

Aus der Abteilung für Umwelt- und Medizinische Wissenschaften,
Zentrum für Interdisziplinäre Zahnmedizin
der Donau-Universität
Krems, Österreich

**Konstruktion einer Standardversuchsanordnung
zu kontrollierten Laserstudien an Geweben**

Erste Studien und Ergebnisse
an menschlichem Knochenmaterial

Masterthese

zur Erlangung des
„Master of Science Implantologie“ (MSc)

vorgelegt von

Harald Passow aus Berlin

Berlin 2005

Inhalt

1. Einleitung	4
2. Material und Methoden	6
2.1 Entnahme von unfixierten Humanknochen	6
2.2 Versuchsordnung 1	6
2.2.1 Vorüberlegungen zur Versuchsordnung.....	6
2.2.2 Prüfung der Versuchsordnung.....	6
2.3 Überlegungen zur Versuchsordnung 2.....	8
2.4 Versuchsordnung 2	8
2.4.1 Technische Bedingungen.....	8
2.4.2 Anforderungen für mögliche Anwendungen.....	9
2.4.3 Dimension der zu untersuchenden Gewebematerialien	9
2.5 Zu testender Dentallaser und seine Daten.....	10
2.5.1 Hersteller und technische Daten	10
2.5.2 Hinweis.....	11
2.5.3 Eingesetztes Zubehör für die Bearbeitung mittels Laser.....	11
2.5.4 Referenzeinstellung.....	11
2.6 Durchführung des Experimentes	11
2.6.1 Vorbereitung des Spenderknochens zur Einbettung auf dem Präparatetisch.....	11
2.6.2 Ausrichtung des Laserhandstückes	12
2.6.3 Aufbettung des Knochens zur Bearbeitung.....	12
2.6.4 Auswahl des Bearbeitungsprogrammes und Durchführung.....	12
2.6.5 Vorbereitende Arbeiten für die histologische Schnittaufbereitung	14
2.7 Handversuch zur Vergleichbarkeit zu klinischen Experimenten	15
2.8 Anmerkung zu den durchgeführten Versuchen	16
3. Ergebnisse	17
3.1 Versuchsordnung 2	17
3.1.1 Mechanisch-technischer Aufbau der Versuchsordnung 2.....	17
3.1.2 Elektronische Steuerung und Schrittmotoren.....	22
3.1.3 Darstellung der kompletten Versuchsordnung	25
3.1.4 Additive Zuführung von Luft und Wasser	26
3.1.5 Darstellung des Laserhandstücks in Arbeitsstellung.....	26
3.2 Histologische Auswertungen.....	27
3.2.1 Makroskopische Auswertung der Versuchspräparate	27
3.2.2 Mikroskopische Auswertungen der Versuchspräparate.....	27
3.3 Vergleich der histologischen Ergebnisse der Versuchsordnung 2 mit handgeführtem Versuch.....	27

4. Diskussion	28
4.1 Technik Versuchsanordnung 2	28
4.1.1 Aufbau der elektronischen Steuerung	28
4.1.2 Kritik und mögliche Verbesserung	28
4.2 Vergleich der histologischen Ergebnisse	29
4.2.1 Makroskopische Betrachtung der Versuchspräparate im Vergleich	29
4.2.2 Mikroskopische Betrachtung der Versuchspräparate im Vergleich	30
4.3 Ausblick	30
5. Zusammenfassung	32
6. Anhang	33
6.1 Versuchsprotokolle und Untersuchungsmaterial	33
6.1.1 Versuchsprotokoll 1 zu handgeführtem Versuch	33
6.1.2 Untersuchungsmaterial zu Handgeführtem Versuch	34
6.1.3 Versuchsprotokoll 2 zur Versuchsanordnung 2	35
6.1.4 Untersuchungsmaterial hierzu	36
6.1.5 Versuchsprotokoll 3 zur Versuchsanordnung 2	38
6.1.6 Untersuchungsmaterial hierzu	39
6.1.7 Anmerkung	40
6.1.8 Angaben zu den PCNC-Abläufen	40
6.2 Unterstützende und weiterführende Materialien	41
6.2.1 Wirkungsbereich von Lasern in verschiedenen Wellenlängen	41
6.2.2 Comparison of physical tissue parameters and different Lasers	42
6.2.3 Behandlungs- und Einstellungsempfehlungen für verschiedene Laserspitzen	43
6.2.4 H ₂ O-Einstellung am Panel des Lasergerätes	44
6.3 Abbildungsverzeichnis	45
6.4 Verzeichnis der Tabellen und Protokolle	46
7. Literaturverzeichnis	47
8. Danksagung	50
9. Zusicherung	51
10. Lebenslauf	52

1. Einleitung

Seit mehr als zehn Jahren befassen sich Firmen und Anwender mit der Einführung und dem Einsatz der Lasertechnologie in die Zahnmedizin. Weichgewebe (Mucosa, Gingiva) und Hartgewebe (Zahn und Knochen) sollen mit dieser Technik individueller und schonender behandelt werden. Der Laser wurde in den letzten Jahren vor allem in der Implantologie empfohlen; das Deutsche Zentrum für orale Implantologie e.V. (D.Z.O.I) hat sogar eine eigene Lasergruppe gegründet.

Es ist fraglich, ob für das Arbeiten in Weichgewebe, Hartgewebe und im unmittelbaren Kontakt von Implantaten (Ausschluss von Erwärmung der Implantate) ND:YAG-Laser, CO₂-Laser und die Diodenlaser (Leistung bis zu 40 Watt!) aufgrund ihrer Absorptionsspektren und thermischen Leistungen sinnvoll sind [siehe Anhang 6.2.1 und 6.2.2]. Die von der Industrie immer wieder empfohlene Multianwendung darf ebenfalls stark in Zweifel gezogen werden.

Derzeit sollten nach eigener Ansicht nur die Lasertypen ER:YAG [Lit. 8, 12, 19] und ER,CR:YSGG [Lit. 2, 4, 9, 10, 13, 14, 15, 16, 21, 23, 24] zur Anwendung kommen, da sich deren Absorptionsspektren im H₂O-Bereich finden, und sie, was wichtig ist, außerdem mit regelbarer, kontinuierlicher H₂O- und Luftzuführung arbeiten. Dieses Leistungsspektrum erfüllt unter anderem der Waterlase (ER,CR:YSGG) der Firma Biolase, der seit 2001 neben anderen Lasern in der eigenen Praxis eingesetzt und mit dem fast ausschließlich gearbeitet wird. Mit ihm entfallen jegliche Karbonisierungen und Hochtemperatureinwirkungen und damit verzögerte Wundheilungen.

Zur Knochenbearbeitung, Gewinnung von autogenem (autologem) Knochen (Knochenspan), zur Vergrößerung eines Implantatlagers zur Sinusbodenelevation nach Tatum und für die Wurzelspitzenresektion liegen klinische Erfahrungen vor [Lit. 1, 3, 11, 15, 17, 18, 20, 22]. Auch findet man in der Literatur Studien über Versuche an Tierpräparaten sowie histologische Untersuchungen.

Allerdings sind die Resultate dieser Beobachtungen nicht vergleichbar, da sich die Vorgehensweisen in den verschiedenen Publikationen deutlich unterscheiden. Zwar werden meist die Leistungsparameter des jeweils verwendeten Lasers beschrieben, nicht aber die konstanten Zeit- und Abstandsparameter zu den untersuchten Präparaten. Das gleiche gilt für die Falldarstellungen in diversen Laserjournals, die häufig überhaupt keine oder nur sehr ungenaue Angaben zur Methodik angeben. All dies hindert kritisch denkende Zahnärzte, ein Lasergerät in ihrer Praxis einzusetzen.

Weitere Besonderheiten ergeben sich durch die Führung des Laserhandstückes vom Behandler. Da dies eine sehr individuelle Leistung ist, ist eine Vergleichbarkeit nur eingeschränkt möglich [Lit. 1, 7, 11, 15, 17, 18, 20, 22].

Die vorliegende Arbeit befasst sich daher mit der Konstruktion einer Standardversuchsanordnung. Es werden Versuchsanordnungen vorgestellt, erste Versuche mit menschlichen Knochen beschrieben und deren Ergebnisse aufgezeigt.

2. Material und Methoden

2.1 Entnahme von unfixierten Humanknochen

Zur Durchführung der Laserstudie wurden Knochen aus folgenden Bereichen entnommen:

- Mandibula (Retramolarbereich bis Molarbereich)
- Interforaminalbereich (Regio Mentalis)
- Sinus maxillaris (Regio Zahn 3 bis 5 buccal)

Die zügige Entnahme erfolgte direkt am Totalpräparat unter Kühlung mit einer Lindemann-Fräse. Die entnommenen Präparate wurden in verschlossener, feuchter Kammer (Zellstoff angefeuchtet mit 0,9 % NaCl) unter Kühlung mit Eiswasser zum Versuchsort gebracht und binnen 6 Stunden mit den Laserversuchsanordnungen unter Raumtemperatur (24° C) bearbeitet.

2.2 Versuchsanordnung 1

2.2.1 Vorüberlegungen zur Versuchsanordnung

Geplant war eine kontrollierte Studie unter Einhaltung eines definierten Abstandes der Laserbearbeitungsspitze über dem zu bearbeitenden Knochen.

2.2.2 Prüfung der Versuchsanordnung

Die Bedingung für die Versuchsanordnung 1 konnte mit dem Handstück (siehe folgende Abbildungen) in Vorversuchen exakt eingehalten werden. Da jedoch im Laufe der Studie weitere Parameter hinzukamen, wurden die Ergebnisse der Pilotstudien nicht mit einbezogen.



Abb. 1: Konstruierte und montierte Kalibriereinheit auf dem einzusetzenden Laserhandstück. Übersicht Handstück, Winkel 90°.



Abb. 2: Handstück, Detailansicht.

Die offene Ringführung bietet ausreichend Raum, um die Wasser- und Luftzufuhr zur Bearbeitungsfläche nicht zu behindern.

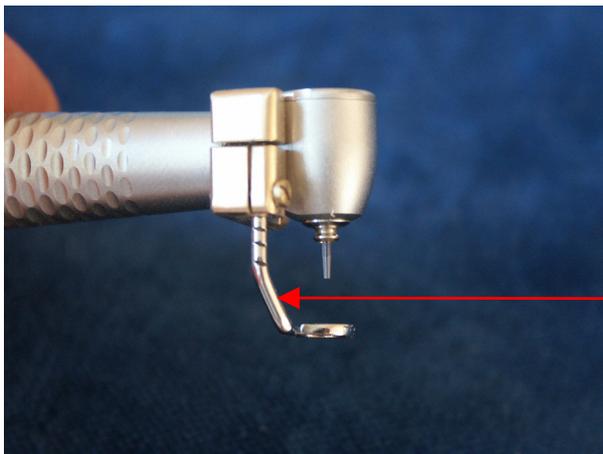


Abb. 3: Handstück, Detailansicht inkl. Laserspitze, mit sichtbarer Kalibrierung

2.3 Überlegungen zur Versuchsanordnung 2

Auf Anregung von Herrn Prof. Dr. med. Klaus-U. Benner, Anatomische Anstalt der Ludwig-Maximilians-Universität München, noch nach Möglichkeit den Faktor „zeitliche Einwirkung“ als Parameter in die Experimente mit einzubeziehen, wurde die Versuchsanordnung vollständig geändert.

Dies erschien auch sinnvoll, da weder experimentelle Anordnungen zur exakten Abstandshaltung, noch Versuchsanordnungen zu kontrollierten Zeiteinwirkungsstudien vom Laser auf verschiedene Gewebearten bisher beschrieben wurden. Mithin sind auch keine entsprechenden Versuchsanordnungen in der Literatur zu finden.

Daher wurde die beschriebene Versuchsanordnung 1 von der folgenden Versuchsanordnung 2 mit erweiterten Bedingungen ersetzt.

