

6 Diskussion

6.1 Diskussion Material und Methoden

6.1.1 Studiendesign

Das Vorkommen paariger oder multipler Organe (Kiefer, Quadranten, Zähne) und der chronische Verlauf vieler Zahnkrankheiten legt die Anwendung von Split-mouth-Versuchsanlagen in der Zahnmedizin nahe. Mit dem Split-mouth-Design wurde ein Versuchsmodell beschrieben, bei dem bei jedem Probanden zwei oder mehrere Behandlungen vorgenommen werden, die jeweils gesonderte Teilabschnitte der Mundhöhle in Anspruch nehmen. Dadurch ermöglicht ein Split-mouth-Design den Vergleich verschiedener Therapieformen, wobei die durch Versuchspersonen bedingten Unterschiede eliminiert werden. Durch vergleichende Studien am selben Patienten kann die Irrtumsvarianz im Gegensatz zu Studien, die verschiedene Versuchspersonen miteinander vergleichen, reduziert werden. Dies resultiert in einer Erhöhung der statistischen Trennschärfe und führt damit zu einer geringeren Anzahl an benötigten Probanden [136].

Das Split-mouth-Design ist in der Parodontologie aus diesen Gründen die Untersuchungsmethode der Wahl, um verschiedene Behandlungsmethoden miteinander zu vergleichen [134]. Um ein solches Modell anwenden zu können, muss die zu untersuchende Krankheit stabil sein und gleichmäßig verteilt vorkommen [13]. Allerdings gibt es eine große Variation in der Anzahl der erkrankten Zähne, der Schwere der Parodontitis und der Lokalisation der Erkrankung innerhalb eines Mundes [139]. Diese heterogene, asymmetrische Verteilung der Parodontitis kann durch eine randomisierte Zuordnung der unterschiedlichen Therapien bei einer ausreichend großen Versuchsgruppe kompensiert werden. Eine Voraussetzung für dieses Studiendesign ist, dass die Menge der zu untersuchenden Stellen in jeder Experimentaleinheit ausreichend groß ist [134]. Die Wahrscheinlichkeit, keine zu untersuchende Stelle in einer Experimentaleinheit zu finden, steigt mit der Zunahme an Experimentaleinheiten (vom kontralateralen Quadrantendesign (zwei Einheiten) über das Quadrantendesign (vier Einheiten) bis hin zum Sextantendesign (sechs Einheiten)) innerhalb eines Probanden [134]. Mit dem Verlust einer Versuchseinheit verliert eine Studie im Split-mouth Design an Aussagekraft [13].

In der aktuellen Literatur finden sich vornehmlich Studien, die das kontralaterale Quadrantendesign angewendet haben. Diese Versuchsanordnung nutzt die Vorteile eines Split-mouth-Designs sehr effizient [134]. Als Nachteil des kontralateralen Quadrantendesigns kann die Beschränkung auf die Untersuchung von nur zwei Behandlungsmethoden angesehen werden.

Die Prüfung von vier Behandlungsmethoden kann in zwei Formen des Versuchsaufbaus erfolgen. Eine Möglichkeit ist die Blockrandomisierung, bei der jeweils zwei der verschiedenen Therapieformen im kontralateralen Quadrantendesign innerhalb eines Patienten angewendet werden [134]. Nachteilig an diesem Studiendesign ist die Zunahme des Einflusses der interindividuellen Unterschiede, die durch eine große Zahl an Probanden kompensiert werden muss. Eine weitere Möglichkeit ist das in der vorliegenden Untersuchung angewendete Quadrantendesign. Beschränkungen in der Anwendung dieses Designs ergeben sich aus der ungleichmäßigen Verteilung der unterschiedlichen Sondierungstiefen im Mund eines Patienten und einen dadurch möglichen Verlust der Power einer solchen Studie [134].

Sondierungstiefen größer als sechs Millimeter kommen seltener vor und sind asymmetrischer verteilt als geringere Sondierungstiefen [134]. Hinzu kommt, dass Parodontien mit einer initial höheren Sondierungstiefe den größten Attachmentgewinn zeigen [10, 25, 171, 190, 257]. Die Power statistischer Tests sinkt bei hohen Sondierungstiefen überproportional [135]. Durch diese Faktoren würde die Aussagekraft über die Effizienz einer Therapie, die im Split-mouth-Design untersucht wird, geringer [134, 135]. Stellen mit initial geringen Sondierungstiefen weisen den geringsten Attachmentgewinn oder sogar einen Attachmentverlust auf [10, 25, 171, 190, 257]. Da in der vorliegenden Studie die Stellen mit hohen Sondierungstiefen nicht gleichmäßig auf die unterschiedlichen Behandlungsarme verteilt waren und ein Attachmentverlust der Stellen mit initial geringen Sondierungstiefen in Abhängigkeit der Behandlungsart nicht in die Betrachtung mit einbezogen werden sollte, wurden Parodontien mit initialen Sondierungstiefen von vier bis sechs Millimeter gesondert betrachtet.

In dieser Studie waren Stellen mit Sondierungstiefen von 4-6 mm auf die vier Therapiearme gleich verteilt (siehe Tab. 5). Dies entspricht auch den Beobachtungen von HUJOEL et al. [134], die eine symmetrische Verteilung der Taschen mit Sondierungstiefen von 4-6 mm für die meisten Arten des Split-mouth-Designs beschrieben. Durch die gewählten Einschlusskriterien waren in allen Quadranten Untersuchungsstellen vorhanden.

