = arithmetischer Mittelwert

Se = zufälliger Methodenfehler (Dahlberg 1940)

S<sup>2</sup> = totale Varianz

Se<sup>2</sup> in % von S<sup>2</sup> = prozentualer Messfehler (Linder-Aronson 1972)

## Fehleranalyse

Tabelle 2 Messstrecken der Unterkieferaufsicht

	Messstrecke	n	x(d)	Se <sup>2</sup>	S <sup>2</sup>	Se <sup>2</sup> in % von S <sup>2</sup>
1	Condylion laterale - Mittellinie	20	50,85	0,08	18,16	0,41
2	Condylion mediale - Mittellinie	20	30,24	0,03	8,29	0,38
3	Condylion laterale - Condylion mediale	20	21,68	0,08	2,87	2,62
4	Condylion laterale - Gnathion anterius	20	122,31	0,11	80,59	0,13
5	Condylion posterius - Gnathion anterius	20	123,56	0,06	83,58	0,07
6	Condylion mediale - Gnathion anterius	20	109,15	0,08	82,55	0,09
7	Hinterer Öffnungswinkel	20	34,02	0,20	10,04	1,99

n = Anzahl der Doppelmessungen

x(d) = arithmetischer Mittelwert

Se = zufälliger Methodenfehler (Dahlberg 1940)

S<sup>2</sup> = totale Varianz

Se<sup>2</sup> in % von S<sup>2</sup> = prozentualer Messfehler (Linder-Aronson 1972)

#### 4.3. Asymmetrieindex

Ein Ziel der vorliegenden Arbeit ist das Erkennen von Wachstumshemmungen nach unterschiedlichen chirurgischem Vorgehen bei Unterkieferluxationsfrakturen im Wachstumsalter.

Die Quantifizierung möglicher Wachstumseinschränkungen, das heißt Differenzen, wurde mit Hilfe des Asymmetrieindex nach Duncker (1903) vorgenommen.

Henkel und Pienkos (1989) nannten einen Grenzwert von 10 für den Asymmetrieindex.

Höhere Werte bezeichneten sie als Abweichungen von der biologischen Varianz, die damit Hinweise auf mögliche Wachstumshemmungen geben würden.

Die Tiere wurden in fünf Gruppen zu jeweils zwei Schweinen eingeteilt.

Bei einem Tier jeder Gruppe wurde das Capitulum nach operativ herbeigeführter Luxationsfraktur lediglich chirurgisch reponiert, bei dem zweiten Tier war zusätzlich eine funktionsstabile Osteosynthese mit einer Miniplatte durchgeführt worden.

Um den Einfluss des postoperativen Zeitraumes auf die Heilung und die weitere Entwicklung des Unterkiefers feststellen zu können, waren fünf verschiedene zeitliche Intervalle für die Auswertung festgelegt worden. Dabei wurden die Tiere getötet und die Unterkiefer für die weiteren Untersuchungen entnommen.

#### 4.3.1. Asymmetrieindizes in Abhängigkeit vom postoperativen Intervall

Es wurden die Asymmetrieindizes innerhalb jeder der fünf Gruppen, bestehend aus zwei unterschiedlich chirurgisch versorgten Minischweinen, erfasst und miteinander verglichen.

Die Schweine der ersten Gruppe wurden bereits nach 20 Tagen getötet.

Nahezu alle für diese beiden Tiere errechneten Asymmetrieindizes waren innerhalb der biologischen Varianz, bis auf den Wert für die Strecke Coronion – Tangente am Unterkieferkörper des Schweins 52415 (keine Osteosynthese). Für diese wurde ein Asymmetrieindex von 13,6 ermittelt. Der Kronenfortsatz war auf der operierten Seite deutlich verkürzt und etwas weiter medial gelegen.

Der durchschnittliche Asymmetrieindex aller gemessenen Werte betrug für das Schwein 52327 (Osteosynthese) 2,17 und 3,41 für das Schwein 52415.

Die ermittelten Werte für die Unterkieferlängen und den Gonionwinkel waren annähernd gleich (Tier 52327: Längen - 0,50;  $\beta$  - 3,4; Tier 52415: Längen - 0,57;  $\beta$  - 4,1). Dieses traf auch auf die Seitenabweichung des Ramus in der Vertikalebene zu (Tier 52327: 3,97; Tier 52415: 2,60).

Bei der Ermittlung der mittleren Asymmetrieindizes für die Messstrecken des Capitulums ergaben sich ebenfalls geringe Beträge, allerdings war der Wert für das Schwein 52415 (ohne Miniplatte) mit 3,52 etwa 4 mal so hoch wie für Tier 52327 (0,86). Bei den Ergebnissen für die Höhe des aufsteigenden Unterkieferastes war die Abweichung ähnlich, aber mit wesentlich höheren Beträgen (Tier 52327: 2,59; Tier 52415: 8,13). In diesem Messbereich befand sich auch die oben angeführte Strecke (Coronion – Tangente am Unterkieferkörper), deren Asymmetrieindex oberhalb des Grenzwertes von 10 lag.

42 Tage nach dem ersten Eingriff waren die Tiere der zweiten Gruppe getötet worden.

In dieser Gruppe fanden sich keine Asymmetrieindizes, die oberhalb der angegebenen Grenze von 10 lagen.

Das Schwein 52303, das mit einer Miniplatte versorgt worden war, hatte einen durchschnittlichen Asymmetrieindex von 2,47. Bei dem anderen Schwein (52343) betrug dieser 3,84.

Die ermittelten Werte für die Unterkieferlängen und den Gonionwinkel waren sehr niedrig (Tier 52303: Längen - 0,63;  $\beta$  - 2,5; Tier 52343: Längen - 1,46;  $\beta$  - 2,3). Die mittleren

Asymmetrieindizes für die Lateralabweichung des aufsteigenden Unterkieferastes in der Horizontalebene waren etwas größer aber für beide Tiere annähernd gleich (Tier 52303: 6,53; Tier 52343: 5,61). Sie lagen damit deutlich innerhalb der biologischen Varianz. Gleches galt für die Werte der Höhen des aufsteigenden Unterkieferastes in der Vertikalebene, obwohl hier die Asymmetrieindizes für das mit Osteosynthese behandelte Schwein kleiner waren (Tier 52303: 1,18; Tier 52343: 4,22).

Eine starke Abweichung ergab sich allerdings beim Vergleich der Werte für die Vermessung des Unterkieferköpfchens. Bei dem mit Miniplatte versorgten Schwein 52303 wurde ein mittlerer Asymmetrieindex von 2,72 ermittelt, für das andere Tier 52343 ein Wert von 9,32. Der Asymmetrieindex für die medial-lateral Ausdehnung in der Horizontalebene war mit 9,64 nur knapp unter dem Grenzwert von 10.

Das postoperative Intervall bei den Tieren der Gruppe drei betrug 63 Tage.

Sämtliche erhaltenen Asymmetrieindizes lagen innerhalb der biologischen Varianz.

Der durchschnittliche Wert für das mit einer Miniplatte versorgte Schwein (52302) betrug 1,41. Für das andere Tier (52292) konnte ein mittlerer Asymmetrieindex von 1,76 ermittelt werden.

Asymmetrien der Höhen und des Gonionwinkels ( $\beta$ ) im Unterkieferprofil (Vertikalebene), sowie der Unterkieferlängen und des Capitulums waren vernachlässigbar gering (Tier 52302: Längen - 0,82; Höhen - 0,58;  $\beta$  - 0,20; Capitulum - 1,46; Tier 52292: Längen - 0,60; Höhen - 0,56;  $\beta$  - 1,00; Capitulum - 1,38).

In der Unterkieferaufsicht konnte für das mit Miniplattenosteosynthese versorgte Schwein 52302 mit 2,63 ein deutlich geringerer Indexmittelwert für die Seitenabweichung des aufsteigenden Unterkieferastes nachgewiesen werden als bei dem Tier 52292. Hier betrug dieser Wert 6,48.

Die laterale Abweichung des Ramus mandibulae in der Vertikalebene war also bei dem nicht mit einer Osteosynthese versorgten Schwein größer. Aber auch alle dafür bestimmten Asymmetrieindizes lagen weit unter dem Grenzwert von 10 und damit innerhalb der biologischen Varianz.

Die Tötung der Minischweine aus Gruppe vier erfolgte nach 119 Tagen.

Das mit Osteosynthese versorgte Schwein (52275) hatte die eingesetzte Miniplatte postoperativ verloren. Zu welchem Zeitpunkt der Plattenverlust eintrat, ließ sich aufgrund der

Versuchsbedingungen nicht ermittelten.

Für dieses Tier wurden drei Asymmetrieindizes größer als 10 ermittelt, alle in der Horizontalebene. Das heißt, dass der aufsteigende Ast in dieser Ebene auf der rechten, operierten Seite deutlich nach lateral von der Medianebene (Mittellinie) abwich. Die anderen Werte lagen im normalen Bereich. Der durchschnittliche Asymmetrieindex aller gemessenen Werte betrug 4,86.

Bei dem zweiten Tier (52273) verlief die Heilung ohne Probleme. Der Indexdurchschnitt war hier 3,18.

Bis auf die oben genannten Werte in der Unterkieferaufsicht waren die Asymmetrieindizes für die anderen Messbereiche bei dem ersten Tier (52275) dieser Gruppe deutlich kleiner als bei dem zweiten. Für das letztgenannte Tier (52273) ergab sich allerdings ein Wert von 9,09 bei der Vermessung des Capitulum für die Messstrecke Condylion laterale – Condylion mediale. Alle anderen Asymmetrieindizes waren kleiner als fünf und damit sehr niedrig.

Die Tiere der fünften Gruppe wurden 245 Tage nach der ersten Operation getötet. Es ergaben sich keine Asymmetrieindizes oberhalb der angegebenen Grenze von 10.

Der durchschnittliche Asymmetrieindex aller gemessenen Werte für das mit einer Osteosynthese versorgte Minischwein (52223) betrug 1,30.

Der mittlere Asymmetrieindex für das nicht osteosynthetisch versorgte Tier (52222) war mit einem Wert von 3,24 zwar etwa 2 ½ - fach höher, aber im Verhältnis zum Grenzwert von 10 immer noch sehr niedrig. Für die Messstrecken der posterior–anterior - Längen im Profil und in der Aufsicht des Unterkiefers ergaben sich annähernd gleich niedrige durchschnittliche Indizes von 1,26 (Tier 52223) und 1,64 (Tier 52222). Der Vergleich der Werte für die Höhe des aufsteigenden Astes erbrachte größere Unterschiede (2,24 – Tier 52223 und 5,58 – Tier 52222).

Abweichungen fanden sich in der Unterkieferaufsicht (Horizontalebene) auch bei der Bestimmung der Abstände von der Mittellinie (0,99 – Tier 52223 und 3,28 – Tier 52222), beim Gonionwinkel (0,1 – Tier 52223 und 3,2 – Tier 52222) und vor allem bei der Vermessung des Capitulum (0,6 – Tier 52223 und 6,02 – Tier 52222) für die Messstrecken Condylion laterale – Condylion mediale, sowie Condylion anterius - Condylion posterius. Für eine der Messstrecken des Kiefergelenkköpfchens ergab sich auch der höchste absolute Wert dieser Gruppe. Der Asymmetrieindex für die Strecke Condylion laterale – Condylion mediale in der Unterkieferaufsicht betrug 8,14 bei Schwein 52222.

#### 4.3.2. Asymmetrieindizes in Abhängigkeit vom chirurgischen Vorgehen

Die Asymmetrieindizes der mit funktionsstabilier Osteosynthese versorgten Minischweine waren mit den Werten der Tiere verglichen worden, bei denen lediglich eine Reposition des kleinen Fragmentes stattgefunden hatte.

Für alle mit Miniplattenosteosynthese behandelten Schweine wurde ein durchschnittlicher Asymmetrieindex aller gemessenen Werte von 2,44 ermittelt. Dabei ist zu beachten, dass bei dem Tier 52275 ein postoperativer Plattenverlust zu verzeichnen war und dadurch einige besonders hohe Werte entstanden waren. Bei diesem Schwein lagen alle Indizes der Messstrecken für die Abweichung des Ramus mandibulae von der Medianebene in der Unterkieferaufsicht oberhalb des Grenzwertes von 10 und damit auch außerhalb der biologischen Varianz.

Ohne die Werte dieses Schweins hätte der Index bei 1,84 gelegen.

