

Aus dem Zentrum der Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde (Carolinum)
der Johann Wolfgang Goethe-Universität
Frankfurt am Main

Poliklinik für Zahnerhaltungskunde
(Direktor: Prof. Dr. D. Heidemann)

REVISION VON KOMPOSITFÜLLUNGEN UND DEREN EINFLUSS AUF DIE
KAVITÄTENDIMENSION UND AUFGEWENDETE ZEIT IN ABHÄNGIGKEIT VOM
VERWENDETEN MATERIAL

DISSERTATION

zur Erlangung des Doktorgrades der Zahnmedizin des
Fachbereichs Medizin der Johann Wolfgang Goethe-Universität
Frankfurt am Main

vorgelegt von
Andreas Borchert

aus Göttingen

Frankfurt am Main

2004

Dekan: Prof. Dr. J. Pfeilschifter

Referent: Prof. Dr. D. Heidemann

Korreferent: Prof. Dr. H.-Chr. Lauer

Tag der mündlichen Prüfung: 5. September 2005

Widmung

Nach einem langen Weg
denkt ein jeder an die Ernte
und weniger an das,
was noch an Weg vor einem liegt,
bis man sich mit der Zufriedenheit
der getanen Arbeit zurücklehnt
und zurückblickt auf die Saat und die vielen Ernten.
Säe jeden Tag auf's Neue.

(Andre's B.)

Ich möchte diese Arbeit meinen Kindern, David und Leandra, und all denen
widmen, die an mich glauben und mich in meinem Werden unterstützt haben.
Ihr habt mir die Kraft für mein Weiterkommen gegeben.

Inhaltsverzeichnis

1	EINLEITUNG UND PROBLEMSTELLUNG	1
2	LITERATURÜBERSICHT.....	4
2.1	KOMPOSITE UND DEREN WERKSTOFFKUNDLICHE EIGENSCHAFTEN	4
2.1.1	<i>Stand der Technik</i>	7
2.1.2	<i>Verarbeitbarkeit</i>	9
2.1.3	<i>Farbe</i>	10
2.2	ADHÄSIVE IN DER ZAHNHEILKUNDE.....	12
2.3	QUALITATIVE UND QUANTITATIVE KAVITÄTENBESTIMMUNG.....	14
2.3.1	<i>Profilometrie und Rasterelektronenmikroskopie</i>	15
2.3.2	<i>Computertomographische Vermessung</i>	16
2.3.3	<i>Magnet-Resonanz-Mikroskopie</i>	16
2.3.4	<i>Cerec-System</i>	17
3	MATERIAL UND METHODEN.....	18
3.1	VERSUCHSABLAUF	18
3.2	VERWENDETE MATERIALIEN	21
3.3	VORGEHENSWEISE	27
3.3.1	<i>Vorversuche</i>	27
3.3.2	<i>Methode des Hauptversuchs</i>	29
3.3.2.1	Gruppe I	36
3.3.2.2	Gruppe II	37
3.3.2.3	Gruppe III.....	38
3.3.2.4	Gruppe IV	38
3.3.3	<i>Revision</i>	39
3.4	DIMENSIONALE MESSUNGEN DER KAVITÄT	41
3.4.1	<i>Meßpunkte</i>	41
3.4.2	<i>Veränderung der Meßpunkte durch die Revision</i>	44
3.5	BESTIMMUNG DER REVISIONSZEIT	44
3.6	STATISTIK	45
4	ERGEBNISSE	46
4.1	REVISIONSZEIT.....	46
4.2	VERÄNDERUNG AN DEN EINZELNEN MEßPUNKTEN	48

4.2.1	<i>Meßpunkt 1</i>	48
4.2.1.1	Tiefe	48
4.2.1.2	Breite	49
4.2.1.3	Höhe.....	51
4.2.1.4	Gesamtveränderung.....	53
4.2.2	<i>Meßpunkt 2</i>	55
4.2.2.1	Tiefe	55
4.2.2.2	Breite	56
4.2.2.3	Höhe.....	58
4.2.2.4	Gesamtveränderung.....	60
4.2.3	<i>Meßpunkt 3</i>	62
4.2.3.1	Tiefe	62
4.2.3.2	Breite	63
4.2.3.3	Höhe.....	65
4.2.3.4	Gesamtveränderung.....	67
4.2.4	<i>Meßpunkt 4</i>	69
4.2.4.1	Tiefe	69
4.2.4.2	Breite	70
4.2.4.3	Höhe.....	72
4.2.4.4	Gesamtveränderung.....	74
4.2.5	<i>Meßpunkt 5</i>	76
4.2.5.1	Tiefe	76
4.2.5.2	Breite	77
4.2.5.3	Höhe.....	79
4.2.5.4	Gesamtveränderung.....	81
4.2.6	<i>Gesamtveränderung für alle Messpunkte</i>	82
5	DISKUSSION	85
5.1	DISKUSSION DER ERGEBNISSE	85
5.2	SCHLUßFOLGERUNGEN	94
6	ZUSAMMENFASSUNG	95
7	SUMMARY	96
8	LITERATURVERZEICHNIS	97
9	ANHANG	107
9.1	TABELLARIUM.....	107
9.2	ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	130
9.3	VERZEICHNIS DER TABELLEN UND ABBILDUNGEN	131

10	DANKSAGUNG	139
11	LEBENS LAUF	140

1 Einleitung und Problemstellung

Die Forderungen an ein zahnärztliches Füllungsmaterial aus klinischer Sicht sind:

- eine ausreichende Härte und Festigkeit,
- eine geringe Wärmeleitfähigkeit,
- keine Flüssigkeitsaufnahme,
- Unlöslichkeit,
- Unveränderlichkeit gegenüber Speisen, Speichel und Bakterien,
- Dimensionsstabilität und
- ein dem Zahnschmelz ähnliches Abriebverhalten (LEHMANN und HELLWIG 1998, HAUNFELDER *et al.* 1999).

Der Füllungswerkstoff sollte idealerweise nicht nur zahnfarben sein, sondern auch farb-stabil, porenfrei und möglichst röntgensichtbar. Gutes Haftvermögen an den Rändern der Kavität sowie leichte Verarbeitbarkeit und Applikationsform werden verlangt; einfaches Entfernen und Reparieren sollten ebenfalls möglich sein. Das Füllungsmaterial sollte außerdem mit praktikablen Techniken wirtschaftlich verarbeitet werden können. Bis zum heutigen Zeitpunkt konnte noch kein Rekonstruktionsmaterial alle genannten Forderungen erfüllen (LEHMANN und HELLWIG 1998, HAUNFELDER *et al.* 1999).

Zur Karies- und Füllungstherapie im okklusionstragenden Seitenzahnbereich finden seit über 150 Jahren das Silberamalgam, in geringerem Maße auch Gold als Werkstoffe Verwendung. Trotz werkstoffkundlicher Verbesserungen und umfassender Untersuchungen, welche den Verdacht systemischer Toxizität des Silberamalgams widerlegen konnten, ist die Akzeptanz dieses Füllungswerkstoffs spätestens seit Ende der 80er Jahre im Sinken begriffen (FÉDÉRATION DENTAIRE INTERNATIONALE 1991). Da in der Bundesrepublik Deutschland seit 1996 auch im Seitenzahnbereich nichtamalgame Füllungswerkstoffe von den Krankenkassen mitfinanziert werden, wird derzeit Amalgam praktisch kaum noch verwendet (BERG 1998).

Gestiegene ästhetische Ansprüche der Patienten haben dazu geführt, daß die Entwicklung neuer Techniken und Materialien zur Herstellung nichtmetallischer Füllungen der Klassen I und II intensiviert wurde. In den letzten Jahren wurde eine Fülle von Materialien und Systemen eingeführt, welche nicht nur die Kaufunktion wiederherstellen, sondern auch den Erwartungen der Patienten hinsichtlich der Ästhetik entsprechen sollen. Die Anwendung und Weiterentwicklung von adhäsiven Füllungsmaterialien verlaufen unvermindert mit hohem Tempo. Eine ständige Optimierung von Haftfestigkeit, Randdichtigkeit und Farbanpassung dieser Restaurationen verlängert die Haltbarkeit und erhöht die Akzeptanz, sowohl seitens der Behandler als auch der Patienten (SZEP *et al.* 2002). Komposite werden, wie neuere Untersuchungen zeigen (MJÖR *et al.* 1999, SUNDBERG *et al.* 2000), mittlerweile deutlich häufiger als Amalgamfüllungen bei der Versorgung von Klasse-II-Kavitäten eingesetzt.

Der größte Vorteil dieser Füllungsmaterialien, nämlich ihre farbliche Anpassung an den Schmelz, stellt jedoch gleichzeitig unter technischen Gesichtspunkten einen Nachteil dar (HUNTER *et al.* 1995, KREJCI *et al.* 1995): Sollte es nötig sein, eine Restauration zu revidieren, kann das Wiederauffinden der ursprünglichen Kavitätendimension erschwert sein. Die Folgen sind übersehene Füllungsreste bzw. überextendierte Kavitäten (KREJCI *et al.* 1995).

Farbdifferente Materialien, wie z. B. Zemente oder auch Amalgam, ermöglichen dagegen eine direkte Sichtkontrolle über die Ausdehnung der ursprünglichen Kavität; der Haftverbund ist bei diesen Materialien mit denen der adhäsiven Werkstoffe nicht zu vergleichen (O'BRIEN 1997).

Durch den Haftverbund von 4-18 MPa kann es bei der Revision von adhäsiv verankerten Füllungen (z. B. Komposite) zu Kavitätenüberextendierungen kommen (KREJCI *et al.* 1995). Neue, sogenannte „photochrome“ Komposite erscheinen bei der Lösung dieses Problems vielversprechend (SZEP *et al.* 2002). Sie sind dadurch gekennzeichnet, daß sie vor und nach der radikalischen Polymerisation unterschiedliche Farben aufweisen und durch ein nochmaliges Bestrahlen mit einer intensiven Lichtquelle wiederholt aktiviert werden können (SZEP *et al.* 2002).

Ziel dieser Studie war es, die Ausdehnung von Klasse II-Kavitäten vor und nach der Revision von Kompositrestaurationen zu vergleichen. Die Restaurationen wurden mit blauem und optimal zahnfarbenem Kunststoff mit z. T. photochromem Material als

Unterfüllung appliziert. Mit Hilfe der Aufnahmeeinheit (Cerec III-Handkamera) wurden die Kavitäten optisch vermessen und die Veränderungen der Kavitätdimension in Breite, Höhe und Tiefe ermittelt. Des Weiteren wurde die Revisionszeit festgehalten. Anhand der gewonnenen Daten soll eine Empfehlung von photochromen Materialien abgegeben werden (SZEP *et al.* 2002).

2 Literaturübersicht

2.1 Komposite und deren werkstoffkundliche Eigenschaften

Die Acrylsäure (AA) wurde bereits vor über 150 Jahren von REITENBACHER synthetisiert. Erst in den 40er und 50er Jahren des letzten Jahrhunderts konnten aber über die Entwicklung von Methacrylsäure (MAA), Methacrylsäure-Methylester (MMA), des Polymethylmethacrylates (PMMA) und der von BUONOCORE beschriebenen mikromechanischen Retention mittels Phosphorsäure die Grundlagen für die heutige Füllungs-therapie gelegt werden. 1962 wurde von BOWEN das Bisphenol-A-Glycidylmethacrylat (BisGMA) als Matrix benutzt, seit 1970 ist der Photopolymerisationskunststoff erhältlich.

Der wichtigste Durchbruch in der Verwendung von Kunststoffen als Füllungsmaterial wurde mit der Einführung von modifizierten bifunktionellen Acrylsäuremonoestern als Kunststoffanteil und ultrafeinen Mineralstäuben als Füllstoff erzielt; die Polymerisations-schrumpfung und der geringe Widerstand gegen Abrasion und Verformung, die wesentliche Nachteile der ungefüllten Kunststoffe darstellten, konnten dadurch behoben werden (PHILLIPS 1986).

Moderne Kunststoff-Füllstoffe basieren auf drei Hauptelementen, weshalb sie auch als „Komposite“ bezeichnet werden (EICHNER 1985): der organischen Phase (Matrix), der Verbundphase (Silane) und der dispersen anorganischen Phase (Füller).

Während bezüglich der organischen Phase (hier werden weit überwiegend bifunktionelle Methacrylate eingesetzt) und der Silanisierung, mit der ein chemischer Verbund zwischen Matrix und Glasoberfläche der Füllpartikel erzielt wird, die Wahl der optimalen Kombination weitgehend geklärt sein dürfte, bestimmt die Art des gewählten Füllstoffs die wichtigsten Eigenschaften (u. a. die erzielbare Oberflächenrauigkeit) und dient als Grundlage der Kompositklassifikation. Unterschieden werden in diesem Zusammenhang (LUTZ *et al.* 1983, PHILLIPS 1986):

- Konventionelle *Makrofüller* mit anorganischen Partikeln von 2-30 μm Größe, die aus Quarz, Glas oder Keramik bestehen und splitterförmig sind; durch Verwendung schwermetallhaltiger Gläser wird das Komposit röntgendicht.
- *Mikrofüller* (pyrogenes SiO_2) bestehen aus nicht röntgendichten Glaspartikeln, deren Größe im Nanometerbereich liegt.
- *Mikrofüllerkomplexe* werden unterschieden in splitterförmig vorpolymerisierte, kugelförmig vorpolymerisierte und agglomerierte.

Nach der Füllkörpergröße wurden die Komposite zunächst in Makro- und Mikrofüller sowie die seit 1979 bestehenden Hybridkomposite mit Füllkörpern unterschiedlicher Größe unterteilt; die Feinpartikelhybride sind eine Weiterentwicklung der Hybridkomposite. Neben den stopfbaren Kompositen gibt es auch fließfähige Komposite.

Eine Einteilung aller Komposite ist bis zum heutigen Tag noch nicht gelungen, bis auf die von LUTZ *et al.* (1983), die den Feinpartikelhybridkompositen nur unzureichend gerecht wird; diese unterscheidet insgesamt 7 Kompositklassen (LUTZ *et al.* 1983):

1. *Konventionelles Komposit (KK)*: Konventionelle Makrofüller

Diese Komposite besitzen günstige physikalische Eigenschaften. Ungünstig dagegen ist ihre schlechte Polierbarkeit, da beim Materialabtrag Löcher und herausragende Füllpartikel entstehen (LUTZ 1980); nach VAN DIJKEN *et al.* (1983) ist dieser Effekt sogar beim Zähneputzen zu beobachten.

2. *Hybridkomposit (HK)*: Konventionelle Makrofüller und Mikrofüller mit den Untergruppen

- *Grobpartikelhybridkomposit* (Partikelgröße 2-10 μm)
- *Feinpartikelhybridkomposit* (Partikelgröße 0,3-2 μm)

Hybridkomposite weisen die gleichen günstigen physikalischen Eigenschaften auf wie die konventionellen Komposite, sind diesen aber bezüglich der optischen Eigenschaften und insbesondere auch der Polierbarkeit der Oberfläche deutlich überlegen. Das Ergebnis der Oberflächenbearbeitung hängt dabei wesentlich von der Partikelgröße ab (JEFFERIES *et al.* 1989).

3. *Homogenes Mikrofüller-Komposit (HMK):* Mikrofüller

Die extrem kleinen Partikel (0,01-0,1 μm) führen zu sehr guten ästhetischen Eigenschaften der HMK (LUTZ *et al.* 1983); trotz der kleinen Partikel ist allerdings die Oberflächenbeschaffenheit eher ungünstiger als bei HK, und der geringe Füllstoffgehalt erhöht den thermischen Ausdehnungskoeffizienten sowie die Polymerisationsschrumpfung (PHILLIPS 1986).

4. *Inhomogenes Mikrofüller-Komposit (IMK):* Mikrofüller und Mikrofüllerkomplexe mit den Untergruppen

- *IMK mit splitterförmigen Mikrofüllerkomplexen*
- *IMK mit kugelförmigen Mikrofüllerkomplexen*
- *IMK mit agglomerierten Mikrofüllerkomplexen*

Oberflächenbeschaffenheit und Abrasionsverhalten der IMK sind sehr gut, nachteilig ist die schwierige Verarbeitung sowie die gegenüber KK reduzierte Steifheit und Härte bei erhöhtem thermischen Ausdehnungskoeffizienten (PHILLIPS 1986).

Komposite von heute sind durch ihre besondere Einstellung auf die Erfordernisse im Seitenzahnbereich, wie die erhöhte Abrasionsfestigkeit, den mechanischen Kräften angepaßt (KAMANN und GÄNGLER 2000). Komposite werden immer häufiger als indirekte und direkte Restaurationsmaterialien verwendet und reichen in ihrer Qualität an die natürliche Zahnschubstanz heran (MILLAR *et al.* 1992).

Moderne Hybridkompositmaterialien mit Füllstoffen, deren Partikelgrößen um 1 μm liegen und die einen hohen Füllstoffgehalt aufweisen, zeigen gemessene Verschleißwerte von weniger als 150 μm in 3 Jahren (ROULET *et al.* 1995).

2.1.1 Stand der Technik

Die Tendenz, Komposite auch in Klasse II-Kavitäten einzusetzen, beruht sicher zunächst auch darauf, daß Amalgam seit Mitte der 90er Jahre zunehmend – und auf wissenschaftlich durchaus anfechtbarer Grundlage – in Verruf geraten ist; Ergebnisse klinischer Untersuchungen zeigen aber auch, daß sich Komposite bei Beschränkung der Indikation auf kleinere Kavitäten und nicht kaudrucktragende Restaurationen durchaus bewähren können. (KAMANN und GÄGLER 2000).

Neben der ständigen Erneuerung und Verbesserung von Materialien ist es von großer Bedeutung, diese zur Erzielung eines optimalen klinischen Ergebnisses adäquat einzusetzen. Nach der Erstellung einer kariesfreien und substanzschonenden Präparation kann nach Legen von Kofferdam und oder auch Matrize mit dem Applizieren des Füllmaterials begonnen werden, wenn das Arbeitsfeld trocken ist.

Auch die Zusammensetzung der Monomere spielt für die spätere Füllung eine Rolle, da sich die heterogene Matrix, wie bei Bisphenol-A-Glycidylmethacrylat (BisGMA) und auch Urethandimethacrylat (UDMA) durch eine geringere Polymerisations schrumpfung von 10 Vol.-% – im Gegensatz zu 20 Vol.-% bei der alleinigen Verwendung von Methylmethacrylat – auszeichnet.

Auch die Polymerisationsintensität und Dauer ist für die spätere Qualität der Füllung von Bedeutung; Fehler bei der Verarbeitung, wozu auch die Lichthärtung zählt, dürften die Hauptursache für die kurze Lebensdauer von Kompositfüllungen sein (LUTZ *et al.* 1984) Je besser die initiale Aushärtung gelingt, um so geringer fällt später die Farbänderung und Opazitätszunahme durch Wasseraufnahme aus (LUCKENBACH *et al.* 1991).

Die Lichtpolymerisation ist ein zentraler Fertigungsschritt beim Legen von zahnfarbenen Füllungen, und Randschluß, Verschleißfestigkeit sowie hängen entscheidend von einer kompletten initialen Durchhärtung des Komposits ab. Der Verwendung von leistungsstarken Polymerisationsgeräten und deren optimalem Einsatz kommt deshalb bezüglich der Qualität und der Lebensdauer solcher Restaurationen eine entscheidende Bedeutung zu (LUTZ *et al.* 1984).

Komposit, das im direkten und indirekten Verfahren oder auch als adhäsives Medium in den Zahn inseriert wird, findet heute als Restaurationsmaterial zunehmend Anwendung. Die intensive Entwicklung der Komposite hat dazu geführt, daß Materialien auf dem Markt sind, die in ihrer Qualität sehr nah an die Eigenschaften von natürlichen Zähnen heranreichen (MILLAR *et al.* 1992). Durch den Haftverbund mit dem restlichen Zahn bedarf es auch keiner besonderen Präparation, die einen weiteren Verlust von Hartsubstanz mit sich bringen würde (NASH *et al.* 2001); kondensierbare Komposite helfen zudem dabei, bessere Approximalkontakte zu erzielen (PEUMANS *et al.* 2001).

Eine der wesentlichen Anforderungen an ein Füllungsmaterial ist eine glatte Oberfläche, die bezüglich der Plaqueakkumulation dem natürlichen Schmelz überlegen oder mindestens gleichwertig ist (KAPLAN *et al.* 1996). Die Ausarbeitung einer frisch gelegten Restauration besteht aus folgenden Teilen:

- Überschubeseitigung
- Konturieren
- Finieren
- Politur

Die Oberflächenbearbeitung verfolgt dabei zunächst das Ziel, die füllstoffarme Deckschicht der Füllung abzutragen. Anschließend wird die Okklusionsfläche des Zahnes möglichst exakt wieder hergestellt; durch Finieren und Polieren wird dabei ein möglichst exakter Randschluß ohne Stufen zwischen Schmelz und Restauration sowie eine glatte und hoch glänzende Oberfläche geschaffen.

Grundsätzlich sind moderne Komposite somit aufgrund ihrer werkstoffkundlichen Eigenschaften ausgezeichnet als Füllungsmaterial geeignet; es gibt aber derzeit nur wenige Langzeitstudien über den Zeitraum von 10 Jahren oder mehr, die dies auch klinisch belegen (GAENGLER *et al.* 2001).

2.1.2 Verarbeitbarkeit

Die Anwendbarkeit der Schichttechnik wird als Vorteil der Lichthärtung genannt. Unterschiede in der Biegefestigkeit von einzeitig oder in Portionen applizierten Kompositkörpern sind meist nicht signifikant, klinisch jedenfalls nicht relevant, sofern die Verbundflächen nicht mit Wasser oder Speichel kontaminiert werden (FORSTEN 1984b, PODSHADLEY *et al.* 1985).

Die verschiedenen Fülltechniken der Schichtung tragen zudem zur Abnahme von streßbedingten Schrumpfungen während der Polymerisation bei (JEDRYCHOWSKI *et al.* 1998). Das absolute Maß der Schrumpfung hängt dabei von der in einem Arbeitsgang polymerisierten Masse ab (ROULET 1997).

Für die Ausarbeitung und Politur von Kompositoberflächen stehen diverse Schleifkörper zur Verfügung, die sich in Größe, Form und Abrasivität, aber auch hinsichtlich der Wirkungsprinzipien unterscheiden. Neben Instrumenten mit in Silikon oder Gummi gebundenen Polierkörpern, die oft auch zur Bearbeitung von Metalloberflächen verwendet werden, kommen Aluminiumoxidscheiben unterschiedlicher Körnungen und Polierpasten zum Einsatz (KREJCI und LUTZ 1984, CHEN *et al.* 1988, JEFFERIES *et al.* 1989 und 1992, POWELL 1992, JUNG 1994).

Durch die richtige Ver- und Bearbeitung kann zwar eine frühe Sekundärkaries verhindert werden, doch nach 6-7 Jahren ist die Hälfte aller Restaurationen im marginalen Bereich nicht mehr dicht, wodurch sich das Risiko einer Sekundärkaries deutlich erhöht (GAENGLER *et al.* 2001). Dennoch fanden GAENGLER *et al.* (2001) mit einer intakten Gesamt-10-Jahres-Überlebensrate von 74,2% (von insgesamt 194 Kompositfüllungen im Seitenzahnbereich) ein insgesamt bereits recht positives Langzeitverhalten von Kunststofffüllungen; zu bedenken ist dabei, daß diese bereits vor 1991 gelegt worden waren.

Andere klinische Untersuchungen ließen bis vor kurzem noch auf eine verhältnismäßig kurze Lebensdauer von Kompositrestaurationen schließen: ANDERSSON-WENCKERT *et al.* (1997) untersuchten 159 Restaurationen in Molaren über 2 Jahre nach und fanden

eine kumulative Fehlerrate von 22%, hauptsächlich bedingt durch Retentionsverlust (12%) bzw. Sekundärkaries (5%).

Die Lebensdauer ist allerdings sehr stark von technischen Aspekten abhängig und daher nicht pauschal zu bewerten; zudem werden ständig Fortschritte erzielt, deren Langzeiteffekt sich derzeit noch nicht absehen läßt. So berichtete z. B. VAN DIJKEN (1986, 1994) noch von ungenügenden Langzeitresultaten einer offenen Sandwichtechnik, die mit einer modifizierten Technik von der gleichen Arbeitsgruppe erheblich verbessert werden konnten (LINDBERG *et al.* 2003).

2.1.3 Farbe

Die Optimierung der Qualität von zahnfarbenen Restaurationen ist eines der Hauptanliegen der gegenwärtigen Forschung (SCHRIEVER *et al.* 1999). Folgende allgemeine Regeln sollten bei der Farbauswahl berücksichtigt werden (JORDAN *et al.* 1988):

1. Die Farbe soll nach Reinigung des Zahns und Exkavation des Defekts, aber vor der Unterfüllung bestimmt werden.
2. Der Farbring (Muster) und Zahn sollen angefeuchtet werden.
3. Die Farbauswahl soll bei künstlichem und natürlichem Licht erfolgen.
4. Der Patient soll immer mitentscheiden.

Von zahnfarbenen Restaurationen wird erwartet, daß sie für das „unbewaffnete“ Auge auf normale Begegnungsdistanz unsichtbar sind und bleiben (KREJCI *et al.* 1991).

Form und Farbe verursachen verschiedene Typen von Reflexion, wenn Licht auf die komplexe Struktur eines natürlichen Zahnes trifft (VIOHL 1981, TERRY *et al.* 2002). Wenn ein Lichtstrahl auf die Schmelzoberfläche trifft, wird ein Teil des Lichtes reflektiert, ein weiterer Teil des Lichts durchdringt den Schmelz, der durchsichtig und transluzent ist. Dieses Licht wird vom Dentin durch den Schmelz hindurch reflektiert, so daß

die Farbe des Dentins erkennbar ist; diese Farbe wird wiederum durch den Schmelz beeinflusst (BUDA 1994).

Ziel der Restauration muß es sein, daß Füllungsfläche und natürlicher Zahn mit dem bloßen Auge nicht zu unterscheiden sind; angepaßt werden muß für diesen Zweck nicht nur die Farbe, sondern auch die Oberflächenrauigkeit sowie die Transparenz bzw. Opazität (KNISPEL 1991, TERRY *et al.* 2002). Einige gebräuchliche Stoffe zur Einfärbung von dentalen Kunststoffen sind: Eisenoxid (Grau), Chromoxid (Grün), Chromsilikat (Gelb), Mangansilikat (Weiß-Grau) sowie Kadmiumverbindungen und Titanoxide als Trübungsmittel (CAESAR und ERNST 1993).

Tönung ist die Bezeichnung der Farbe, Chroma ist die Intensität, mit der Farben gesehen werden; diese wird bestimmt von der Menge an Grau, die in der jeweiligen Farbe enthalten ist (LEINEFELDER *et al.* 1986).

Die Farbe der Zähne umfaßt das Spektrum von gelb, orange-gelb und seltener rot (ALBERS *et al.* 1984). Bei zahnfarbenen Restaurationsmaterialien wird die Farbe mit Pigmenten eingestellt und die Oberflächenbeschaffenheit über die Füllerzusammensetzung bestimmt (Wiss. Dienst VIVADENT Dez. 2000).

Der natürliche Zahnschmelz ist sehr lichtdurchlässig (CAMPBELL *et al.* 1986). Durch einen 1 mm dicken Schliff können bis zu 70% des einfallenden Lichtes durchstrahlen. Das Dentin ist deutlich weniger transluzent, ein 1 mm dicker Schliff läßt kaum mehr als 30% des einfallenden Lichtes durch (MCLEAN *et al.* 1981).

Das Farbbild der Restauration war in einer Studie von GAENGLER *et al.* (2001) nach 10 Jahren noch akzeptabel, doch schon nach einem Jahr verlor sie den zahnschmelzähnlichen Glanz und nach 4-5 Jahren wurde sie als schwarz eingestuft.

Kehrseite einer optimalen optischen Anpassung der Restauration an den Zahn ist die Schwierigkeit, bei einer Revision die Grenze zwischen Füllung und Zahn sicher zu identifizieren, was einerseits zum akzidentellen Belassen von Resten der alten Füllung, andererseits aber auch zu Überexkavationen mit unnötigem Verlust von Zahnschmelz führen kann (KREJCI *et al.* 1995).

2.2 Adhäsive in der Zahnheilkunde

Eine Klebung wird durch Adhäsion und Kohäsion zusammengehalten (Abbildung 1). Adhäsion ist die Haftung des klebenden Stoffs an den zu verklebenden Teilen (den Füge-teilen), und Kohäsion ist die innere Festigkeit des Werkstoffs bzw. der Klebschicht.

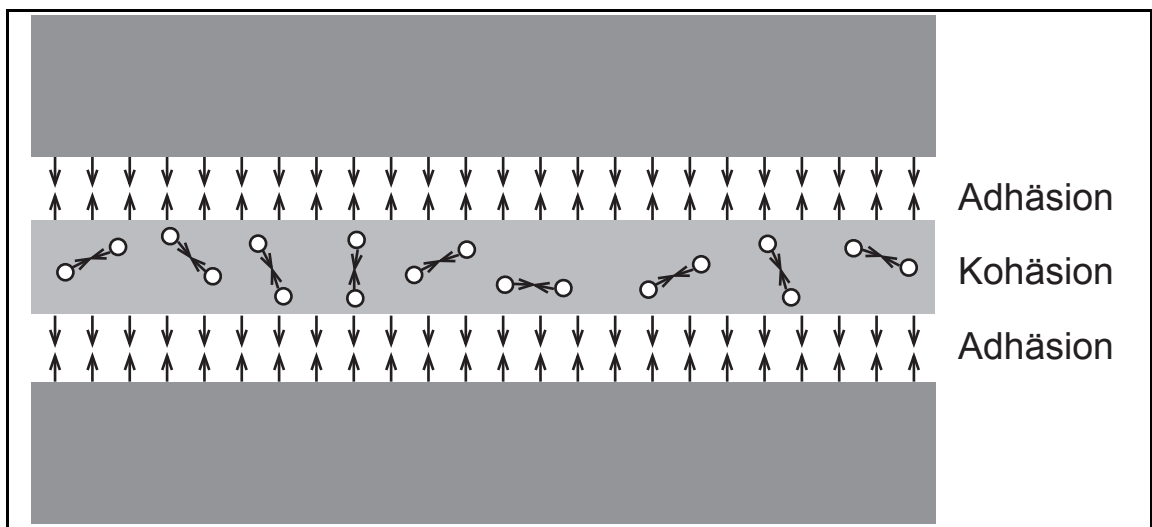


Abbildung 1: Adhäsions- und Kohäsionskräfte in einer Klebung, eigene Abbildung

Adhäsive sind aus der modernen Zahnheilkunde nicht mehr wegzudenken (HELLWIG *et al.* 2003). Erst durch die adhäsive Verankerung wurde es ermöglicht, einen Klebeverband zwischen dem Füllungsmaterial Komposite und der Zahnstruktur Schmelz-Dentin zu schaffen. Randspalten wurden auf diese Weise verkleinert und damit auch der Sekundärkaries immer weniger Vorschub geleistet.

Ein modernes Adhäsivsystem besteht aus einem Konditionierer (Säuren, Komplexbildner), einem Primer (hydrophiles Monomer in einem Lösungsmittel) und dem Adhäsiv (verschiedene Monomere). Das eigentliche Adhäsiv besteht aus amphiphilen Mono- und Dimethacrylaten wie z. B. 4-Methacryloyloxyethyl-trimellitat-anhydrid (4-META), N-Phenyl-glycin-glycidyl-methacrylat (NPGGMA) sowie Polymethylmethacrylat

(PMMA) und phosphonierten Mono-, Di- und Polymethacrylaten. Zusätzlich können Bis-GMA, TEGDMA und UDMA enthalten sein (HELLWIG *et al.* 2003).

Eine Klassifizierung der Dentinadhäsive beruht auf der Einteilung nach deren Entwicklungsstand und Darreichungsform. Man spricht von unterschiedlichen Generationen der Dentinhaftvermittler. Dies ist durchaus sinnvoll, denn weltweit existieren momentan über 80 verschiedene Dentinadhäsive auf dem Markt, bei denen sehr schnell die Zusammensetzung geändert wird oder sie werden durch ähnliche Nachfolgeprodukte ersetzt (VAN MEERBEEK *et al.* 1994).

In Anlehnung an SCHÄFER (1999) wurden die Adhäsive wie folgt eingeteilt:

- Die *erste Generation*, die heute nicht mehr im Handel ist, kam ungefähr 1960 auf den Dentalmarkt. Ihr Ziel war es, die Schmierschicht aufzulösen, wobei starke Säuren (Glycerphosphorsäure) zum Einsatz kamen (HALLER *et al.* 1992).
- Die *zweite Generation* war ab etwa 1985 auf dem Dentalmarkt und ist heute bis auf die Mehrkomponentensysteme Scotchbond (3M Medica) und Bondlite (Kerr) auch nicht mehr erhältlich (SWIFT *et al.* 1995). Der Erhalt der Schmierschicht und eine Haftung mittels bifunktionaler Moleküle an organische und anorganische Bestandteile des Dentins wurde angestrebt. Schwache Säuren kamen teilweise zum Einsatz, die Schmierschicht wurde nur ansatzweise aufgelöst (RETIEF 1989). Klinische Studien zeigten nur unbefriedigende Ergebnisse (KLAIBER 1989, ELIADES 1989, STÄDTLER 1994).
- Die Dentinadhäsive der *dritten Generation* sind bestrebt, die Schmierschicht zumindest zu modifizieren oder aufzulösen und dadurch einen direkten Haftverbund am Dentin oder durch die Schmierschicht zu erreichen. Zur Konditionierung werden HEMA (2 Hydroxiethyl-Methacrylat) und stärkere Säuren verwendet. Die Hersteller brachten entweder Nachfolgeprodukte wie Scotchbond 2(3M) oder neue Produkte auf den Markt, z. B. Syntac (Vivadent) oder Gluma (Bayer). Es sind meist Mehrkomponentensysteme, die noch erhältlich sind.
- Die *vierte Generation* unterscheidet sich nur zum Teil von der dritten Generation. Das Total-Etch-Verfahren dieser Generation wird mit 37% Phosphorsäuregel am Schmelz und Dentin durchgeführt, während in der 3. Generation unterschiedliche Säuren für die Schmelz-Dentinätzung gebraucht wurden. Die Säuren

des Primer und Bonding enthalten HEMA und können mittels einer Hybrid-schicht den Verbund zwischen hydrophobem Komposit und hydrophiler Dentin-oberfläche verbessern.

- Die *fünfte Generation* hat den selben Verbundmechanismus wie die vierte Gene-ration, und es wird ebenfalls das Total-Etch-Verfahren ausschließlich mit Phos-phorsäure angewendet. Arbeitsschritte und Einwirkzeiten sollten vereinfacht werden, indem unterschiedliche Komponenten (Säure, Monogemische und Lö-sungsmittel) aufeinander abgestimmt und lagerungsfähig in einer Lösung zu-sammengefaßt wurden (HICKEL *et al.* 1997); deshalb nennt man diese Adhäsive auch „One-bottle“-Präparate. Primer und Adhäsive werden folglich als Gemisch appliziert und müssen in ein oder zwei Schichten (sog. „double-coating“) auf-getragen werden.
- In der *sechsten Generation* sind wie bei den selbstkonditionierenden Primern Prompt-L-Pop (Espe) bzw. Etch & Prime (Degussa) Phosphorsäureester enthal-ten, die – laut Herstellerangaben – ein Ätzen mit Phosphorsäure entbehrlich ma-chen. Allerdings ist dann das Ätzmuster im Schmelz nicht mit einer Ätzung mit 36%iger Phosphorsäure gleichzusetzen, wie röntgenelektronenmikroskopische Aufnahmen erkennen lassen. Durch den Haftverbund mit dem restlichen Zahn bedarf es auch keiner besonderen Präparation, die einen weiteren Verlust von Hartschubstanz mit sich bringen würde (ROSS und NASH 2001).

