Aus der Anatomischen Anstalt
der Ludwig-Maximilians-Universität München
Vorstand: Prof. Dr. med. Dr. h.c. R. Putz

Eine CT-OAM gestützte Untersuchung der Mineralisierungsmuster und des Kalziumgehaltes der subchondralen Schicht beim menschlichen Kiefergelenk

Dissertation
zum Erwerb des Doktorgrades der Zahnheilkunde
an der Medizinischen Fakultät der
Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von
Eva Schweiger
aus Landshut
2007

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Berichterstatter:	Prof. Dr. med. M. Müller-Gerbl
Mitberichterstatter:	Prof. Dr. R. Hickel
Dekan:	Prof. Dr. med. D. Reinhardt
Tag der mündlichen Prüfung:	13.12.2007

Meiner Familie

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung 7
1.1 Allgemeine Einleitung 7
1.2 Spezielle Einleitung 9
1.2.1 Aufbau des Kiefergelenks 9
1.2.1.1 Knöcherne Strukturen 9
1.2.1.2 Diskus 13
1.2.1.3 Bandapparat 14
1.2.1.4 Muskulatur 14
1.2.1.5 Innervation des Kiefergelenks 15
1.2.2 Mechanik des Kiefergelenks 17
1.2.2.1 Kinematik 17
1.2.2.2 Statik 21
1.2.3 Subchondraler Knochen 27
1.3 Fragestellung 31
2 Material und Methode 32
2.1 Material 32
2.2 Methode 34
2.2.1 Röntgendiagnostik 34
2.2.2 Computertomographie 34
2.2.3 CT-OAM und Densitogramme 35
2.2.4 Auswertung der Densitogramme 37
3 Ergebnisse 39
3.1 Zahnstatus 39
3.2 Altersverteilung 41
3.3 Mineralisierungsmuster 41
3.3.1 Dichteverteilung bei den Kieferköpfchen 41
3.3.2 Dichteverteilung bei den Fossae mandibulares 47
3.4 Vergleichende Ergebnisse 51
3.4.1 Korrespondierende Gelenkflächen 51
3.4.2 Mineralisierungsstatus 51
4 Diskussion 57
4.1 Diskussion des Materials 57
4.2 Diskussion der Methode 57
4.3 Diskussion der Ergebnisse 59

5 Zusammenfassung 66
6 Anhang 69
7 Literaturverzeichnis 74
8 Danksagung 79
9 Lebenslauf 80

1 Einleitung

1.1 Allgemeine Einleitung

Das Kiefergelenk wird als stark belastetes Gelenk im menschlichen Körper angesehen. Relativ häufig treten am Kiefergelenk degenerative Erkrankungen auf. Diese reichen von Hypermobilitätsstörungen und Arthrosen über Ankylosen bis zu Osteosarkomen am Kiefergelenk. Die chirurgischen Therapiemöglichkeiten sind sehr ausgedehnt, so ist heute neben Verriegelungsoperation, Auflagerungsosteoplastik oder modellierender Ostektomie sogar eine Kiefergelenkstransplantation möglich (Spectator Dentistry).
Eingriffe am Kiefergelenk werden immer häufiger vorgenommen, daher ist es wichtig, Grundlagen zu erweitern, um Therapien noch effektiver zu machen oder neue Methoden zu entwickeln. Insbesondere die Methode der Ausformung von Fossa mandibularis und Kondylus bei einer chirurgischen Rekonstruktion und die Herstellung von mechanisch funktionellen Interponaten soll durch wissenschaftliche Untersuchungen verbessert werden.

Um die Gelenkmechanik zu analysieren, sind das Ausmaß der physiologischen Beanspruchung der Gelenkflächen und die Beanspruchungsverteilung innerhalb der einzelnen Gelenkflächen entscheidende Aspekte.
Klesper (1989) untersucht mithilfe der Densitometrie Kiefergelenksblöcke und kommt zu einer detaillierten Aussage über die Beanspruchungsverteilung. Jedoch muss er sich mit der Densitometrie-Methode auf bestimmte Messpunkte beschränken.
Mit der von Müller-Gerbl entwickelten CT-OAM Methode (Computertomogramm gestützte Osteoabsorptiometrie) kann die Beurteilung der Dichteverteilung im Kiefergelenk (morphologisches Korrelat der Langzeitbeanspruchung von Gelenkflächen) im Vergleich zur Densitometrie deutlich verbessert werden. Durch variable Pixeleinstellungen und Schnittdicken, sowie einer 3-dimensionalen Betrachtungsweise der Präparate wird eine genauere Auswertung der Kiefergelenksabschnitte in verschiedenen Perspektiven möglich gemacht. Die Schnittdicke kann im Vergleich zur Densitometrie virtuell am Computer festgelegt werden und es können wesentlich dünnere Schnitte erreicht werden, was zu genaueren Ergebnissen führt. Ein weiterer Vorteil der CT-OAM ist, dass Untersuchungen auch in vivo möglich sind. Dies macht Vergleiche zwischen in vivo und in vitro Untersuchungen möglich.

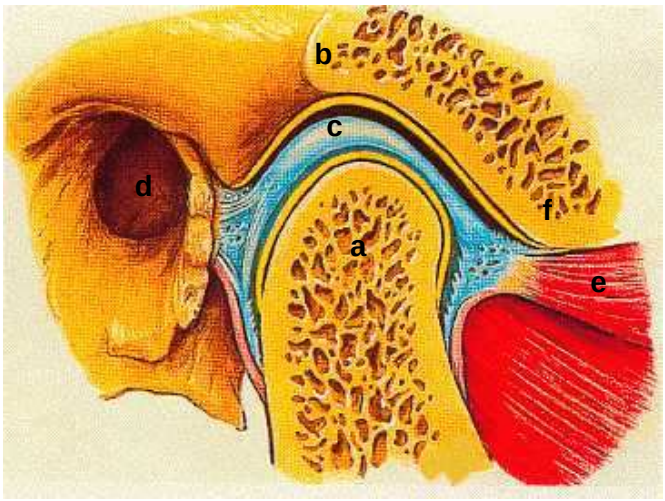
In dieser Arbeit soll die Beanspruchung des menschlichen Kiefergelenks, mit Hilfe der CT-OAM Methode zur Darstellung der subchondralen Mineralisierungsmuster, analysiert werden. Mit den daraus gewonnenen Ergebnissen und der Analyse der Mechanik des Kiefergelenks soll ein Ansatz für die Verbesserung von Implantaten oder Endoprothesen geschaffen werden.

1.2 Spezielle Einleitung

1.2.1 Aufbau des Kiefergelenks

1.2.1.1 Knöcherne Strukturen

Das menschliche Kiefergelenk setzt sich aus der Fossa mandibularis (Kieferpfanne), dem Diskus (Zwischengelenkscheibe) und dem Kondylus (Kieferköpfchen) zusammen. Dorsal wird es vom knöchernen Gehörgang begrenzt, anterior liegt das Tuberculum articulare.



a Kondylus
b Fossa mandibularis
c Discus
d knöcherner Gehörgang
e M. Pterygoideus lateralis
f Tuberculum articulare

Abbildung 1: Darstellung des Kiefergelenks mit wichtigen Strukturen (kfo-online, 2005)

Der vordere Anteil der Mandibula besteht aus dem Corpus mandibulae und dem Processus alveolaris. Der Korpus trägt den Processus alveolaris, in welchem auch die Zähne des Menschen verankert sind. Anteriore Teile der Mandibula sind Angulus, Ramus, sowie die beiden Processus articularis und coronoideus. Der Ramus mandibulae steigt am Angulus mandibulae auf und teilt sich dann in den Muskelfortsatz (Processus coronoideus) und den Gelenkfortsatz (Processus articularis).

Form der Fossa mandibularis (FM):

Die Fossa mandibularis ist Teil des Os temporale (Schläfenbein), welches sich in pars petrosa, pars tympanica und pars squamosa aufteilt. Die Fossa befindet sich in letzterer.
Der vordere Anteil der Fossa mandibularis reicht bis zur Fissura petrotympanica (Glasersche Spalte) und bildet die Facies articularis. Der hintere Anteil liegt extrakapsulär und wird am Rande der Fissur von der Chorda tympani begleitet.
Die Facies articularis greift nach vorne auf das Tuberculum articulare über. An die Hinterfläche des Tuberculums lagern sich bei Ruhelage der Unterkieferkopf mit dem dazwischen liegenden Diskus an. Das Tuberculum articulare ist in Querrichtung konkav, in Sagittalrichtung konvex gebogen (Frick, Leonhardt, 1992).
Die Ausdehnung der Fossa mandibularis ist nicht nur von Individuum zu Individuum verschieden, sondern kann auch im rechts-links Vergleich unterschiedlich sein (Benner, 1993). Auch die Größe des Kondylus im Vergleich zur Fläche der Fossa variiert von Gelenk zu Gelenk. Des Weiteren ist auch das Relief der Fossa mandibularis im rechts-links Vergleich und interindividuell verschieden (Benner, 1993). So gibt es zahlreiche Formen mit unterschiedlicher Ausprägung des Tuberculum articulare und des Processus articularis posterior.

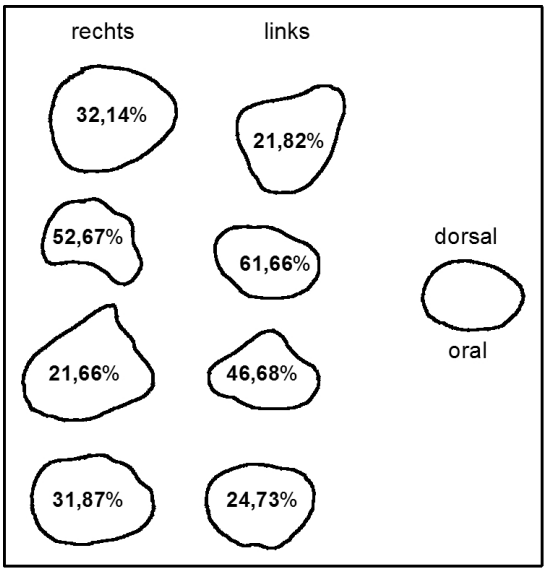


Abbildung 2: Nachzeichnungen ausgewählter Flächen der Fossa mandibularis im Rechts-Links-Vergleich. Die eingetragenen Prozentsätze entsprechen dem Anteil der Kondylusfläche an der Fossafläche (Benner, 1993).

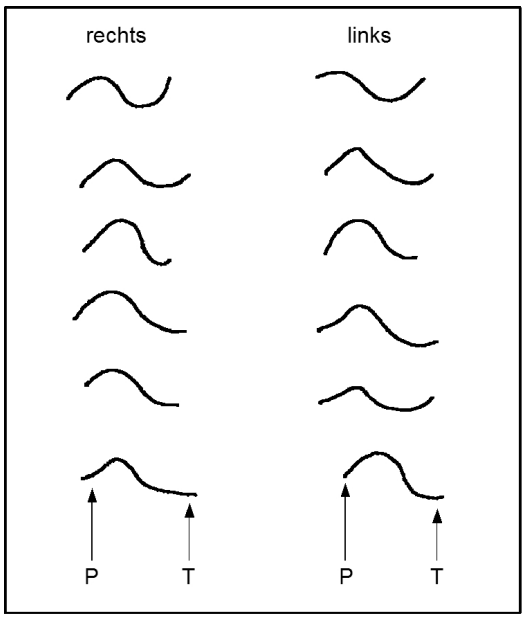


Abbildung 3: Schematische Darstellung des Reliefs der Fossa mandibularis des Menschen in der Sagittalebene im Rechts-Links-Vergleich. P-Processus articularis posterior, T-Tuberculum articulare (Benner, 1993).

Form des Kieferköpfchens (KK):

Das Caput madibulae ist Teil der Mandibula. Die Mandibula teilt sich auf in Ramus mandibulae und Corpus mandibulae. Der Ramus mandibulae bildet Muskelapophysen in Form des Processus coronoideus und des Processus condylaris. Der Kopf des Processus condylaris wird als Caput mandibulae bezeichnet.
Das Caput mandibulae ist walzenförmig und nach medial ausgedehnt. Verbindet man die Achsen beider Gelenkköpfe so schneiden sich diese am Vorderrand des Foramen magnum und bilden einen Winkel von 110-178° (Frick, Leonhardt, 1992).

Reyer (1991) untersucht Kiefergelenke nach deren Form und Formveränderung. Nach makroskopischer Betrachtung kommt er zu einer ersten Einteilung der Kieferköpfchen in eine runde und eine flache Form.

Reyer kommt zu folgenden Ergebnissen:

1. Mit zunehmendem Alter steigt der Prozentanteil der flachen Kondylusformen an.
2. Die Abflachung betrifft mehr die anteriore als die posteriore Hemisphäre, jedoch lässt sich kein Unterschied zwischen lateraler und medialer Hemisphäre darstellen.
3. In über 50% der Präparate zeigten das linke und rechte Kiefergelenk das gleiche Arthrosestadium, in über 95% nur eine Abweichung von maximal einem Stadium.
4. 38,8% weisen deutliche Arthrosen auf.
5. Die Lokalisation der Arthrosen zeigt ein deutliches Maximum am lateralen Kondylusbereich.
6. Die Anzahl der arthrotischen Läsionen lag am Kondylus etwa gleich hoch wie an den temporalen Gelenkanteilen.
7. Die Prädilektionsstelle in anteroposteriorer Richtung liegt am Kondylus im Zenit und in der Fossa glenoidalis zwischen Wendepunkt und dem tiefsten Punkt der Eminentia articularis.

Lotz (1981) teilt die Kieferköpfchen in 4 Formentypen ein. Form A1 beschreibt eine runde oder leicht konvexe Ausdehnung, A2 eine ebene oder nahezu ebene Form, A3 eine umgekehrte v-Form und unter der Gruppe A4 fasst Lotz sonstige Formen zusammen.

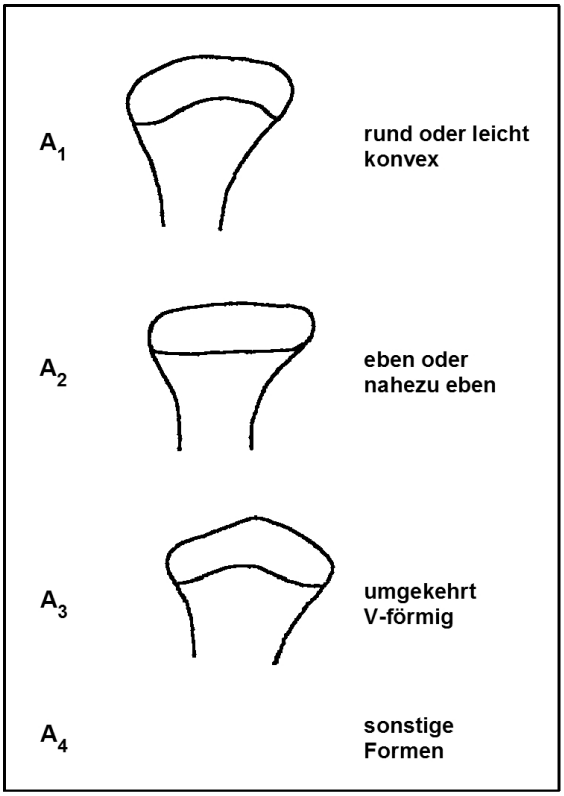


Abbildung 4: Transversale Kondylus-Formtypen A1 bis A4 nach Lotz (1981)

1.2.1.2 Diskus

Der Diskus articularis ist die Zwischengelenkscheibe des Kiefergelenks und liegt zwischen den Gelenkflächen der Fossa mandibularis und dem Kieferköpfchen. Er teilt das Kiefergelenk in eine Cavitas articularis superior et inferior. Die Form des Diskus articularis passt sich den knöchernen Gelenkkörpern an. So ist er sowohl in der Sagittalebene als auch in der Frontalebene gekrümmt und ähnelt in seiner Form einer Baseballkappe. Durch diese Form gleicht er die Inkongruenz der artikulierenden Knochenteile aus.
Der Diskus articularis ist unterschiedlich dick. Nach Hansson et al. (1977) ist der Diskus im Zentrum 1,1 mm dick, am ventralen Rand ca. 2,0 mm und am dorsalen Rand ca. 2,8 mm.
Der Diskus articularis kann in vier Abschnitte eingeteilt werden. Zum einen in ein vorderes Band, welches aus Faserknorpel besteht und ein intermediäres Band, aus straffem Bindegewebe. Des weiteren in ein hinteres Band, welches wieder aus Faserknorpel aufgebaut ist und schließlich in die bilaminäre Zone, welche aus elastischen Fasern besteht. Die bilaminäre Zone besteht aus einem Stratum superius und einem Stratum inferius (Schröder, 1987).
Der Diskus artikularis wird von zahlreichen Blutgefäßen durchsetzt. Zum einen dichtes venöses Flechtwerk, zum anderen Sperrarterien. Man spricht in diesem Zusammenhang auch von einem retroartikulären plastischen Polster des Kiefergelenks (Benninghoff, 2003). Die synoviale Flüssigkeit stellt die Nährstoffversorgung des Diskus und der knorpeligen Strukturen des Kiefergelenks sicher und fungiert als Gleit- und Schmiermittel. Sie besteht aus Plasma, welches mit einem Polysacharid-Protein Komplex angereichert ist.

Der M. pterygoideus lateralis strahlt von vorne am Diskus artikulare ein. Medial ist der Diskus mit der Oberseite des Muskels verbunden. M. masseter und M. temporalis erreichen mittlere und obere Abschnitte des Diskus.

Abbildung 5: histologischer Schnitt durch das Kiefergelenk, D Diskus (Kummer, 2005)

1.2.1.3 Bandapparat

Das Kiefergelenk ist umgeben von einer Gelenkkapsel und durch drei Bänder stabilisiert. Diese sind vor allem das lateral anterior liegende Ligamentum laterale temporomandibulare, sowie das Ligamentum sphenomandibulare und das Ligamentum stylomandibulare. Diese Bänder lassen dem Kiefergelenk einen gewissen Spielraum, geben ihm jedoch auch Führung bei der Mundöffnung.
Das Lig. laterale ist das kräftigste Band und verhindert Verschiebungen des Kondylus in Richtung Porus accusticus externus. Es verläuft vom Proc. zygomaticus zum Collum mandibulae.
Das Lig. sphenomandibulare zieht von der Spina ossis sphenoidalis zur Lingula mandibulae.
Das Lig. stylomandibulare stellt die Verbindung zwischen Proc. styloideus und Angulus mandibulae dar.
Lig. sphenomandibulare und stylomandibulare liegen außerhalb der Gelenkkapsel.
Die Faserzüge nahe der medialen Kapselwand werden auch als Lig. mediale bezeichnet.

1.2.1.4 Muskulatur

Um Kaubewegungen auszuführen sind vor allem die Kaumuskeln ausschlaggebend. Man unterscheidet zwischen Mundöffner und Mundschließer sowie zwischen Retrusion (Rückschub des Unterkiefers) und Protrusion (Vorschub des Unterkiefers). Die großen Kaumuskeln M. temporalis, M. masseter, M. pterygoideus medialis und M. pterygoideus lateralis werden vom dritten Trigeminusast, dem N. mandibularis innerviert. Die ersten beiden Muskeln sind äußere Kaumuskeln, wohingegen letztere innere Kaumuskeln sind.

Der Musculus temporalis ist ein Mundschließer und Retrusor. Sein Ursprung liegt breitflächig in der Schläfengrube und sein Ansatz ist am Processus coronoideus. Der Musculus temporalis verläuft unter dem Jochbogen hinweg und wird auch als der „Zubeißmuskel“ bezeichnet. Er wird durch die Nn. temporales profundi aus dem N. mandibularis innerviert.

Der Musculus masseter ist ebenfalls ein Mundschließer, jedoch führt er Protrusionsbewegungen aus. Er entspringt am Jochbogen und setzt am Unterkieferwinkel

an. Zusammen mit dem M. pterygoideus medialis bildet er eine Muskelschlinge um den Angulus mandibularis. Der M. masseter wird vom N. massetericus aus dem N. mandibularis innerviert.
Der Musculus pterygoideus medialis ist wie der M. masseter ein Mundschließer und Protrusor. Er entspringt an der Innenseite der Lamina lateralis und setzt wie der M. masseter am Kieferwinkel an, hier jedoch an der Innenseite. Der Musculus pterygoideus medialis wird durch den N. pterygoideus medialis aus dem N. mandibularis innerviert.