Die Berechnungen für den mittleren Asymmetrieindex aller Längenmessungen am Unterkiefer in der Horizontal- und Vertikalebene ergaben einen sehr niedrigen Wert von 0,84. Annähernd ähnliche Ergebnisse waren für die Höhen des aufsteigenden Astes (1,69), für die Gonionwinkel (1,38) und für die Vermessung des Capitulums (1,75) berechnet worden. Einzig für die Indizes, die sich aus den Messstrecken der Unterkieferaufsicht für den Abstand des Ramus mandibulae von der Mittellinie (Medianebene) ergaben, waren höhere Werte ermittelt worden. Der durchschnittliche Asymmetrieindex dafür war 6,47. Allerdings hätte er ohne Berücksichtigung der oben besprochenen Werte von Schwein 52275 nur noch 3,53 betragen. Die operierten Seiten waren etwas weiter entfernt von der Mittellinie gelegen als die Gegenseiten, besonders ausgeprägt bei dem Tier mit dem postoperativen Plattenverlust.

Der mittlere Asymmetrieindex der Tiere, die ohne Osteosynthese behandelt worden waren, lag bei 3,08. Ein Wert war höher als 10: Für die Messstrecke Coronion – Tangente an den Unterkieferkörper wurde ein Asymmetrieindex von 13,60 errechnet.

Die mittleren Werte für die Längenmessungen des Unterkiefers sowie für die Gonionwinkel waren relativ niedrig (Längen: 1,38;  $\beta$ : 2,64). Bei den Höhen der aufsteigenden Unterkieferäste, den lateralen Abständen der Rami mandibulae von der Mittellinie in der Horizontalebene und den Capitulummessstrecken ergaben die Berechnungen der durchschnittlichen Asymmetrieindizes deutlich höhere Werte (Höhen: 4,43;

Seitenabweichungen des Ramus: 4,41; Capitulum: 5,15). Allerdings lagen auch diese klar unter dem Grenzwert von 10.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass fast alle berechneten Asymmetrieindizes unter dem angegebenen Grenzwert von 10 lagen, bis auf vier Werte. Davon stehen drei offensichtlich in Verbindung mit einem postoperativen Plattenverlust bei dem Schwein 52275.

Ein Zusammenhang zwischen fortschreitendem Heilungsverlauf und Ausmaß (der Höhe) der Asymmetrieindizes konnte nicht nachgewiesen werden.

Für die mit einer funktionsstabilen Osteosynthese versorgten Tiere ergaben die Berechnungen etwas niedrigere Werte. Besonders bei den Messstrecken der Höhen des aufsteigenden Unterkieferastes und des Unterkieferkopfchens (Condylion laterale – Condylion mediale und Condylion anterius – Condylion posterius) lagen die errechneten Asymmetrieindizes der nicht mit Miniplatten behandelten Schweine deutlich höher.

## 5. Diskussion

### 5.1. Rolle von Tierexperimenten

In der medizinischen Forschung kommt Versuchstieren eine herausragende Bedeutung zu, die auch nicht durch die Entwicklung bester technischer Prüfverfahren gemindert werden kann (Georgieva et al. 1973). Über gewonnene Kenntnisse an Tieren sind oft analoge Schlüsse für den Menschen möglich (Petrovic et al. 1981). Tierexperimente dürfen allerdings nur in unerlässlichen und gerechtfertigten Fällen vorgenommen werden. Sie sollten, wenn möglich durch alternative Untersuchungsmethoden ersetzt werden.

Da jedoch auf Tierexperimente zum Nutze des Menschen nicht vollständig verzichtet werden kann, müssen verschiedene Vorschriften zum Tierschutz eingehalten werden (Fitho 1993).

Im Tierexperiment können umfangreiche Gewebsuntersuchungen zu vorher definierten Zeitpunkten vorgenommen werden. Durch genetisch weitgehend homogene Versuchstiere und optimal kontrollierbare Versuchsbedingungen können variations- oder zufallsbedingte Befunde nahezu ausgeschlossen werden.

Gerade in diesen Vorteilen liegen allerdings auch die Grenzen des Aussagewertes von Tierexperimenten. Die klinische Situation unterscheidet sich zumeist erheblich von den Versuchsbedingungen. Daneben gibt es Unterschiede in Morphologie, Wachstum und Reifung (Linge 1977).

Trotz dieser Einschränkungen kann man sich die Weiterentwicklung, auch der Kieferchirurgie, ohne Tierexperimente kaum vorstellen. Untersuchungen von Knochenbruch-Heilung sowie Knochenwachstum lassen sich am Tier, aber nicht durch alternative Methoden erforschen

Grundlegende biologische Wirkungsmechanismen, die bei der Wachstumssteuerung mit oder ohne äußere Beeinflussung eine maßgebliche Rolle spielen, sind Funktionen, die sich zumeist auf zellulärer Ebene abspielen. Makroskopische Veränderungen sind Ergebnisse dieser Mechanismen, die nur auf der entsprechenden Ebene aufgeschlüsselt werden können (Linge 1977).

Jedes Versuchstier hat seine Vorzüge für bestimmte Untersuchungen. Neben dem Affen kommt der Hund den anatomischen Verhältnissen des Menschen sehr nahe. Beide Tiere verlangen allerdings hohe Anschaffungskosten und einen enormen Pflegeaufwand (Steinhäuser 1965).

Das Schwein, somit auch das Minischwein, weist viele Ähnlichkeiten physiologischer und anatomischer Merkmale mit dem Menschen auf. Hierzu gehört auch die omnivore Ernährungsweise. Außerdem sind seine Ansprüche an Fütterung und Haltung relativ gering (Georgieva et al.). Weaver et al. (1962) weisen darüber hinaus auch auf eine vergleichbare embryonale Entwicklung und Ähnlichkeiten in Anatomie und Physiologie der Zähne hin. Drommer (1981) zieht Vergleiche zwischen Osteotomien im Kiefer–Gesichtsbereich von Minipigs und Menschen. Er weist auf eine ähnliche Heilung hin. Auch die Größe der Knochen ist vergleichbar. Damit lassen sich Experimente mit funktionsstabilen Osteosyntheseverfahren, wie z.B. handelsüblichen Miniplatten, gut auf den Menschen übertragen.

Aus den genannten Gründen erwies sich das Minipig für die vorliegende Arbeit als besonders geeignet.

## 5.2 Kritische Wertung der Ergebnisse

Die Ätiologie von Unterkieferfrakturen unterscheidet sich wesentlich von den hier gesetzten Versuchsbedingungen. Patienten haben genetisch andere Voraussetzungen als Versuchstiere und unterscheiden sich in Morphologie, Wachstum und Reifung erheblich von diesen. Linge (1977) sah außerdem beim Versuchstier weniger Formvarianten. Durch die genetisch nahezu homogenen Tiere sowie die konstanten Versuchsbedingungen, kann der Einfluss ernährungsbedingter und genetischer Faktoren für die Unterkieferentwicklung weitgehend harmonisiert werden.

Ein optimaler Heilungsverlauf ist nur bei entsprechender Kooperation der Patienten möglich. Davon ist bei Versuchstieren natürlich nicht auszugehen. Diese verhalten sich ihrer Art entsprechend. Bei einem Tier dieser Versuchsreihe war (erst nach der Tötung) ein postoperativer Plattenverlust festgestellt worden, der Einfluss auf die Messergebnisse hatte.

Das aus ethischen Gründen klein gehaltene Versuchskollektiv erlaubt keine statistisch gesicherten Aussagen. Aus den gleichen Gründen wurde auf die Untersuchung möglicher geschlechtsspezifischer Wachstumseinflüsse verzichtet. Es waren ausschließlich männliche Minischweine verwendet worden.

Die so genannte Fraktur war in den vorliegenden Versuchen eine geradlinige Durchtrennung. Somit resultierte eine untypische „Frakturlinie“.

Zum Zeitpunkt des ersten Eingriffs hatten die Tiere ein Alter von sechs Monaten. Dieses entspricht einem Menschenalter von etwa 10 Jahren (Wilhelm 2001). Sie waren dann nach unterschiedlichen Zeitintervallen getötet worden. So konnten der Einfluss des Wachstums auf die Heilung untersucht sowie Kompensationsvorgänge festgestellt werden.

Aus der Luxation und dem kurzzeitigen, vollständigen Entfernen des kleinen Fragments resultierte auch eine Unterbrechung der Gefäßversorgung. Damit wurde einer wichtigen Versuchsbedingung entsprochen, obwohl diese Situation bei der Fraktur und der Frakturversorgung von Patienten selten eintrifft.

Andererseits wurden sowohl die Reposition, sowie die bei den entsprechenden Tieren durchgeführte Miniplattenosteosynthese unmittelbar nach dem Setzen der Fraktur

durchgeführt, was in der klinischen Praxis ebenfalls kaum möglich ist.

Bei den Messungen und der Auswertung sind verschiedene Fehler möglich. Um diese so gering wie möglich zu halten, wurden für die Röntgenaufnahmen Standards entwickelt beziehungsweise übernommen, die sich schon in vorherigen Versuchsreihen bewährt hatten. Alle Bilder waren mit denselben Einstellungen angefertigt worden.

Die Bestimmung der Referenzpunkte für die Auswertung der Röntgenbilder ist nicht frei von objektiven Einflüssen. Alle Strecken und Winkel wurden doppelt vermessen, um zufällige Fehler weitgehend zu vermeiden. Zur Quantifizierung dieser wurde der zufällige Methodenfehler nach Dahlberg (1940) berechnet und ins Verhältnis zur totalen Varianz gesetzt. Beim Überschreiten einer 3%-Grenze soll die verwendete Messmethode für die betreffende Variable ungeeignet sein. Bei einem Wert von 10% oder mehr ist die Messmethode für die entsprechende Variable gar nicht akzeptabel (Midtgard 1974). Da die Werte für alle Messungen in dieser Arbeit unterhalb der 3% - Grenze lagen, konnte der Methodenfehler vernachlässigt werden.

Natürliche, eventuell bereits präoperativ bestehende Asymmetrien der Versuchstiere mussten unberücksichtigt bleiben, weil vor Versuchsbeginn keine Röntgenuntersuchungen stattfanden. Allerdings wurde aufgrund der geringen Formvarianten, sowie identischer Aufzuchtbedingungen davon ausgegangen, dass natürliche Asymmetrien bei diesen Tieren weitgehend vernachlässigbar waren.

### 5.3. Folgerungen aus den Ergebnissen

Bei der röntgenologischen Vermessung konnten keine postoperativen Wachstumsstörungen, im Sinne von ausgeprägten Asymmetrien, bei den im Wachstum befindlichen Minischweinen festgestellt werden.

Die außerhalb der biologischen Varianz liegenden Asymmetrien bei einem einzigen Versuchstier hingen offensichtlich mit dessen postoperativem Plattenverlust zusammen. Es kam hier zu einer Abweichung des rechten, operierten aufsteigenden Astes nach lateral. Der durchschnittliche Asymmetrieindex lag allerdings auch bei diesem Tier weit unter dem von Henkel und Pienkos (1988) angegebenen Grenzwert von 10.

Für ein anderes Schwein ergab sich bei einem von einundzwanzig Messwerten ein Asymmetrieindex knapp außerhalb der biologischen Varianz. Es handelte sich dabei um ein Tier, bei dem keine Frakturversorgung mit Miniplattenosteosynthese erfolgt war. Das postoperative Intervall hatte nur 20 Tage betragen. Da der durchschnittliche Asymmetrieindex für dieses Tier mit 3,41 deutlich unter der Grenze von 10 lag, lässt sich dieser Messwert für die folgenden Aussagen wohl vernachlässigen.

Der Einfluss des fortschreitenden Wachstums und eventuell daraus resultierender Kompensationsvorgänge, sollte durch unterschiedliche zeitliche Intervalle zwischen dem ersten Eingriff und der Tötung der Tiere überprüft werden.

Es ergab sich jedoch kein Hinweis auf einen störenden Einfluss auf das Wachstum. Bis auf oben angeführte Ausnahmen konnten keine wesentlichen Asymmetrien in den einzelnen postoperativen Intervallen festgestellt werden.

Es ließ sich somit keine Gesetzmäßigkeit über Zusammenhänge zwischen Wachstumsstörungen in Abhängigkeit vom zeitlichen Intervall nach dem Trauma ermitteln.

Für den Vergleich verschiedener Verfahren und deren Einfluss auf sich daraus eventuell ergebende unterschiedlicher Wachstumsstörungen wurde nur bei der Hälfte der Versuchstiere die Fraktur mittels Miniplattenosteosynthese versorgt. Es konnte aber nicht nachgewiesen werden, dass eine mit Miniplattenosteosynthese behandelte Kiefergelenksluxationsfraktur das

Unterkieferwachstum stärker hemmt als eine nicht osteosynthetisch versorgte, jedoch reponierte Fraktur. Für die mit funktionsstabilen Osteosynthesen versorgten Tiere ergaben die Messungen einen durchschnittlichen Asymmetrieindex aller ermittelten Werte von 2,44. Ohne die durch postoperativen Plattenverlust entstandenen hohen Werte bei dem Tier 52275 hätte der Index bei ca. 1,84 gelegen. Für die nicht mit Miniplatten behandelten Schweine ergab sich ein Asymmetrieindex von 3,08. Dieser Wert lag damit über dem der osteosynthetisch versorgten Tiere, allerdings auch deutlich innerhalb der biologischen Varianz.