2.3 Qualitative und quantitative Kavitätenbestimmung

Grundsätzlich bieten eine ganze Reihe von Verfahren die Möglichkeit, eine Kavität zu quantifizieren. Die einfachste dieser Methoden für *in vitro*-Studien ist das Wiegen (z. B. verwendet von WICHT *et al.* 2002); für Fragestellungen wie die der vorliegenden Unter-suchung ist dieses Verfahren aber ungeeignet, da an einer revidierten Kavität punktuelle Über- und Unterextensionen sich gegenseitig aufheben können und so eine scheinbare Genauigkeit bei tatsächlich vorliegenden groben Fehlpräparationen vorliegen kann.

Besser geeignet sind daher die zahlreichen bildgebenden und teilweise computer-gestützten Verfahren, die in der Zahnmedizin wie auch auf anderen Gebieten der Medi-zin in den letzten Jahrzehnten eine rasante Entwicklung erfahren haben.

2.3.1 Profilometrie und Rasterelektronenmikroskopie

Profilometrische und REM-Untersuchungen haben sich für die Oberflächenbeurteilung von Kompositen als quasi-Standards etabliert (KAPLAN *et al.* 1996). Sie eignen sich grundsätzlich auch zur Kavitätenvermessung, die allerdings hier nur indirekt, d. h. an einem Abdruck der Kavität erfolgen kann. Die profilometrische Oberflächenmeßappa-ratur besteht aus einem Vorschubgerät, einem Mikrotaster und einem Ausgabegerät. Im Gegensatz zu den früher verwendeten Profilographen ist bei modernen Geräten der ge-samte Meßablauf mikroprozessorgesteuert, wodurch das Profil in Echtzeit mitgeschrie-ben wird und die gewünschten Kennwerte sofort nach Abschluß der Messung zur Ver-fügung stehen. Jede vertikale Auslenkung des Mikrotasters während der Messung wird von dem Ausgabegerät erfaßt und zusammen mit den horizontalen Daten verarbeitet. Die Daten können an eine EDV-Einheit, einen Bildschirm oder einen Drucker weiter-geleitet werden.

Die Verwendung der Profilometrie zur Kavitätenvermessung beschrieben z. B. CONRY *et al.* (1992), die Raster-Elektronenmikroskopie wird dagegen eher für die Randspal-tenuntersuchung (z. B. FRIEDL *et al.* 1996) oder Oberflächenbeurteilung (KAPLAN *et al.* 1996, TATE und POWERS 1996) verwendet.

2.3.2 Computertomographische Vermessung

Mit Hilfe der intra-oralen Radiographie ist es möglich, *in vivo* quantitative Messungen an Zahn und Zahnhalteapparat vorzunehmen. Die Computertomographie hat dabei die konventionelle Technik mittlerweile aufgrund technischer Fortschritte fast völlig abgelöst. Lag das räumliche Auflösungsvermögen von CT-Geräten Mitte der 90er Jahre bei weniger als 0,5 mm, was einen bedeutenden Nachteil gegenüber der konventionellen (Film-) Röntgentechnik darstellte (MATTESON *et al.* 1996), so weisen moderne (Mikro-) CT-Systeme eine Auflösung von 34 µm auf (PETERS *et al.* 2000). Die technischen Entwicklungen haben dazu geführt, daß die dreidimensionale computertomographische Darstellung von Wurzelkanälen mittlerweile etabliert ist (PETERS *et al.* 2000, 2001, BERGMANS *et al.* 2001); neben der klinischen Anwendung ist sie von großer Bedeutung bei der Aus- und Weiterbildung in der Endodontie (BJÖRNDAL *et al.* 1999, GARIP und GUNDAY 2001).

2.3.3 Magnet-Resonanz-Mikroskopie

Von BAUMANN *et al.* (1993) wurde ein spezielles Magnet-Resonanz-Mikroskop zur Untersuchung der Anatomie von Wurzelkanälen mit einer räumlichen Auflösung von 100-300 µm vorgestellt. Dieses Verfahren hat, abgesehen von einer weiteren Publikation der gleichen Arbeitsgruppe (APPEL und BAUMANN 2002), keine Verbreitung gefunden.

2.3.4 Cerec-System

Das Cerec-System ist nicht das einzige, aber das deutlich am weitesten verbreitete Verfahren, das auf der digitalen Auswertung von Video- sowie Lasermeßdaten beruht. Andere derartige Verfahren beschrieben etwa CRUICKSHANK und CHADWICK (1998), MJÖR et al (1998), FOLWACZNY *et al.* (2000) BOSTON (2001), GORDAN (2001) oder MILICICH (2001).

Mittlerweile ist mit dem Cerec-III die dritte Evolutionsstufe des Systems auf dem Markt; diese Version verfügt neben einer verbesserten Software über einen Laserpunkt-sensor auf dem Antriebsmotor des Kegelschleifers (MÖRMANN und BINDL 2000). Das optische Vermessungsprinzip des CEREC-Systems beruht auf einer Projektion paralleler Streifen auf den Zahn und deren Aufnahme aus unterschiedlichen Winkeln. Mit dem Laser-Triangulationssensor kann das Scan-Modell zusätzlich zeilenweise dreidimensional abgetastet werden; der Abtastvorgang wird in zwei Durchgängen mit unterschiedlichem Winkel durchgeführt und entspricht dadurch der Meßgenauigkeit der Cerec-III-Handkamera (MÖRMANN und BINDL 2000).

Das Cerec-System ist für die Direktanfertigung von Keramikinlays entwickelt worden und stellt damit „von Haus aus“ ein ideales System zur Kavitätenvermessung dar, das auch *in vivo* eingesetzt werden kann. Ein großer Vorteil des Cerec-Systems ist seine relative Unempfindlichkeit gegenüber Kamera-Angulationsfehlern (PARSELL *et al.* 2000), wodurch es relativ Untersucher-unabhängig ist.

3 Material und Methoden

3.1 Versuchsablauf

Zunächst wurden an insgesamt 43 extrahierten Zähnen *ex vivo* je zwei Kavitäten (okklusal-distal und mesial-okklusal) von jeweils 3x3x3 mm Ausdehnung präpariert (Abbildung 2).



Abbildung 2: Zahn aus der Versuchsreihe mit präparierten Kavitäten á 3x3x3 mm

Abbildung 3 veranschaulicht den weiteren Untersuchungsgang:

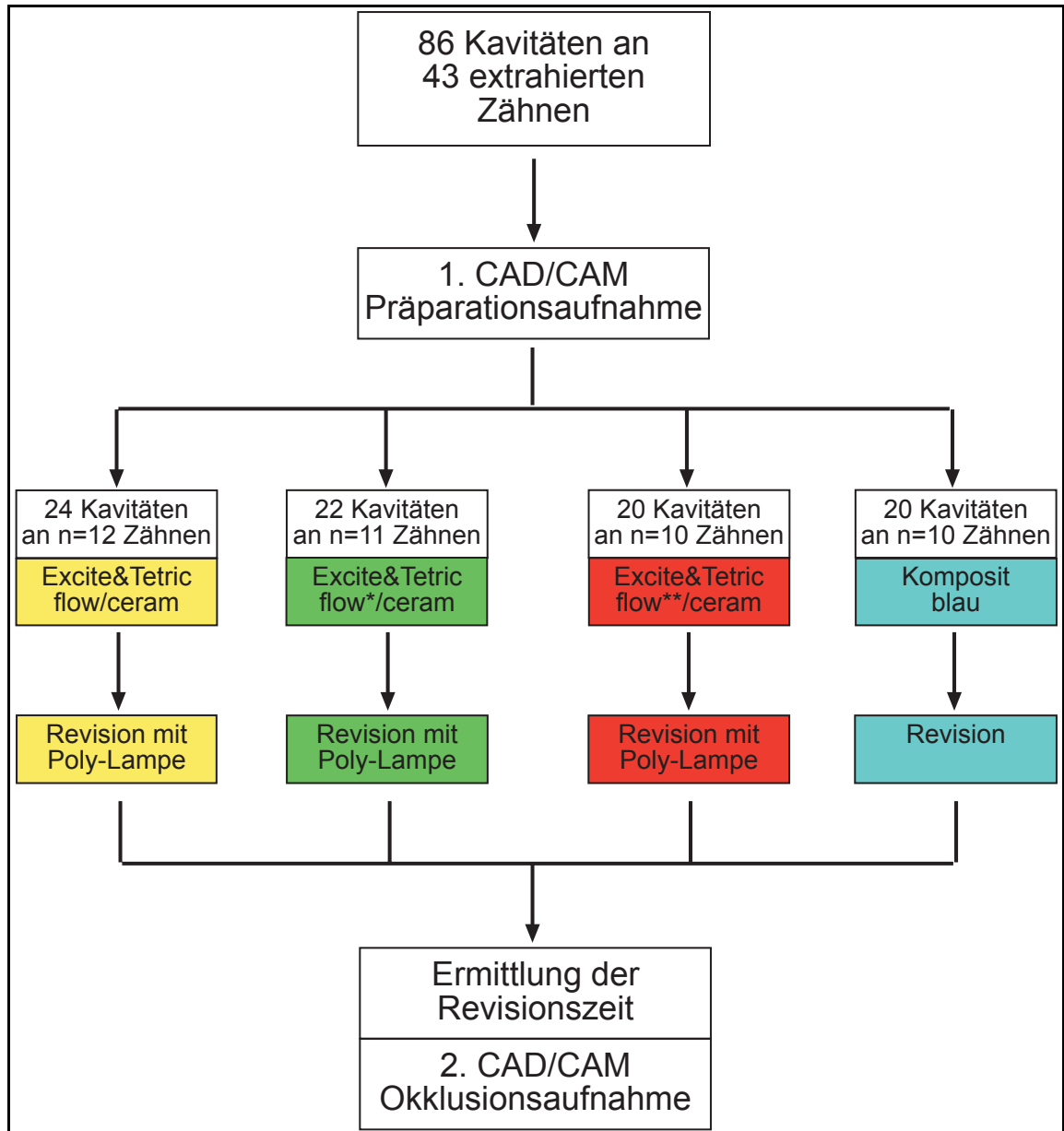


Abbildung 3: Schematische Darstellung des Versuchsablaufs

Zunächst wurden die Kavitäten mit der CAD/CAM-Kamera Cerec 3¹ aufgenommen. Die computerunterstützten Entwürfe dieser Kamera können in ein dreidimensionales Bild überführt und die Höhe z (koronal-apikal) in mm sowie Tiefe und Breite x und y in Pixel (= 25 µm x 0,001 mm) gemessen werden; die Software der Kamera kann außerdem die erste und zweite Aufnahme vergleichen und Differenzen ermitteln.

Anschließend erfolgte die Versorgung der Kavitäten in den in Abbildung 3 dargestellten Gruppen auf die folgende Weise:

- ⇒ **Gruppe I:** Total Etch², Excite² als Adhäsiv, Tetric flow² als Unterfüllung, Füllungsmaterial Tetric Ceram optimale Farbe²
- ⇒ **Gruppe II:** Total Etch, Excite² als Adhäsiv, Tetric flow* grün² als Unterfüllung (bis an den Kavitätenrand ausgeführt), Füllungsmaterial Tetric Ceram optimale Farbe²
- ⇒ **Gruppe III:** Total Etch, Excite² als Adhäsiv, Tetric flow* grün² als Unterfüllung (konventionell bis 1 mm vom Kavitätenrand ausgeführt), Füllungsmaterial Tetric Ceram optimale Farbe²
- ⇒ **Gruppe IV:** Total Etch², Solobond M³ als Adhäsiv, Füllungsmaterial Rebuilda LC³

Die Revision erfolgte mit Hilfe einer Polymerisationslampe (Blaulicht) und Sonden/Spiegel-Kontrolle. Während der Revision wurde eine Schutzbrille mit Lupe 2,5fach getragen.

Neben der Revisionszeit (mit der Handstoppuhr gemessen) wurden die dimensional Änderungen der Kavität, wie sie die Cerec-Kamera ermittelte, protokolliert.

¹ Cerec, Sirona Dental GmbH, Bensheim, Deutschland

² Ivoclar Vivadent, Ellwangen, Deutschland

³ VOCO GmbH, Cuxhaven, Deutschland

3.2 Verwendete Materialien

Zur Vorbereitung der Zähne und deren Präparation wurden folgende Materialien verwendet:

- Bimsmehl (Ernst-Heinrich GmbH, Goslar-Jerstedt, Deutschland)
- Blaugips (Moldano, Hereus Kulzer, Dormagen, Deutschland)
- Bürstchen (Komet, Brasseler, Lemgo, Deutschland, ISO 9640.204.060)
- Schleifkörper (Komet, Brasseler, Lemgo, Deutschland)
 - i. Birne ISO 806.314.234534.010
 - ii. Konus ISO 806.314.170514.018
 - iii. Konus ISO 806.314.170524.018
 - iv. Arkansas ISO 635.314.171505020.420
 - v. Komposit-Entferner 5985 ISO REF 5985.314.012
 - vi. Zylinder ISO 806.314.156514.012
 - vii. Rosenbohrer ISO 500.204.001003.014
 - viii. Rosenbohrer ISO 500.204.001003.012
 - ix. Rosenbohrer ISO 500.204.001003.008
- Doppelklebeband (TESA, Beiersdorf AG, Hamburg, Deutschland)
- Gipstrimmer (Adeb, Degussa Dental GmbH, Hanau-Wolfgang, Deutschland)
- H₂O₂ (3%) (Apothekengemisch, Universitätsklinik Frankfurt, Deutschland)

- Kunststoffbehälter (Cerec 2 Vitablocks Mark II, Sirona Dental System GmbH, Bensheim, Deutschland)
- Kunststoffquader (J. Morita Corporation, Dietzenbach, Deutschland)
- Metallschiene 0,5 x 4 x 20 (Carolinum, Frankfurt, Deutschland)
- 52 Molaren (OK und UK), die frei von Füllungen sind
- Nierenschale (P3, Dahlmann GmbH, Köln, Deutschland)
- Papiertücher (SCA Hygiene Papier GmbH, Mainz-Kastel, Deutschland)
- Polierer (Kunststoff) (Hawe Neos Dental, Bioggio/Schweiz)
- Sauger (Einmal-Speichelsauger, Nr. 87421 Omni-Dent Rodgau, Deutschland)
- Scaler (SH 6-17-152-2, SH 17-152-3, HU-Friedy, Leimen, Deutschland)
- Spatel, Becher, Wachsmesser (Neubauer Dental, Offenbach, Deutschland) (DS030R, DS103R)
- Setzwachs (Wax Straps, Hereus Kulzer, Dormagen, Deutschland)
- Thymol 0,1% (Apothekengemisch, Universitätsklinik Frankfurt, Deutschland)
- Ultraschallaufsatz (KAVO Dental GmbH, Biberach, Deutschland)
- Winkelstück grün (4.000-16.000U/min) (KAVO Dental GmbH, Biberach, Deutschland)
- Winkelstück rot (40.000-120.000 U/min) (KAVO Dental GmbH, Biberach, Deutschland)
- Vaseline (Apothekenzubereitung, Universitätsapotheke Frankfurt, Deutschland)

Alle vorbereiteten Zähne wurden vor dem Füllen und Revidieren von der Cerec 3 mit der Handkamera aufgenommen, um den Ausgangszustand festzuhalten. Dabei wurden die Zähne und die Referenzquader mit Zinkoxydpulver bestäubt

- Aufnahmeeinheit Cerec 3 (Cerec, Sirona Dental GmbH, Bensheim, Deutschland)

- Luftbläser und Wasserspray der Stuhleinheit Siemens (Sirona Dental GmbH, Bensheim, Deutschland)
- Zinkoxydpulver (Vita, Bad Säckingen, Deutschland)

Nach Reinigung der Zähne mit, H₂O₂, Wasser- und Luftspray wurden die Kavitäten unter Zuhilfenahme von folgenden Materialien und Instrumenten restauriert:

- Cat p (Universal Futur, Katalysator Paste, DeTax GmbH, Ettlingen, Deutschland)
- Dappenglas (Alfred Becht GmbH, Offenbach, Deutschland)
- Farbring (VITA Zahnfabrik H. Rauter GmbH, Bad Säckingen, Deutschland)
- Handschuhe (Peha soft, Gr. L, Hartmann, Heidenheim, Deutschland)
- Modellier- und Applikationsinstrumente:
 - ⇒ Heidemannspatel (DE 136R starr, Aesculap, Tuttlingen, Deutschland)
 - ⇒ Interproximal-Spatel (DE 420 R, Aesculap, Tuttlingen, Deutschland)
 - ⇒ Kugelstopfer (DE 108, DE 109, DE 32, Aesculap, Tuttlingen, Deutschland)
- Kompositpistole (Dentsply DeTrey GmbH, Dreieich, Deutschland)
- Lupenbrille 2,5fache Vergrößerung (Keeler, Windsor, Großbritannien)
- Mundschutz (Coldex, Genf, Schweiz)
- Phosphorsäuregel 37% (Ivoclar Vivadent GmbH, Ellwangen, Deutschland)
- Pinselhalter und Pinsel (Ivoclar Vivadent GmbH, Ellwangen, Deutschland)
- Polymerisationslampe (Espe, Seefeld, Deutschland)
- Silaplast (DeTax GmbH, Ettlingen, Deutschland)

Als Füllungsmaterialien kamen zur Anwendung:

- Dentinadhäsiv Excite (Ivoclar Vivadent, Ellwangen, Deutschland) in den Gruppen **I**, **II** und **III**
- Dentinadhäsiv Solobond M und Micro Tim (VOCO GmbH, Cuxhaven, Deutschland) in der Gruppe **IV**
- Komposit Tetric Ceram (Ivoclar Vivadent, Ellwangen, Deutschland) in den Gruppen **I**, **II** und **III**
- Komposit Tetric Flow (Ivoclar Vivadent, Ellwangen, Deutschland) in der Gruppe **I**
- Komposit Tetric Flow Chroma (Ivoclar Vivadent, Ellwangen, Deutschland) in den Gruppen **II** und **III**
- Rebuilda LC (VOCO GmbH, Cuxhaven, Deutschland) in der Gruppe **IV**

Die chemischen und physikalischen Eigenschaften der verwendeten Kunststoffe Tetric Ceram, Tetric Flow und Tetric Flow Chroma sowie des blauen Komposits Rebuilda LC gehen aus den nachfolgenden Tabellen hervor.

Tabelle 1: Chemische Zusammensetzung der verwendeten Füllungsmaterialien

Material	Firma	Chargen-Nr.	Zusammensetzung
Tetric flow Unterfüllung	Vivadent, D- Ellwangen	4762	BisGMA (13,6%), UDMA (14,2%), Bariumglas (41,2%), Trimethylenglycoldimethacrylat (7,3%), Ytterbiumtrifluorid (13,7%), Pigmente (< 0,01%), Stabilisatoren (0,4%)
Tetric flow Chroma Unterfüllung	Vivadent, D- Ellwangen	9005	BisGMA (13,8%), UDMA (12,2%), Bariumglas (46%), Trimethylenglycoldimethacrylat (6,6%), Ytterbiumtrifluorid (12%), Pigmente (0,03%), Stabilisatoren (0,4%)
Tetric Ce- ram Deck- füllung	Vivadent, D- Ellwangen	36416	BisGMA (8,3%), UDMA (7,6%), Bariumglas (50,6%) Trimethylenglycoldimethacrylat (4,3%), Ytterbiumtrifluorid (17,0%), Pigmente (0,1%), Stabilisatoren (0,3%)
Excite	Vivadent, D- Ellwangen	28725	Phosphorsäureacrylat, HEMA, BisGMA, Dimethacrylat (73,6%), Siliciumdioxid 0,5%, Ethanol 25%, Katalysatoren, Stabilisatoren (0,9%)
Total Etch	Vivadent, D- Ellwangen	12515	Phosphorsäure (37 Gew. % in Wasser), Siliciumdioxid, Farbstoffe
Rebilda LC	Voco, D- Cuxhaven	12515	Glaskeramik, UDMA, Trimethylenglycoldimethacrylat, BisGMA, Hochdisperse Kieselsäure, Initiatoren, Stabilisatoren, Pigmente
Solobond M	Voco, D- Cuxhaven	12515	HEMA, BisGMA, Aceton, Trimethylenglycoldimethacrylat, organische Polysäure, säurefunktionalisierte Methacrylate, Fluorid, Initiatoren, Stabilisatoren

(BisGMA= Bisphenol-A-Diglycidyl-Ether-Dimethacrylat, HEMA= 2. Hydroxyethyl-Methacrylat, UDMA= Urethandimethacrylat)

Tabelle 2: Physikalische Eigenschaften der untersuchten Tetric-Komposite (OEHRl 1999, 2000)

Eigenschaft	Tetric Ceram	Tetric Flow	Tetric Flow Chroma
Biegefestigkeit	130 N/mm ²	110 N/mm ²	110 N/mm ²
Biegemodul	9400 N/mm ²	5300 N/mm ²	5300 N/mm ²
Dichte	2,25 g/cm ²	Spitze 1,83 cm/cm ²	1,83 g/cm ²
Durchhärtungstiefe	> 4,5 mm	> 5 mm	> 3 mm
Druckfestigkeit	230 N/mm ²	230 N/mm ²	230 N/mm ²
Röntgenopazität	400% Al	280% Al	280% Al
Transparenz (je nach Opazität)	9-16%	15-18%	14%
Vickershärte HV 0,5/30	600 N/mm ²	Spitze 350 N/mm ²	350 N/mm ²
Wasseraufnahme	21,5 µg/mm ³	24,3 µg/mm ³	24,3 µg/mm ³
Wasserlöslichkeit	1,0 µg/mm ³	1,0 µg/mm ³	1,0 µg/mm ³

Tabelle 3: Physikalische Eigenschaften von Rebuilda LC (VOCO Information WV.RBL.9901/I)

Biegefestigkeit	144 N/mm ² ISO 4049
Dentinhaftung	28 MPa
Diametrale Zugfestigkeit	67 MPa
Druckfestigkeit	390 MPa
Oberflächenhärte	79 Barocol-Härte
Polymerisationsschrumpfung	2,5 Vol.%
Röntgenopazität	230% Al
Wasseraufnahme	20,8 µg/mm ³ ISO 4049

Weitere zur Revision benützte Instrumente waren Spiegel und Sonde (15-24+F15-18, 12-34, Hu-Friedy, Leimen, Deutschland) sowie eine Handstoppuhr (Hanhard, Deutschland) zur Messung der Revisionszeit.

Das als Adhäsiv benutzte Excite ist ein „one bottle-one coat“-System. Die Inhalte von hohen Lösungsmittelanteilen (80%) sind hier auf 25% gesunken, und der Monomeranteil beträgt über 70%, was zu einer gut polymerisierten Adhäsivschicht führt. Diese Monomere enthalten OH-Gruppen, die durch ihre dem Dentin ähnliche hydrophile Eigenschaft optimal in die Dentintubulis und das freiliegende Kollagennetzwerk eindringen (Wiss. Dienst Vivadent Dr. Reichenbach 2000).

Solobond ist ebenfalls ein Adhäsiv, welches aus einer Flasche einmal aufgetragen wird und bis auf den Lösungsmittelanteil und den Monomergehalt dem Excite ähnlich ist, doch speziell auf die Rebuilda-Reihe als Komposite abgestimmt ist.

3.3 Vorgehensweise

3.3.1 Vorversuche

Um die Methode des Hauptversuchs praktikabel zu gestalten, war es von größter Bedeutung, die Zähne in Halterungen zu plazieren, die ein Herausnehmen und eine exakte Reposition erlaubten. Impregum, Silaplast und Technovit sollten neben Gips diese Aufgabe erfüllen. Da nicht ersichtlich war, wieviel Zeit diese Versuchsreihe benötigen würde, mußte das Material über eine längere Zeit formstabil bleiben und eine Reposition ermöglichen.

Bei der Überprüfung der identischen Lage des Zahnes vor und nach der Herausnahme aus seiner Einbettung in Gips wurde je eine Aufnahme als Präparation und als Okklusion mit der Handkamera Cerec-III erstellt. Diese wurde vom Computer übereinandergelegt, um die Richtigkeit der Position zu überprüfen.

Die Vorversuche (Abbildung 4) führten zu folgendem Ergebnis:

- Mit *Technovit*, einem Methylmethacrylat, war eine Herausnahme und Reposition nicht durchführbar; die Zähne konnten trotz einiger Versuche zur Separierung mit Vaseline oder Alufolien nicht aus ihrem Haltebett entfernt werden. Dies hätte die Bearbeitung nicht möglich gemacht, weshalb auf diesen Werkstoff zur Einbettung der Zähne verzichtet wurde.
- *Impregum* als Silikon hatte den Vorteil, daß es schnell zu verarbeiten war und sich gut verformen ließ. Dagegen spricht aber, daß die Fixierung der Zähne zu schwach ist und es außerdem keine genügende Stabilität bei der Reposition ermöglichen kann und damit die Dimension verändert ist.
- Die Einbettung in *Silaplast* war ebenfalls einfach, die Formen waren aber nicht dimensionstreu genug.

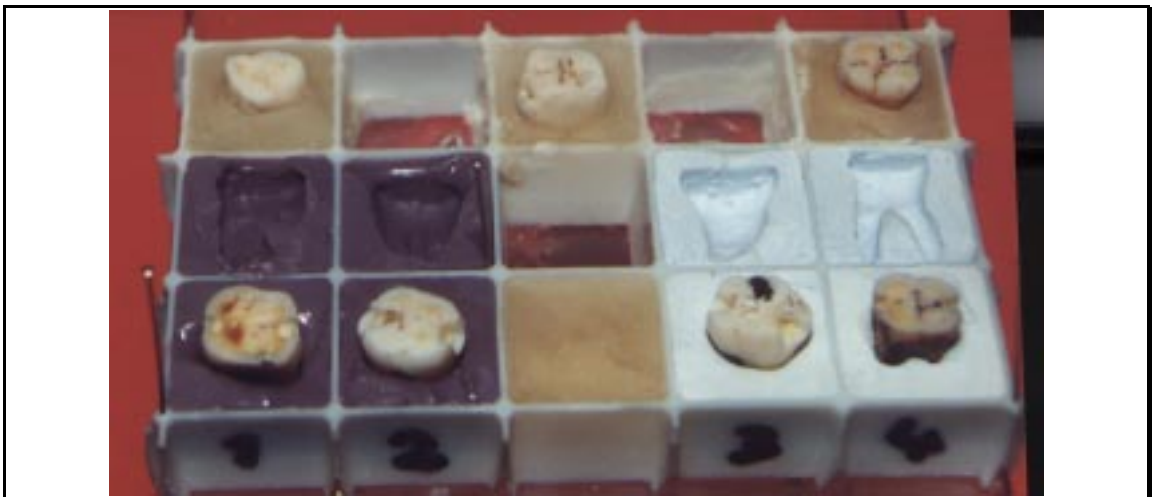


Abbildung 4: Einbettungsversuch mit Technovit, Impregum und Silaplast

Blaugips hatte die besten Eigenschaften bei der Formstabilität und der Reposition. Es ist formstabil und kann bei einer Separierung durch Vaseline, Gips gegen Zahn, dimensionsgenau reponiert werden. Im Hauptversuch, wo ebenfalls Gips als Haltematerial zur Anwendung kam, war es nötig, die Zähne herauszunehmen, da sonst die Spraykühlung (H_2O) des Winkelstücks den Gips in seiner Struktur nachteilig verändert hätte.

3.3.2 Methode des Hauptversuchs

Einhundert füllungs- und kariesfreie Molaren wurden ausgewählt und zwischenzeitig in 0,1%iger Thymollösung gelagert. Unter Zuhilfenahme eines Ultraschallaufsatzes und von Scalern wurden die Zähne von Wurzelhautresten, Konkrementen sowie Zahnstein befreit und anschließend mit Bimsmehl und einer Nylonbürste gereinigt.

Nach jedem Arbeitsschritt wurden die Zähne in H_2O (normales Leitungswasser) gelagert, um ein Austrocknen zu vermeiden. So wurde eine Situation im Mund simuliert.

Alle Zähne wurden okklusal an einem Gipstrimmer bis in die tiefste Stelle der Zentralfissur plangeschliffen, um die Referenzpunkte – Breite, Höhe und Tiefe – exakt meßbar zu gestalten.

Die Kavitäten wurden als ultrakonservative Klasse II-Präparationen angelegt und mit der Tiefe, Höhe und Breite von $\sim 3 \times 3 \times 3$ mm versehen. Der Präparationswinkel nach koronal wurde mit ca. $10-15^\circ$ gewählt. Die Präparation erfolgte mittels diamantierter Schleifkörper verschiedener Körnung und Größe, die Grobpräparation mittels einer Birne sowie dem Zylinder und dem Konus, die für die Formgebung der Kavitäten eingesetzt wurden. Präparationen wurde mit einem roten Winkelstück unter Spraykühlung durchgeführt.

Die Sekundärpräparation wurde mit einem Arkansasstein im grünen Winkelstück vorgenommen.

Die Wurzeln wurden am Gipstrimmer pyramidenförmig zugeschliffen. Anschließend wurden die Zahnwurzeln an unter sich gehenden Bereichen mit Setzwachs ausgeblockt und mit Vaseline bestrichen, die eine Verbindung mit dem Gips verhinderten und so die spätere Entnahme der Zähne aus dem Gipsbett ermöglichten.

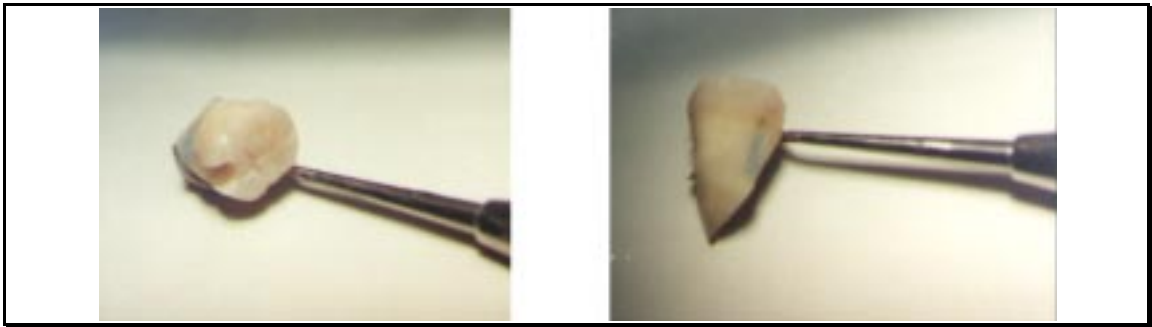


Abbildung 5: Bild der vorbereiteten Zähne mit plangeschliffener Okklusalfäche, präparierter Kavität und pyramidenförmig zugeschliffener Wurzel

Im Wechsel wurden Moritaquader und Zähne mit ihren planen Oberflächen auf ein Doppelklebeband aufgeklebt, das sich auf einer starren Metallschiene befand. Nach festem Andrücken der Referenzquader mesial und distal der Zahnkavitäten (mo, od) wurden diese bis zur Schmelz-Zementgrenze in Blaugips eingebracht, der sich in dem Kunststoffbehälter befand. Nach einer Aushärtungszeit von ca. 30-40 Minuten war der Gips so hart, daß die Zähne entnommen wurden und vom Wachs für die Entblockung befreit wurden. Nun mußten die Zähne formstabil und paßgenau wieder reponierbar sein, um später ein und die selbe Position vor und nach Revision gewährleisten zu können.

So wurde mit allen Zähnen in jeweiligen Reihen zu 6 Zähnen und 7 Moritaquadern verfahren, bis alle 52 Zähne eingebettet waren, wobei ein Moritaquader immer an eine Kavität angrenzte (Abbildung 6).

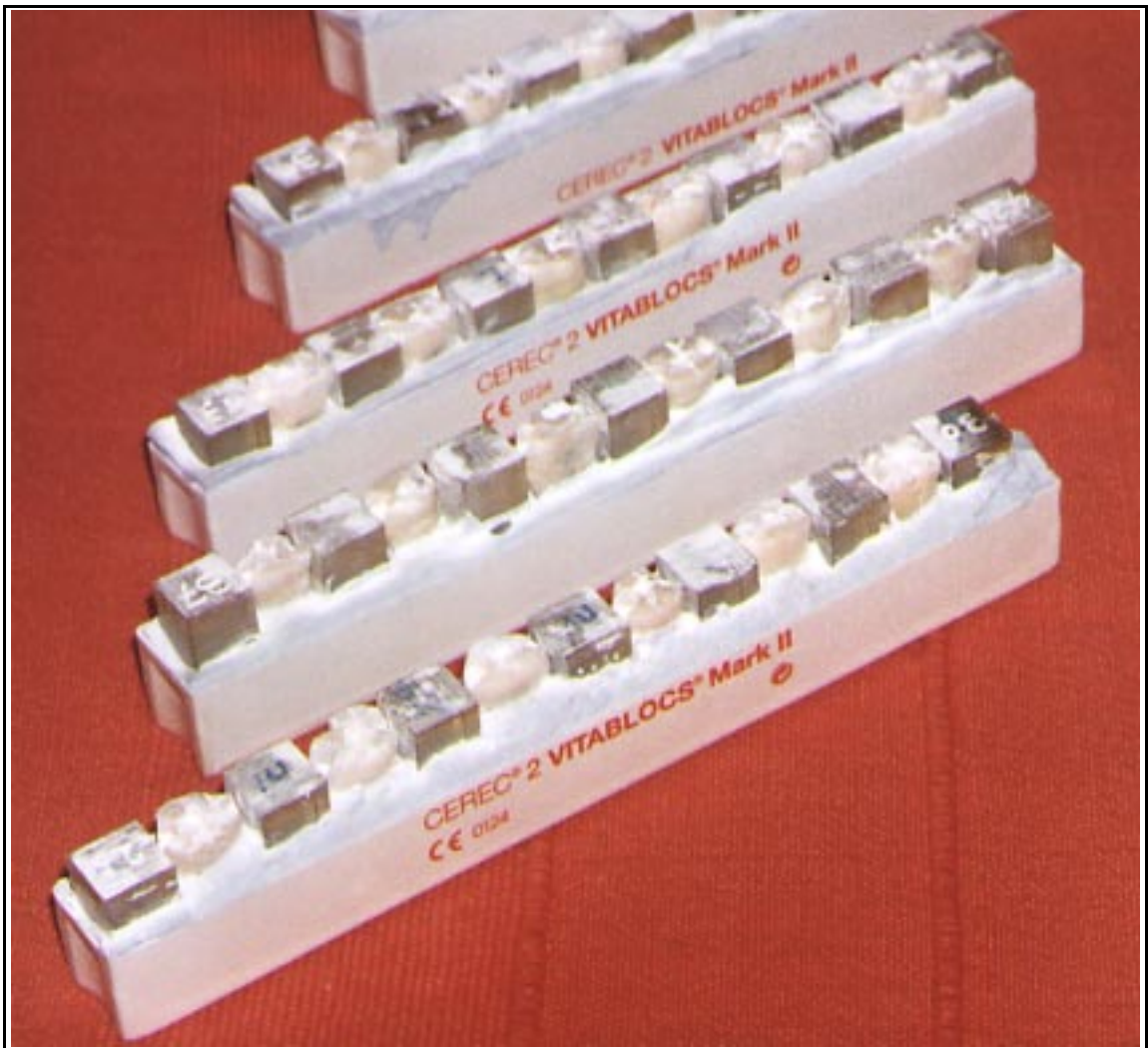


Abbildung 6: Zähne in Kunststoffbehältern mit Moritakanälen

Zunächst mußten alle Ausgangskavitäten mit der Handkamera aufgenommen werden. Dies entsprach der „Meßaufnahme der Präparation“. Dafür mußten alle Kunststoffbehälter mit Zähnen und Quadern mit dem Luftbläser der Zahnarztstuhleinheit trocken-geblasen werden, um das Aufbringen des Zinkoxydpulvers zu ermöglichen.

