

Diplomarbeit

Einsatz der Piezochirurgie in der Knochenpräparation

eingereicht von
Klaus Johann Baumgartner
Mat. Nr.: 0312743

zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor der Zahn,- Mund und Kieferheilkunde
(Dr. med. dent.)

an der
Medizinischen Universität Graz

ausgeführt am
Department für zahnärztliche Chirurgie und Röntgenologie

unter der Anleitung von
Univ.-Prof. DDr. Norbert Jakse
Ass. Dr. Angelika Wildburger

Ort, Datum

(Unterschrift)

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst habe, andere als die angegebenen Quellen nicht verwendet habe und die den benutzten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, am

Unterschrift

Danksagung

Ganz speziell möchte ich meiner Familie danken, ohne deren Hilfe ich nie soweit gekommen wäre. Allen voran meinen Eltern, die mit ihrer finanziellen Unterstützung, mir das Studium erst ermöglicht haben. Die Tage zu Hause, fernab vom universitären Alltag, waren erholsam und entspannend.

Einen Großen Dank möchte ich auch meiner Freundin Christina aussprechen, die mich immer und überall unterstützt, motiviert und an schweren Tagen wieder aufgebaut hat. Mit Ihr war die größte Hürde nur halb so hoch.

Bei meinem Professor DDr. Norbert Jakse möchte ich mich herzlich für die Bereitstellung dieses Themas bedanken. Auch möchte ich ein großes Dankeschön an Frau Dr. Angelika Wildburger aussprechen, welche mir mit Rat, Tat und viel Geduld beigestanden ist.

Auch meinen sehr lieb gewonnen Studienkollegen möchte ich meinen Dank aussprechen. Viele Jahre und viele Prüfungen später haben wir gemeinsam unser Ziel erreicht.

1. Inhaltsverzeichnis

Danksagung.....	3
1. Inhaltsverzeichnis.....	4
2. Zusammenfassung.....	7
3. Summary	8
4. Einleitung	9
5. Grundlagen	12
5.1 Knochenaufbau	12
5.2 Knochengewebe - Knochengrundsubstanz	12
5.3 Makroskopische Knochenstruktur	13
5.3.1 Kompakta und Spongiosa	13
5.3.2 Kompakter Knochen	13
5.3.3 Spongiöser Knochen	13
5.4 Mikroskopische Knochenstruktur	14
5.4.1 Knochenzellarten.....	14
5.4.2 Osteoprogenitorzellen.....	14
5.4.3 Osteoblasten	14
5.4.4 Osteozyten	15
5.4.5 Osteoklasten	15
5.4.6 Knochenmatrix	16
5.5 Knochenbildung (Ossifikation)- Knochenheilung	16
5.5.1 Desmale Ossifikation	16

5.5.2 Chondrale Ossifikation	16
5.5.3 Geflechtknochen.....	17
5.5.4 Lamellenknochen	17
5.5.5 Remodelling	18
5.5.6 Knochenheilung.....	18
5.5.6.1 Exsudative Phase	19
5.5.6.2 Unspezifische zelluläre Phase	19
5.5.6.3 Knochenspezifische zelluläre Phase	20
5.5.6.4 Remodelling	20
5.6 Frakturheilung.....	20
5.7 Einheilung von Knochentransplantaten.....	21
5.8 Einheilung von Knochenersatzmaterial	21
5.9 Atrophieprozess des Kieferknochens.....	22
6. Anatomie der Spenderregion	23
7. Knochentransplantate	26
7.1 Autogene Knochentransplantate.....	27
7.2 Wirkungsmechanismen der autogenen Knochentransplantation.....	30
8. Bonescraper	30
9. Piezochirurgie, Anfänge und die heutigen Standards	32
10. Klinische Einsatzmöglichkeiten	35
11. Klinische Studie	39
11.1 Studienziele	39

11.2 Patientenselektionierung, Einschluss- und Ausschlusskriterien.....	39
11.3 Knochengewinnung.....	40
11.4 Zellexpansion	43
11.5 Raster-Elektronenmikroskopie (REM).....	45
12. Ergebnisse.....	47
13. Diskussion	51
14. Konklusion.....	62
15. Literaturverzeichnis	63
16. Abbildungsverzeichnis.....	71
17. Tabellenverzeichniss	73

2. Zusammenfassung

Die autogene Knochentransplantation wird aus heutiger Sicht als Goldstandard in der Augmentation und Rekonstruktion von Kieferdefekten angesehen. Der größte Vorteil von Eigenknochen liegt dabei in seiner osteokonduktiven und osteoinduktiven Wirkung. Enorale Spenderregionen für autogene Knochentransplantate sind die retromolare Region, Tubercula maxillae, Protuberantia mentalis, Linea obliqua, und/oder der Implantatsitus. Knochenersatzmaterialien oder eine Kombination aus Knochenersatzmaterial mit Eigenknochen stehen als Alternative zur Verfügung.

Der manuelle Bonescraper ist ein einfaches chirurgisches Instrument, mit dem sich Knochen durch Schaben an der Knochenoberfläche gewinnen lässt. Das mit Ultraschall betriebene Operationsinstrumentarium, der Piezo-Bonescraper, könnte eine atraumatische Knochengewinnung ermöglichen. Im Zuge dieser Diplomarbeit wurde einerseits die vorhandene Literatur zum Piezo Bonescraper recherchiert und andererseits eine klinisch histologische Studie durchgeführt, in der das Auswachsen von Zellen aus entnommenen Knochenchips untersucht wurde. Der Piezo-Bonescraper wurde mit einem manuellen Standard Bonescraper verglichen. Die entnommenen Knochenchips wurden im Rahmen einer Weisheitszahnentfernung gewonnen. In der an 20 Patienten durchgeführten Studie kam es zu einem Auswachsen von Zellen bei 12 Proben. Bei der Entnahmetechnik mittels manuellen Bonescraper, kam es zu einem Auswachsen von Zellen bei 8 Proben. Bei dem mit dem Piezo-Bonescraper entnommenen Knochenmaterial kam es zu einem Auswachsen von Zellen bei 4 Proben.

Beide Entnahmemethoden eignen sich zum Gewinnen von Knochenchips, wobei die Ergebnisse der durchgeführten Studie ein vermehrtes Auswachsen von Zellen bei der Entnahme mit dem manuellen Bonescraper zeigen. Bakterielle Kontamination oder die thermale Zerstörung von Knochenzellen werden als Hauptursachen für das geringere Zellwachstum beim Piezo-Bonescraper vermutet. Für die Aussage einer klinischen Relevanz müssen weitere Untersuchungen folgen.

3. Summary

Autogenous bone grafting is considered today to be the ideal approach for the augmentation and reconstruction of jaw defects. The greatest advantage when using a person's own bone lies in its osteoconductive and osteoinductive effect. Intraoral donor sites for autogenous bone grafts are the retromolar region, tuber maxillae, protuberantia mentalis, linea obliqua and/or the implantation site. Bone substitutes or a combination of bone substitute and one's own bone are a viable alternative.

A manual bonescraper is a simple surgical instrument used to harvest bone material by scraping it from the surface of the bone. The piezo bonescraper is a surgical instrument operated by means of ultrasound and could make atraumatic harvesting of bone material possible. Within the context of this thesis, the existing literature concerning the piezo bonescraper was researched, on the one hand, and on the other, a clinical, histological study was performed, in which the growth of cells from harvested bone chips was examined. The piezo bonescraper was compared with a standard, manual bonescraper. The removed bone chips were won in the context of a wisdom tooth extraction. In the study performed with 20 patients, cell growth was achieved in 12 samples. Using the manual bone scraper harvesting technique, cell growth was observed in eight samples. In the bone material harvested using the piezo bonescraper, there was cell growth in four samples.

Both removal methods are suitable for harvesting bone chips, whereby the results of the study performed demonstrate more cell growth when harvesting is performed using a manual bone scraper. Bacterial contamination or the thermal destruction of the bone cells appear to be the most probable main causes for the lower rate of cell growth when the piezo bonescraper is used.

4. Einleitung

Ursachen für eine Reduktion des Alveolarknochens sind unterschiedlich und reichen von Traumen über entzündliche Prozesse wie Parodontitis, Tumorerkrankungen bis hin zur Altersinvolution. Erschwerte Mastikation, Artikulation und fehlende Ästhetik sind die mögliche Folge (Wegscheider, 2010). Eine der Aufgaben der Zahnheilkunde, im speziellen das Fachgebiet der augmentativen Chirurgie, ist der Wiederaufbau des atrophen Kieferkammes. Die dazu benötigte Menge an Knochen ist meistens überschaubar und deshalb ohne größere Komplikationen autogen zu gewinnen. Auch kommen Knochenersatzmaterialien, xenogenen, allogenen oder syntethischen Ursprungs in Frage, die eine Alternative zu autogenen Knochen darstellen (Horch , 2003; Schwenzer et al. 2009).

Bei der Knochentransplantation wird autogener Knochen nach wie vor als Goldstandard angesehen. Ein wesentlicher Vorteil des Eigenknochens ist seine Osteoinduktivität, während Knochenersatzmaterial ausschließlich osteokonduktiv wirkt. Weitere Vorteile sind die schnellere Revaskularisierung und das Ausbleiben von Abstoßungsreaktionen. Ein Nachteil mittels Eigenknochen wiederhergestellter Defekte besteht in der Morbidität an der Entnahmestelle (Kirmeier et al. 2007).

Man unterscheidet extraoral von intraoral gewonnenen autogenen Knochentransplantaten. Für größere Knochenaugmentationen wird der Knochen extraoral vom Becken oder vom anterioren Tibiakopf gewonnen. Diese extraoralen Entnahmetechniken sind mit einer höheren postoperativen Morbidität, sowie in der Regel mit stationärem Aufenthalt verbunden. Auch das Risiko einer damit verbundenen Vollnarkose gilt es abzuwägen. Für kleinere Augmentationen bestehen mögliche enorale Knochenentnahmestellen von der Linea obliqua, Protuberantia mentalis, Tuber maxillae und der jeweilige Implantatsitus (Block et al. 1997; Kirmeier et al. 2007). Kleinere Knochenstücke lassen sich unter anderem mit dem Trepanbohrer mit anschließender Zerkleinerung in der Knochenmühle, dem Bonescraper, Hartmetallbohrern, Implantatbohrern, dem Piezotom und der Knochensäge gewinnen (Schwenzer et al. 2009).

In der Literatur finden sich zahlreiche Beschreibungen über die Auswirkungen der unterschiedlichen Knochenentnahmetechniken auf die Knochenvitalität. Im Folgenden werden einige, in der Literatur beschriebene Ergebnisse angeführt.

Die Studie von Springer et al. (2003) besagt, dass das Zermahlen von Knochen mittels einer Knochenmühle die Anzahl von Osteoblasten verringert (Springer et al. 2003). Ebenso enthalten Knochenchips, die bei der Verwendung eines Rosenbohrers entstehen, weniger Osteoblasten, als jener Knochen, die mit einer Curette oder manuell gewonnen wurde. Unzermahlene spongiöse Knochenchips scheinen die größte Anzahl von lebensfähigen Osteoblasten zu besitzen (Chiriac et al. 2005). Bei der Entnahme von Knochenmaterial mittels rotierenden Instrumenten besteht die Gefahr eines Hitzeschadens des Knochens, der auf Grund insuffizienter Kühlung mittels steriler Kühlflüssigkeit (Natriumchlorid) auftreten kann. Es ist weiters möglich, dass durch die hohen Drehzahlen des chirurgischen Instrumentes eine Kontamination mit metallischem Abrieb entsteht und dadurch die Wundheilung und Knochenneubildung negativ beeinflusst werden (Springer et al. 2003). Eine modifizierte Knochenentnahmetechnik mittels der Piezo-Chirurgie soll zu einer geringeren Morbidität an der Entnahmestelle und zu einem Erhalt der Osteoblastenaktivität im Augmentat führen (Chiriac et al. 2005).

Einen Vorteil, den das Osteotomieren mittels Ultraschall mit sich bringen könnte, ist das minimierte Risiko einer Verletzung von Weichgewebsstrukturen. Desweiteren ergibt sich ein gut übersichtliches Operationsgebiet begünstigt durch die gute Spülwirkung der Kühlflüssigkeit. Mehrere Instrumentenspitzen stehen für verschiedenste chirurgische Einsatzbereiche zur Verfügung (Harder et al. 2009). Als mögliche Nachteile, die gegen den Einsatz eines mittels Ultraschall betriebenen Instrumentes sprechen, werden die Anschaffungskosten, die intraoperative Temperaturentwicklung, die Techniksensitivität, die nötige Einschulung der Handhabung sowie Frakturen der Instrumentenspitzen und die dadurch mögliche Verletzung des Patienten angegeben (González-Garcia et al. 2009).

Bei der Gewinnung von autogenen Knochen kann es zu einer bakteriellen Besiedelung mit den im Mund befindlichen Mikroorganismen kommen. Eine Kontamination kann Komplikationen während der Heilung verursachen. Präoperative Spülung mittels

Chlohexidinlösung, Speichelflußkontrolle und eine anitbiotische Prophylaxe sind Möglichkeiten, dieser Besiedelung entgegen zu wirken (Tezulas et al. 2008).

Das intraorale Gewinnen von kortikalen Knochen-Chips mittels manuellen Bonescraper bietet als langjähriger Standard ein einfaches, klinisch wirksames Verfahren mit geringer Morbidität an der Entnahmestelle und ist für die Knochenentnahme im Rahmen kleiner Augmentationen sehr gut geeignet (Zaffe et al. 2007).

In dieser Diplomarbeit sollen der Piezo-Bonescraper und der manuelle Bonescraper direkt zueinander verglichen werden. Es wurden die gesamte vorhandene Literatur gesichtet und im Rahmen einer klinisch histologischen Studie die beiden Methoden evaluiert.

5. Grundlagen

5.1 Knochenaufbau

Knochen gehört zur Gruppe der Bindegewebe bestehend aus Knochenzellen sowie Knochenmatrix, Knochengrundsubstanz und Osteoid. Knochenmatrix, Osteoid und Knochengrundsubstanz werden auch als Interzellulärsubstanz bezeichnet (Welsch, 2003).

5.2 Knochengewebe - Knochengrundsubstanz

Knochengewebe ist spezialisiertes Bindegewebe. Die Eigenschaften stützen sich auf die Zusammensetzung einer Matrix, in die Kalziumsalze eingelagert werden. Dieser Vorgang wird als Verkalkung bezeichnet. Das Knochengewebe hat neben der schützenden und stützenden auch eine metabolische Funktion, u.a. als Kalziumspeicher. Kalzium ist ein wesentliches Ion bei vielen Körperfunktionen (Muskelkontraktion, Sekretion, Blutgerinnung u.v.a.). Im Knochen werden außerdem andere Ionen wie Magnesium, Phosphor und Natrium gespeichert. Knochen besitzt trotz Leichtbauweise, hohe Zug,- und Druckfestigkeit sowie eine Elastizität. Er ist ein dynamisches Material, gut durchblutet und wird ständig auf,- ab,- bzw. umgebaut. Diese Umbauvorgänge werden auch als Remodeling beschrieben (Welsch, 2003). Die Knochengrundsubstanz, das Osteoid, besteht aus 25 % Hydratationswasser, 50 % aus Mineralien und weiteren 25% aus organischen Verbindungen. Das Hydratationswasser bildet einen Hydratmantel an der Oberfläche von Hydroxylapatitkristallen wodurch der Ionen Austausch zwischen Kristallen und der Umgebung stattfinden kann. Die Mineralien bestehend aus Phosphat, Kalzium, Natrium, Magnesium, Zitat, Fluor und Spurenelemente. Die Hauptmineralanteile machen Phosphat mit 50 % und Kalzium mit 35 % aus. Hauptsächlich kommen Mineralien als Hydroxylapatitkristalle vor (Junqueira et al. 1996).

5.3 Makroskopische Knochenstruktur

5.3.1 Kompakta und Spongiosa

Die makroskopischen Strukturen des Knochengewebes lassen sich unterscheiden in:

- kompakter Knochen
- spongiöser Knochen

5.3.2 Kompakter Knochen

Kompakter Knochen (Substantia corticalis oder Compacta) ist solide, feste Substanz. Diese Ummantelung ist bei jedem Knochen vorhanden. Die Dicke dieser kortikalen Schicht ist unterschiedlich und kann in der Mandibula Dicken bis zu 4 mm aufweisen (Sivolella et al. 2006). Die Substantia corticalis besteht aus 3 bis 7µm dicken Knochenlamellen. Diese Knochenlamellen sind durch die sogenannten Osteone aufgebaut, welche man als zirkulär um ein Blutgefäß laufenden Lamellen bezeichnet (Welsch, 2003; Kühnel, 2008).

5.3.3 Spongiöser Knochen

Die Spongiosa (Substantia spongiosa) ist eine dreidimensionale Struktur sich verzweigender Knochenbälkchen (=Trabekel) im Inneren eines Knochens. Zwischen den weiten Räumen bietet sich Platz für blutbildendes Gewebe oder Fettgewebe. Die Ausrichtung der Trabekel erfolgt parallel zur größten Druck-, (z.B. Wirbelkörper) oder Biegebeanspruchung (Welsch, 2003; Kühnel, 2008; Junqueira et al. 1996).