Die Ergebnisse lassen daher vermuten, dass sich im Wachstumsalter eine funktionsstabile Frakturversorgung von Kiefergelenkluxationsfrakturen mit Miniplatten nicht störend, sondern eventuell sogar günstiger für die weitere Entwicklung des Unterkiefers erweist, als die alleinige chirurgische Reposition ohne anschließende Fixation. Die plattenfixierte und damit stabile Reposition des abgetrennten Fragmentes ermöglicht offensichtlich ein kaum gestörtes weiteres Wachstum des aufsteigenden Unterkieferastes, obwohl es kurzfristig aus dem ernährenden Weichgewebsbett entfernt worden war.

Allerdings ist dabei relativierend zu berücksichtigen, dass die Versuchsgruppen sehr klein waren.

Die radiologisch auffällige Wundheilungsstörung, sowie der deformierte und falsch positionierte Kondylus bei Tier 52275 ließen sich auf den postoperativen Plattenverlust zurückführen.

Des weiteren waren im Röntgenbild Knochenheilungsstörungen bei den mit Miniplatten versorgten Schweinen 52303 und 52327 zu erkennen. Das nicht osteosynthetisch versorgte Tier 52415 zeigte einen deformierten Kondylus. Am Hinterrand des aufsteigenden Astes waren bei allen Kiefern Eindellungen zu beobachten, die mit zunehmender Heilungsdauer flacher wurden.

Es traten also wohl Wundheilungsstörungen bei den mit Miniplatten versorgten Schweinen auf. Vor allem nach kurzem Heilungsverlauf, mit Ausnahme des Tieres, welches den postoperativen Plattenverlust erlitt. Die anderen beschriebenen radiologischen Auffälligkeiten nahmen ebenfalls mit fortschreitendem postoperativem Intervall ab. Das spricht für ein zunehmendes Remodeling während der postoperativen Heilung und dem Wachstum.

Die Zahnentwicklung verlief nahezu unbeeinflusst ab. Lediglich bei den zwei Tieren der

Versuchsgruppe mit dem längsten postoperativem Intervall ergab sich ein leichter Entwicklungsvorsprung für das mittels Miniplattenosteosynthese versorgte Tier. Wobei anzumerken ist, dass dieser auf der nicht operierten Seite etwas größer war. Dies legt die Vermutung nahe, dass es sich hierbei um eine natürliche Variation handelt.

#### 5.4. Einordnung der Ergebnisse in die bisherigen Erkenntnisse anderer Autoren

Das Ziel in der Frakturbehandlung ist die vollständige Wiederherstellung anatomisch korrekter Strukturen und deren Funktion. Die Suche nach der optimalen Therapie zur Versorgung von Kiefergelenkluxationsfrakturen entspricht diesem Anliegen.

Voraussetzung für eine adäquate Therapie dieser Frakturen ist eine sichere Diagnose. Neben den klassischen Fraktursymptomen, Dislokation, abnorme Beweglichkeit und Krepitation (Horch und Herzog 1997), kommt dabei den Bild gebenden Verfahren eine herausragende Bedeutung zu. Dazu gehören neben den konventionellen Röntgenaufnahmen in verstärktem Maße die Computertomographie, sowie eventuell verschiedene Verfahren zur Weichteildarstellung beziehungsweise zur Darstellung des Discus articularis.

Basisaufnahme in der Traumatologie des Unterkiefers ist die Orthopantomographie (Austermann 2002). Sie ermöglicht neben der Beurteilung des Gelenkfortsatzes auch die des Unterkieferkörpers zum Ausschluss weiterer Frakturen. Für die Beurteilung in einer zusätzlichen Ebene hat sich die Aufnahme nach Clementschitsch (1960) bewährt. Eine sichere Diagnostik von Gelenkfortsatzfrakturen, insbesondere von intrakapsulären, ist mit Hilfe der Computertomographie möglich (Rottke und Witt 1974, Jend-Rossmann und Jend 1983).

Weichteilverletzungen, vor allem der Kapsel und des Diskus, sind mittels Magnetresonanztomographie (Semmler et al. 1986) sicher diagnostizierbar. Dabei zeigte sich, dass bei Frakturen mit disloziertem Köpfchen der Discus articularis meist dem Caput folgt (Sullivan et al. 1995). Bei operativer Reposition wird dann der dislozierte Diskus durch seine Fixation am proximalen Fragment zumeist mit reponiert (Eckelt und Klengel 1996), welches einen Vorzug gegenüber der konservativen Therapie darstellt.

In diesem Experiment stellte sich die Frage nach der Diagnose nicht, der Diskus war auch nicht entfernt oder artifiziell verlagert worden. Daher wurde die Wahl der Röntgenmethoden nach kraniometrischen und statistischen Parametern festgelegt.

Gegenstand ausführlicher Diskussionen in der Literatur ist die Entscheidung zwischen der konservativen oder einer chirurgischen Therapie. Dabei ist inzwischen vor allem in der Therapie der Kiefergelenkluxationsfrakturen bei Erwachsenen das chirurgische Vorgehen

weitgehend akzeptiert. Härtel et al. (1991) fanden bei Nachuntersuchungen von Frakturen mit Luxation des Gelenkkopfes in 44% mäßige bis schwere Funktionsstörungen nach funktioneller Therapie. Rasse et al. (1991) stellten in einer vergleichenden Studie von stark dislozierten oder luxierten Frakturen deutlich bessere Ergebnisse nach operativem Vorgehen fest. Eine umfangreiche Studie von Eckelt et al. (2006) bei verlagerten Kondylusfrakturen ergab signifikant bessere Ergebnisse beim operativen Vorgehen gegenüber dem konservativen Verfahren unabhängig von der gewählten Methode der Fixierung.

Die chirurgischen Verfahren bergen allerdings auch die Gefahr, dass zusätzliche Verletzungen gesetzt werden. Bei Heranwachsenden besteht außerdem theoretisch das Risiko von Wachstumseinschränkungen. Im Kindesalter lässt daher die hier besonders hohe Remodellationsfähigkeit eine konservative Therapie als geeignet erscheinen (Rasse 2000). Bei Kindern unter 10 Jahren sehen Gundlach et al. (1991) das konservative Vorgehen als Erfolg versprechend an. Das Kieferköpfchen wird resorbiert und ein neuer Kondylus aufgebaut. Bei älteren Kindern reichen funktionelle Reize nach Ansicht dieser Autorengruppe nicht mehr aus, um einen neuen Processus condylaris zu bilden. Da der größte Wachstumsimpuls des aufsteigenden Unterkieferastes nicht während der Pubertät, sondern mit 7 Jahren bei Mädchen und mit 8 Jahren bei Jungen liegt (Steuer 2003), könnten die Vorteile der operativen Therapie bei Kindern, die älter als 8 Jahren sind, genutzt werden.

Ein Vergleich mit einer rein funktionellen Therapie kann in der vorliegenden Untersuchung nicht gezogen werden. Eine regelrechte funktionelle Therapie setzt unter anderem, gezielte Bewegungsanreize als Bedingung voraus, wie zum Beispiel das Tragen eines Aktivators für 9-12 Monate (Kahl und Gerlach 1990). Das ist im Tierversuch naturgemäß nicht möglich.

Einschränkend muss auch gesagt werden, dass aufgrund des aus ethischen Gründen klein gehaltenen Versuchskollektivs ein Vergleich mit größer angelegten Studien nur bedingt aussagekräftig ist.

In Zusammenhang mit den unbefriedigenden Ergebnissen der konservativen Therapie bei Luxationsfrakturen, hat sich ein Trend für die chirurgische Versorgung dieser Fälle eingestellt. Voraussetzung für diese Erkenntnis war ein besseres Verständnis der Wachstumsprozesse des Unterkiefers, insbesondere der Kondylusregion (Rasse 2000).

Bereits Perthes (1924) und Wassmund (1934) erkannten die Notwendigkeit der anatomischen Wiederherstellung im Gelenkbereich. Jedoch hatte sich in dieser Region trotzdem die konservative Therapie fast vollständig durchgesetzt, während in der Traumatologie der Unterkieferkörperfrakturen seit den 1960er Jahren eine Trendumkehr zugunsten des chirurgischen Vorgehens zu beobachten war (Pfeifer et al. 1975). Mit der Einführung der funktionsstabilen Osteosynthese (Luhr 1968) und vor allem der Miniplattenosteosynthese (Michelet et al. 1973) war die chirurgische Versorgung der Unterkieferfrakturen mit Ausnahme der Gelenkregion weitgehend akzeptiert.

Pape et al. beschrieben 1980 erstmals den Einsatz von Miniplatten im Bereich des Gelenkfortsatzes. Lediglich operationstechnische Schwierigkeiten hatten eine allgemeine Verbreitung des Verfahrens verhindert (Rasse 2000). In den vorliegenden Versuchen konnten Ausfälle des Nervus facialis bei den Schweinen vermieden werden.

Altonen et al. (1978) stellten bei experimentell erzeugten Frakturen des Unterkiefers bei Ratten im Säuglingsalter Wachstumsstörungen fest. Markey et al. (1980) fanden nach experimentell gesetzten hohen Kollumfrakturen an Rhesusaffen bei allen Tieren Wachstumsstörungen des Gesichts. Über ähnliche Beobachtungen im Tierexperiment berichten Heurlin et al. (1961), Moffet (1971) sowie Sarnat und Engel (1951). Daraus ergibt sich zwangsläufig der Wunsch nach einer Erfolg versprechenden Therapie ohne diese negativen Folgen. Wangerin und Brahms (1990) untersuchten die Auswirkungen der operativen Versorgung von Unterkieferfrakturen mit Osteosyntheseplatten auf das Wachstum im Tierexperiment an zwei Monate alten Ratten. Nach ihrer Ansicht kommt es durch die operative Versorgung der Fraktur zu einer Verstärkung der frakturbedingten Wachstumshemmung proportional zum Ausmaß von Operation und Trauma. Die eigenen Untersuchungen an sechs Monate alten Minischweinen konnten diese Aussagen nicht bestätigen.

Nach osteotomierten „Frakturen“ und sowohl luxierten als auch kurzfristig entfernten Kollum-Kapitulum Fragmenten konnten im vorliegenden Experiment an juvenilen Minischweinen keine Wachstumsstörungen im Sinne von Asymmetrien festgestellt werden. Fels (1998) fand bei operativ versorgten, nicht luxierten Frakturen des Collum mandibulae mittels Zugschrauben beziehungsweise Miniplatten, ebenfalls an juvenilen Minischweinen, auch keine Wachstumsstörungen. Andere Autoren berichten auch über die Remodellierungsfähigkeiten jugendlicher Kondylen im Tierexperiment (Walker 1960, Gundlach 1991).

Die remodellierende Kapazität ist im Wachstumsalter wohl immer vorhanden, jedoch mit zunehmenden Alter unsicherer und beschränkter. Nachuntersuchungen von Frakturen im Kindesalter zeigten bei luxierten Frakturen überwiegend deformierte oder verkürzte Gelenkfortsätze (Gundlach et al. 1991). Röthler et al. (1996) stellten in ihren Nachuntersuchungen gute Remodellationen, allerdings keine "Wiederaufrichtung" der Kieferköpfchen fest. Die besseren Ergebnisse fanden sie vor allem bei Kindern unter 8 Jahren.

Neben dem Alter spielt aber auch der Frakturtyp eine wesentliche Rolle (Kahl-Nieke und Fischbach 1998). Daher sollte vor allem bei intrakapsulären Frakturen und bei solchen mit stark dislozierten, beziehungsweise luxierten Fragmenten, wenn es denn chirurgisch möglich ist, mit zunehmendem Alter der Patienten immer mehr Wert auf die Reposition gelegt werden. Es ist außerdem festzustellen, dass die vorhandene Remodellationskapazität desto besser genutzt werden kann, je genauer die anatomische Restitution durch die erfolgte Reposition gelungen ist (Rasse 2000). Einen Hinweis für die Richtigkeit dieser Aussage konnte in den vorliegenden Untersuchungen nachgewiesen werden. Es lässt sich ein Trend zu besseren Ergebnissen nach operativer Reposition mit anschließender funktionsstabilen Osteosynthese feststellen.