Der Musculus pterygoideus lateralis ist ein zweiköpfiger Muskel welcher den Mund öffnet und den Unterkiefer protrudiert. Der Muskel gliedert sich in ein Caput inferius und Caput superius. Das Caput superius teilt sich wiederum in zwei Anteile auf, einen kranialen und einen kaudalen Abschnitt (Dreger, 1994). Der obere Kopf entspringt an der Unterseite des Keilbeinflügels und setzt am Diskus articularis (antero-medialer Bereich) und an der Gelenkkapsel an. Der untere Kopf kommt vom Proc. Pterygoideus des Keilbeins und findet am Proc. condylaris seinen Ansatz. Die Innervation erfolgt durch den N. pterygoideus lateralis aus dem N. mandibularis.

Mundschließer

Retrusion	M. temporalis	M. masseter M. pteryg. med.	**Protrusion**
	suprahyale Muskulatur	M. pteryg. lat.	

Mundöffner

Tabelle 1: Kaumuskulatur und Unterkieferbewegungen (Lehmann, 1998)

Die suprahyale Muskulatur öffnet den Mund und retrudiert den Unterkiefer. Diese sog. akzessorischen Kaumuskeln sind der M. mylohyoideus, M. geniohyoideus, M. digastricus und M. stylohyoideus. Ihr gemeinsamer Ansatz ist am Zungenbein.

1.2.1.5 Innervation des Kiefergelenks

Die Kapsel des Kiefergelenks wird durch zahlreiche Äste des N. mandibulare innerviert. Dies sind der N. auriculotemporalis, N. massetericus und N. temporalis profundus posterior (Benner, 1993).

Der N. auriculotemporalis gibt 4 Nervenäste an die Kapsel des Kiefergelenks ab. 2 Äste gelangen von medial an die Kapsel, 1 Ast von dorsal und 1 Ast von lateral.

Der N. temporalis profundus posterior gibt einen Nervenast von anteromedial in die Gelenkkapsel zwischen Diskus und fibröser Kapselschicht.

Der N. massetericus versorgt das Kiefergelenk mit 4 Nervenästen, wobei 2 Äste anterolateral und 2 Äste lateromedial zur Kapsel ziehen.

Das Ganglion oticum versorgt das Kiefergelenk mit vegetativen Fasern zur Steuerung der Gelenkdurchblutung und Produktion der Gelenkflüssigkeit. Es gibt einen Ast ab, welcher von medial in den Kapselbereich zieht.

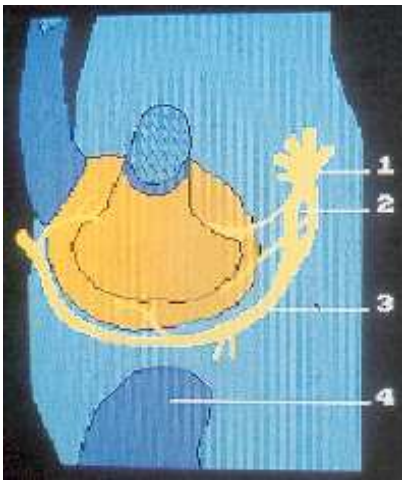


Abbildung 6: Darstellung der 4 Äste des N. auriculotemporalis.
1 Foramen ovale,
2 Foramen spinosum,
3 N. auriculotemporalis,
4 Proc. Mastoideus
(Benner, 1993)

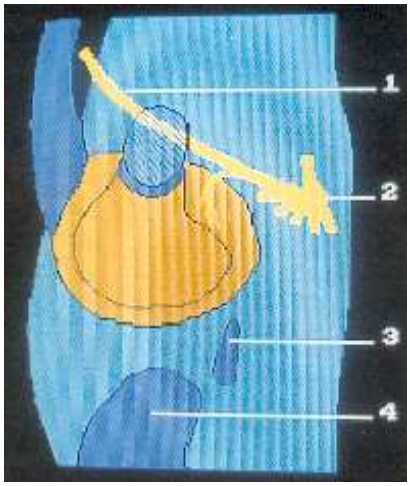


Abbildung 7: Darstellung des Ramus articularis aus dem N. temporalis profundus posterior,
1 N. temporalis profundus posterior,
2 Foramen ovale,
3 Proc. styloideus,
4 Proc. mastoideus
(Benner, 1993)

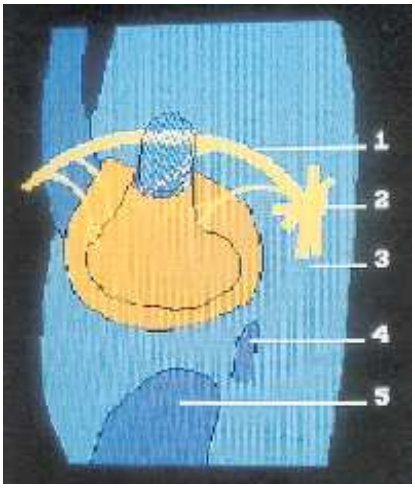


Abbildung 8: Darstellung der 4 Äste des N. massetericus.
1 N. massetericus,
2 Foramen ovale,
3 Foramen spinosum,
4 Proc. styloideus,
5 Proc. mastoideus
(Benner, 1993)

In der Kapsel des Kiefergelenks sind unterschiedliche Mechanorezeptoren anzutreffen, welche sich in charkteristischer Weise um das Kiefergelenk verteilen und sich funktionell unterschiedlich verhalten. Man unterscheidet Ruffini-Endungen, Pacini-Korpuskel, Golgi-Sehnenorgane und myelinisierte und unmyelinisierte, freie Nervenendigungen. Anterior, lateral und dorsal sind freie Nervenendigungen zu finden dorsal dazu viele Ruffini- und Pacini-Endorgane. Golgi-Sehnenorgane sind nur lateral anzutreffen.

Abbildung 9: Schematische Darstellung der rechten Schädelbasishälfte von kaudal mit Verteilung der verschiedenen Mechanorezeptortypen in Nähe des Kiefergelenks (Benner, 1993)

Ruffini-Endungen treten als statische und dynamische Rezeptoren in Erscheinung. Ihre Entladungsfrequenz ist abhängig von der Spannung der Gelenkkapsel. Sie registrieren die Stellung des Kiefergelenks, den intraartikulären Druck und Richtung, Ausmaß und Geschwindigkeit der Gelenkbewegungen (Benner, 1993). Des Weiteren steuern die Ruffini-Endungen reflektorisch die Kaumuskeltätigkeit.

Die Pacini-Korpuskeln entladen sich nur kurz zu Beginn einer Spannungsänderung in der Gelenkkapsel. Sie werden daher als rein dynamische Rezeptoren bezeichnet, welche nur Beschleunigungen oder Verzögerungen der Kieferbewegungen wahrnehmen.

Die Golgi-Sehnenorgane registrieren maximale Spannungszustände, wie bevorstehende Distraktionen. Reflektorisch wird durch sie die Kaumuskulatur entspannt, die Kondylen können seitwärts gleiten und eine Distraktion der Gelenke wird umgangen.

Die freien Nervenendigungen werden bei starker mechanischer Belastung stimuliert. Sie bilden eine Barriere innerhalb welcher sichere Bewegungen stattfinden können.

1.2.2 Mechanik des Kiefergelenks

1.2.2.1 Kinematik

Ist die Kaumuskulatur entspannt und auch die mimischen Muskeln und die Nackenmuskeln nicht angespannt, so nimmt der Unterkiefer eine Ruhe-Schwebe-Lage ein. Die physiologische Ruheschwebelage, gemessen an der Schneidekantendistanz der Incisivi, beträgt ca. 2-4 mm und wird bei aufrechter Körperhaltung gemessen.

Das Kiefergelenk nimmt eine Sonderstellung unter den übrigen Gelenken des Körpers ein, da es ein Doppel-Doppelgelenk ist. Jeweils die gegenüberliegende Gelenkseite ist von der anderen in seinen Bewegungen abhängig. Keine Bewegung kann ohne Mitwirken der

anderen Seite stattfinden. Des Weiteren teilt der Diskus das Kiefergelenk in zwei Gelenkanteile. Man spricht von einem kranial liegenden diskotemporalen Abschnitt und einem kaudal liegenden diskomandibularen Abschnitt.

Das Kiefergelenk ist in der Lage Bewegungen in drei Ebenen auszuführen. Man unterscheidet drei Bewegungsformen.

1. Scharnierbewegung
2. Schlittenbewegung
3. Mahlbewegung (Rotation)

Man spricht von einem **Dreh-Gleit-Gelenk**.
Die Scharnierbewegung bzw. Drehbewegung findet hauptsächlich bei der initialen Mundöffnung statt. Der Kondylus rotiert um die eigene Achse.
Bei weiterer Mundöffnung findet eine Schlittenbewegung bzw. Gleitbewegung statt. Hierbei gleitet der Diskus entlang des Tuberculum articulare nach ventral und kaudal.
Mahlbewegungen werden vor allem beim Essen ausgeführt. Hier arbeiten beide Gelenke in unterschiedlicher Weise zusammen. Man spricht von einer Arbeitsseite und einer Balanceseite. Bewegt man den Unterkiefer nach rechts so liegt die Balanceseite links und die Arbeitsseite rechts. Bei Unterkieferbewegungen nach links ist dies umgekehrt.

Eine physiologische Lage des Kiefergelenks ist vorhanden, wenn der Kondylus im Zenit der Fossa liegt. Unphysiologische Lagen sind Kompression, Anterior-, Posteriorverlagerung und Distraktion.
Die Grenzstellungen des Kiefergelenks sind maximale Mundöffnung, maximaler Vorschub oder Dorsalschub. Diese Grenzstellungen werden von den Schneidekanten der Oberkiefer Incisivi zu den Unterkiefer Incisivi gemessen. Die maximale Mundöffnung liegt durchschnittlich bei 4cm, ein Vorschub von 9-10mm und Dorsalschub von 0,5-1,5mm sind durchschnittlich möglich.
Eine Mundöffnung ist auch aus der retrudierten Kontaktposition möglich. Dann wird die ersten 2cm der Mundöffnung eine reine Rotation ausgeführt, welche dann wieder in eine Dreh-Gleit-Bewegung übergeht.

Der Unterkiefer kann in verschiedenen Richtungen bewegt werden. Eine weitere mögliche Einteilung von Unterkieferbewegung unterscheidet 6 Bewegungsformen:

1. Senken des Unterkiefers (Öffnung des Mundes): Abduktion
2. Heben des Unterkiefers (Schließen des Mundes): Adduktion
3. Translation nach vorn (Vorschieben des Unterkiefers): Protrusion
4. Translation nach hinten (Zurückschieben des Unterkiefers): Retrusion
5. Außenrotation eines Kondylus (ipsilaterale Mahlbewegungen nach außen): Laterotrusion
6. Translation des kontralateralen Kondylus nach vorne innen (kontralaterale Bewegung nach innen): Mediotrusion

Der Diskus articularis ist nach anterior mit dem Musculus pterygoideus lateralis verbunden. Er fungiert als Gelenkpfanne und bestimmt durch seine Stellung innerhalb der Kapsel die Bewegung des Kiefers.
Die walzenförmigen Kondylen stehen nicht gerade sondern haben eine medial-posteriore Ausrichtung wodurch sich bei Verlängerung dieser Achsen ein Winkel von 160° direkt vor dem Foramen magnum bildet.
Die Lage der Kondylen in der Fossa wird maßgeblich von der Okklusion der Zähne beeinflusst. Ist die Gebisssituation unzureichend so nehmen meist auch die Kondylen eine unphysiologische Lage ein. Man unterscheidet beim Kiefergelenk zwischen Artikulationsbewegungen und freien Unterkieferbewegungen. Artikulationsbewegungen finden unter Zahnkontakt statt, wohingegen freie Unterkieferbewegungen ohne Zahnkontakt stattfinden. Weiterhin unterscheidet man zwischen symmetrischen und asymmetrischen Bewegungen. Symmetrische Bewegungen sind Mundöffnung und Mundschluss, asymmetrische Bewegungen sind Mahlbewegungen beim Kauen.

Bei Mundöffnung rotieren Kondylus und Diskus nach anterior, wobei sich der Kondylus weiter nach vorne bewegt. Hierbei ist der Musculus pterygoideus lateralis maßgeblich beteiligt. Er zieht nicht nur den Diskus bei Mundöffnung nach anterior, sondern auch das Kieferköpfchen. Das Ligamentum laterale hat hierbei Führungsfunktion. Der Diskus gleitet auf die Dorsalseite des Gelenkkopfes zurück. Beim Schließen des Mundes gleiten Kondylen und Gelenkscheiben nach hinten, wobei der Diskus dies langsamer ausführt als der Kondylus. Bei Mundöffnung und Mundschluss ist also der Kondylus schneller bzw. der

Diskus langsamer in der Ausführung seiner Bewegung.

Fuss (1990) bestimmt den Ansatzpunkt A des Ligamentum laterale am Kieferköpfchen und beschreibt bei Mundöffnung einen Kreisbogen um den Punkt Ca, welcher sich am Abhang des Tuberculum articulare befindet und den Ursprung des Ligamentum laterale darstellt (Fuss, 1990). In einer weiteren Kreisbahn, welche parallel zur oben genannten verläuft, dreht sich der Mittelpunkt des Kieferköpfchens mit einem Radius r um den Punkt Ca. Ein Punkt B wird am Kieferwinkel bestimmt. Die Strecke AB wird a genannt und erstreckt sich über die Länge des Ligamentum laterale. Fuss bestimmt einen Punkt Ce in der Nähe des Kieferwinkels und nennt die Strecke Ce-Ca c. Er spricht von einem Gelenkviereck, bei welchem sich bei Öffnungsbewegungen die Unterkieferfront nach kaudal und anterior bewegt.

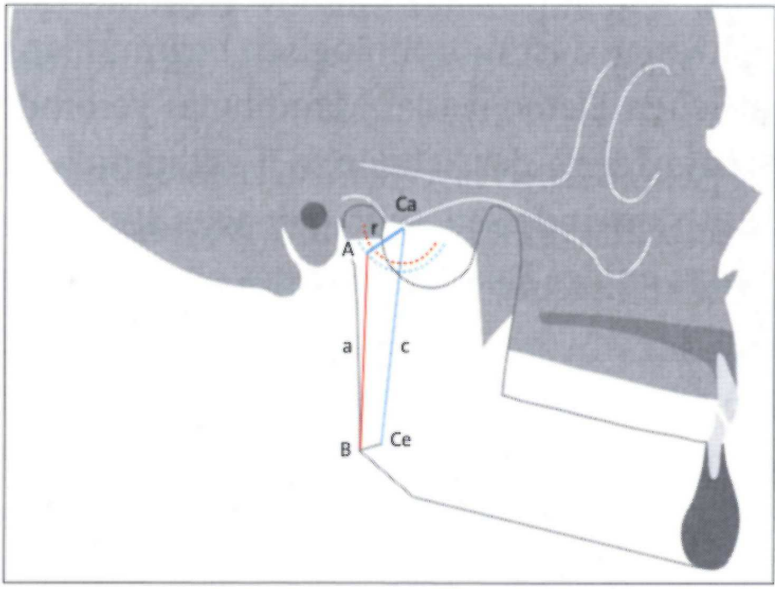


Abbildung 10: Mechanik der Mundöffnung nach Fuss (1990), geschlossener Mund (Kummer, 2005)

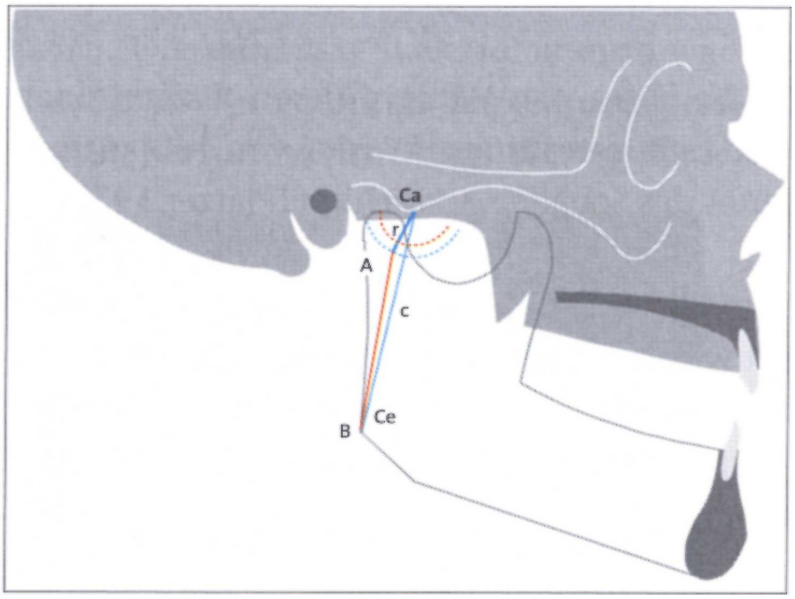


Abbildung 11: Mechanik der Mundöffnung nach Fuss (1990), geöffneter Mund (Kummer, 2005)

Bei Mundöffnung stellt die rot punktierte Kreisbahn den Weg des Mittelpunktes des Mandibularköpfchens dar. A, als Ansatzpunkt des Ligamentum laterale bewegt sich auf der blau punktierten Kreisbahn. B stellt einen Punkt am Angulus mandibulae dar. Der Punkt Ce liegt jetzt auf der Geraden Ca-B.

Kubein-Meesenburg und Nägerl (1990) verbinden den Mittelpunkt des Mandibularköpfchens K mit der Spitze des Unterkieferfrontzahnes F und nennen die sich daraus ergebende Strecke d (Kubein-Meesenburg et al., 1990). Das Bewegungszentrum des Mandibularköpfchens Ck wird mit dem angenommenen Zentrum für die Bewegung des Inzisivus der Mandibula Cf verbunden. Daraus ergibt sich die Strecke Ck-Cf, welche als b bezeichnet wird. In diesem Modell wird veranschaulicht wie die Inzisalkante der Unterkieferzähne an der Palatinalfläche der Oberkieferfrontzähne entlanggleitet. Man nennt dies Frontzahnführung.

Das Modell Kubein-Meesenburg trifft vor allem für initiale Mundöffnugsbewegungen zu, wohingegen das Modell Fuss im weiteren Verlauf der Mundöffnung Geltung hat. Daher kann man sagen, dass sich die Modelle nicht gegenseitig ausschließen.

1.2.2.2 Statik

Molitor (1969) stellt die Beanspruchung des Kiefergelenks in einem Waage-Modell dar. Hierbei wird nur der kräftige Musculus temporalis unter den Muskeln berücksichtigt. M ist die Muskelkraft, A die Auflagekraft am Kiefergelenk und P die Aufbisskraft. hA beschreibt den Hebelarm der Kraft A und hP den Hebelarm der Kraft P. Im Model ist die ausgeübte Kraft kleiner als der Druck im Kiefergelenk, was sich jedoch in vivo etwas anders verhält.

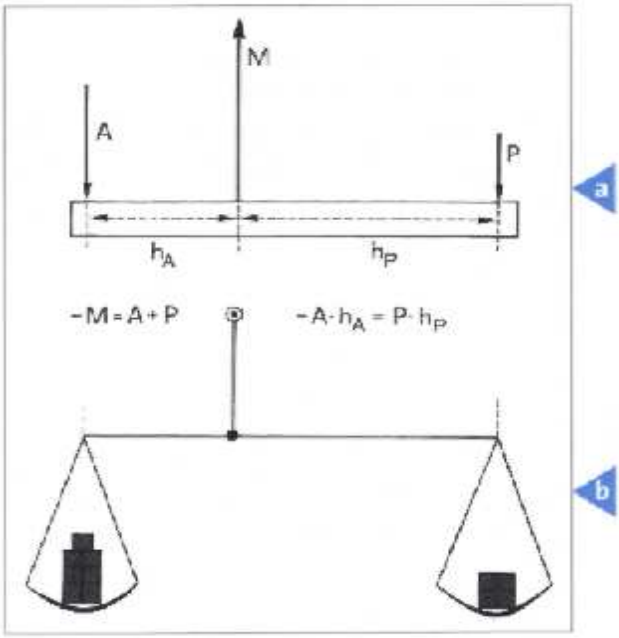


Abbildung 12: Betrachtung des Unterkiefers als 2-armigen Hebel, nach Molitor (1969)
a) Balkenmodell b) Waage (Kummer, 2005)

Die Richtung der Kraft, welche auf das Kiefergelenk wirkt, wird beeinflusst von der Richtung des Beißdruckes, was hauptsächlich von der Okklusion abhängt. D.h. die Richtung der Kiefergelenksresultierenden hängt von der Lage des Aufbisspunktes ab. D beschreibt den Aufbissdruck, G die Gelenkresultierende und M die Muskelkraft.