2.4 Versuchsanordnung 2

Um den Faktor Zeit kontrolliert mit einzubeziehen, mussten folgende Bedingungen geschaffen werden:

2.4.1 Technische Bedingungen

- a) Das Präparat muss auf einem Objektisch in x- und y-Koordinaten bewegt werden können.
- b) Die Steuerung kann nicht „per Hand“ durchgeführt werden. Sie muss mittels Schrittmotoren erfolgen und absolut reproduzierbar sein. Die Bewegungen des Arbeitstisches und der Antrieb durch Schrittmotoren müssen eine gleichmäßige Bewegung des Präparates ermöglichen, das heißt, der jeweilige Vorschub über die x- bzw. y-Achse muss harmonisch und ruckfrei verlaufen.
- c) Zur Ansteuerung muss ein Computer benutzt werden, der variable Steuerprogramme an die Schrittmotoren übermittelt.
- d) Ergänzende Wasser- und Luftzufuhr soll als Erweiterung der Versuchsanordnung möglich sein.
- e) Absaugung der anfallenden Flüssigkeiten.

- f) Die Anbringung von unterschiedlichen Handstücken verschiedener Laser zu vergleichenden Untersuchungen soll leicht durchzuführen sein.
- g) Die Steuerprogramme müssen mögliche zeitliche Handführungen des Behandelnden nachahmen können.
- h) Eine Schrittmotorsteuerung für die Laserhandstücksaufnahme soll später möglich sein, um über eine z-Achse die Höhen zu variieren.

2.4.2 Anforderungen für mögliche Anwendungen

- a) Das Gerät sollte nach den Vorstellungen des Verfassers so konstruiert werden, dass nicht nur Hart-, sondern auch Weichgewebe untersucht werden kann.
- b) Auch sollen damit spätere Experimente zur Dekontamination von infizierten Implantaten durchführbar sein. (Die Waterlase-Einwirkung führt nicht zur Erwärmung von Implantaten.)
- c) Untersuchung zur Schwächung der Compacta als Vorbehandlung am Ort der Pilotbohrung (leichte und sichere Führung zur gerichteten Implantatbettauflbereitung).
- d) Angedacht sind auch Dekontaminationsstudien an infizierten Wurzeloberflächen von natürlichen Zähnen und Taschenepithel (Fachbereich Parodontologie).

2.4.3 Dimension der zu untersuchenden Gewebematerialien

Es sollen Gewebeteile von 2 x 2 cm mehrfach bearbeitbar sein, da Humanewebe aufgrund der Entnahmegebiete nur begrenzt zur Verfügung steht.

2.5 Zu testender Dentallaser und seine Daten

2.5.1 Hersteller und technische Daten

Hersteller:	Biolase [®] Technology Inc., San Clemente/California, USA
Typ:	Biolase Millennium
Laserklasse:	IV
Medium:	ER, CR: Y S G G (Erbium, Chromium, Yttrium, Scandium, Gallium Garnet)
Wellenlänge:	2780 nm
Frequenz:	20 Hz
Leistungsgenauigkeit:	±20 %
Impulsenergie:	0 ... 300 mJ
Pulsdauer:	140 ... 150 µs
Handstückwinkel:	Standard: 90°
Spitzendurchmesser:	200 ... 750 µm
Strahlaufweitung:	8 %
Modus:	Multimode
Pilotstrahl:	Laserdiode, Laserklasse I, 655 nm Gefährdungsabstand: 5 cm (NOHD)

Wasser- und Luftversorgung:

Wasserart:	Destilliert oder steril
Ext. Druckluftversorgung:	5,5 ... 8,2 bar (80 ... 120 psi)
Tröpfchengröße:	5 ... 200 µm
Max. Tröpfchengeschw.:	100 m/sec
Wirkungsbereich:	0,5 ... 8,0 mm vor der Handstückspitze abhängig von den Einstellungen: – Leistung des Lasers – Wasser- und Luftmenge am Gerät

2.5.2 Hinweis

Biolase fühlt sich verpflichtet, Hinweise zum Gebrauch des Lasers und dessen Arbeitsleistungen zu geben. Im Wesentlichen dienen diese der rechtlichen Absicherung; wertvoll sind nur die allgemeinen Anwendungsrichtlinien.

Auch eine Vergleichbarkeit hinsichtlich der klinischen Erfahrungen fällt sehr schwer und ist aufgrund mangelnder Methodenbeschreibung nicht immer nachvollziehbar.

So macht jeder Anwender eigene Erfahrungen und ist aufgefordert, diese für sich zu optimieren, um gute klinische Ergebnisse zu erhalten.

2.5.3 Eingesetztes Zubehör für die Bearbeitung mittels Laser

Versuchshandstück:	Winkelhandstück 90 % Standard
Saphirspitze:	Typ G 6, Colonna-Tip
Abstand zum Gewebe:	3 mm (± 15 %)
Winkelposition:	15°
Einstellung:	Zufuhr Wasser/Luft (Variablen siehe Versuchsprotokolle)
Leistungseinstellungen:	3,5 und 5 Watt

2.5.4 Referenzeinstellung

Die punktgenaue Referenzeinstellung des Laserhandstückes erfolgte durch den integrierten Zielstrahl des Lasers (Laserdiode, Laserklasse 1, 635 nm) mittels Steuerprogramm.

2.6 Durchführung des Experimentes

2.6.1 Vorbereitung des Spenderknochens zur Einbettung auf dem Präparatetisch

Da das gewonnene Knochenmaterial in der Fläche uneben war, wurde dessen Spongiosaseite und seitlichen Compactabereiche mit einer Fräse unter reichlicher Kühlung mit 0,9 % NaCl vorbereitet.

2.6.2 Ausrichtung des Laserhandstückes

Zuerst wurde der Bearbeitungswinkel des Lasers am Höhensupport mit montierter Winkeleinstellungsvorrichtung eingerichtet und über dem Referenzpunkt festgelegt. Die Arbeitshöhe über dem Knochen wurde erst nach der Knochenaufbettung durch Abfahren des Referenzprogrammes eingestellt. Der zu bearbeitende Knochen wurde so aufgebettet, dass sich der Referenzpunkt in Höhe des ersten Präparatschnittes befand (Abb. 24, Abb. 25). So ausgerichtet konnte der erste Bearbeitungsschritt ausgehend vom Referenzpunkt im jeweiligen Steuerjob über dem Präparat durchgeführt werden.

2.6.3 Aufbettung des Knochens zur Bearbeitung

Geplant war erst eine Fixierung auf der gelochten Teflonplatte mittels besonderer Halteelemente. Dies erwies sich im Vorversuchsstadium als zu schwierig (ohne Abbildung) und zeitaufwändig. Da zur Referenzfestlegung (Abb. 18) ein aufgedrücktes und nach Aushärtung zurechtgeschnittenes additiv vernetztes Silikon benutzt wurde, wurde dieses Material auch zur Auflagerung von Knochenmaterial verwendet.

Silikonabformmasse mit der Eigenschaft „langsam aushärtend“ wurde vorbereitet und innerhalb des Referenzarbeitsfeldes auf die gelochte Platte aufgedrückt. In diese Aufbettmasse wurde der Knochen eingedrückt und in horizontaler und vertikaler Ebene ausgerichtet. Nach Aushärtung wurde das überschüssige Silikon mittels Skalpell auf das notwendige Maß zurückgeschnitten.

Das Herauslösen des Knochens nach dem Versuchsablauf bereitete keinerlei Schwierigkeiten.

2.6.4 Auswahl des Bearbeitungsprogrammes und Durchführung

Wie im Kapitel 3.1.2 beschrieben, wurde der jeweilige „job“ ausgewählt und das Arbeitsprogramm für den entsprechenden Versuch gestartet.

Als Beispiel zur Beschreibung der durchgeführten Bearbeitungsprogramme wurde der PCNC¹-Ablauf „24 mm_um3.job“ (Tabelle 1) genommen:

Der Tisch mit dem Präparat fährt in horizontaler Richtung über eine Strecke von 24 mm mit einer Geschwindigkeit von 1 mm / 1 Sek. durch, versetzt die Bearbeitungsrichtung in vertikaler Richtung um 3 mm in 30 Sekunden. Anschließend fährt der Präparatetisch achsenparallel den nächsten „job“ über 24 mm mit einer Geschwindigkeit von 1 mm / 2 Sek., um dann wieder vertikal um 3 mm in 30 Sek. zu versetzen. Nach Erfüllung des Programmes (in diesem Beispiel sind das drei Fahrten mit verschiedenen Geschwindigkeiten) kehrt der Tisch automatisch zum Referenzpunkt zurück.

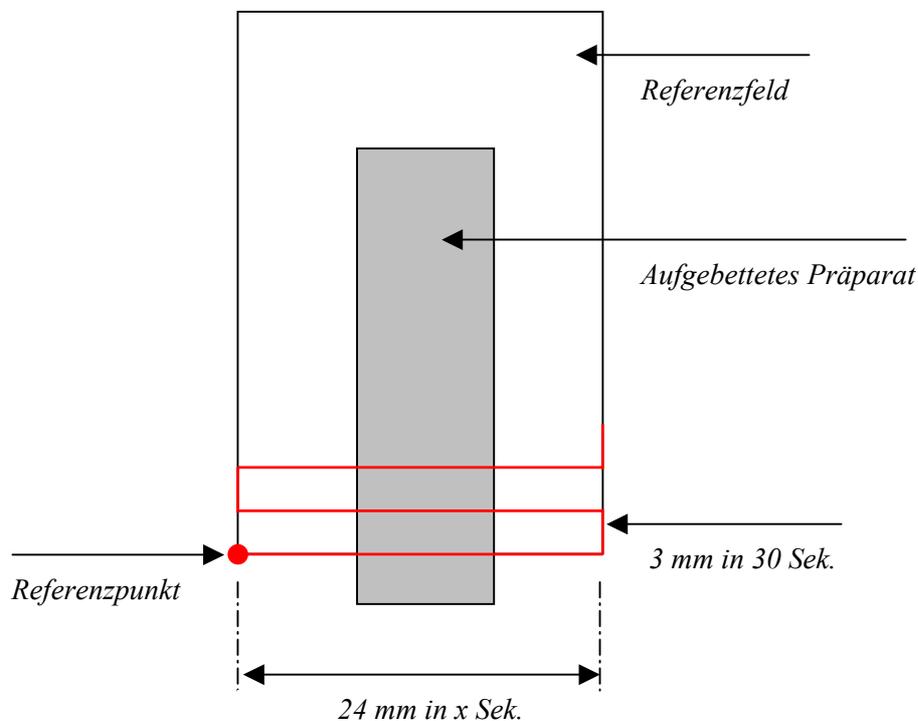


Abb. 4: Skizze PCNC-Ablauf eines Bearbeitungsprogrammes

Aufgrund der Steuerprogramme konnte exakt der gleiche „job“ an demselben Präparat 2-fach gefahren werden. Siehe Beispiel in den Ergebnissen Abb. 25, Präparat B1. An diesem Beispiel ist die exakte Reproduzierbarkeit des Steuerprogrammes erkennbar.

¹ CNC = Computerized Numerical Control (Computergestützte Numerische Steuerung)
NC = Numerical Control (Steuerung, bei der die Befehle mittels Zahlen ausgedrückt werden);

Der Laser wurde während des Versuchsablaufs nur über der Position des Präparates mittels Fußschalter ein- und ausgeschaltet.

Außerdem wurde über eine starke Absaugung (Benutzung einer Zahnarzt-Behandlereinheit) anfallende Feuchtigkeit vom Präparat in Richtung Präparatetisch abgesaugt.

2.6.5 Vorbereitende Arbeiten für die histologische Schnittaufbereitung

Nach Beendigung jedes Versuchs wurde der Knochen von dem Aufbettmaterial gelöst und das Präparat sofort in eine Fixierlösung überführt:

Für die Präparateserie 1/0, 2/0, 3/0, 4/0 und A1, A2, A3, A4 wurde eine Fixierlösung von 8 % Formaldehyd, 70 % unvergälltem Alkohol benutzt. Für die Präparateserie B1 und B2 wurde eine Fixierlösung von 4 % Formaldehyd in 70 % unvergälltem Alkohol gewählt.

Vor der histologischen Bearbeitung wurden die Hartgewebeteile mittels Kamera dokumentiert.