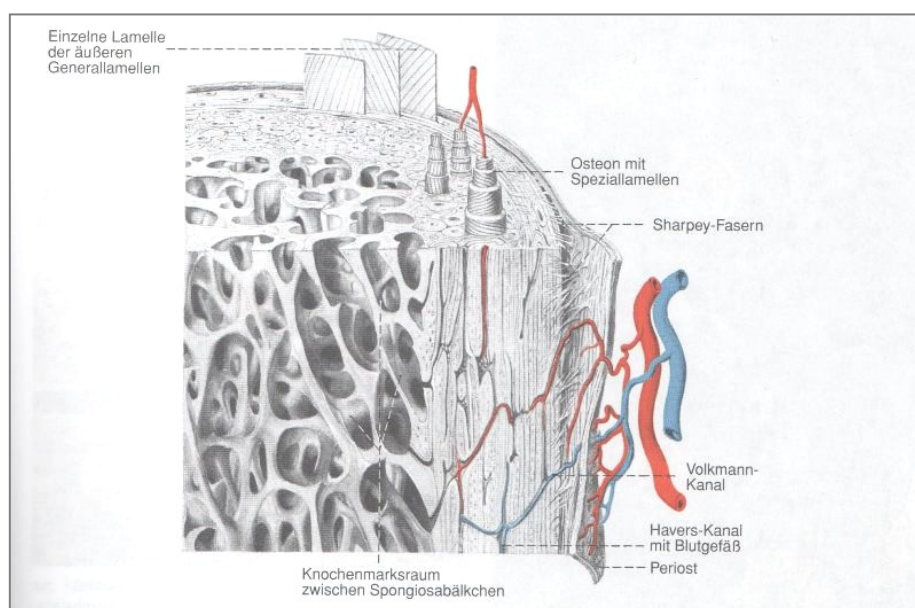


Abbildung 1 Schematische Darstellung des Lammelenknochens (Welsch, 2003)

5.4 Mikroskopische Knochenstruktur

5.4.1 Knochenzellarten

Knochenzellen treten als verschiedene Typen auf:

Osteoprogenitorzellen

Osteoblasten

Osteozyten

Osteoklasten

5.4.2 Osteoprogenitorzellen

Sind Vorläuferzellen der Osteoblasten und differenzieren sich in der Entwicklung aus dem Mesenchym, sind aber auch noch im Knochenmark enthalten. Sie entwickeln sich von Primärosteoblasten zu Osteoblasten. Osteoprogenitorzellen entwickeln sich aus mesenchymalen Stammzellen welche sich in verschiedenen Geweben des menschlichen Organismus z.B. Nabelschnur, Blut, Fettgewebe, Knochenmark befinden (Welsch, 2003).

5.4.3 Osteoblasten

Sind knochematrixbildenden Zellen. Sie liegen dicht an der Knochenoberfläche und sind über Zellausläufer miteinander verbunden. Diese Knochenzellen sind aktiv sezernierende Zellen. Die initial von Osteoblasten abgegebene, noch nicht verkalkte Matrix, wird Osteoid genannt. (Junqueira et al. 1996) Die Produktion von Wachstumsfaktoren parakriner und autokriner Natur, aber auch die Sekretion von Kollagen, Proteoglycan, Osteokalzin und Osteopontin gehören zu dem Aufgabengebiet dieser Zelle (Welsch, 2003).

5.4.4 Osteozyten

Die Osteozyten entstehen aus den Osteoblasten und sind in Lakunen der Matrix eingelagert. Sie dienen dem Erhalt des Knochens. Wie auch die Osteoblasten stehen die Osteozyten über ein Netzwerk von Zellausläufern miteinander in Verbindung. Über Gap Junctions geschieht der Austausch von Nährstoffen. Über die Einlagerung von Kalzium sind sie auch mitentscheidend für den Erhalt und den Abbau von Knochen. Dieser Abbau wird indiziert wenn Kalzium aus den Osteozyten freigesetzt wird (Welsch, 2003; Junqueira et al. 1996).

5.4.5 Osteoklasten

Im stetigen Umbau, Neuaufbau und Abbau von Knochenmatrix wird die Resorption der verkalkten Matrix von diesen Zellen übernommen. Die Osteoklasten liegen oberflächlich in den sogenannten Howship-Lakunen. Für die Resorption verantwortlich ist die Sekretion H^+ -Ionen. Die Protonen bewirken die Auflösung der Kalziumsalze und schaffen das saure Milieu für saure Hydrolasen. Abgebaute Knochensubstanz wird durch Osteoblasten resorbiert. (Junqueira et al. 1996) Die Differenzierung der Vorläuferzellen in Osteoklasten wird u.a von Vitamin D beeinflusst (Welsch, 2003).

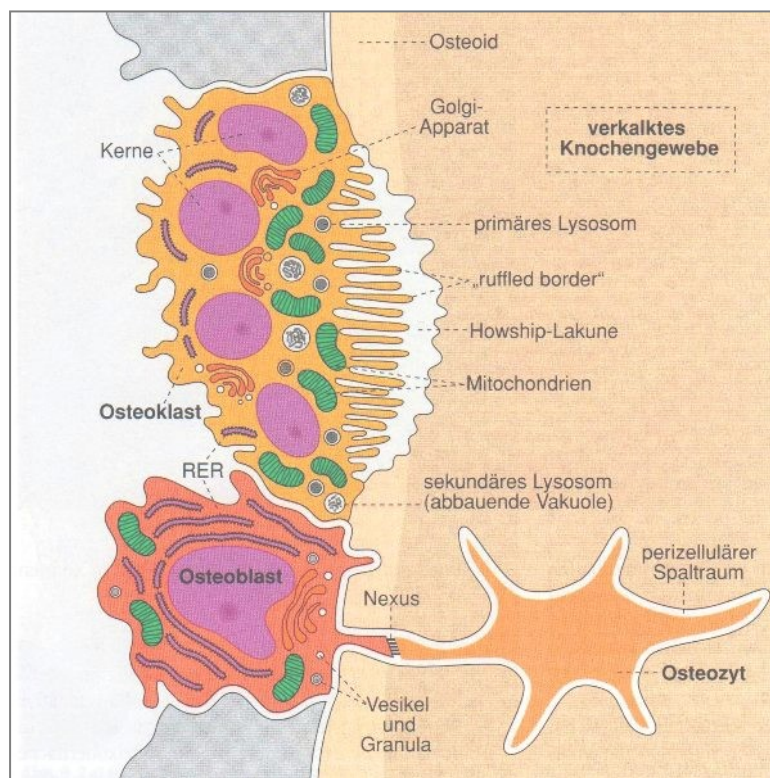


Abbildung 2 Darstellung von Osteoblasten, Osteoklasten und Osteozyten (Welsch, 2003)

5.4.6 Knochenmatrix

Die Knochenmatrix besteht aus Kollagenfibrillen und anorganischen Salzen und verleiht dem Knochen seine hohe Druck,- und Zugfestigkeit. Die Matrix hat nicht nur Schutz,- und Stützfunktion sondern ist auch ein wesentlicher Kalziumspeicher (Welsch, 2003).

Knochenmatrix besteht aus (Welsch, 2003):

- 65% anorganischen Salzen (Hydroxylapatit)
- 35% organischem Material (Kollagen Typ I, Knochenproteine wie Osteopontin, Osteonektin, Osteokalzin)

5.5 Knochenbildung (Ossifikation)- Knochenheilung

Zwei Möglichkeiten führen zur Knochenbildung (Welsch, 2003):

- Desmale Ossifikation
- Chondrale Ossifikation

5.5.1 Desmale Ossifikation

Bei der desmalen Ossifikation entsteht Knochen direkt aus eigenen Mesenchymzellen, die sich zu Osteoblasten differenzieren. Diese Osteoblasten sezernieren unverkalkte Matrix bestehend aus Proteoglykane, Glycoproteine und Kollagen. Diese unverkalkte Matrix (Osteoid) verkalkt, wobei immer ein feiner Osteoidsaum an der Oberfläche erhalten wird. Das entstehende Knochengewebe ist Geflechtknochen, bestehend aus einem dreidimensionalen Netzwerk aus Knochenbälkchen, in dem Kollagen ungeordnet vorliegt. (Welsch, 2003; Junqueira et al. 1996) Die meisten Knochen des Gesichtsschädels, des Schädeldaches und die Klavikula entstehen durch die desmale Ossifikation. Ebenfalls wird die Pars squamosa und die Pars tympanica des Os temporale sowie die Squama des Os occipitale durch desmale Ossifikation gebildet (Emminger, 2005).

5.5.2 Chondrale Ossifikation

Bei der chondralen Ossifikation werden entstehende knöcherne Strukturen zuerst knorpelig angelegt. Diese werden dann abgebaut und durch knöcherne Substanz ersetzt. Die meisten Knochen des menschlichen Körpers z.B. Extremitätenknochen, entstehen über die chondrale Ossifikation (Welsch, 2003).

5.5.3 Geflechtknochen

Der Geflechtknochen besteht aus geflechtartig angeordneten Kollagenfasern sowie Knochenbälkchen und entsteht bei der Neubildung von Knochen. Jeder Geflechtknochen wird im Laufe der Knochenreifeung durch lamellären Knochen ersetzt und umgebaut (Welsch, 2003).

5.5.4 Lamellenknochen

Die histologische Struktur des ausgereiften Knochens ist in Kompakta und Spongiosa unterteilt und wird mit dem Begriff Lamellenknochen beschrieben. Der zuerst entstehende Geflechtknochen wird in Lamellenknochen umgewandelt. Baueinheiten dieses Lamellenknochens sind 3 bis 7µm dicke Knochenlamellen (Speziallamellen), welche feine Röhrensysteme aufbauen und sich konzentrisch um ein längs verlaufendes Gefäß anordnen. Diese werden Osteone genannt. Jene Osteone haben wiederum linsenförmige Ausparungen, in denen sich die Knochenzellen (Osteozyten) befinden. Von diesen Lakunen ausgehend besteht ein Netzwerk über Anastomosen mit benachbarten Lakunen. Über dieses Netzwerk von Kanälchen erfolgt die Ernährung. Der Durchmesser beträgt zwischen 250µm und 350µm. Die Anzahl der Lamellen eines Osteons ist verschieden und kann zwischen 4 und 20 liegen. Im Inneren des Osteons befindet sich der Haver'sche Kanal in dem sich ein bis zwei Kapillaren, postkapilläre Venolen oder Arteriolen befinden (Welsch, 2003; Sobotta, 2002).

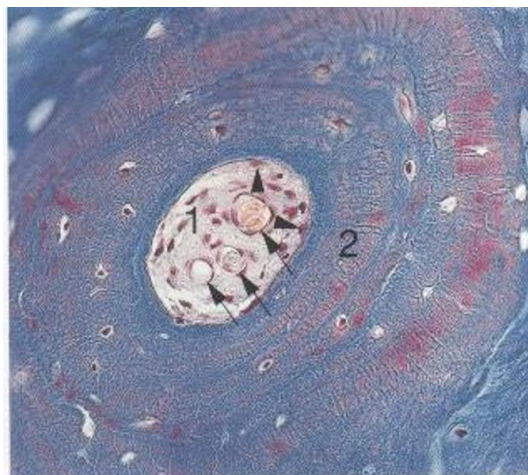


Abbildung 3 Osteon mit Haver'schem Kanal (Welsch, 2003)

5.5.5 Remodelling

Ein Knochen ist durch seine stetige Belastung immer Kräften ausgesetzt denen er seine Stabilität beweisen muss. Um der Belastung standzuhalten, besteht erhöhte Festigkeit an Stellen mit hohen Biege-, Zug-, Druck und Dehnungskräften. An Hauptspannungslinien (Trajektorien) bildet der Knochen Spongiosabalken (Trabekel) aus. Diese Bauweise ermöglicht eine hohe Stabilität bei geringem Gewicht. Der Knochen unterliegt ständigen Anbau und Umbauvorgängen. Diese Anpassungsvorgänge sind mit ein Grund, warum Knochen nach Verletzungen seine anatomische Form wieder einnehmen kann. Druckwirkung baut Knochen ab, indem Osteozyten aktiviert werden. Bei Zugeinwirkung wird Knochen durch Osteoblasten aufgebaut (Junqueira et al.1996; Welsch, 2003). Diese Möglichkeit Knochen zu augmentieren und rekonstruieren macht sich u.a. die orale Chirurgie zu Nutzen und wird Distractionsosteogenese genannt (Schwenzer et al. 2009).

5.5.6 Knochenheilung

Der ständige Umbau erklärt, warum nach einer Verletzung der Knochen die korrekte anatomische Form wieder annimmt. Die Spontanheilung des Knochens kann in vier Phasen unterteilt werden:

- Exsudative Phase
- Unspezifische Phase
- Knochenspezifische zelluläre Phase
- Remodelling

5.5.6.1 Exsudative Phase

(0. - 2. Tag)

In dieser Phase sind noch keine Zellen sondern nur Proteine beteiligt. Wenn der Knochen mechanisch verletzt wird, entsteht ein Defekt, mit dem eine Blutung aus dem Knochenmark einhergeht. Das dadurch gebildete Koagulum ist die erste und wichtigste Voraussetzung der spontanen Knochenheilung. Durch die Bildung von Fibronektin verklebt das Koagulum mit den Wundrändern und gibt dadurch dem Knochendefekt schon in den ersten Stunden eine gewisse Stabilität. Fibronektin ist ein Glykoprotein und ist in der menschlichen Physiologie für die Gewebsreparatur, die Embryogenese, die Hämostase sowie die Zellmigration und Zelladhäsion mit verantwortlich. Dieses Glykoprotein wird in der Leber und in Fibroblasten Chondrozyten, Endothelzellen und Makrophagen gebildet. Eine weitere wichtige und nicht zu vernachlässigbare Komponente ist die Dosis an Antikörpern und unspezifischen humoralen Abwehrstoffen, die das Koagulum mit sich bringt, um eine mögliche Infektion zu verhindern (Welsch, 2003; Horch, 2003).

5.5.6.2 Unspezifische zelluläre Phase

(2. – 7. Tag)

Diese Phase beginnt mit der Degranulation der Thrombozyten. Diese setzen Signalstoffe, die sogenannten Wachstumsfaktoren frei, die auf Zellen und Gewebe im Wundrand einwirken. Wachstumsfaktoren bewirken Chemotaxis und Proliferation mit gezielter Richtungsangabe. Die wichtigsten diese Faktoren sind TGF- β , IGF, PDGF. Es beginnt eine unspezifische zelluläre Phase, die pathohistologisch eine Entzündungsreaktion auslöst. Dabei kommt es zur Ansammlung von Granulozyten und Makrophagen im Wundgebiet. In der Folge kommt es zur Gefäßneubildung und zur Bildung eines Kollagenfasergerüsts das Zellen enthält, die sich kontrahieren und dadurch die Wunde verkleinern. Das dabei entstehende Gewebe wird Granulationsgewebe genannt (Welsch,2003;Horch,2003).

5.5.6.3 Knochenspezifische zelluläre Phase

(2. – 4. Woche)

Aus den eröffneten Anteilen der Knochenmarkhöhle wandern nach einigen Tagen Knochenstammzellen in den Defekt ein. Durch ein Differenzierungsprotein (Bone Morphogenetic Protein), differenzieren sich Stammzellen zu Osteoprogenitorzellen. Die dadurch entstehenden Osteoblasten treten jetzt, durch Integrine, in mechanische Verankerung mit den Knochen trabekeln und dem Kollagenfasernetz in ihrer Umgebung. In der spezifischen Phase mineralisiert die Matrix und es bildet sich ein Geflechtknochen (Welsch, 2003; Sobotta, 1997; Sobotta, 2002; Benninghoff, 1994; Horch, 2003).

5.5.6.4 Remodelling

(ab 4. Woche)

Ab der 4. Woche wandelt sich Geflechtknochen auf Grund von Druck und Zugspannungen in lamellären Knochen um. Knochenbälkchen werden entsprechend der funktionellen Belastung (Trajektorien) ausgebildet. Nach 3 Monaten ist Knochen hart und wird als „Mature bone“ bezeichnet (Gutwald et al. 2003; Horch, 2003).

5.6 Frakturheilung

Die Frakturheilung spielt in der Verletzung von Knochen eine wesentliche Rolle und dient als Erklärungsmodell in der augmentativen und rekonstruktiven Chirurgie. Durch die gute Blut- und Nährstoffversorgung sowie den lebenslangen Auf,- Um,- und Abbauprozess hat der Knochen eine gute Heilungstendenz.

Es gibt zwei Arten von Frakturheilung:

- Primäre

Bei einem festen Aufeinandertreffen der Frakturrenden kommt es zu einem direkten Bau von neuem Knochengewebe.

- Sekundäre

Bei der Sekundären Frakturheilung kommt es zum Einbluten in den Frakturspalt. Es bildet sich ein stabiles Blutkoagel. Dieses wird dann von einsprossenden Gefäßen sowie einwandernden Fibroblasten durchwandert. Es wird Granulationsgewebe (bindegewebiger Kallus) gebildet. In weiterer Folge entsteht ein Geflechtknochen der sich wieder in einen lamellären Knochen umwandelt (Welsch, 2003).

5.7 Einheilung von Knochentransplantaten

Die Einheilung von Knochentransplantaten läuft in Phasen ab. In der initialen Phase kommt es zu einer Resorption. Der Grund dafür ist eine Immunreaktion des Körpers. Osteoklasten bauen Knochen ab und Gefäße beginnen in das Transplantat einzusprossen. Es bildet sich wie bei einer Frakturheilung zuerst ein bindegewebiger Kallus der sich weiter in einen Geflechtknochen umwandelt. In der zweiten Phase wird der Geflechtknochen durch lamellären Knochen ersetzt. In der augmentativen Chirurgie ist dies der Zeitpunkt in dem das Transplantat belastet werden muss, um eine übermäßige Resorption durch den funktionellen Umbau (Remodelling) zu vermeiden (Horch, 2003; Schwenger et al. 2009; Burchardt 1983).

5.8 Einheilung von Knochenersatzmaterial

Bei der Verwendung von Knochenersatzmaterial das im Gegensatz zu autogenen Transplantaten, nicht osteoinduktiv sondern osteokonduktiv wirkt, kommt es zu einer Bildung eines Gerüsts (Matrix) welches für die Knochenbildung benötigt wird. Bei der Bildung von neuem Knochen stabilisiert das Knochenersatzmaterial das Koagulum, füllt den zu augmentierenden Defekt und gewährleistet eine mechanische Stabilität. Geflechtknochen wird dann wiederum nach Entstehung eines bindegewebigen Kallus gebildet und in Lamellenknochen umgewandelt (Schwenger et al. 2009)

5.9 Atrophieprozess des Kieferknochens

Wie schon besprochen herrschen im Knochen stetige Umbauprozesse welche als Remodeling bezeichnet werden. Der Alveolarknochen ist eine Struktur der nur auf Grund der Zug,- und Druckbelastungen über die Zähne, aufrechterhalten wird. Diese Druck,- und Zugbelastungen kommen u.a. beim Kauen, Sprechen und Okkludieren zu stande. Wenn ein oder mehrere Zähne verloren gehen, sind in diesem Bereich weniger Druck und Zugbelastung zu erwarten. Dadurch kommt es zu einem Remodelling zu Gunsten der Atrophie (Knochenschwund). Durch Resorption, kann der Unterkiefer bis zu 1/3 seiner Ursprungsform schrumpfen (Reitemeier et al. 2006).