Die Kavitäten und die Quader wurden mit dem Luftbläser des Behandlungsplatzes gleichmäßig und dünn mit dem Zinkoxyd bepudert, wobei vor jedem erneuten Auftragen das Zinkoxyd aufgeschüttelt wurde, um eine feinste Zerstäubung zu erzielen. Dies erfolgte für jeden Kunststoffbehälter in drei bis vier Schritten.

Die Aufnahmen erfolgten dann mit der Handkamera des CEREC 3-Systems⁴. CEREC (steht für CERamic REConstruction) ist ein CAD/CAM System, mit dem die Herstellung zahnfarbener Keramikversorgungen in nur einer Sitzung möglich ist. Das Cerec Gerät besteht aus einem mobilen Computer mit integriertem Flachbildschirm. Eine am Computer angeschlossene 3D-Kamera ermöglicht die exakte Vermessung eines Zahnes. Mit den gewonnenen Informationen kann der Zahnarzt eine paßgenaue Restauration oder Krone direkt am Bildschirm konstruieren. Diese Daten werden dann mittels einer Funkverbindung an die separate Schleifmaschine geschickt, in der das Inlay in etwa 10-15 Minuten aus einem Keramikblock gefräst wird.

Die Aufnahmeeinheit (Abbildung 7) ist eine hochauflösende, beheizte Mund-Meßkamera (3D-Kamera) mit abnehmbarem Prismenrohr (Prismenrohr mit Heißluft sterilisierbar) und folgenden technischen Eigenschaften:

- integrierte Bildverarbeitung,
- Intel® Pentium® IV, 2,4 GHz; Memory: 2 x 512MB, 333MHz
- Zeichenkugel, Hand- und Fuß-Eingabetaste,
- wischdesinfizierbare Folientastatur,
- Flachbildmonitor mit 1024 x 768 Pixel Auflösung

⁴ Sirona Dental Systems GmbH, Bensheim, Deutschland

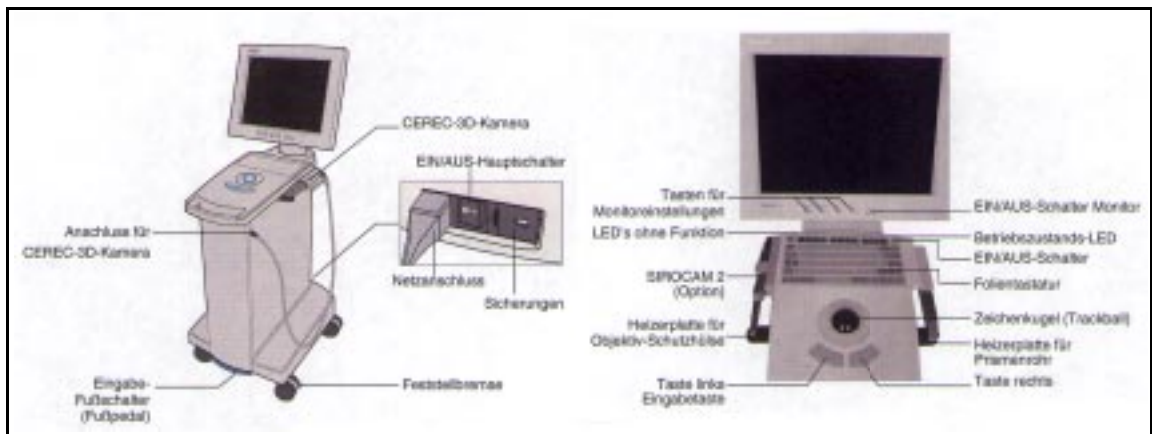


Abbildung 7: Aufnahmeeinheit Cerec 3 (Sirona GmbH⁵)

Die Handkamera wurde so auf die Quader aufgelegt bzw. gehalten, daß beide Kavitäten einsehbar waren. Dann wurde ein Bild angefertigt und diese „Präparationsaufnahme“ im Computer gespeichert. Wenn auf dem Computerbildschirm alle Flächen der Kavität darstellbar waren, wurde mit dem Cursor des Cerec-Computers der Quader auf beiden Seiten jeder Kavität in einer U-Form abgefahren, um ihn so zu markieren. Dies war notwendig, um ein zweites Bild mit dem ersten Bild genau in Deckung zu bringen.

Bilder, auf denen nicht alle Flächen der Kavität dargestellt waren oder bei denen zu dünn aufgetragenes Zinkoxyd nicht zu einer Präparationsaufnahme geführt hatte, wurden erneut aufgenommen.

Alle 52 Zähne mit je zwei Kavitäten wurden auf einem externen Datenträger abgespeichert. Da nicht alle Zähne vollständig auswertbar waren, ergaben sich bei der Auswertung die unter 3.1 (Seite 18ff) angegebenen Gruppengrößen.

⁵ http://www.sirona.de/ecomaXL/get_blob.php?name=01_05_01_10_cerec3_gbaa.pdf

Nachdem alle 104 Kavitäten (mo, od) der 52 Zähne als Präparationsaufnahme abgespeichert waren, mußten die Zähne einer Farbwahl unterzogen werden. Alle Zähne wurden unter Zuhilfenahme von H₂O₂, Wasserspray und Luftbläser gesäubert.

Mit dem Farbring wurde die Zahnfarbe der Zähne bestimmt. Wie im Mund sind die Zähne und der Farbring mit einem Feuchtigkeitfilm aus H₂O (Leitungswasser) versehen worden, um unter Sicht bei Tageslicht die optimale Zahnfarbe zu bestimmen.

Alle Zähne wurden von lingual/palatinal oder vestibulär mit Zahlen von 1 bis 52 versehen, damit eine exakte Zuordnung von Zahnzahl zur Farbe sowie den Gruppen I-IV (s. u.) möglich war.

Die 52 Zähne wurden randomisiert vier verschiedenen Gruppen (n = 13) zugeordnet:

- Gruppe I** Tetric flow Unterfüllung (UF),
Tetric ceram Deckfüllung (DF) - optimale Farbe
- Gruppe II** Tetric flow Chroma UF (bis Kavitätenrand),
Tetric ceram DF - optimale Farbe
- Gruppe III** Tetric flow Chroma UF (bis 1mm an Kavitätenrand)
Tetric ceram DF - optimale Farbe
- Gruppe IV** Rebilda LC (blaue Farbe)

(siehe auch hierzu Kapitel 3.1, Seite 18ff).

Aus Silaplast wurde eine Rolle geformt, die zur Aufnahme der Zähne einer Gruppe diente. Diese Rolle (Abbildung 8) war ein Halter für die Zähne einer Gruppe und erleichterte so die Füllung der Kavitäten.



Abbildung 8: Versuchszähne in Silaplast-Rolle eingebettet

In allen vier Gruppen wurde ein Komposit als Restaurationsmaterial eingebracht. Somit waren die Schritte 1 und 2 (siehe Tabelle 4) bei allen Gruppen gleich.

Schritt 3 war bei den Gruppen I, II, III mit Excite als Primer und Adhäsiv vorgenommen worden. In Gruppe IV wurde für das Rebuilda ein eigenes Dentin-Schmelzbonding, Solobond M, verwendet.

Tabelle 4: Schritte bei der Verarbeitung in den einzelnen Gruppen

Gruppen	Verarbeitungsanleitung
Gruppe 1	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ätzen mit Total Etch (30 s) im Schmelz, 15 s im Dentin 2. Absprühen und Trocknen (30 s) 3. Aufbringen von Excite auf Schmelz und Dentin (30 s), verblasen, Polymerisation (30 s) 4. Tetric Flow in optimaler Zahnfarbe (einschichtig) aufgetragen, Polymerisation (30 s) 5. Tetric Ceram in optimaler Zahnfarbe aufgetragen (jeweils 1,5 mm), Polymerisation (40 s)
Gruppe 2	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ätzen mit Total Etch (30 s) im Schmelz, 15 s im Dentin 2. Absprühen und Trocknen (30 s) 3. Aufbringen von Excite auf Schmelz und Dentin (30 s), verblasen, Polymerisation (30 s) 4. Tetric flow chroma bis zu den Kavitätenrändern (einschichtig) aufgetragen, Polymerisation (40 s) 5. Tetric Ceram in optimaler Zahnfarbe aufgetragen (jeweils 1,5 mm), Polymerisation (40 s)
Gruppe 3	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ätzen mit Total Etch (30 s) im Schmelz, 15 s im Dentin 2. Absprühen und Trocknen (30 s) 3. Aufbringen von Excite auf Schmelz und Dentin (30 s), verblasen, Polymerisation (30 s) 4. Tetric flow chroma als konventionelle UF (einschichtig) aufgetragen, Polymerisation (40 s) 5. Tetric Ceram in optimaler Zahnfarbe aufgetragen (jeweils 1,5 mm), Polymerisation (40 s)
Gruppe 4	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ätzen mit Total Etch (30 s) im Schmelz, 15 s im Dentin 2. Absprühen und Trocknen (30 s) 3. Aufbringen von Solobond M auf Schmelz und Dentin (30 s), verblasen, Polymerisation (20 s) 4. Rebuilda auftragen (jeweils 1,5 mm), Polymerisation (40 s)

Auf die Verhinderung einer Sauerstoffinhibitionsschicht durch ein Glyceringel wurde in allen vier Gruppen verzichtet, weil die Restaurationen nicht rotierend nachbearbeitet wurden und nicht die Langlebigkeit und Randdichtigkeit der Füllungen zu beurteilen waren.

3.3.2.1 Gruppe I

Nach optimaler Farbauswahl wurde die UF Tetric flow als Dentinverband bis zur Schmelz-Dentingrenze im Sinne einer klassischen Unterfüllung aufgetragen und die DF Tetric ceram in Schichten bis zu 1,5 mm mit Kugelstopfern, Heidemannspatel und In-

terproximal-Spatel in die Kavität eingebracht. Anschließend wurde mit einem Pinsel verstrichen und mit einer Polymerisationslampe für 40 sec. ausgehärtet. Die Deckfüllung wurde in den Gruppen I-III als optimale Farbe ausgewählt und eingebracht.

Eine Ausarbeitung rotierender Art wurde nicht vorgenommen, um die Kavitätenränder und -flächen nicht zu verändern, da diese nach Revision deckungsgleich über das erste Bild zu bringen waren.



Abbildung 9: Präparierte Zähne der Gruppe I, 2 Zähne im Detail

3.3.2.2 Gruppe II

Der Unterschied zu Gruppe I bestand darin, daß die UF mit dem photochromen Tetric flow Chroma bis zu den Kavitätenrändern gelegt wurde.

Die lichtgehärtete Füllung wurde auch in dieser Gruppe nicht rotierend ausgearbeitet.



Abbildung 10: Präparierte Zähne der Gruppe II, 2 Zähne im Detail

3.3.2.3 Gruppe III

Die Unterfüllung wurde wie in Gruppe I als konventionelle UF bis zur Schmelz-Dentingrenze, aber mit Tetric flow Chroma als Komposit gelegt.



Abbildung 11: Präparierte Zähne der Gruppe III, 2 Zähne im Detail

3.3.2.4 Gruppe IV

Rebilda LC wurde ohne Unterfüllung in die Kavität eingebracht (Schritt 4 entfällt) und wurde mit einem eigenen Dentinadhäsiv verwendet, welches mittels eines „Micro Tims“ (ein 5 mm großes Kunststoffbürstchen) aufgetragen, nach 30 sec. verblasen und anschließend für 20 sec polymerisiert wurde.

Der blaue Komposit wurde in Schichten bis 1,5 mm eingebracht und anschließend für 40 Sekunden polymerisiert.



Abbildung 12: Präparierte Zähne der Gruppe IV, 2 Zähne im Detail

3.3.3 Revision

Nach einer erneuten Randomisierung der Zähne, mit der die Revisionsreihenfolge festgelegt wurde, konnte mit der Revision begonnen werden.

Die Revision jeder Kavität erfolgte unter gleichen Bedingungen, da neben dem Revisionsverlust an Zahnhartsubstanz oder Überstand von Restaurationsmaterial unter anderem auch die Revisionszeit festgehalten wurde.

Alle Zähne wurden vor der Revision mit H₂O₂ gesäubert und mit dem Luftbläser getrocknet.

Vor der Revision wurde zunächst jeweils die zu revidierende Kavität der Gruppen I-III mit der Polymerisationslampe für 20 Sekunden belichtet, um die photochromen Unterfüllungen erkennbar zu machen. Es erfolgte die Zeitnahme mit einer Stoppuhr.

Die Revision aller gelegten Füllungen wurde mit einer Lupenbrille vorgenommen.

Die Füllung wurde zunächst mit einem diamantierten „Komposit-Entferner“ der ISO-Größe 12 im roten Winkelstück unter Spraykühlung weitgehend entfernt. Danach wurde mit einem zylindrischen Diamantbohrer der ISO-Größe 12 weiter revidiert, bis sich eine dünne Schicht des photochromen Materials darstellte. Die Kavität wurde trocken geblasen, und eine erneute Belichtung mit der Polymerisationslampe mußte zur erneuten Darstellung des photochromen Materials erfolgen. Diese Kontrolle war nötig, um ein Wiederkehren des grünen Farbstoffs im photochromen Material Tetric Flow Chroma herzustellen.

Mit Sonde und Spiegel wurde unter Lupensicht nachkontrolliert, wo noch Füllungsmaterial vorhanden war. Mittels der Rosenbohrer im grünen Winkelstück wurden diese Füllungsreste beseitigt. Es war notwendig, die Polymerisationslampe erneut zu benutzen und eine wiederholte Spiegel- und Sondenkontrolle durchzuführen, wenn ein weiterer Rosenbohrer benutzt wurde. Die grüne Farbe des Tetric Flow Chroma Komposit aus der Tiefe der Kavität erwies sich bei der Revision als hilfreich. Die Revision wurde so lange durchgeführt, bis unter Blaulicht der Polymerisationslampe und unter Spiegel-

und Sondenkontrolle keine Füllungsreste mehr eruiert werden konnten. Nun erfolgte die Registrierung der Revisionszeit.

Alle Zähne wurden anschließend mit H_2O_2 und Wasserspray gesäubert und trocken geblasen, bevor die Kavitäten für eine zweite Aufnahme „Meßaufnahme der Okklusion“ mit dem Puder beschickt wurden (Abbildung 13). Hierbei war es von großer Bedeutung, daß die Korrelationslinien der Referenzquader genau aufeinander lagen, um mit der Kamera die gleiche Ausrichtung zur Oberfläche bzw. zur Ursprungskavität zu erhalten.

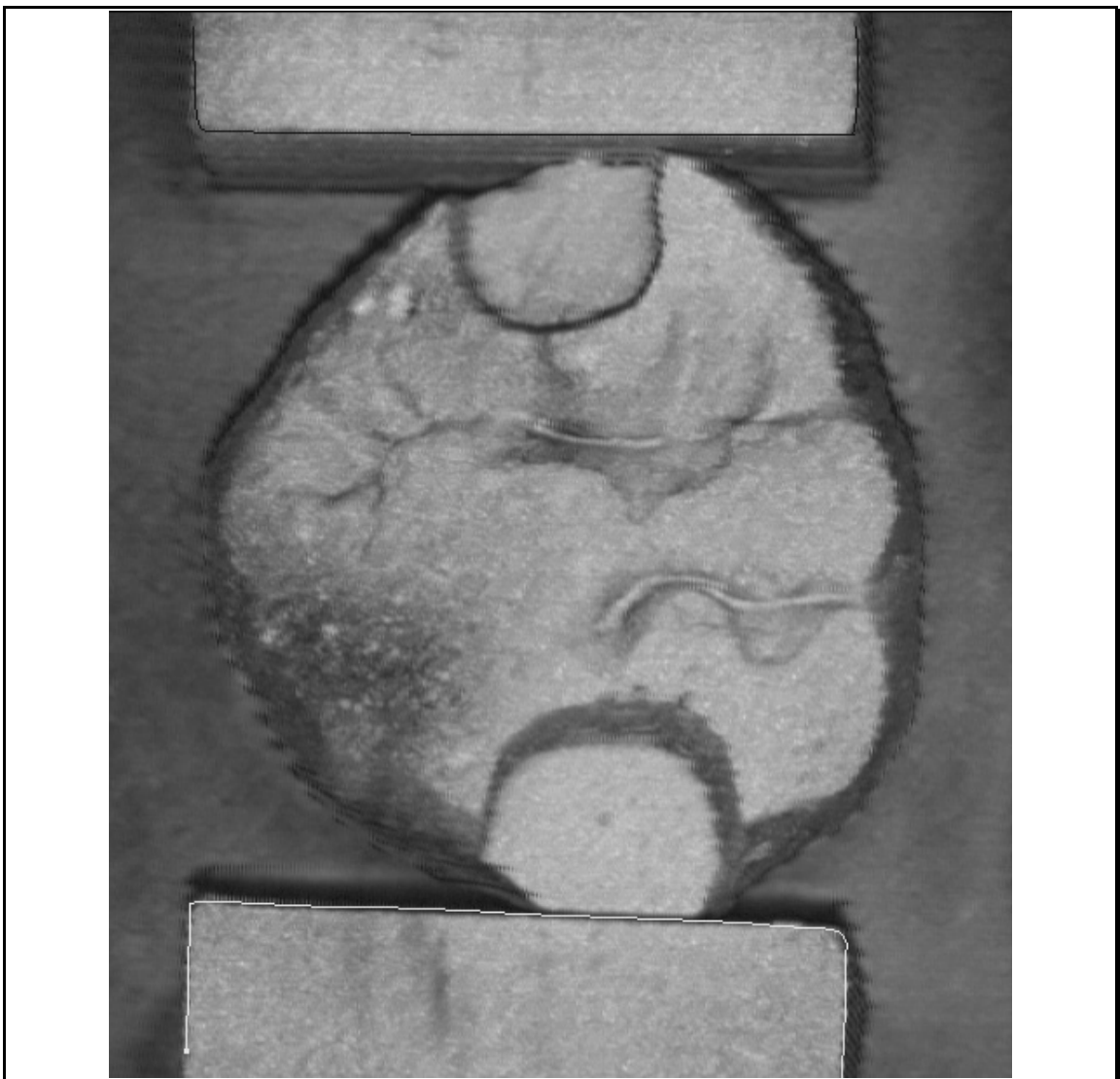


Abbildung 13: Meßaufnahme, Bild aus dem eigenen Untersuchungsgut

3.4 Dimensionale Messungen der Kavität

3.4.1 Meßpunkte

Eine gezielte Kavitätenberechnung ist mit der Software des Cerec 3-Geräts für den Hartschubstanzverlust nicht ohne weiteres möglich. Daher mußten über das Korrelationsprogramm, das dazu in der Lage ist, die Positionen einzelner Pixel (1 Pixel = 0,025 mm) in x-, y- und z-Richtung auf dem Bildschirm dargestellt werden, um eventuelle Unterschiede vor und nach der Revision anzugeben.

Folgende Meßpunkte kamen zur Anwendung (s. dazu Abbildung 14):

- Meßpunkt 1: Bei mo- und od-Kavitäten der am höchsten gelegene vestibulär mesial/distale Punkt, im Bildschirm auf der linken Seite, der auf der plangeschliffenen Okklusalfäche dargestellt werden kann.
- Meßpunkt 2: Bei mo- und od-Kavitäten der am höchsten gelegene linguale mesial/distale Punkt, im Bildschirm auf der rechten Seite, der auf der plangeschliffenen Okklusalfäche dargestellt werden kann.
- Meßpunkt 3: Auf der Mitte von R_1 und R_3 wurde R_2 festgelegt und dazu eine Senkrechte gebildet, auf der die Punkte 5, 4, 3 und R_4 liegen. Auf der y-Richtung bilden sie eine Gerade. Punkt 3 ist die erhabenste Stelle am approximalen Kastenbereich auf der Linie von R_2 zu R_4 , die im rechten Winkel zu der Linie R_1 und R_3 ist.
- Meßpunkt 4: Die tiefste Stelle am Kastenboden zur aufsteigenden pulpaaxialen Wand und ebenfalls auf der Linie R_2 zu R_4 .
- Meßpunkt 5: Die höchste Stelle der pulpaaxialen Wand zum okklusalen Rand, die auch auf der Linie R_2 und R_4 liegt. Er stellt die Ausdehnung in mesio-distaler/disto-mesialer Richtung dar.

Lediglich die Punkte 3, 4, 5, R_2 und R_4 sind spiegelverkehrt mesial und distal eines Zahns. Diese befinden sich in y-Richtung.

Die Punkte 1 und 2 bestimmen die Breite der Kavität an der jeweils mesialen und distalen Kavität. Sie sind die höchsten Punkte der planen Fläche okklusal betrachtet, an den lateralen Wänden des approximalen Kastens, in vestibulo-lingualer bzw. palatinaler Ausdehnung.

Auf den Referenzquadern wurde eine Linie durch die Punkte R_1 und R_3 gebildet, die parallel zu der x-Richtung verläuft. Das bedeutet, sie ist im rechten Winkel zu den Punkten 1 und 2.

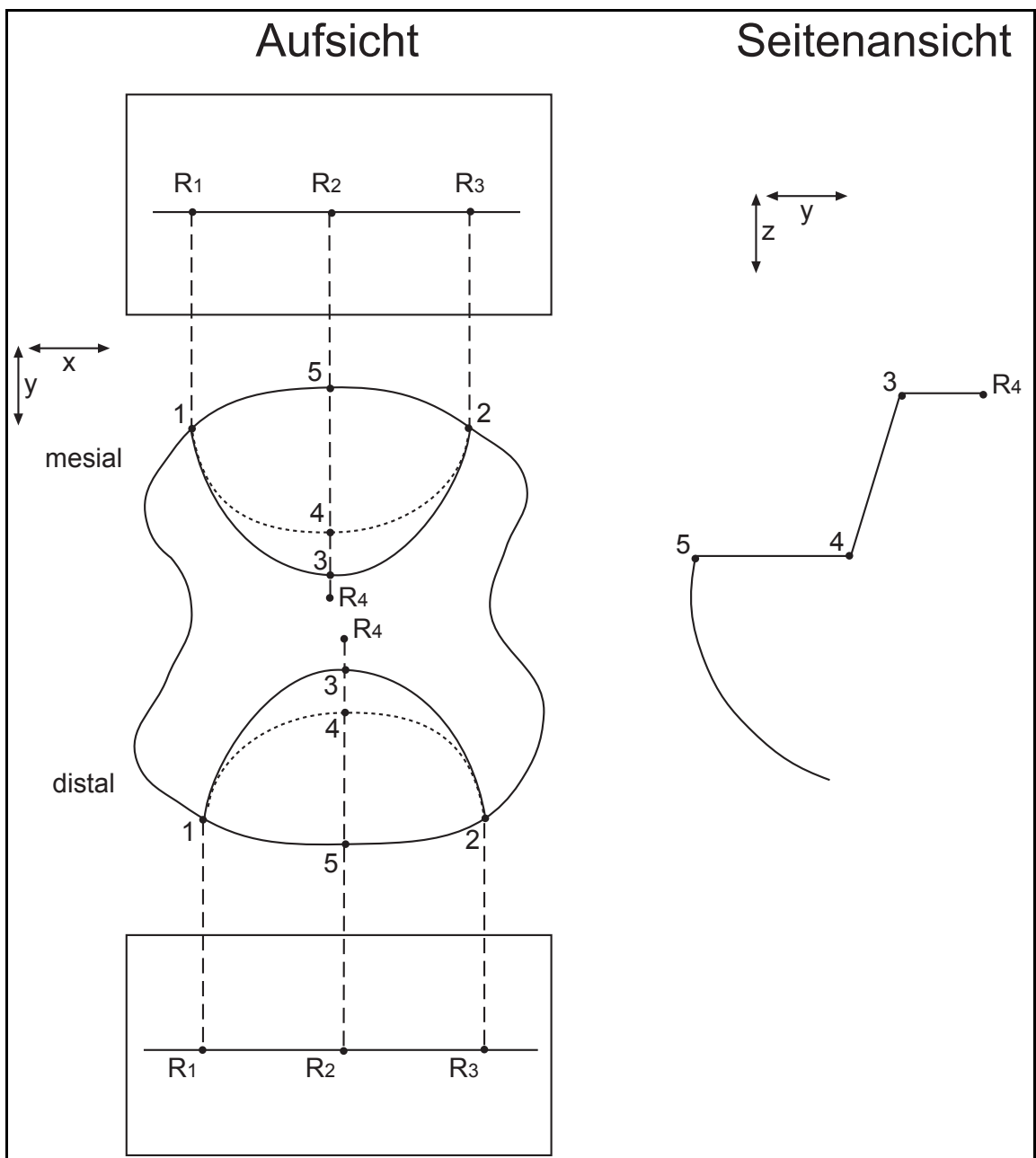


Abbildung 14: Schematische Darstellung der Meßpunkte

Die Breite der Kavität stellt hier die x-Richtung dar. Diese wurde in Pixel abgelesen.

Die Tiefe der Kavität ist in der y-Richtung auch in Pixel abzulesen.

Die Höhe der Kavität ist in z-Richtung der Abstand der Okklusalfäche zum Kavitätenboden.

3.4.2 Veränderung der Meßpunkte durch die Revision

Für jeden der fünf Meßpunkte wurde die Veränderung der Tiefe, Breite und Höhe zwischen den Zuständen vor und nach Revision berechnet. Diese drei Größen können als paarweise zueinander senkrecht stehende Dimensionen betrachtet werden. Die Gesamtveränderung jedes Meßpunktes ergab sich damit als Quadratwurzel aus der Summe der Quadrate von Tiefe, Breite und Höhe der Verschiebung dieses Punktes nach der Formel

$$\text{Gesamtveränderung} = \sqrt{\text{Tiefe}^2 + \text{Breite}^2 + \text{Höhe}^2} .$$

Die Meßwerte der Gesamtveränderung sind unabhängig von der Richtung der Verschiebung der Meßpunkte.

Zusätzlich wurde die Summe aller Gesamtveränderungen über die fünf Meßpunkte berechnet.

3.5 **Bestimmung der Revisionszeit**

Da alle Kavitäten mit Komposit gefüllt worden sind, ergab die Zeitmessung nur einen Zeitnahmeunterschied bezüglich der zwischenzeitlichen Polymerisationsbelichtung und der Entfernung bei den einzelnen sich unterschiedlich in der Farbe darstellenden Kunststoffen.

Nach der anfänglichen Polymerisationsbelichtung von 20 Sekunden, die nicht in die Zeitmessung mit einging, wurde die exakte Zeit für die Revision jeder Füllung gestoppt und notiert.

In den schon in Tabelle 4 beschriebenen Arbeitsabläufen folgte dem Ätzen die schichtweise Füllung der Kavität mit vorherigem Auftragen von Exite oder Solobond auf Schmelz und Dentin als Adhäsive.

3.6 Statistik

Zur Charakterisierung der erhobenen stetigen Parameter (Revisionszeiten, Änderungen von Breite, Höhe, Tiefe der Meßpunkte) wurden Mittelwert, Standardabweichung, Median, Minimum und Maximum in den verschiedenen Gruppen bestimmt. Die Prüfung der Nullhypothese („Die vier Gruppen zeigen keine Unterschiede bezüglich der Änderung der erhobenen Parameter aufgrund der Revision“) erfolgte mit der Rangvarianzanalyse nach Kruskal und Wallis („H-Test“). Zusätzlich wurden paarweise nichtparametrische Post-hoc-Vergleiche der vier Gruppen mit Bonferroni-Korrektur durchgeführt (SACHS 2002).

4 Ergebnisse

4.1 Revisionszeit

Die Revisionszeiten aller vier Gruppen unterschieden sich nur geringfügig und nicht statistisch signifikant voneinander (Kruskal-Wallis-ANOVA; $p=0,37$). Die im Mittel höchste mittlere Revisionszeit mit $7,1 \pm 3,5$ Minuten (Mittelwert \pm Standardabweichung) wurde für die Gruppe IV (Rebilda DF) bestimmt. Die niedrigste mittlere Zeit wurde in Gruppe II (bis Kavitätenrand) mit $5,3 \pm 1,6$ Minuten registriert. Die Revisionszeiten der beiden übrigen Gruppen lagen mit $5,5 \pm 1,4$ Minuten (Gruppe I [Normal]) bzw. $6,2 \pm 2,3$ Minuten (Gruppe III [bis 1 mm an den Kavitätenrand]) zwischen diesen Werten (Abbildung 1).

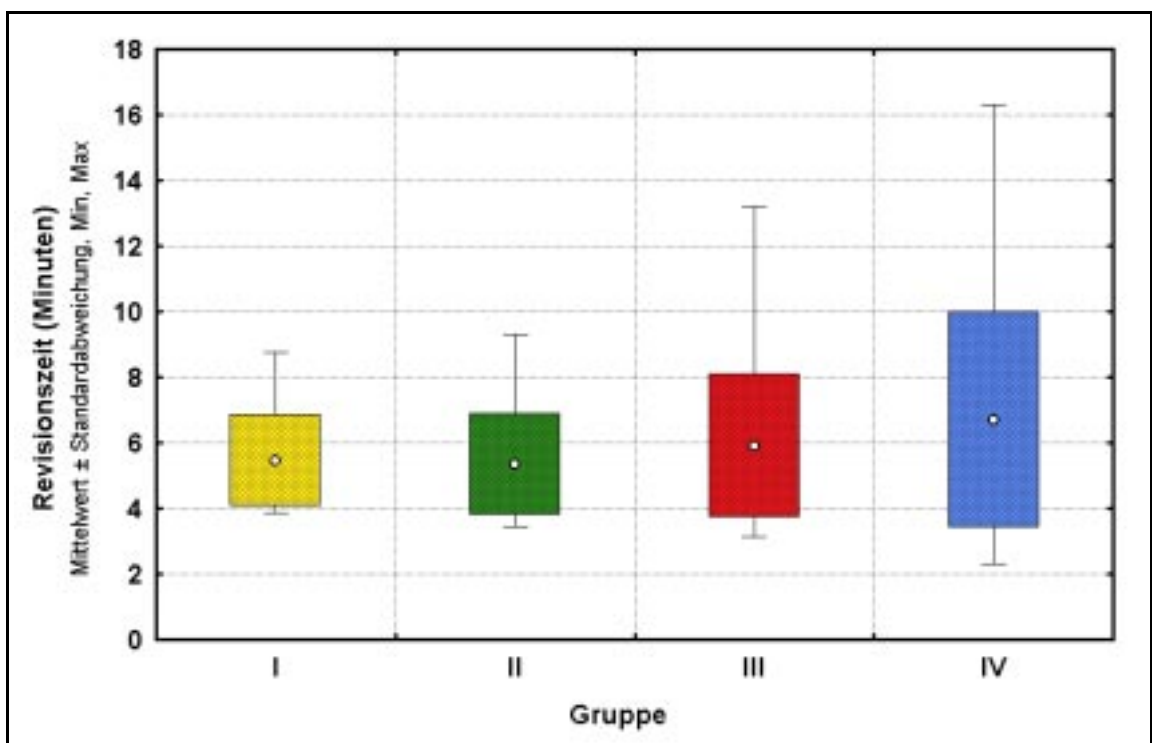


Abbildung 15: Gegenüberstellung der Revisionszeiten in den vier Gruppen

Tabelle 5: Gegenüberstellung statistischer Kenngrößen der Revisionszeiten in den vier Gruppen

Revisionszeiten (Minuten)	Gruppe I	Gruppe II	Gruppe III	Gruppe IV
Mittelwert	5,46	5,35	6,24	7,07
Standardabweichung	1,40	1,57	2,25	3,49
Median	5,01	5,00	5,53	6,15
Minimum	3,86	3,45	3,50	2,30
Maximum	8,76	9,30	13,20	16,30

Die folgende Tabelle zeigt die Ergebnisse der paarweisen Vergleiche der Revisionszeiten für die vier Gruppen. Angegeben ist oberhalb der Hauptdiagonalen (also im oberen rechten Bereich der Tabelle) jeweils die mittlere absolute Differenz der Ränge der Kruskal-Wallis-ANOVA. Unterhalb der Hauptdiagonalen ist zusätzlich das Signifikanzniveau für jeden Vergleich enthalten.

Tabelle 6: Ergebnisse des Kruskal-Wallis-Post-Hoc-Tests zum paarweisen Vergleich der vier Gruppen hinsichtlich der mittleren Revisionszeiten. Angegeben sind oberhalb der Hauptdiagonalen die mittleren absoluten Rangdifferenzen zwischen den verschiedenen Gruppen und unterhalb der Hauptdiagonalen das Signifikanzniveau der Vergleiche (n.s. – nicht signifikant ($p \geq 0,10$); ° – $p < 0,10$; * – $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$; *** – $p < 0,001$).

	Gruppe I	Gruppe II	Gruppe III	Gruppe IV
Gruppe I	-----	2,246	6,271	10,313
Gruppe II	n.s.	-----	8,517	12,559
Gruppe III	n.s.	n.s.	-----	4,042
Gruppe IV	n.s.	n.s.	n.s.	-----

4.2 Veränderung an den einzelnen Meßpunkten

4.2.1 Meßpunkt 1

4.2.1.1 *Tiefe*

Die mittlere Änderung der Tiefe am Meßpunkt 1 war für Präparate der Gruppe III ($0,34 \pm 1,05$ mm) am höchsten, gefolgt von Präparaten der Gruppen I ($0,19 \pm 0,67$ mm) und IV ($0,16 \pm 0,79$ mm). Für die Präparate der Gruppe II war dagegen im Mittel eine kaum nennenswerte Veränderung der Tiefe durch die Revision festzustellen ($-0,02 \pm 0,12$ mm; Abbildung 16). Aus den vorliegenden Daten waren allerdings keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen nachzuweisen (Kruskal-Wallis-ANOVA; $p=0,27$); entsprechend lieferten auch die paarweisen Vergleiche der einzelnen Gruppen keinerlei statistisch signifikante Unterschiede (Tabelle 7, Tabelle 8).