2.6.5.1 Vorbereitung zur Kieferpräparat-Einbettung

Die Knochenpräparate durchliefen folgende Bearbeitungsschritte bis zur Blockeinbettung:

- 2 Stunden fließend wässern
- 50 % Ethanol 1 Tag
- 70 % Ethanol 2-3 Tage
- 80 % Ethanol 2-3 Tage
- 90 % Ethanol 2-3 Tage
- 100 % Ethanol 2-3 Tage
- 100 % Ethanol 2-3 Tage
- Aceton 2-3 Tage
- Aceton 2-3 Tage
- Aceton 2-3 Tage nach Bedarf, falls noch nicht genügend entfettet
- Aceton-Methanol 2-3 Tage
- Methanol 2-3 Tage

2.6.5.2 Einbetten in Methylnmethacrylat

Nach dem Methanolbad wurden die Präparate in folgenden Schritten in die Einbettung überführt:

- Methylnmethacrylat, pur unter Vakuum 2-3 Tage
- Methylnmethacrylat, pur unter Vakuum 2-3 Tage
- Methylnmethacrylat, pur unter Vakuum 2-3 Tage
- Methylnmethacrylatgemisch² unter Vakuum 2-3 Tage
- Methylnmethacrylatgemisch in den Brutschrank bei ca. 25° C

2.6.5.3 Anfertigen von Gewebeschnitten mittels Microtom

... wird nachgereicht.

2.7 Handversuch zur Vergleichbarkeit zu klinischen Experimenten

Da alle in der Einleitung zitierten klinischen Experimente [Lit. 1, 3] mit der Hand ausgeführt wurden, wurde ebenfalls ein Handversuch durchgeführt, um auf klinische Experimente Bezug nehmen zu können.

Dieser vergleichende Handversuch mit der Präparateserie 1/0, 2/0, 3/0 und 4/0 wurde mit der meißelförmigen Collonna Saphirspitze durchgeführt.

Arbeitsspitze:	Saphirspitze „Collonna“ (nicht aufgeführt in Tabelle 4)
Handstück:	Winkelhandstück 90° (Standard)
Einstellung Leistung:	3,5 W
Einstellung H ₂ O/Luft:	Zufuhr Wasser/Luft variabel siehe Versuchsprotokoll

Nach dem Experiment wurden die Präparate sofort in eine Fixierlösung überführt; deren Konzentration war 8 % Formaldehyd, 70 % unvergällter Alkohol. Vor der histologischen Bearbeitung wurden die Hartgewebeteile mittels Kamera dokumentiert.

² Methylnmethacrylatgemisch: 900 ml Methylnmethacrylat (Merck 800590)
90 ml Phtalsäuredibutylester (Merck 800919)
15 g Alpha-alpha-azo-iso-butyronitril (Merck 12431)

2.8 Anmerkung zu den durchgeführten Versuchen

Eine Gegenüberstellung der durchgeführten Versuche mit den beschriebenen klinischen Experimenten aus der in dieser Arbeit zitierten Literatur ergibt keine sinnvolle Vergleichbarkeit, noch führt es zu irgendwelchen Ergebnissen.

Gründe sind hauptsächlich die nicht eindeutig beschriebenen Abstands- und Zeitparameter in den bisherigen Veröffentlichungen sowie die Tatsache, dass alle Versuche handgeführt waren und schließlich, dass nur tierische Knochen untersucht wurden.

Im Kapitel Ergebnisse werden daher sinnvollerweise auch Handversuch und Versuchsanordnung 2 miteinander verglichen. Dieser Vergleich ist deshalb zulässig, weil die Handversuche von derselben Person ausgeführt wurden.

Es wurde auch der Parameter „Wasserzufuhr“ in den am Panel des Lasergerätes möglichen Einstellwerten von 0 bis 100 % kontrolliert. Dieser Parameter wird im Kapitel Ergebnisse 3.1.4 kurz diskutiert und im Anhang in Tabelle 5 dokumentiert.

3. Ergebnisse

3.1 Versuchsanordnung 2

3.1.1 Mechanisch-technischer Aufbau der Versuchsanordnung 2

Gemäß den im Kapitel 2.4.1 für die Versuchsanordnung 2 gestellten Bedingungen wurde der Aufbau dieser Versuchsanordnung konzipiert.

Die Skizzen zum Aufbau und die notwendigen Ergänzungen wurden einer Maschinenbaufirma übermittelt und unter der Kontrolle des Verfassers realisiert. Nicht bereitgestellte mechanische Teile waren der Präparatetisch (Abb. 6, Abb. 7) und die Laserhandstückaufnahme (Abb. 9, Abb. 10). Die Entwicklungszeit und die Funktionsteste erstreckten sich über sieben Monate.

Die bereitgestellten Teile wurden zum Teil für die Versuchsanordnung technisch modifiziert und dann eingearbeitet.

Der mechanisch-technische Versuchsaufbau mit montierten Schrittmotoren, ohne elektronisches Zubehör wird in folgenden Abbildungen kurz beschrieben:

3.1.1.1 Präparatetisch

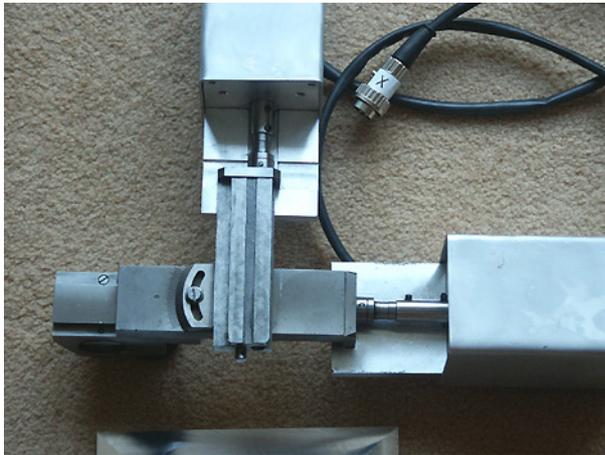


Abb. 5: Aufsicht Kreuzsupport mit aufmontierten Schrittmotoren

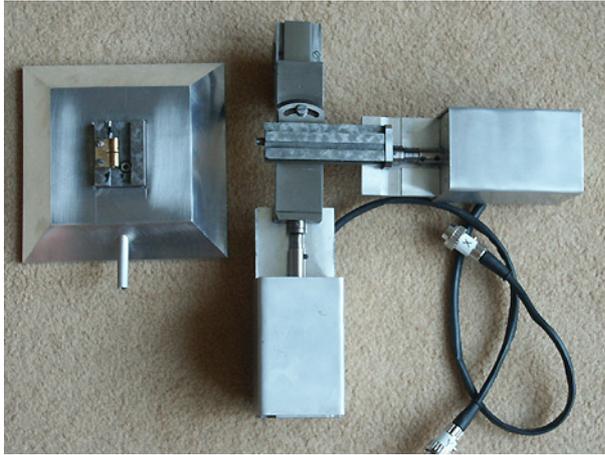


Abb. 6: Aufsicht Kreuzsupport mit Rückansicht des Präparatetisches

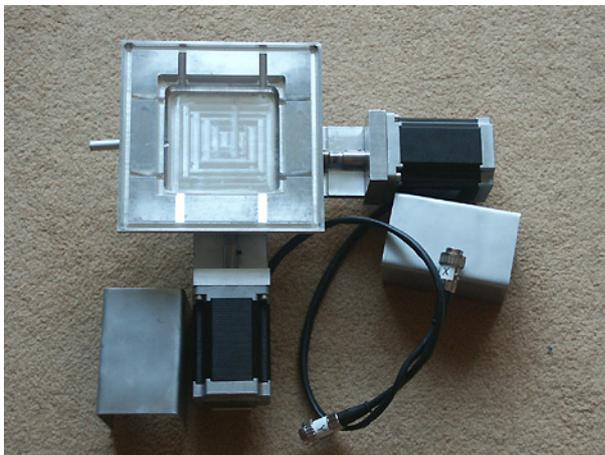


Abb. 7: Aufsicht montierter Präparatetisch mit links abführenden Stützen zur Flüssigkeitsabsaugung.

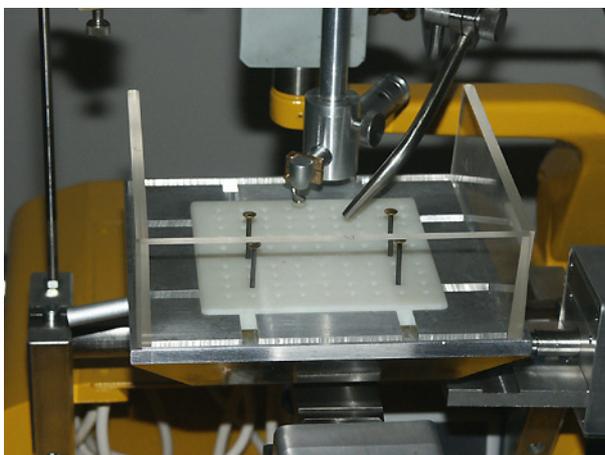


Abb. 8: Präparatetisch mit seitlich angesetztem Absaugstutzen und eingesetzter Teflonauflage für die Präparate.

3.1.1.2 Laserhandstück



Abb. 9: Laserhandstück und Handstückaufnahme zerlegt

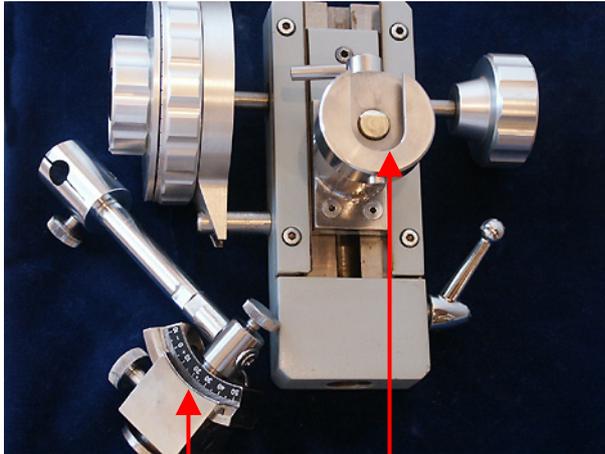


Abb. 10: Detailansicht: Laserhandstück montiert



Abb. 11: Detailansicht: Fixiertes Laserhandstück, einschließlich montierter Abstandführung

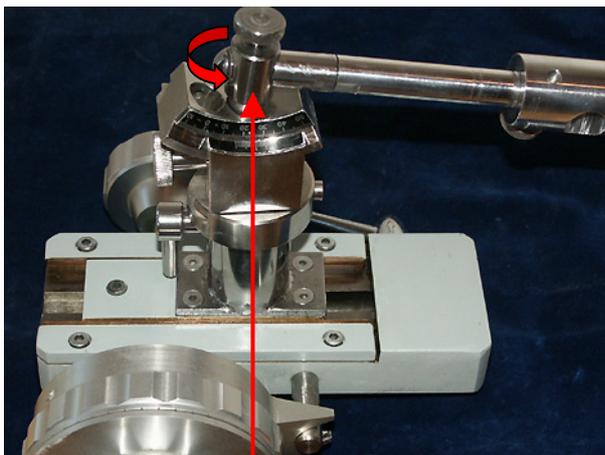
3.1.1.3 Höhensupport



*Winkeleinstell-
vorrichtung und
Laserhandstück*

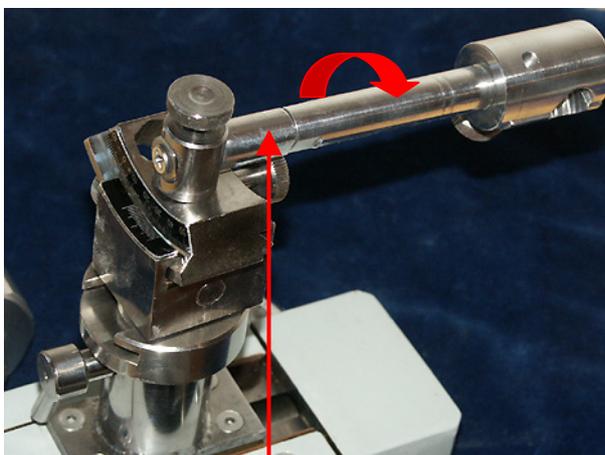
*Einschubeinrichtung
beliebig in 360° Radius
fixierbar*