Die engen Einschlusskriterien und die kalkulierte Power von 80 %, einen wirklichen Unterschied von 0,25 mm zwischen den einzelnen Behandlungsmethoden feststellen zu können, ermöglichen es, eine Studie mit 72 Patienten im Quadrantendesign durchführen zu können. Der festzustellende klinisch relevante Unterschied wurde nicht wie üblich auf 0,5 mm [135] sondern auf 0,25 mm festgelegt; dadurch erhöhte sich die Anzahl der Probanden. Wegen der taschenbasierten Betrachtung, die eine hohe Anzahl an Beobachtungseinheiten ermöglicht, und des longitudinalen Charakters des klinischen Designs der Studie wurde zur Auswertung das Statistikprogramm SAS® Version 9.1 (SAS Institute Inc., Cary, N.C., USA) (Prozedur GENMOD) genutzt, welches ein verallgemeinertes lineares Modell anwendet. Da die Messungen im Studienverlauf an den gleichen Patienten stattfanden, wurden statistische Abhängigkeiten der Daten der einzelnen untersuchten Stellen beim gleichen Patienten durch GEE berücksichtigt. Das GEE Model berücksichtigt die Korrelationen zwischen den einzelnen Untersuchungen beim gleichen Probanden, indem es eine robuste kovariante Matrix durch Schätzen des Standardfehlers des Regressionskoeffizientens erstellt [188, 368]. Das GEE Model ist durch diese Eigenschaften gut geeignet zur Analyse von Split-cluster bzw. Split-mouth-Designs [79].

6.1.2 Festlegung des Nachuntersuchungsintervalls

Viele publizierte Studien, welche die Effektivität und die Sicherheit der parodontalen Therapie und der begleitenden Therapie untersuchten, nutzten ein Dreimonatsintervall zur Nachuntersuchung. Der Grund für dieses Vorgehen liegt darin, dass nach dem heutigen Erkenntnisstand die stärksten Veränderungen der klinischen Parameter in den ersten drei Monaten nach der parodontalen Therapie zu beobachten sind. Eine weitergehende Heilung und Maturation des Parodonts ist allerdings noch neun bis zwölf Monate nach Abschluss der Behandlung festzustellen [30, 37, 68, 70, 74, 161, 192, 205, 262].

Die Untersuchung der Reaktion des Parodonts auf die durchgeführte Therapie sollte nicht früher als vier Wochen nach Therapieende erfolgen. In einem früheren Stadium der Heilung würden die Messungen nicht das erreichbare Ergebnis widerspiegeln [61, 75, 160]. Die Forderung nach kurzen Nachuntersuchungsintervallen, bei denen die Mundhygiene optimiert werden kann, erscheint sinnvoll, da eine nicht genügende Mundhygiene die Rekolonisation der behandelten parodontalen Taschen mit parodontalpathogenen Keimen fördert [209, 279, 340]. Hierdurch ist das klinische Ergebnis unabhängig von einer möglichen unzurei-

chenden Mundhygiene. Deshalb wurde für diese klinische Studie ein Nachuntersuchungszeitraum von einem Monat und drei Monaten gewählt. Der Nachuntersuchungstermin nach einem Monat diente dazu, die Compliance der Patienten zu erhöhen und eventuell auftretenden negativen Effekten der Therapie frühzeitig zu begegnen.

Die stärksten Veränderungen der klinischen Parameter (Sondierungstiefe, klinischer Attachmentlevel, Bluten auf Sondieren und Gingivarezession) konnten in dieser Studie einen Monat nach der Behandlung beobachtet werden. Die Veränderungen setzten sich bis zum dritten Monat nach der Behandlung weiter fort. Gleichzeitig konnte eine Verbesserung des Plaque- und Gingivaindexes nach dem ersten Monat beobachtet werden; diese Ergebnisse verbesserten sich nach drei Monaten noch leicht. In diesem Punkt entsprechen die Resultate dieser Studie den aus der Literatur bekannten Befunden.

6.1.3 Behandlungsablauf

Der Vergleich einer einmaligen Behandlungssitzung, in der alle Zähne und Wurzeloberflächen gereinigt werden, mit einem quadrantenweisen Scaling zeigte keine signifikanten Unterschiede der Ergebnisse [11, 16, 27]. Allerdings zeigen Studien, die traditionelles quadrantenweises Scaling mit der Full-mouth-Desinfektion vergleichen, signifikante Verbesserungen der klinischen Parameter des neuen Behandlungsansatzes [43, 44, 222, 264, 265, 341]. Dieses Therapiekonzept verbindet die mechanische Reinigung der gesamten Parodontien innerhalb von 24 Stunden mit einer zusätzlich durchgeführten chemischen Keimreduktion.

Durch diese fast gleichzeitige Therapie aller vier Quadranten sollte auch ein Spillover-effect im Sinne einer Beeinflussung der behandelten Stellen durch die noch nicht Behandelten ausgeschlossen werden. Die Therapieart wurde Quadrantenweise randomisiert zugeordnet, wobei die Behandlungsreihenfolge kieferweise wechselte.

6.1.4 Auswahl der Instrumente

In der vorliegenden Arbeit sollten Instrumente eingesetzt werden, die atraumatisch, weit verbreitet und in klinischen Studien erprobt worden sind. Des Weiteren sollten sie stellvertretend für eine Instrumentenart sein.

Handinstrumente stehen seit Jahrzehnten im Fokus klinischer Untersuchungen und haben ihre Effektivität zur Behandlung der Parodontitis mehrfach bewiesen [30, 37, 68, 70, 74, 161, 192, 205, 262]. Gracey-Küretten gelten deshalb als Referenz, wenn neue Methoden zum Scalieren und Wurzelglätten untersucht werden sollen. Die in dieser Studie verwendeten Gracey Mini-Five™-Küretten der Firma Hu-Friedy stellen eine Weiterentwicklung der klassischen Küretten dar. Ein kürzeres, schmaleres und dadurch grazileres Arbeitsende soll ein atraumatisches Reinigen der Wurzeloberflächen ermöglichen. Hierdurch sollen weniger Rezessionen nach der Behandlung auftreten, als bei der Therapie mit den klassischen Gracey-Küretten. Zudem ist der Zugang zu den Furkationen der Seitenzähne mit den schmaleren Arbeitsenden besser. Der längere Einserschaft der Gracey Mini-Five™-Küretten soll auch das Säubern tiefer Taschen ermöglichen [10]. In der hier vorliegenden Studie wurden die Handinstrumente als Kontrolle gewählt.