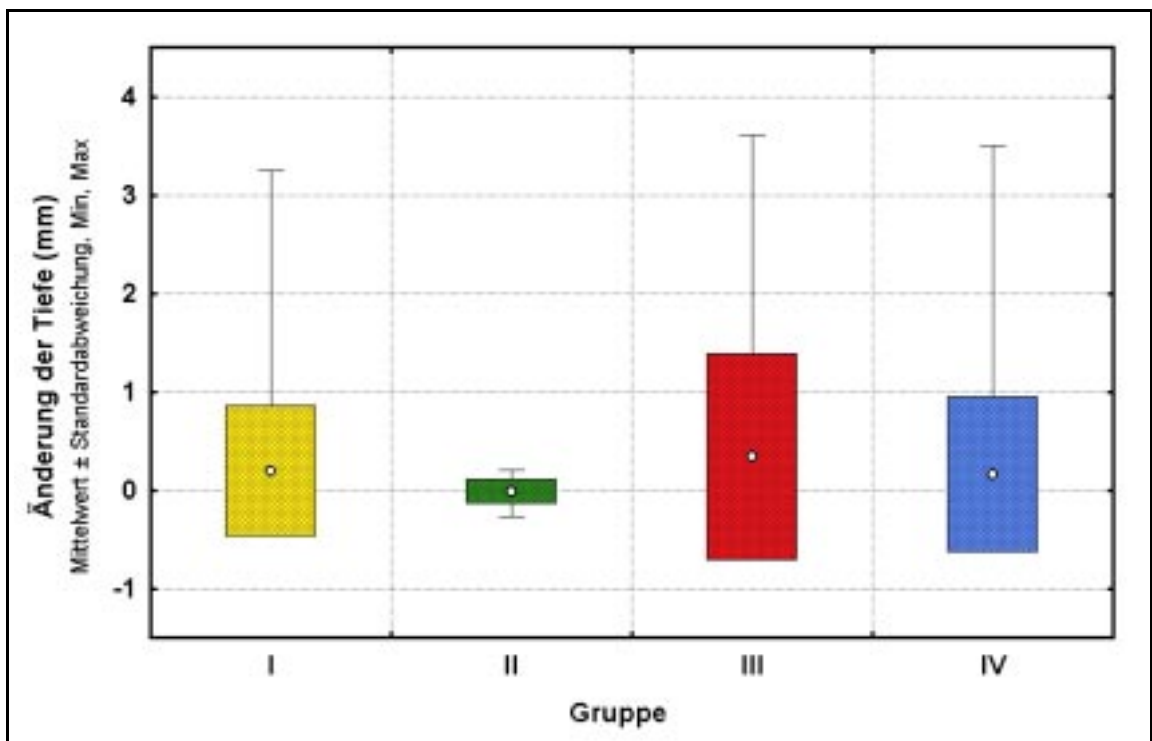


Abbildung 16: Gegenüberstellung der mittleren Tiefenänderungen am Meßpunkt 1

Tabelle 7: Gegenüberstellung statistischer Kenngrößen der Tiefenänderung (mm) in den vier Gruppen

(mm)	Gruppe I	Gruppe II	Gruppe III	Gruppe IV
Mittelwert	0,19	-0,02	0,34	0,16
Standardabweichung	0,67	0,12	1,05	0,79
Median	0,06	-0,01	0,05	-0,03
Minimum	-0,20	-0,28	-0,15	-0,23
Maximum	3,25	0,20	3,60	3,50

Tabelle 8: Ergebnisse des Kruskal-Wallis-Post-Hoc-Tests zum paarweisen Vergleich der vier Gruppen hinsichtlich der mittleren Tiefe am Meßpunkt 1. Angegeben sind oberhalb der Hauptdiagonalen die mittleren absoluten Rangdifferenzen zwischen den verschiedenen Gruppen und unterhalb der Hauptdiagonalen das Signifikanzniveau der Vergleiche (n.s. – nicht signifikant ($p \geq 0,10$); ° – $p < 0,10$; * – $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$; *** – $p < 0,001$).

	Gruppe I	Gruppe II	Gruppe III	Gruppe IV
Gruppe I	-----	13,369	6,713	11,638
Gruppe II	n.s.	-----	6,657	1,732
Gruppe III	n.s.	n.s.	-----	4,925
Gruppe IV	n.s.	n.s.	n.s.	-----

4.2.1.2 Breite

Die mittlere Änderung der Breite am Meßpunkt 1 wies für Präparate der Gruppe I ($-0,18 \pm 0,49$ mm) den höchsten Absolutwert auf, gefolgt von Gruppe III mit einer mittleren Veränderung von $-0,10 \pm 0,28$ mm. Für die Präparate der Gruppen II ($-0,05 \pm 0,12$ mm) und IV ($-0,03 \pm 0,33$ mm) war dagegen im Mittel eine kaum nennenswerte Veränderung der Breite durch die Revision festzustellen (Abbildung 17, Tabelle 9). Auch hier

waren aus den vorliegenden Daten keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen nachzuweisen (Kruskal-Wallis-ANOVA; $p=0,83$ [Tabelle 10]).

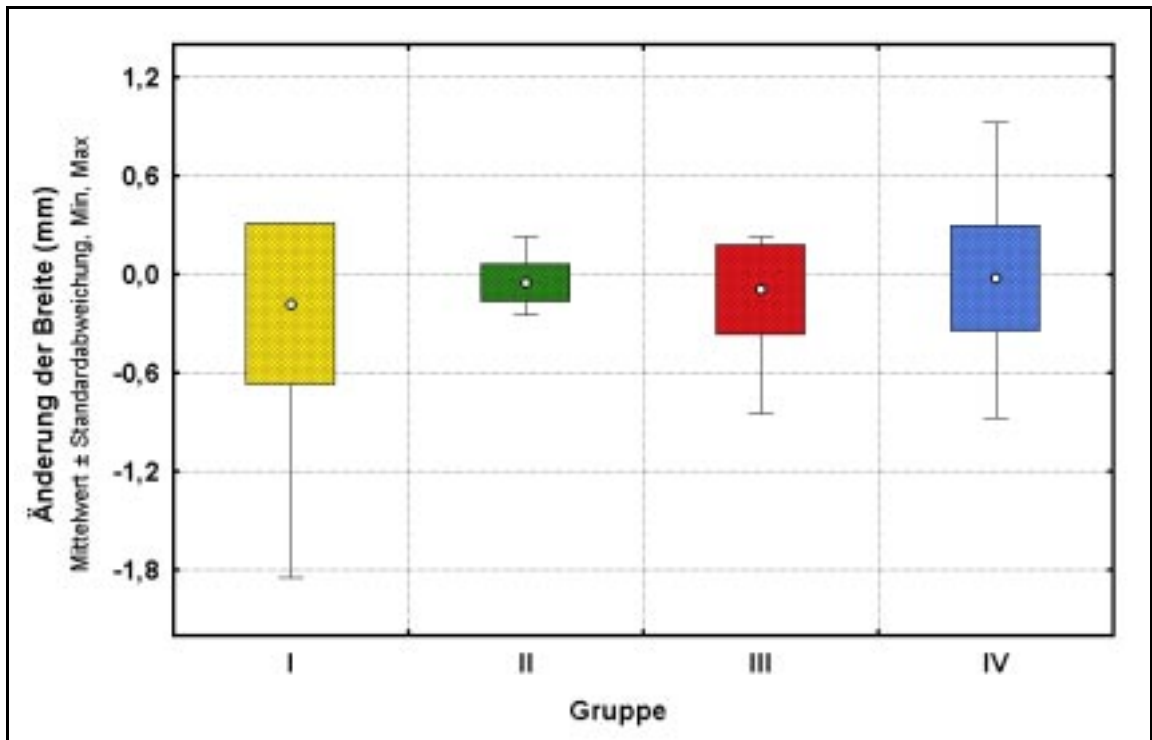


Abbildung 17: Gegenüberstellung der mittleren Breitenänderungen am Meßpunkt 1

Tabelle 9: Gegenüberstellung statistischer Kenngrößen der Breitenänderung (mm) in den vier Gruppen

(mm)	Gruppe I	Gruppe II	Gruppe III	Gruppe IV
Mittelwert	-0,18	-0,05	-0,10	-0,03
Standardabweichung	0,49	0,12	0,28	0,33
Median	-0,08	-0,05	-0,06	-0,01
Minimum	-1,85	-0,25	-0,85	-0,88
Maximum	0,25	0,23	0,23	0,93

Tabelle 10: Ergebnisse des Kruskal-Wallis-Post-Hoc-Tests zum paarweisen Vergleich der vier Gruppen hinsichtlich der mittleren Breite am Meßpunkt 1. Angegeben sind oberhalb der Hauptdiagonalen die mittleren absoluten Rangdifferenzen zwischen den verschiedenen Gruppen und unterhalb der Hauptdiagonalen das Signifikanzniveau der Vergleiche (n.s. – nicht signifikant ($p \geq 0,10$); ° – $p < 0,10$; * – $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$; *** – $p < 0,001$).

	Gruppe I	Gruppe II	Gruppe III	Gruppe IV
Gruppe I	-----	1,581	2,604	6,854
Gruppe II	n.s.	-----	1,023	5,273
Gruppe III	n.s.	n.s.	-----	4,250
Gruppe IV	n.s.	n.s.	n.s.	-----

4.2.1.3 Höhe

Auch für die Veränderung der Höhe am Meßpunkt 1 konnten aus den vorliegenden Daten keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen nachgewiesen werden (Kruskal-Wallis-ANOVA, $p=0,072$). Die mittleren Veränderungen der Höhe lagen in allen vier Gruppen zwischen $0,01 \pm 0,02$ mm (Gruppe I) und $0,05 \pm 0,18$ mm (Gruppe IV [Tabelle 11, Abbildung 18]). Auch mit den paarweisen Post-hoc-Tests konnten keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Gruppen festgestellt werden (Tabelle 12).

Tabelle 11: Gegenüberstellung statistischer Kenngrößen der Höhenänderung (mm) in den vier Gruppen

(mm)	Gruppe I	Gruppe II	Gruppe III	Gruppe IV
Mittelwert	0,01	0,04	0,05	0,05
Standardabweichung	0,02	0,17	0,10	0,18
Median	0,01	0,00	0,01	0,01
Minimum	-0,02	-0,31	0,00	-0,32
Maximum	0,06	0,35	0,33	0,34

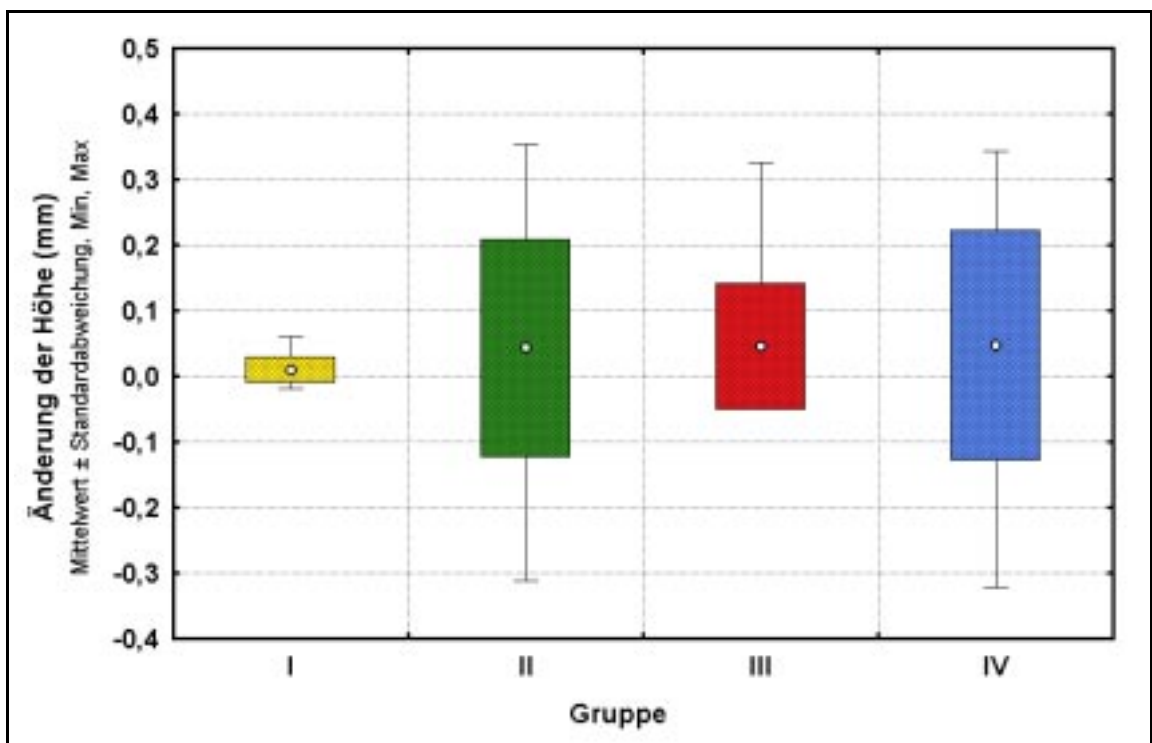


Abbildung 18: Gegenüberstellung der mittleren Höhenänderungen am Meßpunkt 1

Tabelle 12: Ergebnisse des Kruskal-Wallis-Post-Hoc-Tests zum paarweisen Vergleich der vier Gruppen hinsichtlich der mittleren Höhe am Meßpunkt 1. Angegeben sind oberhalb der Hauptdiagonalen die mittleren absoluten Rangdifferenzen zwischen den verschiedenen Gruppen und unterhalb der Hauptdiagonalen das Signifikanzniveau der Vergleiche (n.s. – nicht signifikant ($p \geq 0,10$); ° – $p < 0,10$; * – $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$; *** – $p < 0,001$).

	Gruppe I	Gruppe II	Gruppe III	Gruppe IV
Gruppe I	-----	4,307	11,225	12,325
Gruppe II	n.s.	-----	15,532	16,632
Gruppe III	n.s.	n.s.	-----	1,100
Gruppe IV	n.s.	n.s.	n.s.	-----

4.2.1.4 Gesamtveränderung

Auch für die Gesamtveränderung am Meßpunkt 1 konnten aus den vorliegenden Daten keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen nachgewiesen werden (Kruskal-Wallis-ANOVA, $p=0,78$). Zwar waren die mittleren Gesamtveränderungen der Gruppen III ($0,50\pm 1,03$ mm), IV ($0,43\pm 0,78$ mm) und I ($0,39\pm 0,77$ mm) größer als die der Gruppe II ($0,21\pm 0,12$ mm [Abbildung 19, Tabelle 13]). Die Stichprobengröße reichte für den Nachweis der statistischen Signifikanz dieser Unterschiede allerdings nicht aus. Auch die Post-hoc-Tests lieferten keinen Hinweis auf statistisch signifikante Unterschiede der Gesamtveränderung des Punktes 1 in den verschiedenen Gruppen (Tabelle 14).

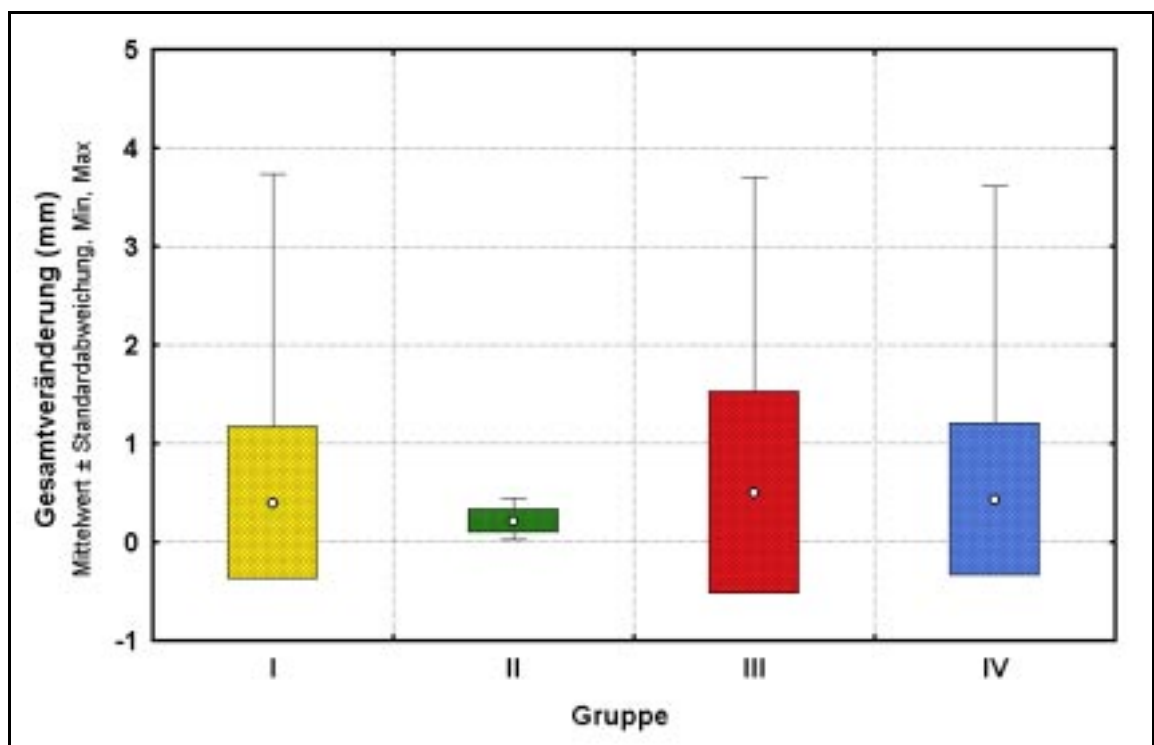


Abbildung 19: Gegenüberstellung der mittleren Gesamtveränderungen am Meßpunkt 1

Tabelle 13: Gegenüberstellung statistischer Kenngrößen der Gesamtänderung (mm) in den vier Gruppen

(mm)	Gruppe I	Gruppe II	Gruppe III	Gruppe IV
Mittelwert	0,39	0,21	0,50	0,43
Standardabweichung	0,77	0,12	1,03	0,78
Median	0,16	0,17	0,17	0,26
Minimum	0,03	0,03	0,06	0,03
Maximum	3,74	0,45	3,70	3,61

Tabelle 14: Ergebnisse des Kruskal-Wallis-Post-Hoc-Tests zum paarweisen Vergleich der vier Gruppen hinsichtlich der mittleren Gesamtveränderung am Meßpunkt 1. Angegeben sind oberhalb der Hauptdiagonalen die mittleren absoluten Rangdifferenzen zwischen den verschiedenen Gruppen und unterhalb der Hauptdiagonalen das Signifikanzniveau der Vergleiche (n.s. – nicht signifikant ($p \geq 0,10$); ° – $p < 0,10$; * – $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$; *** – $p < 0,001$).

	Gruppe I	Gruppe II	Gruppe III	Gruppe IV
Gruppe I	---	1,061	1,617	6,183
Gruppe II	n.s.	---	2,677	5,123
Gruppe III	n.s.	n.s.	---	7,800
Gruppe IV	n.s.	n.s.	n.s.	---

4.2.2 Meßpunkt 2

4.2.2.1 Tiefe

Die mittlere Änderung der Tiefe am Meßpunkt 2 war für Präparate der Gruppe III ($-0,38 \pm 1,08$ mm) am kleinsten, gefolgt von Präparaten der Gruppen IV ($-0,25 \pm 0,77$ mm) und I ($-0,20 \pm 0,75$ mm). Für die Präparate der Gruppe II war dagegen im Mittel eine kaum nennenswerte Veränderung der Tiefe durch die Revision festzustellen ($-0,05 \pm 0,10$ mm [Abbildung 20, Tabelle 15]). Aus den vorliegenden Daten waren allerdings keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen nachzuweisen (Kruskal-Wallis-ANOVA; $p=0,52$). Entsprechend lieferten auch die paarweisen Vergleiche der einzelnen Gruppen keinerlei statistisch signifikante Unterschiede (Tabelle 16).

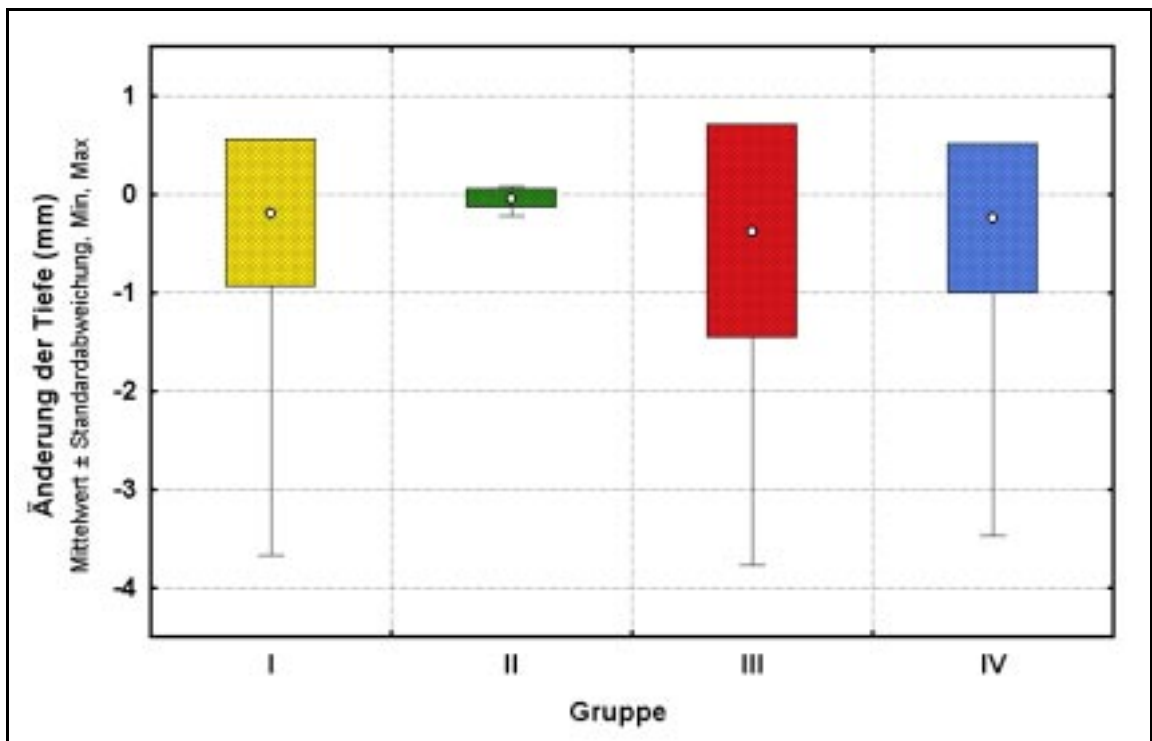


Abbildung 20: Gegenüberstellung der mittleren Tiefenänderungen am Meßpunkt 2

Tabelle 15: Gegenüberstellung statistischer Kenngrößen der Tiefenänderung (mm) in den vier Gruppen

(mm)	Gruppe I	Gruppe II	Gruppe III	Gruppe IV
Mittelwert	-0,20	-0,05	-0,38	-0,25
Standardabweichung	0,75	0,10	1,08	0,77
Median	-0,03	-0,03	-0,10	-0,05
Minimum	-3,68	-0,23	-3,78	-3,48
Maximum	0,15	0,08	0,63	0,05

Tabelle 16: Ergebnisse des Kruskal-Wallis-Post-Hoc-Tests zum paarweisen Vergleich der vier Gruppen hinsichtlich der mittleren Tiefe am Meßpunkt 2. Angegeben sind oberhalb der Hauptdiagonalen die mittleren absoluten Rangdifferenzen zwischen den verschiedenen Gruppen und unterhalb der Hauptdiagonalen das Signifikanzniveau der Vergleiche (n.s. – nicht signifikant ($p \geq 0,10$); ° – $p < 0,10$; * – $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$; *** – $p < 0,001$).

	Gruppe I	Gruppe II	Gruppe III	Gruppe IV
Gruppe I	---	0,979	7,796	7,346
Gruppe II	n.s.	---	8,775	8,325
Gruppe III	n.s.	n.s.	---	0,450
Gruppe IV	n.s.	n.s.	n.s.	---

4.2.2.2 Breite

Die mittlere Änderung der Breite am Meßpunkt 2 wies für Präparate der Gruppe IV ($0,41 \pm 1,75$ mm) den höchsten Wert auf, gefolgt von den Gruppen I ($0,26 \pm 1,04$ mm) und III ($0,24 \pm 0,54$ mm). Für die Präparate der Gruppe II ($0,0 \pm 0,15$ mm) war dagegen im Mittel keine Veränderung der Breite durch die Revision festzustellen (Abbildung 21, Tabelle 17). Auch hier waren aus den vorliegenden Daten keine statistisch signifikanten

Unterschiede zwischen den Gruppen nachzuweisen (Kruskal-Wallis-ANOVA; $p=0,56$ [Tabelle 18]).

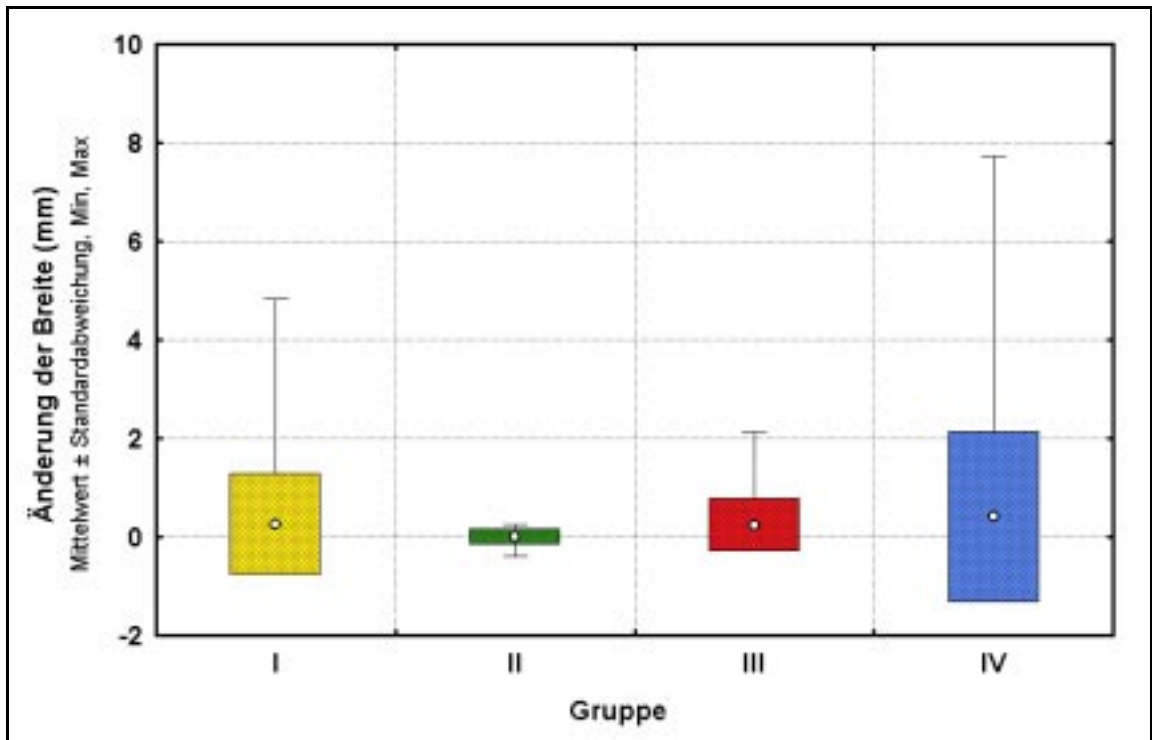


Abbildung 21: Gegenüberstellung der mittleren Breitenänderungen am Meßpunkt 2

Tabelle 17: Gegenüberstellung statistischer Kenngrößen der Breitenänderung (mm) in den vier Gruppen

(mm)	Gruppe I	Gruppe II	Gruppe III	Gruppe IV
Mittelwert	0,26	0,00	0,24	0,41
Standardabweichung	1,04	0,15	0,54	1,75
Median	-0,01	0,00	0,01	0,04
Minimum	-0,33	-0,40	-0,13	-0,75
Maximum	4,83	0,25	2,15	7,73

Tabelle 18: Ergebnisse des Kruskal-Wallis-Post-Hoc-Tests zum paarweisen Vergleich der vier Gruppen hinsichtlich der mittleren Breite am Meßpunkt 2. Angegeben sind oberhalb der Hauptdiagonalen die mittleren absoluten Rangdifferenzen zwischen den verschiedenen Gruppen und unterhalb der Hauptdiagonalen das Signifikanzniveau der Vergleiche (n.s. – nicht signifikant ($p \geq 0,10$); ° – $p < 0,10$; * – $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$; *** – $p < 0,001$).

	Gruppe I	Gruppe II	Gruppe III	Gruppe IV
Gruppe I	---	1,807	8,600	2,525
Gruppe II	n.s.	---	10,407	4,332
Gruppe III	n.s.	n.s.	---	6,075
Gruppe IV	n.s.	n.s.	n.s.	---

4.2.2.3 Höhe

Für die Veränderung der Höhe am Meßpunkt 2 bestanden in den vorliegenden Daten knapp statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen (Kruskal-Wallis-ANOVA, $p=0,034$). Die mittleren Veränderungen der Höhe lagen in den Gruppen II, III und IV bei durchschnittlich $0,05 \pm 0,10$ bis $0,18$ mm, während in der Gruppe I ein Mittelwert von $0,01 \pm 0,02$ mm gemessen wurde (Tabelle 19, Abbildung 22). Mit den paarweisen Post-hoc-Tests konnte der Unterschied zwischen den Gruppen I und IV als tendenziell statistisch signifikant ($p < 0,10$) nachgewiesen werden (Tabelle 20).

Tabelle 19: Gegenüberstellung statistischer Kenngrößen der Höhenänderung (mm) in den vier Gruppen

(mm)	Gruppe I	Gruppe II	Gruppe III	Gruppe IV
Mittelwert	0,01	0,05	0,05	0,05
Standardabweichung	0,02	0,16	0,10	0,18
Median	0,01	0,00	0,01	0,02
Minimum	-0,02	-0,31	0,00	-0,32
Maximum	0,07	0,34	0,33	0,34

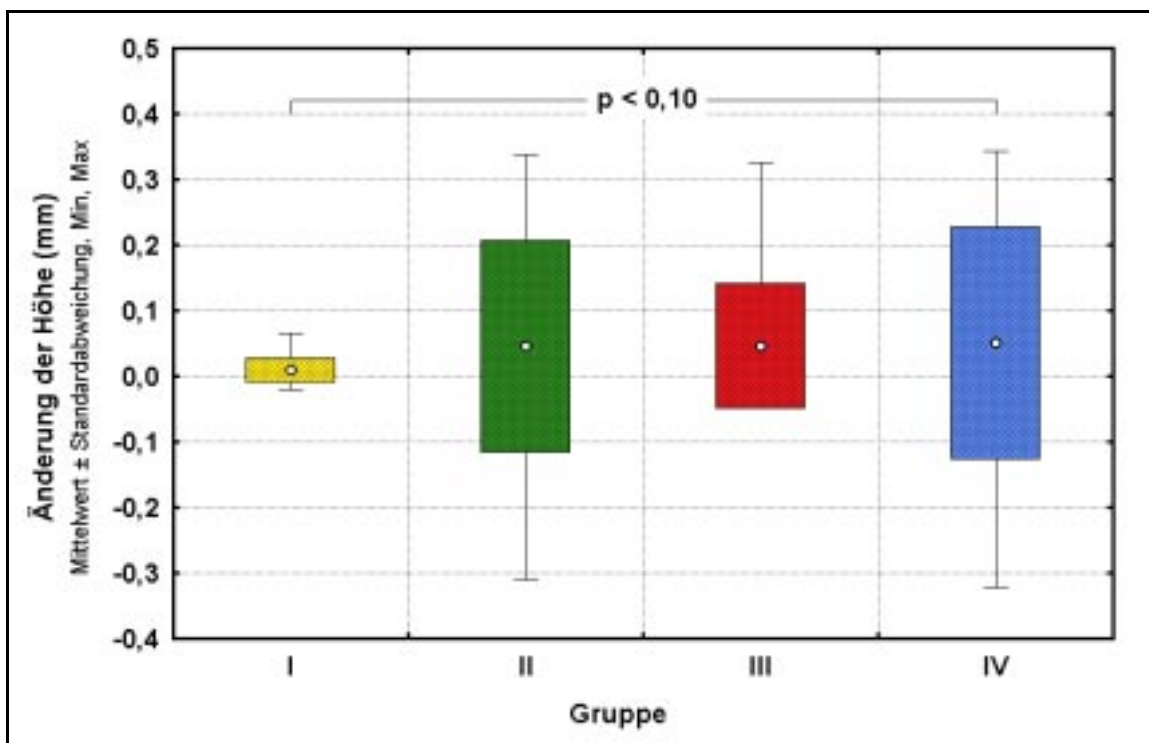


Abbildung 22: Gegenüberstellung der mittleren Höhenänderungen am Meßpunkt 2

Tabelle 20: Ergebnisse des Kruskal-Wallis-Post-Hoc-Tests zum paarweisen Vergleich der vier Gruppen hinsichtlich der mittleren Höhe am Meßpunkt 2. Angegeben sind oberhalb der Hauptdiagonalen die mittleren absoluten Rangdifferenzen zwischen den verschiedenen Gruppen und unterhalb der Hauptdiagonalen das Signifikanzniveau der Vergleiche (n.s. – nicht signifikant ($p \geq 0,10$); ° – $p < 0,10$; * – $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$; *** – $p < 0,001$).

	Gruppe I	Gruppe II	Gruppe III	Gruppe IV
Gruppe I	---	0,197	13,183	18,133
Gruppe II	n.s.	---	12,986	17,936
Gruppe III	n.s.	n.s.	---	4,950
Gruppe IV	°	n.s.	n.s.	---

4.2.2.4 Gesamtveränderung

Auch für die Gesamtveränderung am Meßpunkt 2 konnten aus den vorliegenden Daten keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen nachgewiesen werden (Kruskal-Wallis-ANOVA, $p=0,19$). Zwar waren auch hier die mittleren Gesamtveränderungen der Gruppen I ($0,52\pm 1,21$ mm), III ($0,66\pm 1,11$ mm) und IV ($0,82\pm 1,79$ mm) deutlich größer als die der Gruppe II ($0,22\pm 0,12$ mm [Abbildung 23, Tabelle 21]). Die Stichprobengröße reichte für den Nachweis der statistischen Signifikanz dieser Unterschiede allerdings nicht aus. Auch die Post-hoc-Tests lieferten keinen Hinweis auf statistisch signifikante Unterschiede der Gesamtveränderung des Punktes 2 in den verschiedenen Gruppen (Tabelle 22).

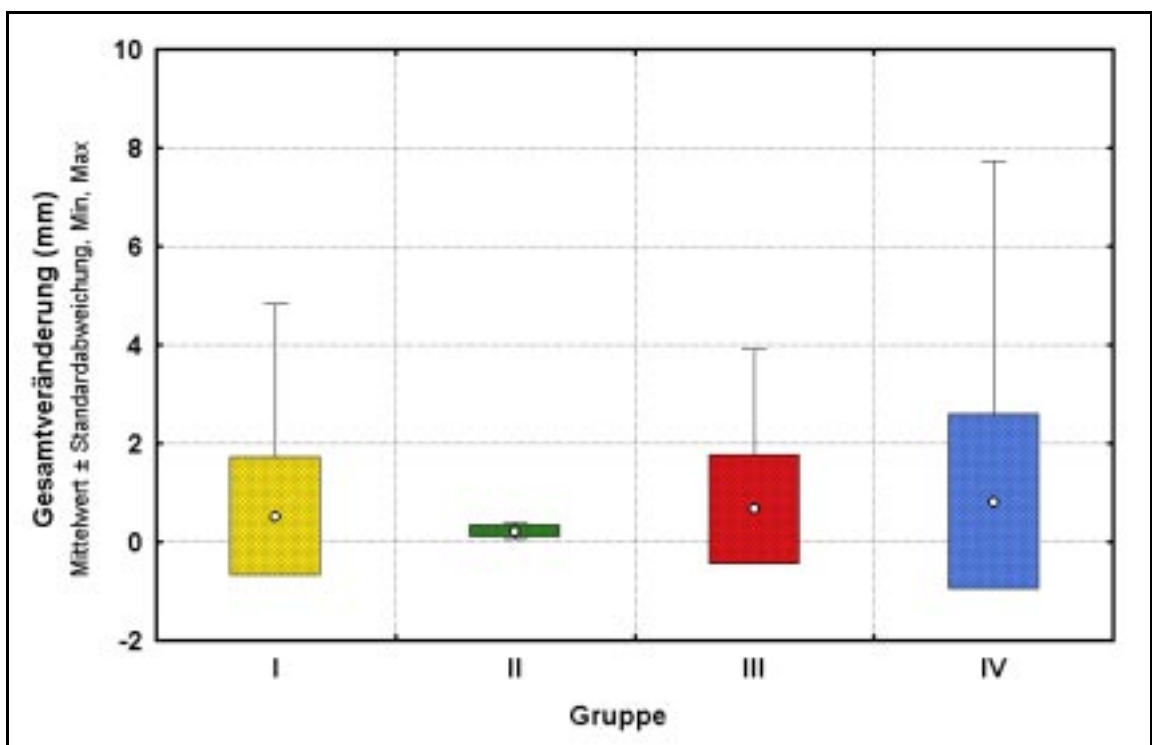


Abbildung 23: Gegenüberstellung der mittleren Gesamtveränderungen am Meßpunkt 2

Tabelle 21: Gegenüberstellung statistischer Kenngrößen der Gesamtänderung (mm) in den vier Gruppen

(mm)	Gruppe I	Gruppe II	Gruppe III	Gruppe IV
Mittelwert	0,52	0,22	0,66	0,82
Standardabweichung	1,21	0,12	1,11	1,79
Median	0,16	0,23	0,20	0,30
Minimum	0,03	0,04	0,00	0,04
Maximum	4,83	0,40	3,91	7,73

Tabelle 22: Ergebnisse des Kruskal-Wallis-Post-Hoc-Tests zum paarweisen Vergleich der vier Gruppen hinsichtlich der mittleren Gesamtveränderung am Meßpunkt 2. Angegeben sind oberhalb der Hauptdiagonalen die mittleren absoluten Rangdifferenzen zwischen den verschiedenen Gruppen und unterhalb der Hauptdiagonalen das Signifikanzniveau der Vergleiche (n.s. – nicht signifikant ($p \geq 0,10$); ° – $p < 0,10$; * – $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$; *** – $p < 0,001$).