*Abb. 12: Höhensupport mit
Einschubeinrichtung für die
Winkeleinstellung*



*Der Laserhandstückhalter ist
beliebig im Radius drehbar.*

*Abb. 13:
Winkeleinstellvorrichtung
montiert horizontal*



*Eine zusätzliche 360°-Ausrichtung
des Halters ist möglich.*

*Abb. 14:
Winkeleinstellvorrichtung
montiert vertikal*



Abb. 15: Höhensupport zur Aufnahme des Laserhandstücks mit Winkeleinstellvorrichtung

3.1.1.4 Grundgerät und Vorrichtungen

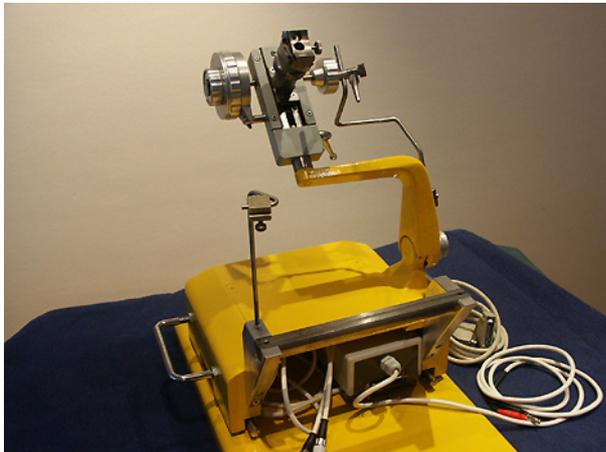
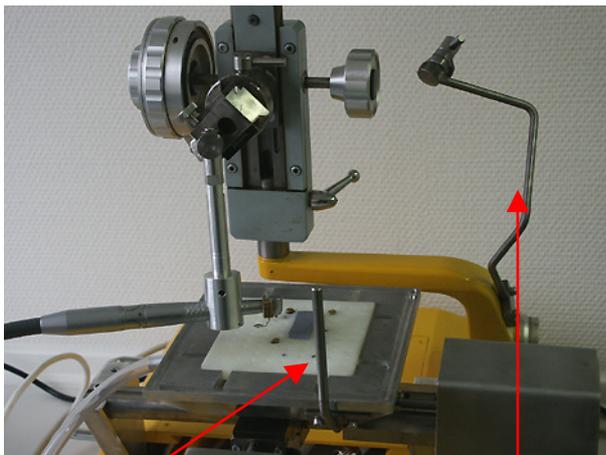


Abb. 16: Grundgerät ohne montierten Präparatetisch



Vorrichtung für eine zusätzliche Absaugung

Vorrichtung für eine Wasserzuführung über eine externe Dosiereinrichtung

Abb. 17: Vorrichtungen zur Aufnahme einer zusätzlichen Absaugung und einer externen Wasserzuführung

3.1.2 Elektronische Steuerung und Schrittmotoren

Nach Vorversuchen mit den ersten geschriebenen-PCNC-Abläufen und der Eliminierung von Fehlerquellen in der Ansteuerung der Schrittmotoren und mechanischen Übertragungsfehlern zur Arbeitstischeinheit wurden folgende Arbeitsprogramme festgelegt:

Angaben zu den PCNC-Abläufen	
<i>Alle Jobs beginnen bei Markierung oben links und fahren am Ende dorthin zurück!</i>	
Referenz.job	Strecke vom Markierungspunkt oben links, nach unten rechts, nach oben rechts, nach unten links und zurück zum Markierungspunkt oben links. (Wird bei Eingabe „Laser“ im MS-DOS Modus zum Einstellen des Lasers automatisch geladen, aber nicht gestartet.)
24mm_um3.job	Strecke 24 mm horizontal in 24, 48, 72 Sekunden; jeweils vertikal versetzt um 3 mm in 30 Sekunden.
24mm_um2.job	Strecke 24 mm horizontal in 24, 48, 72 Sekunden; jeweils vertikal versetzt um 2 mm in 30 Sekunden.
24mm_um4.job	Strecke 24 mm horizontal in 48, 72, 96, 120, 144, 168 Sekunden; jeweils vertikal versetzt um 4 mm in 30 Sekunden.
Quadrat1.job	Strecke 10 mm horizontal und 8 mm vertikal zum Objektanfang und dann: Strecke 10 mm horizontal in 10 Sekunden, 10 mm vertikal in 10 Sek., 10 mm horizontal in 10 Sekunden, 10 mm horizontal in 10 Sek.;
Quadrat2.job	Strecke 10 mm horizontal und 8 mm vertikal zum Objektanfang und dann: Strecke 10 mm horizontal in 15 Sekunden, 10 mm vertikal in 15 Sek., 10 mm horizontal in 15 Sekunden, 10 mm vertikal in 15 Sek.;
Quadrat3.job	Strecke 10 mm horizontal und 8 mm vertikal zum Objektanfang und dann: Strecke 10 mm horizontal in 20 Sekunden, 10 mm vertikal in 20 Sek., 10 mm horizontal in 20 Sekunden, 10 mm vertikal in 20 Sek.;

Tabelle 1: Angaben zu den PCNC-Abläufen

Der Referenz-Job wurde anhand der möglichen Bewegungslängen des Kreuzsupports festgelegt und auf dem Präparatetisch markiert:

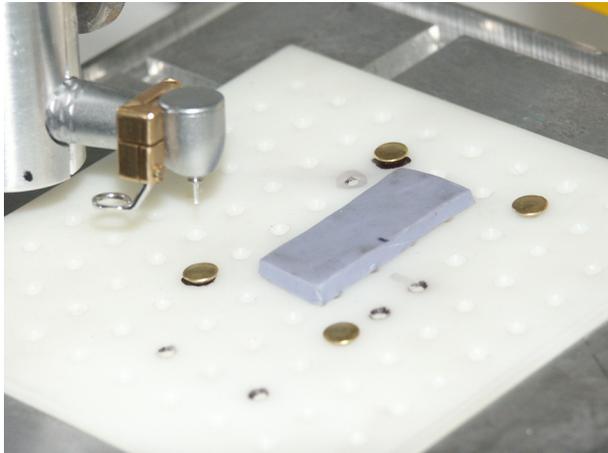


Abb. 18: Technische Anordnung zur Festlegung des Referenzfeldes und des Referenzpunktes

Die fixierten Schrittmotoren sind über jeweilige Achsen direkt mit den Spindeln des Kreuzsupports verbunden. Versuche mit kardanischen Verbindungen wurden verworfen (Schrittspiel von kardanisch arbeitenden Wellen). Der Spindelhub des Kreuzsupports beträgt 0,8 mm/360° Drehung.

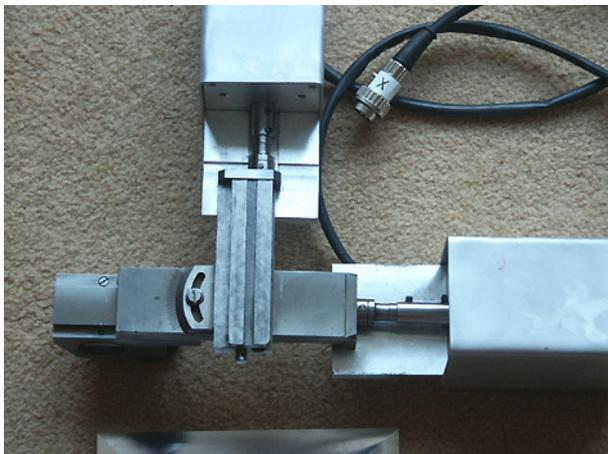


Abb. 19: Aufsicht Kreuzsupport mit aufmontierten Schrittmotoren

Die Ansteuerung der Schrittmotoren erfolgt über eine Steuerkarte, die ihrerseits ihre Befehle über das Steuerprogramm des PC erhält.

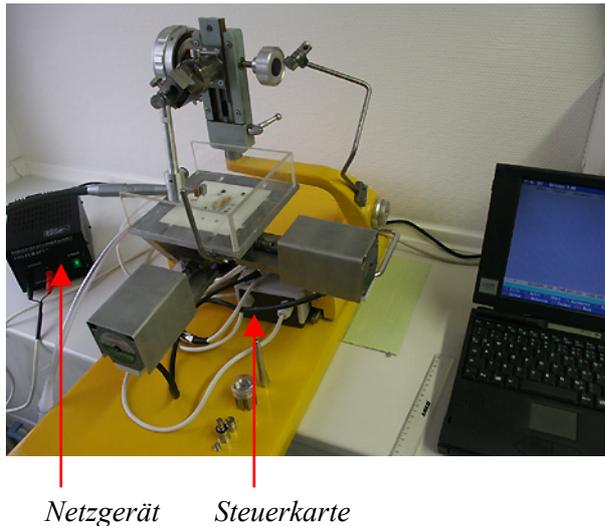


Abb. 20: Komplett montierter mechanischer Versuchsaufbau, einschließlich elektronischer Steuerung

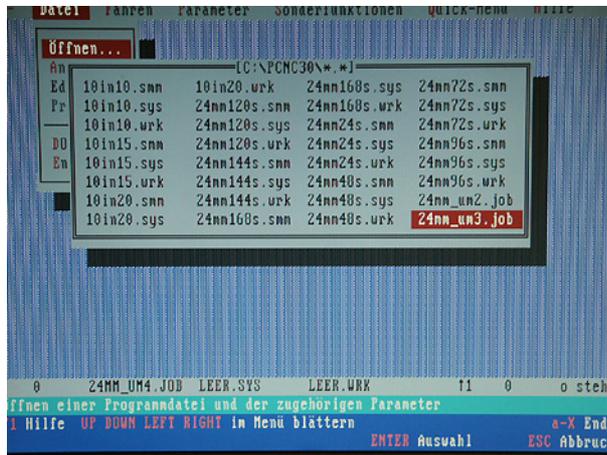


Abb. 21: Monitorbild zur Auswahl des jeweiligen Steuerprogrammes zur Gewebearbeitung

Die elektrische Versorgung erfolgt über ein Gleichstrom-Netzteil; Leistung 24 Volt.

Die Schrittmotoren fahren mit einer Frequenz von 5 Takten/mm. Der Spindelhub der x- und y-Achse ist identisch. Eine 360°-Drehung bewegt den Präparatetisch um jeweils 0,8 mm in horizontaler oder vertikaler Richtung.

Als kleinste Bewegungseinheit (Vorschubbewegung des Präparatetisches über die Koordinaten) wurde 1 mm/sec festgelegt. Unterhalb dieser Zeiteinheit vermag kein Laser im zahnärztlichen Anwendungsspektrum einen sinnvollen und messbaren Effekt herbeizuführen.

Als maximale Bewegung wurde hier der Grenzbereich von 1 mm / 7 Sek. festgelegt. Die Strecken der x- und y-Achse des zu fahrenden Gewebes wurden so gewählt, dass die unterschiedlichen Laser-Parameter bequem in der Zwischenzeit zu variieren sind (siehe Tabelle 1: Angaben zu den PCNC-Abläufen in 3.1.2).

3.1.3 Darstellung der kompletten Versuchsanordnung

Eine kurze Erläuterung folgt mit nachstehenden Abbildungen:



Abb. 22: Versuchsanordnung in Arbeitsbereitschaft



Abb. 23: Versuchsanordnung in Arbeitsbereitschaft mit zu erkennender Winkelneigung der Laserhandstücksaufnahme

Arbeitsspitze:	G 6 / 6 mm
Handstück:	Winkelhandstück 90° (Standard)
Einstellung Leistung:	3,5 W
Einstellung H ₂ O/Luft:	variabel (siehe Versuchsprotokoll)

3.1.4 Additive Zuführung von Luft und Wasser

Die Luftmenge des Sprays (Einstellung H₂O/Luft) konnte nicht erfasst werden.