Der Key III® ist ein Er:YAG-Laser, der sich besonders gut für den zahnmedizinischen Einsatz eignet. Wasser absorbiert die von diesem Laser emittierte Strahlung am stärksten, wodurch das Laserlicht nur oberflächlich absorbiert wird und nicht tief in das bestrahlte Gewebe eindringt. Hierdurch kommt es zu einer schlagartigen Erwärmung und Verdampfung des Wassers. Durch die damit zusammenhängende Raumforderung kommt es zu Mikroexplosionen, die einen „thermomechanischen Ablationsvorgang“ ermöglichen. Nebenwirkungen wie Karbonisierungen, Verschmelzungen, Cracks und ausgedehnte Kraterbildungen auf den Wurzeloberflächen, wie sie beim Einsatz des CO₂- und des Nd:YAG-Lasers bei der Konkremententfernung beobachtet werden, kommen nicht vor [145, 287, 291, 364]. Aufgrund seiner physikalischen Eigenschaften scheint der Er:YAG-Laser die Wurzeloberflächen schonend zu behandeln und für die parodontale Therapie geeignet zu sein. Die Kombination mit einem InGaAsP Diodenlaser zur Konkrementdetektion verhindert ein Verbleiben von Konkrementen. Der Key III® Laser hat für den Einsatz in der Parodontaltherapie ein spezielles Handstück, womit die zu behandelnden Wurzeloberflächen gezielt bearbeitet werden können und das Weichgewebe wenig traumatisiert werden. Der Er:YAG-Laser soll zusätzlich ein antibakterielles Potential besitzen, welches die Parodontistherapie unterstützt [142]. In zahlreichen Studien hat der Er:YAG-Laser seine Leistungsfähigkeit bewiesen [153, 282-287, 351].

Die maschinellen Scaler können aufgrund ihrer Arbeitsfrequenz in Schall- oder Ultraschallinstrumente, oder anhand des Bewegungsweges ihrer Arbeitsspitzen in vorwiegend linear oder zirkulär schwingende Instrumente unterteilt werden.

Für alle drei Formen maschineller Scaler besteht die Gefahr, in Abhängigkeit von angewandeter Kraft, Anstellwinkel und Bearbeitungszeit große Zahnhartsubstanzdefekte zu erzeugen. Das Risiko scheint bei der Arbeit mit Schallscalern am geringsten und bei der Arbeit mit magnetostriktiven Ultraschallscalern am größten zu sein [89-91, 252]. Aus diesem Grund wurden für diese Untersuchung ein Schallscaler und ein piezoelektrisches Ultraschallsystem gewählt. Die Arbeitssenden des Schallscalers zeigen ein zirkuläres Bewegungsmuster, womit alle Seiten des Instrumentes gleich aktiv am Abtrag beteiligt sind. Beim piezoelektrischen Gerät entfernen nur zwei Seiten der Arbeitsspitzen die Auflagerungen. In beide Scaler können unterschiedliche Arbeitssenden eingesetzt werden, wobei die der piezoelektrischen Einheit graziler gestaltet sind.

Schall- als auch Ultraschallscaler haben ihre Effektivität ebenfalls in zahlreichen klinischen Studien bewiesen [83].

6.1.5 Auswahl der klinischen Untersuchungsparameter

Fünf klinische Parameter werden in der verfügbaren Literatur genutzt, um die Effektivität der angewandten Behandlungsmethoden in klinischen parodontologischen Studien zu beschreiben. Zwei Parameter, der Plaqueindex und der Gingivaindex, beschreiben supragingivale Veränderungen. Die drei übrigen Messungen, das Bluten auf Sondierung, die Sondierungstiefe und der klinische Attachmentlevel, sind die wichtigsten Parameter, um den Effekt der durchgeführten parodontalen Therapie zu beschreiben [193]. Durch den Gebrauch der in klinischen Studien üblichen Parameter ist die Gegenüberstellung der Ergebnisse dieser Studie mit der vorhandenen Literatur möglich.

6.2 Diskussion der klinischen Ergebnisse

6.2.1 Plaqueindex und Gingivaindex

Klinische und histologische Studien, welche die Pathogenese der Parodontalerkrankungen untersuchen, zeigen, dass die Persistenz und die Zunahme an mikrobieller Plaque begleitet ist von einer sich entwickelnden Gingivitis und einer eventuell entstehenden Parodontitis [200, 295]. Aus diesem Grund ist eines der Hauptziele der Parodontitistherapie die Plaquekontrolle, wodurch eine Wiederbesiedlung der behandelten parodontalen Taschen minimiert [209, 279, 340] und eine entzündungsfreie Gingiva erreicht wird. Aufgrund des kausalen Zusam-

menhangs zwischen supragingivaler Plaque und marginaler Entzündung gehören ein Plaque- und ein dazu passender Gingivitisindex zusammen. Zur Bewertung der Mundhygiene in klinischen Untersuchungen haben sich der Plaqueindex [303] und der Gingivaindex [199] etabliert. Bei wiederholter Bestimmung eines Indexes lassen sich der Motivationsgrad des Patienten und der Behandlungserfolg objektivieren.

Bei der Beurteilung der Indices sollte bedacht werden, dass signifikante Verschiebungen innerhalb einer Gruppe stattfinden können, sich die Häufigkeit der einzelnen Scores oder der Durchschnitt dadurch allerdings kaum ändern. Dennoch können die Indices, trotz ihrer geringen Konstanz, Hinweise geben, um mögliche Unterschiede bei der Sondierungstiefe und dem klinischen Attachmentlevel zwischen verschiedenen Behandlungsgruppen zu erklären [193].