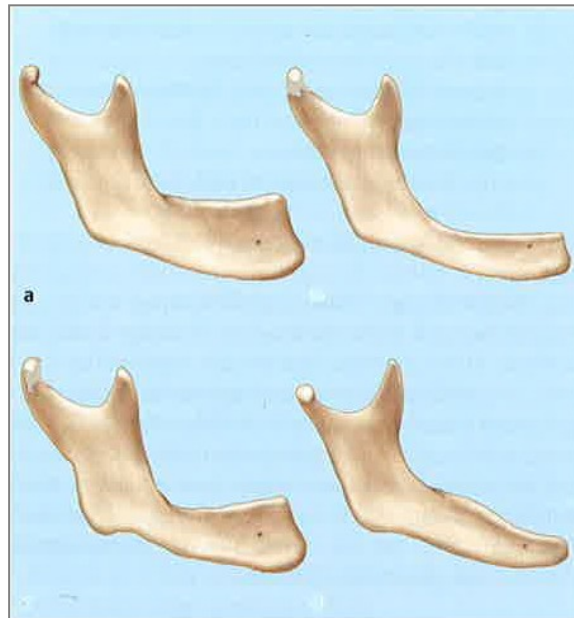


Abbildung 4 Atrophie der Mandibula nach Schröder
(Reitemeier et al. 2006)

6. Anatomie der Spenderregion

Vom Corpus mandibulae zieht die Linea obliqua zum Ramus mandibulae. Das Corpus mandibulae geht an der Hinterseite im Angulus mandibulae in den Ramus mandibulae über. Das Corpus mandibulae wird an seiner Innenseite durch eine schräg verlaufende Leiste, die sogenannte Linea mylohyoidea, unterteilt. Die Fläche, die vom Verlauf der Linea obliqua und der Linea mylohyoidea begrenzt wird, heißt Trigonum retromolare (Kahle et al. 2002).

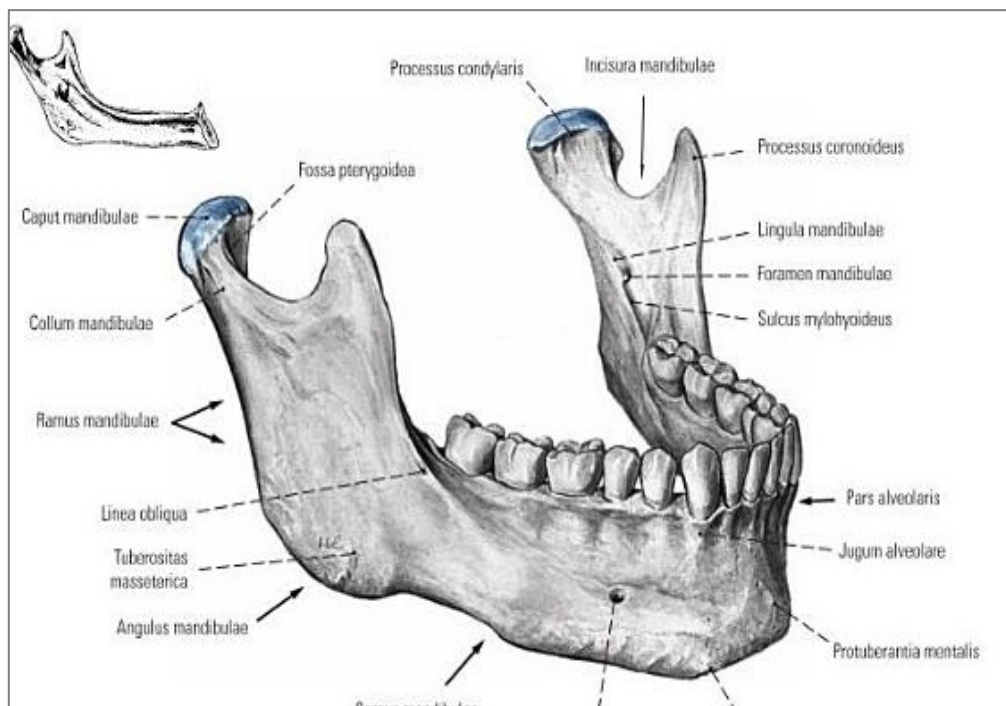


Abbildung 5 Anatomische Strukturbezeichnungen der Mandibula (Fanghänel et al. 2004)

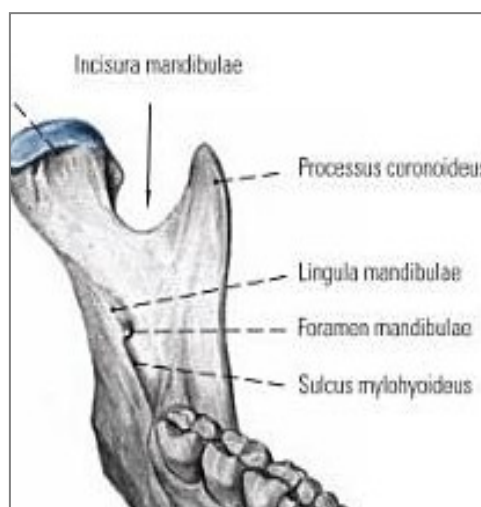


Abbildung 6 Trigonum retromolare (Fanghänel et al. 2004)

Der Nervus alveolaris inferior ist ein Ast des Nervus mandibularis, dieser wiederum ist ein Ast des Nervus Trigemini, der auch als V. Hirnnerv bezeichnet wird. Die anatomische Lage des Nervus alveolaris inferior befindet sich hinter dem Nervus lingualis an der Innenfläche des Ramus mandibulae. Er tritt durch das Foramen mandibulae in den Canalis mandibularis ein und gibt dort die Rami dentales inferiores ab, die wiederum für die Versorgung der Zähne im Unterkiefer verantwortlich sind. Der Endast des Nervus alveolaris inferior tritt durch das Foramen mentale, in der Region der Unterkiefer Prämolaren, wieder aus und wird zum sensiblen Hautast namens Nervus mentalis. Dieser versorgt das Kinn, die Unterlippe und die Haut über dem Corpus mandibulae. Feine Endäste verlaufen weiter im Knochen und versorgen die Frontzähne im Unterkiefer (Kahle et al. 2002). Der Nervus alveolaris inferior verläuft im Corpus mandibulae für gewöhnlich in einer vertikalen Tiefe von mehr als 10 mm (Smith et al. 1991).

Der Nervus lingualis ist auch ein Ast des Nervus mandibularis und zieht an der Innenfläche des Ramus mandibulae zwischen den Mm. pterygoidei lateralis und medialis und steigt vor dem Nervus alveolaris inferior zum Seitenrand der Zunge. Er versorgt die vorderen zwei Drittel der Zunge sensibel. Der Nervus buccalis entspringt auch aus dem Nervus mandibularis und verläuft zwischen Processus condylaris und Processus coronoideus an der Außenseite des aufsteigenden Unterkieferastes. Das Versorgungsgebiet ist die sensible Versorgung der Wangenschleimhaut (Kahle et al. 2002).

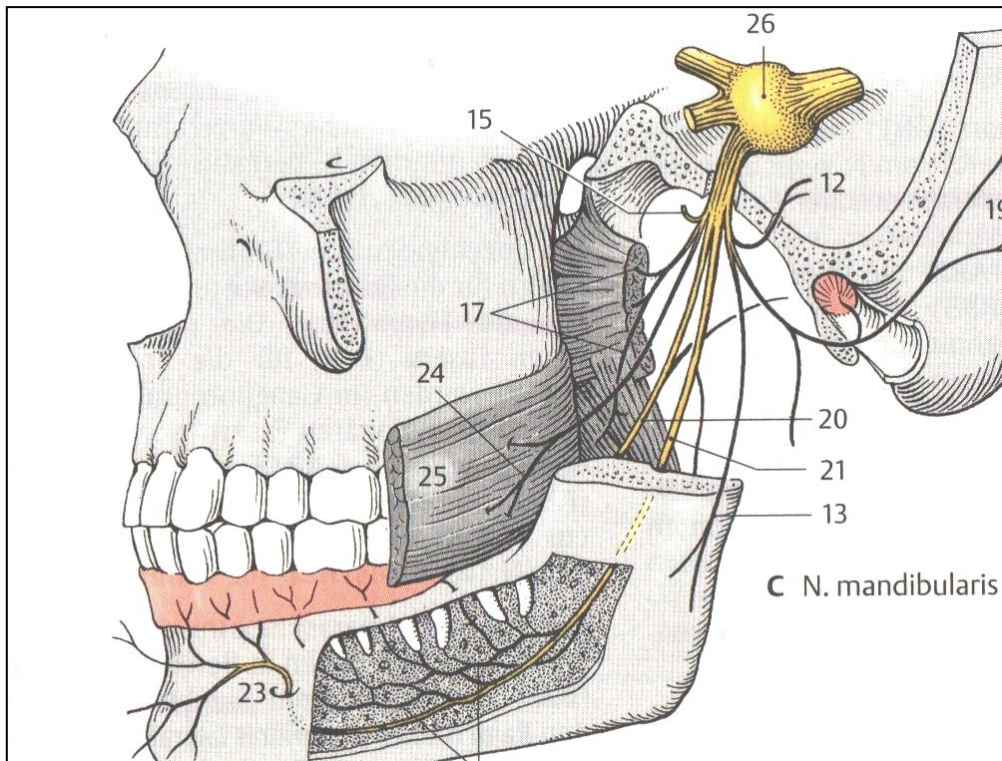


Abbildung 7 Verlauf des Nervus mandibularis (Kahle et al. 2002)

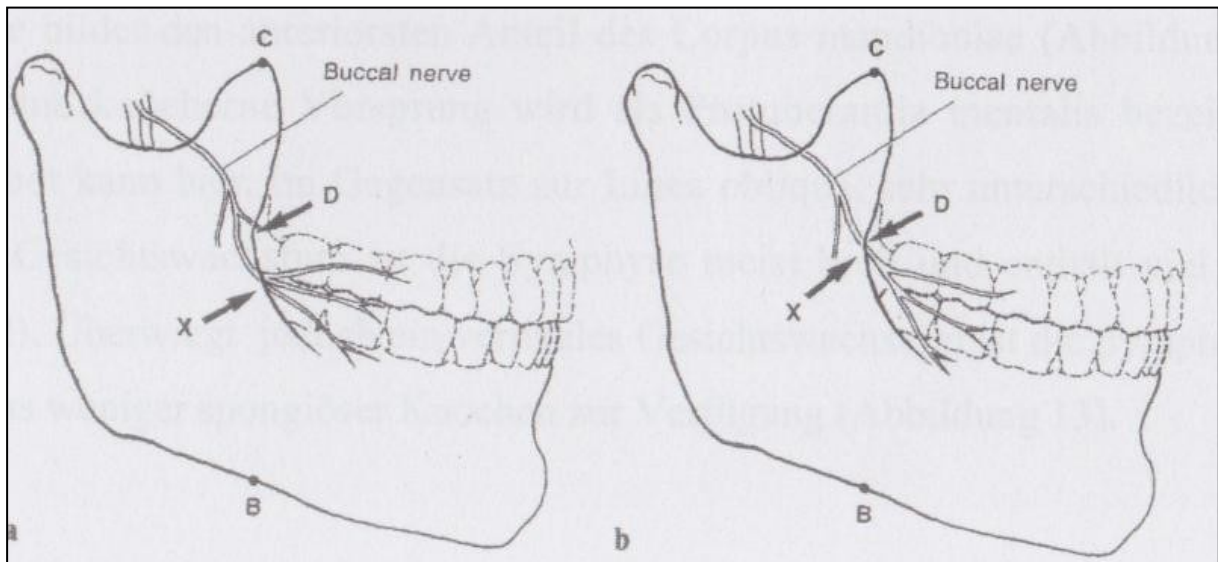


Abbildung 8 Verlauf des Nervus buccalis (Hendy et al. 1996)

7. Knochentransplantate

Ein autogener Knochen stellt bei Knochentransplantationen nach wie vor den unbestrittenen Standard dar. Der große Vorteil von einem autogenen Knochen liegt in seinen osteoinduktiven (= direkt knochenneubildenden) Eigenschaften, während Knochenersatzmaterial rein osteokonduktiv (= den einsprossenden Knochenzellen als Leitstruktur dienend) wirkt (Horch, 2003; Schwenzer et al. 2009).

Osteokonduktion wird beschrieben, wenn Stoffe oder Materialien als Leitstruktur und Matrix dienen, um die Neogenese des Eigenknochens zu stabilisieren, zu unterstützen und zu führen (Schwenzer et al. 2009).

Osteoinduktion ist ein Reiz, der durch Zytokine eingeleitet wird und die direkte Neubildung von Knochen fördert. Pluripotente Stammzellen werden stimuliert und somit eine Osteogenese hervorgerufen (Schwenzer et al. 2009).

Knochenersatzmaterialien werden in drei Hauptgruppen unterschieden (Schwenzer et al. 2009):

1.) *Biologische Materialien* (Dembone, Puros, Tutobone)

- Autogenes Ersatzmaterial ----- vom gleichen Individuum (Eigenknochen).
- Allogenes Ersatzmaterial ----- von einem Individuum der gleichen Spezies.
- Xenogenes Ersatzmaterial ----- von einer anderen Spezies.

2.) *Synthetische Materialien* (Cerasorb, Ostim, Endobon)

- Keramiken (Biogläser, Calciumcarbonat)
- Polymere (Polymethymethacrylat)

3.) *Kompositmaterialien* (Palacos, Copal)

Biologische Materialien:

Autogenes Ersatzmaterial z.B. retromolar entnommenes Knochenmaterial oder Beckenkammtransplantate wirken sowohl osteoinduktiv, als auch osteokonduktiv (Schwenzer et al. 2009).

Allogenes Material wie z.B. gefriergetrockneter Knochen von einer Leiche (DFDB) wirkt osteokonduktiv (Schwenzer et al. 2009).

Xenogenes Material wie z.B. von Rinderknochen gewonnenes Hydroxylapatit wirkt osteokonduktiv (Schwenzer et al. 2009).

Bei den biologischen organischen Materialien handelt es sich um einen Knochen, der in Form von Knochenpulver, Knochenchips aufbereitet wird. Weiters fallen auch noch Knochenbestandteile wie etwa Knochenmatrix, Knochengelatine und Knochenmarkbestandteile in diese Gruppe (Schwenzer et al.2009). Bei der Gruppe der synthetischen Materialien handelt es sich um völlig deproteinierte natürliche bzw. synthetische Materialien wie etwa Tricalziumphosphatkeramiken, Hydroxylapatit, Korallen oder Algenabkömmlinge und Biogläser. Kompositmaterialien bestehen aus Monomeren und Polymeren vermengt mit z.B. Zirkonoxid (Boccaccin et al.2005; Bostrom et al. 2005; Cornell, 1999; Kirmeier et al. 2007).

7.1 Autogene Knochentransplantate

Die Anforderungen für ein Knochentransplantat in der Medizin sind folgende (Block et al. 1997):

- Das Augmentat muss die Fähigkeit besitzen, Knochen direkt bzw. indirekt neu zubilden.
- Das Remodelling von Geflechtknochen in Lamellenknochen muss ohne Komplikationen ablaufen können.
- Die Stabilität und Funktionalität darf nicht verloren gehen.

- Das Risiko einer Infektion darf nur minimal sein.
- Einfache Gewinnung des Augmentates muss gewährleistet sein.
- Die Heilungspotenz an der Augmentationsstelle bzw. an der Entnahmestelle darf nicht beeinträchtigt sein.
- Abstoßungsreaktionen dürfen nicht auftreten und/oder die Heilung per primam beeinflussen.

Autogene Knochentransplantate sind in der oralen präprothetischen Chirurgie Goldstandard und als adäquate Therapie nicht mehr wegzudenken. Grund dafür ist die geringe Abstoßung sowie die osteoinduktive Wirkung. Bei der Entnahme von kortikospongiösen Knochenblöcken können diese durch Präparation so in Form gebracht werden, dass sie stabil an der zu augmentierenden Stelle aufliegen und so sehr gut mittels Nährstoffen versorgt werden. Dies wiederum führt zu einer guten Einheilung des Augmentates (Bostrom et al.2005).

Der größte Nachteil eines autogenen Knochentransplantates liegt in der postoperativen Morbidität der Spenderregion.

Ein autogener Knochen wird verwendet als:

- Kortikaler Knochenblock
- Kortikospöngiger Knochenblock
- Knochenmaterial kombiniert mit demineralisiertem Knochen
- Knochenchips
- Knochenbohrspäne

Jede dieser Augmentationsarten unterliegt Vor- und Nachteilen, die in der nachstehenden Tabelle angeführt sind (Schwenzer et al. 2009; Block et al. 1997; Bostrom et al. 2005; Cornell, 1999; McAllister et al. 2007; Schenk, 1991).

<i>Vorteile</i>	<i>Nachteile</i>
-----------------	------------------

Kortikaler Knochen/Knochenchips	
<ul style="list-style-type: none"> • Schnelle Revaskularisierung • Gute und leichte Kombination mittels Knochenersatzmaterials z.B. (BioOss) möglich 	<ul style="list-style-type: none"> • Massenverlust nach dem Remodelling • operationstechnisch aufwendig • Wundheilungsstörungen an der Entnahmestelle • Einheilungsstörung

Kortikospöngiger Knochenblock	
<ul style="list-style-type: none"> • Gute Stabilisierung möglich (Titanschrauben) • Knochenvolumen bleibt nach Remodelling beinahe erhalten 	<ul style="list-style-type: none"> • Langsamere Revaskularisierung, dadurch anfälliger gegenüber Infektionen. • Leichter Stabilitätsverlust während der Remodellingvorgänge und Revaskularisierung. • Operationstechnisch aufwendig. • Wundheilungsstörungen an der Entnahmestelle. • Einheilungsstörung

Autogenes Knochenmaterial kombiniert mit demineralisiertem Knochen	
<ul style="list-style-type: none"> • Schnelle Einsprossung von Gefäßen BMP (bone morphogenetic protein) von demineralisiertem Knochen vorhanden. • volumsstabil 	<ul style="list-style-type: none"> • Nicht sofort belastbar. • Heilungstörung (bindegewebige Heilung möglich)

7.2 Wirkungsmechanismen der autogenen Knochentransplantation

Die autogene Knochentransplantation läuft in drei Wirkungsweisen ab:

- Zelluläre Wirkung
- Morphogenetische Wirkung
- Osteokonduktive Wirkung

Knochen ist ein phylogenetisches Gewebe und besitzt gutes Heilungspotenzial, daher eignet sich Eigenknochen hervorragend zur freien Transplantation. Auf Grund des lebenslangen Remodeling (Umbau) können Knochenverletzungen narbenlos ausheilen was die Morbidität der Spender-, sowie Empfängerregion herabsetzt. Knochen kann durch die enthaltenden Stammzellen und deren Ischämietoleranz, avaskulär transplantiert werden (*zelluläre Wirkung*). Knochenwachstums,- und Differenzierungsproteine, die aus der Knochenoberfläche freigesetzt, werden bewirken eine Knochenneubildung (*morphogenetische Wirkung*). Die freiliegende Knochenoberfläche lockt Osteoblasten an, die sich anlagern und mit der Bildung von Geflechtknochen beginnen. Es werden auch Osteoklasten aktiviert die den transplantierten Knochen resorbieren, um wiederum Osteoblasten zu aktivieren welche die Resorbtiionslakunen wieder mit Knochen auffüllen. Dieser Vorgang wird als Creeping substitution (schleichender Ersatz) bezeichnet. (*Osteokonduktive Wirkung*). Die zelluläre Wirkung und die morphogenetische Wirkung können auch als *Osteoinduktion* bezeichnet werden (Horch, 2003).