Die Rolle des Kondylusknorpels ist viel diskutiert. Vor allem dessen Bedeutung für das Wachstum des Unterkiefers war lange Zeit umstritten. Während früher häufig der Kondylusknorpel als das Wachstumszentrum des Unterkiefers (Engel und Brodie 1948, Baume 1957, Sarnat 1957, Walker 1960) galt, stellten MacLennan und Simpson (1965) erstmals die Überbetonung des knorpeligen Wachstumszentrums im Kondylus in Frage. Bei Versuchen an wachsenden Hunden konnte Schumacher (1973) nach Knorpelresektion keine Wachstumshemmung feststellen und gesteht dem Knorpel eine Wachstumsfunktion zu, jedoch nicht die eines primären Wachstumszentrums. Gundlach (1983) widerlegte durch histologische Untersuchungen an Kondylenknorpeln von Ratten die von Schmidhuber (1930) postulierte Analogie des Unterkiefergelenkknorpels mit dem Epiphysenknorpel der Extremitätenknochen.

Rasse (1992) spricht dem Musculus pterygoideus lateralis eine wichtige Rolle als funktioneller Stimulus und als ernährender Stiel des Gelenkfortsatzes zu. Er wies im

Tierexperiment nach, dass die histologische Schichtung der Gelenkoberfläche nur bei intaktem Muskelansatz erhalten blieb. Er folgerte daraus, dass für eine erfolgreiche Restitution der Muskelansatz bei operativen Eingriffen geschont werden sollte und lehnt die bewusste Abtrennung des Muskels zur Reposition als unphysiologisch ab (Rasse 2000).

Bei vergleichenden Untersuchungen der Gefäßversorgung von Schweinen, Hunden und Menschen stellte Anders (2002) fest, dass der Processus condylaris mandibulae und das Kiefergelenk des Schweins denen des Menschen in Bau, Funktion und Gefäßversorgung sehr nahe stehen. Eine Versorgung durch Gefäße aus dem Musculus pterygoideus lateralis konnte er jedoch nicht feststellen.

Auch Saka et al. (2002) fanden durch vergleichende Untersuchungen an Unterkiefern von Menschen und Göttinger Miniatschweinen heraus, dass die Gefäßversorgung der Mandibula, insbesondere der Kondylusregion beider Spezies, nahezu identisch ist.

In den vorliegenden Untersuchungen wurde das Kieferköpfchen vollständig luxiert, das heißt, komplett vom Ansatz des Musculus pterygoideus lateralis, sowie von versorgenden Gefäßen abgetrennt. Danach wurde es als freies Transplantat reponiert und in der Vergleichsgruppe zusätzlich mittels Miniplattenosteosynthese wieder fixiert.

Die Versuchsbedingung am Miniatschwein lässt sich nicht ohne weiteres auf den Menschen übertragen, aber in dem vorliegenden Experiment ergaben sich wider Erwarten keine Wachstums einschränkungen. Die Notwendigkeit einer ausdrücklichen Schonung des Muskelansatzes beim operativen Vorgehen bei Heranwachsenden ließ sich deshalb nicht untermauern. Andere Autoren berichten allerdings über Wachstumsbehinderungen und Resorptionen infolge von Ernährungsstörungen bei einer extrakorporalen Osteosynthese nach Osteotomie des Unterkiefergelenkfortsatzes (Mikkonen et al. 1989, Ellis et al. 1989). Moreno et al. (2000) fanden nach dislozierten Kiefergelenkfrakturen Resorptionen.

Offensichtlich spielt die Art der gewählten Therapie eine wichtige Rolle bei der Restitution. Im eigenen Versuch wurde in jedem Falle das dislozierte Fragment chirurgisch reponiert. Allerdings ist ein Vergleich der Ergebnisse bei Reposition ohne Erhalt des Muskelansatzes mit Eingriffen, bei denen dieser geschont worden ist nicht möglich, da im vorliegenden

Experiment das vollständige Abtrennen des Muskels vom Kieferköpfchen zu den Versuchsbedingungen gehörte. Diese Untersuchungen oder ein Experiment, bei dem das Kieferköpfchen nach dem herausluxieren nicht wieder in seine anatomisch korrekte Position gebracht wird, könnten Gegenstand späterer Arbeiten sein.

Vielleicht führte aber gerade die Versuchsbedingung des vollständigen Herauslösens vom proximalen Fragment zu dem positiven Ergebnis der ohne Miniplattenosteosynthese versorgten Gruppe, da das Köpfchen nicht wieder durch den Zug des Musculus pterygoideus lateralis aus seiner reponierten Stellung herausluxiert wurde. Ein solches operatives Vorgehen würde aber in der Traumatologie keine Vorteile bieten, wie die vorliegende Arbeit zeigt, da die alleinige chirurgische Reposition gegenüber der zusätzlichen funktionsstabilen Osteosynthese keine besseren Heilungsergebnisse zeigte. Die Miniplattenosteosynthese ermöglicht beim Menschen aber die Reposition des Knochenfragmentes inclusive der Muskelinsertion.

Die eigenen Untersuchungen zeigten, dass auch nach vollständigem Abtrennen des Muskels vom Kondylus nur wenige Asymmetrien auftraten. Das proximale Fragment wurde trotzdem nicht resorbiert. Das legt die Vermutung nahe, dass für die Ernährung des Gelenkfortsatzes weitere Faktoren verantwortlich sind (Voy und Fuchs 1980, Saka et al. 2002). Durch die Reposition des luxierten Fragments ist eventuell eine rasche wieder Anlage ernährender Gefäße an den Knochen möglich.

Dem Musculus pterygoideus lateralis kommt somit wohl eine herausragende Rolle, weniger als Ernährungsstiel sondern eher als funktioneller Stimulus für das Wachstum nach der Therapie einer Kondylusfraktur zu und es ist daher unbedingt anzustreben, seinen Ansatz zu erhalten.

Deshalb sollten beim operativen Vorgehen beim Menschen der Muskel, das Periost und die Gelenkkapsel soweit wie möglich geschont werden.

Bei einem operativen Vorgehen zur Frakturversorgung stehen unterschiedliche Zugangswege zum Kiefergelenk zur Wahl. Aus ästhetischen Gründen kommen in der Humanmedizin der prä- beziehungsweise retroaurikuläre, der submandibuläre, sowie der intraorale Zugang in Frage.

Die präaurikuläre Inzision bietet den Vorteil der guten Übersicht, vor allem zur Schonung des

gefährdeten Nervus facialis. Neff et al. (2001) geben immerhin in bis zu 35 Prozent der Fälle eine postoperative Störung an. Dagegen berichteten Vogt et al. (2005) bei transparotidealem Zugang von anfänglichen 19,6% Einschränkungen im Bereich des Nervus facialis, die in allen Fällen spätestens nach 6 Monaten vollständig reversibel waren.

Der submandibuläre Zugang bietet einen guten Weg für die Zugschraubenosteosynthese, birgt aber zusätzlich die Gefahr der Verletzung von Halsästen des Gesichtsnervs.

Der intraorale Schnitt ist die ästhetisch optimale Lösung, allerdings auf Kosten der Übersicht (Rasse et al. 1993). Lauer et al. (2006) berichteten über eine verbesserte Technik bei einem transoralen Zugang mittels Verwendung von 3 D-Platten. Veras et al. (2007) ermittelten in einer Langzeitstudie an ausschließlich über den enoralen chirurgischen Zugangsweg operierten Kondylusfrakturen sehr gute radiologische und funktionelle Ergebnisse. Allerdings sollte der intraorale Zugang nur unter endoskopischer Kontrolle durchgeführt werden (Haug et al. 2004 und Schön et al. 2005).

Im vorliegenden Experiment sollten Einflüsse der operativen Vorgehensweise auf den Heilungsverlauf möglichst vermieden werden. Deshalb wurde der präaurikuläre Zugang gewählt, weil dieser eine optimale Übersicht und damit möglichst konstante Versuchsbedingungen gewährleistet.

Für die Fixierung der Fragmente werden in der Literatur verschiedene Verfahren beschrieben. Wassmund (1927) erreichte eine weitgehende Retention und Ruhigstellung mit einer Drahtosteosynthese. Er experimentierte zu dieser Zeit auch schon mit Platten. Seit Einführung der funktionsstabilen Osteosyntheseverfahren, ist diesen den Vorzug zu geben. Auf diesem Wege ist eine frühzeitige Mobilisierung möglich.

Die Zugschraubenosteosynthese ermöglicht eine besonders hohe Kompression der Fragmente (Eckelt 1991). Nachteilig ist sicherlich der Zweiseingriff zur Entfernung der Schraube. Diese sind nicht aus Titan verfügbar. Problematisch könnte auch der Wärmeabtransport beim Bohren des langen Gleitkanals sein. Dadurch könnte es zu Nekrosen kommen. Günstig hingegen ist, dass durch den Zugangsweg nur ein Ast, der Ramus marginalis des Nervus facialis gefährdet ist.

Champy et al. (1978), sowie Koberg und Momma (1978) beschrieben die Minplattenosteosynthese in der Behandlung der Unterkieferfrakturen. Sie stellt momentan wohl eine der günstigsten Formen der funktionsstabilen Osteosynthese dar (Rasse 2000). Eine

zweite Operation zur Entfernung der Platten ist in Deutschland üblich, aber nicht zwingend erforderlich. Osteosynthesen mit resorbierbaren Platten werden bisher eher kritisch bewertet (Neff et al. 2005).

In den Untersuchungen für die vorliegende Arbeit wurde sich für die Technik mittels Miniplattenosteosynthese entschieden. Diese gewährleistete eine sichere Übersicht und eine gute Stabilität der Fragmente.

## 6. Zusammenfassung

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, die Auswirkung verschiedener chirurgischer Vorgehensweisen bei der Therapie der Kiefergelenkluxationsfrakturen, auf das Wachstum aufzuzeigen.

Dazu wurden die Unterkiefer von 10 juvenilen Minischweinen mit Hilfe von Röntgenbildern klinisch untersucht.

Den Tieren waren unter definierten Bedingungen Frakturen im Bereich des Kollums, mit anschließender vollständiger Luxation des Kieferköpfchens, zugefügt worden. Diese wurden entweder nur mit einer chirurgischen Reposition, oder zusätzlich mit einer funktionsstabilen Osteosynthese therapiert und nach festgelegten Intervallen untersucht. Dabei wurden der Einfluss auf das Wachstum und eventuell auftretende Wachstumsstörungen bestimmt.

Zur Beurteilung der unterschiedlichen Methoden wurden mehrere Parameter herangezogen. Die mathematische Quantifizierung der gewonnenen Daten erfolgte mit Hilfe des Asymmetriewertes nach Duncker (1903). Zur Analyse der berechneten Indizes wurde ein von Henkel und Pienkos (1989) angegebenes Verfahren angewendet. Es muss allerdings angeführt werden, dass die statistische Aussagekraft aufgrund des aus ethischen Gründen klein gehaltenen Versuchskollektivs eingeschränkt ist.

Die gewählten Methoden erwiesen sich nach mathematischer Überprüfung als geeignet. Es konnten keine Wachstumsstörungen im Sinne von Asymmetrien festgestellt werden. Es ergaben sich auch keine Hinweise auf einen Zusammenhang zwischen dem Einfluss des Wachstums und eventuell daraus resultierender Kompensationsvorgänge auf die Ergebnisse. Die Untersuchung der verschiedenen chirurgischen Verfahren konnte aufzeigen, dass bei einer funktionsstabilen Frakturversorgung gegenüber einer ausschließlichen chirurgischen Reposition etwas bessere Ergebnisse ermittelt wurden. Somit kann sich die Therapie mit Miniplatten als günstiger bei der Versorgung der Kiefergelenkluxationsfrakturen im Wachstumsalter erweisen als die chirurgische Reposition ohne anschließende Fixation. Allerdings ist dabei nochmals relativierend zu berücksichtigen, dass die Versuchsgruppen aus ethischen Gründen sehr klein waren und dass die Ergebnisse von Tierversuchen nicht ohne weiteres auf den Menschen zu übertragen sind.