Die tatsächliche Wasserabgabe wurde am Handstück gemessen. Sie betrug 40 ml/min. Umgerechnet auf die gefahrene Strecke von 1 mm/sec entsprach somit die auf den Knochen geführte Wassermenge bei der Einstellung 65/65 der Quantität von 0,67 ml.

Dieser Wert ist jedoch nicht linear mit den am Panel einzustellenden Werten umzurechnen (siehe Tabelle 5). Mehrere Vergleichsmessungen zeigten außerdem Abweichungen von 5 bis 10 %. Auch ermöglichen die Ergebnisse in der Tabelle 5 keine Vergleichbarkeit der Wassermenge ausgehend von 100 % zu anderen Werten.

3.1.5 Darstellung des Laserhandstücks in Arbeitsstellung



Abb. 24: Laser in Arbeitsstellung über aufgebettetem Knochenpräparat

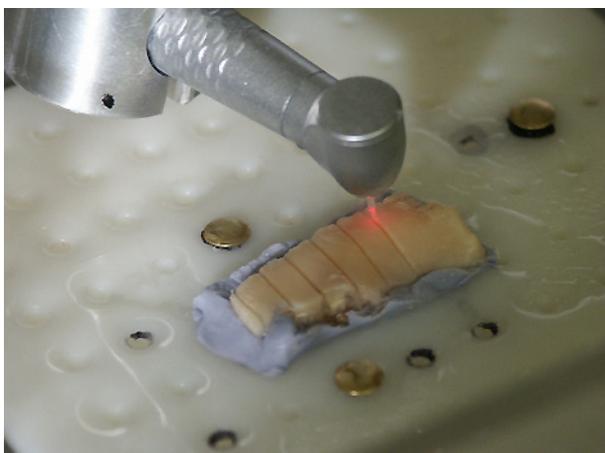


Abb. 25: Laser in Arbeitsstellung über aufgebettetem Knochenpräparat; Rotfärbung ist zu erkennender Pilotstrahl

3.2 Histologische Auswertungen

Anmerkung:

Trotz Beginn der Arbeit bereits im Dezember 2003 konnte die gesamte Arbeit nicht innerhalb des geplanten Zeitrahmens realisiert werden. Gründe sind die vorher nicht übersehbare technische Realisierung des Gerätes, als auch die schwierige Beschaffung von geeigneten menschlichem Gewebe. Der Verfasser legte keinen besonderen Wert auf nicht entsprechendes tierisches Gewebe, um realitätsnah nur mit menschlichen Knochen zu arbeiten. Auch der notwendige Zeitrahmen zur histologischen Aufbereitung war vom Verfasser nicht ausreichend bedacht worden.

3.2.1 Makroskopische Auswertung der Versuchspräparate

Alle Knochenpräparate zeigten unter der 3,5-fachen Lupenvergrößerung keine Carbonisierungen (siehe Versuchsprotokolle in 6.1.1, 6.1.3 und 6.1.5).

Bei dem Vergleich von Präparat A1 und B1 konnte an B1 festgestellt werden, dass die Versuchsanordnung 2 exakt in den ersten Schnittebenen ihre zweite Fahrt ausgeführt hat. Dabei war aufgefallen, dass nach der zweiten Fahrt augenscheinlich nicht die doppelte Tiefe des Laserschnittes erreicht wurde. Leider gibt es keine Fotodokumentation von Präparat B1 von dem Ergebnis der ersten Fahrt, da dieser Ausgang des Experimentes nicht erwartet worden war.

3.2.2 Mikroskopische Auswertungen der Versuchspräparate

Diese werden nach abschließender Bearbeitung durch die Anatomische Anstalt der Ludwig-Maximilians-Universität München und nach Auswertung von Herrn Prof. Dr. med. Klaus-U. Benner nachgereicht.

3.3 Vergleich der histologischen Ergebnisse der Versuchsanordnung 2 mit handgeführtem Versuch

... wird nachgereicht.

4. Diskussion

4.1 Technik Versuchsanordnung 2

Die technische Versuchsanordnung ist in ihren Details zwar sehr aufwändig, gestattet aber gerade dadurch eine große Variabilität von Versuchsplanungen.

Die geplante Reproduzierbarkeit wurde erreicht. Vergleichende Laserstudien können in Zukunft ausgeführt werden.

4.1.1 Aufbau der elektronischen Steuerung

Die Steuerung wurde nach zahlreichen Vorversuchen so ausgeführt, dass sie aufgrund derzeitiger Standards beliebig erweiterbar ist und auf Anfrage jederzeit mit einer neuen Programmierung versehen werden kann.

4.1.2 Kritik und mögliche Verbesserung

Die Vorbereitung und Aufbettung des Knochens erforderte schon eine geübte Hand, um eine möglichst horizontale Ausrichtung zu erreichen. Daher ist eine Abstandsdifferenz von ca. $\pm 15\%$ anzugeben (Laserbearbeitungsspitze zu Objekt). Dies muss unter Umständen bei der mikroskopischen histologischen Auswertung berücksichtigt werden.

Eine vorherige Auswahl der Schnittebene am Blockpräparat wäre künftig hilfreich.

Die geplante Schrittmotorensteuerung zur höhengenaue Führung des Lasers über dem Objekt bereitet derzeit technische Ausführungsschwierigkeiten. Auch die Notwendigkeit ist jetzt nicht mehr so erkennbar und kann durch die histologische Bewertung evtl. ausgegrenzt werden. In diesem Zusammenhang sei hier erwähnt, dass die mögliche Handführung des Lasers durch den Behandler in klinischer Anwendung nicht erfasst werden kann.

Während der Versuche traten unvorhergesehene Probleme mit dem Waterlase auf. Versuchsserie A1 bis A4 musste abgebrochen werden, da die Laserfaser durchbrannte und die Leistung gegen Null abfiel. Ersatz war nicht vorhanden. Daraus folgt, dass bei Versuchen anfällige Teile eines Lasers immer in Reserve vorhanden sein sollten. Die Versuchspräparate A1 und A2 sind daher besonders

kritisch in ihrer Auswertung zu betrachten, da nicht sichergestellt werden kann, ob hier die eingestellte Laserleistung nicht schon deutlich gemindert war.

Schlussfolgernd ist, dass grundsätzlich für jedes Experiment nicht nur die am Bedienfeld des Gerätes eingestellten Werte berücksichtigt werden sollten. Für künftige Experimente sollte generell vor und nach der Durchführung die jeweilige tatsächliche Leistung des Gerätes an seinem Abstrahlpunkt gemessen werden. So könnten auch beginnende Leistungsfehler eines Gerätes erkannt werden.

4.2 Vergleich der histologischen Ergebnisse

4.2.1 Makroskopische Betrachtung der Versuchspräparate im Vergleich

Wie unter Ergebnissen schon beschrieben, zeigen alle Knochenpräparate unter der 3,5-fachen Lupenvergrößerung keine Carbonisierungen.

Bei dem Vergleich von Präparat A1 und B1 konnte an B1 festgestellt werden, dass die Versuchsanordnung 2 exakt in den ersten Schnittebenen ihre zweite Fahrt ausgeführt hat. Dabei war aufgefallen, dass nach der zweiten Fahrt augenscheinlich nicht die doppelte Tiefe des Laserschnittes erreicht wurde. Leider gibt es davon keine Fotodokumentation von Präparat B1, da dieser Ausgang des Experimentes nicht erwartet worden war. Bei künftigen Experimenten sollte also auch die Tiefe der Schnittrillen metrisch erfasst werden.

Auch die Tiefe der Schnittrillen, gefahren nach Exposition in Zeiteinheit, lässt bei makroskopischer Betrachtung keine eindeutige Signifikanz zu. Hierzu siehe die Ansicht Präparat B1 (6.1.3 und Abb. 35, Abb. 36) von links nach rechts gefahren mit 2 mm/sec, 3 mm/sec und weitere 4 Schritte gemäß dem Bearbeitungsprogramm „24mm_um4.job“ (Tabelle 1).



Abb. 26: Untersuchungsmaterial B1, Ansicht Seite



Abb. 27: Untersuchungsmaterial B2, Aufsicht 180° gedreht

Die Expositionszeitunterschiede waren deutlich zu erkennen im Präparat B2 (Sinus). Zu vermuten ist hier die unterschiedliche Struktur des Knochens aus dem Sinusbereich zum Knochen der Mandibula (Präparat B1).

Eine bessere Beurteilung ist durch die mikroskopische Untersuchung zu erwarten.

4.2.2 Mikroskopische Betrachtung der Versuchspräparate im Vergleich

... wird nachgereicht.

4.3 Ausblick

Die Ergebnisse aus der Versuchsanordnung 2 lassen es zu, diese Apparatur als Standardversuchsanordnung vorzustellen. Sie ist aufgrund ihrer technischen Details sowie wählbaren und untereinander definierbaren Parametern geeignet, erforderliche Vergleichsstudien mit Lasern durchzuführen.

Auch die Ausführung von Studien mehrerer Laser auf dem gleichen aufgetragenen Gewebe würde eindeutig Vorteile aufzeigen. Nicht nur, dass sie an dem gleichen (authentischen) Gewebeteil durchgeführt werden können, sondern dass durch die räumliche Anordnung der Lasereinrichtung auch auf geringen Gewebemengen sehr ökonomisch histologische Vergleichsstudien übersichtlich dokumentiert werden können.

5. Zusammenfassung

Es liegen viele PR-wirksame Veröffentlichungen vor, in denen dem Zahnarzt empfohlen wird, Laser als zusätzliche Anwendung in die Praxis mit einzubeziehen, um Behandlungsmethoden, Verdienst und Image zu verbessern. Die in der Literatur angegebenen Versuchsbedingungen sind aber uneinheitlich.

Außerdem liefern sie klinische Erfahrungsberichte, die von verschiedenen Behandlern stammen und damit in ihren Details subjektiv sind. Daher kann aufgrund der Bearbeitungsunterschiede keinem Anwender geraten werden, nur auf das zu vertrauen, was versprochen wird. Fast alles was bisher publiziert wurde, lässt vergleichbare und seriöse Untersuchungen vermissen.

Dadurch ergibt sich eine Subjektivität um deren Ausschluss sich der Verfasser bemüht.

Um diese Anwendungsdetails zu standardisieren, wurde ein System entwickelt, das alle verschiedenen Lasersysteme bewertet und untereinander vergleichen lässt. Diese standardisierte Versuchsanordnung ermöglicht es, unterschiedliche Laser in Vergleichsstudien auf ihre Einwirkung auf Hartgewebe zu untersuchen. Ebenfalls wären Studien an Weichgeweben und Implantaten mit leicht durchzuführenden Modifikationen möglich.

In der vorgelegten Arbeit wurde nur die Wirkungsweise des Waterlase auf menschliche Knochen in Abhängigkeit von konstanten Parametern dokumentiert.

Ferner möchte diese Arbeit einen weiteren Ansatz bieten, wissenschaftlicher mit Daten und Arbeitsergebnissen der (Laser-)Anwendungen im zahnärztlichen Bereich umzugehen und Zahnärzte zu kritischer Betrachtung der Angebote anregen. Schöne Bilder in Laserjournals von klinischen Anwendungen geben zwar Hinweise auf Anwendungsmöglichkeiten, sind aber nicht immer überzeugend. In Wirklichkeit findet eine eigene Beurteilung nicht statt. Man sollte sich nicht nur darauf beschränken, darzustellen, wie die von uns Zahnärzten erzeugten iatrogenen Schäden der behandelten Körpersegmente sich selbst wieder instandsetzen.