Dabei gibt der Plaqueindex einen guten Anhaltspunkt über die Durchführung der persönlichen Mundhygiene. Indirekt sind damit Hinweise über den Erfolg der durchgeführten Therapie möglich, denn in Mundhöhlen ohne ausreichende Plaquekontrolle würde die Parodontitis an vielen Stellen schneller und häufiger wieder auftreten, als bei Patienten mit ausreichender Plaquekontrolle [22-24]. Die vier Behandlungsgruppen zeigten eine signifikante Abnahme des Plaqueindex in den drei Monaten von durchschnittlich 37,7 % (Lasertherapie 38,7 %, Schall- 37,9 %, Hand- 37,4 % und Ultraschallscaling 36,9 %). In allen Gruppen war die stärkste Verringerung des Plaqueindex nach einem Monat feststellbar; in den nachfolgenden zwei Monaten verbesserte sich der Index jedoch weiter. Damit entsprechen die Ergebnisse der vorliegenden Studie den aus der Literatur bekannten Daten [25, 153, 196, 284, 290]. Die vier Gruppen unterscheiden sich nicht signifikant voneinander. Bei Betrachtung der vier Instrumentierungsarten, unter Berücksichtigung der Ein- oder Mehrwurzeligkeit der Zähne, war kein signifikanter Unterschied des Plaqueindex zwischen den Gruppen feststellbar.

Der Gingivaindex gibt Auskunft über die Kontinuität der durchgeführten Mundhygiene, indem er den Entzündungszustand der Gingiva beurteilt. Eine Gingivitis etabliert sich erst nach etwa elf Tagen unzureichender Mundhygiene, wobei die Gingiva bei wieder einsetzender Pflege innerhalb weniger Tage gesunden kann [200]. Provoziertes Zahnfleischbluten ist das früheste klinische Zeichen für eine Gingivitis und es präzisiert Farbänderungen und Schwellungen der Gingiva [227]. Die Änderung des Gingivaindex gibt Auskunft über die Qualität der durchgeführten Therapie und der persönlichen Mundhygiene.

Zahlreiche Studien belegen den starken Rückgang der Entzündungszeichen durch supragingivale Plaquekontrolle in Kombination mit subgingivalem Scaling. Bei Verwendung des Gingivaindexes nach Loe und Silness wurde eine Senkung des Indexes in einem Dreimonatsintervall um eine Einheit oder 40 % bis 70 % erreicht [25, 153, 196, 284]. Die Daten der vorliegenden Untersuchung zeigen eine Abnahme um durchschnittlich 63,4 %, was in etwa einer Einheit entspricht. Damit entsprechen die Ergebnisse den aus der Literatur bekannten Daten. Innerhalb von drei Monaten verbesserten sich die Entzündungszeichen durch das Handscaling (62,8 %), den Laser (64,3 %), das Schallscaling und das Ultraschallscaling im Vergleich zu ihren Ausgangswerten signifikant ($p < 0,0001$; GEE). Untereinander unterschieden sie sich nicht signifikant. Die Auswertungen nach ein- und mehrwurzeligen Zähnen zeigten keine Vorteile für eine Therapieart.

6.2.2 Sondierungstiefe, klinischer Attachmentlevel und Bluten auf Sondierung

Dem Bluten auf Sondieren, der Sondierungstiefe und dem klinischen Attachmentlevel ist die Penetration der parodontalen Sonde in das gingivale Gewebe und die Abhängigkeit des Ergebnisses der Messung von der Anwesenheit eines entzündlichen Infiltrats in der Gingiva gemeinsam. Deshalb dringt die Sonde, wenn das Taschenepithel und das darunter liegende Gewebe entzündet und dadurch aufgelockert ist, über die apikale Begrenzung der parodontalen Tasche hinweg in das Gewebe ein. Daraus resultiert eine Blutung und ein Überschätzen der wirklichen Taschentiefe und des klinischen Attachmentlevels [18, 273]. Die parodontale Sonde würde die apikale Begrenzung der parodontalen Tasche jedoch kaum erreichen, wenn die Entzündungsreaktion als Folge einer voran gegangenen Therapie zurückgegangen ist. Daraus resultiert dann ein Unterschätzen der wirklichen Defekttiefe oder des Verlustes an Attachment [18, 273]. Deshalb kann nicht zwangsläufig von einer verringerten Sondierungstiefe auf einen Attachmentgewinn oder auf eine Taschenreduktion geschlossen werden. Die Reduktion sollte viel mehr als Auflösung des entzündlichen Prozesses betrachtet werden [18, 193, 273].

Bei der Interpretation der Ergebnisse des klinischen Attachmentlevels müssen weitere Überlegungen mit einbezogen werden. Einige Autoren beschreiben nach Parodontaltherapie einen Attachmentgewinn bei initial tiefen Sondierungstiefen und einen Attachmentverlust bei Taschen mit initial geringen Sondierungstiefen [10, 25, 171, 190, 257]. Dieses gegensätzliche Verhalten wurde durch das Auf-

treten mechanischer Traumata, die während der Therapie entstehen, erklärt. Aus dem Scaling über die apikale Begrenzung der Tasche hinaus resultiert ein weiterer Attachmentverlust [10, 67, 189], der sowohl in flachen als auch tiefen Taschen auftreten kann. Die nachfolgende parodontale Heilung, die der nicht chirurgischen Therapie folgt, hat selten einen Gewinn an „connective tissue attachment“ zum Zahn zur Folge. Vielmehr resultiert meistens ein langes epitheliales Attachment, das parallel zur behandelten Wurzeloberfläche verläuft [214, 231, 260, 359]. Der Attachmentgewinn von bis zu fünf Millimetern, der nach der Therapie tiefer Taschen zu beobachten ist, kommt meist durch die mangelnde Penetrationsfähigkeit der parodontalen Sonde in die parodontale Tasche zustande und ist weniger ein Resultat des „new connective tissue attachment“. Nachdem die Heilung nach der parodontalen Therapie abgeschlossen ist, ist ein Sondieren über vier bis fünf Millimeter hinaus nicht möglich, trotz einer großen Variabilität der Ausgangstaschentiefen [28, 357].