## 7. Literaturverzeichnis

1. **Altman,I.S., Gundlach,K.K.H.:** Kiefergelenkfortsatzfrakturen im Kindesalter, klinisch-röntgenologische Nachuntersuchung. Dtsch Zahn Mund Kieferheilkd 80(1992) 269-273
2. **Altonen,M., Ranta,R., Ylipaavalniemi,P.:** Midface deviation due to mandibular fractures. J. Maxillofac Surg 6(1978) 143-147
3. **Anders,L.O.:** Vergleichende Darstellung der arteriellen Gefäßanatomie der Mandibula beim Tier und Mensch unter besonderer Berücksichtigung des Gelenkfortsatzes: eine experimentell-morphologische Studie an anatomischen Präparaten. Diss Med Rostock 2002
4. **Anders,L.O.:** Darstellung der arteriellen Blutgefäßanatomie an der Mandibula beim New Zealand White Rabbit und deren Vergleich mit der arteriellen Blutgefäßversorgung der Mandibula des Menschen unter besonderer Berücksichtigung des Gelenkfortsatzes: eine experimentell-morphologische Untersuchung an mazerierten anatomischen Präparaten. Diss Med Rostock 2006
5. **Ashammakhi,N, Gonzales,A.M., Törmälä,P., Jackson,I.T.:** New resorbable bone fixation. Biomaterials in craniomaxillofacial surgery: present and future. Eur J Plast Surg 26 (2004) 383-390
6. **Austermann,K.H.:** Frakturen des Gesichtsschädels. In: Schwenzer,N, Grimm,G. (Hrsg.): Zahn-Mund-Kieferheilkunde. Spezielle Chirurgie. Band 2. Thieme, Stuttgart New York, 2002, 275-365
7. **Austermann,K.H., Lisiak,O.:** Untersuchungen zur Biomechanik von Kiefergelenkbrüchen. Fortschr Kiefer Gesichtschir 25(1980) 136-152
8. **Baker,A.W., McMahon,J., Moss,K.F.:** Current consense on the management of fractures of the mandibular condyle. Int J Oral Maxillofac Surg 27(1998) 258-266
9. **Baker,R.F.:** The influence of the formative dental organs on the growth of the bones of the face. Am J Orthod 27(1941) 489-506
10. **Baume,L.J.:** Muskelansatz und Knochenwachstum. Schweiz Monatsschr Zahnmed 65(1955) 18-27
11. **Baume,L.J.:** Experimentelle Erforschung der Skelettmorphogenese mit spezieller Berücksichtigung der Schädelentwicklung. Schweiz Monatsschr Zahnmed 67(1957) 673-684
12. **Baume,L.J.:** Ontogenesis of the human temporomandibular joint: 1. Development of the condyles. J Dent Res 41(1962) 1327-1339

13. **Baume,L.J., Holz,J.:** Ontogenesis of the human temporomandibular joint: 2. Development of the temporal components. *J Dent Res* 49(1970) 864-875
14. **Becker,R, Austermann,K.H.:** Frakturen des Gesichtsschädels. In: Schwenzer,N., Grimm,G. (Hrsg.): *Zahn-Mund-Kieferheilkunde. Spezielle Chirurgie.* Band 2. Thieme, Stuttgart 1981, 521-543
15. **Becker,R, Hübner,A., Pommerenke,F.:** Metrische Untersuchungen an Schädel und Unterkiefer des Miniaturschweins MINI-LEWE nach Zungenteilresektion. *Diss Med Rostock* 1985
16. **Begliger,R.,Becker,M., Eggenberger,E., Lombard,C.:** Das Göttinger Miniaturschwein als Versuchstier. *Res Exp Med* 3(1975) 251-263
17. **Bergé,S., Lindern,J.J.von, Niederhagen,B., Appel,T., Reich,R.H.:** Mögliche Komplikationen bei der arthroskopischen Lavage des Kiefergelenks. *Mund Kiefer Gesichtschir* 5(2001) 245-250
18. **Bernabei,R.L., Johnston,L.E.:** The growth in situ of isolated mandibular segments. *Am J Orthod* 73(1978) 24-35
19. **Bertalanffy,L.von:** Wachstum. In: Kükenthal,W. (Hrsg.): *Kükenthals Handbuch der Zoologie.* Band 8(b). W. de Gruyter, Berlin 1957
20. **Bertolini,R.:** Über die Bedeutung von Wachstum und Altern für die Anatomie. *Wiss Z Universität Rostock* 19(1970) 31-34
21. **Björk,A.:** Facial growth in man. *Acta Odontol Scand* 13(1955) 9-34
22. **Blechschmidt,E.:** Über das Formbildungsvermögen des menschlichen Körpers. Vandenhoeck & Ruprecht, Göttingen 1947
23. **Boenig,H.:** Leitfaden der Entwicklungsgeschichte des Menschen. Thieme, Leipzig 1967
24. **Bolle,R.:** Kieferbruchbehandlung an der zahnärztlichen Klinik und Kieferklinik der Universität Göttingen. *Stoma* 15(1962) 116-124
25. **Bos,R.R., Ward Booth,R.P., Bont,L.G.de:** Mandibular condyle fractures: a consensus. *Br J Oral Maxillofac Surg* 37(1999) 87-89
26. **Boyd,T.G., Castelli,W.A., Huelke,D.F.:** Removal of the temporalis muscle from its origin: Effects on the size and shape of the coronoid process. *J Dent Res* 46(1967) 997-1001
27. **Bunn,C.:** Morphometrische Vergleichsuntersuchungen über das Unterkieferwachstum beim Miniaturschwein nach Zungenteilresektion. *Med Dipl Arbeit, Rostock* 1982
28. **Cadenat,H., Barthelemy,R., Combelle,R., Fabie,M, Maneaud,M.:** Importance de la vascularisation mandibulaire en chirurgie maxillofaciale. *Rev Stomatol Chir Maxillofac*

- 73(1972) 60-65
29. **Castelli,W.:** Vascular architecture of the human adult mandible. *J Dent Res* 42(1963) 786-792
30. **Champy,M., Lodde,J.P., Schmitt,R., Jaeger,J.H., Muster,D.:** Mandibular osteosynthesis by miniature screwed plates via a buccal approach. *J Maxillofac Surg* 6(1978) 14-21
31. **Christenson,R.K., Ford,J.J.:** Puberty and estrus in confinement-reared gilts. *J Anim Sci* 49(1979) 743-751
32. **Clementschitsch,F.:** Über die Röntgenologie des Kiefergelenks. *Fortschr Kiefer Gesichtschir* 6(1960) 47-63
33. **Cornelius,C.P., Ehrenfeld,M., Laubegeiger,M., Simonis,A., Kaltsonnis,E.:** Ergebnisse eines konservativ-funktionellen Therapiekonzepts bei kindlichen Kondylusfrakturen. *Dtsch Zahnärztl Z* 46(1991) 46-49
34. **Dahlberg,G.:** Statistical methods for medical and biological students. Interscience, New York 1940
35. **Dausch-Neumann,D.:** Kieferorthopädie. In: Schwenzer,N.(Hrsg.): *Zahn-Mund-Kieferheilkunde*. Band 5. Thieme, Stuttgart 1987
36. **Depprich,R., Handschel,J., Hornung,J., Meyer,U., Kübler,N.R.:** Ursachen, Therapie und Komplikationen bei der Frakturversorgung des Unterkiefers – eine retrospektive Analyse von 10 Jahren. *Mund Kiefer Gesichtschir* 11(2007) 19-26
37. **Djindjian,R., Merland,J.-J.:** Super-selective arteriography of the external carotid system. Springer, Berlin 1978
38. **Dowgjallo,N.:** Zur Lehre von der Form des Kiefergelenks beim Menschen. *Z Anat Entwicklungsgesch* 99(1933) 585-589
39. **Drommer,R.:** Das Göttinger Mini-Pig als Versuchstier in der experimentellen Chirurgie des Mittelgesichts. *Dtsch Z Mund Kiefer Gesichtschir* 5(1981) 358-360
40. **Duncker,G.:** Symmetrie und Asymmetrie bei bilateralen Tieren. *Arch Entwicklungsmech Org* 17(1903) 533-628
41. **Durkin,J.F., Irving,J.T., Heeley,J.D.:** A comparition of the circulatory and calcification patterns in the mandibular condyle in the guinea pig with those found in the tibial epiphyseal and articular cartilages. *Arch Oral Biol* 14(1969) 1365-1371
42. **Eckelt,U.:** Zugschraubenosteosynthese bei Unterkiefergelenkfortsatzfrakturen. *Mund Kiefer Gesichtschir* 15(1991) 51-57
43. **Eckelt,U.:** Gelenkfortsatzfrakturen. *Mund Kiefer Gesichtschir* 4(2000) 110-117

44. **Eckelt,U., Klengel,S.:** Kernspintomographische Untersuchungen zur Position des Discus articularis nach Luxationsfrakturen. *Fortschr Kiefer Gesichtschir* 41(1996) 115-117
45. **Eckelt,U., Schneider,M., Erasmus,F., Gerlach,K.L., Kuhlisch,E., Loukota,R., Rasse,M., Schubert,J., Terheyden,H.:** Open versus closed treatment of fractures of the mandibular condylar process: a prospective randomized multi-centre study. *J Craniomaxillofac Surg* 34(2006) 306-314
46. **Ehrenfeld,M., Roser,M., Hagenmaier,C., Mast,G.:** Behandlung von Unterkieferfrakturen mit unterschiedlichen Fixationstechniken – Ergebnisse einer prospektiven Frakturenstudie. *Fortschr Kiefer Gesichtschir* 41(1996) 67-71
47. **El Nabulsi,F., Krüger,H.:** Kraniometrische Querschnittsuntersuchungen des Gesichts- und Gehirnschädel von sechsjährigen Risiko- und Kontrollkindern. *Diss Med Rostock* 1980
48. **Engel,M.B., Brodie,A.G.:** Condylar growth and mandibular deformities. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1(1948) 790-793
49. **Enlow,D.H.:** The human face. Harper & Row, New York 1968
50. **Enlow,D.H.:** Handbuch des Gesichtsschädelwachstums. Quintessenz, Berlin 1989
51. **Enlow,D.H., Harris,D.B.:** A study of the postnatal growth of the human mandible. *Am J Orthod* 50(1964) 25
52. **Faupel,H., Schargus,G., Schröder,F.:** Klinische und röntgenologische Nachuntersuchungen von Kollumfrakturen. *Fortschr Kiefer Gesichtschir* 21(1976) 316-319
53. **Fels,K.:** Vergleichende Untersuchung verschiedener Osteosyntheseverfahren auf das Unterkieferwachstum. *Diss Med Rostock* 1998
54. **Felts,W.J.:** Transplantation studies of factors in skeletal organogenesis. *Am J Phys Anthropol* 17(1957) 201-215
55. **Fick,R.:** Allgemeine Gelenk- und Muskelmechanik. 2. Teil. In: Bardeleben,K.von (Hrsg.): Handbuch der Anatomie und Mechanik der Gelenke. Band 2. Fischer, Jena 1910
56. **Fick,R.:** Spezielle Gelenk- und Muskelmechanik. 3. Teil. In: Bardeleben,K.von (Hrsg.): Handbuch der Anatomie und Mechanik der Gelenke. Band 2. Fischer, Jena 1911
57. **Fitho,R.:** Humanitarian and academic aspects of animal experimentation. *Patol Pol* 44(1993) 169-175
58. **Fränkel,R.:** Das kondyläre Wachstum – Ergebnisse der experimentellen Forschung und ihre klinischen Aspekte. *Nova acta Leopoldina* 58(1986) 69-76
59. **Gerlach,K.L., Kahl,B., Berg,S.:** Die Behandlung der Gelenkfortsatzfrakturen bei

- Kindern. Dtsch Zahnärztl Z 46(1991) 43-45
60. **Gernet,W., Rammelsberger,P.:** Kiefergelenkerkrankungen und Funktionsstörungen. In: Schwenzer,N, Ehrenfeld,M (Hrsg.): Zahnärztliche Chirurgie. Thieme, Stuttgart und New York 2000, 263-309
61. **Greve,J.W., Pöhl,A.:** Gesichtsschädelfrakturen im Wachstumsalter. Diss Med Rostock 1991
62. **Griffen,C.J.:** Mechanism of the blood supply of the synovial membrane of the temporomandibular joint. Aust Dent J 4(1959) 379-384
63. **Gross,H.:** In: Becker,R.: Das Wachstum des Unterkiefers. Untersuchungen zur Pathogenese der Wachstumsstörungen des Unterkiefers. Dtsch Zahn Mund Kieferheilkd 44(1965) 177-207
64. **Gundlach,K.K.H.:** Das sogenannte Wachstumszentrum des Unterkiefergelenkfortsatzes. Histologische Untersuchungen der Kiefergelenksentwicklung bei Ratte und Maus. Dtsch Zahnärztl Z 38(1983) 432-436
65. **Gundlach,K.K.H., Schwipper,E., Fuhrmann,A.:** Die Regenerationsfähigkeit des Processus condylaris mandibulae. Dtsch Zahnärztl Z 46(1991) 36-38
66. **Härtel,J., Hellmuth,M., Hellmuth,K.O.:** Der Helkimo-Index als Beurteilungsmöglichkeit. Behandlungsergebnisse von Unterkieferfrakturen. Dtsch Z Mund Kiefer Gesichtschir 18(1991) 292-296
67. **Häupl,K.:** Lehrbuch der Zahnheilkunde. Band 1. Urban & Schwarzenberg, Wien 1949
68. **Häupl,K.:** Untersuchungen zur Pathogenese der Wachstumsstörungen des Unterkiefers. In: Becker,R.: Das Wachstum des Unterkiefers. Dtsch Zahn Mund Kieferheilkd 44(1965) 177-207
69. **Haug,R.H., Brandt,M.T.:** Traditional versus endoscope-assisted open reduction with rigid internal fixation (ORIF) of adult mandibular condyle fractures: a review of the literature regarding current thoughts on management. J Oralmaxillofac Surg 63(2004) 1272-1274
70. **Hausser,E.:** Wachstumszonen und Wachstumszentren und ihre Bedeutung für die Morphogenese des Gesichtsschädels. Fortschr Kieferorthop 25(1964) 318-326
71. **Henkel,K.O., Pienkos,R.:** Quantitative Asymmetrieuntersuchungen am Beagle-Hundeschädel nach unilateraler Unterkieferresektion mit Hilfe der Computertomographie. Diss Med Rostock 1989
72. **Herfert,O.:** Zur Systematik und Therapie der Brüche des Kiefergelenks. Dtsch Zahnärztl Z 10(1955) 1354-1364