8. Bonescraper

Ein Bonescraper ist ein chirurgisches Instrument mit dem sich durch Schaben am Knochen, Knochenmaterial gewinnen lässt. Die Gewinnung von Knochen spielt in der Augmentation und Rekonstruktion von Kieferknochen eine wesentliche Rolle. Unterschiede gibt es sowohl in der Handhabung, als auch im Design der Instrumente. Man unterscheidet den manuellen Bonescraper vom ultraschallbetriebenen Piezo-Bonescraper. Knochenchips werden beim manuellen Bonescraper in internen Reservoirs aufgefangen. Bei der piezoelektrischen Methode werden die Knochenspäne mittels einer Knochenfalle (bonetrap) gesammelt.

Beispiele für manuelle Bonescraper :

- Safescraper® (Fa. META, Reggio Emilia, Italien)



Abbildung 9 Safescraper® (Fa. META, Reggio Emilia, Italien)

- Mx-grafter® (Fa. Maxilon,Hollis, USA)

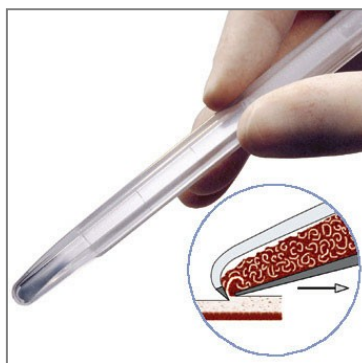


Abbildung 10 Mx-grafter® (Fa. Maxilon,Hollis, USA)

Beispiel für den Piezotome :

- Piezotome® (Fa. Satelec-Acteon, Bordeaux, Frankreich)



Abbildung 11 Piezotome® (Fa. Satelec-Acteon, Bordeaux, Frankreich)

Beispiel für Knochenfalle :

- Knochenfalle (Quality Aspirators®, Duncanville, TX,USA)



Abbildung 12 Knochenfalle (Quality Aspirators®, Duncanville, TX,USA)

9. Piezochirurgie, Anfänge und die heutigen Standards

Der Begriff „piezo“ hat seinen Stamm im Griechischen und bedeutet so viel wie „drücken“. Bereits um 1880 entdeckten die französischen Physiker Jacques und Pierre Curie in Zusammenarbeit mit Gabriel Lippmann, dass man durch mechanischen Druck an der Oberfläche von bestimmten Festkörpern eine elektrische Ladung erzeugen kann. Durch Druck entsteht elektrische Spannung. Dies wird Piezoeffekt genannt (Cady, 1964). Als direkten piezoelektrischen Effekt, auch longitudinalen Effekt genannt, bezeichnet man die Eigenschaft von piezoelektrischen Kristallen oder Keramiken, bei mechanischer Deformation Ladungen auf ihrer Oberfläche abzuscheiden, daraus folgt ein Stromfluss. Umgekehrt verformen sich derartigen Kristalle beim Anlegen einer Spannung (Martin, 1972). Diese Verformung wird ausgenutzt und somit wird Schwingung erzeugt. Dieses Phänomen wird inverser oder reziproker Piezoeffekt bezeichnet. Der piezoelektrische Grundsatz lautet, dass der direkte (longitudinal) piezoelektrische Effekt immer gemeinsam mit dem inversen (reziprok) Piezoeffekt einhergeht. Wird also ein Kristall mechanisch verformt, entsteht ein

elektrisches Feld, welches seinerseits auf Grund des reziproken Effekts wiederum eine Verformung im des Kristalls (Materials) hervorruft (Stübinger et al. 2005; Lambrecht, 2004).

In den frühen 50er-Jahren verwendete die Industrie hochfrequente Vibrationen, um harte Materialien zu schneiden. In der Chirurgie wird Ultraschall z.B. zur Steinertrümmerung (Lithotripsie) eingesetzt. Die erste theoretisch chirurgische Einsatzmöglichkeit in der Oralchirurgie wurde von J.E Horton im Jahre 1975 beschrieben. In der Parodontologie sowie der Endodontie etablierte sich die Ultraschallanwendung früher. Die Ultraschallerzeugung durch den inversen piezoelektrischen Effekt gab der chirurgischen Vorgangsweise ihren Namen „Piezosurgery“ (Millesi, 2008). Eine schonende Osteotomie und der gute Heilungsverlauf wurden im Vergleich mit Fräs- und Sägebearbeitung diskutiert und dokumentiert (González-Garcia et,al. 2009; Stübinger, et al.2005).

Die piezoelektrische Chirurgie entwickelt sich als Alternative zu bisherigen chirurgischen Methoden in der Knochenpräparation.

Es wird beschrieben, dass der größte Vorteil dieser Methode in der Selektivität der Schneidewirkung liegt, das heißt, dass Hartgewebe abgetragen wird, jedoch Weichgewebe unverletzt bleibt. Voraussetzung ist die Anwendung mit einem möglichst geringen Anpressdruck, da ein zu hoher Druck zu einer Verringerung der Vibrationen und zu einer zellschädigenden Temperaturerhöhung führt. Der geringe Druck ermöglicht auch eine äußerst hohe Präzision in der Knochenpräparation. Letztendlich wird der geringe Anpressdruck auch von den Patienten als subjektiv positiv empfunden (Eggers et al. 2004; Hoigne et al.2006; Lambrecht, 2004). Die Präparationsinstrumente arbeiten mit einer Frequenz zwischen 25kHz- 30kHz.

Dadurch ist es möglich, das Weichgewebe maximal zu schonen, da dieses erst bei einer Frequenz von 50 kHz durchtrennt wird. Die Piezoinstrumente wurden von der Firma Mectron Medical Technology unter dem Namen Piezosurgery[®] auf den Markt gebracht. Weitere Geräte stammen von den Firmen Acteon (Satelec, „Piezotom“) sowie ADS, EMS und NSK. Diese sind alle ähnlich im Aufbau. Die Arbeitseinsätze sind unterschiedlicher Art, teilweise diamantiert und je nach Funktion verschieden geformt. Die Vibrationsfrequenz

variiert zwischen 25.000-30.000 Hz und ist je nach Knochenqualität einstellbar. Die Amplitude der Vibrationen kann zwischen 20-200 μm gelegt werden, wobei Schwingungsamplituden bis 300 μm möglich sind (Blus C, 2006). Die Leistungsaufnahme eines solchen Gerätes beträgt 5 bis maximal 16 Watt (Millesi, 2008; Martin, 1972). Medizinische Geräte, die mit piezoelektrische Schwingung arbeiten, sind in Ihrem Einsatzgebiet breit gefächert. So kommen die Geräte sowohl in der Parodontologie zum Entfernen von Zahnstein als auch in der konservierenden und endodontischen Zahnheilkunde zum Präparieren von Kavitäten zum Einsatz.



Abbildung 13 Auslenkung einer Arbeitsspitze (Millesi,2008)



Abbildung 14 Ligament schneidende Arbeitsspitze für die Zahnentfernung (Department für Orale Chirurgie und Röntgenologie der Med.Uni.Graz,2011)

10. Klinische Einsatzmöglichkeiten

Häufige Einsatzbereiche sind:

- Entnahme von Knochenblöcken bei Kieferkammaugmentation

Die verwendeten Arbeitsspitzen sind gerade, gewinkelt und sägeblattartig gezackt (Millesi, 2008; Schwenger et al. 2009; Horch, 2003).

- Gewinnung von Knochenchips für kleine Augmentationen

Die gewonnenen Knochenchips werden mit Knochenersatzmaterial vermischt und bewirken dadurch eine Osteoinduktion sowie eine Osteokonduktion (Horch, 2003; Schwenger et al. 2009; Millesi, 2008).

- Sinuslift Operation

Der Vorteil liegt in der Schonung der Schneider'schen Membran liegt. Ein spezielles Arbeitsspitzenet für die Sinuslift-Operation besteht aus diamantierten Spitzen zur Knochenabtragung und tellerförmigen Inserts zur Schleimhautablösung (Schwenger et al. 2009).

- Zystektomie

Dabei wird mit speziellen tellerförmigen Arbeitsspitzen die Zyste schonend von benachbarten Strukturen gelöst und entfernt. Die Verletzung von umliegenden Weichgewebe und Nerven wird dadurch minimiert (Schwenger et al. 2009).

- Chirurgische Verlagerung des Nervus alveolaris Inferior

Der Vorteil liegt in der selektiven Schnittführung, dadurch ist eine Verletzung des Nervens nicht möglich (Millesi, 2008).

- Zahnextraktionen

Dabei wird das parodontale Ligament durchtrennt und es kann der Zahn in toto, unter Schonung des umliegenden Weichgewebes und Hartgewebes entfernt werden.

Gewisse Indikationen wie z.B. Sofortimplantation im Frontzahnbereich (st.p. Zahnfraktur) erfordern einen Schutz der Gingivagirlande um Rezessionen vorzubeugen (Schwenzer et al.2009).

- Entfernung retinierter Zähne

Dabei kann einerseits das parodontale Ligament durchtrennt oder auch der Zahn geteilt werden. Bei anatomischen Variationen des Verlaufes des Nervus alveolaris inferior ist damit eine Schädigung des Nervens nicht möglich (Schwenzer et al. 2009).

Bei der Zahnentfernung wird der Parodontalspalt mit einem speziellen Arbeitsansatz bis zur vollständigen Lockerung des Zahnes erweitert. Dies geschieht ohne Verlust der Knochenlamellen. Das gleiche Vorgehen wird bei der Entfernung retinierter Zähne gewählt. Bei Wurzelspitzenresektionen finden die Knochenabtragungen und die Abtrennungen der Wurzelspitzen mit gewinkelten sägeblattartig gezackter Arbeitsspitzen statt. Die Präparation der retrograden Kavität wird mit diamantierten, gewinkelten Spitzen durchgeführt. Beim Sinuslift kann durch eine piezoelektrische Elevation die dünne Schneider'sche Membran gelöst und gehoben werden, ohne diese dabei zu perforieren. Um für kleine Augmentationen, Knochenchips mittels des Piezo-Bonescrapers zu gewinnen, wird an der Knochenoberfläche, meist im retromolaren Bereich, mit moderatem Druck geschabt (Millesi, 2008; Schwenzer et al. 2009). Um einer Auflagerungsosteoplastik für eine Implantation zu umgehen, besteht die Möglichkeit der Nervenlateralisation. Dabei wird der Nervus alveolaris inferior mittels Piezotom freigelegt und lateralisiert. Die folgenden Bilder zeigen die verschiedenen Arbeitsspitzen und einige Einsatzmöglichkeiten (Horch, 2003; Schwenzer et al. 2009; Millesi, 2008).



Abbildung 15 Chirurgisches Arbeitsspitzenet (Department für Orale Chirurgie und Röntgenologie der Med.Uni.Graz, 2011)



Abbildung 16 Knochenchipsgewinnung mittels Piezo-Bonescraper (Wildburger 2008)

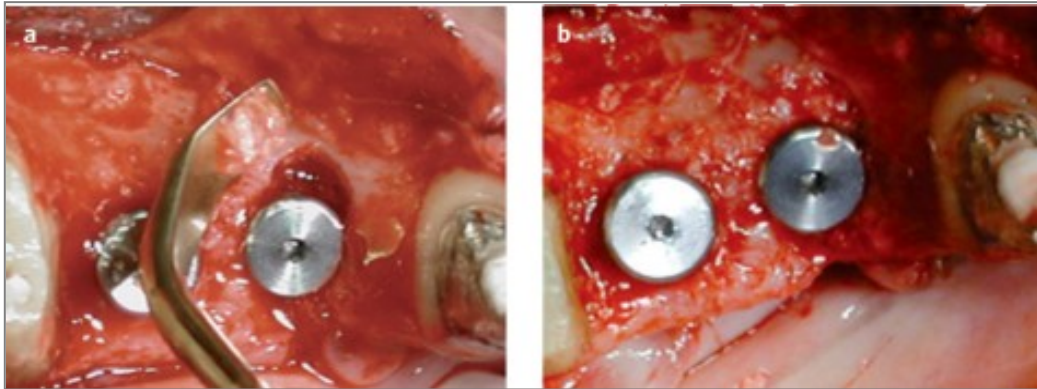


Abbildung 17 Gewinnung von Knochenchips mit Piezo-Bonescraper für eine kleine Augmentation (Millesi, 2008)

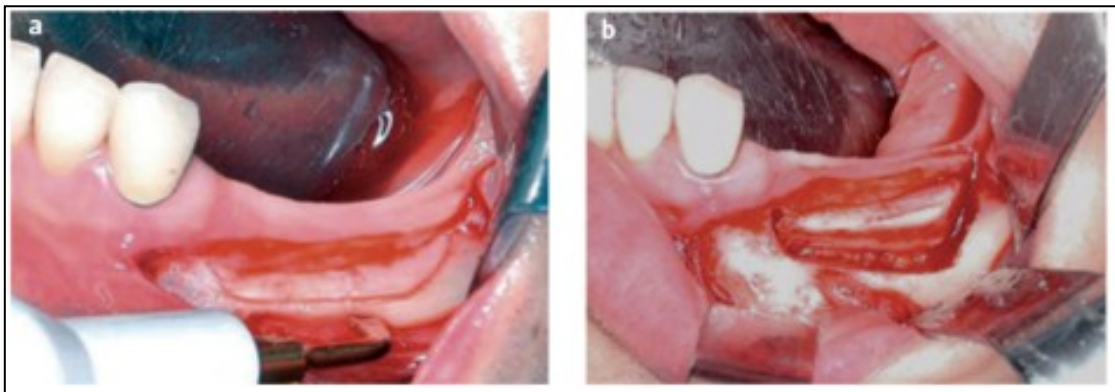


Abbildung 18 Piezochirurgische-Knochenblockentnahme (Millesi, 2008)



Abbildung 19 Entfernung eines Ameloblastoms im Unterkiefer (Wildburger et.al.2008)

11. Klinische Studie

11.1 Studienziele

Das Ziel der geplanten Pilotstudie war der direkte Vergleich der Knochenvitalität nach der Entnahme, bei standardisierter und geplanter Weisheitszahnextraktion, mit 2 unterschiedlichen Knochenentnahmeinstrumenten, dem manuellen und dem Piezo-Bonescraper. Das in vitro Auswachsen von Zellen wurde dabei als Parameter für ein vitales, osteopotentes Transplantat herangezogen.

Die zu diskutierende Fragestellung war, ob der Piezo-Bonescraper tatsächlich schonender ist, als der manuelle Bonescraper.

Die durchgeführte Studie wurde klinisch an dem Department für Orale Chirurgie unter der Leitung von Univ.-Prof. DDr. Norbert Jakse und Ass. Dr. Angelika Wildburger und histologisch am Institut für Zellbiologie, Histologie und Embryologie, unter der Leitung von Univ.-Prof. Dr. Gottfried Dohr, durchgeführt.

Die durchgeführte Studie wurde von der Ethikkommission der Medizinischen Universität Graz geprüft und genehmigt (20-138 ex 08/09).

11.2 Patientenselektionierung, Einschluss- und Ausschlusskriterien

Im Zuge der an der Medizinischen Universitätsklinik Graz standardmäßig durchgeführten Aufklärung für einen operativen Eingriff zur Weisheitszahnentfernung, wurden die Patienten über das Vorgehen in der Studie aufgeklärt. Die Zustimmung zur Studie wurde mittels Einverständniserklärung bestätigt.

In die Studie eingeschlossen wurden Patient/innen in einem Alter zwischen 18 und 65 Jahren, unauffälliger Allgemeinzustand, keine bestehende Schwangerschaft, Indikation für einen operative Weisheitszahnentfernung und Nichtraucher/innen.

Aus der Studie ausgeschlossen wurden Patient/innen älter als 65, bei bestehender Schwangerschaft, sowie Raucher/innen.

11.3 Knochengewinnung

Bei 20 Patienten wurden im Zuge der Weisheitszahnentfernung, im Unterkiefer mit dem manuellen Bonescraper (= Knochenschaber Fa. Straumann, Basel, Schweiz) und mit einem Piezo-chirurgischen Bonescraper (Fa. Satelec-Acteon, Bordeaux, Frankreich) von der Linea obliqua in der Unterkieferretromolarregion mittels beider Knochengewinnungsverfahren ca. 0,1 g Knochenspäne entnommen und sofort in ein dafür vorgesehenes Zellkulturmedium gelagert. Das Zellmedium besteht aus:

- DMEM, (Dulbecco's modified Eagle's Medium, Gibco, Karlsruhe,D),

DMEM ist ein standardisiertes Nährmedium für die Zellkultivierung bestehen aus Vitaminen, anorganischen Salzen und Aminosäuren.

- 10 % FBS (fetales Rinderserum)
- 100U/ml Penicillin (β -Lactam Antibiotika)
- 100 μ m Streptomycin (Aminoglycosid- Antibiotikum)
- 25 μ g/ml Amphotericin (Antimykotikum)

Am Beginn des chirurgischen Eingriffes wird mithilfe einer Leitungsanästhesie und Infiltrationsanästhesie (Ultracain® dental forte, Sanofi-Aventis, A) der Nervus alveolaris inferior der zu behandelnden Seite, sowie der Nervus buccalis, anästhesiert. Der chirurgische Zugang wurde nach einer standardisierten Methode zur operativen Weisheitszahnentfernung durchgeführt. Nun wurde mittels des Piezo-Bonescraper bzw. mit dem manuellen Bonescraper die für die klinisch-histologische Studie benötigte Menge an Knochenmaterial gewonnen. Die Entnahmestelle der Knochenchips erfolgte an unterschiedlichen Stellen, um für die Kultivierung annähernd Knochenspäne gleicher Qualität zu gewinnen. Es wurde zuerst der manuelle Bonescraper angewendet. Bei der Verwendung mittels des Piezo-Bonescrapers, wurde mittels einer Knochenfalle, (Quality Aspirators®, Duncanville, TX, USA) die anfallenden Späne eingesammelt. Zusätzlich wurde bei der Entnahme mittels Piezo-Bonescraper ein 2. Sauger verwendet, um die Kontamination der Knochenchips mit Speichel möglichst gering zu halten.