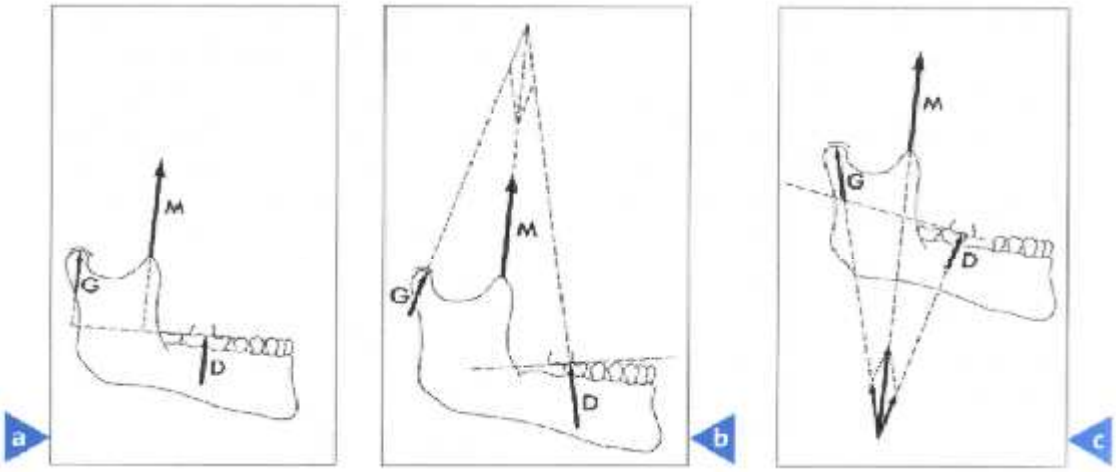


Abbildung 13: Richtung der Kiefergelenksresultierenden bei unterschiedlicher Lage des Aufbisspunktes a) entspr. Waagemodell, D, G und M parallel. b) rückwärts gerichtete Aufbisskraft. c) vorwärts gerichtete Aufbisskraft (Kummer, 2005)

Im Falle eines horizontalen Aufbisses verlaufen die Kraftvektoren am Kiefergelenk, am Musculus temporalis und im Aufbisszentrum parallel nebeneinander. Dies entspricht dem Waagemodell.

Bei rückwärts gerichteter Aufbisskraft, z. B. vor einer Zahnlücke, laufen die Kraftvektoren im spitzen Winkel, kranial aufeinander zu.

Bei vorwärts gerichteter Aufbisskraft, z. B. hinter einer Zahnlücke, treffen die Kraftvektoren bei Verlängerung ebenfalls in einem spitzen Winkel aufeinander, jedoch geschieht dies nach kaudal gerichtet.

Molitor (1969) untersucht die Belastung des Kiefergelenks mithilfe der graphischen Statik, spannungsoptischen Modellversuchen und Knochendichtemessungen an Kiefergelenksschnitten. Er kommt zu dem Ergebnis, dass das Kiefergelenk bei Ausübung eines Kaudruckes belastet wird. Jedoch zeigt er auch, dass das Kiefergelenk unter bestimmten Voraussetzungen lastfrei bleibt. So kann die Beanspruchung des Kiefergelenks interindividuell sehr verschieden sein.

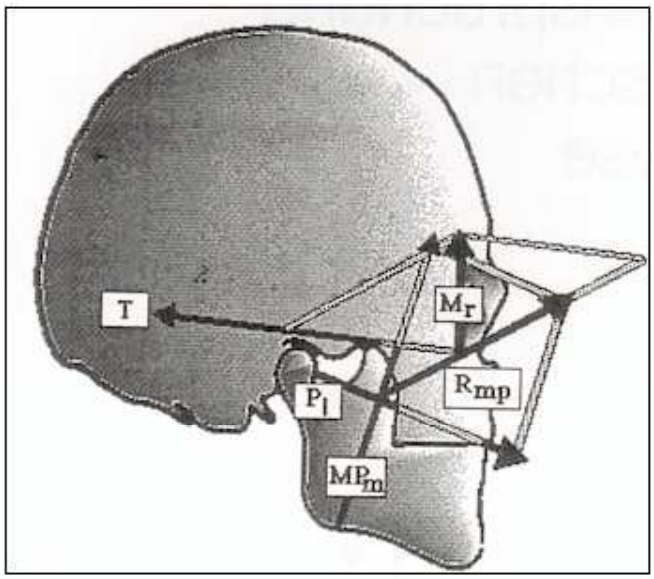


Abbildung 14: Darstellung einer Muskelkombination, bei der das Kiefergelenk völlig lastfrei ist (Benner, 1993). **Mr** Resultierende aller Kaumuskeln, **Pl** Kraftvektor d. M. pterygoideus lateralis, **Mpm** Kraft v. M. masseter und M. pterygoideus medialis, **Rmp** Resultierende d. Kräfte v. M. masseter und M. pterygoideus medialis, **T** Kraftvektor d. M. temporalis.

Abbildung 14 zeigt eine Muskelkombination, bei der das Kiefergelenk völlig lastfrei ist.

Nach Molitor entspricht die Auflagekraft in dieser Darstellung gleich null. Dies lässt sich durch eine statische Überbesetzung der Mandibula durch eine Vielzahl von Kaumuskeln begründen und dadurch dass es zu einer Lastsituation theoretisch unendlich viele Kräftekombinationen gibt, die zur Lösung der Gleichgewichtsbedingung führen (Benner, 1993).

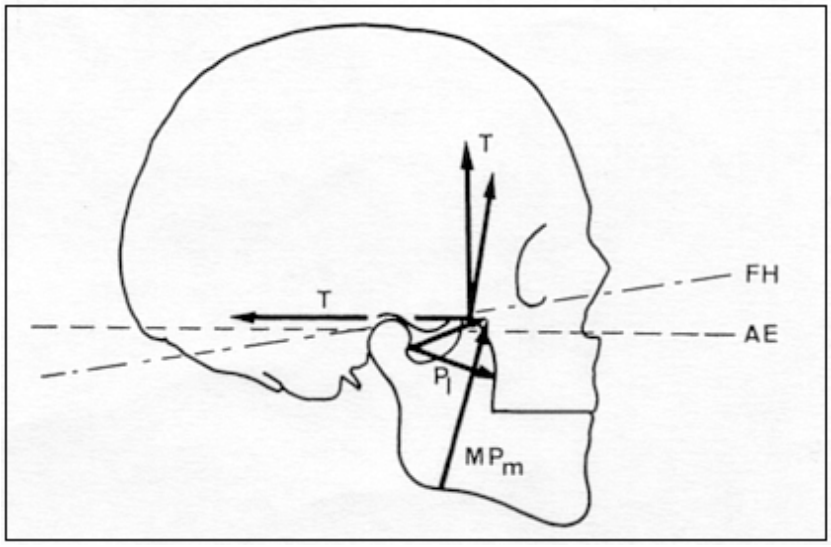


Abbildung 15: Seitliche Ansicht des Schädels mit Wirkungsrichtung der Kaumuskulatur (Umzeichnung nach Schumacher); FH Frankfurter Horizontale, AE Alveolarebene, T Musculus Temporalis, Pl M. Pterygoideus lateralis, MPm Mm. masseter und pterygoideus medialis (Molitor, 1969).

Abbildung 15 zeigt die Kraftvektoren der Kaumuskulatur. Hierbei werden nur die 4 wichtigsten Kaumuskeln berücksichtigt, da die restlichen Kaumuskeln kaum einen Kaudruck aufbringen. Jeder Kaumuskel wird durch einen oder mehrere Vektoren charakterisiert. M. masseter und M. pterygoideus medialis bilden um den Angulus mandibulae eine Muskelschlinge. Beide Muskeln haben die gleiche Wirkungslinie und werden daher in einem gemeinsamen Kraftvektor dargestellt. Der M. temporalis mit seinem breitgefächerten Ursprung nimmt eine Sonderstellung ein. Molitor charakterisiert den M. temporalis mithilfe von drei Kraftvektoren, wobei er in eine vordere, mittlere und hintere Portion des Muskels unterscheidet. Der M. pterygoideus lateralis wird, da er ein zweibäuchiger Muskel ist, durch zwei Kraftvektoren mit unterschiedlicher Wirkungsrichtung dargestellt, welche einen Winkel von 40° zueinander bilden.

Mit Hilfe der graphischen Statik zeigt Molitor in einem weiteren Beispiel die Abhängigkeit der Gesamtresultierenden von der Art der Muskelkombination. Eine Wirtschaftlichkeit beim Einsatz der Muskeln wird entweder durch einen langen Hebelarm oder durch Muskeln, die sich addieren und nicht antagonistisch wirken, erreicht. **Hat die Muskelresultierende ein umgekehrtes Vorzeichen wie die Kaukraft, aber gleiche Wirkungslinie und gleichen Hebelarm, dann ist das Gelenk lastfrei.**

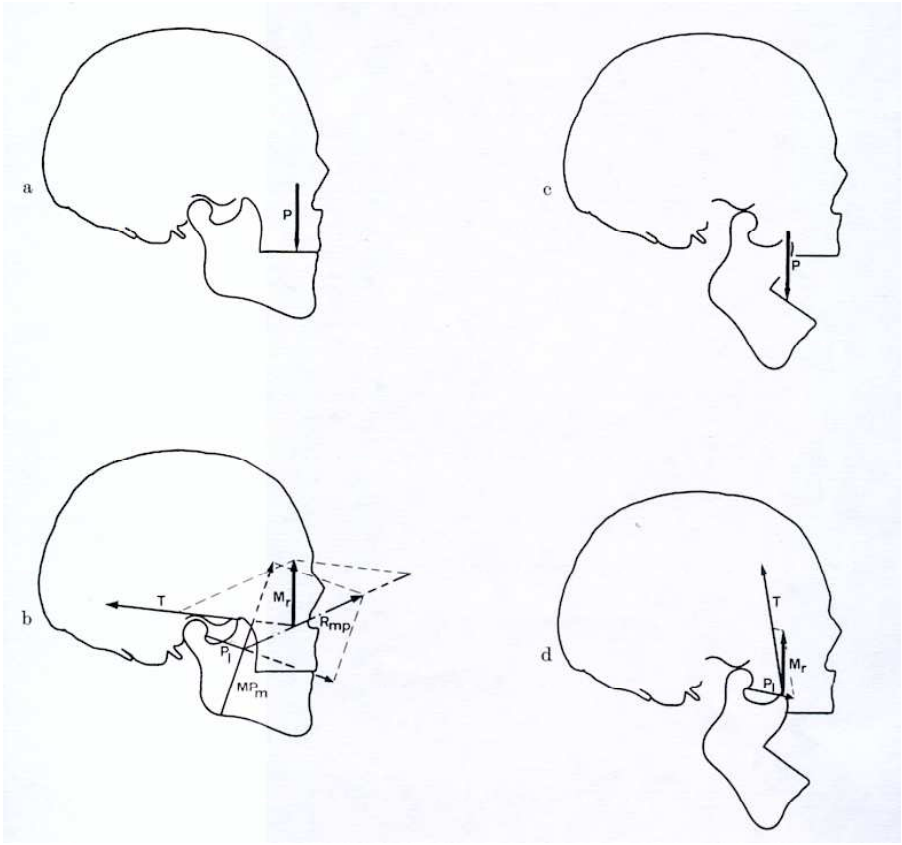


Abbildung 16: Ermittlung der Muskelresultierenden, die gleiche Wirkungsrichtung und gleichen Hebelarm hat wie der Kaudruck, jedoch umgekehrt gerichtet ist: a, b bei geschlossenem Mund, c, d bei maximal geöffnetem Mund (Molitor, 1969).

Das Kiefergelenk ist lastfrei, wenn die Muskelresultierende ein umgekehrtes Vorzeichen, gleiche Wirkungslinie und gleichen Hebelarm hat wie die Kaukraft. Dies tritt bei geschlossenem Mund (Abb. 16 a und b) ein, wenn sich die Resultierende aus dem M. masseter, dem hinteren Anteil des M. temporalis und der unteren Portion des M. pterygoideus lateralis zusammensetzt. Bei maximal geöffnetem Mund (Abb. 16 c und d) ist dies eine Resultierende aus dem vorderen Anteil des M. temporalis und der unteren Portion des M. pterygoideus lateralis.

Bei maximaler Mundöffnung gibt es jedoch keine Gesamtresultierende, die einen senkrecht zur Unterlage gerichteten Kaudruck kompensieren kann.
Im Falle des Kiefergelenks sind nach Molitor (1969) folgende Punkte von Bedeutung: **1. die Kaumuskelkräfte, 2. der Kaudruck, eventuell zuzüglich des Eigengewichtes des Unterkiefers und 3. der Druck, der im Gelenk auftritt.**

Küppers (1971) beweist in einem spannungsoptischen Versuch, dass der Mandibularkörper auf Biegung beansprucht wird. Die Hauptspannungstrajektoren befinden sich im Processus coronoideus, welcher den Ansatz des Musculus temporalis darstellt. Am Kieferwinkel wird durch die Muskelschlinge aus Musculus masseter und Musculus pterygoideus medialis Druck im Kieferwinkelbereich ausgeübt. Eine druck- und zuglose Zone befindet sich mittig im Mandibularkörper, wo auch der Mandibularkanal verläuft (Küppers, 1971).

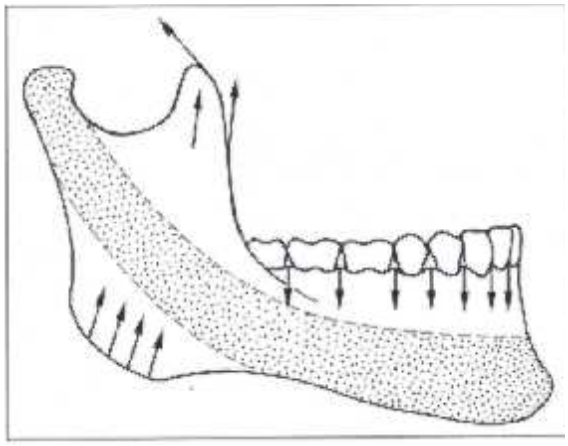


Abbildung 17: Mandibularpfeiler (punktiert) als Grundkonstruktion des Unterkiefers, Einwirkung von Muskelkräften und Kaudruck (Pfeile), dadurch Ausbildung von Kieferwinkel, Proc. coronoideus und Proc. alveolaris (Kummer, 2005)

Der Druck, den die Zähne beim Zubeißen aufeinander ausüben wird auf das Parodontium geleitet. Die Sharpeyschen Fasern, welche sich im Alveolarfach befinden geben den Druck weiter an die Alveolenwand. Fehlt dieser Druck auf den Alveolarknochen, so wird Knochen abgebaut, wie wir dies vor allem bei unbezahnten Patienten verfolgen können.
Zwei Knochenzuwächse sind bei der Entstehung der Mandibula zu beobachten. Einerseits der Processus coronoideus, welcher durch den Muskelzug des Musculus temporalis entsteht und andererseits der Kieferwinkel, welcher sich durch den Zug der Muskelschlinge formt.

1.2.3 Subchondraler Knochen

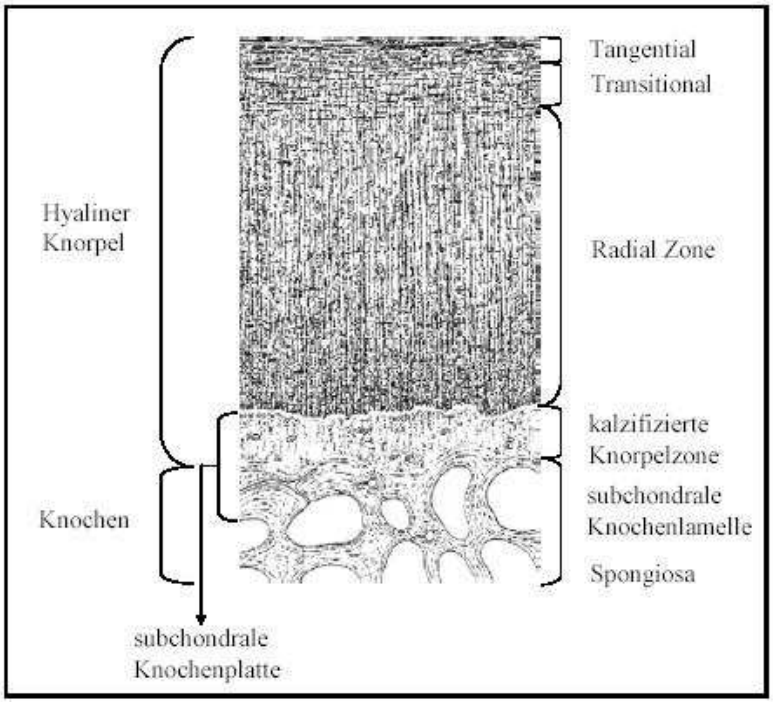


Abbildung 18: schematische Darstellung des hyalinen Gelenkknorpels mit dem darunterliegenden subchondralen Knochen (nach Müller-Gerbl,1998)

Definition des subchondralen Knochens:

Über die Definition des subchondralen Knochens gibt es in der Literatur verschiedene Meinungen. Duncan (1987) sieht in der subchondralen Schicht eine Kombination aus der kalzifizierten Zone des Gelenkknorpels und der darunterliegenden Zone lamellären Knochens (Müller-Gerbl, 1998).

Meachim (1984) hingegen definiert den subchondralen Knochen als subartikuläre Platte aus kompaktem Knochen, die von knöchernen Bögen und Streben unterstützt in das Trabekelwerk übergeht, und auf der die kalzifizierte Knorpelschicht mit dem darüberliegenden unkalzifiziertem Knorpel liegt (Meachim et al., 1984).
In dieser Arbeit wird die subchondrale Knochenplatte, nach Müller-Gerbl (1998), durch die kalzifizierte Knorpelzone und die unmittelbar darunter liegende suchchondrale Knochenlamelle definiert.

Aufbau des subchondralen Knochens:

Der subchondrale Knochen besteht aus zwei mineralisierten Schichten, welche zusammen eine Einheit bilden und den Gelenkknorpel von der Spongiosa trennen. Zum Gelenk hin befindet sich eine Zone aus mineralisiertem Knorpel, welches sich radiologisch als dichtes Gewebe darstellt. Die Struktur des an den mineralisierten Knorpel angrenzenden Knochens wirkt unter dem Mikroskop wie eine „Bienenwabe“ (Singh, 1978). Es sind Hohlräume zwischen den dünnen Knochenplättchen, welche annähernd so hoch wie breit sind. Diese spezielle Ausprägung der Hohlräume ist jedoch nur in den knorpelnahen Zonen zu erkennen. Der subchondrale Knochen zeigt sich unter dem Elektronenmikroskop als lamelläres Gewebe parallel angeordneter kollagener Fibrillen.

Vaskularisierung des subchondralen Knochens:

Der subchondrale Knochen besteht aus zahlreichen Hohlräumen, welche die Verbindung zwischen Knorpel und Knochenmark herstellen. Diese Hohlräume haben in Abhängigkeit von ihrer Lokalisation im subchondralen Knochen eine unterschiedliche Form. So sind diese im dünnen subchondralen Knochen weiter und ampullenförmig. Im dickeren subchondralen Knochen sind Kanäle, welche wie Äste eines Baumes verzweigt sind. In den Kanälen verlaufen zahlreiche Blutgefäße, wobei diese in den höher belasteten Zonen konzentriert sind (Berry et al., 1986). Dies bedeutet, dass das angrenzende Knorpelgewebe am besten vaskularisiert ist.
Die Gefäßdichte im subchondralen Knochen ist nicht nur innerhalb eines Gelenkes verschieden, sondern auch von Gelenk zu Gelenk unterschiedlich, welches von der jeweiligen Belastung abhängt. Sind im subchondralen Knochen zahlreiche Kanäle vorhanden, so liefern diese Nährstoffe an die unterste Knorpelschicht. In Zonen in welchen diese Nährstoffversorgung fehlt ist der Knorpel auf die Diffusion von Nährstoffen aus der Synovialflüssigkeit angewiesen.
Zusammenfassend kann man feststellen, dass die Hohlräume hauptsächlich für die Nährstoffversorgung des subchondralen Knochens selbst und des angrenzenden Knorpels wichtig sind.

Dichteverteilung im subchondralen Knochen:

Die Dichte im subchondralen Knochen ist in den höher beanspruchten Zonen der Gelenkoberfläche am größten.
Jedes Gelenk hat ein spezifisches Verteilungsmuster der Dichte. Dies muss in Zusammenhang mit der mechanischen Druckbelastung des Gelenkes gesehen werden.
Ähnlich wie die Dichte erhöht sich auch die Dicke des subchondralen Knochens in den höher beanspruchten Abschnitten.
Oberländer (1973) untersucht die Dichteverteilung im subchondralen Knochen des menschlichen Hüftgelenks und kann zwei Verteilungsmuster feststellen. Zum einen, Gelenke mit nur einem zentralen Dichtemaximum, und zum anderen Gelenke mit zwei Dichtemaxima im dorsalen und ventralen Bereich.