73. **Heurlin,R.J., Gans,B.J., Stuteville,O.H.:** Skeletal changes following fracture dislocation of the mandibular condyle in the adult rhesus monkey. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 14(1961) 1490-1500
74. **Hjortsjö,C.H.:** Anatomie und Physiologie des Kiefergelenks. *Fortschr Kiefer Gesichtschir* 6(1960) 16-27
75. **Hlawitschka,M., Eckelt,U.:** Klinische, radiologische und axiographische Untersuchung nach konservativ-funktioneller Behandlung diakapitulärer Kiefergelenkfrakturen. *Mund Kiefer Gesichtschir* 6(2002) 241-248
76. **Hoffmann,E.:** Der Processus coronoideus mandibulae der Säugetiere und seine Beziehungen zu deren Kaumuskulatur, ihrem Kiefergelenk und Zahnsystem. *Diss Med Bonn* 1911
77. **Hollmann,K., Millesi,W., Hoffmann,D.:** Fallbericht. Frühkindliches Kiefergelenkstrauma: Folgen und Behandlung. *Z. Stomatol* 83(1986) 389-392
78. **Holtgrave,E., Rösli,A., Spiessl,B.:** Die Behandlung der Kollumfraktur im Kindesalter – klinische und röntgenologische Ergebnisse. *Dtsch Zahnärztl Z* 30(1975) 213-221
79. **Hoopes,J.E., Woolfort,F.G., Jabaley,M.E.:** Operative treatment of fractures of the mandibular condyle in children. *Plast Reconstr Surg* 46(1979) 359-365
80. **Hoppe,W., Helm,H., Herchenröder,R.:** Ein Beitrag zur Kieferbruchstatistik. *Stoma* 17(1964) 283-291
81. **Horch,H.H.;Herzog,M.:** Traumatologie des Gesichtsschädels. In: Horch,H.H. (Hrsg.): Mund-Kiefer-Gesichtschirurgie Band 1, Urban & Schwarzenberg, München Wien Baltimore 1997, 53-163
82. **Horch,H.H., Herzog,M.:** Traumatologie im Mund- Kiefer- Gesichtsbereich. In: Horch,H.H. (Hrsg.): Mund- Kiefer- Gesichtschirurgie. Band 1. Urban & Schwarzenberg, München 1990, 37-138
83. **Jacobsen,P.U., Lund,K.:** Unilateral overgrowth and remodelling process after fracture of the mandibular condyle. *Scand J Dent Res* 80(1972) 68-74
84. **Jank,S., Emshoff,R., Bodner,G., Rudisch,A., Strobl,H., Norer,B.:** Positionsbestimmung des Diskus im Kiefergelenk mit Hilfe der dynamischen Hochfrequenzsonographie. *Dtsch Zahnärztl Z* 57(2002) 365-376
85. **Jeckel,N., Schwarz,U., Biggel,A., Niederpellmann,H., Schilli,W.:** Ursachen, soziale Begleitumstände und Frakturverlauf bei Kieferfrakturen. *Dtsch Zahnärztl Z* 38(1983) 304-307
86. **Jend-Rossmann,I., Jend,H.H.:** Anwendungsmöglichkeiten und Indikation moderner

- Computertomographien in der Mund-Kiefer-Gesichtschirurgie. Dtsch Z Mund Kiefer Gesichtschir 7(1983) 356-362
87. **Joos,U.:** Die Entwicklung der Therapie kindlicher Kollumfrakturen. Dtsch Zahnärztl Z 46(1991) 38-40
88. **Joos,U., Kleinheinz,J.:** Therapy of condylar neck fractures. Int J Oralmaxillofac Surg 27(1998) 247-254
89. **Kaduk,W.M.H., Metelmann,H.R., Gundlach,K.K.H.:** Das Landschwein als Modell für Ausbildung, wissenschaftliche Untersuchungen und Entwicklung neuer arthroskopischer Operationsmethoden am Kiefergelenk. Mund Kiefer Gesichtschir 7(2003) 235-240
90. **Kahl,B., Gerlach,K.L.:** Funktionelle Behandlung nach Gelenkfortsatzfrakturen mit und ohne Aktivator. Fortschr Kieferorthop 51(1990) 352-364
91. **Kahl-Nieke,B., Fischbach,R.:** Die kondyläre Reparation nach früher Gelenkfraktur und funktioneller Behandlung. J Orofac Orthop 59(1994) 151-162
92. **Kantorowicz,A.:** Klinische Zahnheilkunde. Meusser, Berlin 1928
93. **Kerr,W.J.S.:** A longitudinal cephalometric study of dento-facial growth from 5 to 15 years. Br J Orthod 6(1979) 115-121
94. **Keutken,K., Fuhrmann,A., Höltje,W.J.:** Spätergebnisse konservativ-funktionell behandelter Collumfrakturen beim Erwachsenen. Dtsch Zahnärztl Z 38(1983) 440-443
95. **Knobloch,E.:** Spätergebnisse nach Kollumfrakturen bei Kindern. Fortschr Kiefer Gesichtschir 25(1980) 101-104
96. **Koberg,W.R., Momma,W.G.:** Treatment of fractures of the articular process by functional stable osteosynthesis using miniaturized dynamic compression plates. Int J Oral Surg 7(1978) 256-259
97. **Koski,K.:** Crani growth centers: Facts or fallacies? Am J Orthod 54(1968) 566-583
98. **Koski,K.:** The mandibular complex. Trans Eur Orthod Soc 50(1974) 53-67
99. **Krenkel,C.:** Axial "anchor" screw (lag screw with bioconcave washer)or "slated screw" plate for osteosynthesis of fractures of the mandibular condylar process. J Craniomaxillofac Surg 20(1992) 348-353
100. **Kristen,K.:** Zur Prognose der Luxationsfrakturen des Processus articularis im Wachstumsalter. Fortschr Kiefer Gesichtschir 11(1966) 47-51
101. **Krüger,E.:** Kombinierte Extensions- und Aktivatorbehandlung zur funktionellen Therapie doppelseitiger Kiefergelenkfrakturen bei Kindern. Dtsch Zahnärztl Z 26(1971) 875-877
102. **Lammers,E., Schwipper,V., Fuhrmann,A.:** Spätergebnisse kindlicher Collumfrakturen

- nach konservativ-funktioneller Therapie. Dtsch Zahnärztl Z 38(1983) 437-439
103. **Lang,J., Schiller,A.:** Anteversio, Flächenwert und Scheitelkrümmungsradius. Verh Anat Ges 70(1976) 605- 612
104. **Lauer,G., Pradel,W., Schneider,M., Eckelt,U.:** Transorale operative Therapie von Kiefergelenkfrakturen mit einer 3D-Platte. Mund Kiefer Gesichtschir 5(2006) 335-340
105. **Leucht,W., Gregor,G., Stier,H.:** Einführung in die Versuchstierkunde. Band 4: Das Minischwein. Fischer, Jena 1982
106. **Limborgh,J.van.:** A new view on the control of the morphogenesis of the skull. Acta Morphol Neerl Scand 8(1970) 143-160
107. **Linden,F.van der:** A study of roentgenocephalometric bony landmarks. Am J Orthod 59(1971) 111-125
108. **Linder-Aronson,S.:** Effects of adenoidectomy on dentition and. nasopharynx. Trans Eur Orthod Soc 4(1972) 177-186
109. **Linge,L.:** Klinische Relevanz tierexperimenteller Untersuchungen. Fortschr Kieferorthop 38(1977) 253-260
110. **Luhr,H.G.:** Zur stabilen Osteosynthese bei Unterkieferfrakturen. Dtsch Zahnärztl Z 23(1968) 754-758
111. **Lysell,L., Öberg,T.:** Growths of the jaws and mandibular joints in the guinea pig – a biometric study. Odontol Revy 17(1966) 336-349
112. **MacLennan,W.D., Simpson,W.:** Treatment of fractured mandibular condylar processes in children. Br J Plast Surg 18(1965) 423-427
113. **Markey,R.J., Potter,B.E., Moffet,B.C.:** Condylar trauma and facial asymmetry: an experimental study . J Maxillofac Surg 8(1980) 38-51
114. **McNamara,J.A.:** Increasing vertical dimension in the growing face: An experimental study. Am J Orthod 64(1973) 364-367
115. **Michelet,F.X., Deymes,I., Dessus,B.:** Osteosynthesis with miniaturized screwed plates in maxillofacial surgery. J Maxillofac Surg 1(1973) 79-84
116. **Midtgard,J., Björk,G., Linder-Aronson,S.:** Reproducibility of cephalometric landmarks and errors of measurement of cephalometric cranial distances. Angle Orthod 44(1974) 56-62
117. **Mielke,C., Janenz,S.:** Erfolgsbewertung der Therapie von Gelenkfortsatzfrakturen des Unterkiefers. Diss Med Rostock 1991
118. **Miethke,R.R.:** Schädelentwicklung. In: Diedrich,P. (Hrsg.): Kieferorthopädie. Band1. Urban & Schwarzenberg, München 2000, 30-38

119. **Mikkonen,P, Lindqvist,C., Pihakari,A., Ilzuka,T., Paukxu,P.:** Osteotomy-osteosynthesis in displaced condylar fractures. *Int J Oral Maxillofac Surg* 18(1989) 267-270
120. **Miller,R.I., McDonald,D.K.:** Remodeling of bilateral condylar fractures in a child. *J Oral Maxillofac Surg* 44(1986) 1008-1010
121. **Moffet,B.C.:** The morphogenesis of the temporomandibular joint. *Am J Orthod* 52(1966) 401-415
122. **Moffet,B.C.:** Alterations in craniofacial growth resulting from unilateral fracture of the mandibular condyle in a young rhesus monkey. *J Dent Res* 50(1971) 1486-1487
123. **Moore,W.J.:** Masticatory function and skull growth. *J Zool* 146(1965) 123 -131
124. **Moreno,J.C., Fernandez,A., Ortiz,J.A., Montalvo,J.J.:** Complication rates associated with different treatments for mandibular fractures. *J Oral Maxillofac Surg* 58(2000) 273-280
125. **Moss,M.L.:** Embryology, growth and malformations of the temporomandibular joint. In: Schwartz (Hrsg.): *Disorders of the temporomandibular joint*. B.W.Saunders & Co, Philadelphia 1959, 89-103
126. **Moss,M.L., Rankow,R.M.:** The role of the functional matrix in mandibular growth. *Angle Orthod* 38(1968) 95-103
127. **Moss,M.L., Salentijn,L.:** The primary role of functional matrices in facial growth. *Am J Orthod* 55(1969) 566-577
128. **Moss,M.L., Salentijn,L.:** The compensatory role of the condylar cartilage in mandibular growth: theoretical and clinical implications. *Dtsch Zahn Mund Kieferheilkd* 56(1971) 5-9
129. **Müller,W.:** Die Frakturen des Gesichtsschädels. *Dtsch Zahn Mund Kieferheilkd* 39(1963) 115-128
130. **Muska;K., Meyer,J., Müller,D.:** Zur chirurgischen Versorgung der Gelenkfortsatzfrakturen des Unterkiefers. *Dtsch Stomatol* 23(1973) 897-902
131. **Neff,A., Neff,F., Kolk,A., Horch,H.H.:** Risiken und perioperative Komplikationen bei offenen gelenkchirurgischen Eingriffen. *Dtsch Zahnärztl Z* 56(2001) 258-263
132. **Neff,A., Kolk,A., Meschke,F., Deppe,H., Horch,H.H.:** Kleinfragmentschrauben vs. Plattenosteosynthese bei Gelenkwalzenfrakturen. Vergleich funktioneller Ergebnisse mit MRT und Axiographie. *Mund Kiefer Gesichtschir* 9(2005) 80-88
133. **Nikitjuk,B.A.:** Experimentell-morphologische Untersuchungen über die Bedeutung der Kaufunktion bei der Gestaltbildung des Säugetierschädels. *Dtsch Zahn Mund Kieferheilkd* 50(1968) 465-479