Anhand der Sondierungstiefe und des klinischen Attachmentlevels kann weder die Qualität noch die Quantität des neuen Attachments zwischen Wurzeloberfläche und Zahnfleisch exakt bestimmt werden. Die Reproduzierbarkeit der Messungen ist vom Untersucher, vom Entzündungszustand des umgebenden Weichgewebes und von der Zahnart abhängig [26]. Trotzdem kann eine verringerte Sondierungstiefe oder ein Attachmentgewinn bei nicht vorhandener Blutung als Therapieerfolg gesehen werden, da von einer Abnahme der Entzündung ausgegangen werden kann [26].

Obwohl viele Studien nur eine schwache Korrelation zwischen Bluten auf Sondieren und ein Voranschreiten der Parodontitis zeigten, wurde in der gegenwärtigen Literatur auf diesen Parameter nicht verzichtet. LANG et al. [179] schlagen wegen der bekannten schwachen Korrelation vor, die Abwesenheit des Sondierungsblutens als Zeichen der Stabilität und nicht wie in älteren Studien die Blutung als Zeichen der Progression des Attachmentverlustes zu sehen [29, 30, 70, 177]. LANG et al. [178] beschreiben für das Bluten auf Sondieren einen positiven Voraussagewert von 30 % für einen weiteren Attachmentverlust, jedoch einen negativen Voraussagewert von 98 %. Das bedeutet, dass nicht blutende Stellen mit großer Sicherheit keinen weiteren Attachmentverlust erleiden.

Ungeachtet der schwachen Korrelation zwischen Bluten auf Sondieren und der daraus resultierenden klinischen Vorhersage für einen weiteren Attachmentverlust zeigen die verfügbaren Studien, dass eine nicht-chirurgische parodontale Behandlung voraussagbar zu einer signifikanten Verringerung des Blutens auf Sondieren führt. Die Spannweite der Abnahme reicht in einem Dreimonatsinter-

vall von 10 % [117] bis 80 % [180]. Diese Daten sind für keine Instrumentierungsart homogener [25, 36, 37, 80, 153, 192, 196, 262, 282, 284, 285, 290]. Die in der vorliegenden Studie erhobenen Daten zeigen eine durchschnittliche Abnahme des Blutens auf Sondierung um 60,3 % nach drei Monaten. Diese Ergebnisse sind mit den aus der bekannten Literatur verfügbaren Daten vergleichbar. Die Reduktion des Sondierungsblutens durch Handinstrumente (60,9 %), durch den Laser (61,8 %), durch das Schallscaling (59,4 %) und durch den Ultraschall (59,8 %) unterschieden sich nicht signifikant von einander. Sie erreichten somit ein hinsichtlich der Entzündungsreduktion vergleichbares Niveau. Die Betrachtung der Zwischenergebnisse nach einem Monat und der Vergleich der Zwischenergebnisse mit den Endergebnissen lassen nicht den Schluss zu, dass eine Methode gegenüber den Anderen Vorteile bezüglich der Heilungsgeschwindigkeit besitzt. Das von verschiedenen Autoren [12, 129, 215] beobachtete bakterizide Potential des Er:YAG-Lasers scheint keinen nachweisbaren Einfluss auf die klinische Entzündungsreaktion nach drei Monaten zu haben. Auch die bei maschinellen Scalern auftretenden Mikroströmungs- oder Kavitationseffekte [176, 343, 346, 348] scheinen keinen erkennbaren Einfluss auf das Bluten auf Sondierung zu haben.

Bei der Betrachtung der ein- und mehrwurzeligen Zähne war ein leicht höheres Bluten auf Sondieren bei den mehrwurzeligen Zähnen während aller Untersuchungszeitpunkte feststellbar. Ursächlich für diesen Unterschied können die schwierigen makromorphologischen und anatomischen Verhältnisse der Furkationen sein, wodurch diese Bereiche schlechter zu reinigen sind [48].

Beim Einsatz des Er:YAG-Lasers zur Therapie marginaler Parodontopathien reichen die Angaben in der Literatur zur Reduktion des Blutens auf Sondieren nach drei Monaten von 41 % [153] bis zu 69 % [284, 285]. Das Resultat dieser Studie zeigt ein entsprechendes Ergebnis für den Er:YAG-Laser, der im Detektionsmodus arbeitet. Im Kontrast dazu steht das Ergebnis von SCULEAN et al. [290]. Diese Autoren verglichen die Wirksamkeit eines Er:YAG-Lasers im Detektionsbetrieb mit einem Ultraschallscaling und erreichten nach drei Monaten eine Reduktion des Blutens auf Sondieren um 27 % in der Lasergruppe. Ursachen für die geringere Abnahme des Sondierungsblutens können die im Vergleich zur vorliegenden Untersuchung initial niedrigeren Werte sein oder in der Durchführung der Untersuchung begründet liegen. Die Werte der Ultraschallgruppe, die mit 34 % eine der Lasergruppe vergleichbare, aber eine im Vergleich zu bekannten Studien [25, 45, 80, 172] geringe Abnahme zeigt, deutet auf eine Ursache hin, die unabhängig von der Behandlungsart ist.

VAN DER WEIJDEN et al. [337] zeigten den Einfluss unterschiedlicher Sondierungskraft und Sondierungswinkel auf die Entzündungsparameter. Neben der Sondierungskraft hat die Sondenform einen großen Einfluss auf die Sondierungstiefe und damit auf das Eindringen der Sonde in das bindegewebige Attachment bei entzündetem Parodont [52]. Der Großteil der bekannten klinischen Studien verwendete keine druckkalibrierten Sonden und überprüfte nur die Reliabilität des Untersuchers. Übereinstimmende Messungen eines Untersuchers müssen nicht die gleiche Stelle oder die wahre Defekttiefe messen [352-355].

Die behandelten Parodontien zeigen in Abhängigkeit ihrer Taschentiefe unterschiedlich starke Veränderungen in Bezug auf die Therapie. In der gegenwärtigen Literatur ist es deshalb üblich, die untersuchten Taschen nach ihrer initialen Sondierungstiefe zu kategorisieren. Sie werden in Gruppen mit flachen (0-3 mm), mittleren/moderaten (4-6 mm) und tiefen (≥ 7 mm) Taschen unterteilt [25, 130, 161, 207].