Zusammenfassend kommt dem subchondralen Knochen folgende Bedeutung zu: In stark beanspruchten Bereichen des Gelenkes, in welchen der ausgeübte Druck am größten ist, sind im subchondralen Knochen die Dichte, Dicke und Vaskularisierung am größten ausgeprägt.

Ein Beispiel für die Darstellung des subchondralen Knochens ist die Röntgendensitometrie. B. Klesper (1989) untersucht die knöchernen Strukturen von 65 menschlichen Kiefergelenken mit Hilfe der Densitometrie. Hierbei werden Schnitte von menschlichen Kiefergelenken hergestellt und diese dann geröntgt. Über ein Densitometer werden die Bilder dann ausgewertet. Dabei legt Klesper 7 Messpunkte in Fossa und Kondylus fest. Seine Untersuchungen ergeben die Dichteverteilung an diesen Messpunkten, wodurch eine Einteilung der Kieferköpfchen und des Pfannendaches in verschiedene Typen möglich wird.

Bei den Kieferköpfchen stellt der Typ 1a eine rostral (zum oberen oder vorderen Körperende gelegen) allgemein betonte Dichtekonzentration dar. Dies ist bei 39 Objekten bzw. 60% dieser der Fall.
Typ 1b weist ebenfalls eine rostrale Betonung auf, jedoch kommt die Betonung des Pterygoideusansatzes hinzu. 25 Objekte bzw. 38% zeigen diese Dichteverteilung.
Typ 2 zeigt eine gleichmäßig geringe Dichte in der gesamten Köpfchenkontur, was bei nur einem Objekt bzw. 2% der Fall ist.

Beim Pfannendach ergibt sich eine Einteilung in vier Gruppen.
Zum einen Typ 1a: Hohe Materialdichte und geringe Pfannenstärke (0,54mm-1,92mm) bei 42 Objekten bzw. 64%.
Des weiteren Typ 1b: Geringe Materialdichte und Pergamentpfanne (0,16mm-0,76mm) bei 7 Objekten bzw. 11%.
Zum anderen Typ 2a: Hohe Materialdichte und hohe Pfannenstärke (2,12mm-3,86mm) bei 12 Objekten bzw. 19%.
Weiterhin Typ 2b: Geringe Materialdichte und sehr hohe Pfannenstärke (2,15mm-4,16mm) bei 4 Objekten bzw. 6% (Klesper et al., 1989).

Zusammenfassend stellt Klesper fest, dass die Dichte bei den Kieferköpfchen im anterioren Abschnitt am größten ist und ein weiteres Dichtemaximum an der Ansatzfläche des M. pterygoideus liegt, was auf höhere Belastung in diesen Bereichen hinweist. Bei der Fossa zeigen die Mehrzahl der untersuchten Präparate eine zentral hohe Materialdichte und Pergamentpfanne im Zentrum, was darauf hindeutet, dass die Fossa mandibularis in ihrem zentralen Abschnitt nur wenig belastet ist.

1.3 Fragestellung

Mit der CT-Osteoabsorptiometrie steht ein neues Verfahren zur Verfügung, um selektiv die subchondrale Lamelle von Gelenkflächen bezüglich der Mineralisierungsverteilung zu untersuchen. Eine Anwendung dieser Methode auf das Kiefergelenk führt zu folgender Fragestellung:

Gibt es Unterschiede in der Mineralisierungsverteilung der subchondralen Lamelle des Kiefergelenks, und welche Rückschlüsse lassen diese auf die Beanspruchungssituation im Kiefergelenk zu.

Die Durchführung der vorliegenden Studie erfolgt unter folgenden Teilaspekten:

- Wie verteilen sich die Hauptmaxima der Dichtemusterdarstellungen der Fossae mandibulares (FM)?
- Wie verteilen sich die Hauptmaxima der Dichtemusterdarstellungen der Kieferköpfchen (KK)?
- Gibt es einen Unterschied in der Gesamtmineralisierung?
- Gibt es einen Unterschied bei einer nach Geschlechtern getrennten Betrachtung?
- Gibt es interindividuelle Unterschiede?

Diese morphologischen Befunde sollen anschließend als Grundlage für eine Beanspruchungsanalyse des Kiefergelenkes dienen.

2 Material und Methode

2.1 Material

Diese Arbeit basiert auf der Untersuchung von 45 formalinfixierten Kiefergelenken, davon 21 männliche und 24 weibliche Präparate. Das Material stammt aus dem anatomischen Präparierkurs (Kopfkurs 05) der anatomischen Anstalt in München.

Bei der Auswahl der Kiefergelenke werden nur jene verwendet, bei denen die Gelenkkapsel intakt geblieben ist, d.h. bei denen nicht in tiefere Schichten präpariert ist.

Angaben zu den untersuchten Präparaten:

Nr.	***Präparat***	***Geschlecht***	***Alter in a***	***Größe in cm***	***Gewicht in kg***
1	01/04	männlich	76	171	60
2	04/04	männlich	89	183	70
3	06/04	weiblich	95	158	49
4	07/04	männlich	54	170	75
5	10/04	männlich	84	173	71
6	12/04	weiblich	89	163	58
7	13/04	männlich	80	173	110
8	14/04	weiblich	89	164	66
9	15/04	männlich	73	180	74
10	16/04	weiblich	81	154	64
11	17/04	weiblich	76	162	67
12	18/04	männlich	82	174	94
13	19/04	weiblich	90	167	46
14	20/04	weiblich	48	160	50
15	21/04	weiblich	76	159	45
16	22/04	weiblich	84	163	47
17	24/04	männlich	86	173	63
18	25/04	weiblich	80	143	49
19	27/04	männlich	81	175	98

Nr.	*Präparat*	*Geschlecht*	*Alter in a*	*Größe in cm*	*Gewicht in kg*
20	28/04	männlich	97	150	35
21	29/04	weiblich	85	175	98
22	30/04	männlich	89	170	65
23	31/04	männlich	89	174	42
24	32/04	weiblich	70	165	62
25	33/04	weiblich	85	110	35
26	34/04	weiblich	80	166	62
27	36/04	männlich	84	168	84
28	37/04	männlich	80	175	65
29	38/04	männlich	74	174	78
30	39/04	männlich	82	190	93
31	40/04	weiblich	72	160	46
32	41/04	weiblich	90	162	48
33	42/04	männlich	50	196	119
34	46/04	männlich	78	168	58
35	48/04	weiblich	89	170	58
36	50/04	männlich	67	162	58
37	52/04	weiblich	71	157	68
38	54/04	weiblich	89	156	37
39	55/04	weiblich	81	152	68
40	56/04	weiblich	81	158	58
41	57/04	weiblich	89	164	66
42	58/04	weiblich	81	158	54
43	59/04	männlich	70	170	64
44	60/04	weiblich	95	158	55
45	62/04	männlich	91	167	76

Tabelle 2: Untersuchte Präparate mit Angabe von Nummer, Geschlecht, Alter, Größe und Gewicht

2.2 Methode

2.2.1 Röntgendiagnostik

Von den im Präparierkurs vorbereiteten Kopfhälften werden in einem Röntgengerät (Faxitron, Hewlet Packard) im lateromedialen Strahlengang Aufnahmen gemacht, welche mit den Fernröntgenseitenaufnahmen des Schädels vergleichbar sind. So gibt diese Art der Röntgendiagnostik vor allem Informationen über die Bezahnung, aber auch über die Lage und Form des Kondylus.

2.2.2 Computertomographie

In einem weiteren Schritt werden Kiefergelenksblöcke aus den Präparaten geschnitten. Dabei dienen folgende Begrenzungen:

Anterior: laterale Orbita und kaudalster Punkt des Tuberculum articulare
Posterior: Hinterrand des Porus acusticus externus
Kranial: Beginn der Kalotte
Kaudal: Beginn des oberen Drittels des aufsteigenden Astes der Mandibula
Mesial: Hälfte der Fossa cranii media
Lateral: keine Begrenzung

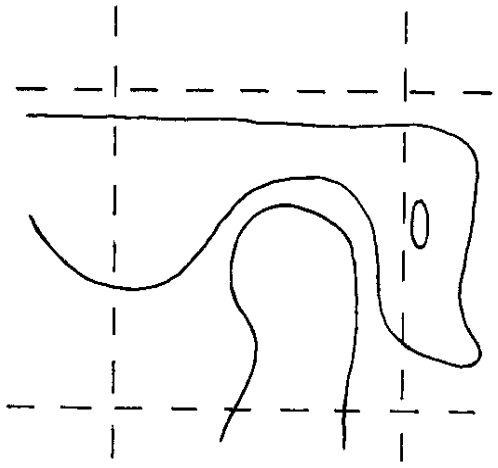


Abbildung 19: schematische Darstellung des gesägten Gelenkes

Von diesen Blöcken werden in der radiologischen Abteilung der chirurgischen Klinik und Poliklinik - Innenstadt (München) CT-Aufnahmen mit einem Gerät der Firma Siemens (SomatomPlus) gemacht. Die Schnittrichtung verläuft transversal im Spiralverfahren, d.h. bei linken Präparaten von lateral nach medial und bei rechten Präparaten von medial nach lateral. Die Schnittdicke beträgt 0,5 mm. Diese CT-Aufnahmen dienen als Vorlage für die Bearbeitung mit der Unix Workstation und dem CT-OAM Programm.

2.2.3 CT-OAM und Densitogramme

Zur Darstellung der subchondralen Mineralisierung der Gelenkflächen von Fossa mandibularis und Kondylus wählt man die Methode der CT-Osteoabsorptiometrie (Müller-Gerbl et al., 1989,90,91,01). Nach einem Konvertierungsschritt werden die Daten auf einer Workstation (IBM Corporation, White Plains, USA) mit dem Programm ANALYZE 7.5.5 (Biomedical Imaging Resource, Mayo Foundation, Rochester, USA) bearbeitet. Folgende Schritte werden durchgeführt:

a) Zunächst wird die Bildanzahl verringert, d.h. es wird von den durchschnittlich 100 Schnitten nur die relevanten 50 Schnitte selektiert, welche zur dreidimensionalen Darstellung des Kiefergelenks nötig sind. Desweiteren wird Höhe und Breite der Schnitte reduziert und somit die „region of interest“ festgelegt.

b) Danach erfolgt eine Trennung oder „Exartikulation“ der Fossa vom Kondylus durch virtuelles Auseinanderschneiden der Bilder. Dies ist nötig um eine möglichst gute Sicht auf die Gelenkfläche zu gewährleisten.

c) Dann wird von Fossa und Kondylus, im Datensatz b, jeweils die subchondrale Schicht herausgeschnitten und separat gespeichert.

d) Die Fossa und der Kondylus werden separat dreidimensional rekonstruiert und in 3 verschiedenen Ansichten dargestellt, wobei sich nur die knöchernen Anteile darstellen und die Weichgewebe ausgespart bleiben. Dies geschieht mit dem Algorhythmus „Voxel Gradient Shading“.

e) Auch die subchondrale Schicht von Fossa und Kondylus wird mittels „Maximum Intensity Projection“ rekonstruiert und über die rekonstruierten Strukturen gelegt, wobei die subchondrale Schicht kartographisch farblich dargestellt wird. Dabei gibt es eine Unterscheidung in 10 Graustufen von jeweils 100 Hounsfield units, welche von <200 HU bis >=1200 HU reichen. Diese Graustufen werden mit Falschfarben belegt, um eine bessere Unterscheidung zu erreichen. Hohe Dichtewerte entsprechen folgenden Farben: weiß, schwarz, dunkelrot, hellrot, orange. Niedrige Dichtewerte sind durch die Farben blau und grün gekennzeichnet.

f) In einem Gesamtbild, welches man als Densitogramm bezeichnet, kann man dann die übereinander gelegten Strukturen bewerten.

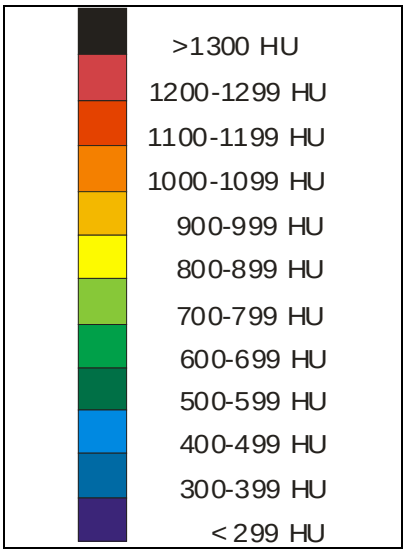


Abbildung 20: Falschfarbenskala mit Zuordnung zu Hounsfield-Werten

2.2.4 Auswertung der Densitogramme

Erstellen eines Rasters:

Mit der Software Corel Draw, Version 11, werden die Densitogramme am konventionellen PC weiterverarbeitet.
So wird über die Fläche der subchondralen Schicht ein Raster gelegt, welches bei der Fossa eine 4x4 Aufteilung und beim Kondylus eine 3x3 Aufteilung hat. Daran lässt sich nun ablesen, wo die Dichtemaxima liegen und eine Einteilung in Gruppen vornehmen.
Die Formen der Dichtemaxima bei den Fossae mandibulares und Kieferköpfchen werden miteinander verglichen und die häufigste auftretende Form ermittelt, sowie eine Gegenüberstellung der korrespondierenden Gelenkflächen zur Ermittlung der häufigsten Kombination durchgeführt.

Quantitative CT-OAM:

Zur Berechnung der Kalziumkonzentration der subchondralen Knochenplatte wird die quantitative CT-OAM (q-CT-OAM) (Müller-Gerbl et al., 2001) verwendet.
Mit der Software Analyse wird anschließend die Gelenkfläche jeweils interaktiv markiert. Mit Hilfe einer Messroutine wird ein Histogramm der Dichtewerte (Hounsfield-Werte) des markierten Bereichs erstellt, wobei die Anzahl der Pixel pro Hounsfield-Wert bestimmt wird.
Durch ein Phantom bekannter Kalziumkonzentration kann nach Transfer der Histogramme in das Programm Excel mit einem speziell entwickelten Algorithmus jedem Hounsfield-Wert ein Kalziumwert zugeordnet werden. Weiterhin kann durch Integration der Verteilungskurve aller Hounsfield-Werte der absolute Kalziumgehalt der gesamten Gelenkfläche berechnet werden.
Um die Mineralisierungswerte bei unterschiedlichen Gelenkflächengrößen vergleichbar zu machen, wird für jede Gelenkfläche der Kalziumwert in mg /ml berechnet.
Der Mineralisierungsstatus wird in einem Balkendiagramm getrennt nach Präparat und Gelenkfläche dargestellt.
Weiterhin wird die Kalziumkonzentration der Kieferköpfchen und Fossae mandibulares getrennt nach Geschlecht und zusammen berechnet und dargestellt.

Es wird das Verhältnis der Kalziumkonzentration von Fossa mandibularis zu Kieferköpfchen ebenfalls nach Geschlecht getrennt und gesamt berechnet und in einem Diagramm veranschaulicht.

Statistische Auswertung:

Mit Hilfe des Programms Statistiklabor werden Boxplots erstellt, welche getrennt nach Fossa mandibularis und Kieferköpfchen die Höhe der Kalziumkonzentrationen darstellen.
Des weiteren veranschaulicht die Regressionsanalyse den Unterschied der Kalziumkonzentration mit zunehmendem Alter bei Fossa mandibularis und Kieferköpfchen.
Das Verhältnis der Kalziumkonzentration bei Fossa mandibularis und Kieferköpfchen wird in einem Säulendiagramm dargestellt.

3 Ergebnisse

3.1 Zahnstatus

Bevor die Kiefergelenksblöcke gesägt werden, ist es möglich den Zahnstatus der Präparate festzuhalten. Dies geschieht durch Röntgendiagnostik und manuelle Untersuchung der Kiefer. Dabei stellt sich heraus, dass deutlich mehr Präparate als erwartet bezahnt bzw. teilbezahnt sind. Sehr häufig sind die Gebisse nur unzureichend saniert, was sich in den zahlreichen Wurzelresten und kariösen Defekten äußert. Konservierende Versorgung von Amalgam-, Kunststoff-, Keramik- und Goldfüllungen bzw. Inlays sind vorhanden. Die prothetische Versorgung beschränkt sich auf Kronen und Brücken. Weitere prothetische Versorgung mit Prothesen bzw. Teilprothesen kann nicht mehr festgestellt werden, da herausnehmbarer Zahnersatz bereits entfernt ist. Zwei Präparate sind mit Implantaten versorgt, wobei diese nicht als Bezahnung gewertet werden.

Nr.	***Präparat***	***Oberkiefer***	***Unterkiefer***	***Befunde***	***Materialien***
1	01/04m	bezahnt	bezahnt	Füllungen	Amalgam, Kunststoff
2	04/04 m	bezahnt	bezahnt	Wurzelrest	-
3	06/04 w	unbezahnt	unbezahnt	-	-
4	07/04 m	unbezahnt	bezahnt	Füllung	Kunststoff
5	10/04 m	unbezahnt	bezahnt	Füllung	Kunststoff
6	12/04 w	unbezahnt	unbezahnt	-	-
7	13/04 m	unbezahnt	unbezahnt	-	-
8	14/04 w	unbezahnt	unbezahnt	-	-
9	15/04 m	bezahnt	bezahnt	Krone, Inlay, Füllungen, Wurzelrest	Gold, Keramik, Kunststoff
10	16/04 w	unbezahnt	unbezahnt	-	-
11	17/04 w	bezahnt	bezahnt	Kronen, Füllungen, Brücke	Gold, Kunststoff, Keramik
12	18/04 m	unbezahnt	bezahnt	Kronen	Gold, Keramik
13	19/04 w	unbezahnt	unbezahnt	-	-
14	20/04 w	unbezahnt	bezahnt	Kronen	Gold, Keramik
15	21/04 w	unbezahnt	bezahnt	Füllung	Kunststoff
16	22/04 w	unbezahnt	bezahnt	Füllung	Kunststoff
17	24/04 m	bezahnt	unbezahnt	Krone, Implantate	Gold, Keramik, Titan

Nr.	*Präparat*	*Oberkiefer*	*Unterkiefer*	*Befunde*	*Materialien*
18	25/04 w	unbezahnt	unbezahnt	-	-
19	27/04 m	unbezahnt	bezahnt	-	-
20	28/04 m	unbezahnt	unbezahnt	-	-
21	29/04 w	unbezahnt	unbezahnt	-	-
22	30/04 m	bezahnt	bezahnt	Kronen, Füllungen	Gold, Keramik, Kunststoff
23	31/04 m	unbezahnt	unbezahnt	Implantate	Titan
24	32/04 w	bezahnt	bezahnt	Konuskronen, Füllungen	Gold, Kunststoff
25	33/04 w	unbezahnt	unbezahnt	-	-
26	34/04 w	bezahnt	bezahnt	Kronen, Füllung	Gold, Keramik, Kunststoff
27	36/04 m	bezahnt	bezahnt	Kronen, Brücken	Gold, Keramik
28	37/04 m	bezahnt	bezahnt	Krone, Wurzelreste	Gold
29	38/04 m	unbezahnt	bezahnt	-	-
30	39/04 m	bezahnt	bezahnt	Kronen	Gold, Keramik
31	40/04 w	unbezahnt	unbezahnt	-	-
32	41/04 w	unbezahnt	unbezahnt	-	-
33	42/04 m	bezahnt	bezahnt	Kronen, Inlays	Gold, Keramik, Kunststoff
34	46/04 m	unbezahnt	bezahnt	Füllung, Krone	Gold, Keramik, Kunststoff
35	48/04 w	unbezahnt	unbezahnt	-	-
36	50/04 m	bezahnt	bezahnt	Brücke, Füllungen	Gold, Keramik, Kunststoff
37	52/04 w	unbezahnt	unbezahnt	-	-
38	54/04 w	unbezahnt	unbezahnt	-	-
39	55/04 w	unbezahnt	unbezahnt	-	-
40	56/04 w	unbezahnt	unbezahnt	-	-
41	57/04 w	unbezahnt	unbezahnt	-	-
42	58/04 w	unbezahnt	bezahnt	Kronen	Gold, Keramik
43	59/04 m	bezahnt	bezahnt	Wurzelreste	-
44	60/04 w	unbezahnt	bezahnt	-	-
45	62/04 m	unbezahnt	unbezahnt	-	-

Tabelle 3: Untersuchte Präparate mit Angabe von Nummer, Bezahnung in Ober- und Unterkiefer, Befunde und Materialien

20 Präparate von 45 sind in Ober- und Unterkiefer unbezahnt. Dabei fällt auf, dass unter den Unbezahnten 16 Präparate weiblich und nur 4 männlich sind. 13 Präparate sind sowohl in Ober- als auch in Unterkiefer bezahnt, wobei 10 männlich und nur 3 weiblich sind.