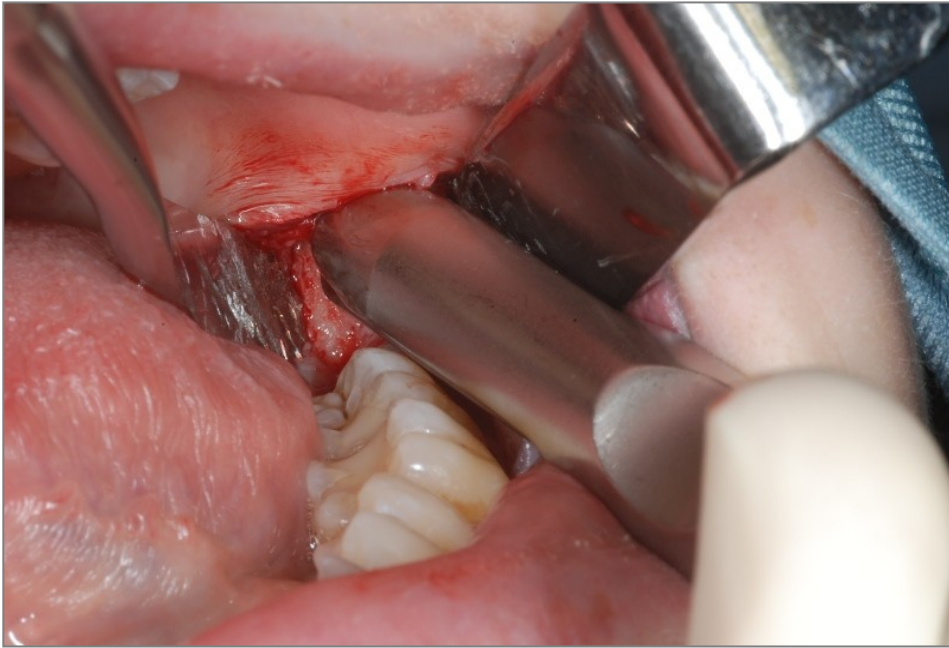


Abbildung 20 Knochenchipsentnahme mittels manuellen Bonescraper (Wildburger, 2008)



Abbildung 21 Knochenchipsentnahme mittels Piezo-Bonescraper (Wildburger, 2008)



Abbildung 22 Knochenchips von Piezo-Bonescraper (Wildburger, 2008)

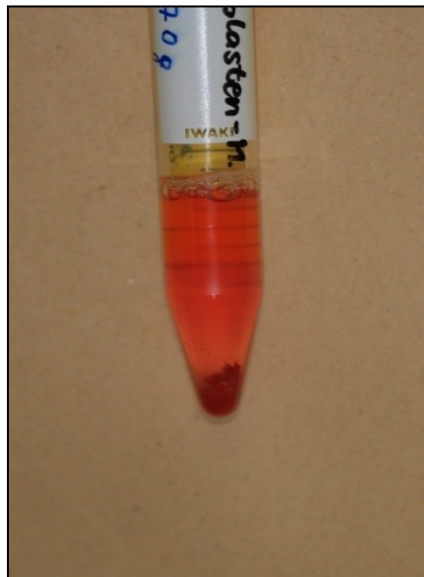


Abbildung 23 Knochenchips vom manuellen Bonescraper (Wildburger, 2008)

11.4 Zellexpansion

Die entnommenen Knochenspäne wurden, sofort nach der Entnahme, in ein Nährmedium gegeben. Die weitere Verarbeitung und Kultivierung der Knochenchips erfolgte unter der Anleitung von Frau Christine Dachsböck (MTA am Institut für Zellbiologie, Embryologie und Histologie der Medizinischen Universität Graz). Um eine eventuelle pathogene Kontamination zu vermeiden, wurden diese vor der Kultivierung 3-mal gewaschen. Der dafür verwendete Waschpuffer bestand aus

- Hank's BSS (Nährmedium für die Zellkultivierung bestehen aus anorganischen Salzen, Vitaminen und Aminosäuren)
- 3 % Penicillin/Streptomycin (β -laktam Antibiotika, Aminoglycosid- Antibiotikum)
- 3% Amphotericin B (Antimykotikum)

Im nächsten Schritt wurde der Überstand des Waschpuffers abpipettiert. Noch bevor die Knochenstücke kultiviert wurden, musste die mit Nährmedium benetzte Kultivierungsflasche für 15 Minuten in den Brutschrank. Der Brutschrank wies eine konstante Temperatur von 37 Grad Celsius und eine Luftfeuchtigkeit von 98% auf.

Die im Reagenzglas befindlichen Knochenstücke wurden dann mit einer Pinzette vorsichtig in die benetzte und vorgewärmte Kultivierungsflasche gegeben. Dabei war darauf zu achten, dass sich nicht zu viele Stücke in der Flasche befinden, um eine ideale Versorgung mit der Nährstofflösung zu ermöglichen. Je nach entnommener Menge an Knochenmaterial und verwendeten Flaschen wurden zwischen zwei und vier Flaschen benötigt.

Das Medium wurde alle 48 Stunden gewechselt. Nach Zellkonfluenz wurden die Zellen entnommen (EDTA-trypsin, Fa. Gibco) und für weitere immunhistochemischen Untersuchungen in Wellplatten transferiert.

Das Entnehmen der konfluenten Zellen wurde mittels 2 ml Akkutase (EDTA-trypsin, Fa. Gibco) durchgeführt. Akkutase ist ein Enzym, welches den Zellverband vom Flaschenboden löst. Die Kultivierungsflaschen kamen nach der Zugabe der Akkutase für 5 Minuten in den Brutschrank und nach dieser Zeit wurde der Ablösevorgang mittels der Zugabe von 4 ml Nährmedium gestoppt. Die Zellen wurden im Casy gezählt und für weitere Versuchsreihen tiefgefroren. Das CASY® ist ein System zum Zählen von vitalen und devitalen Zellen. Es

beruht auf der Technologie eines elektrischen Feldes in diesem Strom fließt oder nicht. Vitale Zellen haben eine intakte Zellmembran welche beim Anlegen einer elektrischen Spannung als Isolator dient und somit den Strom nicht leitet. Bei nicht vitalen Zellen kommt es zu einem Bruch dieser Zellmembran was zu Folge hat, dass der Strom fließen kann (beckmancoulter,2011).

11.5 Raster-Elektronenmikroskopie (REM)

Ein Teil der gewonnenen Knochenaspäne wird zur Beurteilung der Oberflächenqualität des Materials mittels REM analysiert. Die benötigten Bilder wurden von Rudolf Schmidt, einem Mitarbeiter des Instituts für Zytologie, Histologie und Embryologie Graz, angefertigt.

Dabei wird das entnommene Knochenmaterial fixiert und für die REM-Fotographie vorbereitet. Biologische Präparate müssen vor dem Einbringen in das Mikroskop fixiert, entwässert, getrocknet und leitfähig gemacht werden. Die Proben werden zur Erhaltung der Struktur chemisch fixiert und entwässert. Andernfalls würde die in den Proben enthaltene Flüssigkeit im Vakuum des Elektronenmikroskops durch explosionsartiges Verdampfen deren Zerstörung hervorrufen. Zur Fixierung der Proben sind verschiedene Chemikalien und Lösungen notwendig. Diese wären Natriumhydrogenphosphat, Wasser, Glutardialdehyd und Natrium-Kalium-Phosphatpuffer. Die Schritte sind wie folgt beschrieben. Fixierung in 4 % Glutaraldehyd, Waschungen in Natriumhydrogenphosphat und Entwässerung in 30 %, 50 %, 70 %, 80 %, 90 %, Ethanol (Lickfeld, 1979; Nagel, 1981; Ohnsorge, 1978).

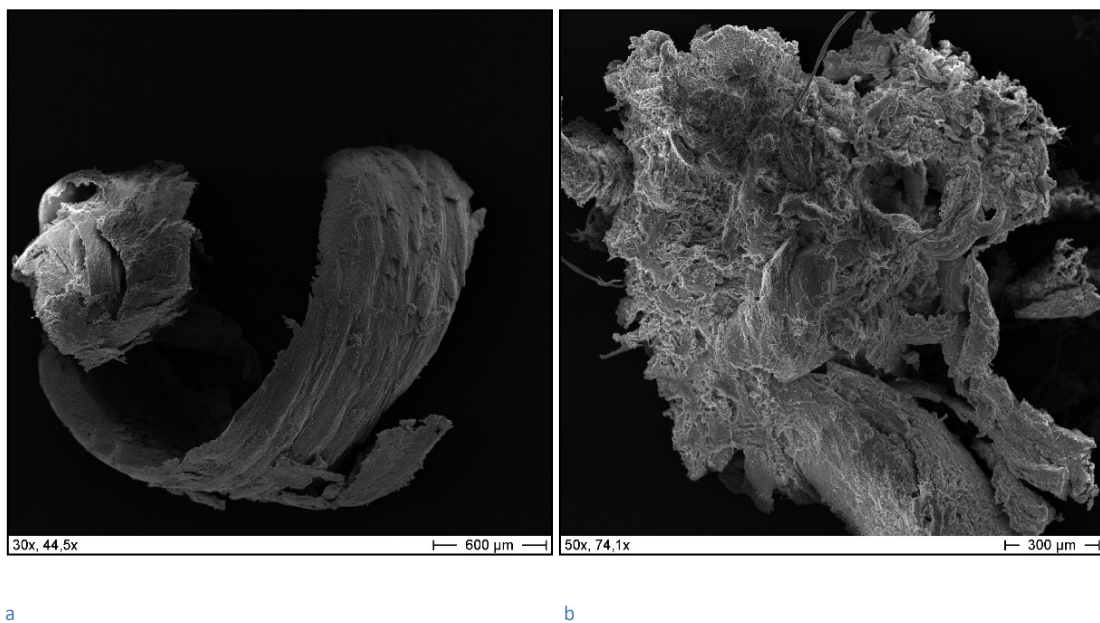


Abbildung 24 REM Aufnahme von Knochenchips, entnommen mittels Piezo-Bonescraper (a) und manueller Bonescraper (b) (Schmidt, 2008)

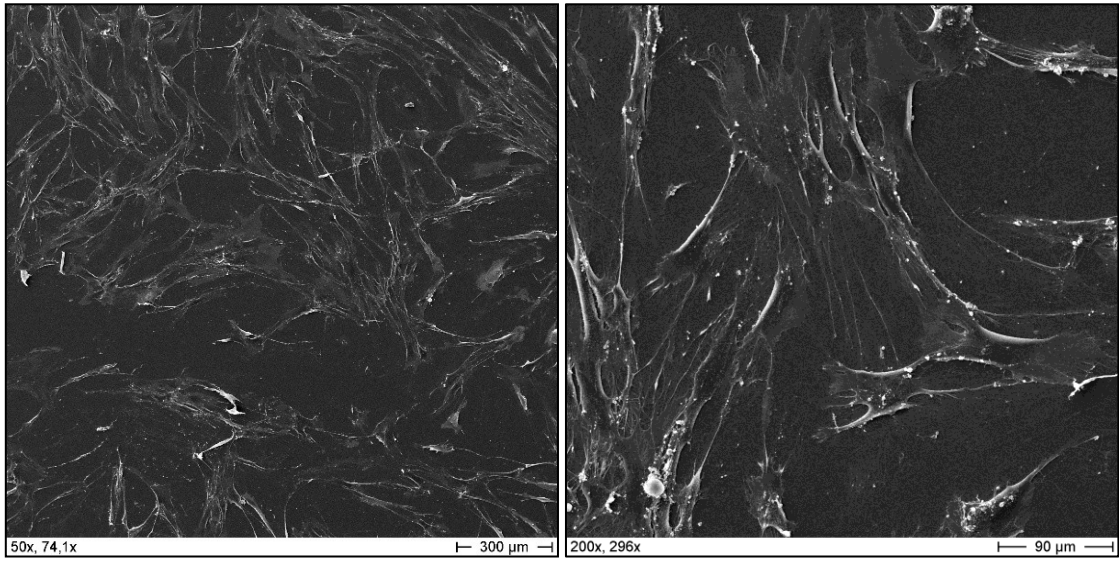


Abbildung 25 Mikroskopaufnahme einer Zellkonfluenz (Dohr, 2008)

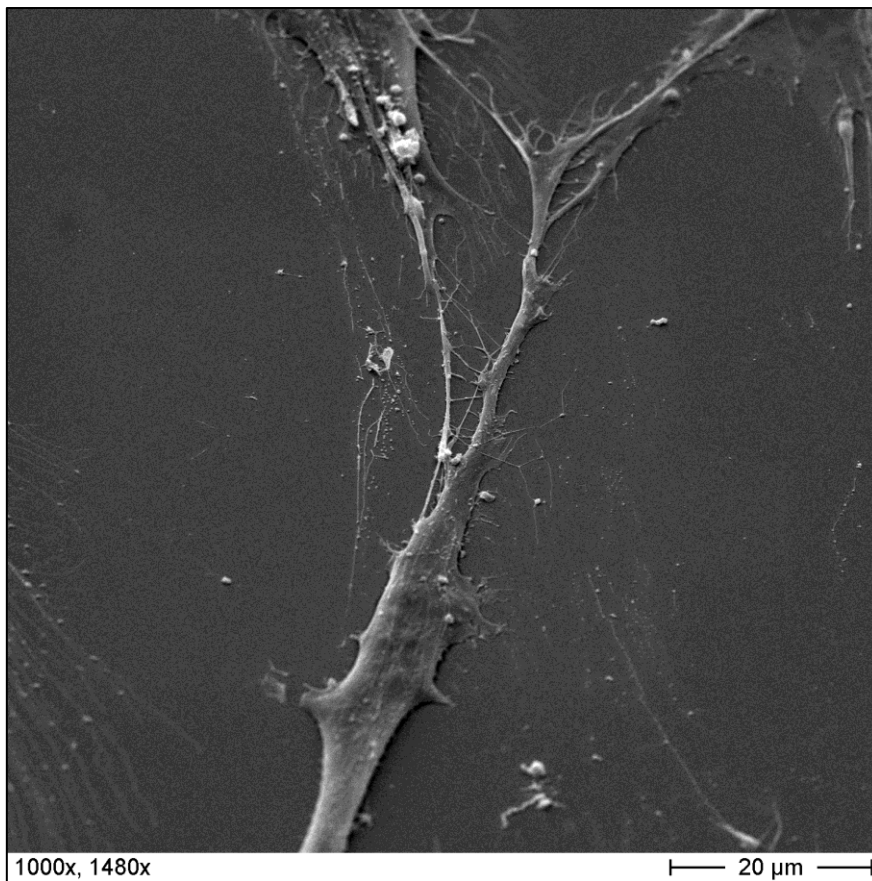


Abbildung 26 Mikroskopische Aufnahme einer Zelle (Dohr, 2008)

12. Ergebnisse

Mit März 2008 wurde mit der Entnahme und der Kultivierung von Knochenmaterial, bei geplanten und standardisierten Weisheitszahnoperationen begonnen. Es wurden im Zeitraum vom 11.3.2008 bis 10.11.2008 39 Knochenproben von 20 Patienten für Studienzwecke entnommen, am Institut für Zytologie, Histologie und Embryologie der Medizinischen Universität Graz, unter der Leitung von Univ.-Prof. Dr. Gottfried Dohr, kultiviert. Bei einem Patienten konnte aufgrund anatomischer Gegebenheiten nur der Piezo-Bonescraper zur Knochenentnahme angewendet werden.

Zu einem Auswachsen von Zellen kam es bei insgesamt nur 12 Proben. Beim Piezo-Bonescraper kam es bei insgesamt 4 Proben und beim manuellen Bonescraper bei insgesamt 8 Proben zum Zellwachstum.

Zu einer Verpilzung und damit einhergehenden Verwerfung kam es bei acht Proben. Die Verpilzung fand bei sechs Proben der Piezobonescraper-Entnahme und bei zwei Proben der manuellen Entnahmemethode statt. Das entspricht einem Prozentsatz von 75 % bzw. 25 %.