6. Anhang

6.1 Versuchsprotokolle und Untersuchungsmaterial

6.1.1 Versuchsprotokoll 1 zu handgeführtem Versuch

Entnahme von Untersuchungsmaterial und Versuchsprotokoll

Geschlecht:	M	Alter: 65
Datum des Todes:	27.10.04	
Präparate entnommen am:	29.10.04	12:00
Todesursache:	Hirntumor	
Präparat entnommen OK regio Zahn 4 bis 6:		beidseitig
Präparat entnommen UK regio Zahn 8 bis 5:		–
Präparat entnommen UK regio Zahn 3 bis 3:		beidseitig
<u>Präparat im feuchten, verschlossenen Gefäß (0.9% NaCL)</u>		
<u>gelagert (auf Eis bei 4° Celsius) bis Bearbeitung am:</u>		29.10.04
<u>Alle Präparate mit Waterlase M. der Firma Biolase bearbeitet.</u>		

Material	Lfd.Nr.	Bearbeitung/Job	Leistung	Abstand <small>Gewebe/ Laserspitze</small>	H ₂ O/Luft	Laser- Spitze
Kieferhöhlenpräp.	1 / 0	handgeführt	3,5 W	ca. 3 mm	55/65	Collonna- Tip
Kieferhöhlenpräp.	2 / 0	handgeführt	3,5 W	ca. 3 mm	55/65	Collonna- Tip
Compacta regio mentalis	3 / 0	handgeführt	3,5 W	ca. 3 mm	55/65	Collonna- Tip
Compacta regio mentalis	4 / 0	handgeführt	3,5 W	ca. 3 mm	55/65	Collonna- Tip

Bemerkungen:

Bearbeitungsspitze (meißelförmige Saphirspitze) nicht im Anhang aufgeführt.

Fixierung in 8 % Formaldehyd / 70 % Alkohol

„Versuchsbedingungen“ wie in Literatur beschrieben, also nicht kalibriert.

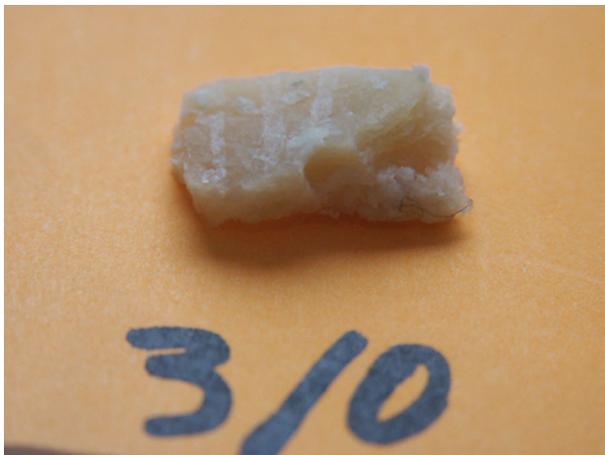
Nicht auf der Maschine bearbeitet, sondern handgeführt.

1. Führung des Tips bei 60° ∠, folgende noch sichtbaren Schnitte bei 20° ∠ (circa-Werte).
Tipabstand zum Präparat ca. 2 – 3 mm / Raumtemperatur 24° C.

6.1.2 Untersuchungsmaterial zu Handgeführtem Versuch



*Abb. 28: Material
Handversuch 1/0*



*Abb. 29: Material
Handversuch 3/0*



*Abb. 30: Material
Handversuch 4/0*

6.1.3 Versuchsprotokoll 2 zur Versuchsanordnung 2

Entnahme von Untersuchungsmaterial und Versuchsprotokoll

Geschlecht: M Alter: 54

Datum des Todes: 2.11.04 (bei 4° C gekühlt aufbewahrt)

Präparate entnommen am: 6.11.04

Todesursache: Pneumonie

Präparat entnommen OK regio Zahn 4 bis 6: beidseitig

Präparat entnommen UK regio Zahn 8 bis 5: beidseitig

Präparat entnommen UK regio Zahn 3 bis 3: –

Präparat im feuchten, verschlossenen Gefäß (0.9% NaCL) gelagert (auf Eis bei 4° Celsius) bis Bearbeitung am: 6.11.04 bzw. 9.11.04

Alle Präparate mit Waterlase M. der Firma Biolase bearbeitet.

Material	Lfd.Nr.	Bearbeitung / Job	Leistung	Abstand Gewebe/ Laserspitze	H ₂ O/Luft	Laser- Spitze
U K links 6.11.04	A 1	24 mm_um4.job	5 W	3 mm	75/95	G 6 Saphir
U K rechts 6.11.04	A 2	24 mm_um4.job	5 W	3 mm	75/95	G 6 Saphir
da dann Laserausfall	A 2	jedoch nur 48,72,96	5 W	3 mm	75/95	G 6 Saphir
Kieferhöhle rechts 9.11.04	A 3	24 mm_um3.job	3,5 W	3 mm	65/65	G 6 Saphir
Kieferhöhle links 9.11.04	A 4	24 mm_um2.job	3,5 W	3 mm	65/65	G 6 Saphir

Bemerkungen:

Fixierung in 8 % Formaldehyd / 70 % Alkohol

Aufgrund des Laserdefektes wurden die Kieferhöhlenpräparate eingefroren (bei -5° C) und nach Auftauvorgang erst am 9.11.04 bearbeitet (Raumtemperatur ca. 24° C).

6.1.4 Untersuchungsmaterial hierzu



Abb. 31:
Untersuchungsmaterial A1

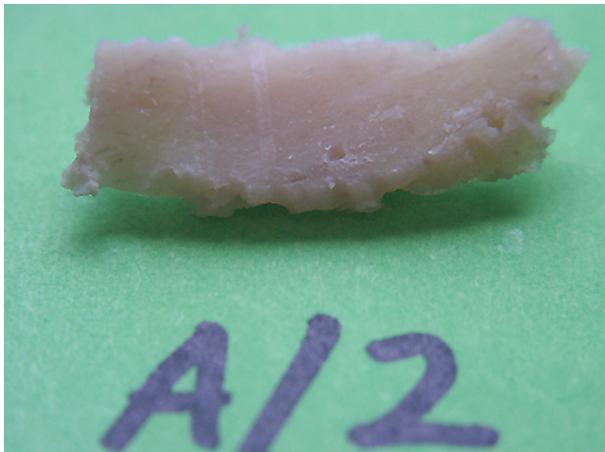


Abb. 32:
Untersuchungsmaterial A2

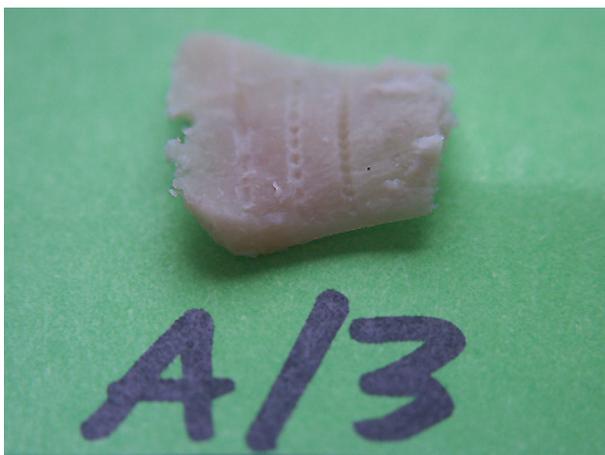


Abb. 33:
Untersuchungsmaterial A3



Abb. 34:
Untersuchungsmaterial A4

6.1.5 Versuchsprotokoll 3 zur Versuchsanordnung 2

Entnahme von Untersuchungsmaterial und Versuchsprotokoll

Geschlecht: M Alter: 58

Datum des Todes: 9.11.04

Präparate entnommen am: 10.11.04 11:00

Todesursache: Pleuramesothelium

Präparat entnommen OK regio Zahn 4 bis 6: beidseitig

Präparat entnommen UK regio Zahn 8 bis 5: beidseitig

Präparat entnommen UK regio Zahn 3 bis 3: -

Präparat im feuchten, verschlossenen Gefäß (0.9% NaCL) gelagert (auf Eis bei 4° Celsius) bis Bearbeitung am: 10.11.04

Alle Präparate mit Waterlase M. der Firma Biolase bearbeitet.

Material	Lfd.Nr.	Bearbeitung / Job	Leistung	Abstand Gewebe/ Laserspitze	H ₂ O/Luft	Laser- Spitze
Compacta UK rechts	B 1	24 mm_um4.job 2 x Strecke gefahren	3,5 W	3 mm	65/65	G 6 Saphir
Kieferhöhlenpräparat	B 2	24 mm_um3.job 2 x Strecke gefahren	3,5 W	3 mm	65/65	G 6 Saphir

Bemerkungen:

∠ 15° - 20° der Bearbeitungsspitze

Versuche bei Raumtemperatur 24° C um 19:00 Uhr gefahren → Fixierung 4 % Formaldehyd in 70 % Alkohol.

6.1.6 Untersuchungsmaterial hierzu



Abb. 35: Untersuchungsmaterial B1, Aufsicht



Abb. 36: Untersuchungsmaterial B1, Ansicht Seite



Abb. 37: Untersuchungsmaterial B2, Aufsicht



Abb. 38: Untersuchungsmaterial B2, Aufsicht 180° gedreht

6.1.7 Anmerkung

Alle Versuche (A1 – B2) wurden mit einer G6-Spitze von Biolase gefahren.

6.1.8 Angaben zu den PCNC-Abläufen

24 mm_um2.job	Strecke 24 mm horizontal in 24, 48, 72 Sekunden; jeweils vertikal versetzt um 2 mm in 30 Sekunden.
24 mm_um3.job	Strecke 24 mm horizontal in 24, 48, 72 Sekunden; jeweils vertikal versetzt um 3 mm in 30 Sekunden.
24 mm_um4.job	Strecke 24 mm horizontal in 48, 72, 96, 120, 144, 168 Sekunden; jeweils vertikal versetzt um 4 mm in 30 Sekunden.