134. **Noguchi,I., Sato,Y., Ando,T., Takahasi,M., Kurokawa,H., Oota,S., Hasegawa,Y., Tihara,K., Someta,H., Takayasu,A.:** PLLA pin for osteosynthetic treatment of condylar neck fracture in minipig and patients. *J Craniomaxillofac Surg* 26(1998) 134-141
135. **Öberg,T., Carlsson,G.E., Fajers,C.M.:** The temporomandibular joint. A morphologic study on a human autopsy material. *Acta Odontol Scand* 29(1971) 439-442
136. **Paoli,J.R., Dekeister,C., Mayorca,A.:** Childhood temporomandibular joint fracture leading to obstructive sleep apnea syndrome: a case report. *J Oral Maxillofac Surg* 65(2007) 2069-2072
137. **Pape,H.D., Hauenstein,H., Gerlach,K.L.:** Chirurgische Versorgung der Gelenkfortsatzfrakturen mit Miniplatten. *Fortschr Kiefer Gesichtschir.* 25(1980) 81-83
138. **Parma,C.:** Röntgendiagnostik der Kiefergelenke. *Röntgenpraxis* 14(1932) 633-649
139. **Pernkopf,E.:** Das Kiefergelenk, dessen Mechanik und Muskulatur. In: Häupl,K.;Meyer,W.;Schuchardt,K. (Hrsg.): *Die Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde.* Band1, Urban & Schwarzenberg, München und Berlin 1958, 41-57
140. **Perthes,G.:** Über Frakturen und Luxationsfrakturen des Kiefergelenkköpfchens und ihre operative Behandlung. *Verh Dtsch Ges* 133(1924) 418-434
141. **Petrovic,A., Stutzmann,J., Oudet,C., Gasson,N.:** Kontrollfaktoren des Kondylenwachstums. *Fortschr Kieferorthop* 35(1974) 347-357
142. **Petrovic,A., Stutzmann,J., Gasson,N., Oudet,C.:** Wirkung der übertriebenen posturalen Vorschubstellung des Unterkiefers auf das Kondylenwachstum der normalen und der mit Wachstumshormon behandelten Ratte. *J Orofac Orthop* 36(1975) 86-97
143. **Petrovic,A., Stutzmann,J., Oudet,C.:** Condylectomy and mandibular growth in young rats. A quantitative study. *Proc Finn Dent Soc* 77(1981) 139-150
144. **Petzel,J.R.:** Die chirurgische Behandlung des frakturierten Collum mandibulae durch funktionsstabile Zugschraubenosteosynthese. *Fortschr Kiefer Gesichtschir* 25(1980) 84-90
145. **Pfaff,W.:** Lehrbuch der Orthodontie für Studierende und Zahnärzte. Klinkhardt, Leipzig 1921
146. **Pfeifer,G., Busch,W., Rottke,B.:** Verlauf und Auswirkungen des Therapiewandels bei Frakturen des Gesichtsschädels. *Fortschr Kiefer Gesichtschir* 19(1975) 62-65
147. **Platz,H., Müller-Schelken,H.P.:** Ergebnisse der konservativen Behandlung von Frakturen des Processus articulares mandibulae. In: Pape,K. (Hrsg): *Acta chirurgiae maxillo-facialis.* Band 4. Barth, Leipzig 1979, 68-70
148. **Proffit,W.R., Vig,K.W.L., Turvey,T.A.:** Early fracture of the mandibular condyles: Frequentian unsuspected cause of growth disturbances. *Am J Orthod* 78(1980) 1-23

149. **Puff,A.:** Zur funktionellen Anatomie des Kiefergelenks. Dtsch Zahnärztl Z 18(1963) 1385-1392
150. **Puig,S., Krestan,C., Glaser,C., Staudenherz,A., Lomoschitz,F., Robinson,S.:** Die traumatischen Kiefergelenkverletzungen. Radiologe 9(2001) 754-759
151. **Ramm,S.:** Retrospektive Untersuchung von operativ versorgten Unterkieferfrakturen an der Nordwestdeutschen Kieferklinik von 1997 bis 2000. Diss Med Hamburg 2005
152. **Rasse,M.:** Diakapituläre Frakturen der Mandibula. Die operative Versorgung – Tierexperiment und Klinik. Habilitationsschrift Wien 1992
153. **Rasse,M.:** Diakapituläre Frakturen der Mandibula. Eine neue Operationsmethode und erste Ergebnisse. Z Stomatol 90(1993) 413-428
154. **Rasse,M.:** Neuere Entwicklungen der Therapie der Gelenkfortsatzbrüche der Mandibula. Mund Kiefer Gesichtschir 4(2000) 69-87
155. **Rasse,M., Fialka,V., Paternostro,T.:** Modifikationen des Zuganges zum Kiefergelenk und Ramus mandibulae. Acta Chir Austr 1(1993) 49-54
156. **Rasse,M., Schober,C., Piehslinger,E., Scholz,R., Hollmann,K.:** Intra- und extrakapsuläre Kondylusfrakturen im Wachstumsalter. Therapie, Verlauf, Komplikationen. Dtsch Zahnärztl Z 46(1991) 49-51
157. **Rauber,A., Kopsch,F.:** In: Leonhardt,H., Tillman,B., Töndury,G., Zilles,K. (Hrsg.): Anatomie des Menschen. Band 1. Bewegungsapparat. Thieme, Stuttgart 1998
158. **Raveh,J., Vuillemen,T., Lädrach,K., Sutter,F.:** Temporomandibular joint ankylosis: Surgical treatment and long-time results. J Oral Maxillofac Surg 47(1989) 900
159. **Reichenbach,E.:** Das Kiefergelenk als Modell gemeinsamer Aufgabenstellung stomatologischer Fachgebiete. Dtsch Zahn Mund Kieferheilkd 54(1970) 6-20
160. **Rheinwald,U., Becker,R.:** Die Beziehungen der Zunge zum normalen und gestörten Unterkieferwachstum. Fortschr Kieferorthop 23(1962) 5-79
161. **Robinson,I.B., Sarnat,B.G.:** Growth pattern of the pig mandible. Am J Anat 96(1955) 37-64
162. **Rodloff,C., Hartmann,N., Maerker,R.:** Kollumluxationsfrakturen im Wachstumsalter – konservative versus operative Therapie. Dtsch Zahnärztl Z 46(1991) 63-69
163. **Röhtler,G., Strobel,H., Strobel,V.; Norer,B., Waldhart,E.:** Kiefergelenkfortsatzfrakturen im Kindesalter – eine Langzeitstudie im Orthopantomogramm. Fortschr Kiefer Gesichtschir 41(1996) 146-147
164. **Rössle,R.:** Wachstum und Altern: zur Physiologie und Pathologie der postfötalen Entwicklung. J.F.Bergmann, München 1923

165. **Rottke,B., Witt,U.:** Fehler und Irrtümer bei der Tomographie des Kiefergelenkbereichs. Dtsch Zahnärztl Z 29(1974) 557-558
166. **Ruedi,G.:** Zur Klinik der Gelenkkopffrakturen des Unterkiefers. Schweiz Monatsschr Zahnmed 11(1928) 727
167. **Saka,B., Wree,A., Anders,L.O., Gundlach,K.K.H.:** Experimental and comparative study of the blood supply to the mandibular cortex in Göttingen minipigs and man. J Craniomaxillofac Surg 30(2002) 219-225
168. **Sarnat,B.G.:** Facial and neurocranial growth after removal of the mandibular condyle in the macaca rhesus monkey. Am J Surg 94(1957) 19-30
169. **Sarnat,B.G., Engel,M.B.:** Serial study of mandibular growth after removal of the condyle in macaca rhesus monkey. Plast Reconstr Surg 7(1951) 364-369
170. **Scheff,J.:** Handbuch der Zahnheilkunde. Hölder, Wien und Leipzig 1910
171. **Schmelzeisen,R., SchönR.:** Microvascular reanastomosed allogenous iliac crest transplants reconstruction of the bony defects of the mandible in miniature pigs. J Oral Maxillofac Surg 27(1998) 377-385
172. **Schmidhuber,E.:** Experimentelle Untersuchungen über den Anteil der Zähne und des Kiefergelenks am Längenwachstum des Unterkiefers des Hundes. Dtsch Monatsschr Zahnheilkd 48(1930) 1025-1044
173. **Schön,R., Fakler,O., Gellrich,N.C., Schmelzeisen,R.:** Five year experience with the transoral endoscopically assisted treatment of displaced condylar mandible fractures. Plast Reconstr Surg 116(2005) 44-50
174. **Schröder,E.H.:** Orale Strukturbiologie. Thieme, Stuttgart 1987
175. **Schröder,H.:** Lehrbuch der technischen Zahnheilkunde. Band 1. Meusser, Berlin 1935
176. **Schuberth,P.:** Die Gefäßversorgung der Mandibula unter besonderer Berücksichtigung des Capitulum. Diss Med Rostock 1998
177. **Schulze,C.:** Lehrbuch der Kieferorthopädie. Band 3. Quintessenz, Berlin 1993
178. **Schumacher,G.H.:** Der maxillo-mandibuläre Apparat unter dem Einfluß formgestaltender Faktoren. Nova Acta Leopoldina 33. Barth, Leipzig 1968
179. **Schumacher,G.H.:** Morphologie und Funktion des Kiefergelenks. Dtsch Stomatol 22(1972) 561-570
180. **Schumacher,G.H.:** Zur Problematik der Schädelmorphogenese. Dtsch Zahn Mund Kieferheilkd 60(1973) 145-153
181. **Schumacher,G.H.:** Funktionelle Anatomie des orofazialen Systems. Volk und Gesundheit, Berlin 1983

182. **Schumacher, G.H.:** Anatomie für Stomatologen. Band 1. Barth, Leipzig 1984
183. **Scott, J.H.:** The growth of the cranial skeleton. *Ir J Med Sci* 438(1962) 376-392
184. **Semmler, W., Becker, J., Schuster, M., Kramer, K.D., Felix, R.:** Grundlagen der klinischen Anwendung der magnetischen Resonanz-Tomographie (MRT). *Dtsch Z Mund Kiefer Gesichtschir* 10(1986) 31-45
185. **Sicher, H.:** The growth of the mandible. *Am J Orthod* 33(1947) 30
186. **Sieglbauer, F.:** Lehrbuch der normalen Anatomie des Menschen. Urban & Schwarzenberg, Wien und Innsbruck 1963
187. **Sonnenburg, M., Härtel, J.:** Zur Epidemiologie der Gesichtsschädelfrakturen im Zeitraum 1945 bis 1980. *Dtsch Zahn Mund Kieferheilkd* 73(1985) 350-357
188. **Specht, G.:** Biometrisches Wörterbuch. 2. Band. Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin 1968
189. **Spiessl, B., Schroll, K.:** Gelenkfortsatz- und Gelenkköpfchenfrakturen. In: Nigst, H. (Hrsg.): Spezielle Frakturen- und Luxationslehre. Band 1. Thieme, Stuttgart 1972, 142-152
190. **Steinhäuser, E., Levy, A.:** Tiere für Forschungszwecke in der Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde. *Dtsch Zahn Mund Kieferheilkd* 44(1965) 374-384
191. **Steuer, C.:** Wachstum des aufsteigenden Unterkieferastes im Kindesalter. Diss Med Rostock 2003
192. **Straßer, H.:** Lehrbuch der Muskel- und Gelenkmechanik. Band 2. Springer, Berlin 1913
193. **Sullivan, S.M., Banghart, P.R., Anderson, Q.:** Magnetic resonance imaging assessment of acute soft tissue injuries to the temporomandibular joint. *J Oral Maxillofac Surg* 53(1995) 763-766
194. **Teixeira, V.C.B., Teixeira, A.C.B., Luz, J.G.C.:** Skeletal changes after displaced condylar process fracture in the growing period: an experimental study in rats. *J Craniomaxillofac Surg* 34(2006) 220-225
195. **Thorén, H., Iizuka, T., Hallikainen, D., Lindqvist, C.:** Radiologic changes of the temporomandibular joint after condylar fractures in childhood. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol* 86(1998) 738-745
196. **Timmel, R., Hollmann, K.:** Sieben Jahre Erfahrung mit der operativen Behandlung der sogenannten Luxationsfraktur des Unterkiefers. *Fortschr Kiefer Gesichtschir* 25(1980) 79-81
197. **Ulrici, V., Vogel, A., Schumacher, G.H.:** Okklusionsstörungen zur Funktionsirritation des orofazialen Organs am Miniaturschwein: „MINI-LEWE“. *Zahn Mund Kieferheilkd* 72(1984) 311-315