Tabelle 1 Zellwachstum gesamt

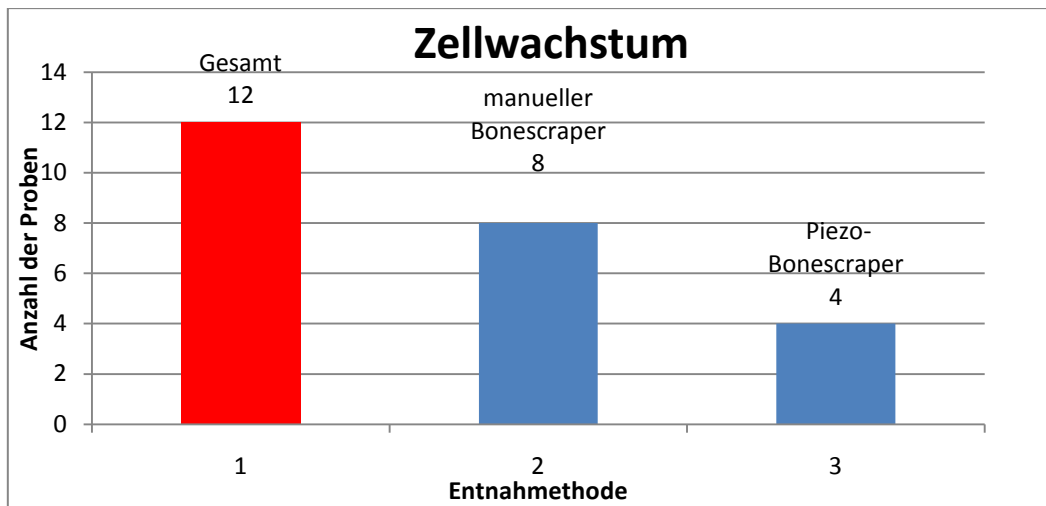


Tabelle 2 Studienergebnisse

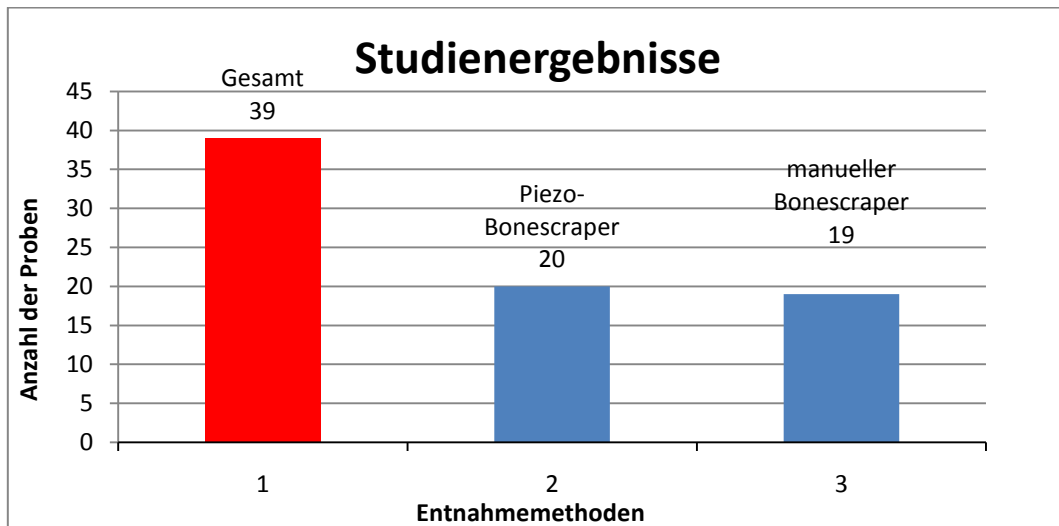
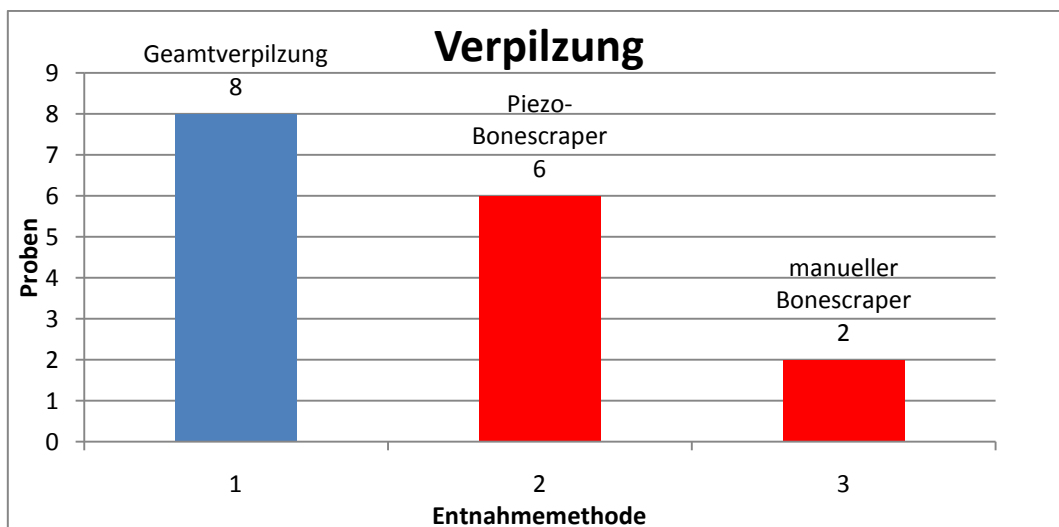


Tabelle 3 Verpilzung



Zu einem Auswachsen von Zellen unabhängig von der Entnahmemethode, kam es durchschnittlich nach etwa 20 Tagen, wobei gegen den Erwartungen, die konventionelle Entnahmemethode mittels manuellen Bonescraper die numerisch besseren Ergebnisse erzielte. Im direkten zeitlichen Vergleich der beiden Techniken ist zu erkennen, dass die Entnahmetechnik mittels manuellen Bonescraper durchschnittlich ein Zellwachstum nach 16 Tagen aufweist. Bei der piezoelektrischen Entnahmetechnik kam es erst nach 25 Tagen zum Auswachsen von Zellen.

Die prozentuelle Auswertung der Studienergebnisse im Bezug auf das Auswachsen von Zellen hat ergeben, dass insgesamt 30 % der entnommenen Knochenproben einen positiven Nachweis von Zellen erbrachten. Bei allen Proben, bei denen es zu einem Auswachsen von Zellen kam, kann auf vitale Zellen in den entnommenen Knochenspänen geschlossen werden.

Aufgrund der geringen Anzahl an Knochenproben ist eine konkrete Aussage über die Auswirkung der Entnahmetechnik auf die osteogene Potenz der entnommenen Knochenspäne in Frage zu stellen.

Tabelle 4 Durchschnittlicher Vergleich bis zum Einsetzen eines Zellwachstums im Bezug auf die Entnahmetechniken

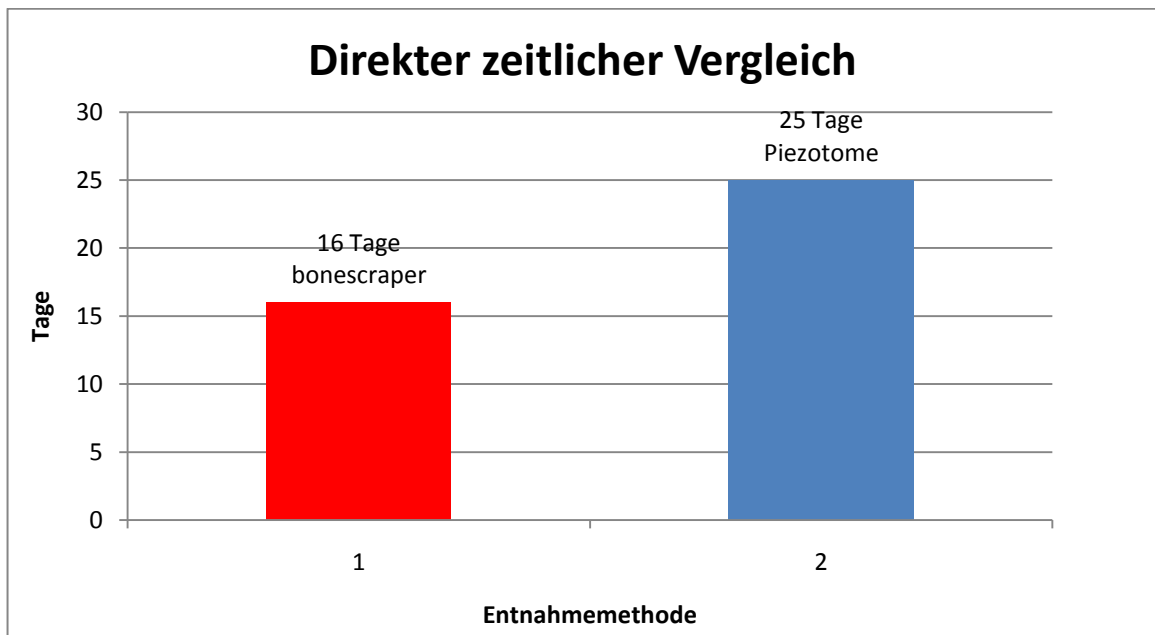
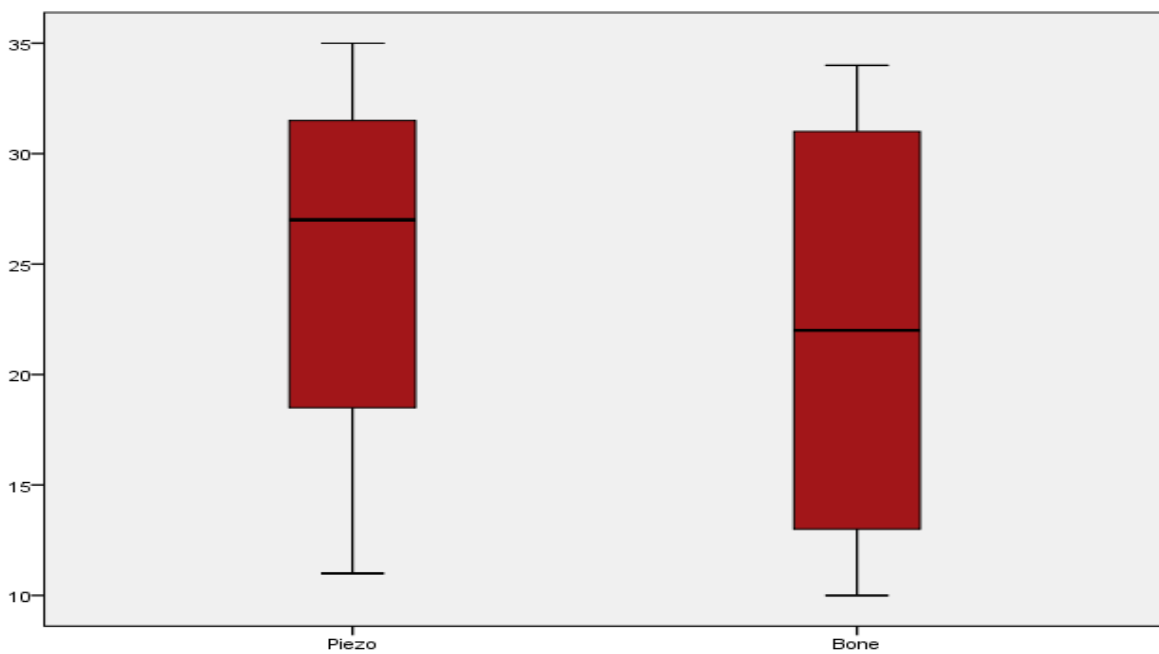


Tabelle 5 Box Plot Verteilung der Zellauswüchse im Bezug auf die Tage



13. Diskussion

Die wichtigsten Punkte der klinisch-histologischen Studie waren:

- Ist die Entnahmetechnik mittels Piezo-Bonescraper schonender?
- Welcher der beider Entnahmetechniken bringt im direkten qualitativen Vergleich die vitaleren Zellen hervor?

Mit beiden Methoden lässt sich Knochen unkompliziert entnehmen und verursacht keine zusätzlichen Komplikationen in der Wundheilung.

Die durchgeführte Studie zeigte, dass es bei 39 entnommenen Proben lediglich zu einem Auswachsen von Zellen bei 12 Proben kam. Dabei kam es zu einem vermehrten Auswachsen von Zellen nach der Entnahme von Knochenchips mit dem manuellen Bonescraper. Das Verhältnis manueller Bonescraper zu Piezo-Bonescraper betrug 8 positive Proben zu 4 positive Proben. Aufgrund der insgesamt geringen Anzahl an Proben mit Zellwachstum und der geringen Anzahl an entnommenen Proben, kann keine genaue Aussage über den Unterschied der beiden Knochenentnahmetechniken gemacht werden.

Mögliche Vorteile von chirurgischen Piezo-Instrumenten sind (Hoigne et.al. 2006):

- Schutz der umliegenden Gewebe durch selektive Schneidleistung
- leichter Umgang
- gute Kühlung
- blutarmes Präparationsgebiet
- präzise Schnittführung

Diese Punkte werden auch in wissenschaftlichen Studien diskutiert. So besagt eine Studie von Landes CA et al. (2008), dass durch die besonders hohe Fließrate der Kühlflüssigkeit und dem bei Ultraschall entstehenden Kavitationseffekt ein blutarmer Operationsbereich vorliegt (Landes CA et al. 2008). Präzisere Schnittführungen aufgrund der Betriebsmethode und der verwendeten Arbeitsspitzen sind möglich und in der Literatur beschrieben. Ein weiterer

Vorteil in der Schnitfführung ist das Schneiden nicht nur gerader Osteotomielinen, sondern auch von kurvenförmigen Schnitten (Hoigne et al.2006).

Mögliche Nachteile dieser Osteotomietechnik sind:

- langsamere Schneideleistung /rate
- damit verbundene Komplikationen wie z.B. Temperaturschäden

Die langsamere Schneiderate ist sehr wohl ein in der Literatur diskutiertes Thema (Eggers et al.2004; Kotrikova et al.2006). Man kann diese leichte Zeitverzögerung nicht als Nachteil sehen, da mitunter dadurch genauere Osteotomien erzielt werden können. Die Dauer wird durch die komplikationsärmere Operationsnachsorge wieder wettgemacht. Wie in der Literatur beschrieben, kann aber eine falsche Handhabung, wie meist zu starker Anpressdruck, zu einem daraus resultierenden thermischen Schaden führen. (Harder et al. 2009). Da oft vom Behandler subjektiv zu schwache Osteotomien erzielt werden, wird versucht, diese mit erhöhtem Anpressdruck wieder gut zu machen. Daher ist natürlich eine Einschulung in die Handhabung und in die Möglichkeiten des Osteotomiegerätes von Nöten. Die genannten möglichen Temperaturschäden sind sehr wohl ein Punkt der als negativ betrachtet und diskutiert werden sollte.

Die Entnahme von Knochenmaterial mittels manuellen Bonescraper bringt mögliche folgende Vorteile:

- Handhabung
- Anschaffungs- und Wartungskosten
- schonende Knochengewinnung
- einfache Knochengewinnung

Der manuelle Bonescraper ist ein einfaches chirurgisches Instrument, das zum Abtragen von Knochenspänen im Rahmen von kleinen Knochenaugmentationen in der Rekonstruktion von Kieferknochen ihren Nutzen findet. Durch die Handhabung und Haltung des Schabers, vergleichbar mit einem Schreibstift, ist eine einfachere Handhabung gesichert. An der Spitze befindet sich eine Klinge, mit der man durch Schaben an der Knochenoberfläche,

Knochenspäne gewinnen kann. Die Knochenspäne werden in einem im Bonescraper befindlichen Reservoir aufgefangen und sind so in sterilen Verhältnissen eingeschlossen. Für die weitere Verwendung steht somit Eigenknochenmaterial zur Verfügung und kann eventuell auch mit Knochenersatzmaterial angereichert und an die gewünschte Stelle augmentiert werden (Horch, 2003; Schwenzer et al. 2009).

Als möglicher Vorteil zu sehen, ist die etwas leichtere Handhabung, da für dieses Standard-Operationsinstrumentarium keine weitere Einschulung von Nöten ist. Ein weiterer Punkt, der für den Einsatz des manuellen Bonescrapers spricht, ist die schonendere Entnahme und die für den Patienten geräuschärmere Entnahmetechnik. Auch die Tatsache, dass der manuelle Bonescraper ohne große Probleme, wie etwa große Anschaffungskosten und Wartung, in jeder privaten Zahnarztpraxis angewendet werden kann, spricht für seinen Einsatz.

Die Studie von Zaffe et al. (2007) beschreibt die Knochenspanentnahme für kleine Augmentationen mittels manuellen Bonescraper. Die durchschnittlichen Abmessungen der verwendeten Knochenstücke betragen 1.3 mm Länge, 200µm Breite und 100µm Dicke. Im Speziellen wurden die kleineren Knochenstücke schneller resorbiert, was wiederum eine bestimmte Mindestgröße von den entnommenen Knochenstücken impliziert (Zaffe et al. 2007). Nach dieser Studie ist eher von einer Osteokonduktivität auszugehen, was bedeutet, dass die Knochenstücke als Matrix für den Neuaufbau herangezogen werden. Obwohl die Entnahmemethode laut dieser Studie zwischen 45-75% vitale Osteozyten nachwies, ist eher ein Knochenvolumsgewinn durch die Osteokonduktivität zu sehen.

Für das Neubilden von Knochen sind u.a. pluripotente Stammzellen nötig. Diese Stammzellen sind in größerer Anzahl in der Spongiosa des Knochens zu finden. Wenn bei einer Gewinnung von Knochenfragmenten hauptsächlich an der Oberfläche eines Knochens, der Compacta, geschabt wird, ist die Chance spongiöses Knochenmaterial zu gewinnen nicht so groß und wahrscheinlich. In der humanen Mandibula können Kortikalisdicken von 1 bis zu 4 mm vorliegen. (Sivolella et.al. 2006). Die Autoren der Studie um Berengo M. et al. (2006) haben beschrieben, dass bei der Entnahme von Knochenmaterial während einer Weisheitszahnoperation mit verschiedenen Präparationsgeräten und die anschließende histomorphologische Analyse, hochtouriges Bohren und die Entnahmetechnik mittels

manuellen Bonescraper ungünstigsten Ergebnisse erzielten. Die Analyse zeigte keine vitalen Osteoblasten (Berengo et al.2006). Auch die Ergebnisse dieser Studie lassen darauf schließen, dass die entnommenen Knochenstücke ausschließlich als Matrix für die Knochenzellen dienen.

Die durchgeführte Pilotstudie zeigte, dass es zu einem vermehrten Auswachsen von vitalen Zellen nach der Entnahme mittels manuellen Bonescraper kam. Zur Differenzierung der ausgewachsenen Zellen müssen weitere immunhistochemische Studien folgen.

Als erster Grund, der für ein Nichtauswachsen der Zellen verantwortlich sein könnte, sind der folgende beschriebene Anpressdruck und die dabei entstehende Wärmeentwicklung.

Dieser Wärmentwicklung wird zwar mittels der Verwendung von Natriumchlorid zur Kühlung entgegengewirkt, aber bei tiefen Osteotomiestellen wie auch engen Osteotomiearealen ist oft eine ausreichende Kühlung nicht mehr gewährleistet. Ein schon beschriebenes Problem ist der Anpressdruck, der wiederum eine Wärmeentwicklung und damit verbundene Temperaturerhöhung mit sich bringt. Sowohl bei rotierenden als auch bei schwingenden Geräten ist dabei zu achten, dass dieser ein Maß an moderatem Anpressdruck und der damit entstehenden kontrollierbaren Wärmeentwicklung, nicht überschreitet und somit wieder zu einem thermischen Schaden führt. Dieser wirkt sich dann wiederum negativ auf die Vitalität der umliegenden Knochenzellen aus und kann dadurch eine Wundheilungsstörung begünstigen und auslösen. In der Literatur wurde dieses Thema wie folgt beschrieben:

Um einen thermischen Schaden bei der Verwendung von piezoelektrisch schwingenden Instrumenten zu verhindern, ist eine Frequenz zwischen 25kHz und 29kHz notwendig. Am besten eignet sich da ein sogenannter „boosted mode“, der beim Einsatz des Gerätes Piezosurgery® (Mectron, Carasco, Italy) als Einstellung zu wählen ist. Bei diesem einstellbaren Modus wechselt das Gerät die Frequenz zwischen 25-29 kHz und verhindert so ein zu starkes Anpressen und damit eine zu starke Wärmentwicklung mit dem folgenden thermischen Schaden (Eggers et al. 2004).