Bei der Betrachtung der hier vorliegenden Daten kann herausgestellt werden, dass in allen vier Behandlungsgruppen Taschen mit initial höheren Sondierungstiefen (≥ 7 mm) den höchsten Gewinn an klinischem Attachment und die größte Reduktion der Sondierungstiefen aufwiesen. Zugleich zeigten die Stellen mit initial geringen Sondierungstiefen die kleinsten Veränderungen der Sondierungstiefe und des klinischen Attachmentlevels. Insofern entsprechen die vorliegenden Ergebnisse den zuvor genannten Untersuchungen. Die Anzahl der Parodontien mit initial flachen Sondierungstiefen war im Vergleich zu der Anzahl an Stellen mit Sondierungstiefen ≥ 7 mm größer. Dieser Umstand erklärt die Differenz zwischen der Betrachtung aller untersuchten Stellen und der Betrachtung der Parodontien mit initial moderaten Sondierungstiefen in der Reduktion der mittleren Sondierungstiefen und den durchschnittlichen Gewinn an klinischem Attachment.

Drei Monate nach nicht-chirurgischen Parodontaltherapie zeigten alle untersuchten Parodontien einen durchschnittlichen Gewinn an Attachment von 0,88 mm und eine durchschnittliche Reduktion der Sondierungstiefe von 1,06 mm. Für Stellen mit initialen Sondierungstiefen von 4-6 mm zeigte die Lasergruppe drei Monate postoperativ einen durchschnittlichen klinischen Attachmentgewinn von 1,17 mm, die Ultraschallgruppe einen durchschnittlichen Gewinn an klinischem Attachment von 1,14 mm. Die Schallgruppe zeigte nach drei Monaten einen durchschnittlichen Gewinn an klinischem Attachment von 1,11 mm, die Hand-scalinggruppe einen durchschnittlichen klinischen Attachmentgewinn von 1,03 mm für Stellen mit Sondierungstiefen von 4-6 mm. Die nicht-chirurgische Paro-

dontalbehandlung führte somit sowohl mit dem Laser als auch mit den Schall-, Ultraschall- und Handinstrumenten zu einer statistisch signifikanten Verbesserung der Sondierungstiefe und des klinischen Attachmentlevels; dies steht im Einklang mit vorausgehend veröffentlichten Untersuchungen [25, 45, 153, 172, 206, 207, 282, 284-286, 290, 333, 351].

Viele Studien untersuchten bedauerlicherweise nicht die Veränderung des klinischen Attachmentlevels, sondern beschränkten sich auf die Beschreibung der Sondierungstiefe über den Untersuchungszeitraum. TORFASON et al. [333] konnten in einer kontrollierten klinischen Studie keinen signifikanten Unterschied beim Vergleich von Handscaling und Ultraschallscaling feststellen. Nach zwei Monaten zeigte sowohl die Ultraschallgruppe als auch die Handscalinggruppe eine durchschnittliche Sondierungstiefenreduktion von 1,7 mm (initiale Sondierungstiefe 4-6 mm). Nach 13 Monaten konnten BADERSTEN et al. [25] sowohl für die Therapie mit Hand- als auch mit Ultraschallinstrumenten von einer durchschnittlichen Reduktion der Sondierungstiefe von 1,3 mm bei einer initialen Sondierungstiefe von durchschnittlich 4,2 mm berichten. In einer späteren klinischen Studie der Arbeitsgruppe wurden Ultraschallinstrumente mit Handscalern zwölf Monate nach Instrumentierung miteinander verglichen, wobei kein Unterschied festgestellt werden konnte. Beide Gruppen wiesen eine Reduktion der Sondierungstiefe von 1,9 mm bei durchschnittlichen Sondierungstiefen zu Studienbeginn von 5,5 mm auf.

Der Vergleich der Effizienz von Schallscaling mit Handscaling bei der Therapie von Taschen mit Sondierungstiefen >4 mm zeigte vier Monate nach der Behandlung keinen signifikanten Unterschied. Beide Instrumentierungsarten reduzierten die Anzahl der Stellen mit Sondierungstiefen >4 mm um durchschnittlich 70 % [180]. LAURELL et al. [181] konnten in einer weiteren klinisch kontrollierten Studie keinen Unterschied bezüglich der Wirksamkeit von zwei verschiedene Schallscalingsysteme auf Parodontien mit Sondierungstiefen >4 mm feststellen. Acht Monate postoperativ wiesen 80 % der untersuchten Stellen Sondierungstiefen <4 mm auf. LOOS et al. [207] berichteten 24 Monaten postoperativ von unterschiedlich stark ausgeprägten Veränderungen der Sondierungstiefe (0,5 mm für flache Taschen, 1,2 mm für 4-6,5 mm tiefe Taschen und 2,3 mm für Taschen ≥ 7 mm) und einem durchschnittlichen Gewinn an klinischem Attachment von 0,6 mm.

Ein Unterschied zwischen Schall- und Ultraschallscaling war nicht feststellbar. Einen Gewinn an klinischem Attachment von 1,14 mm und eine Reduktion der Sondierungstiefe von 1,82 mm bei einer Anfangssondierungstiefe von durch-

schnittlich 4,9 mm konnten BORETTI et al. [45] einen Monat postoperativ nach Ultraschallscaling beobachten. Im Gegensatz zu anderen Autoren konnten sie mit dem Handscaling einen größeren Gewinn an Attachment von 1,53 mm erreichen. Die Reduktion der Sondierungstiefen unterschieden sich nicht signifikant voneinander.