3.2 Altersverteilung

Die Präparate der 21 männlichen und 24 weiblichen Präparate, haben eine Altersverteilung von 48 bis 97 Jahren und somit liegt ein durchschnittliches Alter von 80,48 Jahren vor.

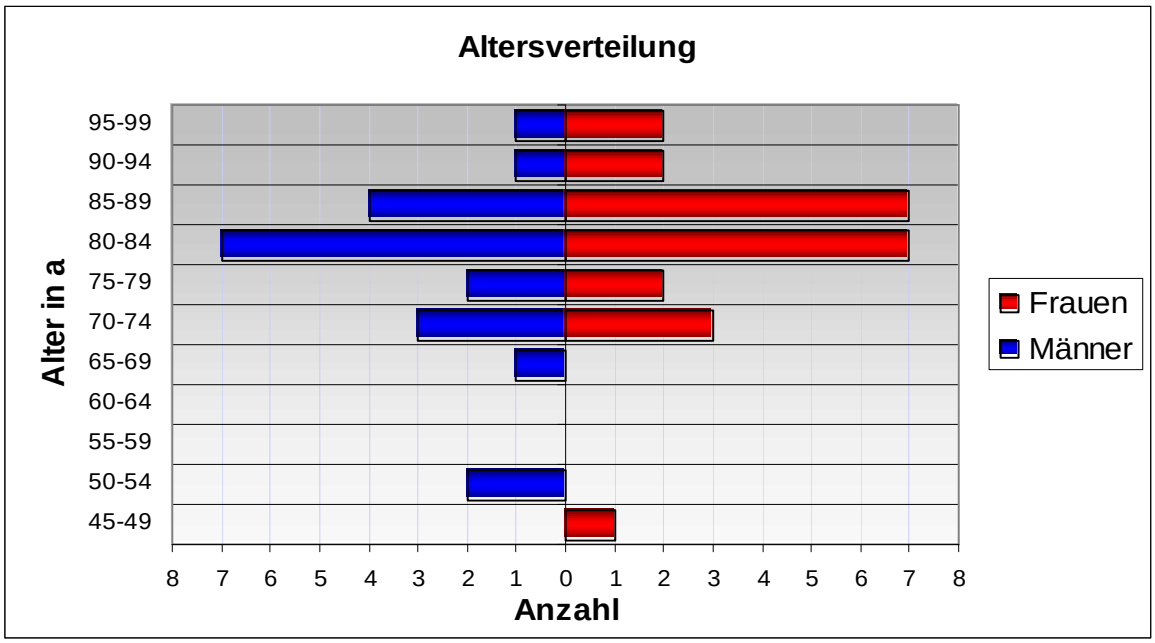


Abbildung 21: Altersverteilung der 45 Präparate, aufgeteilt nach Geschlecht

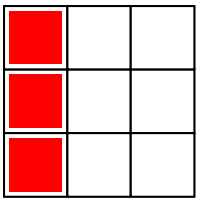
In Abbildung 21 wird verdeutlicht, dass die Mehrzahl der Präparate zwischen 70 und 90 Jahre sind. Die männlichen Präparate sind durchschnittlich 78,86 Jahre alt, die weiblichen 81,92 Jahre.

3.3 Mineralisierungsmuster

3.3.1 Dichteverteilung bei den Kieferköpfchen

Die visuelle Analyse des Musters der subchondralen Mineralisierung der 45 Kieferköpfchen erbringt folgende Resultate: Die Verteilung der Dichte ist nicht homogen, es liegen Dichtemaxima in punkt- bzw. streifenförmiger Ausdehnung vor.
Diese Dichtemaxima sind bei den Kieferköpfchen überwiegend im anterioren Abschnitt zu

finden. Bei den anterioren Dichtemaxima gibt es Subtypen, welche eine streifenförmige oder punktförmige Ausdehnung haben. Die streifenförmige Verteilung lässt sich wiederum in eine mittig-laterale, mittig-lateral-mediale und mittig-mediale Form einteilen. Bei der punktförmigen Ausdehnung lässt sich eine mittige, laterale und mediale Form unterscheiden. Eine weitere Hauptgruppe stellen die Kieferköpfchen mit zentralem Dichtemaximum dar. Auch hier gibt es Untergruppen. Zum einen den zentralen Typ und zum anderen den zentro-lateral-medialen Typ.
Die dritte Gruppe der Kieferköpfchen weist ein zentro-anteriores Dichtemaximum auf und stellt somit einen Kombinationstyp aus den vorhergegangenen Hauptgruppen dar. Eine Unterteilung in Subtypen entfällt hier.

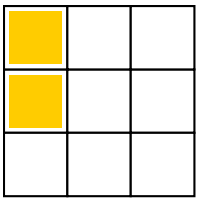


I. anteriores Dichtemaximum

34 Präparate und damit 75,5% weisen ein anteriores Dichtemaximum auf. Dabei kann man unterscheiden zwischen streifenförmiger oder punktförmiger Verteilung der Maxima, wobei erstere Verteilung überwiegt.

a) streifenförmig

Die streifenförmigen Dichtemaxima sind vor allem langgezogen, nicht punktuell aneinandergereiht. Sie sind durchwegs im anterioren Teil des Kieferköpfchens zu finden.



- mittig-lateral

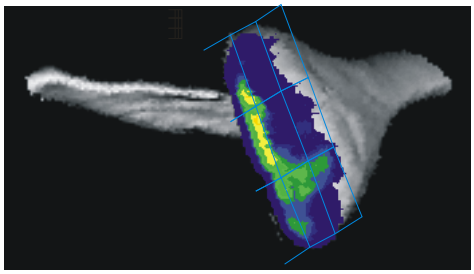
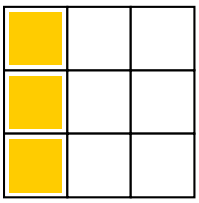


Abbildung 22: Präparat 01 mit einem mittig-lateralen Dichtemaximum

Präparat 01 weist beispielhaft für weitere 9 Präparate (04/06/12/14/18/24/46/50/59) die mittig-laterale Verteilung des Dichtemaximums im anterioren Bereich auf.



- mittig-lateral-medial

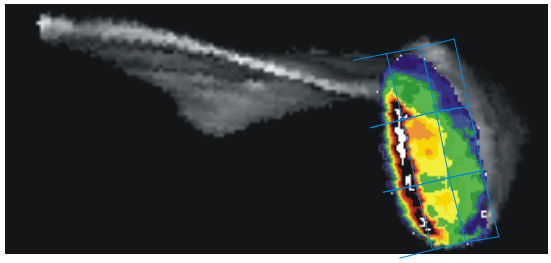
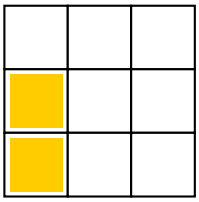


Abbildung 23: Präparat 07 mit einem mittig-lateral-medialen Dichtemaximum

Präparat 07 sowie 7 weitere Präparate (13/17/25/28/39/54/57) zeigen ein Dichtemaximum mittig-lateral-medial im anterioren Abschnitt.



- mittig-medial

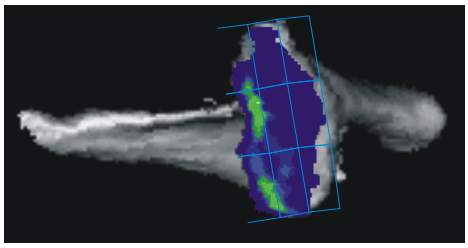
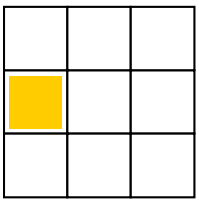


Abbildung 24: Präparat 20 mit einem mittig-medialen Dichtemaximum

Zwei Präparate (20/48) weisen ein im anterioren Abschnitt liegendes mittig-mediales Dichtemaximum auf. Hier beispielhaft an Präparat 20 dargestellt.

b) punktförmig

Bei den punktförmigen Dichtemaxima ist anterior punktuell ein Maximum festzustellen, wobei dennoch eine langgezogene Dichtezone im anterioren Bereich ähnlich wie bei der Gruppe der streifenförmigen Dichteverteilung zu erkennen ist.



- mittig

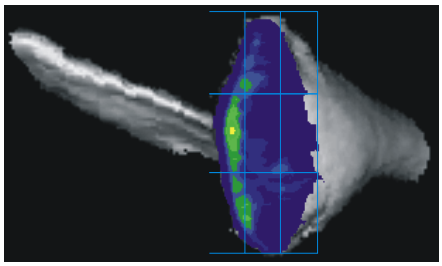
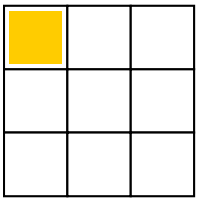


Abbildung 25: Präparat 30 mit einem mittigen Dichtemaximum

Präparat 30 weist beispielhaft für 8 weitere Präparate (15/16/22/29/34/36/55/60) das im anterioren Bereich liegende mittige Dichtemaximum auf.



- lateral

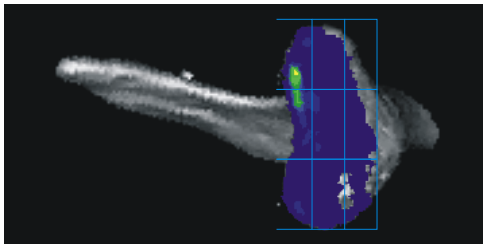
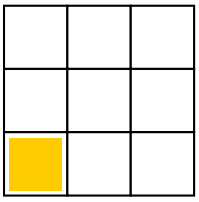


Abbildung 26: Präparat 19 mit einem lateralen Dichtemaximum

Präparat 19 zeigt zusammen mit zwei weiteren Präparaten (27/42) im anterioren Abschnitt ein lateral liegendes Dichtemaximum.



- medial

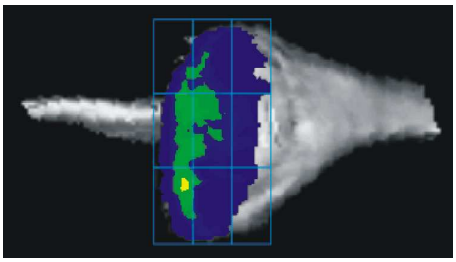
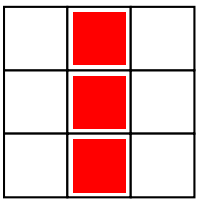


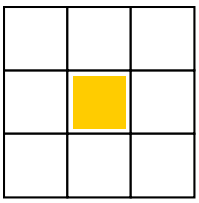
Abbildung 27: Präparat 37 mit einem medialen Dichtemaximum

Nur zwei Präparate (37/56) weisen ein im anterioren Bereich liegendes mediales Dichtemaximum auf.



II. zentrales Dichtemaximum

5 Präparate und damit 11,1% zeigen ein Dichtemaximum im zentralen Bereich der Köpfchenoberfläche.



a) zentral

4 Präparate (10/21/52/58) zeigen ein zentrales Dichtemaximum, welches punktförmig ist.

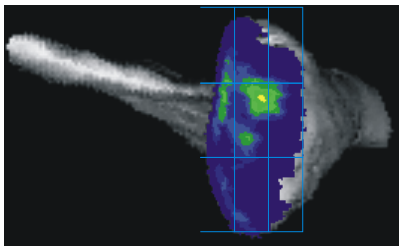
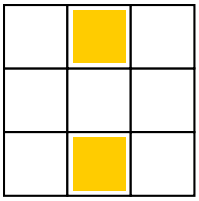


Abbildung 28: Präparat 21 mit einem zentralen Dichtemaximum

Bei Präparat 21 kann man erkennen, dass die höchste Dichte zentral am Kieferköpfchen zu finden ist.



b) zentro-lateral-medial

nur ein Präparat (62) hat sein Dichtemaximum zentrolateral und zentromedial. Man kann hier von einer punktförmigen Ausdehnung des Dichtemaximums sprechen.

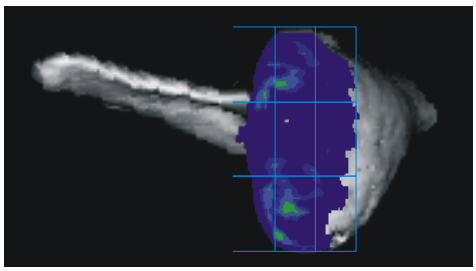
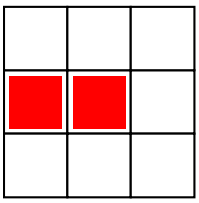


Abbildung 29: Präparat 62 mit einem zentro-lateral-medialen Dichtemaximum



III. zentro-anteriores Dichtemaximum

Bei 6 Präparaten (31/32/33/38/40/41) und damit 13,3% waren die Dichtemaxima sowohl im zentralen als auch im anterioren Bereich zu finden. Das Dichtemaximum im anterioren Bereich ist langgezogen, im zentralen Bereich rund geformt.

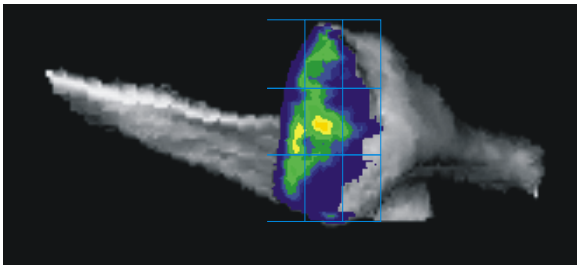
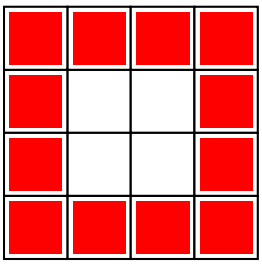


Abbildung 30: Präparat 32 mit einem zentro-anterioren Dichtemaximum

Zusammenfassend lässt sich zu den 45 Kieferköpfchen feststellen, dass 34 der Präparate bzw. 75,55 % eine anteriore Verteilung der Dichtemaxima aufweisen. Bei 5 Präparaten bzw.11,11% liegt ein zentrales Dichtemaximum vor. Weitere 6 Präparate bzw. 13,33% haben eine Kombination aus zentralem und anteriorem Dichtemaximum.
Es lassen sich zu den ersten 2 Gruppen Untergruppen bilden, wobei die häufigste Verteilung in der anterioren Gruppe mittig-lateral zu finden ist.

3.3.2 Dichteverteilung bei den Fossae mandibulares

Nach Auswertung der Densitogramme von 45 Fossae mandibulares ergibt sich, dass bei allen Präparaten im Zentrum der Fossa die geringste Dichte vorliegt. Es ergibt sich für die Fossae mandibulares eine Einteilung in 5 Gruppen. Eine Unterteilung in Subtypen wird nicht vorgenommen. Die erste Gruppe mit ihrer zirkulären Form stellt die häufigste Verteilung der Dichtemaxima dar. Die zirkuläre, randständige Verteilung des Dichtemaximums ähnelt einer kreisförmigen oder o-förmigen Verteilung. Die zweite Gruppe unterbricht die o-Form nach lateral und wird daher als lateral offen bzw. u-förmig beschrieben. Ähnlich ist es bei der dritten Gruppe. Jedoch wird die o-Form hier nach medial unterbrochen und somit bilden diese Fossae mandibulares den Typ nach medial offen oder umgekehrt u-förmig. Die vierte Gruppe hat ihr Dichteminimum nach anterior und entspricht somit einer c-förmigen Verteilung des Dichtemaximums. Die fünfte Gruppe weist hingegen posterior, zum Gehörgang hin, die geringste Dichte auf und wird daher als nach posterior offene Form bzw. ungekehrt c-förmig beschrieben.



I. zirkulär oder o-förmig

22 der 45 Fossae mandibulares weisen zirkulär die höchste Dichte auf. Im zentralen Bereich der Fossae mandibulares sind die geringsten Dichteanteile zu finden. Folgende Präparate haben diese so genannte O-Form: 07, 12, 13, 17, 18, 21, 24, 27, 28, 30, 31, 32, 34, 36, 38, 42, 46, 48, 50, 56, 57, 62. **Dies entspricht ca. 48,9% aller untersuchten Präparate.**

Das kreisförmige Dichtemaximum ist stellenweise unterbrochen von weniger dichten Abschnitten. Zentral ist die geringste Dichte zu finden.

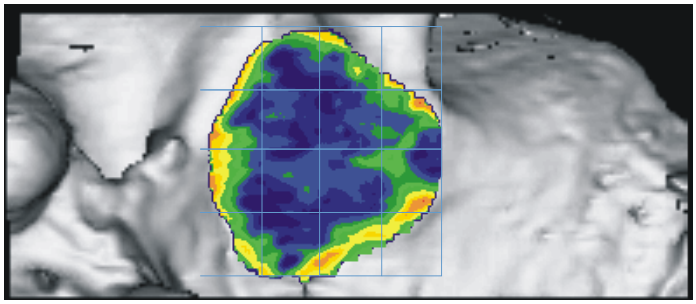
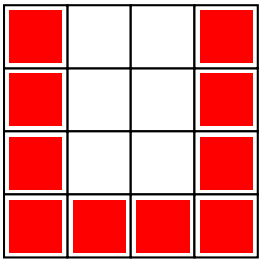


Abbildung 31: Präparat 12 mit einem zirkulären Dichtemaximum



II. nach lateral offen oder u-förmig

Zwei der Präparate haben eine u-förmige Verteilung der Dichtemaxima. Zentral und nach lateral hin ist die geringste Dichte zu finden. Dies sind 01 und 10, somit ca. 4,4%.

Das nach lateral geringste Dichtevorkommen ist begleitet von einem medial flächigem Dichtemaximum, welches fast bis zum Zentrum reicht.

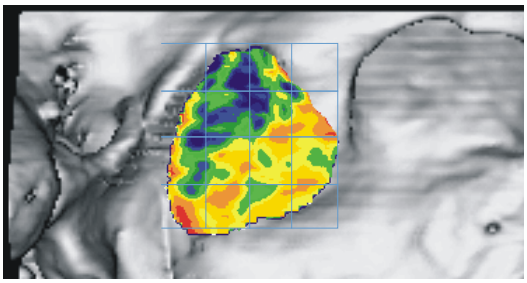
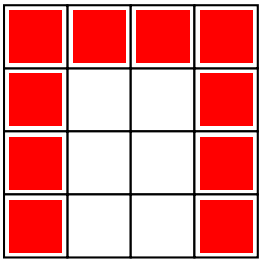


Abbildung 32: Präparat 01 mit einem lateralen Dichteminimum



III. nach medial offen oder umgehrt u-förmig

10 der Fossae mandibulares bzw. ca. 22,2% zeigen zentral und nach medial hin die geringste Dichte. Man teilt sie deshalb in die umgekehrte U-Form ein. Folgende Präparate fallen darunter: 15, 16, 22, 25, 33, 37, 39, 41, 52, 55.

Bei der nach medial offenen Form ist das halbkreisförmige Dichtemaximum lateral wie bei der O-Form stellenweise unterbrochen.

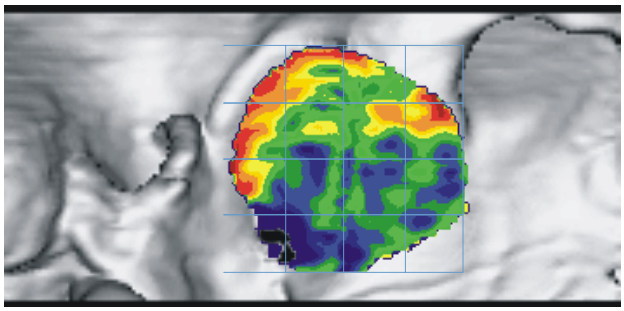
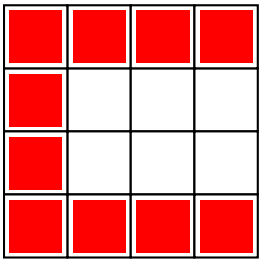


Abbildung 33: Präparat 55 mit einem medialen Dichteminimum



IV. nach anterior offen oder c-förmig

9 von 45 bzw. ca. 20,0% weisen ein zentrales und anterior liegendes Dichteminimum auf. Diese Anordnung ist bei 04, 14, 19, 20, 29, 40, 54, 58 und 59 zu finden.

Zum Gehörgang hin, sowie medial ist ein Dichtemaximum zu erkennen, welches sich nach anterior zieht.