6.2 Unterstützende und weiterführende Materialien

6.2.1 Wirkungsbereich von Lasern in verschiedenen Wellenlängen

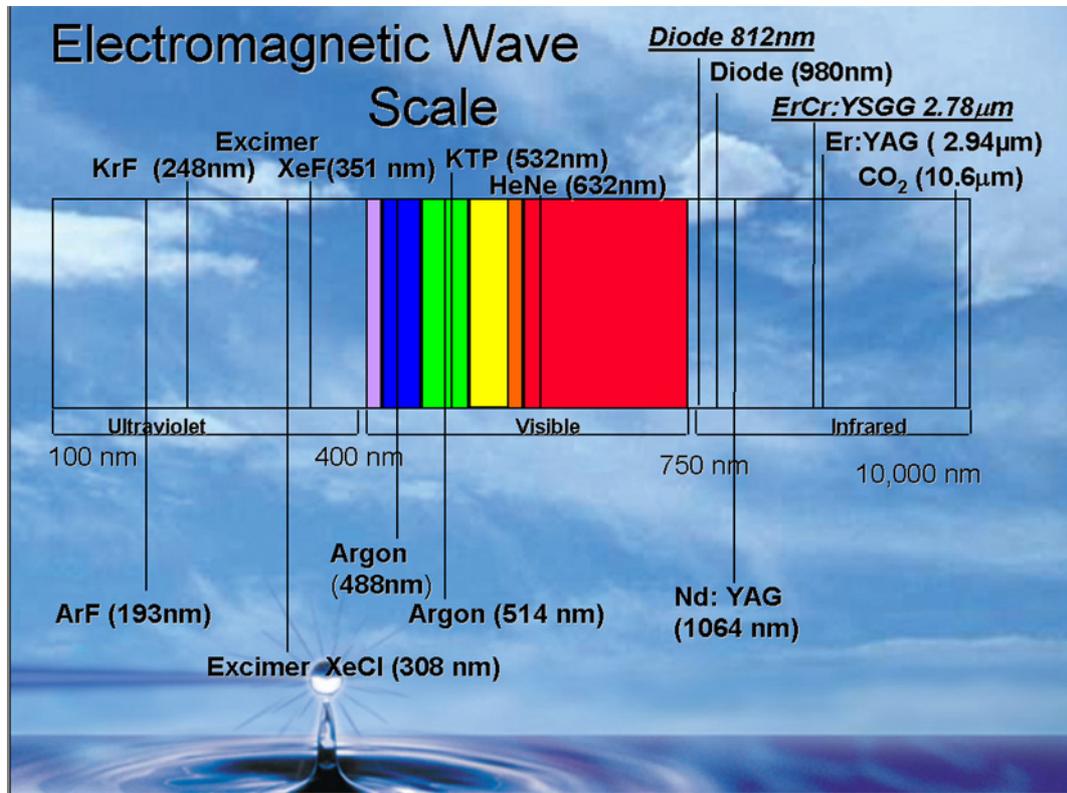


Tabelle 2: Electromagnetic Wave Scale

6.2.2 Comparison of physical tissue parameters and different Lasers

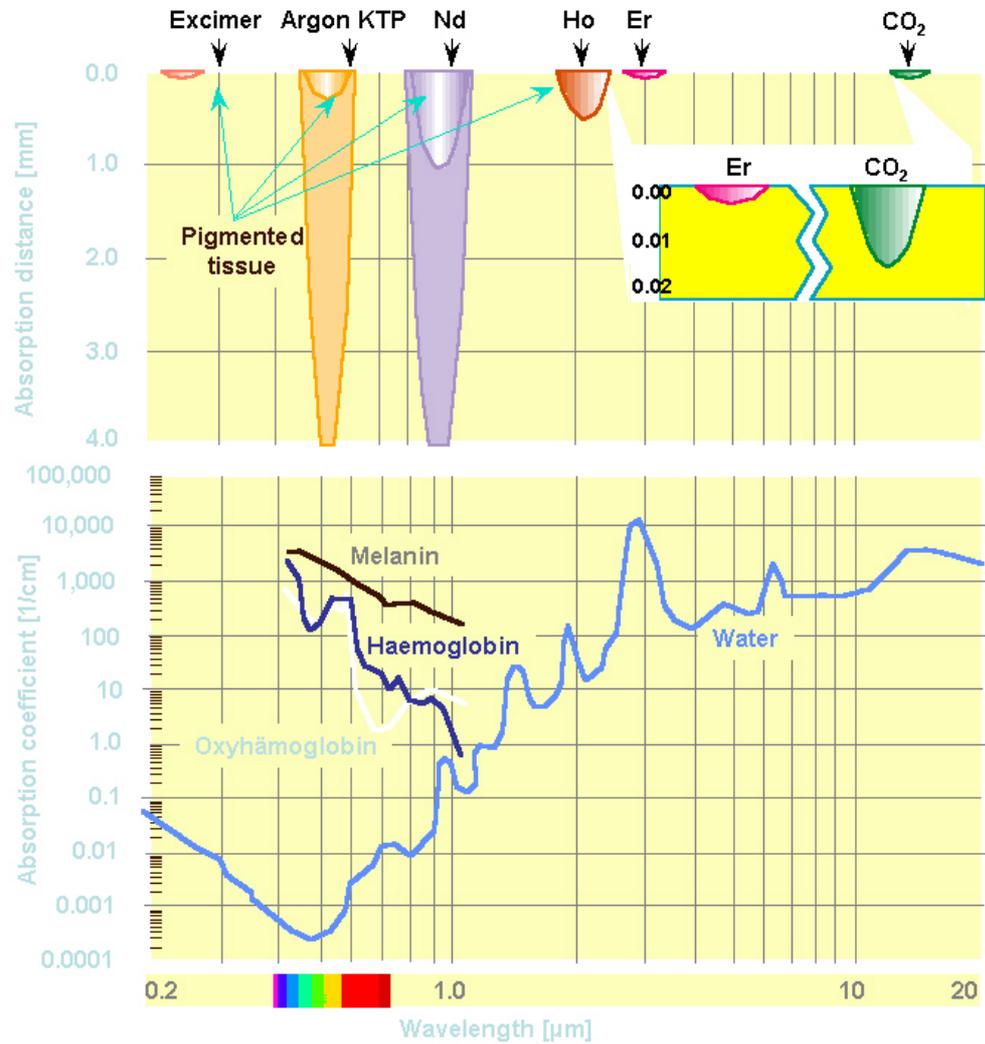


Tabelle 3: Comparison of physical tissue parameters and different Lasers

6.2.3 Behandlungs- und Einstellungsempfehlungen für verschiedene Laserspitzen

Die folgende Tafel ist dem Anwenderhandbuch Biolase Ausgabe 2004 entnommen:

Spitzentyp	Ø (µm)	Leistungs-faktor*	Länge (mm)	Gewebe-typen	Empfohlene Leistung (W)	Empf. Wasserint	Empf. Luftint.	Am besten geeignet für die folgenden Anwendungen
 G	600	1,00	4,6,9	Zahnschmelz Dentin Weichgewebe	4,50 – 6,00 3,00 – 4,50 0,75 – 2,50	64 – 80% 70 – 86% 7 – 11%	61 – 100% 60 – 100% 2 – 11%	HARTGEWEBE: Kariespräparationen I-V; Kariesentfernung; Aufrauen oder Anätzen; Enameloplastie; Zahnpräparation, um Zugang zur Zahnwurzel zu erhalten; ...
 S75	750	1,00	6,8,10, 12,14	Zahnschmelz Dentin Weichgewebe	4,50 – 6,00 3,00 – 4,50 0,75 – 2,50	64 – 80% 70 – 86% 7 – 11%	61 – 100% 60 – 100% 2 – 11%	WEICHGEWEBE: Ex- und inzisionale Biopsie; Freilegen von nicht hervorgekommenen Zähnen; Fibromentfernung; Frenektomie; Frenotomie; Gingivektomie; Gingivoplastik; In- und Exzision des Gingiva; Hämostase; Implantatwiederherstellung; Inzision und Drainage von Abszessen; Leukoplakie; Operkulektomie; orale Papilloektomie; Reduktion von hypertrophem Zahnfleischgewebe; Reinigen von Zahnfurchen; Soor; Vestibuloplasty; ...
 Z6	600	0,90	6,14	Zahnschmelz Dentin Weichgewebe	4,50 – 6,00 3,00 – 4,50 0,75 – 2,50	64 – 80% 70 – 86% 7 – 11%	61 – 100% 60 – 100% 2 – 11%	HARTGEWEBE: Exkavation von Löchern und Rissen, um Siegel zu ersetzen; Entfernen von beginnendem Karies; ... WEICHGEWEBE: Gingivoplastie; Gingivektomie; Operkulektomie; Frenektomie; Exzision von Weichgewebeläsionen;
 T4	400	0,90	6,14	Zahnschmelz Dentin Weichgewebe	1,50 – 2,50 0,75 – 1,25 0,25 – 0,50	64 – 80% 70 – 86% 7 – 11%	61 – 100% 60 – 100% 2 – 11%	HARTGEWEBE / WURZELGEWEBE: Wurzelbehandlung, z.B. Aufweitung und Wurzelreinigung; ... WEICHGEWEBE: Pulpotomie; Exstirpation der Pulpa; Pulpotomie als Zusatz zur Wurzelbehandlung; ...
 Z2	200	0,30	14,18, 20,22, 25,28, 33	Zahnwurzel/ Hartgewebe Weichgewebe	0,75 – 1,50 0,25 – 0,75	24% 7 – 11%	34% 2 – 11%	HARTGEWEBE / WURZELGEWEBE: Wurzelkanalpräparation, z.B. Aufweitung und Wurzelreinigung; ... WEICHGEWEBE: Pulpotomie; Exstirpation der Pulpa; Pulpotomie als Zusatz zur Wurzelbehandlung; Reinigung des Sulkus; ...
 Z3	320	0,60	9,14,18, 20,22, 25,28	Zahnwurzel/ Hartgewebe Weichgewebe	0,75 – 1,50 0,25 – 0,75	24% 7 – 11%	34% 2 – 11%	WEICHGEWEBE: Pulpotomie; Exstirpation der Pulpa; Pulpotomie als Zusatz zur Wurzelbehandlung; Reinigung des Sulkus; ...
 Z4	400	0,75	9,14,18, 20,22, 25,28	Zahnwurzel/ Hartgewebe Weichgewebe	0,75 – 1,50 0,25 – 0,75	24% 7 – 11%	34% 2 – 11%	

*Leistungsfaktor: Emittierte Leistung = Angezeigte Leistung · Leistungsfaktor

WARNUNG: Arbeiten Sie mit den Z-Spitzen NIE ohne Wasser- und Luftspray. Überschreiten Sie NIE 1,5W Laserleistung mit den Z2, Z3 und Z4-Spitzen. Arbeiten Sie mit den T4-Spitzen NIE über 2,5W angezeigter Energie.

ACHTUNG: Lässt die Schneidwirkung nach, ersetzen Sie die Spitze. Tun Sie dies nicht, so führt das zur Beschädigung von Spitze und Spiegel. Die Spitzen haben eine beschränkte Lebenszeit. Beschädigungen aufgrund von Verschleiß sind nicht durch die Garantie gedeckt.

WICHTIG: Nur geschultes Fachpersonal, das ein Seminar erfolgreich abgeschlossen hat, darf dieses Gerät benutzen. Beginnen Sie die Behandlung mit der niedrigsten, angegebenen Leistung und erhöhen Sie diese, soweit notwendig. Beobachten Sie die Aspekte der Behandlung genau, und benutzen Sie Ihr medizinisches Urteilsvermögen, um die Behandlungsparameter (Technik, Leistungs-, Wasser- und Luftfeinstellung, Spitzentyp) zu verändern und um die Einstellungen an die variierenden Gewebeeigenschaften anzupassen.

Tabelle 4: Behandlungs- und Einstellungsempfehlungen für verschiedene Faser-spitzentypen

6.2.4 H₂O-Einstellung am Panel des Lasergerätes

Wert	Einstellung H ₂ O am Lasergerät	gemessene Abgabe am Handstück in ml/min	Abweichung bei Mehrfach- messung	tatsächliche Abgabe in %	tatsächliche Wasserabgabe umgerechnet in ml/sec
A	100 %	72	5 – 10 %	100 %	1,2
B	80 %	66	5 – 10 %	91 %	1,1
C	60 %	46	5 – 10 %	64 %	0,77
D	40 %	36	5 – 10 %	50 %	0,6
E	20 %	30	5 – 10 %	41 %	0,5
F	10 %	22	5 – 10 %	30 %	0,37

Tabelle 5: Vergleich: H₂O-Einstellwerte am Lasergerät-Panel und tatsächlich gemessene Werte.

6.3 Abbildungsverzeichnis

<i>Abb. 1: Konstruierte und montierte Kalibriereinheit auf dem einzusetzenden Laserhandstück. Übersicht Handstück, Winkel 90°</i>	7
<i>Abb. 2: Handstück, Detailansicht</i>	7
<i>Abb. 3: Handstück, Detailansicht inkl. Laserspitze, mit sichtbarer Kalibrierung</i>	7
<i>Abb. 4: Skizze PCNC-Ablauf eines Bearbeitungsprogrammes</i>	13
<i>Abb. 5: Aufsicht Kreuzsupport mit aufmontierten Schrittmotoren</i>	17
<i>Abb. 6: Aufsicht Kreuzsupport mit Rückansicht des Präparatetisches</i>	18
<i>Abb. 7: Aufsicht montierter Präparatetisch mit links abführenden Stützen zur Flüssigkeitsabsaugung</i>	18
<i>Abb. 8: Präparatetisch mit seitlich angesetztem Absaugstutzen und eingesetzter Teflonauflage für die Präparate</i>	18
<i>Abb. 9: Laserhandstück und Handstückaufnahme zerlegt</i>	19
<i>Abb. 10: Detailansicht: Laserhandstück montiert</i>	19
<i>Abb. 11: Detailansicht: Fixiertes Laserhandstück, einschließlich montierter Abstandsführung</i>	19
<i>Abb. 12: Höhensupport mit Einschubeinrichtung für die Winkeleinstellung</i>	20
<i>Abb. 13: Winkeleinstellvorrichtung montiert horizontal</i>	20
<i>Abb. 14: Winkeleinstellvorrichtung montiert vertikal</i>	20
<i>Abb. 15: Höhensupport zur Aufnahme des Laserhandstücks mit Winkeleinstellvorrichtung</i>	21
<i>Abb. 16: Grundgerät ohne montierten Präparatetisch</i>	21
<i>Abb. 17: Vorrichtungen zur Aufnahme einer zusätzlichen Absaugung und einer externen Wasserzuführung</i>	21
<i>Abb. 18: Technische Anordnung zur Festlegung des Referenzfeldes und des Referenzpunktes</i>	23
<i>Abb. 19: Aufsicht Kreuzsupport mit aufmontierten Schrittmotoren</i>	23
<i>Abb. 20: Komplett montierter mechanischer Versuchsaufbau, einschließlich elektronischer Steuerung</i>	24
<i>Abb. 21: Monitorbild zur Auswahl des jeweiligen Steuerungsprogrammes zur Gewebebearbeitung</i>	24
<i>Abb. 22: Versuchsanordnung in Arbeitsbereitschaft</i>	25
<i>Abb. 23: Versuchsanordnung in Arbeitsbereitschaft mit zu erkennender Winkelneigung der Laserhandstücksaufnahme</i>	25
<i>Abb. 24: Laser in Arbeitsstellung über aufgebettetem Knochenpräparat</i>	26
<i>Abb. 25: Laser in Arbeitsstellung über aufgebettetem Knochenpräparat; Rotfärbung ist zu erkennender Pilotstrahl</i>	26
<i>Abb. 26: Untersuchungsmaterial B1, Ansicht Seite</i>	30
<i>Abb. 27: Untersuchungsmaterial B2, Aufsicht 180° gedreht</i>	30
<i>Abb. 28: Material Handversuch 1/0</i>	34