	Gruppe I	Gruppe II	Gruppe III	Gruppe IV
Gruppe I	---	6,178	9,392	16,242
Gruppe II	n.s.	---	3,214	10,064
Gruppe III	n.s.	n.s.	---	6,850
Gruppe IV	n.s.	n.s.	n.s.	---

4.2.3 Meßpunkt 3

4.2.3.1 Tiefe

Die mittlere Änderung der Tiefe am Meßpunkt 3 war für Präparate der Gruppe I mit durchschnittlich $0,08 \pm 0,17$ mm am größten. Die Mittelwerte der übrigen Gruppen lagen sämtlich nahe Null (Abbildung 24, Tabelle 23). Aus den vorliegenden Daten waren knapp keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen nachzuweisen (Kruskal-Wallis-ANOVA; $p=0,065$). Allerdings lieferte der paarweise Vergleich der Gruppen I und III einen tendenziell statistisch signifikanten Unterschied (Tabelle 24).

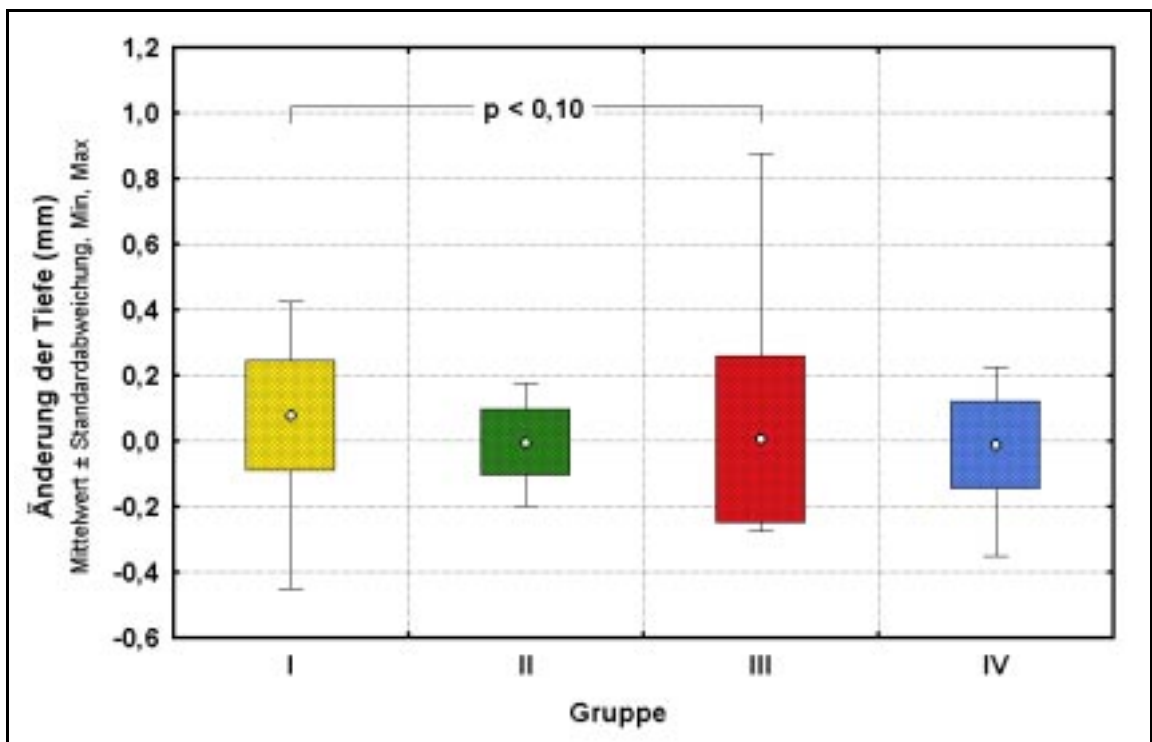


Abbildung 24: Gegenüberstellung der mittleren Tiefenänderungen am Meßpunkt 3

Tabelle 23: Gegenüberstellung statistischer Kenngrößen der Tiefenänderung (mm) in den vier Gruppen

(mm)	Gruppe I	Gruppe II	Gruppe III	Gruppe IV
Mittelwert	0,08	-0,01	0,01	-0,01
Standardabweichung	0,17	0,10	0,26	0,13
Median	0,06	0,00	-0,04	0,01
Minimum	-0,45	-0,20	-0,28	-0,35
Maximum	0,43	0,18	0,88	0,23

Tabelle 24: Ergebnisse des Kruskal-Wallis-Post-Hoc-Tests zum paarweisen Vergleich der vier Gruppen hinsichtlich der mittleren Tiefe am Meßpunkt 3. Angegeben sind oberhalb der Hauptdiagonalen die mittleren absoluten Rangdifferenzen zwischen den verschiedenen Gruppen und unterhalb der Hauptdiagonalen das Signifikanzniveau der Vergleiche (n.s. – nicht signifikant ($p \geq 0,10$); ° – $p < 0,10$; * – $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$; *** – $p < 0,001$).

	Gruppe I	Gruppe II	Gruppe III	Gruppe IV
Gruppe I	---	13,917	18,892	13,817
Gruppe II	n.s.	---	4,975	0,100
Gruppe III	°	n.s.	---	5,075
Gruppe IV	n.s.	n.s.	n.s.	---

4.2.3.2 Breite

Die mittlere Änderung der Breite am Meßpunkt 3 wies für Präparate aller vier Gruppen Mittelwerte zwischen 0,01 und 0,05 mm auf (Abbildung 25, Tabelle 25). Auch hier waren aus den vorliegenden Daten knapp keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen nachzuweisen (Kruskal-Wallis-ANOVA; $p=0,097$ [Tabelle 26]).

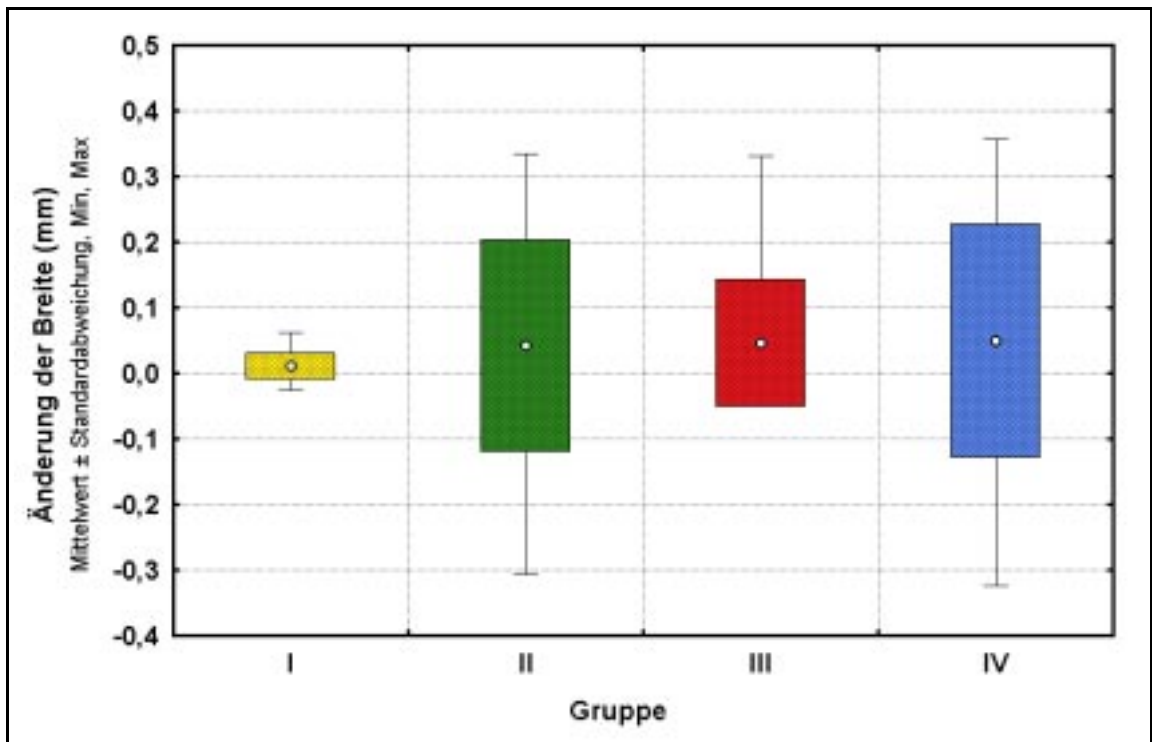


Abbildung 25: Gegenüberstellung der mittleren Breitenänderungen am Meßpunkt 3

Tabelle 25: Gegenüberstellung statistischer Kenngrößen der Breitenänderung (mm) in den vier Gruppen

(mm)	Gruppe I	Gruppe II	Gruppe III	Gruppe IV
Mittelwert	0,01	0,04	0,05	0,05
Standardabweichung	0,02	0,16	0,10	0,18
Median	0,01	0,00	0,02	0,01
Minimum	-0,03	-0,31	-0,01	-0,32
Maximum	0,06	0,34	0,33	0,36

Tabelle 26: Ergebnisse des Kruskal-Wallis-Post-Hoc-Tests zum paarweisen Vergleich der vier Gruppen hinsichtlich der mittleren Breite am Meßpunkt 3. Angegeben sind oberhalb der Hauptdiagonalen die mittleren absoluten Rangdifferenzen zwischen den verschiedenen Gruppen und unterhalb der Hauptdiagonalen das Signifikanzniveau der Vergleiche (n.s. – nicht signifikant ($p \geq 0,10$); ° – $p < 0,10$; * – $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$; *** – $p < 0,001$).

	Gruppe I	Gruppe II	Gruppe III	Gruppe IV
Gruppe I	---	5,231	9,742	11,242
Gruppe II	n.s.	---	14,973	16,473
Gruppe III	n.s.	n.s.	---	1,500
Gruppe IV	n.s.	n.s.	n.s.	---

4.2.3.3 Höhe

Für die Veränderung der Höhe am Meßpunkt 3 bestanden in den vorliegenden Daten keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen (Kruskal-Wallis-ANOVA, $p=0,24$). Die mittleren Veränderungen der Höhe lagen in allen Gruppen zwischen $-0,04$ und $+0,01$ mm, wobei die Standardabweichung jeweils rund 0,1 mm betrug (Abbildung 26, Tabelle 27). Auch mit den paarweisen Post-hoc-Tests konnten keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen festgestellt werden (Tabelle 28).

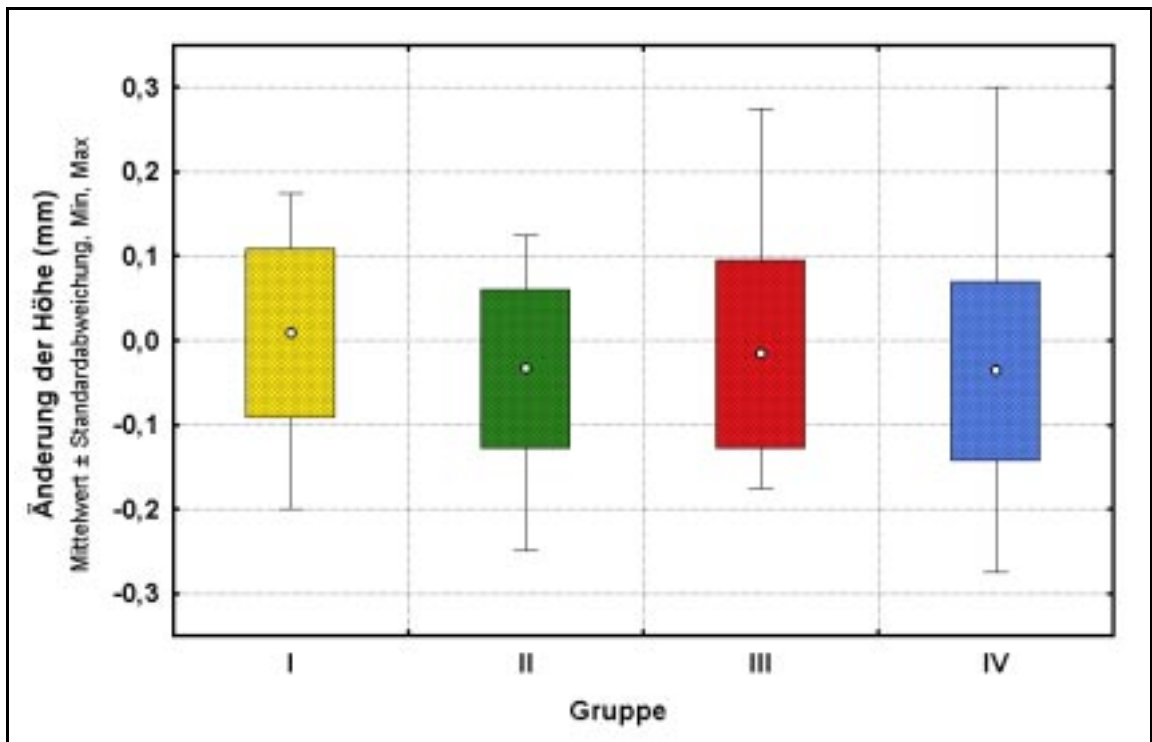


Abbildung 26: Gegenüberstellung der mittleren Höhenänderungen am Meßpunkt 3

Tabelle 27: Gegenüberstellung statistischer Kenngrößen der Höhenänderung (mm) in den vier Gruppen

(mm)	Gruppe I	Gruppe II	Gruppe III	Gruppe IV
Mittelwert	0,01	-0,03	-0,02	-0,04
Standardabweichung	0,10	0,09	0,11	0,11
Median	0,03	-0,04	-0,03	-0,05
Minimum	-0,20	-0,25	-0,18	-0,28
Maximum	0,18	0,13	0,28	0,30

Tabelle 28: Ergebnisse des Kruskal-Wallis-Post-Hoc-Tests zum paarweisen Vergleich der vier Gruppen hinsichtlich der mittleren Höhe am Meßpunkt 3. Angegeben sind oberhalb der Hauptdiagonalen die mittleren absoluten Rangdifferenzen zwischen den verschiedenen Gruppen und unterhalb der Hauptdiagonalen das Signifikanzniveau der Vergleiche (n.s. – nicht signifikant ($p \geq 0,10$); ° – $p < 0,10$; * – $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$; *** – $p < 0,001$).

	Gruppe I	Gruppe II	Gruppe III	Gruppe IV
Gruppe I	---	11,218	9,054	14,529
Gruppe II	n.s.	---	2,164	3,311
Gruppe III	n.s.	n.s.	---	5,475
Gruppe IV	n.s.	n.s.	n.s.	---

4.2.3.4 Gesamtveränderung

Für die Gesamtveränderung am Meßpunkt 3 konnten aus den vorliegenden Daten keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen nachgewiesen werden (Kruskal-Wallis-ANOVA, $p=0,93$). Alle Mittelwerte der Gesamtveränderung lagen bei etwa 0,2 mm mit Standardabweichungen zwischen 0,11 und 0,19 mm (Tabelle 29, Abbildung 27). Auch die Post-hoc-Tests lieferten keinen Hinweis auf statistisch signifikante Unterschiede der Gesamtveränderung des Punktes 3 in den verschiedenen Gruppen (Tabelle 30).

Tabelle 29: Gegenüberstellung statistischer Kenngrößen der Gesamtänderung (mm) in den vier Gruppen

(mm)	Gruppe I	Gruppe II	Gruppe III	Gruppe IV
Mittelwert	0,17	0,18	0,22	0,20
Standardabweichung	0,11	0,12	0,19	0,15
Median	0,16	0,19	0,17	0,14
Minimum	0,01	0,01	0,04	0,05
Maximum	0,49	0,38	0,89	0,49

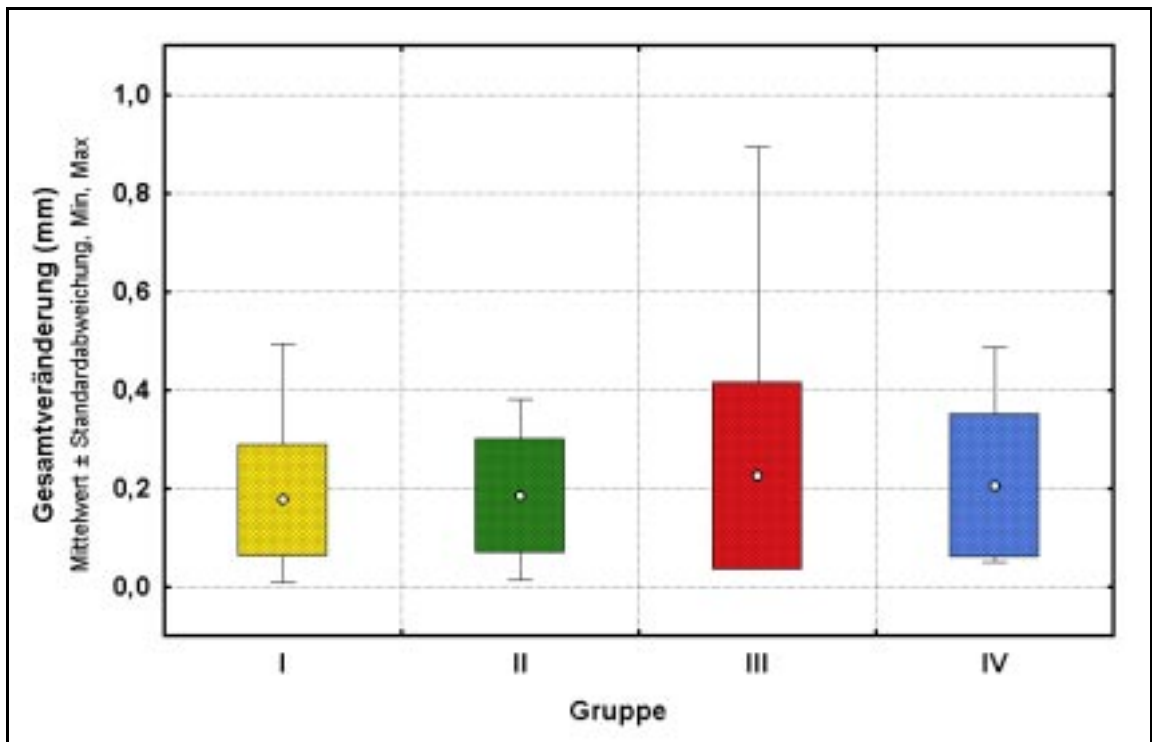


Abbildung 27: Gegenüberstellung der mittleren Gesamtveränderungen am Meßpunkt 3

Tabelle 30: Ergebnisse des Kruskal-Wallis-Post-Hoc-Tests zum paarweisen Vergleich der vier Gruppen hinsichtlich der mittleren Gesamtveränderung am Meßpunkt 3. Angegeben sind oberhalb der Hauptdiagonalen die mittleren absoluten Rangdifferenzen zwischen den verschiedenen Gruppen und unterhalb der Hauptdiagonalen das Signifikanzniveau der Vergleiche (n.s. – nicht signifikant ($p \geq 0,10$); ° – $p < 0,10$; * – $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$; *** – $p < 0,001$).

	Gruppe I	Gruppe II	Gruppe III	Gruppe IV
Gruppe I	---	1,409	4,900	2,150
Gruppe II	n.s.	---	3,491	0,741
Gruppe III	n.s.	n.s.	---	2,750
Gruppe IV	n.s.	n.s.	n.s.	---

4.2.4 Meßpunkt 4

4.2.4.1 Tiefe

Die mittlere Änderung der Tiefe am Meßpunkt 4 lag für Präparate aller Gruppen nahe Null (zwischen 0,01 und 0,08 mm [Abbildung 28, Tabelle 31]). Aus den vorliegenden Daten waren knapp keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen nachzuweisen (Kruskal-Wallis-ANOVA; $p=0,059$). Allerdings lieferte der paarweise Vergleich der Gruppen II und IV einen tendenziell statistisch signifikanten Unterschied ($p<0,10$ [Tabelle 32]).

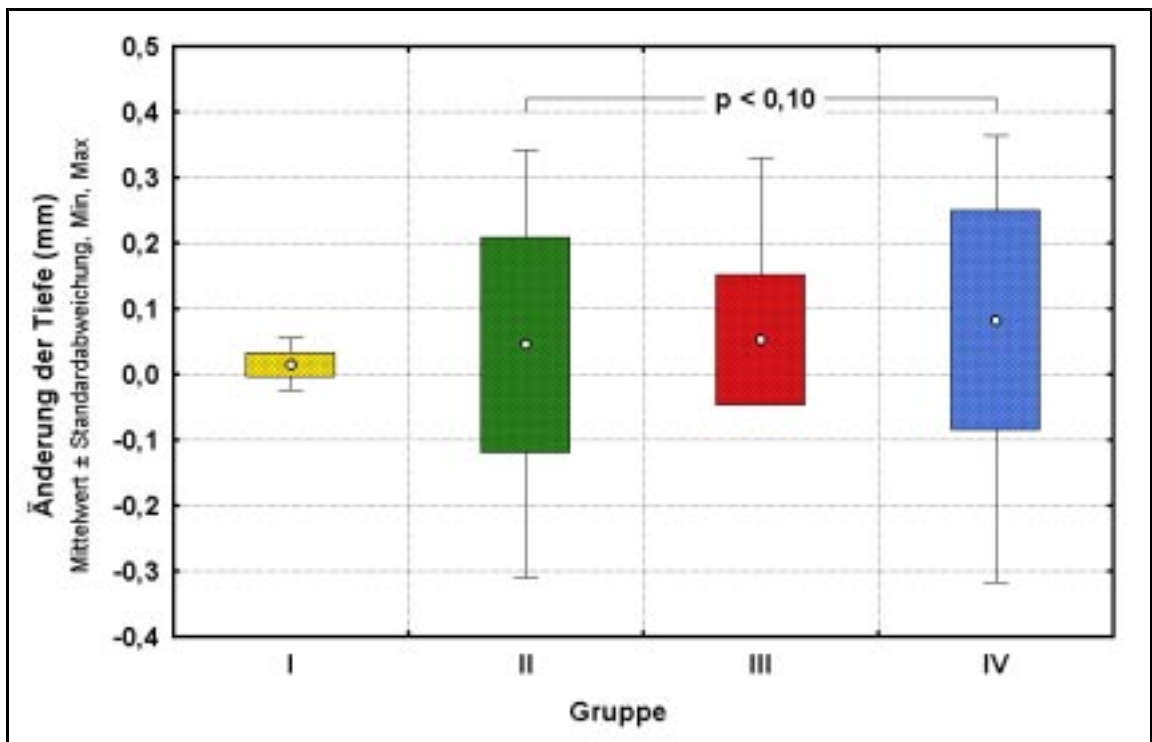


Abbildung 28: Gegenüberstellung der mittleren Tiefenänderungen am Meßpunkt 4

Tabelle 31: Gegenüberstellung statistischer Kenngrößen der Tiefenänderung (mm) in den vier Gruppen

(mm)	Gruppe I	Gruppe II	Gruppe III	Gruppe IV
Mittelwert	0,01	0,04	0,05	0,08
Standardabweichung	0,02	0,16	0,10	0,17
Median	0,01	0,00	0,01	0,02
Minimum	-0,02	-0,31	-0,01	-0,32
Maximum	0,05	0,34	0,33	0,36

Tabelle 32: Ergebnisse des Kruskal-Wallis-Post-Hoc-Tests zum paarweisen Vergleich der vier Gruppen hinsichtlich der mittleren Tiefe am Meßpunkt 4. Angegeben sind oberhalb der Hauptdiagonalen die mittleren absoluten Rangdifferenzen zwischen den verschiedenen Gruppen und unterhalb der Hauptdiagonalen das Signifikanzniveau der Vergleiche (n.s. – nicht signifikant ($p \geq 0,10$); ° – $p < 0,10$; * – $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$; *** – $p < 0,001$).

	Gruppe I	Gruppe II	Gruppe III	Gruppe IV
Gruppe I	---	6,371	6,783	13,483
Gruppe II	n.s.	---	13,155	19,855
Gruppe III	n.s.	n.s.	---	6,700
Gruppe IV	n.s.	°	n.s.	---

4.2.4.2 Breite

Die mittlere Änderung der Breite am Meßpunkt 4 wies für Präparate aller vier Gruppen Mittelwerte zwischen $-0,04$ und $0,01$ mm auf (Abbildung 29, Tabelle 33). Statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen waren nicht nachzuweisen (Kruskal-Wallis-ANOVA; $p=0,22$ [Tabelle 34]).

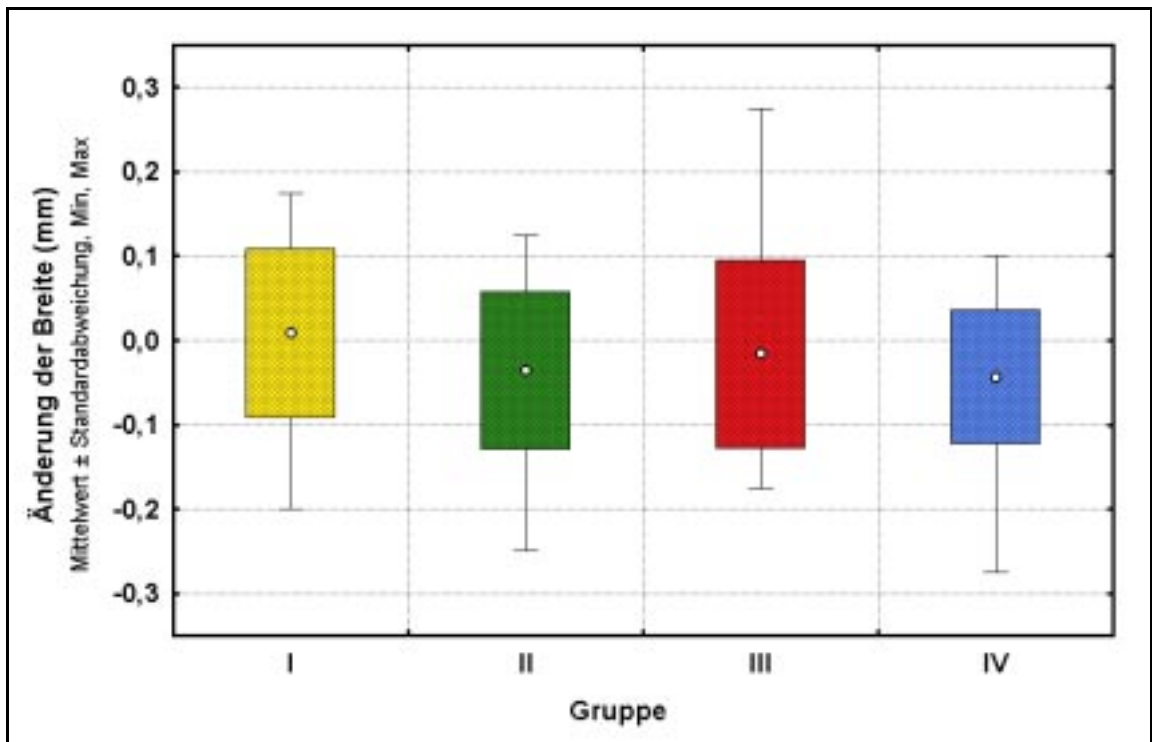


Abbildung 29: Gegenüberstellung der mittleren Breitenänderungen am Meßpunkt 4

Tabelle 33: Gegenüberstellung statistischer Kenngrößen der Breitenänderung (mm) in den vier Gruppen

(mm)	Gruppe I	Gruppe II	Gruppe III	Gruppe IV
Mittelwert	0,01	-0,04	-0,02	-0,04
Standardabweichung	0,10	0,09	0,11	0,08
Median	0,03	-0,04	-0,03	-0,04
Minimum	-0,20	-0,25	-0,18	-0,28
Maximum	0,18	0,13	0,28	0,10

Tabelle 34: Ergebnisse des Kruskal-Wallis-Post-Hoc-Tests zum paarweisen Vergleich der vier Gruppen hinsichtlich der mittleren Breite am Meßpunkt 4. Angegeben sind oberhalb der Hauptdiagonalen die mittleren absoluten Rangdifferenzen zwischen den verschiedenen Gruppen und unterhalb der Hauptdiagonalen das Signifikanzniveau der Vergleiche (n.s. – nicht signifikant ($p \geq 0,10$); ° – $p < 0,10$; * – $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$; *** – $p < 0,001$).

	Gruppe I	Gruppe II	Gruppe III	Gruppe IV
Gruppe I	---	12,176	9,113	14,313
Gruppe II	n.s.	---	3,064	2,136
Gruppe III	n.s.	n.s.	---	5,200
Gruppe IV	n.s.	n.s.	n.s.	---

4.2.4.3 Höhe

Für die Veränderung der Höhe am Meßpunkt 4 bestanden in den vorliegenden Daten keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen (Kruskal-Wallis-ANOVA, $p=0,72$). Die mittleren Veränderungen der Höhe lagen in allen Gruppen zwischen $-0,04$ und $+0,01$ mm, wobei die Standardabweichung jeweils rund 0,1 mm betrug (Abbildung 30, Tabelle 35). Auch mit den paarweisen Post-hoc-Tests konnten keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen festgestellt werden (Tabelle 36).

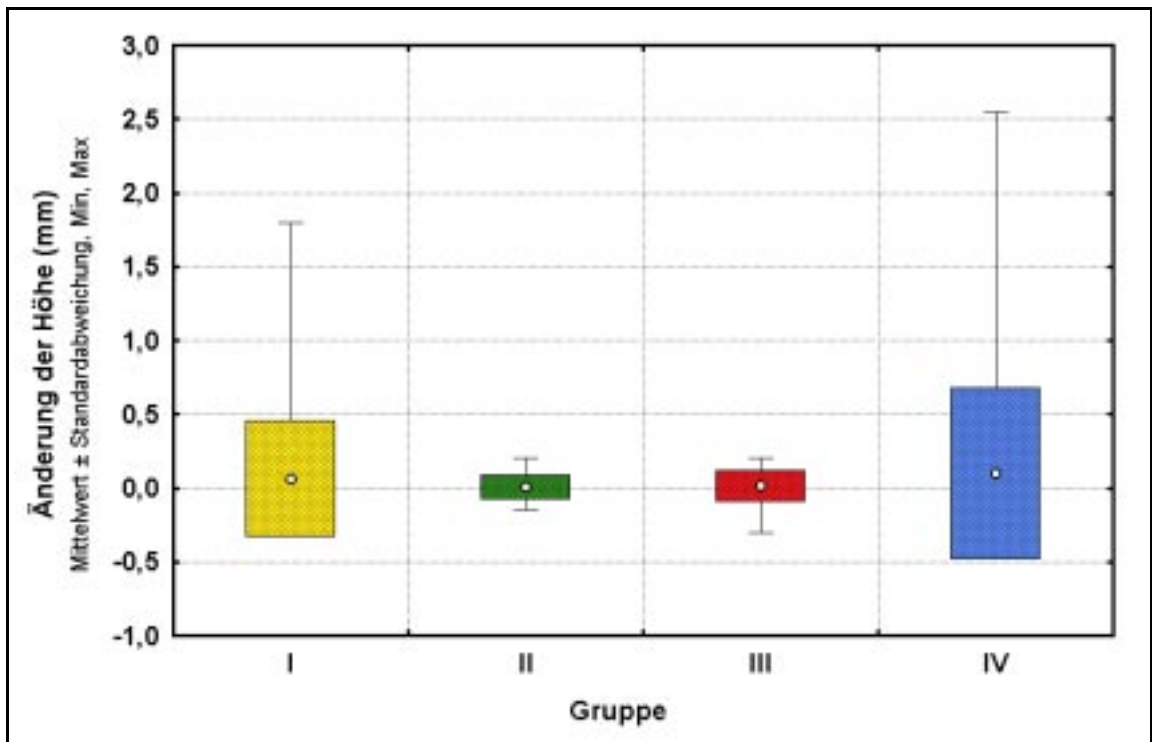


Abbildung 30: Gegenüberstellung der mittleren Höhenänderungen am Meßpunkt 4

Tabelle 35: Gegenüberstellung statistischer Kenngrößen der Höhenänderung (mm) in den vier Gruppen

(mm)	Gruppe I	Gruppe II	Gruppe III	Gruppe IV
Mittelwert	0,06	0,00	0,01	0,10
Standardabweichung	0,40	0,08	0,11	0,58
Median	0,00	0,00	0,01	0,00
Minimum	-0,33	-0,15	-0,30	-0,23
Maximum	1,80	0,20	0,20	2,55

Tabelle 36: Ergebnisse des Kruskal-Wallis-Post-Hoc-Tests zum paarweisen Vergleich der vier Gruppen hinsichtlich der mittleren Höhe am Meßpunkt 4. Angegeben sind oberhalb der Hauptdiagonalen die mittleren absoluten Rangdifferenzen zwischen den verschiedenen Gruppen und unterhalb der Hauptdiagonalen das Signifikanzniveau der Vergleiche (n.s. – nicht signifikant ($p \geq 0,10$); ° – $p < 0,10$; * – $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$; *** – $p < 0,001$).

	Gruppe I	Gruppe II	Gruppe III	Gruppe IV
Gruppe I	---	1,593	3,746	5,129
Gruppe II	n.s.	---	5,339	3,536
Gruppe III	n.s.	n.s.	---	8,875
Gruppe IV	n.s.	n.s.	n.s.	---

4.2.4.4 Gesamtveränderung

Für die Gesamtveränderung am Meßpunkt 4 konnten aus den vorliegenden Daten keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen nachgewiesen werden (Kruskal-Wallis-ANOVA, $p=1,00$). Alle Mittelwerte der Gesamtveränderung lagen zwischen $0,16 \pm 0,10$ mm (Gruppe III) und $0,29 \pm 0,55$ mm (Gruppe IV; Tabelle 37, Abbildung 31). Auch die Post-hoc-Tests lieferten keinen Hinweis auf statistisch signifikante Unterschiede der Gesamtveränderung des Punktes 4 in den verschiedenen Gruppen (Tabelle 38).