Bei diesem Präparat zieht streifenförmig ein Abschnitt erhöhter Dichte nach zentral hin, wobei im Zentrum selbst ein absolutes Dichteminimum festzustellen ist.

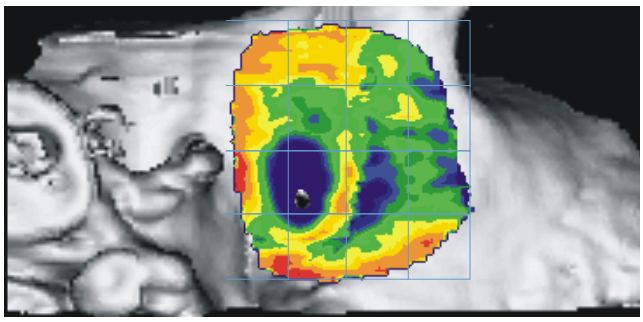
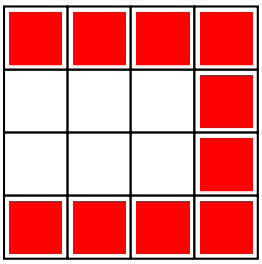


Abbildung 34: Präparat 59 mit einem anterioren Dichteminimum



V. nach posterior offen oder umgekehrt c-förmig

2 Präparate oder 4,4% haben ihr Dichteminimum zentral und posterior. Dies sind die Präparate 06 und 60.

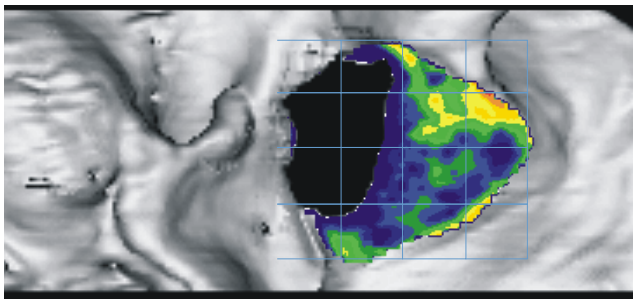


Abbildung 35: Präparat 06 mit einem posterioren Dichteminimum

Die umgekehrte C-Form hat ihr Dichtemaximum beim Jochbein und im medialen Anteil der Fossa. Das Dichteminimum liegt bei diesem Präparat eindeutig posterior zum Gehöhrgang hin sowie im zentralen Bereich.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass bei den 45 Fossae mandibulares ein zentrales Dichteminimum zu finden ist. Mit 48,9 % bzw. 22 Präparaten ist das zirkuläre Dichtemaximum die häufigste auftretende Form der Dichteverteilung. Die zweithäufigste Form ist medial offen mit 22,2%, bzw. 10 Präparate zeigten diese Form der Dichteverteilung. 9 Präparate bzw. 20,0% weisen die anterior offene Form auf und nur je zwei Präparate bzw. je 4,4% weisen die lateral offene Form bzw. die posterior offene Form auf.

3.4 Vergleichende Ergebnisse

3.4.1 Korrespondierende Gelenkflächen

Zunächst werden die Kieferköpfchen mit den zugehörigen Fossae mandibulares bezüglich der Lokalisation der Mineralisierungsmaxima verglichen. Dabei ergibt sich folgendes Verteilungsmuster:

KK\FM	zirkulär o-Form	lateral offen u-Form	medial offen n-Form	anterior offen c-Form	posterior offen umgekehrt c-Form
anterior	17 (37,78%)	1 (2,22%)	7 (15,56%)	7 (15,56%)	2 (4,44%)
zentral	2 (4,44%)	1 (2,22%)	1 (2,22%)	1 (2,22%)	0 (0%)
zentro-anterior	3 (6,67%)	0 (0%)	2 (4,44%)	1 (2,22%)	0 (0%)

Tabelle 4: Verteilungshäufigkeit d. Kombinationen von Kieferköpfchen- und jeweils zugehörigem Pfannentyp in Anzahl und Prozent

Man stellt fest, dass die Kombination anteriores Dichtemaximum bei den Kieferköpfchen mit zirkulärem randständigem Dichtemaximum (o-Form) bei den Fossae mandibulares mit 37,78 % die häufigste Form darstellt.

Die zweithäufigste Form stellen die Kombinationen aus anteriorem Dichtemaximum bei den Kieferköpfchen und medial offener Form (n-Form) bzw. anterior offener Form (c-Form) mit jeweils 15,56% dar. Bei der Fossa mandibularis ist die nach lateral offene Form (u-Form) mit nur 2,2% am wenigsten häufig anzutreffen. Dies bedeutet, dass lateral an der Fossa meist ein Dichtemaximum zu finden ist.

3.4.2 Mineralisierungsstatus

Es wird die durchschnittliche Kalziumkonzentration bei Fossa mandibularis und Kieferköpfchen ermittelt, sowie ein Vergleich zwischen männlichen und weiblichen Präparaten durchgeführt. Man kommt zu folgendem Ergebnis:

Ca-Konzentration	männlich	weiblich	gesamt
Kieferköpfchen	723,53 (SA 84,23)	700,55 (SA 84,21)	711,28 (SA 84,06)
Fossa mandibularis	1184,49 (SA 130,71)	999,60 (SA 172,39)	1085,88 (SA 178,89)

Tabelle 5: durchschnittliche Kalzium-Konzentration bei männlichen und weiblichen Präparaten, sowie im Gesamtdurchschnitt in mg/ml, in Klammern die Standardabweichung.

Es ist festzustellen, dass bei den 21 männlichen Präparaten die Fossae mandibulares eine höhere Kalzium-Konzentration vorliegt als bei den 24 weiblichen, bei den Kieferköpfchen lässt sich kein signifikanter Unterschied feststellen, lediglich eine Tendenz zur höheren Mineralisierung bei den männlichen Präparaten. So haben die männlichen Kieferköpfchen durchschnittlich eine Kalziumkonzentration von 723,53 mg/ml, die weiblichen 700,55 mg/ml. Die männlichen Fossae mandibulares haben mit 1184,49 mg/ml im Vergleich zu den weiblichen Fossae mandibulares mit durchschnittlich 999,60 mg/ml einen deutlich höheren Wert.

Weiterhin stellt man fest, dass die Mineralisierung der Fossa mandibularis mit durchschnittlich 1085,88 mg/ml deutlich höher ist als die Mineralisierung des Kieferköpfchens mit durchschnittlich 711, 28 mg/ml.

Boxplots:

Die Höhe der Kalziumkonzentration in mg/ml wird bei männlichen, weiblichen und gesamten Präparaten, nach Kieferköpfchen und Fossa mandibularis getrennt, in Boxplot Diagrammen dargestellt.
Die Box stellt dabei den Interquartilbereich mit 50% der Werte dar. Die von der Box ausgehenden Linien (Streubreite) führen jeweils bis zum höchsten und niedrigsten Wert ohne Ausreißer zu berücksichtigen. Die quer über die Box gelegene Linie gibt die Lage des Medians wieder.

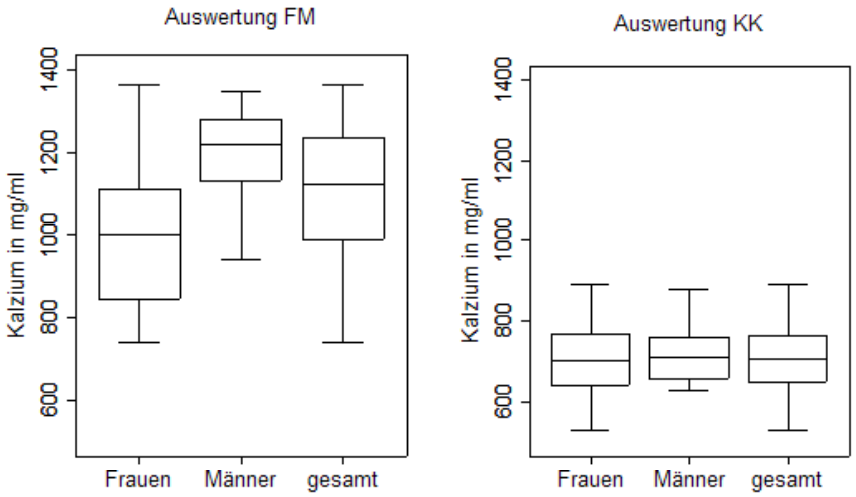


Abbildung 36: Boxplotdarstellung der Kalziumkonzentration von Fossa mandibularis (FM) und Kieferköpfchen (KK).

Die Boxplot-Darstellung verdeutlicht, dass die Kalziumkonzentration der subchondralen Schicht bei den Fossae mandibulares höher ist als bei den Kieferköpfchen. Weiterhin wird deutlich, dass die Kalziumkonzentration bei den männlichen Präparaten der Fossae mandibulares höher ist, bei den Kieferköpfchen lässt sich kein signifikanter Unterschied feststellen. Die Streubreite ist bei weiblichen Präparaten größer als bei männlichen. Ausreißer sind bei den männlichen Fossae mandibulares und bei der Kieferköpfchenauswertung bei der Gesamtgruppe und der Gruppe der Männer zu finden.

	Auswertung FM			Auswertung KK		
	Frauen	Männer	gesamt	Frauen	Männer	gesamt
oberer Zaun	1363	1348	1363	890	876	890
Quartil 75%	1109	1279	1234	765	756	762
Median	1001	1220	1124	700	709	705
Quartil 25%	850	1132	993	639	660	646
unterer Zaun	739	941	739	527	625	527

Tabelle 6: Statistische Daten der Boxplot-Darstellung für Kieferköpfchen (KK) und Fossae mandibulares (FM) mit Medianwerten, oberem und unteren Zaun und Quartilen.

Mit Hilfe der Boxplot Darstellung soll ein Überblick über die Kalziumkonzentration aufgeteilt nach Geschlecht gegeben werden. Der dabei angezeigte Median, der Interquartilabstand und die Streubreite lässt in übersichtlicher, graphischer Darstellung die Kalziumkonzentration mit anderen Gruppen vergleichen.

Regressionsanalyse:

Bei statistischer Auswertung mit dem Programm Statistiklabor fiel auf, dass die Kalziumkonzentration der Präparate mit steigendem Alter abnimmt. Dies ist sowohl bei männlichen als auch bei weiblichen Präparaten der Fall, wobei die Abnahme der Kalziumkonzentration mit zunehmendem Alter bei den Fossae mandibulares (FM) ausgeprägter ist.

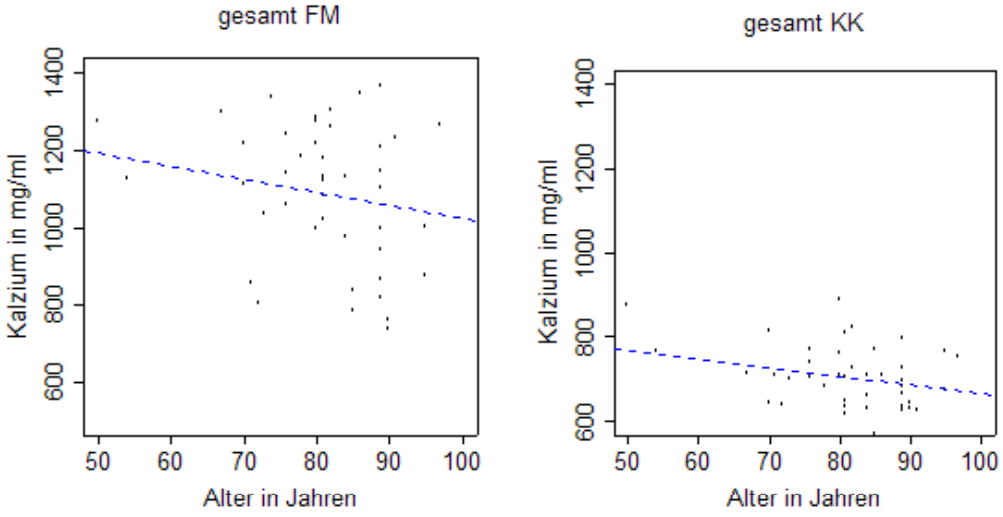


Abbildung 37: Streudiagramm mit Tendenzline der Kalzimkonzentration mit zunehmendem Alter

Die Abbildungen zeigen, dass die Tendenzlinie der Kalziumkonzentration mit zunehmendem Alter bei der Fossa mandibularis von ca. 1200 mg/ml auf ca. 1000 mg/ml, beim Kieferköpfchen von ca. 770 mg/ml auf ca. 650 mg/ml sinkt.

Das Verhältnis der Kalziumkonzentration von Fossa mandibularis und Kieferköpfchen ist bei den männlichen Präparaten mit 1,65 höher als bei den weiblichen Präparaten. Daraus lässt sich schließen dass, die Fossae der männlichen Präparate bezüglich der männlichen Kieferköpfchen deutlich höher mineralisiert sind als die Fossae der weiblichen Präparate im Verhältnis zu den zugehörigen Kieferköpfchen.

Tabelle 7 und Abbildung 38 veranschaulichen das Verhältnis der Kalziumkonzentration von Fossa mandibularis zu Kieferköpfchen bei männlichen und weiblichen Präparaten, sowie bei allen Präparaten.

Verh.FM/KK	alle	männlich	weiblich
	1,53	1,65	1,43
	0,23	0,18	0,22

Tabelle 7: Verhältnis der Kalziumkonzentration FM/KK

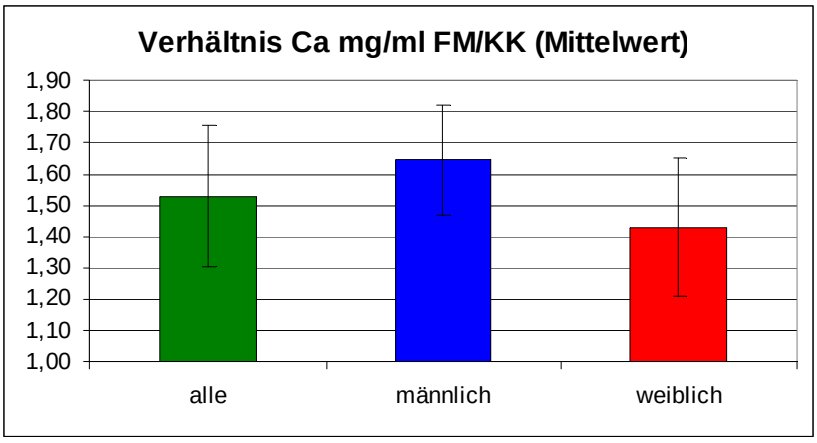


Abbildung 38: Mittelwerte für das Verhältnis der Kalziumkonzentration von Fossa mandibularis zu Kieferköpfchen in mg/ml

Das Verhältnis der Kalziumkonzentration von Fossa mandibularis und Kieferköpfchen beträgt bei allen Präparaten 1,53 (SA:0,23). Daraus lässt sich schließen, dass die Kalziumkonzentration der Fossa mandibularis höher ist als die des Kondylus.

Bei männlichen Präparaten errechnet sich ein Verhältnis von 1,65 (SA:0,18), bei weiblichen Präparaten 1,43 (SA:0,22). Somit ist das Verhältnis bei männlichen Präparaten weitaus größer. Dies bedeutet, dass hier ein größerer Unterschied in der Mineralisierung von Fossa mandibularis und Kieferköpfchen vorliegt, als es bei den weiblichen Präparaten der Fall ist.

Zusammenfassend kann man folgende Aussagen treffen:

1. **Die Fossae mandibulares (FM) weisen eine deutlich höhere Mineralisierung auf als die Kieferköpfchen (KK).**
2. **Interindividuell gibt es große Unterschiede in der Mineralisierung, sowohl bei den Kieferköpfchen als auch bei den Fossae mandibulares.**
3. **Männliche Präparate sind durchschnittlich bei beiden Gelenkflächen höher mineralisiert als weibliche.**
4. **Das Verhältnis der Kalziumkonzentration FM/KK ist bei männlichen Präparaten im Durchschnitt höher,** d.h. die männlichen Fossae mandibulares sind deutlich höher mineralisiert als die männlichen Kieferköpfchen bzw. der Unterschied in der Mineralisierung der weiblichen Fossae mandibulares und Kieferköpfchen ist geringer.

4 Diskussion

4.1 Diskussion des Materials

Alle Präparate stammen aus dem anatomischen Präparierkurs (Kopfkurs 2005). Die Kiefergelenke sind von Individuen entnommen, die das 48. Lebensjahr überschritten haben. Das „jüngste“ Präparat stammt von einer 48 jährigen Frau, das „älteste“ Präparat von einem 97-jährigen Mann. Der größte Teil stammt von Personen mit einem Alter zwischen 70 und 90 Jahren. Eine derartige Altersverteilung ist durch die Herkunft der Präparate vorgegeben und mit Kollektiven anderer Untersuchungen vergleichbar. So verwendet Klesper in seiner Arbeit über die funktionelle Struktur des Kiefergelenks, bei einer Fallzahl von insgesamt 65, Präparate mit einer Altersverteilung von 35 bis 95 Jahren, wobei auch hier der größte Teil zwischen 70 und 90 Jahren liegt (Klesper et al., 1989).

4.2 Diskussion der Methode

Pauwels führt 1955 die Spannungsoptik in die biomechanische Forschung ein und ermöglicht dadurch Experimente zum funktionellen Bau des Knochens (Pauwels, 1955). Das Prinzip der Spannungsoptik besteht darin, ein anatomisches Präparat aus Kunstharz nachzuempfinden und mit polarisiertem Licht zu durchstrahlen. Die sich daraus ergebenden regenbogenartigen Streifen, Isochromaten, lassen auf die Belastungssituation rückschließen. Spannungsoptische Versuche am Unterkiefer werden erstmals von Küppers (1971) durchgeführt.

Knief verwendete 1967 die Röntgendensitometrie zur Quantifizierung, der durch die Spannungsoptik gewonnenen Ergebnisse. Hierbei wird bei Röntgenaufnahmen die unterschiedliche Durchdringbarkeit bei unterschiedlicher Dichte des Präparates genutzt. Die dadurch verbundenen Absorptionsunterschiede und unterschiedliche Schwärzung des Röntgenfilms lässt eine Aussage über die lokale Materialmenge zu. Klesper (1989) nutzt die Methode der Densitometrie in seiner Arbeit über das Kiefergelenk und kommt zu

quantitativen Aussagen der Dichtemaxima beim Kiefergelenk.
Die CT-OAM Methode ist eine neue Möglichkeit, die subchondrale Schicht bei Gelenken darzustellen. Müller-Gerbl hat die physikalischen Grundlagen und die Validität der Methode ausführlich beschrieben (Müller-Gerbl, 1998)]. Im Vergleich zur Röntgendensitometrie ist die CT-OAM auch in vivo anwendbar, nicht invasiv und ermöglicht durch die dreidimensionale Rekonstruktion einen Vergleich der subchondralen Mineralisierungsmuster von Gelenkflächen. Durch die hohe Verfügbarkeit von Computertomographen bietet die CT-OAM Methode breite Anwendungsmöglichkeiten in der klinischen Forschung. Als ein Nachteil kann bei der CT-OAM Methode der relativ hohe Zeitaufwand angesehen werden, welcher für die Durchführung der CT-osteoabsorptiometrischen Untersuchung nötig ist. Bei in vivo Untersuchung stellt die Strahlenbelastung für die Patienten einen weiteren Nachteil dar.

Bisher wird die CT-OAM Methode z.B. für die Untersuchung der Wirbelsäule (Wagner, 2004), des Hüftgelenks (Stampfer, 2001) und der Fuß- (Kersting, 2000) und Handgelenke (Nöbauer, 2002) verwendet. Beim Kiefergelenk kommt diese Methode zum ersten Mal zur Anwendung, weshalb eine erste Festlegung der Grenzen der Gelenkflächen nötig ist. Dies gestaltet sich bei einigen Präparaten als schwierig. Bei der Rekonstruktion der Gelenkflächen muss darauf geachtet werden, dass es zu keinen Überlagerungen von subchondralen Schichten bei starker Krümmung des Gelenkes kommt, da die Dichtekonzentration sich bei Überlagerung summiert und somit zu einem falschen Ergebnis führen kann. D.h. die Krümmung der Gelenkflächen wird bei der Betrachtung der Mineralisierungswerte nicht berücksichtigt und die Auswertung erfolgt nur zweidimensional.

Die CT-Datensätze werden in sieben Einzelscans von jeweils 5-10 Präparaten gleichzeitig erstellt. Dabei wird immer dieselbe Einstellung am CT gewählt, um Vergleichbarkeit zu gewährleisten.