WATANABE et al. [351] untersuchten die Wirkung eines Er:YAG-Lasers zur Konkremententfernung bei 38 Patienten. Einen Monat nach der Therapie beschrieben die Autoren eine Abnahme der mittleren Sondierungstiefe um 3,0 mm (initiale durchschnittliche Sondierungstiefe 5,6 mm). JEPSEN et al. [153] betrachteten die Wirkung von Handinstrumenten und Laser auf erkrankte Parodontien; nach drei Monaten war ein Gewinn an klinischen Attachment von 0,3 mm (Laser) und 0,4 mm (Küretten) zu beobachten. KOCHER et al. [172] beobachteten in einer kontrollierten klinischen Studie keinen statistisch signifikanten Unterschied zwischen den beiden Instrumentierungsarten. Nach drei Monaten beschrieben sie einen durchschnittlichen Gewinn an klinischem Attachment von 0,4 mm für die Schallinstrumente und 0,6 mm für die Küretten.

SCHWARZ et al. [282] berichteten von einer Reduktion der Sondierungstiefen von 4,7 mm auf 3,1 mm nach sechs Monaten und einen mittleren klinischen Attachmentlevel von 6,1 mm zu Beginn auf 4,6 mm nach sechs Monaten. Die Arbeitsgruppe verglich in einer kontrollierten klinischen Studie die Effektivität nicht-chirurgischer Parodontalbehandlungen mit einem Er:YAG-Laser und mit der von Handinstrumenten [284]. In der Lasergruppe zeigten Parodontien mit initialen Sondierungstiefen >4 mm nach drei Monaten sowohl einen Gewinn an klinischem Attachment (1,2 mm) als auch eine Abnahme der Sondierungstiefen (1,4 mm) (Handinstrumente Gewinn an CAL 0,9 mm, Reduktion der ST 1,2 mm). In einer weiteren kontrollierten klinischen Studie [285] konnten SCHWARZ et al. keinen Unterschied zwischen dem Er:YAG-Laser und der Kombination des Lasers mit Handinstrumenten in der nicht-chirurgischen Parodontaltherapie feststellen. Nach drei Monaten reduzierte sich die mittlere Sondierungstiefe der Lasergruppe von 5,0 mm um 1,5 mm und die der Kombinationsgruppe von 5,2 mm um 1,7 mm. Beide Gruppen zeigten einen Gewinn an klinischem Attachment von 1,4 mm.

SCULEAN et al. [290] beobachteten drei Monate postoperativ eine Zunahme des mittleren klinischen Attachments von 1,48 mm nach nicht-chirurgischer Parodontalbehandlung mit dem Er:YAG-Laser und eine Abnahme der durchschnittlichen Sondierungstiefe von 1,62 mm bei einer mittleren initialen Sondierungstiefe von 5,28 mm. Die Ultraschallgruppe zeigte eine Reduktion der durchschnittli-

chen Sondierungstiefe von 1,69 mm und einen mittleren Gewinn an klinischem Attachment von 1,53 mm bei einer mittleren Sondierungstiefe von 5,33 mm präoperativ. Die klinischen Veränderungen der genannten Studien sind mit denen durch den Er:YAG-Laser, das Hand-, Schall- und Ultraschallscaling in der vorliegenden Studie vergleichbar. Diskrepanzen sind beim Vergleich der Werte des Gewinns an klinischem Attachment und der Abnahme der Sondierungstiefe in den einzelnen Studien feststellbar. Eine Erklärung könnten die unterschiedlichen initialen mittleren Sondierungstiefen in den verschiedenen Studien sein. Die absoluten Werte von Sondierungstiefe und klinischem Attachmentlevel der einzelnen Studien sind auch durch die unterschiedlichen Verteilungen der verschiedenen Sondierungstiefen nicht direkt miteinander vergleichbar. Hinzu kommt die Variabilität, die zwischen den einzelnen Untersuchern besteht [352-355].

Die geringeren Rezessionen, die der Er:YAG-Laser ($p < 0,0062$; GEE) und die Ultraschallbehandlung ($p < 0,0018$; GEE) in der vorliegenden Untersuchung gegenüber den Handinstrumenten aufweisen, können als Resultat einer atraumatischeren Arbeitsweise betrachtet werden.

Die Ergebnisse klinischer Studien weisen darauf hin, dass Traumata am Weichgewebe, die durch die Instrumentierung der Wurzeln hervorgerufen werden, eine Ursache für einen postoperativen Anstieg an Gingivarezessionen und nachfolgend für einen Verlust von klinischem Attachment sein könnten [67-70]. Für diese Vermutung spricht auch, dass bei getrennter Betrachtung der Zähne nach Ein- oder Mehrwurzeligen der Effekt nur noch bei den mehrwurzeligen Zähnen statistisch signifikant war (Laser: $p < 0,0047$; Ultraschall: $p < 0,0007$; GEE). Diese befinden sich zum einen in einer schwer zu erreichenden Lokalisation im Mund und zum anderen sind sie aufgrund ihrer Anatomie schwieriger zu instrumentieren [48], wodurch die Möglichkeit, Traumen zu verursachen, steigt. Die grazile Gestaltung der Arbeitsspitzen des Ultraschallgerätes und die kleine Amplitude [217, 298] können ein atraumatisches Instrumentieren ermöglichen.

Die fein gestalteten Arbeitsfasern des Key-III-Lasers, der im Detektionsmodus betrieben wurde, scheinen auch ein gewebeschonendes Arbeiten zu ermöglichen. Der statistisch signifikant größere Gewinn an klinischem Attachment ($p < 0,0013$; GEE) der Lasergruppe im Vergleich zur Handscalinggruppe resultiert zum Teil aus dem schwächeren postoperativen Anstieg der Gingivarezessionen. In der vorliegenden Studie wurde der unterschiedliche Gewinn an klinischem Attachment bei initial tieferen Taschen zwischen Handinstrumenten und Er:YAG-Laser deutlicher ($p < 0,0010$, GEE). Mehrwurzelige Zähne zeigten eine größere Zunahme an klinischem Attachment nach Laserinstrumentierung im Vergleich