Tabelle 37: Gegenüberstellung statistischer Kenngrößen der Gesamtänderung (mm) in den vier Gruppen

(mm)	Gruppe I	Gruppe II	Gruppe III	Gruppe IV
Mittelwert	0,22	0,17	0,16	0,29
Standardabweichung	0,35	0,12	0,10	0,55
Median	0,14	0,12	0,13	0,12
Minimum	0,00	0,03	0,03	0,03
Maximum	1,80	0,39	0,36	2,55

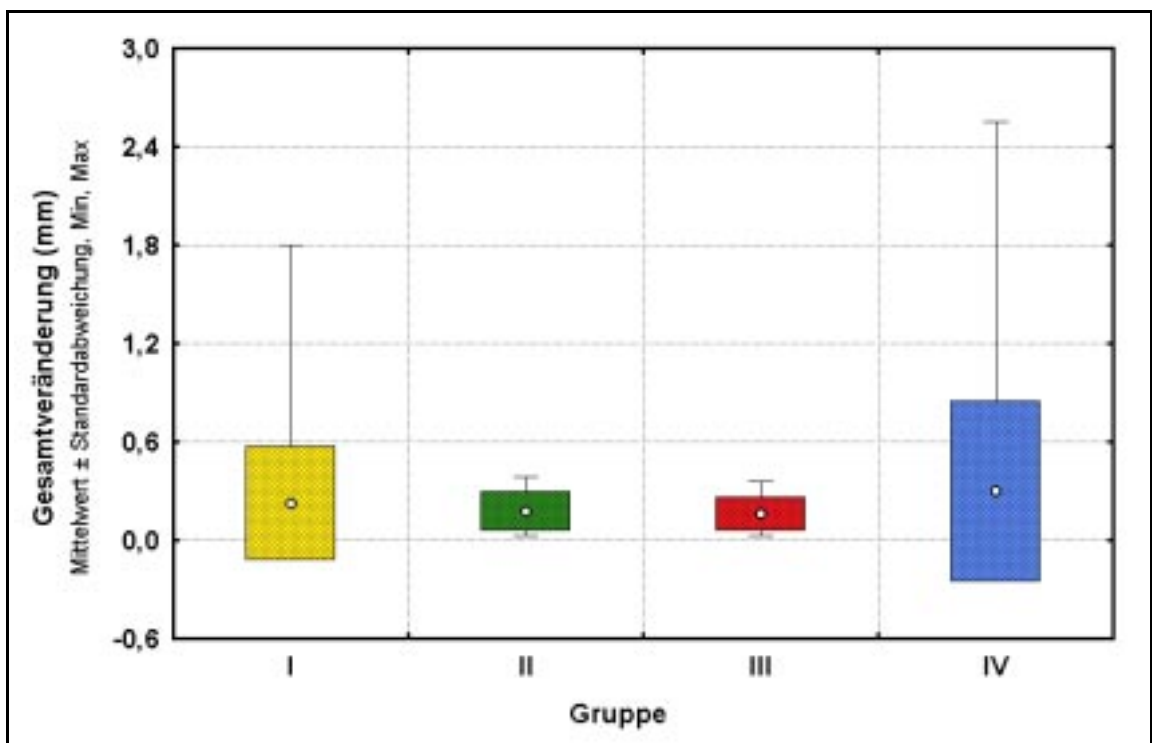


Abbildung 31: Gegenüberstellung der mittleren Gesamtveränderungen am Meßpunkt 4

Tabelle 38: Ergebnisse des Kruskal-Wallis-Post-Hoc-Tests zum paarweisen Vergleich der vier Gruppen hinsichtlich der mittleren Gesamtveränderung am Meßpunkt 4. Angegeben sind oberhalb der Hauptdiagonalen die mittleren absoluten Rangdifferenzen zwischen den verschiedenen Gruppen und unterhalb der Hauptdiagonalen das Signifikanzniveau der Vergleiche (n.s. – nicht signifikant ($p \geq 0,10$); ° – $p < 0,10$; * – $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$; *** – $p < 0,001$).

	Gruppe I	Gruppe II	Gruppe III	Gruppe IV
Gruppe I	---	0,436	1,192	0,542
Gruppe II	n.s.	---	1,627	0,977
Gruppe III	n.s.	n.s.	---	0,650
Gruppe IV	n.s.	n.s.	n.s.	---

4.2.5 Meßpunkt 5

4.2.5.1 Tiefe

Die mittlere Änderung der Tiefe am Meßpunkt 5 lag für Präparate aller Gruppen nahe Null (zwischen 0,01 und 0,01 mm [Abbildung 32, Tabelle 39]). Aus den vorliegenden Daten waren keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen nachzuweisen (Kruskal-Wallis-ANOVA; $p=0,27$). Auch die paarweisen Post-hoc-Tests lieferten keine statistisch signifikanten Unterschiede (alle $p > 0,10$ [Tabelle 40]).

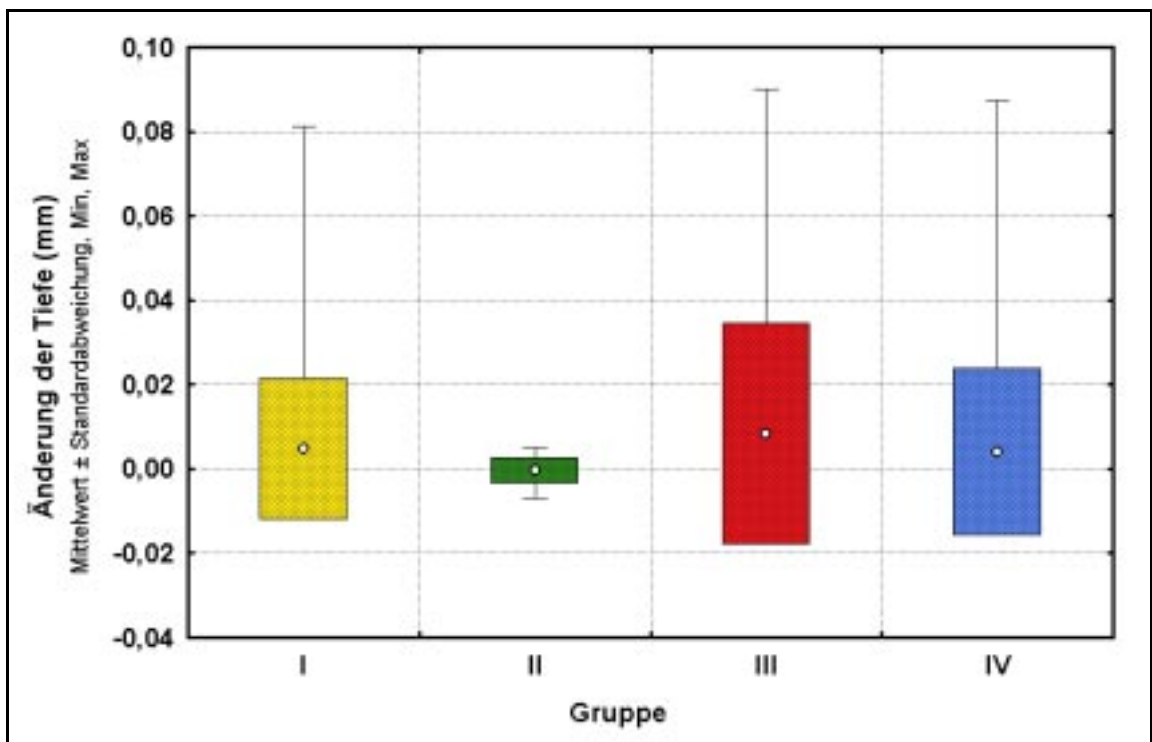


Abbildung 32: Gegenüberstellung der mittleren Tiefenänderungen am Meßpunkt 5

Tabelle 39: Gegenüberstellung statistischer Kenngrößen der Tiefenänderung (mm) in den vier Gruppen

(mm)	Gruppe I	Gruppe II	Gruppe III	Gruppe IV
Mittelwert	0,00	0,00	0,01	0,00
Standardabweichung	0,02	0,00	0,03	0,02
Median	0,00	0,00	0,00	0,00
Minimum	-0,01	-0,01	0,00	-0,01
Maximum	0,08	0,01	0,09	0,09

Tabelle 40: Ergebnisse des Kruskal-Wallis-Post-Hoc-Tests zum paarweisen Vergleich der vier Gruppen hinsichtlich der mittleren Tiefe am Meßpunkt 5. Angegeben sind oberhalb der Hauptdiagonalen die mittleren absoluten Rangdifferenzen zwischen den verschiedenen Gruppen und unterhalb der Hauptdiagonalen das Signifikanzniveau der Vergleiche (n.s. – nicht signifikant ($p \geq 0,10$); ° – $p < 0,10$; * – $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$; *** – $p < 0,001$).

	Gruppe I	Gruppe II	Gruppe III	Gruppe IV
Gruppe I	---	13,369	6,713	11,638
Gruppe II	n.s.	---	6,657	1,732
Gruppe III	n.s.	n.s.	---	4,925
Gruppe IV	n.s.	n.s.	n.s.	---

4.2.5.2 Breite

Die mittlere Änderung der Breite am Meßpunkt 5 wies für Präparate aller vier Gruppen Mittelwerte kleiner als 0,01 mm auf (Abbildung 33, Tabelle 41). Statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen waren nicht nachzuweisen (Kruskal-Wallis-ANOVA; $p=0,83$ [Tabelle 42]).

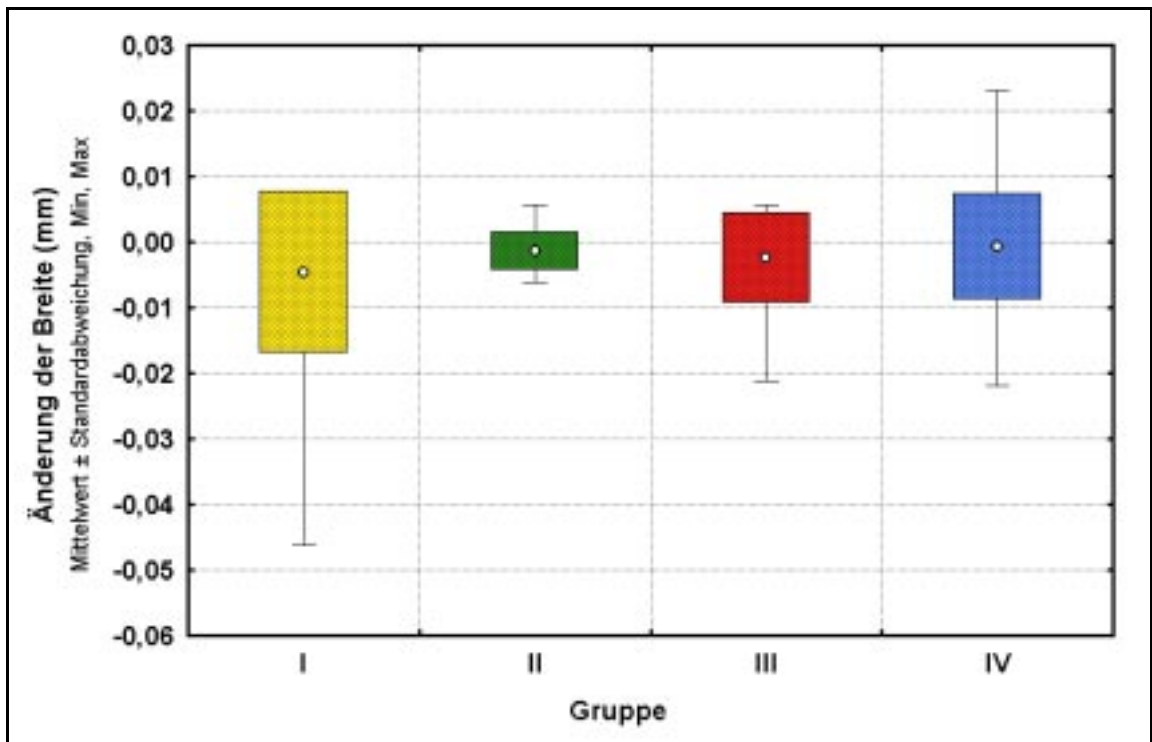


Abbildung 33: Gegenüberstellung der mittleren Breitenänderungen am Meßpunkt 5

Tabelle 41: Gegenüberstellung statistischer Kenngrößen der Breitenänderung (mm) in den vier Gruppen

(mm)	Gruppe I	Gruppe II	Gruppe III	Gruppe IV
Mittelwert	0,00	0,00	0,00	0,00
Standardabweichung	0,01	0,00	0,01	0,01
Median	0,00	0,00	0,00	0,00
Minimum	-0,05	-0,01	-0,02	-0,02
Maximum	0,01	0,01	0,01	0,02

Tabelle 42: Ergebnisse des Kruskal-Wallis-Post-Hoc-Tests zum paarweisen Vergleich der vier Gruppen hinsichtlich der mittleren Breite am Meßpunkt 5. Angegeben sind oberhalb der Hauptdiagonalen die mittleren absoluten Rangdifferenzen zwischen den verschiedenen Gruppen und unterhalb der Hauptdiagonalen das Signifikanzniveau der Vergleiche (n.s. – nicht signifikant ($p \geq 0,10$); ° – $p < 0,10$; * – $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$; *** – $p < 0,001$).

	Gruppe I	Gruppe II	Gruppe III	Gruppe IV
Gruppe I	---	1,581	2,604	6,854
Gruppe II	n.s.	---	1,023	5,273
Gruppe III	n.s.	n.s.	---	4,250
Gruppe IV	n.s.	n.s.	n.s.	---

4.2.5.3 Höhe

Für die Veränderung der Höhe am Meßpunkt 5 bestanden in den vorliegenden Daten knapp keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen (Kruskal-Wallis-ANOVA, $p=0,074$). Die mittleren Veränderungen der Höhe lagen in allen Gruppen zwischen 0,0 und 0,002 mm, wobei die Standardabweichung jeweils kleiner als 0,01 mm waren (Tabelle 43, Abbildung 34). Auch mit den paarweisen Post-hoc-Tests konnten keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen festgestellt werden (Tabelle 44).

Tabelle 43: Gegenüberstellung statistischer Kenngrößen der Höhenänderung (mm) in den vier Gruppen

(mm)	Gruppe I	Gruppe II	Gruppe III	Gruppe IV
Mittelwert	0,00	0,00	0,00	0,00
Standardabweichung	0,00	0,00	0,00	0,00
Median	0,00	0,00	0,00	0,00
Minimum	0,00	-0,01	0,00	-0,01
Maximum	0,00	0,01	0,01	0,01

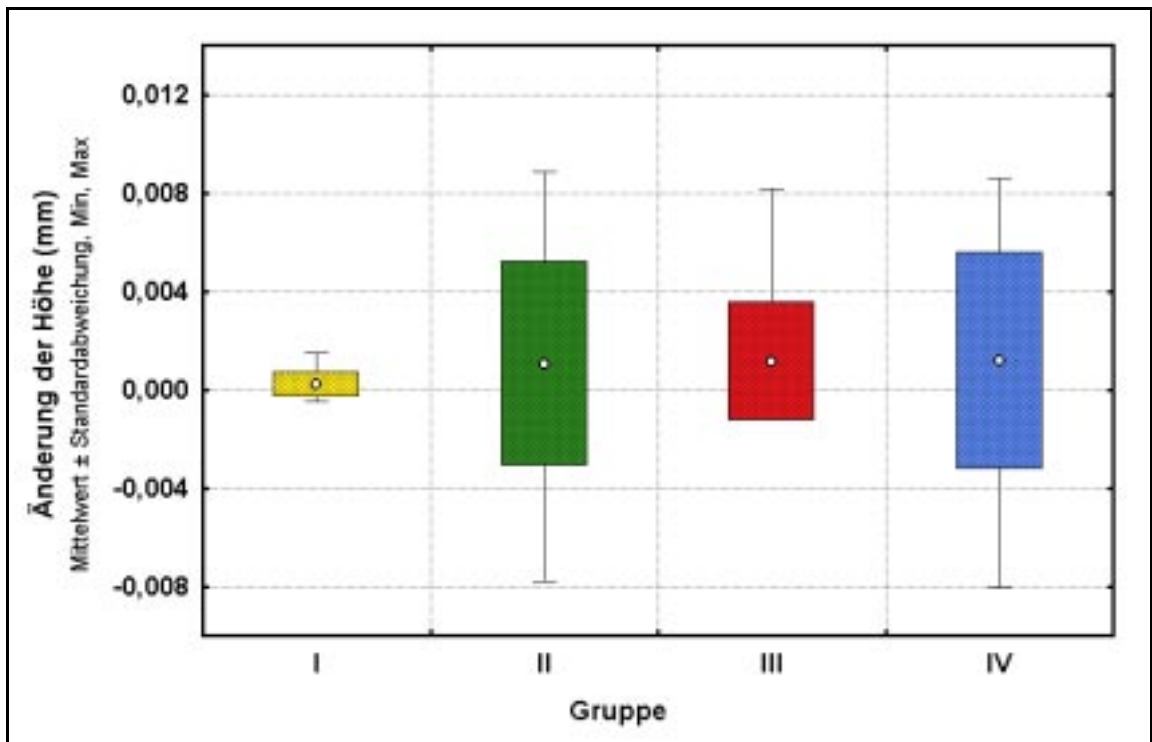


Abbildung 34: Gegenüberstellung der mittleren Höhenänderungen am Meßpunkt 5

Tabelle 44: Ergebnisse des Kruskal-Wallis-Post-Hoc-Tests zum paarweisen Vergleich der vier Gruppen hinsichtlich der mittleren Höhe am Meßpunkt 5. Angegeben sind oberhalb der Hauptdiagonalen die mittleren absoluten Rangdifferenzen zwischen den verschiedenen Gruppen und unterhalb der Hauptdiagonalen das Signifikanzniveau der Vergleiche (n.s. – nicht signifikant ($p \geq 0,10$); ° – $p < 0,10$; * – $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$; *** – $p < 0,001$).

	Gruppe I	Gruppe II	Gruppe III	Gruppe IV
Gruppe I	---	4,307	11,225	12,325
Gruppe II	n.s.	---	15,532	16,632
Gruppe III	n.s.	n.s.	---	1,100
Gruppe IV	n.s.	n.s.	n.s.	---

4.2.5.4 Gesamtveränderung

Für die Gesamtveränderung am Meßpunkt 5 konnten aus den vorliegenden Daten keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen nachgewiesen werden (Kruskal-Wallis-ANOVA, $p=0,78$). Alle Mittelwerte der Gesamtveränderung lagen bei 0,01 mm (Abbildung 35, Tabelle 45). Auch die Post-hoc-Tests lieferten keinen Hinweis auf statistisch signifikante Unterschiede der Gesamtveränderung des Punktes 5 in den verschiedenen Gruppen (Tabelle 46).

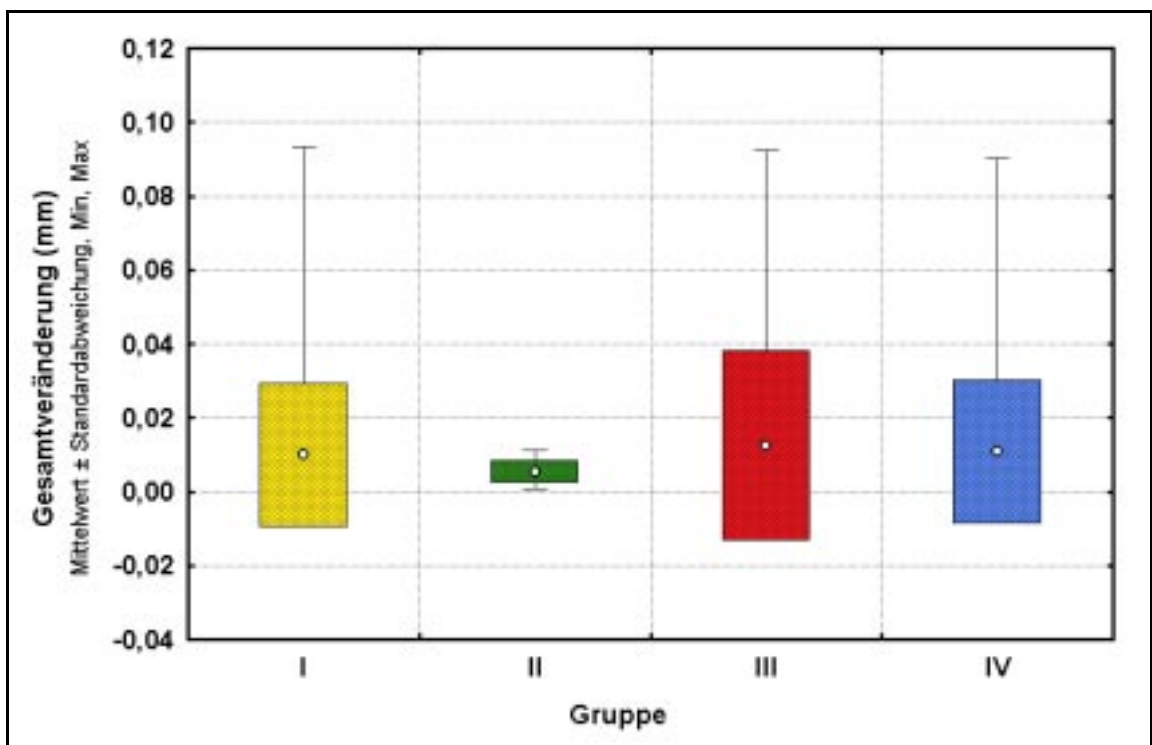


Abbildung 35: Gegenüberstellung der mittleren Gesamtveränderungen am Meßpunkt 5

Tabelle 45: Gegenüberstellung statistischer Kenngrößen der Gesamtänderung (mm) in den vier Gruppen

(mm)	Gruppe I	Gruppe II	Gruppe III	Gruppe IV
Mittelwert	0,01	0,01	0,01	0,01
Standardabweichung	0,02	0,00	0,03	0,02
Median	0,00	0,00	0,00	0,01
Minimum	0,00	0,00	0,00	0,00
Maximum	0,09	0,01	0,09	0,09

Tabelle 46: Ergebnisse des Kruskal-Wallis-Post-Hoc-Tests zum paarweisen Vergleich der vier Gruppen hinsichtlich der mittleren Gesamtveränderung am Meßpunkt 5. Angegeben sind oberhalb der Hauptdiagonalen die mittleren absoluten Rangdifferenzen zwischen den verschiedenen Gruppen und unterhalb der Hauptdiagonalen das Signifikanzniveau der Vergleiche (n.s. – nicht signifikant ($p \geq 0,10$); ° – $p < 0,10$; * – $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$; *** – $p < 0,001$).

	Gruppe I	Gruppe II	Gruppe III	Gruppe IV
Gruppe I	---	1,061	1,617	6,183
Gruppe II	n.s.	---	2,677	5,123
Gruppe III	n.s.	n.s.	---	7,800
Gruppe IV	n.s.	n.s.	n.s.	---

4.2.6 Gesamtveränderung für alle Messpunkte

Die Summen der Gesamtveränderungen an allen Meßpunkten lagen zwischen 0,19 und 8,54 mm mit einem Mittelwert von $1,34 \pm 1,79$ mm (Abbildung 36, Tabelle 47).

Für die Summe der Gesamtveränderungen an allen Meßpunkten konnten aus den vorliegenden Daten keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen nachgewiesen werden (Kruskal-Wallis-ANOVA, $p=0,54$). Zwar lag der Mittelwert der Gruppe II mit $0,79\pm 0,43$ mm deutlich unter den Mittelwerten der andern Gruppen ($1,32\pm 1,88$ mm bis $1,76\pm 2,21$ mm), die Stichprobengröße reichte für den Nachweis der Signifikanz dieses Unterschiedes jedoch nicht aus. Auch die Post-hoc-Tests lieferten keinen Hinweis auf statistisch signifikante Unterschiede der Summe der Gesamtveränderung in den verschiedenen Gruppen (Tabelle 48).

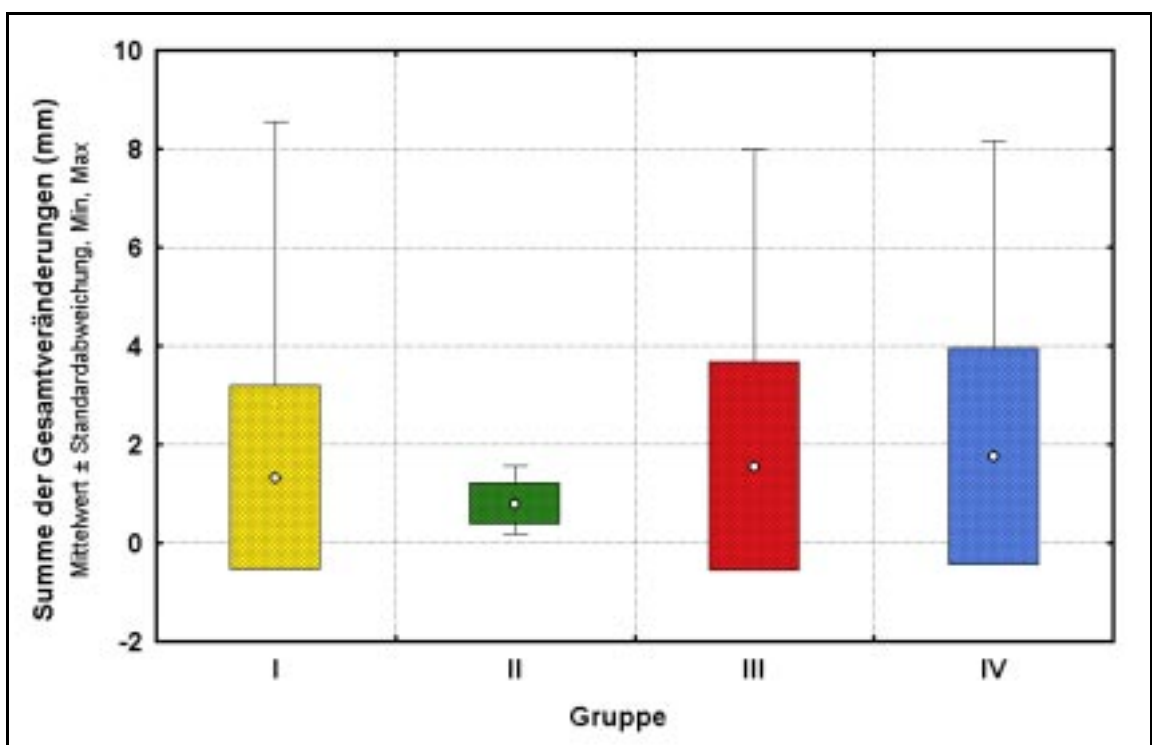


Abbildung 36: Gegenüberstellung der mittleren Summe der Gesamtveränderungen an allen Meßpunkten

Tabelle 47: Gegenüberstellung statistischer Kenngrößen der Gesamtänderung (mm) in den vier Gruppen

(mm)	Gruppe I	Gruppe II	Gruppe III	Gruppe IV
Mittelwert	1,32	0,79	1,55	1,76
Standardabweichung	1,88	0,43	2,12	2,21
Median	0,74	0,65	0,69	1,03
Minimum	0,23	0,19	0,23	0,23
Maximum	8,54	1,57	7,98	8,16

Tabelle 48: Ergebnisse des Kruskal-Wallis-Post-Hoc-Tests zum paarweisen Vergleich der vier Gruppen hinsichtlich der mittleren Summe der Gesamtveränderungen. Angegeben sind oberhalb der Hauptdiagonalen die mittleren absoluten Rangdifferenzen zwischen den verschiedenen Gruppen und unterhalb der Hauptdiagonalen das Signifikanzniveau der Vergleiche (n.s. – nicht signifikant ($p \geq 0,10$); ° – $p < 0,10$; * – $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$; *** – $p < 0,001$).

	Gruppe I	Gruppe II	Gruppe III	Gruppe IV
Gruppe I	---	5,360	0,242	5,958
Gruppe II	n.s.	---	5,118	11,318
Gruppe III	n.s.	n.s.	---	6,200
Gruppe IV	n.s.	n.s.	n.s.	---

5 Diskussion

5.1 Diskussion der Ergebnisse

Das Amalgam als Füllungswerkstoff ist seit etwa Mitte der 90er Jahre faktisch abgelöst worden; auch RVO-Kassen übernehmen seitdem die Kosten für Kunststofffüllungen oder andere Alternativen im Seitenzahnbereich (LEHMANN und HELLWIG 1998, HAUNFELDER *et al.* 1999). Die weitgehende Elimination des Amalgams ist dabei eher Folge einer heftigen Diskussion in der Öffentlichkeit als rationaler wissenschaftlicher Forschungsergebnisse; aus zahnärztlicher Sicht ist eine sorgfältig gelegte und polierte Amalgamfüllung im Seitenzahnbereich unter werkstoffkundlichen, funktionellen, toxiologischen und finanziellen Aspekten nach wie vor eine vollwertige Alternative in der Regelversorgung von Kassenpatienten (LEHMANN und HELLWIG 1998, HAUNFELDER *et al.* 1999).

SUNDBERG *et al.* stellten in ihrer Studie fest, daß Komposite mittlerweile deutlich häufiger als Amalgamfüllungen für die Versorgung von Klasse II-Kavitäten eingesetzt werden (SUNDBERG *et al.* 2000), so daß ihr Langzeitverhalten und auch die Eigenschaften bei einer Revision der Füllung zunehmendes Interesse finden.

Häufigste Ursachen für das Legen bzw. Revidieren von Restaurationen im allgemeinen waren die Diagnose von Primärkaries (56%), Sekundärkaries (22%), Zahnfrakturen (6%), Frakturen bzw. Degradationserscheinungen im Füllungsmaterial selbst (5-6%) und mangelnde Ästhetik, wie eine insuffiziente nicht mit dem Zahn harmonisierende Füllungsfarbe (20%) [BURKE *et al.* 1997, 1999, FRANCO und PASCOTTO 1990, FRIEDL *et al.* 1995].

Die Lebensdauer von Kompositfüllungen wird in der Literatur mit 5 bis 8 Jahren angegeben (JOKSTAD *et al.* 1994, MJÖR und MOORHEAD 1998, MJÖR 1997, PINK *et al.* 1994). FRIEDL *et al.* erwähnten in einer deutschen Studie, daß in 49,5% der Fälle in der zahnärztlichen Praxis Revisionen von Füllungen und in 50,6% Erstversorgungen durch-

geführt werden (FRIEDL *et al.* 1995). Sie beschrieben weiterhin, daß in 10,9% Erst-Amalgamfüllungen durch Kompositrestaurationen ersetzt wurden. TOBI *et al.* verwiesen auf die Tendenz der Behandler, Amalgamfüllungen durch Kompositrestaurationen zu ersetzen und stellten fest, daß diese wesentlich kostspieliger einzuschätzen waren als die Revision und Erneuerung einer Amalgamfüllung mit Amalgam (TOBI *et al.* 1999). FRIEDL *et al.* berichteten von Kompositfüllungen, die in der Zweitversorgung zu 91,4% erneut mit Komposit durchgeführt wurden, nur 6,5% dieser Erst-Kompositfüllungen wurden in der Zweitversorgung mit Amalgam restauriert (FRIEDL *et al.* 1995).

Grob geschätzt ist damit jede zweite Kavitätenversorgung eine Revision; während in den vergangenen Jahren in der Hauptsache Amalgam- durch Kompositfüllungen ersetzt wurden, ist im Moment – bedingt durch die stark zunehmende Verwendung von Kompositen seit Mitte der 90er Jahre und deren mittlere Lebensdauer von nur 5-8 Jahren – mit einer deutlichen Zunahme der Revisionen von Kompositfüllungen zu rechnen.

Die Tatsache, daß der Austausch einer Restauration mit einem Substanzverlust einhergeht, wurde von mehreren Autoren beschrieben (HUNTER *et al.* 1995, KREJCI *et al.* 1995, MILLAR *et al.* 1992). Dabei wurde festgestellt, daß die Art des verwendeten Materials einen großen Einfluß auf die untersuchten Parameter, wie die Revisionszeit bzw. den Zahnhartsubstanzverlust, hatte.

Die vorliegende Untersuchung ergab für den Vergleich verschiedener Komposite und Unterfüllungen keinen wesentlichen Unterschied in der Revisionszeit bzw. den dimensional Veränderungen der Kavität durch die Revision. Weder die Verwendung eines photochromen Komposits für die Unterfüllung (wie in den Gruppen II und III) noch die eines blauen Füllungskomposits (Gruppe IV) verkürzten die Revisionszeit oder verbesserten die Präparationsgenauigkeit in statistisch signifikanter Weise.

Die *Revisionszeit* entspricht dabei mit 5 bis 7 Minuten größenordnungsmäßig derjenigen, die in einer ähnlichen Untersuchung von BAUM (2002) für Kompositfüllungen gemessen wurde; die Verwendung einer Unterfüllung veränderte in der Arbeit von BAUM (2002) die Revisionszeit nicht wesentlich, was mit den Ergebnissen der vorliegenden Untersuchung in Einklang steht. Die Verwendung eines farbigen Komposits für die Füllung verkürzte in der vorliegenden Arbeit die Revisionszeit nicht; im Gegenteil

war der Mittelwert mit 7,1 Minuten hier sogar am höchsten. Die von BAUM (2002) berichtete kürzere Revisionszeit von Amalgamfüllungen ist damit nicht in erster Linie darauf zurückzuführen, daß Amalgam und intakte Zahnhartsubstanz farblich exakt voneinander abzugrenzen sind, da diese Voraussetzung in Gruppe IV (und durch die photochrome Unterfüllung eingeschränkt auch in Gruppe II und III) der vorliegenden Untersuchung ebenfalls gegeben war.

Bezüglich der Dimensionsveränderungen der Kavität sind die Ergebnisse der eigenen Studie und der Untersuchung von BAUM (2002) nicht direkt vergleichbar, da die Kavität in der vorliegenden Arbeit mit der Handkamera und in der Arbeit von BAUM (2002) mit Hilfe eines Lasers vermessen wurde; entsprechend unterschieden sich auch die Meßpunkte deutlich. In der eigenen Untersuchung fanden sich in keiner Dimension und an keinem Meßpunkt signifikante Unterschiede zwischen den verwendeten Kompositen und Unterfüllungen; an den einzelnen Meßpunkten ergaben sich folgende hauptsächlichen Resultate:

- **Meßpunkt 1:**

Tiefe: Die Tiefe der Kavität nahm in allen 4 Gruppen im Mittel um deutlich weniger als einen halben Millimeter zu. Ohne signifikante Unterschiede war die Genauigkeit in der Gruppe II hier am größten.

Breite: Die Breite nahm ganz geringfügig ab (um $<0,2$ mm), es gab keine Gruppenunterschiede.

Höhe: Hier fand sich eine Zunahme um $\leq 0,05$ mm, wobei die Genauigkeit in Gruppe I am höchsten war.

Bezüglich der *Gesamtveränderung* an diesem Meßpunkt ergaben sich in den Gruppen Abweichungen um durchschnittlich maximal einen halben Millimeter; am Meßpunkt 1 war die Genauigkeit in der Gruppe II am höchsten.

- **Meßpunkt 2:**

Tiefe: An diesem Meßpunkt nahm die Tiefe in allen Gruppen leicht ab (um $<0,5$ mm); die Genauigkeit war auch hier in der Gruppe II am größten.

Breite: Die Breite nahm geringfügig zu ($<0,5$ mm), die größte Genauigkeit fand sich wiederum in Gruppe II.

Höhe: Hier fand sich – ähnlich wie am Meßpunkt 1 – eine Zunahme um $\leq 0,05$ mm, wobei die Genauigkeit in Gruppe I am höchsten war.