<i>Abb. 29: Material Handversuch 3/0</i>	34
<i>Abb. 30: Material Handversuch 4/0</i>	34
<i>Abb. 31: Untersuchungsmaterial A1</i>	36
<i>Abb. 32: Untersuchungsmaterial A2</i>	36
<i>Abb. 33: Untersuchungsmaterial A3</i>	36
<i>Abb. 34: Untersuchungsmaterial A4</i>	37
<i>Abb. 35: Untersuchungsmaterial B1, Aufsicht</i>	39
<i>Abb. 36: Untersuchungsmaterial B1, Ansicht Seite</i>	39
<i>Abb. 37: Untersuchungsmaterial B2, Aufsicht</i>	39
<i>Abb. 38: Untersuchungsmaterial B2, Aufsicht 180° gedreht</i>	40

6.4 Verzeichnis der Tabellen und Protokolle

<i>Tabelle 1: Angaben zu den PCNC-Abläufen</i>	22
<i>Tabelle 2: Electromagnetic Wave Scale</i>	41
<i>Tabelle 3: Comparison of physical tissue parameters and different Lasers</i>	42
<i>Tabelle 4: Behandlungs- und Einstellungsempfehlungen für verschiedene Faserspizentypen</i>	43
<i>Tabelle 5: Vergleich: H₂O-Einstellwerte am Lasergerät-Panel und tatsächlich gemessene Werte</i>	44

7. Literaturverzeichnis

1. **Arnabat, Dr. Josep:** “Applications of Er, Cr:YSGG laser in Oral surgery.” Vortrag: World Clinical Laser Institut, München, Oktober 2004.
2. **Biolase® Technology Inc.:** Anwenderhandbuch für Waterlase, Ausgabe 2004.
3. **Eversole L.R., Rizoiu I. and Kimmel A.:** „Osseous repair subsequent to surgery with an erbium hydrokinetic laser system.“ International Laser Congress, Athen, Sept. 1996.
4. **Eversole, Lewis R. and Rizoiu, Ioana M.:** “Preliminary Investigations on the Utility of an Erbium, Chromium YSGG Laser.” CDA Journal, page 41-47; Dec. 1995.
5. **Fire, J.C.:** COMPETITION, Publikation Biolase, 2003.
6. **Fried, Nathaniel M. and Fried, Daniel:** “Comparison of Er:YAG and 9.6- μ m TE CO₂ Lasers for Ablation of Skull Tissue.” Lasers in Surgery and Medicine 28; page 335-342; 2001.
7. **Gimbel, Craig B.:** “Hard tissue laser procedures.” Dental clinics of North America, Vol. 44-4; page 931-53, viii; 2000.
8. **Greider W.A.:** “A laser for hard and soft tissue applications.” Dentistry today, page 68-70, 72-3; 1998.
9. **Jesse J., Desai S. and Oshita P.:** “The Evolution of Lasers in Dentistry.” Dental Economics CE course, July 2004.
10. **Kimura Y., Yu D.G., Kinoshita J. et all:** “Effects of Erbium, Chromium: YSGG Laser Irradiation on Root Surface: Morphological and Anatomic Analytical Studies.” Journal of Clinical Laser Medicine & Surgery, Vol. 19-2; page 69-72; 2001.
11. **Miller, Robert J.:** “Treatment of the Contaminated Implant Surface Using the Er, Cr:YSGG Laser.” Implant Dentistry, Vol. 13-2; page 165-169; 2004.

12. **Pécora J.D., Cussioli A.L., Guerisoli D.M. et al:** “Evaluation of Er:YAG Laser and EDTAC on Dentin Adhesion of Six Endodontic Sealers.” Brazilian dental journal, page 27-30; 2001.
13. **Ritschel, Dr. Bodo:** „Millennium Waterlase – Hydrokinese und Multitherapie, Teil 1.“ Laser Journal 2/2003, Seite 21-24.
14. **Ritschel, Dr. Bodo:** „Millennium Waterlase – Hydrokinese und Multitherapie, Teil 2.“ Laser Journal 3/2003, Seite 18-21.
15. **Ritschel, Dr. Bodo:** „Millennium Waterlase – Hydrokinese und Multitherapie, Teil 3.“ Laser Journal 4/2003, Seite 32-34.
16. **Rizoiu I.M., Eversole L.R. and Kimmel A.I.:** “Effects of an erbium, chromium: yttrium, gallium, garnet laser on mucocutaneous tissue.” Oral Surgery Oral Medicine Oral Pathology, Vol. 82-4; page 386-95; 1996.
17. **Small S., Zinner I., Panno F. et al:** “Augmenting the maxillary sinus for implants: Report of 27 patients.” J Oral Maxillofac Implants 1993/8; page 523-528.
18. **Smiler, D.G., Johnson P.W., Lozada J.L. et al:** “Sinus lift grafts and endosseous implants: Treatment of the atrophic posterior maxilla.” Dental clinics of North America 1992/36; page 151-188.
19. **Strauss, Robert A.:** “Lasers in Oral and Maxillofacial Surgery.” Lasers and Light Amplification in Dentistry; Vol. 44-4, page 851-873; Oct. 2000.
20. **Tatum H.:** “Maxillary and sinus implant reconstruction.” Dental clinics of North America 1986/30; page 207-229.
21. **Trovato, Joseph P.:** “Laser-assisted periodontal pocket therapy using Biolase’s Waterlase and LaserSmile lasers.” Dental Products Report 8/2002.
22. **Wilcox C.W., Wilwerding T.M., Watson P. and Morris J.T.:** “Use of Electrosurgery and Lasers in the Presence of Dental Implants.” The International journal of oral & maxillofacial implants, Vol 16-3; page 578-82; July-Aug. 2001.

23. **Yamazaki R., Goya C., Yu D.G. et al:** “Effects of Erbium, Chromium: YSGG Laser Irradiation on Root Canal Walls: A Scanning Electron Microscopic and Thermographic Study.” *Journal of Endodontics*, Vol. 27, page 9-12; 2001.
24. **Yu D.G., Kimura Y., Kinoshita J. and Matsumoto K.:** “Morphological and Atomic Analytical Studies on Enamel and Dentin Irradiated by an Erbium, Chromium:YSGG laser.” *Journal of clinical laser medicine & surgery*, Vol. 18, page 139-43; 2000.

8. Danksagung

Ich bedanke mich insbesondere bei Herrn Prof. Dr. med. Klaus-U. Benner, Anatomische Anstalt der Ludwig-Maximilians-Universität München, für die Betreuung meines selbstgewählten Themas, als auch für seine sehr geschätzten Anregungen.

Der Maschinenbaufirma Walter Theilen danke ich für die technische Realisierung der Versuchsanordnung und für die gute Zusammenarbeit.

Herrn Lutz Hasselbarth danke ich für die exakte Programmierung. In den Besprechungen mit ihm konnte er stets konkrete Hilfestellung anbieten und erkannte mein Anliegen sofort.

Weiterhin möchte ich Frau G. Lippelt von der Anatomischen Anstalt der Ludwig-Maximilians-Universität München meinen Dank aussprechen, vor allem für die Betreuung im Bereich der Histologie.

Auch bedanke ich mich bei Frau Monika Droeger für die schriftliche und bildliche Abfassung dieser Arbeit.

9. **Zusicherung**

Der Verfasser versichert, dass diese Arbeit nicht von Firmen unterstützt wurde und ausschließlich von ihm geplant und finanziert wurde.

10. Lebenslauf

Name: Harald Passow

Geburtsdatum: 15.07.1949 in Potsdam/Babelsberg

Ausbildung und beruflicher Werdegang

1957 – 1964 Besuch der Grundschule

1964 – 1966 Besuch der Berufsschule. Ausbildung im Berufsbereich der Landwirtschaft und Fischereibetriebswirtschaft.

1966 – 1967 Aufenthalt an der Landesanstalt für Fischerei des Landes Nordrhein-Westfalen zur weiteren Ausbildung.
Erster Berufsabschluss als Fischzuchtgehilfe.

1967 – 1969 Ausbildung an der gleichen Landesanstalt zum Biologisch-technischen Assistenten mit Abschlussprüfung.
Nebentätigkeitsgebiet Pathologie der Süßwasserfische.

1969 – 1970 Angestellter als Biologisch-technischer Assistent der Farbwerke Hoechst AG in Frankfurt/Main, Abteilung Analytische Chemie;
Rückstandsanalyse Bereich Insektizide, Dr. Kelker.

1970 – 1971 Angestellter als Biologisch-technischer Assistent der Freien Universität Berlin im Pathologischen Institut als technischer Laborleiter auf dem Gebiet der Hormonforschung über Gastrin I und II, Abteilung Dr. H.-P. Seelig.
Co-Autor von zwei wissenschaftlichen Publikationen.

1972 – 1974 Angestellter als Biologisch-technischer Assistent des Max-Planck-Institutes für Molekulare Genetik, Abteilung Prof. Dr. H. G. Wittmann. Tätig im Bereich zur Untersuchung der Strukturen und Funktionen des Ribosomen.
Längerer Arbeitsaufenthalt an der University of Chicago.
Co-Autor einer wissenschaftlichen Publikation.

- 1970 – 1974 Besuch der Abendschule und Abschluss der Mittleren Reife sowie der Allgemeinen Hochschulreife.
- 1975 – 1977 Angestellter als Biologisch-technischer Assistent der Freien Universität Berlin, Institut für Molekularbiologie und Biochemie, Abteilung Prof. Dr. H.-J. Risse. Tätig im Bereich über Zelldifferenzierungen, hier am Modellorganismus *Dictyostelium discoideum*.
Co-Autor von wissenschaftlichen Publikationen.
- 1978 – 1978 Kurzfristige Leitung der elterlichen Fischzuchtanlage aus familiären Gründen.
- 1979 – 1984 Studium der Zahnmedizin an der Freien Universität Berlin in Regelstudienzeit mit Approbation zum Zahnarzt.
- 1984 – 1986 Tätig als Assistent in verschiedenen Zahnarztpraxen in Berlin.
- 1987 Niederlassung in eigener Zahnarztpraxis in Berlin-Zehlendorf.
- 1994 – 1995 Weiterbildung mit Abschluss zum Zahnarzt für Naturheilkunde.
- 1999 – 2000 Ausbildung mit Abschluss des Curriculum Implantologie der DGZI (Deutsche Gesellschaft für Zahnärztliche Implantologie).
- 2002 Bewerbung und Eintragung als außerordentlicher Student an der Donau-Universität in Krems zur Erlangung des „Masters of Science Implantologie“; vorgesehener Abschluss Anfang 2005.
- 2004 Einreichung der Dissertation mit dem Thema „Rehabilitation bei Malignomen des HNO-Bereichs. Rehabilitandenstruktur, Rehabilitationsbedarf und Rehabilitationsergebnis“ an der Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt am Main.