zum Handscaling ($p < 0,0011$; GEE). Der Vergleich zwischen Laser- und Handscaling zeigte bei einwurzeligen Zähnen keinen Unterschied. Dieses Ergebnis steht im Kontrast zu den Ergebnissen von SCHWARZ et al. [284], die von einer statistisch signifikanten Überlegenheit des Er:YAG-Lasers gegenüber dem Handscaling in der nicht-chirurgischen Parodontaltherapie einwurzeliger Zähne berichteten. In dieser kontrollierten klinischen Studie wurden Parodontien mit initialen Sondierungstiefen >4 mm beobachtet. Die Lasergruppe zeigte nach drei Monaten sowohl einen statistisch signifikant größeren Gewinn an klinischem Attachment (1,2 mm) als auch eine stärkere Abnahme der Sondierungstiefen (1,4 mm) (Handinstrumente Gewinn an CAL 0,9 mm, Reduktion der ST 1,2 mm). Die Diskrepanz zu den Ergebnissen der vorliegenden Studie ist durch die unterschiedliche Instrumentenauswahl zu erklären. Durch den Gebrauch der weniger grazil gestalteten Gracey-Küretten könnte das Weichgewebe auch an besser zugänglichen und leichter zu reinigenden Stellen eher verletzt worden sein als beim Einsatz von Gracey Mini-Five™-Küretten.

SCULEAN et al. [290] konnten keinen Unterschied zwischen einer nicht-chirurgischen Parodontalbehandlung mit dem Ultraschallscaling und dem Er:YAG-Laser feststellen. Sie beobachteten drei Monate postoperativ keinen statistisch signifikanten Unterschied zwischen den beiden Gruppen. Diese zu den in der vorliegenden Arbeit beschriebenen gegensätzlichen Resultate können mit der unterschiedlichen Instrumentenauswahl in den beiden Studien erklärt werden. SCULEAN et al. setzten einen magnetostriktiven Ultraschallscaler ein, der, im Gegensatz zu dem in der vorliegenden Untersuchung eingesetzten piezoelektrischen Ultraschallscaler, ein elliptisches Schwingungsverhalten mit einer größeren Amplitude aufweist [217, 298]. Dadurch ist unabhängig von der Lokalisation der Arbeitsspitze zum Zahn ein Substanzabtrag möglich. Unterstützt wird diese Annahme durch die Beobachtung, dass zwischen dem Er:YAG-Laser und dem in dieser Studie eingesetzten Schallscaler kein statistisch signifikanter Unterschied der klinischen Parameter bestand. Das Schwingungsverhalten des Schallscalers ist ein kreisförmiges [217, 298], ähnlich dem des magnetostriktiven Ultraschallscalers. Das piezoelektrische Ultraschallgerät weist ein lineares Schwingungsverhalten auf [217, 298], wodurch nur zwei Seiten der Arbeitsspitze am Substanzabtrag beteiligt sind. Bei der gleichen Arbeitssystematik, mit denen die beiden oszillierenden Scaler die Wurzeloberflächen in dieser klinischen Untersuchung instrumentiert haben, hat der Ultraschallscaler eine andere Oberflächenbearbeitung und scheint dadurch einen geringeren Substanzabtrag als der Schallscaler zu haben [272].

Die Morphologie der Wurzeloberflächen nach Behandlung mit dem Er:YAG-Laser ist in verschiedenen In-vitro-Studien untersucht worden [14, 15, 98, 165, 283, 321]. Ein selektiver Abtrag von Konkrementen war nicht möglich. Mit der Reinigung der Wurzeloberfläche wurde gleichzeitig die oberflächliche Schicht des Wurzelzements durch die Einwirkung des Er:YAG-Lasers entfernt. Dadurch entstand eine für die Laserbehandlung charakteristische raue Oberfläche. Es ist noch nicht sicher möglich, zu definieren, wie viel Zement von der Wurzeloberfläche entfernt werden muss, damit sie biokompatibel wird und dadurch eine parodontale Regeneration erlaubt [232, 233]. Die Rauigkeit der Wurzeloberfläche scheint jedoch keinen negativen Einfluss auf die Heilung nach nicht-chirurgischer Parodontaltherapie zu haben [163, 234, 342].

SCULEAN et al. [289] zeigten in einer histologischen Studie, dass eine parodontale Regeneration an der Wurzeloberfläche stattfinden kann, wenn vorher die bakteriellen Stoffwechselprodukte mechanisch oder chemisch entfernt worden sind. Daraus kann geschlossen werden, dass die Detoxifikation der Wurzeloberfläche wichtiger für die parodontale Heilung ist als die vollständige Entfernung des infizierten Wurzelzementes. Das hohe antibakterielle Potential des Er:YAG-Lasers [12, 129, 215] scheint eine gute parodontale Regeneration zu unterstützen.

Eine In-vitro-Studie zeigte ein schnelleres Wachstum und eine zügigere Adhäsion von humanen Fibroblasten auf einer mit einem Er:YAG-Laser bestrahlten Wurzeloberfläche (60 mJ/Puls, 10 Hz, 10´´) als auf einer mit Handinstrumenten bearbeiteten Wurzeloberfläche [87]. Bei stärkerer Bestrahlung der Wurzeln nahm das Wachstum und das Adhäsionsvermögen der Fibroblasten ab. Eine frühere Untersuchung [99] stellte zudem heraus, dass eine zu starke Entfernung der Zementschicht von der Wurzeloberfläche die Zementogenese behindert. Eine superfizielle Entfernung der Zementschicht erlaubt allerdings eine gute Fibroblastenadhäsion.

Der im Detektionsmodus betriebene Er:YAG-Laser scheint eine Überinstrumentierung der Wurzeloberflächen zu vermeiden. Im Gegensatz zum piezoelektrischen Ultraschallgerät vermag er im Allgemeinen eine biokompatiblere Wurzeloberfläche zu hinterlassen. Es ist anzunehmen, dass dadurch eine bessere parodontale Regeneration möglich ist.

Der in der vorliegende Untersuchung statistisch nicht feststellbare Unterschied des klinischen Attachmentlevel und der Sondierungstiefe zwischen Hand-, Ultraschall- und Schallscaling steht im Einklang mit den Ergebnissen aus der bekannten Literatur [236, 335].