Bezüglich der *Gesamtveränderung* an diesem Meßpunkt ergab sich wiederum ein gewisser nicht signifikanter Vorteil der Gruppe II.

- **Meßpunkt 3:**

Tiefe: Die Tiefe der Kavität nahm im Mittel nur in Gruppe I (um 0,08 mm) zu, in den anderen 3 Gruppen gab es so gut wie keine Änderung. Ohne signifikante Unterschiede war die Genauigkeit in den Gruppen II und IV hier am größten.

Breite: Die Breite nahm geringfügig zu (<0,5 mm), die Genauigkeit war in Gruppe I am größten.

Höhe: Hier fand sich in Gruppe I eine Zunahme um 0,01 mm, wogegen in den anderen Gruppen im Mittel eine Abnahme um <0,05 mm zu verzeichnen war.

Bezüglich der *Gesamtveränderung* an diesem Meßpunkt ergaben sich in den Gruppen Abweichungen um durchschnittlich maximal 0,25 mm; am Meßpunkt 3 war die Genauigkeit in den Gruppen I, II und IV in etwa gleich.

- **Meßpunkt 4:**

Tiefe: Die Tiefe der Kavität nahm im Mittel in Gruppe I, die diesbezüglich die größte Genauigkeit aufwies, um nur 0,01 mm zu; in den anderen drei Gruppen betrug die Zunahme ca. 0,05 mm.

Breite: Die Breite nahm in Gruppe I geringfügig zu (um 0,01 mm), in den anderen 3 Gruppen dagegen eher leicht ab.

Höhe: Hier fand sich in Gruppe I und IV eine relativ deutliche Zunahme (um 0,06 bzw. 1 mm), wogegen in den Gruppen II und III die Genauigkeit sehr hoch war.

Bezüglich der *Gesamtveränderung* an diesem Meßpunkt ergaben sich in den Gruppen Abweichungen um durchschnittlich maximal 0,3 mm; am Meßpunkt 4 war die Genauigkeit in den Gruppen II und III geringfügig höher als in den anderen Gruppen.

- **Meßpunkt 5:**

Tiefe: Die Genauigkeit war hier in der Gruppe II am höchsten, während in den anderen Gruppen eine Zunahme von rund 0,01 mm zu verzeichnen war.

Breite: Die Breite nahm insgesamt leicht ab, die Genauigkeit war in Gruppe II am höchsten.

Höhe: Hier war die Genauigkeit insgesamt sehr hoch mit noch gewissen Vorteilen für Gruppe I.

Die *Gesamtveränderung* an diesem Meßpunkt lag durchweg um 0,01 mm, im Durchschnitt mit Vorteilen für Gruppe II.

Die gefundenen Unterextensionen dürften als durch den Sprayauftrag bedingte Meßfehler anzusehen sein (vgl. SZEP et al. 2002).

Trotz der oben genannten methodischen Einschränkung sind die dimensional Änderungen an den Kavitäten nach Revision von Kompositfüllungen den in der Untersuchung von BAUM (2002) an solchen Füllungen ermittelten vergleichbar. Grundsätzlich ist dies als Anhaltspunkt dafür zu werten, daß die in der vorliegenden Untersuchung verwendete Auswertung mit der Handkamera durchaus zu verwert- und vergleichbaren Resultaten führt.

Die teilweise breitere Meßwertstreuung und das nicht seltene Auftreten von „Ausreißerwerten“ (deutlich negative Einzelmeßwerte, die eine Unterextension anzeigen würden, sowie Überextensionen um mehrere Millimeter) lassen jedoch insgesamt Zweifel an der Genauigkeit der Methode aufkommen, so daß die gefundenen Unterschiede in Abhängigkeit von Meßpunkt und Dimension eher zurückhaltend interpretiert werden müssen.

BAUM (2002) beschrieb in seiner Untersuchung deutliche Vorteile von Amalgamfüllungen bezüglich der Dimensionstreu der Kavität nach Revision. Dies scheint nach den Ergebnissen der vorliegenden Untersuchung nicht der unterschiedlichen Farbe von Amalgam und Zahnhartsubstanz zuzuschreiben zu sein: Der Versuch einer synoptischen Darstellung der Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung (Abbildung 37) zeigt, daß der blaue Füllungswerkstoff Rebuilda LC fast in keinem Fall Vorteile gegenüber zahnfarbenen Restaurationen aufwies.

	Tiefe		Breite		Höhe		Gesamt	
Meßpunkt 1	II		II		I		II	
Meßpunkt 2	II		II	III	I		II	
Meßpunkt 3	II	IV	I		keine		keine	
Meßpunkt 4	I		keine		II	III	II	III
Meßpunkt 5	II		II		I		II	

Abbildung 37: Synopsis der Ergebnisse

Vielmehr sind eher Vorteile der photochromen Unterfüllung bis an den Kavitätenrand (Gruppe II) zu erkennen, während die größte Genauigkeit in der Höhe bei der zahnfarbenen Restauration (Gruppe I) erzielt wurde. Hinzuweisen ist an dieser Stelle allerdings auf die in allen Fällen nicht vorhandene statistische Signifikanz eventueller Unterschiede.

Fazit der vorliegenden Untersuchung ist im wesentlichen eine Bestätigung der Beobachtung, daß die Revision von adhäsiv befestigten Kompositfüllungen zu einem nicht unwesentlichen Substanzverlust durch Überextension der Kavität führt. Farbige Komposit- oder Unterfüllungsmaterialien können diese nach dem Ergebnis der vorliegenden Untersuchung nicht bahnbrechend reduzieren; im Gegensatz zum farbigen Komposit Rebuilda LC haben aber photochrome Unterfüllungen diesbezüglich vermutlich einen gewissen Vorteil.

Da die in der Untersuchung von BAUM (2002) beschriebenen Vorteile des Amalgams nicht dessen Farbe zuzuschreiben sind, dürften sie am ehesten in mechanischen Eigenschaften dieses Materials begründet sein, die bei der Präparation das „Erfühlen“ der Grenze zwischen Füllung und Zahnhartsubstanz erleichtern.

Während Angaben zum Parameter Revisionszeit vom methodischen Vorgehen als leicht zu beurteilen sind, unterscheiden sich die experimentellen Ansätze zur Bestimmung der Kavitätenveränderungen vor und nach der Revision deutlich, was den Vergleich verschiedener Untersuchungen sehr erschwert. Entweder wurde mit Hilfe von Silikonab-

formungen vor und nach der Revision anhand des ermittelten Gewichtsunterschiedes eine Aussage zu den Volumenveränderungen vorgenommen, oder es wurden vor und nach der Revision Photographien hergestellt und diese anhand von Überlagerungsaufnahmen ausgewertet (HUNTER *et al.* 1995, KREJCI *et al.* 1995, MILLAR *et al.* 1992). Nachteile beider Verfahren sind die relativ ungenauen Aussagen zu den Veränderungen der Kavitätendimensionen in der Höhe, Breite und Tiefe.

MOZZO *et al.* beschrieben 1998 ein Verfahren, mit dessen Hilfe anatomische Regionen des Unterkiefers unter Zuhilfenahme eines CT-Gerätes vermessen wurden (MOZZO *et al.* 1998). Nachteil dieser Methode war die relativ große Meßgenauigkeit und die hiermit verbundenen hohen Kosten des durchgeführten Verfahrens.

KIMURA *et al.* beschrieben 1990 die Vermessung von Zähnen in den X- und Y-Koordinaten mit Hilfe eines Lasersensors. Nachteil dieses Verfahrens stellte die nicht erfaßte dritte Ebene der Proben dar (KIMURA *et al.* 1990). KURODA *et al.* stellten 1996 die dreidimensionale Vermessung von kieferorthopädischen Gipsmodellen mit Hilfe eines Lasersystems und zweier Videokameras vor (KURODA *et al.* 1996). Sie beschrieben die Möglichkeit, über X-, Y- und Z-Koordinaten die Datenvermessung mit einer Meßgenauigkeit von 0,05 mm durchzuführen. Die Gesamtdauer der Datenvermessung betrug dabei ca. 40 Minuten.

Mit dem Cerec-System steht – sozusagen als „Nebeneffekt“ der Direktfertigung von Keramikrestorationen – ein Meßsystem zur Verfügung, das sich auch für die Dimensionsmessung von Kavitäten vor und nach Revision verwenden läßt. Während BAUM (2002) die Messungen mit Hilfe des Laserscanners und der Cerec 3 Konstruktionssoftware vornahm, wurde in der vorliegenden Untersuchung die Handkamera des Systems verwendet. Diese Messung führte zwar zu qualitativ vergleichbaren Resultaten, die breite Meßwertstreuung und das Auftreten von nicht plausiblen „Ausreißerwerten“ (Überextensionen um mehrere Millimeter oder deutliche Unterextensionen) legen jedoch nahe, die Messung mit der Handkamera nicht weiter zu verwenden. Ein direkter Vergleich der eigenen Werte mit Befunden zum Hartschubstanzverlust in der Literatur ist daher nur begrenzt sinnvoll.

MILLAR *et al.* (1992) stellten in ihrer Studie eine bis zu 37% vergrößerte Kavität nach der Revision direkter Kompositfüllungen fest. HUNTER *et al.* (1995) berichteten ebenfalls von stark überextendierten Kavitäten bei der Revision von Kompositfüllungen.

Nach KREJCI *et al.* (1995) tritt der massivste Zahnhartsubstanzverlust bei der Revision von Kompositfüllungen ($41,8 \text{ mm}^3$) auf, während bei Amalgam ($17,6 \text{ mm}^3$) und Glasionomerzement ($19,6 \text{ mm}^3$) ein geringerer Verlust festzustellen war. Dies steht in Einklang mit der *in vitro*-Studie von Baum (2002). Inwieweit die von KREJCI *et al.* (1995) empfohlenen Farbindikatoren für die Sichtbarmachung des zu revidierenden Füllungs-materials eine bahnbrechende Verbesserung dieser Situation erbringen können, ist nach der vorliegenden Arbeit trotz der genannten methodischen Einschränkungen eher zweifelhaft. Auch BAUM (2002) konnte zwar den Vorteil des Amalgams bestätigen, fand aber keinen signifikanten Unterschied bei Verwendung farbiger Unterfüllungen für Kompositrestaurationen. Ein gewisser Vorteil ließ sich in der vorliegenden Untersuchung lediglich der photochromen Unterfüllung bis zum Kavitätenrand attestieren; der blau gefärbte Komposit wies dagegen gegenüber der zahnfarbenen Restauration keinen wesentlichen Vorteil auf.

In einer neueren Untersuchung von CRUICKSHANK und CHADWICK (1998) trat bei der Revision von Kompositfüllungen ebenfalls ein hochsignifikanter Verlust von Hartsubstanz auf: Die Kavitäten vergrößerten sich durch Revision um 3 bis 5% (Messung durch wiederholte Photographien). Die Applikation chemischer Agentien zum Aufweichen des Komposits konnten diese Überextension nicht wesentlich reduzieren.

GORDAN *et al.* (2002) verwendeten ein Videosystem zum Dimensionsvergleich von Kavitäten vor und nach Revision von Kompositfüllungen. An insgesamt 40 Kavitäten unterschiedlicher Form und Größe wurde bei der Revision eine Überextension von 0,5 bis 2 mm im Durchmesser gefunden, die bei flachen Kavitäten am stärksten ausgeprägt war. Um den Einfluß einer farblichen Abhebung zu untersuchen, verwendeten GORDAN *et al.* (2002) einen absichtlich um 3 Nuancen abweichenden Komposit bei einem Teil der Restaurationen. In Übereinstimmung mit unserer Untersuchung verbesserte dies die Genauigkeit nur relativ geringfügig und nicht signifikant.

Insgesamt scheint eine Überextension bei der Revision von Kompositfüllungen als spezifischer Nachteil dieses Materials anzusehen zu sein; anders, als man vermuten könnte, kann dies durch farbiges Absetzen der Füllung vom Zahn nicht suffizient unterbunden werden.

Sowohl in der Studie von KREJCI *et al.* (1995) als auch in der von HUNTER *et al.* (1995) wurden die Revisionen ohne eine Vergrößerungshilfe vorgenommen. In der vorliegen-

den Untersuchung konnte trotz verwendeter 2,5facher Vergrößerung eine Überextension der Kavitäten nicht vermieden werden. Ob die Ergebnisse beim Verzicht auf die Lupenvergrößerung schlechter ausgefallen wären, kann in Ermangelung einer entsprechenden Kontrollgruppe nicht beantwortet werden.

KREJCI *et al.* (1995) stellten hinsichtlich der für die Revision notwendigen Zeit signifikante Unterschiede zwischen den Materialien Amalgam (im Mittel 15 min), Glasionomerzement (im Mittel 11 min) und Komposit (im Mittel 24 min) fest. Die Kavitäten waren dabei deutlich komplizierter und größer (mod 3,2x2,8x5 mm) als die in der vorliegenden Arbeit und der Untersuchung von BAUM (2002), so daß diese Ergebnisse insgesamt vergleichbar sind. MILLAR *et al.* (1992) berichteten von im Mittel 7 min Revisionszeit von direkten Kompositfüllungen, wobei über die Dimension der Kavität keine Angaben gemacht wurden.

Für den Farbumschlag von zahnfarben nach grün benötigt Tetric Flow Chroma Blaulicht im Bereich zwischen 350-450 nm. Der zum Material dazugesetzte Photoinitiator Campherchinon ist nicht für den Farbumschlag verantwortlich. Lediglich die rein photochromen Substanzen führen zur Verfärbung bei der Lichtpolymerisation. Eine Aktivierung des Farbumschlages erreichte man im geringen Maße bereits unter der OP-Leuchte. So gestaltete sich das Revidieren mit dem Material ab einer bestimmten Tiefe bereits als hilfreich, denn durch eine dünne zurückgebliebene Schicht Komposit war das Durchleuchten des grünen Farbstoffes erkennbar. Nach Angaben des Herstellers erfolgt der Farbumschlag unbegrenzt häufig, denn der Farbstoff wird dabei nicht verbraucht. Der hydrophobe Farbstoff läßt sich in Wasser und Speichel nur schwer herauswaschen. Wird des weiteren das Material als „Unterfüllung“ verwendet, so wirkt das darüber geschichtete Komposit als zusätzliche Barriere. Der stabile Farbumschlag wurde seitens des Herstellers über eine Zeitdauer von 2 Jahren beobachtet. Die „Entfärbung“ tritt nach wenigen Minuten ein, vorausgesetzt, daß kein Licht entsprechender Wellenlänge das Material bestrahlt. Bereits helles Tageslicht kann einen leichten Farbumschlag von Tetric Flow Chroma bewirken. Wird das Material bis zu den Kavitätenrändern *in vivo* appliziert, so muß damit gerechnet werden, daß der Farbumschlag bei Tageslicht, vor allem bei Frontzahnrestorationen, ein ästhetisches Problem darstellen kann. Der Hersteller empfiehlt aus diesem Grund die Anwendung des Materials für den nicht sichtba-

ren Bereich. Auch das Material Rebuilda sollte vorzugsweise als Stumpfaufbaumaterial in klinischen Fällen verwendet werden.

Halogen- und Plasmalampen sind in der Lage, für die Anregung des Farbumschlages zu sorgen, nicht geeignet hierfür ist der Argon Laser, der als niedrigste einstellbare Wellenlänge mit 457 nm keine Aktivierung hervorruft.

Weitere Studien bezüglich der bisher noch offenen Fragen zu Haftkräften zwischen den Zahnhartsubstanzen und den applizierten Materialien, zu der Anwendung von LED-Polymerisationsgeräten und zu der vermuteten erschwerten Diagnostik einer Sekundärkaries am Rande einer Restauration, sollen hierüber Klarheit verschaffen.

5.2 Schlußfolgerungen

Aufgrund der großen Häufigkeit von Füllungsrevisionen in der zahnärztlichen Praxis stellt der Verlust an Zahnhartsubstanz durch Überextension der Kavität ein erhebliches Problem dar; gleichzeitig muß die Dimensionstreu der Kavität nach Revision als wichtiges Qualitätskriterium von Füllungsmaterialien angesehen werden.

Die Revision von Kompositfüllungen geht mit einem nicht unbeträchtlichen Verlust von Zahnhartsubstanz einher, der sich durch die Verwendung von farbigem Füllungsmaterial (blaues Komposit Rebuilda LC) nicht reduzieren läßt. Photochrome Unterfüllungen scheinen zwar gewisse Vorteile zu haben, ändern das Problem im Grundsatz jedoch nicht.

Da das bezüglich der Dimensionstreu nach einer Untersuchung von BAUM (2002) vorteilhafte Amalgam derzeit aus anderen Gründen kaum verwendet und empfohlen wird, ist eine abschließende Empfehlung zu einem „revisionsfähigen“ Füllungswerkstoff derzeit nicht möglich; weitere diesbezügliche Untersuchungen sind erforderlich.

6 Zusammenfassung

Komposite werden in den letzten Jahren als Füllungsmaterial zunehmend auch im Seitenzahnbereich verwendet. Ein Nachteil dieser Füllungen ist, daß sie mit der Zahnhartsubstanz verklebt werden müssen, was bei Revision von Füllungen tendenziell zu einem Verlust von Zahnhartsubstanz führt. In der vorliegenden Untersuchung wurde geprüft, ob die Verwendung farbiger Unterfüll- oder Füllmaterialien das Auffinden der Grenze zwischen Zahnhartsubstanz und Füllung erleichtert.

Die Ergebnisse der vorliegenden *in vitro*-Untersuchung zeigen, daß bei allen verwendeten Materialkombinationen nach der Kompositrevision, trotz der Verwendung einer Lupenbrille, eine Überextension der Kavitäten festzustellen war. Die bei einzelnen Messungen gefundenen Unterextensionen dürften als durch den Sprayauftrag bedingte Meßfehler anzusehen sein.

Für den Vergleich verschiedener Komposite und Unterfüllungen ergaben sich keine wesentlichen Unterschiede in der Revisionszeit bzw. den dimensional Veränderungen der Kavität durch die Revision. Weder die Verwendung eines photochromen Komposits für die Unterfüllung (wie in den Gruppen II und III) noch die eines blauen Füllungskomposits (Gruppe IV) verkürzten die Revisionszeit oder verbesserten die Präparationsgenauigkeit in statistisch signifikanter Weise.

Vorteile metallischer gegenüber adhäsiven Füllungsmaterialien dürften damit nicht durch die unterschiedliche Farbe bedingt sein, sondern am ehesten durch das Entfallen der Adhäsivschicht, die das Auffinden der Grenze zwischen Zahnhartsubstanz und Füllungsmaterial offensichtlich erschwert.

7 Summary

Composite resins are increasingly utilised as a filling material in dentistry. One potential disadvantage of composite resin restorations is the dentin-filling bond that leads to over-extension and a loss of tooth substance when a restoration has to be revised. The present in vitro study investigates whether a coloured material as underfilling or filling makes the identification of the composite-tooth interface easier and reduces overextension.

The results of the study show that the revision of bonded composite resin restorations leads to a substantial over-extension regardless of the material despite the use of magnifying glasses. The occasionally measured under-extensions are most likely explained as errors due to the spray coating.

The different filling and underfilling materials did not show any significant differences in terms of the cavity extension or the revision time, respectively.

The advantage of amalgam thus is not due to its different colour but most likely explained by the lack of bonding that makes the identification of the tooth-filling interface easier.

8 Literaturverzeichnis

- ANDERSSON-WENCKERT, I.E., Folkesson, U.H., van Dijken, J.W.:
Durability of a polyacid-modified composite resin (compomer) in primary molars. A multicenter study.
Acta Odontol. Scand. 55: 255-260 (1997)
- APPEL, T.R., Baumann, M.A.:
Solid-state nuclear magnetic resonance microscopy demonstrating human dental anatomy.
Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol. Oral Radiol. Endod. 94: 256-261 (2002)
- BAUM, C.:
Eine In-vitro-Studie zur Vermessung von Kavitäten mittels Laser-Scan-Verfahren vor und nach der Revision von Amalgam, Ketac und Kompomeren.
Dissertation, Frankfurt am Main 2002
- BAUMANN, M.A., Gross, D., Lehmann, V., Zick, K.:
Magnetresonanztomographie--neue Perspektiven für die Endodontie.
Schweiz. Monatsschr. Zahnmed. 103: 1407-1414 (1993)
- BERG, J.H.:
The continuum of restorative materials in pediatric dentistry-a review for the clinician.
Pediatr. Dent. 20: 93-100 (1998)
- BERGMANS, L., Van Cleynenbreugel, J., Wevers, M., Lambrechts, P.:
A methodology for quantitative evaluation of root canal instrumentation using microcomputed tomography.
Int. Endod. J. 34: 390-398 (2001)
- BJÖRNDAL, L., Carlsen, O., Thuesen, G., Darvann, T., Kreiborg, S.
External and internal macromorphology in 3D-reconstructed maxillary molars using computerized X-ray microtomography.
Int. Endod. J. 32: 3-9 (1999)

BOSTON, D.W.:

Minimum lateral wall heights for conservative class I cavity preparations.
Am J Dent 14: 281-285 (2001)

BUDA M.:

Form- und Farbenreproduktion für eine Rekonstruktion der Frontzähne mit
Kompositkunststoff.
Int. J. Parodont. Rest. Zahnheilkd. 14: 35-47 (1994)

BURKE, F.J.T., Mjör, I.A., Wilson N.H.:

Reasons for placement of restorations of direct restorative materials by a
selected group of practitioners in the United Kingdom.
Quintessence Int. 28: 245 (1997)

BURKE, F.J., Cheung, S.W., Mjör, I.A., Wilson, N.H.:

Restoration longevity and analysis of reasons for the placement/replacement of
restorations provided by vocational dental practitioners and their trainers in the
United Kingdom.
Quintessence Int. 30: 234 (1999)

CAMPBELL, P.M. Johnston, W.M., O'Brien, W.J.:

Light scattering and gloss of an experimental quartz-filled composite.
J. Dent. Res. 65:892-894 (1986)

CHEN, R.C.S., Chan, D.C.N., Chan, K.C.:

A quantitative study of finishing and polishing techniques for a composite.
J. Prosthet. Dent. 59: 292-297 (1988)

CHEN, R.S., Liu, C.C., Cheng, M.R., Lin, C.P.:

Bonded amalgam restorations: Using a glass-ionomer as an adhesive liner.
Oper. Dent. 25: 411-417 (2000)

CONRY, J.P., Beyer, J.P., Pintado, M.R., Douglas, W.H.:

Measurement of preventive resin restorations using computer profilometry.
ASDC J. Dent. Child. 59: 177-181 (1992)

- CRUICKSHANK, E.J., Chadwick, R.G.:
Can chemical softening agents minimize cavity enlargement during removal of failed anterior resin composite restorations?
J. Oral Rehabil. 25: 167-173 (1998)
- EICHNER, K.:
Kunststoffe in der Zahnerhaltung.
In: EICHNER, K. (Hrsg.): Zahnärztliche Werkstoffe und ihre Verarbeitung - Grundlagen und Verarbeitung, 5. Aufl., Bd. 1.
Dr. Alfred Hüthig-Verlag, Heidelberg 1985, 116
- FÉDÉRATION DENTAIRE INTERNATIONALE (FDI):
Grundsatzklärung über Amalgam in der Zahnheilkunde.
Zahnärztl. Mitt. 81: 2244-2246 (1991)
- FOLWACZNY, M., Mehl, A., Kunzelmann, K.H., Hickel, R.:
Determination of changes on tooth-colored cervical restorations in vivo using a three-dimensional laser scanning device.
Eur. J. Oral Sci. 108: 233-238 (2000)
- FRANCO, E.B., Pascotto, R.C.:
Motives for placement and replacement of dental restorations.
Rev. Odontol. Univ. 4: 234 (1990)
- FRIEDL, K.H., Hiller, K.A., Schmalz G.:
Placement and replacement of composite restorations in Germany.
Oper. Dent. 20: 34 (1995)
- FRIEDL, K.H., Schmalz G., Hiller, K.A., Saller, A.:
In-vivo evaluation of a feldspathic ceramic system: 2-year results.
J. Dent. 24: 25-31 (1996)
- GAENGLER, P., Hoyer, I., Montag, R.:
Clinical evaluation of posterior composite restorations: The 10-year report.
J. Adhes. Dent. 3: 185-194 (2001)

GARIP, Y., Gunday, M.:

The use of computed tomography when comparing nickel-titanium and stainless steel files during preparation of simulated curved canals.

Int. Endod. J. 34: 452-457 (2001)

GORDAN, V.V.:

Clinical evaluation of replacement of class V resin based composite restorations.

J. Dent. 29: 485-488 (2001)

GORDAN, V.V., Mjor, I.A., Vazquez, O., Watson, R.E., Wilson, N.:

Self-etching primer and resin-based restorative material: Two-year clinical evaluation.

J. Esthet. Restor. Dent. 14: 296-302 (2002)

GORDAN, V.V., Mondragon, E., Shen, C.:

Replacement of resin-based composite: Evaluation of cavity design, cavity depth, and shade matching.

Quintessence Int. 33: 273-278 (2002)

HAUNFELDER, D., Horch, H.-H., Hupfauf, L., Heidemann, D.:

Praxis der Zahnheilkunde. Band 2: Kariologie und Füllungstherapie.

Urban & Schwarzenberg, München 1999

HELLWIG, E., Klimek, J., Attin, T.:

Einführung in die Zahnerhaltung.

Urban und Fischer-Verlag, München 2003

HUNTER, A.J., Hunter, A.R., Treasure, E.T.:

Increases in cavity volume associated with the removal of Class 2 amalgam and composite restorations.

Oper. Dent. 20: 2 (1995)

JEFFERIES, S.R., Smith, R., Barkmeier, W., Gwinnett, J.:

Comparison of surface smoothness of restorative resin materials.

J. Esthet. Dent. 1: 169 (1989)

JEFFERIES, S.R., Barkmeier, W., Gwinnett, J.:

Three composite finishing systems: a multisite in vitro evaluation.
J. Esthet. Dent. 4: 181 (1992)

JOKSTAD, A., Mjör, IA., Quist, V.:

The age of restorations in situ.
Acta Odontol. Scand. 52: 234 (1994)

JUNG, M.:

Der Einfluß unterschiedlicher Finierer auf Kompositoberflächen.
Dtsch. Zahnärztl. Z. 49: 884-888 (1994)

KAMANN, W.K., Gängler, P.:

Füllungsreparatur und Reparaturfüllung.
Schweiz. Monatsschr. Zahnmed. 110: 1054-1071 (2000)

KAPLAN, B.A., Goldstein, G.R., Vijayaraghavan, T.V., Nelson, I.K.:

The effect of three polishing systems on the surface roughness of four hybrid composites: A profilometric and scanning electron microscopy study.
J. Prosthet. Dent. 76: 34-38 (1996)

KIMURA, H., Sohmura, T., Watanabe, T.:

Three dimensional shape measurement of teeth (Part 3) on the measurement by newly developed laser displacement meter with double sensors.
J. Osaka Univ. Dent. Sch. 30: 31 (1990)

KNISPEL, G.:

Factors affecting the process of color matching restorative materials to natural teeth.
Quintessence Int. 22: 525-531 (1991)

KREJCI, I., Lutz, F.:

Kompositfüllungen - das 1x1 des Ausarbeitens.
Schweiz. Monatsschr. Zahnmed. 94: 1015-1028 (1984)

- KREJCI, I., Lieber, C.M., Lutz, F.:
Time required to remove totally bonded tooth-colored posterior restorations and related tooth substance loss.
Dent. Mater. 11: 34-40 (1995)
- KURODA, T., Motohashi, N., Tominaga, R., Iwata, K.:
Three-dimensional dental cast analyzing system using laser scanning.
Am. J. Orthod. Dentofacial Orthop. 110: 365 (1996)
- LEHMANN, K.M., Hellwig, E.:
Einführung in die restaurative Zahnheilkunde.
Urban & Schwartenberg, München 1998
- LINDBERG, A., van Dijken, J.W., Lindberg, M.:
3-year evaluation of a new open sandwich technique in Class II cavities.
Am J Dent (2003 Feb) 16(1):33-6
- LUCKENBACH, T., Lösche, G.M., Roulet, J.-F.:
Opazität und Opazitätsveränderungen von Kompositen.
Dtsch. Zahnärztl. Z. 46: 621-625 (1991)
- LUTZ, F.:
Kompositfüllungen – Rationelleres Ausarbeiten und bessere Randqualität dank neuentwickelter Schleifkörper (I).
Quintessenz 31: 273 (1980)
- LUTZ, F., Phillips, R., Roulet, J.F., Imfeld, T.:
Kompositklassifikation und Wertung.
Schweiz. Monatsschr. Zahnmed. 93: 914 (1983)
- LUTZ, F., Phillips, R.W., Roulet, J.-F., Setcos, J.C.:
Potential posterior composites - An in vivo and in vitro comparison of wear.
J. Dent. Res. 63: 914-920 (1984)
- MATTESON S. R., Deahl S.T., Alder M.E., Nummikoski P.V.:
Advanced Imaging Methods.
Crit. Rev. Oral Biol. Med. 7: 346-395 (1996)

MILICICH, G.:

The use of air abrasion and glass ionomer cements in microdentistry.
Compend. Contin. Educ. Dent. 22: 1026-1030, 1032-1034, 1036-1039 (2001)

MILLAR, B.J., Robinson, P.B., Davies, B.R.:

Effects of the removal of composite resin restorations on Class II cavities.
Br. Dent. J. 10: 210 (1992)

MJÖR, I.A.:

The reasons for placement and age of failed restoration in general dental practice.
Acta Odontol. Scand. 55: 58 (1997)

MJÖR, I.A., Moorhead, J.E.:

Selection of restorative materials, reasons for replacement, and longevity of restorations in Florida.
J. Am. College Dent. Fall. 3: 27 (1998)

MJÖR, I.A., Moorhead, J.E., Dahl, J.E.:

Selection of restorative materials in permanent teeth in general dental practice.
Acta Odontol. Scand. 57: 257-262 (1999)

MJÖR, I.A., Reep, R.L., Kubilis, P.S., Mondragon, B.E.:

Change in size of replaced amalgam restorations: a methodological study.
Oper. Dent. 23: 272-277 (1998)

MÖRMANN, W.H., Bindl, A.:

Cerec 3 - Ein Quantensprung bei Computer-Restaurationen - Erste klinische Erfahrungen.
Quintessenz 51: 157 (2000)

MOZZO, P., Procacci, C., Tacconi, A., Tinazzi Martini, P., Bergamo Andreis, I.A.:

A new volumetric CT machine for dental imaging based on the cone-beam technique: Preliminary results.
Eur. Radiol. 8: 1558 (1998)

O'BRIEN, W.J.:

Dental materials and their selection.
Quintessence, Chicago 1997

PARSELL, D.E., Anderson, B.C., Livingston, H.M., Rudd, J.I., Tankersley, J.D.:

Effect of camera angulation on adaptation of CAD/CAM restorations.
J. Esthet. Dent. 12: 78-84 (2000)

PETERS, O.A., Laib, A., Ruegsegger, P., Barbakow, F.:

Three-dimensional analysis of root canal geometry by high-resolution computed tomography.
J. Dent. Res. 79: 1405-1409 (2000)

PETERS, O.A., Schonenberger, K., Laib, A.:

Effects of four Ni-Ti preparation techniques on root canal geometry assessed by micro computed tomography.
Int. Endod. J. 34: 221-230 (2001)

PHILLIPS, R.:

Kunststoffe in der restaurativen Zahnmedizin.
Phillip J 4: 183 (1986)

PINK, F.E., Minden, N.J, Simmonds, S.:

Decisions of practitioners regarding placement of amalgam and composite restorations in general practice settings.
Oper. Dent. 19: 127 (1994)

POWELL, L.V.:

Composite-resin materials and techniques in dentistry.
Curr. Opin. Dent. 2: 128 (1992)

ROULET, J.F.:

Benefits and disadvantages of tooth-coloured alternatives to amalgam.
J. Dent. 25: 459-473 (1997)

- ROULET, J.F., Soderholm, K.J., Longmate. J.:
Effects of treatment and storage conditions on ceramic/composite bond strength.
J. Dent. Res. 74: 381-387 (1995)
- SACHS, L.:
Angewandte Statistik, 10. Auflage.
Springer, Berlin 2002
- SCHRIEVER A., Becker J., Heidemann D.:
Tooth-colored resorations of posterior teeth in German dental education.
Clin. Oral Invest. 3: 30-34 (1999)
- SUNDBERG, H., Mejare, I., Espelid, I., Tveit, A.B.:
Swedish dentists decisions on preparation techniques and restorative materials.
Acta Odontol. Scand. 58: 135 (2000)
- SZEP, S., Baum, C., Alamouti, C., Schmidt, D., Gerhardt, T., Heidemann, D.:
Removal of amalgam, glass-ionomer cement and compomer restorations:
changes in cavity dimensions and duration of the procedure.
Oper. Dent. 27: 613-620 (2002)
- TATE, W.H., Powers, J.M.:
Surface roughness of composites and hybrid ionomers.
Oper. Dent. 21: 53-58 (1996)
- TERRY, D.A., Geller, W., Tric, O., Anderson, M.J., Tourville, M., Kobashigawa, A.:
Anatomical form defines color: Function, form, and aesthetics.
Pract. Proced. Aesthet. Dent. 14: 59-67 (2002)
- TOBI, H., Kreulen, C.M., Vondeling, H., van Amerongen, W.E.:
Cost-effectiveness of composite resins and amalgam in the replacement of
amalgam Class II restorations.
Community Dent. Oral. Epidemiol. 27: 137 (1999)

van DIJKEN, J.W.:

A clinical evaluation of anterior conventional, microfiller, and hybrid composite resin fillings. A 6-year follow-up study
Acta Odontol. Scand. 44: 357-367 (1986)

van DIJKEN, J.W.:

A 6-year evaluation of a direct composite resin inlay/onlay system and glass ionomer cement-composite resin sandwich restorations.
Acta Odontol. Scand. 52: 368-376 (1994)

van DIJKEN, J.W., Stadigh, J., Meuman, J.H.:

Appearance of finished and unfinished composite surfaces after toothbrushing. A scanning electron microscopy study.
Acta Odontol. Scand. 41: 377-383 (1983)

VIOHL, J:

Clinical assessment of the colour stability of resin filling materials.
Int. Dent. J. 31: 39-44 (1981)

WICHT, M.J., Haak, R., Fritz, U.B., Noack, M.J.:

Primary preparation of class II cavities with oscillating systems.
Am. J. Dent. 15: 21-25 (2002)

9 Anhang

9.1 Tabellarium

In den folgenden Tabellen sind alle erhobenen Meßwerte aufgeführt:

Revisionszeit [Minuten]

Zahn Nr.	Gruppe I	Gruppe II	Gruppe III	Gruppe IV
1	8,76	9,30	8,00	16,30
2	8,16	8,30	7,20	12,50
3	7,66	8,05	13,20	11,55
4	6,91	7,07	7,50	9,20
5	5,86	6,20	9,15	11,40
6	4,96	4,45	8,05	8,10
7	5,96	5,00	5,15	6,20
8	4,81	3,45	4,45	4,25
9	6,21	4,30	4,45	6,05
10	3,91	4,10	3,50	4,40
11	4,66	6,30	6,30	6,30
12	4,21	5,25	5,30	6,10
13	5,01	5,00	7,30	4,30
14	3,96	4,10	4,45	2,30
15	5,01	5,10	5,05	6,30
16	4,96	4,20	4,30	6,10
17	5,16	5,30	6,20	7,00
18	4,06	4,50	5,55	4,45
19	6,21	5,20	5,50	4,50
20	5,71	4,10	4,25	4,15
21	6,86	4,20		
22	3,86	4,15		
23	4,11			
24	4,06			
Mittelwert	5,46	5,35	6,24	7,07
Standardabweichung	1,40	1,57	2,25	3,49
Median	5,01	5,00	5,53	6,15
Minimum	3,86	3,45	3,50	2,30
Maximum	8,76	9,30	13,20	16,30