Der Anstieg der Temperatur während des Vorganges einer Osteotomie ist bekannt und auch wissenschaftlich belegt, obwohl Knochen eigentlich eine relativ schlechte Wärmeleitfähigkeit

von 0,54 bis 0,58 W/mK besitzt (Davidson SR, 2000; Davidson SR, 2003). In der Studie von Harder S.et.al. 2009 wurden folgende Parameter zu Studienzwecken herangezogen. Die verwendeten Arbeitsspitzen waren gerade Knochensägen, die Präparationstiefe war 3 mm und es wurde boviner Knochen für den Osteotomievorgang benutzt. Die drei dabei verwendeten Osteotomiegeräte waren:

- Piezosurgery II professional[®] mit der Arbeitsspitze tip OT 7 der Firma Mectron[®]
- Piezotome[®] mit der Arbeitsspitze tip BS 1 der Firma Acteon[®]
- SurgySonic[®] mit der Arbeitsspitze tip ES007 der Firma American Dental Systems/Gunther Jerney[®]

Das Ergebnis jener Studie besagt, dass es zu einem mittleren Temperaturanstieg von 3 Grad Celsius bei der Verwendung dieser Ultraschallosteotomiegeräte kommt (Harder et al.2009).

In der Studie von Brisman et al. (1996) wird der Effekt von Umdrehungen und Anpressdruck miteinander verglichen. In dieser Studie wurde boviner Knochen mit einer Umdrehungsgeschwindigkeit von 1800 und 2400 rpm sowie mit einem Anpressdruck von 1,2 kg und 2,4 kg durchbohrt. Dabei ergab sich, dass das Bohren mit einer Drehzahl von 1800rpm und einen Anpressdruck von 1,2 kg verglichen mit 2400rpm und einen Anpressdruck von 2,4 kg, keinen signifikanten Temperaturanstieg zeigte. Die Veränderung nur einer Komponente, egal ob Umdrehungsgeschwindigkeit oder Anpressdruck, ergeben eine Temperatursteigerung. (Brisman et al 1996) Es wurde auch herausgefunden, dass die meiste thermische Belastung auf den Knochen durch den forcierten Vorschub des Bohrers, die benützte Geschwindigkeit sowie den Bohrdurchmesser erfolgen (Davidson SR, 2003).

Ein weiterer möglicher Beweis dafür, dass für das Nichtauswachsen ein thermischer Schaden verantwortlich war, ist die Studie von Flour MP et al. (1992). In dieser Studie wurden Osteoblasten auf Ihre thermale Sensibilität hin getestet. Dabei wurde festgestellt, dass bei einer Temperatur von 40 Grad Celcius die Proliferationseigenschaften verringert wurden (Flour MP et al. 1992). Wenn man jetzt die Ergebnisse der Studie von Harder et.al. 2009 betrachtet und dabei den mittleren Temperaturanstieg von 3 Grad Celsius unter der Berücksichtigung der normalen Körpertemperatur, ist man schon nahe an der für die Osteoblastenproliferation ungünstigen Temperatur. Mit dem Wissen, dass der Anpressdruck

sowie die Wasserkühlung einen Einfluss auf die Temperaturentwicklung haben, kann schon eine kleine Abweichung der Handhabung, Einfluss auf die Vitalität der Osteoblasten haben. Die damit einhergehende Problematik reicht von Knochennekrosen an der Entnahmestelle bis zum Nichtauswachsen von vitalen Zellen. Grunder et al. (1986) haben die Problematik des kritischen Temperaturniveaus im Knochen beschrieben und kamen auf folgende Ergebnisse: Bei Temperaturen zwischen 40 und 41 ° Celsius entsteht eine Hyperämie im Knochen. Ab einer Temperatur von 47 ° Celcius kommt es zu einer Nekrotisierung von Lipozyten und es sind erste Resorptionsprozesse zu verzeichnen. Eine weitere Erhöhung der Temperatur von nur einem Grad Celsius hat zur Folge, dass Knochen nicht mehr durchblutet wird (Grunder et al. 1986). In einer weiteren Studie von Eriksson et al. (1984) wurde beschrieben, dass es bei einer Temperatur von 47° Celcius in einem Abstand von 0,5 mm von der Frässtelle zu einer Knochenresorption kommt (Eriksson et al.1984).

Bei der im Zuge der Diplomarbeit durchgeführten in vitro Studie zeigte ein Großteil der Knochenproben im Durchschnitt kein Zellwachstum nach 15 Tagen, was auf kritische Temperaturanstiege und deren Problematik hinweisen könnte.

Als zweiter Grund ist die bakterielle Besiedelung zu nennen.

Die Mundhöhle ist als nicht steril zu betrachten und birgt somit eine hohe Anzahl von Risiken bezüglich Wundheilungsstörungen. In der menschlichen Mundhöhle lassen sich über 500 Bakterienspezies und Subspezies isolieren und klassifizieren (Wolf et al. 2004).

Die Entnahmemethode mittels manuellen Bonescraper ergab ein größeres Zellwachstum als jene mittels Piezo-Bonescraper, was aber aufgrund der geringen Auswüchse ein Zufall sein könnte. Die Problematik, die bei der Knochenmaterialgewinnung mit Piezo-Bonescraper entstehen kann, reicht von Temperaturschäden aufgrund zu starken Anpressdrucks und Verwendung zu hoher Frequenzen bis zur pathogenen Kontamination durch Bakterien, Viren und Pilze des entnommenen Materials (Blay et al. 2003; Berengo et al. 2006; Grunder et al. 1986). Ein potenzieller Grund dafür liegt in der Ausschwemmung der Knochenspäne durch das verwendete Kühlmedium in die Mundhöhle. Die dadurch entstehende längere Verweildauer in der Mundhöhle bewirkt eine stärkere Kontamination (Blay et al. 2003). Die

Knochenspäne sind nicht in einer für eine Kultivierung idealen Umgebung (Wolf et al. 2004). Um mit diesen Problemen fertig zu werden, muss man, wie auch in der Literatur beschrieben, eine antibakterielle Maßnahme in Anspruch nehmen. In der Literatur sind Spülungen mittels Chlorhexamed und Kontrolle der Speichelkontamination beschrieben. Das Problem ist die Kontamination mit Speichel bei insuffizienter Speichelabsaugung. Deshalb wurden in der durchgeführten Studie teilweise zwei Saugereinheiten verwendet. Auch eine prophylaktische Antibiotikagabe sowie antibiotische Spülungen werden in der Literatur diskutiert. Die anschließende Einsammlung der Knochenchips mittels Knochenfallen gewährleistet keine kontaminationsfreie Aufbewahrung (Sivolella et al. 2006; Kürkcü et al. 2005).

Diese große Anzahl von Gram positiven und Gram negativen Bakterien sowie Spirillen, Spirochäten, Viren und Candida sind verantwortlich für Gingivitis und Parodontitis sowie Wundheilungsstörungen. Damit verbunden ist der Verlust von bindegewebigen und knöchernen Attachments. Bei chirurgischen zahnmedizinischen Eingriffen ist nun zu achten, dass es zu einem antibiotischen Abschirmen des Operationsgebietes kommt. Das kann entweder durch eine systemische oder lokale Antibiose bewerkstelligt werden. Weiters ist vor einem chirurgischen Eingriff die Mundspülung mittels Chlorhexidin und die damit verbunden lokale Keimreduktion eine angemessene präoperative Vorbereitungsmethode (Haas M. 2009). Bei der im Zuge der Diplomarbeit durchgeführten Studie kam es doch relativ häufig zum Nichtauswachsen von Zellen oder aber auch zur pathogenen Keimbesiedelung, welches ein Verwerfen der Probe mit sich trug. Eine mögliche Ursache könnte darin liegen, dass die Knochenspäne mittels einer Knochenfalle gesammelt und somit durch Speichel kontaminiert wurden.

Young et al. (2001) beschrieben in ihrer Studie, dass die strengere Kontrolle des Speichelflusses mittels einem zusätzlichen Sauger die Keimzahl des entnommen Knochen bei Implantationsoperationen reduzierte. Die verwendeten zwei Sauger hatten separate Aufgaben, wobei eine Saugerspitze mit Knochenfalle nur für das Sammeln von Knochen und Blut zuständig war. Die zweite dieser Saugerspitzen war für die Kontrolle des Speichelflusses verantwortlich. In weitere Folge wurde in der Studie der antimikrobielle Effekt von Chlorhexidin in einer Konzentration von 0,1% exploriert. Dabei wurde präoperativ dem Patienten das CHX Präparat zur Mundspülung verabreicht. Die Gabe von CHX und die

Kontrolle des Speichelflusses mittels zwei Saugerspitzen wurden bei dieser Studie immer eingesetzt (Young et al 2001).

Kürkcü et al. (2005) bestätigten die Aussage von Young et al. (2001), bewiesen aber auch, dass dennoch das Risiko einer Kontamination des Knochen bzw. Knochenfragmente besteht. Das ist auch der Grund, warum in dieser Studie das starke Unterstützen der präoperativen Gabe von CHX in Kombination mit der Speichelkontrolle fehlt. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse hatten zur Folge, dass eine Antibiotikaphylaxe eine medikamentöse Reduktion der Speichelsekretion sowie ständige Spülung des Operationsfelds mit CHX bessere Ergebnisse in der Keimreduktion verdeutlichen (Kürkcü et al 2005).

Blay et al. (2003) verabreichte den Patienten bei der Implantatoperation Antibiotika. Die Einnahmedauer von 7 Tagen mit der Dosierung von 1 g Amoxicillin. Zwei Stunden vor dem operativen Eingriff und 500 mg Amoxicillin alle 8 Stunden nach dem Eingriff. Weiters wurde in der Studie mittels zwei medizinischen Saugereinheiten der Speichelfluss sowie das Sammeln von Knochenstücken kontrolliert. Um die gesammelten Knochenstücke nicht unnötig zu dehydrieren, wurde die Knochenfalle alle 10 Minuten ausgetauscht und die vorhandenen Knochenspäne in eine sterile Kochsalzlösung gegeben. Nach der sorgfältigen Implantation und dem Einbringen der gesammelten Knochenspäne in die Knochendefekte, wurde das Operationsareal lege artis verschlossen und erst bei der standardisierten Wiedereröffnung und Freilegung des eingehielten Implantates wurde auch im Zuge dieser eine Knochenprobe entnommen. Der um das Implantat entstandene Knochen zeigte keine pathogene Veränderung, dennoch wurden alle physiologischen Keime der Mundhöhle in einer Biopsie nachgewiesen (Blay et al. 2003).

In der von Sivoletta et al. (2006) getätigten Studie wurde piezochirurgisch die Weisheitszahnoperation unterer Molaren durchgeführt. Die dabei entstandenen Knochenstücke wurden mittels Knochenfalle und Kontrolle der Speichelkontamination gesammelt. Weiters wurden diese mit einer antibiotischen Spüllösung, Rifamycin SV, zehn Minuten gewaschen. Diese Methode zeigt auch eine signifikante Reduktion der bakteriellen Kontamination (Sivoletta et al. 2006). Noch einen Schritt weiter ging Etcheson et al. (2007). In dieser Studie wurde zur Keimreduktion neben der Speichelflusskontrolle eine antimikrobielle Spüllösung (Chlorhexidin 0,12%) und zusätzlich eine antibiotische Spülung (Tetracyclin) mit

der Konzentration von 50mg/ml zur Reduktion der Keimzahl durchgeführt. Die wie erwartete Reduktion der Keimzahl trat ein, es kam jedoch nicht zu einer totalen Sterilität (Etcheson et al. 2007).

In allen angeführten Studien wurde als Basis zur Verminderung der Keimzahl die Kontrolle des Speichelflusses mittels zwei Saugereinheiten verwendet. Weiters wurde eine antimikrobielle Komponente verwendet. Als antimikrobielle Komponente kam zum Einsatz CHX als Mundspülung, die Verabreichung einer peroralen Antibiotikaprohylaxe, die antibiotische Spülung der Knochenspäne oder eine permanente Spülung des Operationsgebietes mit einer Chlorhexidinlösung. Alle diese Methoden führten zu einem Rückgang der Keimzahl. Das dabei am effektivsten abschneidende Präparat, um die Bakterienanzahl im Speichel zu minimieren, war Chlorhexidin. Mikroorganismen haben gezeigt, dass sie aber die Fähigkeit haben, in einer geringen Anzahl zu überleben, was wiederum für eine prophylaktische Gabe von Antibiotika in Kombination mit CHX spricht. Andererseits zeigt die Literatur, dass Chlorhexidin die Wundheilung bei Osteotomien stören kann (Kürkçü et al. 2005; Young et al. 2001; Blay et al. 2003; Etcheson et al. 2007; Sivoletta et al. 2006; Wolf et al. 2004).

Als dritter Punkt ist eine mögliche pathogene Komplikation von Ultraschallfrequenzen auf Zellen zu diskutieren.

Ultraschall hat eine Frequenz von mehr als 25.000 Hz. Diesen Schwingungsbereich machen sich in der Zahnmedizin viele zu Nutze. In der Parodontologie sowie auch in der oralen Chirurgie kommen mittels Ultraschall schwingende Geräte zum Einsatz (Haas, 2009).

Der antimikrobielle Effekt ist bekannt und wird in der Parodontologie ausgenutzt, um schwer zu reinigende, aktiv entzündliche Zahnfleischtaschen bei parodontal erkrankten Patienten zu reinigen. Der Effekt, der dafür genutzt wird, ist der sogenannte Kavitationseffekt. Dabei werden durch die Ultraschallschwingung pulsierende Gasblasen durch nicht lineare Wellen zum Platzen gebracht, was mit einer Freisetzung von großer Energie einhergeht. Das wiederum hat einen Temperaturanstieg zur Folge, was wiederum einen antimikrobiellen Effekt hat (Haas, 2009). Die Überlegung, dass dieser Kavitationseffekt auch einen negativen Effekt auf vitale Osteoblasten beim Osteotomieren mit Piezo-Geräten hat, wurde durch einen Studie von Chiriac G. et al. (2005) widerlegt. In der von den Autoren durchgeführten

Studie wurde die Vitalität und Differenzierung primärer Osteoblasten aus entnommenen Knochenspänen untersucht. Es wurden dabei Proben von Ultraschallgeräten mit jenen von rotierenden Geräten verglichen und beide Knochenentnahmemethoden ergaben eine vergleichbare Proliferationsdauer und Differenzierung (Chiriac et al. 2005).

Die Kultivierung der Zellen, die postoperative Lagerung, sowie die Zusammensetzung des Nährmediums, sind der mögliche vierte Punkt warum es bei der, im Zuge der Diplomarbeit durchgeführten Pilotstudie, zu vielen Verlusten von Knochenproben kam.

Die postoperative Lagerung des entnommenen Knochenmaterials erfolgte in der durchgeführten Studie sofort nach der Entnahme. Ein Nährmedium bestehend aus DMEM, (Dulbecco's modified Eagle's Medium, Gibco, Karlsruhe, D) 10 % FBS, 100U/ml Penicillin, 100µm Streptomycin und 0,25 µg/ml Amphotericin B wurde dafür verwendet. Die anschließende Verweildauer der Knochenstücke in diesem Medium bei Zimmertemperatur betrug durchschnittlich 4 Stunden. Die nachfolgende Waschung und Kultivierung des Knochenmaterials erfolgte nach dem schon beschriebenen Prozedere. Die Problematik der Lagerung und Kultivierung zeigte sich im fehlenden Auswachsen von Kulturzellen bei 16 bzw. 12 entnommenen Proben. Verpilzung und fehlendes Auswachsen waren die Hauptgründe für das Verwerfen der Proben. Der Grund dafür könnte in der postoperativen Lagerung der Knochenproben liegen. Das ausgewählte Nährmedium muss genau auf die Proliferationsbedürfnisse von Zellen abgestimmt werden. Nicht nur die Nährlösung, sondern auch das Waschen der entnommenen Proben sind Maßnahmen für eine erfolgreiche Zellkultivierung.

In der Literatur wird das Thema Lagerung und Kultivierung wie folgt behandelt: In der Studie von Larsen M et al. (2003) wurden verschiedene Lagerungsmöglichkeiten von Knochenproben beschrieben. Die Knochenproben entstammten der Crista iliaca von 124 Monate alten Schweinen. Nach der Waschung und Vorbereitung wurden die entnommenen Knochenproben kultiviert.

Dabei wurden für die Studie 3 Gruppen vorbereitet:

1. Knochenproben kommen sofort in die dafür vorgesehene Nährlösung.

2. Knochenproben kommen 2 Stunden bei Raumtemperatur in eine physiologische Kochsalzlösung.
3. Knochenproben sind 2 Stunden im Trockenen.

Die dabei entstandenen Ergebnisse zeigten, dass alle 3 Gruppen in der folgenden Kultivierung vitale Osteoblasten hervorbrachten. Die Osteoblastenproliferation war aber in der Studiengruppe 3 am geringsten. Die Vorbereitung für die Kultivierung erfolgte mit dem Beginn einer Waschung der Knochenstücke mittels Phosphat gepufferter Kochsalzlösung (PBS). Diese wurde 3-mal durchgeführt. Nach dem Waschen mit PBS folgte eine Kollagenase Typ IV Behandlung für 2 Stunden für 37 Grad Celsius. Nach der Behandlung mit Kollagenase Typ IV wurden die Knochenproben mit PBS, Nährmedium und mit Nährmedium versetzten 10 % fetalen Rinder Serum erneut gewaschen. Die Behandlung mittels Kollagenase Typ IV wurde durchgeführt, um die Knochenstücke von Blut und Fett, Gewebe und Zellen zu dekontaminieren. Danach erst erfolgte die Kultivierung mittels speziellen Kultivierungsflaschen (Laursen et al. 2003). Nach den Erkenntnissen dieser Studie ist nicht die postoperative Lagerung für die Proliferation von Osteoblasten ausschlaggebend, sondern das verwendete Nährmedium mit seinen Komponenten. Die beschriebenen Nährmedien gleichen sich in den Grundinhaltsstoffen wie DMEM, 10 % FBS, 100U/ml Penicillin, 100µm Streptomycin. Zusätzlich zu diesen wird in einer Studie von Springer et al. (2003) 2Mm L-Glutamin, 100 nM Dexamethasone und 1mM L-Ascorbinsäure 2- Phosphate verwendet. (Springer et al. 2003) Dexamethason (9-Fluor-16α-methylprednisolon) ist ein künstliches Glukokortikoid, welches entzündungshemmend auf das Immunsystem wirkt. Es gehört zu den langwirkenden Glukokortikoiden und wirkt rund 30-mal stärker als die körpereigenen Produkte. Ascorbinsäure 2-Phosphate ist ein Vitamin C Derivat und hat einen positiven Effekt auf die Proliferation von Osteoblasten (Koolman et al.2002).