198. **Umstadt,H.E., Ellers,M., Müller,H.H., Austemann,K.H.:** Functional reconstruction of the TM joint in cases of severaly displaced fractures and fracture dislocation. J Craniomaxillofac Surg 28(2000) 97-105
199. **Veras,R.B., Kriwalsky,M.S., Eckert,A.W., Schubert,J, Maurer,P.:** Langzeit-Ergebnisse nach der Behandlung von Knochenbrüchen durch kondylären intraoralen Zugang: eine funktionelle und radiologische Bewertung. J Craniomaxillofac Surg 65(2007) 1470-1476
200. **Vogt,A., Roser,M, Weingart,D.:** Der transparotideale Zugang zur operativen Versorgung von Collumfrakturen. Eine prospektive Studie. Mund Kiefer Gesichtschir 9(2005) 246-250
201. **Voy,E.D., Fuchs,M.:** Anatomische Untersuchungen zur Blutgefäßstruktur im Bereich des Kiefergelenkes. Fortschr Kiefer Gesichtschir 25(1980) 2-5
202. **Walker,R.V.:** Traumatic mandibular condylar fracture dislocation. Effect on growth in the macaca rhesus monkey. Am J Surg 100(1960) 850-863
203. **Wallisch,W.:** Das Kiefergelenk. Arch Anat Physiol 73(1909) 111-116
204. **Wangerin,K., Brahms,U.:** Beeinflusst die Frakturversorgung mit Osteosyntheseplatten das Wachstum des Unterkiefers? Dtsch Zahnärztl Z 45(1990) 789-791
205. **Wassmund,M:** Frakturen und Luxationen des Gesichtsschädels. Meusser, Berlin 1927
206. **Wassmund,M.:** Über Luxationsfrakturen des Kiefergelenkes. Dtsch Kieferchir 1(1934) 27-59
207. **Weaver,L.E., Sorensen,F.M., Jump,E.B.:** The miniature pigs as an experimental animal in dental research. Arch Oral Biol 7(1962) 17-24
208. **Wilhelm,M.:** mündliche Mitteilung. Tierärztliche Hochschule Hannover 2001
209. **Wilson,C.S.:** The temporomandibular joint and its influence on the growth of the mandible. Br Dent J 46(1925) 845-855
210. **Wilson,N.H.F., Gardner,D.L.:** The postnatal development of the human temporomandibular joint of the common marmoset. J Med Primatol 11(1982) 303-311
211. **Wright,D.M., Moffet,B.C.:** The postnatal development of the human temporomandibular joint. Am J Anat 141(1974) 235-250
212. **Youdelis,R.A.:** The morphogenesis of the human temporomandibular joint and its associated structures. J Dent Res 45(1966) 182-191
213. **Zenker,K.:** Das retroartikuläre plastische Polster des Kiefergelenks und seine mechanische Bedeutung. Z Anat Entwicklungsgesch 119(1956) 375-388
214. **Zhang,X., Obeid,G.:** Comparative study of the treatment of unilateral fractured and

dislocated mandibular condyles in the rabbit. J Oral Maxillofac Surg 49(1991) 1181-1190

215. **Zide, M.F.**: Discussion: Outcomes of open versus closed treatment of mandibular subcondylar fractures. J Oral Maxillofac Surg 59(2001) 375-376

## 8. Anhang Asymmetrieindizes

### 8.1. Gruppe 1

Tiere 52327 (Miniplattenosteosynthese) und 52415, 20 Tage postoperatives Intervall

Tabelle 3

	52327	52415
Condylion posterius - Gnathion	0,1	0,4
Punkt hinter dem letzten Molar – Gnathion	0	0,2
Länge der Tangente am Unterkieferkörper	2,81	0,24
Tangente Unterkieferkörper – Condylion superius	1,9	6,6
Tangente Unterkieferkörper - Coronion	1,28	13,6
Tangente Unterkieferkörper – kaudale Incisura mand.	4,6	4,2
Tangente Unterkieferkörper - Corp. mand. vor 1. Molar	3,2	6,5
$\beta$ – Gonionwinkel	3,4	4,1
Mittellinie – Condylion mediale	4,3	2,9
Mittellinie – Condylion laterale	3,52	2,01
Condylion posterius – Gnathion	0,1	0,3
Condylion mediale – Gnathion	0	0,8
Condylion laterale – Gnathion	0	1,5
$\alpha$ – hinterer Öffnungswinkel	4,1	2,9
Condylion laterale - Condylion mediale	1,73	0,64
Condylion anterius - Condylion posterius	0	6,4

## 8.2. Gruppe 2

Tiere 52303 (Miniplattenosteosynthese) und 52343, 42 Tage postoperatives Intervall

Tabelle 4

	52303	52343
Condylion posterius - Gnathion	0,3	1,7
Punkt hinter dem letzten Molar – Gnathion	0,6	3,8
Länge der Tangente am Unterkieferkörper	1,17	0,99
Tangente Unterkieferkörper – Condylion superius	1,3	6,2
Tangente Unterkieferkörper - Coronion	1,83	2,36
Tangente Unterkieferkörper – kaudale Incisura mand.	0,4	4,1
Tangente Unterkieferkörper - Corp. mand. vor 1. Molar	3,63	2
$\beta$ – Gonionwinkel	2,5	2,3
Mittellinie – Condylion mediale	5,9	2,1
Mittellinie – Condylion laterale	6,5	6,53
Condylion posterius – Gnathion	0,2	1,6
Condylion mediale – Gnathion	0,8	0,7
Condylion laterale – Gnathion	0,7	0
$\alpha$ – hinterer Öffnungswinkel	7,2	8,2
Condylion laterale - Condylion mediale	4,75	9,64
Condylion anterius - Condylion posterius	0,7	9

### 8.3. Gruppe 3

Tiere 52302 (Miniplattenosteosynthese) und 52292, 63 Tage postoperatives Intervall

Tabelle 5

	52302	52292
Condylion posterius - Gnathion	0,4	1,3
Punkt hinter dem letzten Molar – Gnathion	2,7	0,8
Länge der Tangente am Unterkieferkörper	0,34	0,22
Tangente Unterkieferkörper – Condylion superius	0,3	0,3
Tangente Unterkieferkörper - Coronion	0,83	0,17
Tangente Unterkieferkörper – kaudale Incisura mand.	0,6	1,2
Tangente Unterkieferkörper - Corp. mand. vor 1. Molar	3,6	0,9
$\beta$ – Gonionwinkel	0,2	1
Mittellinie – Condylion mediale	1,7	6,7
Mittellinie – Condylion laterale	3,09	5,94
Condylion posterius – Gnathion	0,8	1
Condylion mediale – Gnathion	0,5	0
Condylion laterale – Gnathion	0,2	0,3
$\alpha$ – hinterer Öffnungswinkel	3,1	6,8
Condylion laterale - Condylion mediale	2,33	2,76
Condylion anterius - Condylion posterius	0,6	0

#### 8.4. Gruppe 4

Tiere 52275 (Miniplattenosteosynthese) und 52273, 112 und 119 Tage postoperatives

Intervall

Tabelle 6

	52275	52273
Condylion posterius - Gnathion	0,9	1,6
Punkt hinter dem letzten Molar – Gnathion	0,2	3,7
Länge der Tangente am Unterkieferkörper	2,26	4,39
Tangente Unterkieferkörper – Condylion superius	4,3	4,8
Tangente Unterkieferkörper - Coronion	0,33	1,28
Tangente Unterkieferkörper – kaudale Incisura mand.	0,9	4,9
Tangente Unterkieferkörper - Corp. mand. vor 1. Molar	4,3	1,5
$\beta$ – Gonionwinkel	0,7	2,6
Mittellinie – Condylion mediale	19,1	2,2
Mittellinie – Condylion laterale	17,68	6,2
Condylion posterius – Gnathion	0,4	0
Condylion mediale – Gnathion	1	3,4
Condylion laterale – Gnathion	0,5	0,3
$\alpha$ – hinterer Öffnungswinkel	17,9	3,8
Condylion laterale - Condylion mediale	5,03	9,09
Condylion anterius - Condylion posterius	1,2	1,9

### 8.5. Gruppe 5

Tiere 52223 (Miniplattenosteosynthese) und 52222, 245 Tage postoperatives Intervall

Tabelle 7

	52223	52222
Condylion posterius - Gnathion	0,9	3,3
Punkt hinter dem letzten Molar – Gnathion	2,1	1,6
Länge der Tangente am Unterkieferkörper	1,84	4,1
Tangente Unterkieferkörper – Condylion superius	4,4	4,7
Tangente Unterkieferkörper - Coronion	1,83	5,94
Tangente Unterkieferkörper – kaudale Incisura mand.	0,5	6,1
Tangente Unterkieferkörper - Corp. mand. vor 1. Molar	0,7	0,7
$\beta$ – Gonionwinkel	0,1	3,2
Mittellinie – Condylion mediale	1,5	1,1
Mittellinie – Condylion laterale	0,68	3,64
Condylion posterius – Gnathion	1	0,5
Condylion mediale – Gnathion	1,6	1,6
Condylion laterale – Gnathion	0,7	1,2
$\alpha$ – hinterer Öffnungswinkel	0,8	5,1
Condylion laterale - Condylion mediale	0	8,14
Condylion anterius - Condylion posterius	1,2	3,9

## 9. Thesen

### **Thesen**

#### zur Inauguraldissertation

Tierexperimentelle Untersuchungen zum Vergleich verschiedener chirurgischer Vorgehensweisen bei der Therapie von Unterkiefergelenkfortsatzfrakturen vorgelegt von Gunnar Millow

1. Bei Erwachsenen und Kindern, die älter als 10 Jahre alt sind, ist bei Frakturen des Unterkiefergelenkfortsatzes das operative Vorgehen mit einer funktionsstabilen Osteosynthese, gegenüber der konservativen Therapie vorzuziehen. Dabei beeinträchtigt das chirurgische Vorgehen das Wachstum des Unterkiefers nicht.
2. Bei heranwachsenden, speziell bei Kindern unter 8 Jahren besteht eine ausgeprägte Fähigkeit zum remodelling des Unterkiefergelenkfortsatzes
3. Die Asymmetrien bei mittels Miniplattenosteosynthese versorgten Gelenkfortsatzfrakturen waren im Vergleich zu unversorgten Frakturen etwas weniger ausgeprägt, aber ähnlich gering.
4. Es waren keine Wachstumsstörungen nachweisbar.
5. Die gering gradigen Asymmetrien zeigen, dass die funktionelle Adaptilität des Unterkiefers schädigende Einflüsse auf das Wachstum kompensiert.
6. Im Unterkiefergelenkfortsatz befindet sich nicht das alleinige, sondern eines von vielen Wachstumszentren.
7. Die Indikation zur operativen Therapie unterliegt immer patientenabhängigen Kriterien
8. Die Aussagekraft tierexperimenteller Untersuchungen ist beschränkt, da sich Versuchsbedingungen und klinische Situation voneinander unterscheiden

9. Das Minischwein ist aufgrund seiner mit dem Menschen vergleichbaren Anatomie, der ähnlich ablaufenden 2. Dentition sowie seiner omnivoren Ernährungsweise als Versuchstier für die Mund- Kiefer- und Gesichtschirurgie, insbesondere bei Jugendlichen, sehr gut geeignet

## 10. Selbständigkeitserklärung

### **Eidesstattliche Erklärung**

Hiermit erkläre ich an Eides statt, dass die vorliegende Arbeit selbständig und nur unter Verwendung der angeführten Hilfsmittel angefertigt wurde.

Die Dissertation ist bisher keiner anderen Fakultät vorgelegt worden.

Ich erkläre, dass ich bisher kein Promotionsverfahren erfolglos beendet habe, und dass eine Anerkennung eines bereits erworbenen Doktorgrades nicht vorliegt.

Augsburg, den 22.06.2008

Gunnar Millow

## 11. Danksagung

### **Danksagung**

Herrn Professor Dr. Dr.Dr. K.K.H. Gundlach, Direktor der Klinik für Mund-, Kiefer- und Plastische Gesichtschirurgie der Medizinischen Fakultät der Universität Rostock, danke ich für die Überlassung des Themas. Ich bedanke mich außerdem für die Unterstützung bei der Fertigstellung dieser Arbeit, viele nützliche Hinweise, praktische Ratschläge sowie für die mit mir bewiesene Geduld.

Mein Dank gilt ebenfalls Frau Marquardt, Mitarbeiterin in der röntgenologischen Abteilung der Zahnklinik der Universität Rostock, für die freundliche und kompetente Hilfe bei der Anfertigung der Röntgenbilder.

Bedanken möchte ich mich außerdem bei Herrn Bauer, Mitarbeiter im Institut für Medizinische Informatik und Biometrie, für die Unterstützung bei der Auswertung der Daten.