Die Isolation der Gelenkflächen des Kiefergelenks ist durch den Gelenkspalt, welcher je nach Gelenk mehr oder weniger ausgeprägt ist, eindeutig durchzuführen. Bei einigen Präparaten ist die Bestimmung des Gelenkspaltes nicht eindeutig, was auf arthrotische Veränderungen der Gelenke hinweist.

Die visuelle Analyse der Densitogramme, welche zu einer Einteilung in Gruppen für die

Dichtemaxima von Fossa und Kondylus führt, ist subjektiv und vom jeweiligen Betrachter abhängig. Daher wird durch Anlegen eines auf die Größe der jeweiligen Gelenkfläche angepassten Rasters die Mineralisierungsmaxima standardisiert und vergleichbar gemacht. Die Identifizierung der Dichtemaxima fällt durch die Belegung mit Falschfarben relativ leicht. Zusätzlich wird eine Analysemethode gewählt, welche vom Untersucher unabhängige Ergebnisse liefert, indem die Kalziumkonzentration der jeweiligen Gelenkfläche berechnet wird.

4.3 Diskussion der Ergebnisse

Alter:

Bei der statistischen Auswertung fällt auf, dass bei Kieferköpfchen und Fossa mandibularis die Kalzimkonzentration mit zunehmendem Alter geringer wird. Dies lässt sich einerseits auf die allgemeine Abnahme des Kalziumgehaltes im alternden Knochen aufgrund hormoneller Faktoren zurückführen (Leichter et al., 1981), (Steiger et al., 1992). Andererseits ist es möglich, dass mit zunehmendem Alter das Kiefergelenk nicht mehr so stark beansprucht wird, da weniger gekaut und weichere Kost gegessen wird. Weniger Belastung hat Einfluss auf die Knochendichte, d.h. die Knochendichte verringert sich mit abnehmender Belastung (Goodship et al., 1979).

Geschlechtervergleich:

Vergleicht man die Mineralisierungswerte der subchondralen Schichten bei männlichen und weiblichen Kiefergelenken, so fällt auf, dass die Fossae mandibularis der weiblichen Präparate weitaus weniger stark mineralisiert sind als männliche. Bei den Kieferköpfchen lässt sich kein signifikanter Unterschied in der Mineralisierung feststellen. In diesem Zusammenhang ist die Studie von Dewire (1996) über die Dicke der subchondralen Lamelle bei Primatenhüften als hinweisgebend. Dewire findet unter anderem heraus, dass die Dicke der subchondralen Lamelle positiv mit der Körpergröße bzw. der Körpermasse korreliert. Diese Ergebnisse entsprechen der in dieser Arbeit gefundenen höheren Mineralisierung der

subchondralen Schicht bei männlichen Fossae mandibularis.
Die Unterschiede bei der Mineralisierung der männlichen und weiblichen Kiefergelenke lassen sich auch dadurch begründen, dass die Bezahnung von weiblichen und männlichen Präparaten nicht identisch ist. So sind deutlich mehr weibliche Präparate unbezahnt als männliche.

Vergleicht man das Verhältnis der Mineralisierung bei Fossae mandibulares und Kieferköpfchen FM/KK, so ergibt sich, dass dieses Verhältnis bei den männlichen Präparaten deutlich größer ist. Dies bedeutet, dass der Unterschied der Mineralisierung bei den Gelenkflächen bei weiblichen Präparaten kleiner ist und die Fossae mandibulares der männlichen Präparate im Vergleich zu den weiblichen weitaus höher mineralisiert sind als die Kieferköpfchen.

Zahnstatus:

Werner (1991) stellt in seiner Arbeit über die funktionale Anatomie des Kiefergelenks fest, dass die auf ein Kiefergelenk ausgeübte Kraft abhängig von dem Gebisszustand der jeweiligen Person ist. Dies bedeutet, dass die Bisssituation und Okklusion Einfluss auf die Belastung am Kiefergelenk haben (Iwata et al., 1981). Die Okklusion, bestimmt die Lage der Kondylen in der Fossa mit.

Korioth (1990) untersucht die Belastung auf die Kondylen beim asymmetrischen Zubeißen. Er kommt zu dem Ergebnis, dass bei Änderung des Winkels der Zubeißkraft der Zähne, ein großer Einfluss auf die Kraft ausgeübt wird, die auf die Kondylen wirkt.
In einer späteren Arbeit beschreibt Korioth (1994), dass die Kondylen belastet sind, wobei die Kieferköpfchen vor allem beim Zusammenbeißen in Interkuspidation und inzisalem Zusammenbeißen belastet werden. Bei unilateralem Zusammenbeißen entsteht eine erhöhte Krafteinwirkung auf den Kondylus der Balanceseite.
Die Ergebnisse dieser Autoren verdeutlichen den Zusammenhang von Zahnstatus und Belastung des Kiefergelenks.

Mehr als die Hälfte der Präparate dieser Untersuchung weist eine Bezahnung auf, wobei

männliche Präparate weniger oft zahnlos sind als weibliche. Dies kann unter anderem daran liegen, dass die weiblichen Präparate durchschnittlich über 3 Jahre älter sind als die männlichen. Über die Versorgung mit Prothesen lässt sich keine Aussage treffen, da diese nicht mehr vorhanden sind. Es wird angenommen, dass die zahnlosen Kiefer mit Totalprothesen versorgt sind. Fraglich ist jedoch wie häufig dieser Ersatz getragen und eingesetzt wurde. Inwieweit die Kaufunktion der Präparate zu Lebzeiten vorhanden war, lässt sich nicht mehr feststellen.

Unterschiede in der Gesamtmineralisierung:

Bei der Untersuchung der Gesamtmineralisierung stellt man fest, dass die Fossae mandibulares deutlich höher mineralisiert sind als die Kieferköpfchen. In diesem Zusammenhang ist die Studie von Simkin (1980) hinweisgebend. Er untersucht die Unterschiede von konvexen und konkaven Seiten eines Gelenkes. Dabei kommt er zu dem Ergebnis, dass die subchondrale Schicht der konkaven Seite eines Gelenkes deutlich dicker ist als die konvexe Seite. Weiterhin findet er heraus, dass die konvexen Anteile druckbelastet sind, die konkaven Anteile zugbelastet. Da die Druckfestigkeit des Knochens im Verhältnis 3:2 größer ist als seine Zugbelastung (Lohmann, 2005), erfordern die in der Gelenkpfanne auftretenden Zugspannungen eine dickere und steifere Konstruktion. Die, beim Gelenkkopf auftretenden Druckspannungen werden durch eine höhere Compliance (Elastizität, Nachgiebigkeit) und Architektur des Gelenkkopfes anders verteilt als in der Gelenkpfanne. Die Ergebnisse Simkins sind mit den in dieser Studie gewonnenen Ergebnisse vereinbar, da die subchondrale Schicht der Fossa mandibularis (konkave Seite) deutlich höher mineralisiert ist als die des Kieferköpfchens (konvexe Seite).
Chen (1998) untersucht die Druckbelastung beim menschlichen Kiefergelenk bei Kieferschluss mit Hilfe der FEA-Methode (finite element analysis) und stellt fest, dass am Kieferköpfchen vorwiegend Druckkräfte auftreten, wohingegen bei der Fossa mandibularis Zugkräfte wirken. Somit wird das Ergebnis Simkins, was die einwirkende Druckkraft beim Gelenkkopf und Zugkraft der Gelenkpfanne betrifft, auch für das Kiefergelenk bestätigt.

Lokalisation der Maxima:

Pauwels (1973) und Kummer (1985) setzten sich in ihren Arbeiten mit dem Zusammenhang von mechanischer Beanspruchung des Knochens und reaktiven Umbauvorgängen bzw. der daraus folgenden Dichtevergrößerung auseinander. Eine funktionelle Anpassung des Knochens an erhöhte oder verminderte Belastung ist festzustellen, welche sich nach Kummer innerhalb bestimmter physiologischer Grenzen befindet. So finden im Knochen Umbauvorgänge statt, welche sich nach der Höhe der Belastung richten.
Nimmt man diese Erkenntnisse als Grundlage für die Beanspruchungssituation der untersuchten Kiefergelenke, so bedeutet dies, dass die Kieferköpfchen vorwiegend im anterioren Bereich die größte Belastung erfahren, da hier die Dichte am größten ist. Bei den Fossae mandibulares bedeutet dies, dass die Belastung zirkulär, randständig am größten ist, wobei sich im Zentrum der Pfanne durch die geringe Dichte nur eine geringe Belastung vermuten lässt.

Kieferköpfchen:

Bei den Kieferköpfchen liegt das Dichtemaximum der subchondralen Schicht am häufigsten im anterioren Abschnitt. Eine mögliche Erklärung für diese Dichteverteilung ist die Theorie, dass der Wendepunkt bei Mundöffnungsbewegungen am dorsalen Abhang des Tuberculum articulare zu finden ist (Kubein et al., 1983) und eine sogenannte Dreh-Gleitbewegung bei Mundöffnung stattfindet. Das heißt, bei initialer Mundöffnung rotiert das Kieferköpfchen um eine Achse, wobei der Wendepunkt nach anterior gerichtet ist. Bei weiterer Mundöffnung geht die Bewegung in eine Translation über, wobei das Kieferköpfchen mit dem Diskus nach anterior gleitet. Bei der Rotationsbewegung verschiebt sich der Tragflächenbereich auf dem Kieferköpfchen entgegen der Unterkieferrotation nach kranial. Bei der Translations-bewegung, welche bei weiterer Mundöffnung in eine Protrusionsbewegung übergeht bleibt der Belastungsbereich, als superior-anterior gelegene Tragfläche, gleich (Klesper et al., 1989). Dies bedeutet, dass bei Mundöffnungsbewegung das Kieferköpfchen nur über einen kleinen Bereich der Oberfläche belastet wird und dieser Bereich die gesamte Druckbelastung aufnimmt. Die Ergebnisse dieser Untersuchung bestätigen diese Annahme, da die Dichtemaxima der Kieferköpfchen anterior punktuell oder streifenförmig (von medial

nach lateral) zu finden sind.

Klesper (1989) kommt bei seinen densitometrischen Untersuchungen ebenfalls zu dem Schluss, dass die Kondylen vor allem im anterioren Bereich belastet werden. Dies kann man mit den von uns gewonnenen Ergebnis bestätigen. Desweiteren unterscheidet Klesper in einer Untergruppe Präparate mit einer höheren Dichte am Ansatzpunkt des M. pterygoideus lateralis. Diese Untergruppe kann bei den von uns untersuchten Präparaten nicht festgestellt werden. Dies mag daran liegen, dass Klesper im Kieferköpfchenbereich auch weiter nach rostral-kaudal gelegene Anteile untersucht, und in dieser Studie nur die subchondrale Schicht des Kieferköpfchens berücksichtigt wird.

Hu (1997) untersucht die Druckverteilung an Kieferköpfchen und kommt zu dem Ergebnis, dass im anterioren Bereich des Kondylus die höchste Druckbelastung vorhanden ist. Dies bestätigt die Ergebnisse dieser Studie.

Zahlreiche Untersuchungen weisen darauf hin, dass das Kiefergelenk lateral am stärksten belastet ist. Reyer (1991) stellt fest, dass lateral am Kondylus am häufigsten Arthrosen auftreten, was auf eine verstärkte Belastung im lateralen Abschnitt schließen lässt. Dies wird von den Untersuchungen Werners (1991) bestätigt. Er untersucht 128 Kiefergelenke mit der Äquidensitometrie-Methode und kommt zu dem Ergebnis, dass am Kieferköpfchen von medial nach lateral eine Dichtezunahme der subchondralen Schicht feststellbar ist. Weiterhin stellt er fest, dass arthrotische Veränderungen zu 80 % im lateralen Abschnitt des Kiefergelenks zu finden sind. Eine mögliche Ursache für die laterale Belastung am Kiefergelenk mag die Laterotrusionsbewegung beim Kauen sein. Hierbei spricht man von einer Bennet-Bewegung (Körber, 1985) auf der Arbeitsseite. Öberg (1971) findet heraus, dass in der Mehrzahl der Fälle der Kondylus auf der lateralen Seite höher liegt als auf der medialen Seite. Dies führt zu einer erhöhten Belastung auf der lateralen Seite und tritt vermehrt bei Verlust der Stützzone bzw. von Molaren auf. In dieser Studie weist der Zahnstatus der untersuchten Präparate darauf hin, dass die Mehrzahl keine ausreichende Abstützung im Molarenbereich hatte. Die Mineralisierungsmuster der Kieferköpfchen widersprechen der Annahme einer lateralen Belastung nicht. 22 der untersuchten 45 Kieferköpfchen haben ein Dichtemaximum, welches unter anderem lateral zu finden ist. Beek (2000) untermauert die Theorie der lateralen Belastung mit seiner Untersuchung des

Diskus und dem Ergebnis, dass die höchste Druckbelastung im lateralen Abschnitt zu finden war.

Fossa mandibularis:

Einige Autoren sprechen von einer Lastfreiheit des Kiefergelenks, welches durch die Morphologie der Fossa mandibularis begründet wird. Häupl (1961), Puff (1963) und Klesper (1989) nehmen die sogenannte Pergamentpfanne, das papierdünne Pfannendach, als Beweis für die Druckfreiheit im Zentrum der Fossa mandibularis. Die Lastfreiheit im Zentrum der Fossa mandibularis kann in dieser Arbeit bestätigt werden, da hier in der subchondralen Schicht die geringste Dichte feststellbar ist.

Nach Kubein et al. (1983) steht das Kieferköpfchen unter physiologischen Bedingungen nicht in der Mitte der Gelenkgrube, sondern richtet sich zum dorsalen Abhang des Tuberculum articulare. Dies mag auch eine mögliche Erklärung dafür sein, warum bei traumatischer Einwirkung auf die Mandibula nur selten eine zentrale Luxation mit Fraktur der mittleren Schädelbasis, sondern meist eine Collumfraktur der Fall ist.

Nach Molitor (1969) ist das Kiefergelenk dann lastfrei, wenn die Muskelresultierende der vier großen Kaumuskeln umgekehrtes Vorzeichen, aber gleichen Hebelarm und gleiche Wirkungslinie wie die Kaukraft hat. Diese Muskelkombination ist bei geschlossenem Mund möglich, jedoch bei maximal geöffnetem Mund nicht mehr feststellbar. Somit kann das Kiefergelenk bei normalen Artikulationsbewegungen lastfrei sein, was die Lastfreiheit im Zentrum der Fossa mandibularis bestätigt.

Werner (1991) kommt wie oben genannt unter anderem zu dem Ergebnis, dass das Kiefergelenk und im speziellen auch die Fossa mandibularis von medial nach lateral eine Zunahme der Dichte erkennen lässt. Vergleicht man diese Erkenntnis mit der Mineralisierungsverteilung der untersuchten Fossae in dieser Studie, so kann von einer Übereinstimmung ausgegangen werden. Nur 2 der untersuchten 45 Präparate weisen im lateralen Abschnitt ein Dichteminimum auf. 43 der Präparate haben somit unter anderem ein Dichtemaximum im lateralen Bereich.

Tanaka (2004) kommt bei seinen Untersuchungen zu dem Ergebnis, dass die mediale Fläche zum Kieferköpfchen hin die höchste Druckbelastung aufweist, wohingegen die laterale Fläche zur Fossa hin die höchste Druckbelastung aufweist. Dies widerspricht nur zum Teil den Ergebnissen Werners (1991), welcher im gesamten Kiefergelenk eine lateral betonte Belastung feststellt.

Bei der Fossa mandibularis gibt es einige anatomische Einflussfaktoren, die die zirkulären, randständigen Dichtemaxima erklären. So ist sie einbezogen in die Schädelbasis. Nach lateral strahlen Anteile der Jochbeinregion ein und nach posterior das Mastoid. Diese anatomischen Strukturen nehmen Einfluss auf die Dichte im jeweiligen Gebiet. Dabei muss beachtet werden, dass die Ausprägung der Fossa mandibularis interindividuell verschieden ist (siehe spezielle Einleitung). Die Form der Fossa mandibularis reicht in der Horizontalebene von rund-oval bis nierenförmig und ist sogar im rechts-links Vergleich unterschiedlich. In der Sagittalebene gibt es ebenso Unterschiede im rechts-links Vergleich als auch in der Ausprägung des Tuberculum articulare. Dies weist darauf hin, dass je nach Ausdehnung der Fossa interindividuelle Unterschiede bestehen, was den Einfluss von Nachbarstrukturen auf die Dichte betrifft.

5 Zusammenfassung

Das Kiefergelenk ist für unser tägliches Leben, besonders bei Funktionsverlust oder Funktionseinschränkung, von zentraler Bedeutung. Eine Erforschung der Ursachen bzw. von Therapiemöglichkeiten dieser Funktionsstörungen ist daher von großem Interesse für die medizinische Forschung.

Mit der CT-OAM (Computertomogramm-Osteoabsorptiometrie) steht eine neue Methode zur Verfügung, um die subchondrale Schicht von Gelenken zu untersuchen. Die Verteilung und die Höhe der subchondralen Mineralisierung dient hierbei als morphologisches Äquivalent der Langzeitbeanspruchung von Gelenken.

Ziel dieser Studie war die Darstellung der individuellen Dichtemuster beim Kiefergelenk und die Ermittlung der Höhe der Mineralisierung der Gelenkflächen, um Aufschluss über die Beanspruchungssituation im Kiefergelenk zu gewinnen.

Zu diesem Zweck wurden 45 Kiefergelenke männlicher und weiblicher Präparate untersucht. Mit Hilfe der CT-OAM wurde die subchondrale Mineralisierung der Gelenkflächen von Fossa mandibularis (FM) und Kieferköpfchen (KK) ermittelt und in standardisierten kartographischen Ansichten die Lage der Dichtemaxima dargestellt.

Die Kalziumkonzentration bei Fossa mandibularis war bei männlichen Präparaten durchschnittlich höher als bei weiblichen. So betrug die durchschnittliche Kalziumkonzentration der Fossae mandibulares bei den männlichen Präparaten 1184,49 mg/ml, bei den weiblichen Präparaten hingegen nur 999,60. Bei den Kieferköpfchen ließ sich kein signifikanter Unterschied feststellen, lediglich eine Tendenz zur höheren Mineralisierung bei den männlichen Präparaten. So betrug die durchschnittliche Kalziumkonzentration der Kieferköpfchen bei den männlichen Präparaten 723,53 mg/ml, bei den weiblichen 700,55 mg/ml. Diese Unterschiede hängen damit zusammen, dass die Dicke der subchondralen Lamelle positiv mit der Körpergröße bzw. der Körpermasse korreliert (Dewire, 1996).

Weiterhin war festzustellen, dass das Verhältnis der Mineralisierung von Fossa mandibularis zu Kieferköpfchen bei männlichen Präparaten größer ist als bei weiblichen. Dies bedeutet, dass die männliche Fossa mandibularis im Vergleich zu den Kieferköpfchen deutlich höher mineralisiert ist als die weibliche.

Die Kalizumkonzentration bei den Fossae mandibulares (ca. 1085,88mg/ml) war deutlich höher als die der Kieferköpfchen (ca. 711,28mg/ml). Dies liegt an der Form der

Gelenkflächen, welche man als konvex (KK) und konkav (FM) bezeichnen kann. Bei konvexen Anteilen liegt meist ausschließlich eine Druckbeanspruchung im Gelenk vor, wohingegen bei konkaven Anteilen zusätzlich eine Zugbeanspruchung vorhanden ist. Diese Zugbeanspruchung führt zu einer dickeren Konstruktion (Simkin, 1980).
Weiterhin war zu beachten, dass die Kalziumkonzentration sowohl beim Kieferköpfchen als auch bei der Fossa mandibularis mit zunehmendem Alter abnimmt. Dies lässt sich einerseits auf hormonelle Faktoren zurückführen (Leichter, 1981; Steiger 1992), andererseits durch die geringere Kaubelastung im Alter begründen (Goodship, 1979).

Bei Mineralisierungsmustern des Kieferköpfchens war ein Dichtemaximum überwiegend im anterioren Abschnitt lokalisiert. Diese Dichtemaxima lagen in punkt- bzw. streifenförmiger Ausdehnung vor.
Bei den Fossae mandibularis war die höchste Dichte meist zirkulär randständig ausgebildet. Im lateralen Abschnitt war bis auf 2 Ausnahmen ein Dichtemaximum zu finden.
Die Kombination anteriores Dichtmaximum bei der Kieferpfanne und zirkuläres, randständiges Dichtemaximum bei der Fossa mandibularis kam am häufigsten vor.

Daraus lässt sich ableiten, dass das Kieferköpfchen im anterioren Abschnitt die größte Beanspruchung erfährt, die Fossa mandibularis dagegen zirkulär, randständig am höchsten belastet ist, bei gleichzeitiger Lastfreiheit des Pfannenzenits. Die Mineralisierungswerte weisen v.a. bei der Fossa mandibularis darauf hin, dass im lateralen Abschnitt ein Dichtemaximum vorliegt.