Ein wesentlicher Vorteil des manuellen Bonescrapers ist die Lagerung der Knochenpäne in Eigenblut. Bei der Knochenentnahme mittels Piezo-Bonescraper werden die Knochenchips durch die Wasserkühlung förmlich gewaschen. Der Verlust von Eigenblut könnte somit zu einer Reduktion der osteogenen Potenz beitragen.

14. Konklusion

Aus den Ergebnissen dieser Studie kann man schließen, dass sich beide Entnahmetechniken zur Gewinnung von Knochenchips gleichermaßen eignen. Die mögliche Knochenschädigung bei zu starkem Anpressdruck und dadurch entstehender Hitzeentwicklung, sowie die Kontamination der Knochenchips durch die notwendige Zwischenlagerung in einer Knochenfalle, sind als Hauptnachteile des Piezo-Bonescrapers zu werten. Vorteile für die Knochenentnahme mittels manuellen Bonescraper liegen in der einfacheren Handhabung und der geringeren Geräuschkulisse. Der gewonnene Knochen wird in Auffangreservoirs gefangen und ist so nur einer geringeren bakteriellen Kontamination ausgesetzt. Zusätzlich sind die Knochenchips in Eigenblut getränkt, was wesentlich zum Überleben der Knochenzellen beitragen kann.

Das histologische Ergebnis in dieser Studie lässt keine genaue Aussage über die Auswirkung der Entnahmetechnik auf die Osteopotenz des entnommenen Knochens zu. Eine Folgestudie mit einer größeren Anzahl und anschließender Zelldifferenzierung wurde bereits anhand eines modifizierten Protokolls durchgeführt und befindet sich kurz vor der Publikation. Die Ergebnisse dieser Studie zeigen ein deutlich besseres Zellwachstum, weisen jedoch keinen Unterschied in der Entnahmetechnik auf.

15. Literaturverzeichnis

Asti, A., Visai, L., Dorati, R., Conti, B., Saino, E., Sbarra, S., et al. (2008). Improved cell growth by BioOss/PLA scaffolds for use as a bone mineral density. *Techno health care* , 12(10): 809-10.

Benninghoff, A. (1994). *Anatomie, Embryologie und Histologie des Menschen*. München-Wien-Baltimore: Urban&Schwarzenberg.

Berengo, Bacci, Sartori, Perini, Della-Barbera, & Valente. (April 2006). Histomorphometric evaluation of bone grafts harvested by different methods. *Minerva stomatologica* , S. 55(4):189-98.

Blay, A., Tunchel, S., & Sendyk, W. (2003). Viability of autogenous bone grafts obtained by using bone collectors: histological and microbiological study. *Pesqui Odontol Bras* , S. 17:234-40.

Block, M. S., & Kent, J. N. (1997). Sinus Augmentation for Dental Implants:The Use of Autogenous Bone. *J Oral Maxillofac Surg* , S. 55:1281-1286.

Blus, C., & Szmukler-Moncler, S. (2006). Split crest and immediate implant placement with ultrasonic bone surgery: A 3-year life-table analysis with 230 treated sites. *clin Oral Implants Res* , S. 17:700-707.

Boccaccin, A., & Blaker, J. (2005). Bioactive composite materials for tissue engineering scaffolds. *Expert Rev Med Devices* , S. 2(3): 303-17.

Bostrom, M., & Seigerman, D. (2005). The clinical use of allograft, demineralized bone matrices, syntetic bone graft substitutes and osteoinductive growth factors: a surgery study. *HSS Journal* , S. 1(1): 9-18.

Brisman, D. (Januar-Februar 1996). The effect of speed, pressure, and time on bone temperature during the drilling of implant sites. *Int J Oral Maxillofac Implants.* , S. 35-7.

Burchardt, H. (April 1983). The biology of bone graft repair. *Clin Orthop Relat Res.* , S. (174)28-42.

Cady, W. (1964). *Piezoelectricity : An Intruduction of the Theory and Application of Electromechanical Phenomena in Crystals.* New York: Dover Puplications.

Chiriac, G., Herten, M., Schwarz, F., Rothamel, D., & Becker, J. (2005). Autogenous bone chips influence of a new piezoelectric device (Piezosurgery) on chip morphologie, cell viability and differentiation. *Jornal of Clinical Periodontology* , S. 994-999.

Cornell, C. (1999). Osteoconductive materials and their role as substitutes for autogenous bone Graft. *Orthop Clin North AM* , S. 30(4):591-8.

Davidson SR, J. (juni 2003). Measurement of thermal conductivity of bovine cortical bone . *Medical Engineering and Physics* , S. 22:741-747.

Davidson, S., & James, D. (2000). Measurement of thermal conductivity of bovine cortical bone. *Medical Engineering and Physics* , S. 22:741-747.

de.acteongroup.com. (23. März 2011). Von http://de.acteongroup.com/uploads/1284385023IMPLANTOLOGIE_Broschuere_09_2010_sc.pdf abgerufen

Eggers, G., Klein, J., Blank, J., & Hassfels, S. (2004). Piezosurgery: an ultrasound device for cutting bone and its use and limitations in maxillofacial surgery. *Br J Oral Maxillofac Surg* , S. 2004;42:451-3.

Emminger, H. (2005). Physikum Exakt. Deutschland: Thieme Verlag Stuttgart.

Eriksson, A., Albrektsson, T., & Albrektsson, B. (1984). Heat cause by drilling cortical bone. Temperatur measured in vivo in patients and animals. *Acta Orthop Scand* , S. 55:629-631.

Esposito, M., Grusovin, M., Worthington, H., & Couldhard, P. (2006). Invention for replacing missing teeth: bone augmentation techniques for dental implant treatment. *Cochrane Database Syst Rev* , 25 (1): CD 003607.

Etcheson, A., Miley, D., & Gillespie, M. (2007). Osseous coagulum collected in bone traps: potential for bacterial contamination and methods for decontamination. *J Oral Implantology* , S. 33:109-15.

Fanghänel, J., Pera, F., Anderhuber, F., & Nitsch, R. (2004). *A.Waldeyer - Anatomie des Menschen*. de Gruyter.

Flour, M., Ronot, X., Vincent, F., Benoit, B., & Adolphe, M. (1992). Differential temperature sensitivity of cultured cells from cartilaginous or bone origin. *Biology of the cell / under the auspices of the European Cell Biology Organization* , S. 75(1):83-7.

González-Garcia, A., Diniz-Freitas, M., Somoza-Martin, M., & Garcia-Garcia, A. (2009). Ultrasonic osteotomy in oral surgery and implantology. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* , 108:360-367.

Grunder, U., & Srub, J. (1986). Die Problematik der Temperaturerhöhung beim Bearbeiten des Knochens mit rotierenden Instrumenten. *Schweizer Monatsschrift der Zahnmedizin* , S. 96:956-959.

Gutwald, R., Gellrich, n., & Schmelzeisen, R. (2003). *Einführung in die zahnärztliche Chirurgie*. München/Jena: Urban&Fischer Verlag.

Haas, M. U.-P. (2009). *Skriptum der Parodontologie*. Graz.

Haas, R., Baron, M., Donath, K., Zechner, W., & Watzek, G. (2002). Porous hydroxylapatite for grafting the maxillary sinus : a comparative histomorphometric study in sheep. *Int J oral Maxillofac Implants* , 17(3): 337-46.

Harder, S., Wolfart, S., Mehl, C., & Kern, M. (2009). Leistung von Ultraschallgeräten in der Knochenchirurgie und damit verbundene Temperaturentwicklung im Knochen. *Implantologie* , S. 17(3):305-313.

Hendy, C., Smith, K., & Robinson, P. (1996). Surgical anatomy of the buccal nerve . *Dep Oral Maxillofac Surg* , S. 34:457-460.

Hoigne, D., Stübinger, S., Von Kaenel, O., Shadasani, S., & Hasenboehler, P. (2006). Piezoelectric osteotomy in hand surgery: first experiences with a new technique. *BMC Musculoskelet Disord* , S. 7:36.

Horch, H.-H. (2003). Zahnärztliche Chirurgie Band 9. In J. Becker, L. W. Deppe, A. Eskici, F. Härle, H. H. Horch, & T. Lambrecht. Urban & Fischer Verlag München Jena.

Jakse, N. U.-P., Wildburger, A. A., & Payer, M. U.-D. (2008). *Studienunterlagen, Studienmaterial, Studieninformation*.

Junqueira, L., Carneiro, J., & Schiebler, T. (1996). *Histologie - Zytologie , Histologie und mikroskopische Anatomie des Menschen unter Berücksichtigung der Histomorphologie*. Berlin/Heidelberg/New York: Springer Verlag.

Kahle, E., & Frotscher, P. (2002). *Taschenbuch der Anatomie*. Stuttgart, New York: Georg Thieme Verlag Stuttgart.

Kirmeier, R., Payer, M., Lorenzoni, M., Wegscheider, W., Seibert, F., & Jakse, N. (November 2007). Harvesting of cancellous bone from the proximal tibia under

local anesthesia : donor site morbidity and patient experience. *Journal of Oral Maxillofacial Surgery* , S. 65(11):2235-41.

Koolman, J., & Röhm, K.-H. (2002). *Taschenatlas der Biochemie* (Bd. 3). Darmstadt: Georg Thieme Verlag Stuttgart New York.

Kotrikova, B., Wirtz, R., Krempien, R., Blank, J., Eggers, G., Samiotis, A., et al. (2006). Piezosurgery—a new safe technique in cranial osteoplasty? *Int J Oral Maxillofac Surg* , S. 35:461-5.

Kühnel, W. (2008). *Taschenatlas der Histologie* (Bd. 12). Lübeck: Georg Thieme Verlag Stuttgart New York.

Kürkçü, M., Öz, I., Köksal, F., Benlidayi, M., & Günesli, A. (2005). Microbial analysis of the autogenous bone collected by bone filter during oral surgery: a clinical study. *Journal of Oral Maxillofacial Surgery* , S. 35:996-1000.

Lambrecht, J. (2004). Intraorale Piezochirurgie. *Schweizer Monatsschr Zahnmed* , S. 114:28-36.

Landes, C., Stübinger, S., Rieger, J., Williger, B. H., & Sader, R. (2008). Critical evaluation of piezoelectric osteotomy in orthognathic surgery: operative technique, blood loss, time requirement, nerve and vessel integrity. *J Oral Maxillofac Surg* , S. 66:657-74.

Laursen, M., Christensen, F., Bünger, C., & Lind, M. (2003). Optimal handling of fresh cancellous bone graft: Different peroperative storing techniques evaluated by in vitro osteoblast-like cell metabolism. *Acta Orthop Scand* , S. 74 (4): 490–496.

Lickfeld, K. (1979). *Elektronenmikroskopie*. Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer.

Martin, R. M. (1972). Piezoelectricity. *Physical Review B*, Jg 5, Nr. 4 , S. 1607–1613.

McAllister, B., & Haghghat, K. (2007). Bone augmentation techniques. *J Peridontal* , S. 78(3): 377-96.

Millesi, W. (Juni 2008). Intraorale Ultraschallchirurgie. *Zahnkrone* , S. 03-08.

Nagel, W. (1981). *Elektronenmikroskopie Laborpraxis*. Berlin: Springer Verlag.

Ohnsorge, J., & Holm, R. (1978). *Rasterelektronenmikroskopie*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag.

Reitemeier, B., Schwenzer, N., & Ehrenfeld, M. (2006). *Einführung in die Zahnmedizin* . Stuttgart: Georg Thieme Verlag KG.

Schenk, R. (1991). *Zur Problematik der Knocheneratzstoffe : Histophysiologie des Knochenumbaus und der Substitution von Knochenersatzstoffen*. Berlin Heidelberg: Springer.

Schwenzer, N., & Ehrenfeld, M. (2009). *Zahnärztliche Chirurgie*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag KG.

Sivolella, S., Berengo, M., Scarin, M., Mella, F., & Martinelli, F. (2006). Autogenous particulate bone collected with a piezo-electrical surgical device and bone trap:a microbiological and histomorphometrical study. *Archiv Oral Biol* , S. 883-91.

Smith BR, R. J. (1991). Mandibular anatomy as it relates to rigid fixation of the sagittal ramus split osteotomy. *J Oral Maxillofac Surg* , S. 49:222-226.

Smith, B., Rajchel, J., Waite, D., & Read, L. (1991). Mandibular anatomy as it relates to rigid fixation of the sagittal ramus slit osteotomy. *J Oral Maxillofac Surg* 1991 , S. 49:222-226.

Sobotta, J. (2002). *Atlas Histologie,Zytologie Histologische und Mikroskopische Anatomie*. MÜNCHEN-JENA: Urban&Fischer.

Sobotta, J. (1997). *Histologie. Farbatlas der Zytologie, Histologie und Mikroskopischen Anatomie des menschen*. München-Wien-Baltimore: Urban&Schwarzenberg.

Springer, I. N., Terheyden, H., Geiß, S., Härle, F., Hedderich, J., & Acy, Y. (2003). Particulated bone grafts – effectiveness of bone cell supply. *Clin. Oral Impl. Res.* , S. 205-212.

Stübinger, S., Kuttenger, J., Filippi, A., Sader, R., & Zeilhofer, H. (2005). Intraoral piezosurgery: Preliminary results of a new technique. *J Oral Maxillofac Surg* , S. 63:1283-1287.

Tezulas, E., & Ozkan, C. D. (2008). Decontamination of autogenous bone grafts collected from dental implant sites via osteotomy: a review. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* , 106:679-84.

Wegscheider, W. U.-P. (2010). Vorlesung Totalprothetik .

Welsch, U. (2003). *Lehrbuch Histologie*. München: Urban&Fischer Verlag München.

Wolf, H. F., & Rateitschak, K. H. (2004). *Farbatlas der Zahnmedizin Parodontologie*. Thieme Verlag.

www.beckmancoulter.com. (kein Datum). Abgerufen am 19. Juli 2011 von <https://www.beckmancoulter.com/wsrportal/wsr/industrial/particle-technologies/coulter-principle/index.htm>

www.dental-bone-surgery.com. (kein Datum). Abgerufen am 19. Juli 2011 von <http://www.dental-bone-surgery.com/satelec-equipment/piezotome.php>

www.maxilon.com. (kein Datum). Abgerufen am 19. Juli 2011 von www.maxilon.com/mx-grafter_instrument/mx-grafter_instrument.html

www.metahosp.com. (kein Datum). Abgerufen am 19. Juli 2011 von www.metahosp.com/meta/modules.php?name=Main&file=article&sid=22

Young, M., Carter, D., Worthington, H., Korachi, M., & Drucker, D. (2001). Microbial analysis of bone collected during implant surgery: a. *Clin Oral Implants* , S. 12:95-103.

Zaffe, D., & D'Avenia, F. (August 2007). A novel bone scraper for intraoral harvesting: a device for filling small bone defects. *Clinical oral implants research* , S. 18(4);525-33.

16. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Schematische Darstellung des Lammelenknochens (Welsch, 2003)	13
Abbildung 2 Darstellung von Osteoblasten, Osteoklasten und Osteozyten (Welsch, 2003)	15
Abbildung 3 Osteon mit Haver'schem Kanal (Welsch, 2003).....	17
Abbildung 4 Atrophie der Mandibula nach Schröder (Reitemeier et al. 2006) .	22
Abbildung 5 Anatomische Strukturbezeichnungen der Mandibula (Fanghänel et al. 2004)	23
Abbildung 6 Trigonum retromolare (Fanghänel et al. 2004).....	23
Abbildung 7 Verlauf des Nervus mandibularis (Kahle et al. 2002)	25
Abbildung 8 Verlauf des Nervus buccalis (Hendy et al. 1996).....	25
Abbildung 9 Safescraper® (Fa. META, Reggio Emilia, Italien)	31
Abbildung 10 Mx-grafter® (Fa. Maxilon,Hollis, USA).....	31
Abbildung 11 Piezotome® (Fa. Satelec-Acteon, Bordeaux, Frankreich)	31
Abbildung 12 Knochenfalle (Quality Aspirators®, Duncanville, TX,USA)	32
Abbildung 13 Auslenkung einer Arbeitsspitze (Millesi,2008).....	34
Abbildung 14 Ligament schneidende Arbeitsspitze für die Zahnentfernung (Department für Orale Chirurgie und Röntgenologie der Med.Uni.Graz,2011)	34
Abbildung 15 Chirurgisches Arbeitsspitzenset (Department für Orale Chirurgie und Röntgenologie der Med.Uni.Graz, 2011)	37
Abbildung 16 Knochenchipsgewinnung mittels Piezo-Bonescraper (Wildburger 2008).....	37
Abbildung 17 Gewinnung von Knochenchips mit Piezo-Bonescraper für eine kleine Augmentation (Millesi, 2008)	38
Abbildung 18 Piezochirurgische-Knochenblockentnahme (Millesi, 2008)	38

Abbildung 19 Entfernung eines Ameloblastoms im Unterkiefer (Wildburger et.al.2008).....	38
Abbildung 20 Knochenchipsentnahme mittels manuellen Bonescraper (Wildburger, 2008).....	41
Abbildung 21 Knochenchipsentnahme mittels Piezo-Bonescraper (Wildburger, 2008).....	41
Abbildung 22 Knochenchips von Piezo-Bonescraper (Wildburger, 2008)	42
Abbildung 23 Knochenchips vom manuellen Bonescraper (Wildburger, 2008)	42
Abbildung 24 REM Aufnahme von Knochenchips, entnommen mittels Piezo-Bonescraper (a) und manueller Bonescraper (b) (Schmidt, 2008)	45
Abbildung 25 Mikroskopaufnahme einer Zellkonfluenz (Dohr, 2008)	46
Abbildung 26 Mikroskopische Aufnahme einer Zelle (Dohr, 2008).....	46

17. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Zellwachstum gesamt	48
Tabelle 2 Studienergebnisse.....	48
Tabelle 3 Verpilzung	48
Tabelle 4 Zeitlicher Vergleich der Entnahmemethodik.....	50
Tabelle 5 Box Plot Verteilung der Zellauswüchse im Bezug auf die Tage	50