Das Dichtemaximum beim Kieferköpfchen liegt häufig anterior. Dies liegt daran, dass der Wendepunkt bei Mundöffnungsbewegungen am dorsalen Abhang des Tuberculum articulare liegt (Kubein, 1983) und die Kieferöffnung durch eine Dreh-Gleit-Bewegung beschrieben ist.
Lateral am Kieferköpfchen ist ebenfalls häufig ein Maximum erkennbar bzw. beschreibt Reyer (1991) ein häufiges Auftreten von arthrotischen Veränderungen im lateralen Bereich des Kiefergelenks. Werner (1991) führt in diesem Zusammenhang die sehr häufig beim Kauen stattfindende Laterotrusionsbewegung heran. Öberg (1971) fand heraus, dass der Kondylus anatomisch gesehen an seinem lateralen Abschnitt höher liegt als an seinem medialen Abschnitt. Weiterhin stellte er fest, dass mit Häufigkeit des Stützzonenverlustes, d.h. bei Verlust mehrerer Zähne im Seitenzahnbereich, die laterale Belastung am

Kiefergelenk zunimmt.

Bei der Fossa mandibularis lässt sich häufig eine geringe Dichte im Pfannenzenit finden, was daran liegt dass der Kondylus unter physiologischen Bedingungen nach anterior und nicht nach kranial gerichtet ist (Kubein, 1983). Molitor (1969) kann zeigen, dass das Kiefergelenk auch lastfrei sein kann, was die geringe Dichte im Pfannenzenit ebenfalls begründet. Diese Lastfreiheit tritt dann ein, wenn die Muskelresultierende ein umgekehrtes Vorzeichen hat wie die Kaukraft, jedoch die gleiche Wirkungslinie und den gleichen Hebelarm aufweist.
Bei der Fossa mandibularis tritt jedoch häufig randständig ein zirkuläres Dichtemaximum auf. Dies lässt sich unter anderem auf anatomische Einflüsse zurückführen. So strahlt lateral die Jochbeinregion ein und nach posterior das Mastoid. Das laterale Dichtemaximum lässt sich weiterhin durch die bereits beim Kieferköpfchen genannten Faktoren begründen, welche die Laterotrusionsbewegung, die erhöhte Lage des Kondylus lateral und höhere laterale Belastung bei Stützzonenverlust beschreiben.

Mit dieser Arbeit wird erstmals eine Untersuchung am menschlichen Kiefergelenk mit Hilfe der CT-OAM Methode präsentiert, welche Aufschluss über die individuelle Form und Beanspruchung des Kiefergelenkes gibt. Sie besitzt darüber hinaus den großen Vorteil, auch am Lebenden angewendet zu werden. Die damit gewonnenen Ergebnisse können dazu beitragen neue Therapieansätze bei Kiefergelenkserkrankungen zu entwickeln.

6 Anhang

1. Tabellarische Auflistung der Präparate mit Kalziumkonzentration, Alter und Geschlecht:

Nr.	Präparat	KK Ca/ml	FM Ca/ml	Alter a	Geschlecht	Verh.fm/kk
1	1	772,9	1140,3	76	m	1,48
2	4	626,5	940,7	89	m	1,50
3	6	767,4	875,4	95	w	1,14
4	7	767,8	1127,5	54	m	1,47
5	10	633,2	831,2	84	m	1,31
6	12	697	866,8	89	w	1,24
7	13	708,9	1284,1	80	m	1,81
8	14	635,1	999	89	w	1,57
9	15	701,4	1039	73	m	1,48
10	16	812,4	1120,8	81	w	1,38
11	17	741	1243,3	76	w	1,68
12	18	725,9	1304,2	82	m	1,80
13	19	633,2	763	90	w	1,20
14	20	676,2	1047,4	48	w	1,55
15	21	706,9	1061,9	76	w	1,50
16	22	661,2	976,7	84	w	1,48
17	24	711,7	1347,5	86	m	1,89
18	25	764,5	998,2	80	w	1,31
19	27	647,9	1131,2	81	m	1,75
20	28	754,4	1267,9	97	m	1,68
21	29	569,8	784,3	85	w	1,38
22	30	682,8	1209,2	89	m	1,77
23	31	664,2	1145,7	89	m	1,72
24	32	813	1219,7	70	w	1,50
25	33	770,6	835,3	85	w	1,08
26	34	889,9	1220,4	80	w	1,37
27	36	708,7	1132,1	84	m	1,60
28	37	761,7	1274,3	80	m	1,67
29	38	957,6	1335,1	74	m	1,39
30	39	823,5	1259,8	82	m	1,53
31	40	639,7	806,1	72	w	1,26

32	41	645,9	739	90	w	1,14
33	42	876,2	1277,1	50	m	1,46
34	46	683,4	1184,6	78	m	1,73
35	48	796,7	1104,9	89	w	1,39
36	50	714,7	1299,9	67	m	1,82
37	52	708,9	854,3	71	w	1,21
38	54	527	817,8	89	w	1,55
39	55	703,4	1024,9	81	w	1,46
40	56	616,1	1179,3	81	w	1,91
41	57	727,8	1363,2	89	w	1,87
42	58	636,5	1085,8	81	w	1,71
43	59	645,8	1112,4	70	m	1,72
44	60	673,1	1003	95	w	1,49
45	62	625	1230,4	91	m	1,97
	Mittelwert	711,28	1085,88	80,49		1,53
	Standardabw	84,06	178,89	10,76		0,23
	Min	527	739	48		1,08
	Max	957,6	1363,2	97		1,97

2. Vergleich der Ca-Konzentration, des Alters und des Verhältnis der Ca-Konzentration FM/KK getrennt nach Geschlecht und Gesamtwerte

	Präparat	KK Ca/ml	FM Ca/ml	Alter a	Verh.FM/KK
alle	Mittelwert	711,28	1085,88	80,49	1,53
	Standardabw	84,06	178,89	10,76	0,23
	Min	527,00	739,00	48,00	1,08
	Max	957,60	1363,20	97,00	1,97
männlich	Mittelwert	723,53	1184,49	78,86	1,65
	Standardabw	84,23	130,71	11,52	0,18
	Min	625,00	831,20	50,00	1,31
	Max	957,60	1347,50	97,00	1,97
weiblich	Mittelwert	700,55	999,60	81,92	1,43
	Standardabw	84,21	172,39	10,08	0,22
	Min	527,00	739,00	48,00	1,08
	Max	889,90	1363,20	95,00	1,91

3.Tabellarische Auflistung der männlichen Präparate mit Kalzium-Konzentration, Alter und Geschlecht:

Nr.	Präparat	KK Ca/ml	FM Ca/ml	Alter a	Geschlecht	Verh.fm/kk
1	1	772,9	1140,3	76	m	1,48
2	4	626,5	940,7	89	m	1,50
4	7	767,8	1127,5	54	m	1,47
5	10	633,2	831,2	84	m	1,31
7	13	708,9	1284,1	80	m	1,81
9	15	701,4	1039	73	m	1,48
12	18	725,9	1304,2	82	m	1,80
17	24	711,7	1347,5	86	m	1,89
19	27	647,9	1131,2	81	m	1,75
20	28	754,4	1267,9	97	m	1,68
22	30	682,8	1209,2	89	m	1,77
23	31	664,2	1145,7	89	m	1,72
27	36	708,7	1132,1	84	m	1,60
28	37	761,7	1274,3	80	m	1,67
29	38	957,6	1335,1	74	m	1,39
30	39	823,5	1259,8	82	m	1,53
33	42	876,2	1277,1	50	m	1,46
34	46	683,4	1184,6	78	m	1,73
36	50	714,7	1299,9	67	m	1,82
43	59	645,8	1112,4	70	m	1,72
45	62	625	1230,4	91	m	1,97
	Mittelwert	723,53	1184,49	78,86		1,65
	Standardabw	84,23	130,71	11,52		0,18
	Min	625,00	831,20	50,00		1,31
	Max	957,6	1347,5	97		1,97

4. Kalziumgehalt der Fossa mandibularis

FM Ca mg/ml	alle	männlich	weiblich
Mittelwert	1085,88	1184,49	999,60
Standardabw	178,89	130,71	172,39

5.Tabellarische Darstellung der weiblichen Präparate mit Kalzium-Konzentration, Alter und Geschlecht:

Nr.	Präparat	KK Ca/ml	FM Ca/ml	Alter a	Geschlecht	Verh.fm/kk
3	6	767,4	875,4	95	w	1,14
6	12	697	866,8	89	w	1,24
8	14	635,1	999	89	w	1,57
10	16	812,4	1120,8	81	w	1,38
11	17	741	1243,3	76	w	1,68
13	19	633,2	763	90	w	1,20
14	20	676,2	1047,4	48	w	1,55
15	21	706,9	1061,9	76	w	1,50
16	22	661,2	976,7	84	w	1,48
18	25	764,5	998,2	80	w	1,31
21	29	569,8	784,3	85	w	1,38
24	32	813	1219,7	70	w	1,50
25	33	770,6	835,3	85	w	1,08
26	34	889,9	1220,4	80	w	1,37
31	40	639,7	806,1	72	w	1,26
32	41	645,9	739	90	w	1,14
35	48	796,7	1104,9	89	w	1,39
37	52	708,9	854,3	71	w	1,21
38	54	527	817,8	89	w	1,55
39	55	703,4	1024,9	81	w	1,46
40	56	616,1	1179,3	81	w	1,91
41	57	727,8	1363,2	89	w	1,87
42	58	636,5	1085,8	81	w	1,71
44	60	673,1	1003	95	w	1,49
	Mittelwert	700,55	999,60	81,92		1,43
	Standardabw	84,21	172,39	10,08		0,22
	Min	527	739	48		1,08
	Max	889,9	1363,2	95		1,91

6. Kalziumkonzentration bei Fossa mandibularis und Kieferköpfchen in mg/ml

Ca mg/ml	alle	männlich	weiblich	
MW KK	711,28	723,53	700,55	KK
MW FM	1085,88	1184,49	999,60	FM

7. Kalziumgehalt der Kieferköpfchen

kk Ca mg/ml	alle	männlich	weiblich
Mittelwert	711,28	723,53	700,55
Standardabw	84,06	84,23	84,21

7 Literaturverzeichnis

Beek M., Koolstra J. H., van Ruijven L. J., van Eijden T. M.: Three-dimensional finite element analysis of the human temporomandibular joint disc; J. Biomecn. 2000 Mar.; 33(3):307-16

Benner Klaus U. (1993) Morphologie, Funktion und Klinik des Kiefergelenks

Benninghoff: Anatomie (2003)

Berry J. L., Thaeler-Oberdoerster D. A., Greenwald A. S. (1986): Subchondral pathways to the superior surface of the human talus. Foot Ankle 7:2-9

Chen J., Akyuz U., Xu L., Pidaparti R. M. V.: Stress analysis of the human temporomandibular joint, Medical Engineering &Physics 20 (1998) 565-572

Dewire P., Simkin P. A.: Subchondral Plate Thickness reflects Stress in the Primate Acetabulum, J. Orthop. Res. 14(5) (1996) 838-841

Dreger J. H.: Die dorsokraniale Befestigung des Diskus artikularis im menschlichen Kiefergelenk, Med. Diss. Kiel 1994

Frick H., Leonhardt H., Stark D.: Allgemeine Anatomie, Spezielle Anatomie I, 1992, Georg Thieme Verlag Stuttgart.

Fuss F. K.: Kinematik und Dynamik des Kiefergelenks und der Bewegungen der Mandibula. Gegenbaurs Morphol. Jahrb. (1990), 136 (1), 37-68

Goodship A. E., Lanyon L. E., Mc Fie H. (1979): Functional adaption of bone to increased stress. J. Bone Joint Surg. 61-A: 539-546

Hansson T., Öberg T.: Arthrosis and deviation in form in the temporomandibular joint. Acta. Odont. Scand. 35: 167, 1977

Häupl K.: Die Anatomie des Kiefergelenks, 138-149, Entwicklung des Kiefergelenks, funktionelle Anpassung und Arthritis deformans, 195-202. In: Böttger-Häupl-Kirsten, Zahnärztliche Prothetik, Bd. 1, 2, (1961)

Hu M., Zhou J., Hong M., Ma H., Tian X.: Study in stress distribution of the condyle; Chin. Med. J. 1997 Oct; 110(10):811-3

Iwata T., Watase J., Kuroda T., Tsutsumi S., Maruyama T.: Studies of mechanical effects of occlusal force on mandible and temporomandibular joint. J. Osaka Univ. Dent. Sch. 1981; 21:207-15

Kersting Stephan: Die Biomechanik des Hallux valgus – Mineralisierungsmuster im subchondralen Knochen der Gelenke des ersten Strahles des Fußes, 2000

Kfo-online, 2005, www.kfo-online.de/inhalt_05akfo.html

Klesper B., Pape H. D., Kummer B.: Densitometrische Untersuchungen der Knöchernen Strukturen des menschlichen Kiefergelenks, Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift 1989, Carl Hanser Verlag München.

Knief J. J., Quantitative Untersuchung der Verteilung der Hartsubstanz im Knochen in ihrer Beziehung zur lokalen mechanischen Beanspruchung, Z. Anat. Entwickl.-Gesch. 126 (1967) 55-80

Körber K .(1985): Zahnärztliche Prothetik, 3 Aufl. Thieme, Stuttgart New York

Korioth T. W., Hannam A. G.: Effect of bilateral asymmetric tooth clenching on load distribution at the mandibular condyles; J. Prosther. Dent. 1990 Jul; 64(1):62-73

Korioth T. W., Hannam A. G.: Mandibular forces during simulated tooth clenching; J. Orofac. Pain 1994 Spring; 8(2):178-89

Kubein D., Jähnig A. (1983): Biomechanics of the human temporomandibular joint (a study of the functional structures of the os temporale in the sagittal-vertical plane). Dtsch. Zahnärztl. Z. 38, 32-39

Kubein-Meesenburg D., Nägerl H., Basic principles of relation and posterior guidance of stomatognatic systems. Anat. Anz. (1990), 171 (1), 1-12

Kummer B., Anatomie und Biomechanik des Unterkiefers, Fortschr. Kieferorthop. 46, 335-342 (1985)

Kummer B. (2005): Biomechanik-Form und Funktion des Bewegungsapparates, Deutscher Ärzteverlag

Küppers K.: Analyse der funktionellen Struktur des menschlichen Unterkiefers. Ergeb. Anat. Entwicklungsgesch. (1971), 44 (6), 3-90

Lehmann Klaus: Einführung in die restaurative Zahnheilkunde (1998)

Leichter I., Weinreb A., Hazan G., Loewinger E., Robin G.C., Steinberg R., Minczel J., Makin M. (1981):The effect of age and sex on bone density, bone mineral content and cortical index. Clin. Orthop. 156: 232-239

Lohmann S.: Eigenschaften biologischer Materialien zur Simulation menschlicher Bewegung. 2005

Lotz G.: Das Caput mandibulae. Eine morphologische biometrische Studie an menschlichem Autopsiematerial. Med. Diss. Freiburg 1881

Meachim G., Allibone R. (1984): Topographical variation in the calcified zone of upper femoral articular cartilage, J. Anat. 139: 341-352

Molitor J.: Untersuchungen über die Beanspruchung des Kiefergelenks. Z. Anat. Entwicklungsgesch. (1969), 128 (2), 109-140

Müller-Gerbl M., Putz R., Hodapp N., Schulte E., Wimmer B.:
Computed-tomography-osteoabsorptiometry for assessing the density distribution of subchondral bone as a measure of long term mechanical adaption in indivudual joints.
Skeletal Radiol. 18 (1989) 507-512

Müller-Gerbl M., Putz R., Hodapp N., Schulte E., Wimmer B.:
Die Darstellung der subchondralen Dichtemuster mittels der CT-Osteoabsorptiometrie (CT-OAM) zur Beurteilung der individuellen Gelenkbeanspruchung am Lebenden
Z. Orthop. 128 (1990) 128-133

Müller-Gerbl M., Hodapp N., Reinbold W. D., Putz R.:
Can CT-osteoabsorptiometry be used to display the distribution of subchondral mineralization
Calcif. Tissue Int. 48 (Suppl.) (1991) 68
Müller-Gerbl M. (1998) The subchondral bone plate. Advances in Anatomy Embryology and Cell Biology. Vol. 141, Springer Verlag Heidelberg

Müller-Gerbl M., Schlenker B., Linsenmaier U., Wehr U.: Quantitative CT-Osteoabsorptiometrie (q-CT-OAM) in der subchondralen Knochenplatte. Poster 2001

Nöbauer Christian: Eine CT-OAM gestützte Untersuchung der Mineralisierungsmuster und der Kalziumgehaltes der subchondralen Lamelle des Daumensattelgelenks im Hinblick auf die höhere Prävalenz der Rhizarthrose bei Frauen, 2002

Öberg T., Carlsson G. E., Fajers C. M. (1971): The temporomandibular joint. A morphologic study on a human autopsy material. Acta. Odontol. Scand. 29:349-384

Oberländer W., 1973, Die Beanspruchung des menschlichen Hüftgelenks. V. Die Verteilung der Knochendichte im Acetabulum. Z. Anat. Entwickl.-Gesch. 140:367-384

Pauwels F.: Über die Verteilung der Spongiosadichte im coxalen Femurende und ihre Bedeutung für die Lehre vom funktionellen Bau des Knochens, Morp.. Jb.95 (1955) 35

Pauwels F.: Kurzer Überblick über die mechanische Beanspruchung des Knochens und ihre Bedeutung für die funktionelle Anpassung, Z. Orthop. 11, 681-705 (1973)

Puff A.: Zur funktionellen Anatomie des Kiefergelenks. Dt. zahnärztl. Z., München 18 (1963) 1385-1392

Reyer Klaus: Die Lokalisation der alters- und funktionsbedingten Formveränderungen im menschlichen Kiefergelenk. Med. Diss. Kiel 1991

Schröder H. E.: Kiefergelenk. In: Orale Strukturbiologie. S. 336-349 Thieme, Stuttgart 1987

Simkin P. A., Graney D. O., Fiechtner J. J. (1980): Roman arches, human joints, and disease. Differences between convex and concave sides of joints. Arthritis Rheum. 23: 1308-1311

Singh I. (1978): The architecture of cancellous bone. J. Anat. 127:305-310

Spectator Dentistry Nr.4 Juni 2006

Steiger P., Cummings S. R., Black D. M., Spencer N. E., Genant H. K. (1992): Age related decrements in bone mineral density in women over 65. J. Bone Min. Res. 7: 625-632

Stampfer Robert: Subchondrale Mineralisierungsmuster im gesunden und dysplastischen Hüftgelenk und ihre Veränderungen nach Dreifachosteotomie, 2001

Tanaka E.: Three-dimensional finite element analysis of human temporomandibular joint with and without disc displacement during jaw opening. Medical Engineering & Physics 26 (2004) 503-511

Werner J. A., Tillmann B., Schleicher A.: Functional anatomy of the temporomandibular joint. A morphologic study on human autopsy material; Anat. Embryol. 1991; 183(1):89-95

Wagner S.: Einfluss der dorsalen Instrumentierung auf angrenzende und transfixierte Facettengelenke bei Patienten mit thorakolumbalen Wirbelsäulenverletzungen -eine morphologische in-vivo-Untersuchung mit der CT-Osteoabsorptiometrie, 2004

8 Danksagung

Mein größter Dank richtet sich an Frau Prof. Dr. M. Müller-Gerbl für die Überlassung des Themas, sowie für die allzeit gewährte Unterstützung, Diskussionsbereitschaft und konstruktive Kritik.

Ein weiterer Dank gilt allen Mitarbeitern der Anatomischen Anstalt München, die mir bei der Realisierung dieser Studie zur Seite standen.

9 Lebenslauf

PERSÖNLICHE DATEN

Geburtsdatum:	15.11.1979
Geburtsort:	Landshut
Religion:	römisch-katholisch
Staatsangehörigkeit:	deutsch
Familienstand:	ledig

AUSBILDUNGSDATEN

1990-1999	Maristen-Gymnasium, Furth Fremdsprachen: Englisch, Französisch Abschluss: Abitur Juni 1999
2000-2005	Studium der Zahnmedizin, LMU München Prüfungen: Vorphysikum 2001 Physikum 2003 Staatsexamen 2005 Approbation 2005

BERUFSPRAXIS

2005-2006	Vorbereitungsassistentin, Neumarkt-St.-Veit
seit 2006	Vorbereitungsassistentin, Mainburg