Meßpunkt 1: Tiefe [mm]

Zahn Nr.	Gruppe I	Gruppe II	Gruppe III	Gruppe IV
1	0,075	0,050	0,050	0,000
2	-0,050	0,125	0,100	-0,075
3	0,000	0,025	0,175	3,500
4	-0,100	0,075	3,175	0,075
5	0,050	-0,275	3,600	0,000
6	-0,200	-0,200	0,075	0,050
7	0,025	-0,100	-0,050	-0,075
8	-0,200	-0,075	-0,075	-0,050
9	0,150	-0,125	-0,050	-0,075
10	0,100	-0,125	-0,125	-0,225
11	0,075	-0,025	0,050	0,225
12	0,150	0,175	0,075	0,075
13	0,100	-0,100	0,050	-0,050
14	0,000	-0,125	0,000	-0,225
15	-0,050	0,025	-0,150	0,050
16	0,075	0,125	0,050	0,175
17	3,250	0,000	-0,050	-0,100
18	0,025	0,000	-0,150	-0,050
19	0,000	-0,050	-0,100	-0,100
20	0,425	0,100	0,050	0,050
21	0,325	0,200		
22	0,275	-0,050		
23	0,150			
24	-0,100			
Mittelwert	0,190	-0,016	0,335	0,159
Standardabweichung	0,668	0,121	1,050	0,794
Median	0,063	-0,013	0,050	-0,025
Minimum	-0,200	-0,275	-0,150	-0,225
Maximum	3,250	0,200	3,600	3,500

Meßpunkt 1: Breite [mm]

Zahn Nr.	Gruppe I	Gruppe II	Gruppe III	Gruppe IV
1	-0,100	0,225	-0,150	-0,025
2	-0,100	-0,150	0,050	0,000
3	-0,025	-0,150	0,225	-0,875
4	0,225	-0,050	-0,800	0,925
5	0,000	0,050	-0,850	-0,050
6	0,250	-0,125	0,175	0,025
7	-0,450	-0,150	-0,025	-0,075
8	-0,200	0,050	0,000	0,075
9	-0,075	-0,025	-0,175	-0,275
10	0,125	-0,225	0,050	0,100
11	-0,025	-0,025	-0,075	-0,150
12	0,175	-0,250	-0,125	0,150
13	0,025	0,025	0,025	-0,025
14	0,050	-0,200	0,175	-0,150
15	0,000	-0,150	-0,175	0,100
16	-0,125	-0,050	-0,075	0,050
17	-1,850	-0,025	-0,100	-0,200
18	-1,550	-0,050	0,100	-0,375
19	-0,025	0,050	-0,175	0,225
20	-0,075	-0,100	-0,050	0,000
21	-0,250	0,025		
22	-0,100	0,125		
23	-0,200			
24	-0,100			
Mittelwert	-0,183	-0,053	-0,099	-0,028
Standardabweichung	0,493	0,118	0,276	0,326
Median	-0,075	-0,050	-0,063	-0,013
Minimum	-1,850	-0,250	-0,850	-0,875
Maximum	0,250	0,225	0,225	0,925

Meßpunkt 1: Höhe [mm]

Zahn Nr.	Gruppe I	Gruppe II	Gruppe III	Gruppe IV
1	0,0079	0,3396	0,0272	0,0085
2	0,0285	0,3535	0,0494	0,0053
3	-0,0138	-0,0014	0,0185	0,0003
4	0,0388	-0,0055	0,0202	0,0283
5	0,0120	-0,0329	0,0029	0,3193
6	0,0389	-0,0194	0,0054	0,3197
7	0,0271	-0,0059	0,0055	0,0011
8	0,0607	-0,0256	0,0025	0,0104
9	0,0013	-0,0096	0,3260	0,3436
10	0,0083	-0,0218	0,3233	0,3199
11	0,0076	0,3295	0,0033	0,0094
12	0,0111	0,3346	0,0052	0,0160
13	-0,0135	-0,3123	0,0077	0,0121
14	-0,0189	-0,1976	0,0037	0,0173
15	0,0149	0,0023	0,0054	0,0700
16	0,0153	0,0115	-0,0039	0,0418
17	0,0025	-0,0057	0,0190	-0,3221
18	-0,0066	-0,0013	0,0345	-0,3085
19	-0,0088	0,0036	0,0200	0,0138
20	-0,0053	0,0014	0,0305	0,0270
21	0,0127	0,0998		
22	0,0169	0,0952		
23	-0,0081			
24	-0,0176			
Mittelwert	0,0088	0,0424	0,0453	0,0467
Standardabweichung	0,0198	0,1662	0,0964	0,1761
Median	0,0081	-0,0013	0,0131	0,0149
Minimum	-0,0189	-0,3123	-0,0039	-0,3221
Maximum	0,0607	0,3535	0,3260	0,3436

Meßpunkt 1: Gesamtveränderung [mm]

Zahn Nr.	Gruppe I	Gruppe II	Gruppe III	Gruppe IV
1	0,1252	0,4105	0,1604	0,0264
2	0,1154	0,4038	0,1222	0,0752
3	0,0285	0,1521	0,2856	3,6077
4	0,2493	0,0903	3,2743	0,9285
5	0,0514	0,2814	3,6990	0,3232
6	0,3225	0,2366	0,1905	0,3246
7	0,4515	0,1804	0,0562	0,1061
8	0,2893	0,0937	0,0750	0,0907
9	0,1677	0,1278	0,3733	0,4464
10	0,1603	0,2583	0,3502	0,4037
11	0,0794	0,3314	0,0902	0,2706
12	0,2308	0,4529	0,1459	0,1685
13	0,1040	0,3288	0,0564	0,0572
14	0,0535	0,3077	0,1750	0,2710
15	0,0522	0,1521	0,2306	0,1319
16	0,1466	0,1351	0,0902	0,1867
17	3,7397	0,0256	0,1134	0,3921
18	1,5502	0,0500	0,1835	0,4881
19	0,0265	0,0708	0,2025	0,2466
20	0,4316	0,1414	0,0770	0,0568
21	0,4102	0,2249		
22	0,2931	0,1649		
23	0,2501			
24	0,1425			
Mittelwert	0,3946	0,2100	0,4976	0,4301
Standardabweichung	0,7749	0,1229	1,0285	0,7767
Median	0,1640	0,1726	0,1677	0,2586
Minimum	0,0265	0,0256	0,0562	0,0264
Maximum	3,7397	0,4529	3,6990	3,6077

Meßpunkt 2: Tiefe [mm]

Zahn Nr.	Gruppe I	Gruppe II	Gruppe III	Gruppe IV
1	-0,125	-0,150	-0,200	-0,025
2	-0,150	-0,125	-0,425	-0,025
3	0,025	0,025	-0,075	-3,475
4	0,000	-0,025	-3,150	-0,150
5	0,100	-0,225	-3,775	0,025
6	-0,075	-0,050	0,025	-0,050
7	-0,075	-0,100	-0,100	-0,025
8	-0,175	0,000	-0,150	-0,050
9	-0,100	-0,075	-0,175	-0,275
10	0,100	0,025	0,275	-0,300
11	0,000	-0,025	-0,300	-0,125
12	0,025	0,075	0,000	-0,200
13	-0,025	-0,225	0,200	-0,050
14	-0,325	0,000	0,625	0,000
15	0,025	0,075	-0,175	-0,150
16	0,100	0,050	0,000	0,025
17	-3,675	-0,100	-0,150	-0,075
18	-0,025	-0,200	0,125	-0,125
19	-0,125	-0,025	-0,050	0,050
20	-0,275	-0,100	-0,100	0,025
21	-0,100	0,075		
22	-0,025	0,050		
23	0,050			
24	0,150			
Mittelwert	-0,196	-0,048	-0,379	-0,249
Standardabweichung	0,750	0,096	1,083	0,766
Median	-0,025	-0,025	-0,100	-0,050
Minimum	-3,675	-0,225	-3,775	-3,475
Maximum	0,150	0,075	0,625	0,050

Meßpunkt 2: Breite [mm]

Zahn Nr.	Gruppe I	Gruppe II	Gruppe III	Gruppe IV
1	-0,175	-0,150	0,125	-0,100
2	0,050	-0,050	0,250	0,250
3	-0,175	-0,125	0,150	0,650
4	0,100	0,025	0,775	-0,750
5	-0,175	0,175	1,000	-0,050
6	-0,025	-0,125	0,025	0,100
7	0,050	0,050	-0,050	-0,025
8	0,000	-0,400	0,000	0,350
9	-0,025	-0,050	-0,025	-0,075
10	0,125	0,250	2,150	-0,225
11	-0,025	0,025	-0,025	0,050
12	-0,100	0,175	0,000	7,725
13	0,050	0,000	-0,100	-0,225
14	0,325	-0,150	-0,125	0,250
15	0,150	0,225	-0,050	0,025
16	-0,200	0,000	0,000	0,050
17	1,625	-0,125	0,025	-0,150
18	0,075	0,125	0,550	-0,100
19	0,150	-0,075	0,000	0,075
20	-0,050	0,100	0,075	0,275
21	-0,325	0,175		
22	-0,025	-0,075		
23	-0,075			
24	4,825			
Mittelwert	0,256	0,000	0,238	0,405
Standardabweichung	1,038	0,155	0,540	1,745
Median	-0,013	0,000	0,013	0,038
Minimum	-0,325	-0,400	-0,125	-0,750
Maximum	4,825	0,250	2,150	7,725

Meßpunkt 2: Höhe [mm]

Zahn Nr.	Gruppe I	Gruppe II	Gruppe III	Gruppe IV
1	0,01038	0,32388	0,02371	0,02471
2	0,02925	0,33875	0,06067	0,02529
3	-0,01000	-0,00338	0,01054	0,02229
4	0,03758	-0,00854	0,01842	0,02400
5	-0,00025	-0,01488	0,01317	0,32608
6	0,02242	0,00438	0,01142	0,32721
7	0,02313	-0,00763	0,00854	-0,00088
8	0,06642	-0,02738	0,00171	0,00817
9	0,00675	-0,00213	0,32646	0,34333
10	0,01129	0,00071	0,32250	0,32113
11	0,00938	0,32350	0,00358	0,00967
12	0,01763	0,33463	0,00021	0,02454
13	-0,00875	-0,31025	0,01392	0,01513
14	-0,01067	-0,19513	0,00892	0,01058
15	0,00663	0,00575	0,00213	0,07975
16	0,00350	0,01546	-0,00263	0,04675
17	-0,00646	-0,00117	0,01325	-0,32188
18	0,00388	0,00175	0,03621	-0,31071
19	0,00000	0,00308	0,01300	0,00679
20	-0,00450	-0,00038	0,02954	0,02150
21	0,01067	0,10475		
22	0,01413	0,10471		
23	-0,01208			
24	-0,02033			
Mittelwert	0,00833	0,04502	0,04576	0,05017
Standardabweichung	0,01868	0,16174	0,09641	0,17721
Median	0,00669	0,00123	0,01308	0,02315
Minimum	-0,02033	-0,31025	-0,00263	-0,32188
Maximum	0,06642	0,33875	0,32646	0,34333

Meßpunkt 2: Gesamtveränderung [mm]

Zahn Nr.	Gruppe I	Gruppe II	Gruppe III	Gruppe IV
1	0,21531	0,38716	0,23704	0,10600
2	0,16080	0,36452	0,49680	0,25252
3	0,17706	0,12752	0,16804	3,53534
4	0,10683	0,03637	3,24399	0,76523
5	0,20156	0,28543	3,90523	0,33084
6	0,08217	0,13470	0,03715	0,34578
7	0,09306	0,11206	0,11213	0,03537
8	0,18718	0,40094	0,15001	0,35365
9	0,10330	0,09016	0,37125	0,44624
10	0,16048	0,25125	2,19138	0,49371
11	0,02670	0,32543	0,30106	0,13498
12	0,10457	0,38500	0,00021	7,72763
13	0,05658	0,38325	0,22404	0,23098
14	0,45974	0,24612	0,63744	0,25022
15	0,15221	0,23724	0,18202	0,17171
16	0,22363	0,05234	0,00263	0,07287
17	4,01824	0,16008	0,15265	0,36294
18	0,07915	0,23586	0,56519	0,34952
19	0,19526	0,07912	0,05166	0,09039
20	0,27954	0,14142	0,12844	0,27697
21	0,34020	0,21731		
22	0,03807	0,13816		
23	0,09095			
24	4,82737			
Mittelwert	0,51583	0,21779	0,65792	0,81664
Standardabweichung	1,21322	0,11861	1,10898	1,78949
Median	0,16064	0,22658	0,20303	0,30391
Minimum	0,02670	0,03637	0,00021	0,03537
Maximum	4,82737	0,40094	3,90523	7,72763

Meßpunkt 3: Tiefe [mm]

Zahn Nr.	Gruppe I	Gruppe II	Gruppe III	Gruppe IV
1	-0,050	0,175	0,300	0,075
2	0,075	0,025	0,875	0,000
3	0,000	0,025	0,150	0,175
4	0,150	-0,025	-0,050	-0,125
5	0,150	0,025	-0,150	-0,100
6	0,200	0,150	0,200	-0,050
7	0,250	0,175	0,025	0,025
8	0,025	-0,100	-0,150	0,050
9	0,025	-0,200	-0,225	-0,175
10	-0,025	0,050	-0,150	-0,125
11	0,175	0,000	-0,025	0,050
12	0,175	-0,050	-0,025	0,125
13	0,225	0,025	0,025	0,225
14	0,000	0,050	-0,175	-0,100
15	0,275	0,025	-0,225	0,025
16	-0,100	-0,050	-0,275	-0,025
17	-0,450	-0,175	0,000	-0,350
18	0,000	-0,050	-0,075	-0,125
19	0,425	-0,200	-0,100	0,075
20	0,050	0,000	0,150	0,100
21	0,150	0,000		
22	-0,050	0,000		
23	-0,025			
24	0,150			
Mittelwert	0,075	-0,006	0,005	-0,013
Standardabweichung	0,169	0,102	0,255	0,135
Median	0,063	0,000	-0,038	0,013
Minimum	-0,450	-0,200	-0,275	-0,350
Maximum	0,425	0,175	0,875	0,225

Meßpunkt 3: Breite [mm]

Zahn Nr.	Gruppe I	Gruppe II	Gruppe III	Gruppe IV
1	0,0131	0,3331	0,0332	0,0142
2	0,0205	0,3353	0,0522	0,0055
3	-0,0145	-0,0024	0,0143	0,0135
4	0,0451	0,0000	0,0227	0,0128
5	0,0140	-0,0229	0,0042	0,3226
6	0,0314	-0,0129	0,0199	0,3285
7	0,0274	-0,0106	0,0070	0,0021
8	0,0617	-0,0271	0,0032	0,0144
9	-0,0005	-0,0101	0,3315	0,3563
10	0,0200	-0,0150	0,3213	0,3204
11	0,0069	0,3265	0,0033	0,0109
12	0,0246	0,3289	0,0042	0,0360
13	-0,0055	-0,3060	0,0002	0,0101
14	-0,0074	-0,1906	0,0202	0,0043
15	0,0124	0,0053	0,0009	0,0728
16	0,0190	0,0122	-0,0089	0,0465
17	-0,0010	-0,0034	0,0178	-0,3241
18	-0,0074	-0,0193	0,0242	-0,3095
19	-0,0045	0,0111	0,0233	0,0175
20	-0,0250	-0,0136	0,0185	0,0225
21	0,0094	0,0995		
22	0,0236	0,0910		
23	-0,0001			
24	-0,0266			
Mittelwert	0,0099	0,0413	0,0457	0,0489
Standardabweichung	0,0208	0,1621	0,0970	0,1785
Median	0,0109	-0,0029	0,0181	0,0143
Minimum	-0,0266	-0,3060	-0,0089	-0,3241
Maximum	0,0617	0,3353	0,3315	0,3563

Meßpunkt 3: Höhe [mm]

Zahn Nr.	Gruppe I	Gruppe II	Gruppe III	Gruppe IV
1	-0,0250	-0,0500	-0,0750	-0,0250
2	-0,1000	0,0000	-0,1750	-0,0500
3	0,0000	0,0250	0,0500	0,0000
4	0,1750	0,0250	0,0250	-0,0250
5	0,0750	-0,2500	-0,1000	0,0000
6	-0,1250	-0,1250	0,0500	0,0000
7	-0,0250	-0,1000	-0,0250	-0,0500
8	-0,1750	-0,0250	-0,1000	-0,0500
9	0,0250	-0,1750	-0,1000	-0,1750
10	0,1000	-0,0500	0,0750	-0,2750
11	0,0500	0,0250	-0,1250	0,0500
12	0,1000	0,1250	0,0250	-0,0750
13	0,0250	-0,1750	0,1250	-0,0500
14	-0,1500	-0,0500	0,2750	-0,0500
15	-0,0250	0,0500	-0,1750	-0,0500
16	0,1000	0,0750	0,0250	0,3000
17	-0,2000	-0,0500	-0,1000	-0,1000
18	0,0000	-0,1000	0,1000	-0,1000
19	-0,0500	-0,0500	-0,0750	-0,0250
20	0,0750	0,0000	-0,0250	0,0250
21	0,1000	0,1250		
22	0,1250	0,0000		
23	0,1000			
24	0,0250			
Mittelwert	0,0083	-0,0341	-0,0163	-0,0363
Standardabweichung	0,1007	0,0947	0,1119	0,1065
Median	0,0250	-0,0375	-0,0250	-0,0500
Minimum	-0,2000	-0,2500	-0,1750	-0,2750
Maximum	0,1750	0,1250	0,2750	0,3000

Meßpunkt 3: Gesamtveränderung [mm]

Zahn Nr.	Gruppe I	Gruppe II	Gruppe III	Gruppe IV
1	0,0574	0,3796	0,3110	0,0803
2	0,1267	0,3362	0,8939	0,0503
3	0,0145	0,0354	0,1588	0,1755
4	0,2349	0,0354	0,0603	0,1281
5	0,1683	0,2523	0,1803	0,3377
6	0,2379	0,1957	0,2071	0,3322
7	0,2527	0,2018	0,0360	0,0559
8	0,1872	0,1066	0,1803	0,0722
9	0,0354	0,2659	0,4129	0,4338
10	0,1050	0,0723	0,3624	0,4403
11	0,1821	0,3275	0,1275	0,0715
12	0,2031	0,3554	0,0356	0,1502
13	0,2265	0,3534	0,1275	0,2307
14	0,1502	0,2033	0,3266	0,1119
15	0,2764	0,0561	0,2850	0,0917
16	0,1427	0,0910	0,2763	0,3046
17	0,4924	0,1820	0,1016	0,4874
18	0,0074	0,1134	0,1273	0,3484
19	0,4280	0,2065	0,1271	0,0810
20	0,0935	0,0136	0,1532	0,1055
21	0,1805	0,1598		
22	0,1367	0,0910		
23	0,1031			
24	0,1544			
Mittelwert	0,1749	0,1834	0,2245	0,2045
Standardabweichung	0,1146	0,1162	0,1908	0,1462
Median	0,1613	0,1889	0,1695	0,1391
Minimum	0,0074	0,0136	0,0356	0,0503
Maximum	0,4924	0,3796	0,8939	0,4874

Meßpunkt 4: Tiefe [mm]

Zahn Nr.	Gruppe I	Gruppe II	Gruppe III	Gruppe IV
1	0,0104	0,3314	0,0285	0,0185
2	0,0218	0,3408	0,1564	0,0140
3	0,0043	-0,0031	0,0185	0,0160
4	0,0393	-0,0018	0,0232	0,0220
5	0,0070	-0,0269	0,0014	0,3238
6	0,0334	-0,0111	0,0304	0,3227
7	0,0381	-0,0119	0,0093	0,0101
8	0,0547	-0,0249	0,0067	0,0037
9	0,0048	-0,0071	0,3295	0,3423
10	0,0023	-0,0225	0,3263	0,3186
11	0,0126	0,3270	0,0026	0,0102
12	0,0134	0,3396	0,0035	0,0178
13	-0,0138	-0,3098	0,0127	0,0089
14	-0,0237	-0,1939	0,0107	0,0121
15	0,0289	0,0060	0,0156	0,0675
16	0,0285	0,0085	-0,0056	0,0490
17	-0,0015	-0,0049	0,0078	0,3646
18	0,0014	0,0055	0,0307	-0,3177
19	0,0100	0,0106	-0,0082	-0,0037
20	0,0048	0,0029	0,0328	0,0293
21	0,0172	0,1173		
22	0,0356	0,1027		
23	-0,0038			
24	-0,0113			
Mittelwert	0,0131	0,0443	0,0516	0,0815
Standardabweichung	0,0189	0,1641	0,1004	0,1684
Median	0,0102	0,0005	0,0141	0,0181
Minimum	-0,0237	-0,3098	-0,0082	-0,3177
Maximum	0,0547	0,3408	0,3295	0,3646

Meßpunkt 4: Breite [mm]

Zahn Nr.	Gruppe I	Gruppe II	Gruppe III	Gruppe IV
1	-0,025	-0,050	-0,075	-0,025
2	-0,100	0,000	-0,175	-0,050
3	0,000	0,025	0,050	0,000
4	0,175	0,025	0,025	-0,025
5	0,075	-0,250	-0,100	0,000
6	-0,125	-0,125	0,050	0,000
7	-0,025	-0,100	-0,025	0,000
8	-0,175	-0,025	-0,100	-0,050
9	0,025	-0,175	-0,100	-0,175
10	0,100	-0,050	0,075	-0,275
11	0,050	-0,025	-0,125	0,050
12	0,100	0,125	0,025	-0,075
13	0,025	-0,175	0,125	-0,050
14	-0,150	-0,050	0,275	-0,050
15	-0,025	0,050	-0,175	-0,050
16	0,100	0,075	0,025	0,100
17	-0,200	-0,050	-0,100	-0,100
18	0,000	-0,100	0,100	-0,100
19	-0,050	-0,050	-0,075	-0,025
20	0,075	0,000	-0,025	0,025
21	0,100	0,125		
22	0,125	0,000		
23	0,100			
24	0,025			
Mittelwert	0,008	-0,036	-0,016	-0,044
Standardabweichung	0,101	0,094	0,112	0,080
Median	0,025	-0,038	-0,025	-0,038
Minimum	-0,200	-0,250	-0,175	-0,275
Maximum	0,175	0,125	0,275	0,100

Meßpunkt 4: Höhe [mm]

Zahn Nr.	Gruppe I	Gruppe II	Gruppe III	Gruppe IV
1	-0,325	-0,050	-0,300	0,025
2	0,000	0,025	0,025	0,025
3	0,000	0,025	0,025	-0,175
4	-0,025	0,000	0,100	0,000
5	-0,300	-0,150	-0,025	0,000
6	-0,100	0,000	0,000	0,000
7	-0,250	0,000	0,000	-0,025
8	0,100	0,000	0,000	0,025
9	0,125	0,050	-0,050	-0,075
10	0,025	0,125	-0,125	-0,100
11	-0,025	-0,075	0,125	-0,125
12	0,000	0,025	-0,075	0,075
13	0,150	-0,150	0,050	-0,050
14	0,200	-0,075	-0,025	0,025
15	0,000	0,100	0,125	-0,025
16	0,275	-0,050	-0,025	0,125
17	0,000	-0,050	0,200	-0,225
18	1,800	-0,050	0,100	-0,175
19	0,075	-0,025	0,100	0,025
20	-0,050	0,100	0,050	2,550
21	-0,225	0,200		
22	0,025	0,050		
23	0,000			
24	0,000			
Mittelwert	0,061	0,001	0,014	0,095
Standardabweichung	0,398	0,084	0,107	0,585
Median	0,000	0,000	0,013	0,000
Minimum	-0,325	-0,150	-0,300	-0,225
Maximum	1,800	0,200	0,200	2,550

Meßpunkt 4: Gesamtveränderung [mm]

Zahn Nr.	Gruppe I	Gruppe II	Gruppe III	Gruppe IV
1	0,3261	0,3388	0,3105	0,0399
2	0,1023	0,3417	0,2360	0,0576
3	0,0043	0,0355	0,0589	0,1757
4	0,1811	0,0251	0,1056	0,0333
5	0,3093	0,2928	0,1031	0,3238
6	0,1635	0,1255	0,0585	0,3227
7	0,2541	0,1007	0,0267	0,0270
8	0,2088	0,0353	0,1002	0,0560
9	0,1276	0,1821	0,3479	0,3917
10	0,1031	0,1365	0,3573	0,4326
11	0,0573	0,3364	0,1768	0,1350
12	0,1009	0,3628	0,0791	0,1075
13	0,1527	0,3861	0,1352	0,0713
14	0,2511	0,2138	0,2763	0,0572
15	0,0382	0,1120	0,2156	0,0876
16	0,2940	0,0905	0,0358	0,1674
17	0,2000	0,0709	0,2237	0,4400
18	1,7996	0,1119	0,1447	0,3762
19	0,0907	0,0569	0,1253	0,0355
20	0,0903	0,1000	0,0648	2,5503
21	0,2468	0,2634		
22	0,1324	0,1142		
23	0,1001			
24	0,0274			
Mittelwert	0,2234	0,1742	0,1591	0,2944
Standardabweichung	0,3477	0,1203	0,1038	0,5511
Median	0,1425	0,1199	0,1302	0,1213
Minimum	0,0043	0,0251	0,0267	0,0270
Maximum	1,7996	0,3861	0,3573	2,5503

Meßpunkt 5: Tiefe [mm]

Zahn Nr.	Gruppe I	Gruppe II	Gruppe III	Gruppe IV
1	0,002	0,001	0,001	0,000
2	-0,001	0,003	0,003	-0,002
3	0,000	0,001	0,004	0,088
4	-0,003	0,002	0,079	0,002
5	0,001	-0,007	0,090	0,000
6	-0,005	-0,005	0,002	0,001
7	0,001	-0,003	-0,001	-0,002
8	-0,005	-0,002	-0,002	-0,001
9	0,004	-0,003	-0,001	-0,002
10	0,003	-0,003	-0,003	-0,006
11	0,002	-0,001	0,001	0,006
12	0,004	0,004	0,002	0,002
13	0,003	-0,003	0,001	-0,001
14	0,000	-0,003	0,000	-0,006
15	-0,001	0,001	-0,004	0,001
16	0,002	0,003	0,001	0,004
17	0,081	0,000	-0,001	-0,003
18	0,001	0,000	-0,004	-0,001
19	0,000	-0,001	-0,003	-0,003
20	0,011	0,003	0,001	0,001
21	0,008	0,005		
22	0,007	-0,001		
23	0,004			
24	-0,003			
Mittelwert	0,005	0,000	0,008	0,004
Standardabweichung	0,017	0,003	0,026	0,020
Median	0,002	0,000	0,001	-0,001
Minimum	-0,005	-0,007	-0,004	-0,006
Maximum	0,081	0,005	0,090	0,088

Meßpunkt 5: Breite [mm]

Zahn Nr.	Gruppe I	Gruppe II	Gruppe III	Gruppe IV
1	-0,003	0,006	-0,004	-0,001
2	-0,003	-0,004	0,001	0,000
3	-0,001	-0,004	0,006	-0,022
4	0,006	-0,001	-0,020	0,023
5	0,000	0,001	-0,021	-0,001
6	0,006	-0,003	0,004	0,001
7	-0,011	-0,004	-0,001	-0,002
8	-0,005	0,001	0,000	0,002
9	-0,002	-0,001	-0,004	-0,007
10	0,003	-0,006	0,001	0,003
11	-0,001	-0,001	-0,002	-0,004
12	0,004	-0,006	-0,003	0,004
13	0,001	0,001	0,001	-0,001
14	0,001	-0,005	0,004	-0,004
15	0,000	-0,004	-0,004	0,003
16	-0,003	-0,001	-0,002	0,001
17	-0,046	-0,001	-0,003	-0,005
18	-0,039	-0,001	0,003	-0,009
19	-0,001	0,001	-0,004	0,006
20	-0,002	-0,003	-0,001	0,000
21	-0,006	0,001		
22	-0,003	0,003		
23	-0,005			
24	-0,003			
Mittelwert	-0,005	-0,001	-0,002	-0,001
Standardabweichung	0,012	0,003	0,007	0,008
Median	-0,002	-0,001	-0,002	0,000
Minimum	-0,046	-0,006	-0,021	-0,022
Maximum	0,006	0,006	0,006	0,023

Meßpunkt 5: Höhe [mm]

Zahn Nr.	Gruppe I	Gruppe II	Gruppe III	Gruppe IV
1	0,000	0,008	0,001	0,000
2	0,001	0,009	0,001	0,000
3	0,000	0,000	0,000	0,000
4	0,001	0,000	0,001	0,001
5	0,000	-0,001	0,000	0,008
6	0,001	0,000	0,000	0,008
7	0,001	0,000	0,000	0,000
8	0,002	-0,001	0,000	0,000
9	0,000	0,000	0,008	0,009
10	0,000	-0,001	0,008	0,008
11	0,000	0,008	0,000	0,000
12	0,000	0,008	0,000	0,000
13	0,000	-0,008	0,000	0,000
14	0,000	-0,005	0,000	0,000
15	0,000	0,000	0,000	0,002
16	0,000	0,000	0,000	0,001
17	0,000	0,000	0,000	-0,008
18	0,000	0,000	0,001	-0,008
19	0,000	0,000	0,001	0,000
20	0,000	0,000	0,001	0,001
21	0,000	0,002		
22	0,000	0,002		
23	0,000			
24	0,000			
Mittelwert	0,000	0,001	0,001	0,001
Standardabweichung	0,000	0,004	0,002	0,004
Median	0,000	0,000	0,000	0,000
Minimum	0,000	-0,008	0,000	-0,008
Maximum	0,002	0,009	0,008	0,009

Meßpunkt 5: Gesamtveränderung [mm]

Zahn Nr.	Gruppe I	Gruppe II	Gruppe III	Gruppe IV
1	0,003	0,010	0,004	0,001
2	0,003	0,010	0,003	0,002
3	0,001	0,004	0,007	0,090
4	0,006	0,002	0,082	0,023
5	0,001	0,007	0,092	0,008
6	0,008	0,006	0,005	0,008
7	0,011	0,005	0,001	0,003
8	0,007	0,002	0,002	0,002
9	0,004	0,003	0,009	0,011
10	0,004	0,006	0,009	0,010
11	0,002	0,008	0,002	0,007
12	0,006	0,011	0,004	0,004
13	0,003	0,008	0,001	0,001
14	0,001	0,008	0,004	0,007
15	0,001	0,004	0,006	0,003
16	0,004	0,003	0,002	0,005
17	0,093	0,001	0,003	0,010
18	0,039	0,001	0,005	0,012
19	0,001	0,002	0,005	0,006
20	0,011	0,004	0,002	0,001
21	0,010	0,006		
22	0,007	0,004		
23	0,006			
24	0,004			
Mittelwert	0,010	0,005	0,012	0,011
Standardabweichung	0,019	0,003	0,026	0,019
Median	0,004	0,004	0,004	0,006
Minimum	0,001	0,001	0,001	0,001
Maximum	0,093	0,011	0,092	0,090

Alle Meßpunkte: Gesamtveränderung [mm]

Zahn Nr.	Gruppe I	Gruppe II	Gruppe III	Gruppe IV
1	0,727	1,526	1,023	0,253
2	0,508	1,456	1,752	0,438
3	0,225	0,354	0,678	7,585
4	0,778	0,189	6,766	1,878
5	0,732	1,119	7,980	1,324
6	0,814	0,698	0,498	1,333
7	1,063	0,599	0,232	0,227
8	0,880	0,639	0,507	0,575
9	0,438	0,669	1,515	1,729
10	0,533	0,725	3,270	1,780
11	0,348	1,329	0,698	0,619
12	0,645	1,567	0,264	8,158
13	0,542	1,460	0,545	0,592
14	0,916	0,979	1,420	0,697
15	0,520	0,561	0,919	0,486
16	0,811	0,372	0,407	0,736
17	8,544	0,439	0,594	1,692
18	3,475	0,513	1,025	1,575
19	0,741	0,415	0,512	0,460
20	0,906	0,400	0,425	2,991
21	1,188	0,871		
22	0,608	0,512		
23	0,550			
24	5,155			
Mittelwert	1,319	0,791	1,552	1,756
Standardabweichung	1,877	0,432	2,117	2,209
Median	0,736	0,654	0,688	1,030
Minimum	0,225	0,189	0,232	0,227
Maximum	8,544	1,567	7,980	8,158

9.2 Abkürzungsverzeichnis

AA	.....	Acrylsäure (acrylic acid)
ANOVA	.....	analysis of variance
BisGMA	.....	Bisphenol-A-Glycidylmethacrylat
CAD/CAM	.....	computer aided design/computer assisted manufacturing
CEREC	.....	ceramic reconstruction
CT	.....	Computertomographie
DF	.....	Deckfüllung
HEMA	.....	Hydroxiethyl-Methacrylat
HK	.....	Hybridkomposit
HMK	.....	homogenes Mikrofüllerkomposit
IMK	.....	inhomogenes Mikrofüllerkomposit
ISO	.....	International Organization for Standardization
KK	.....	konventionelles Komposit
LED	.....	Leuchtdiode (light emitting diode)
MAA	.....	Methacrylsäure
Max	.....	Maximum
MB	.....	Megabyte
META	.....	Methacryloyloxyethyl-trimellit-at-anhydrid
Min	.....	Minimum
MMA	.....	Methacrylsäure-Methylester
mo	.....	mesial-okklusal
MRT	.....	Magnetresonanztomographie
NPGGMA	.....	N-Phenyl-glycin-glycidyl-methacrylat
n.s.	.....	nicht signifikant
od	.....	okklusal-distal
OK	.....	Oberkiefer
PMMA	.....	Polymethylmethacrylat
RVO	.....	Reichsversicherungsordnung
sec.	.....	Sekunden
TEGDMA	.....	Triethyleneglycol-Dimethacrylat
UDMA	.....	Urethandimethacrylat

UF	.....	Unterfüllung
UK	.....	Unterkiefer
vgl.	.....	vergleiche
Vol.-%	.....	Volumenprozent

9.3 Verzeichnis der Tabellen und Abbildungen

TABELLE 1: CHEMISCHE ZUSAMMENSETZUNG DER VERWENDETEN FÜLLUNGSMATERIALIEN	25
TABELLE 2: PHYSIKALISCHE EIGENSCHAFTEN DER UNTERSUCHTEN TETRIC-KOMPOSITE (OEHRI 1999, 2000).....	26
TABELLE 3: PHYSIKALISCHE EIGENSCHAFTEN VON REBILDA LC (VOCO INFORMATION WV.RBL.9901/I)	26
TABELLE 4: SCHRITTE BEI DER VERARBEITUNG IN DEN EINZELNEN GRUPPEN	36
TABELLE 5: GEGENÜBERSTELLUNG STATISTISCHER KENNGRÖßEN DER REVISIONSZEITEN IN DEN VIER GRUPPEN	47
TABELLE 6: ERGEBNISSE DES KRUSKAL-WALLIS-POST-HOC-TESTS ZUM PAARWEISEN VERGLEICH DER VIER GRUPPEN HINSICHTLICH DER MITTLEREN REVISIONSZEITEN. ANGEGEBEN SIND OBERHALB DER HAUPTDIAGONALEN DIE MITTLEREN ABSOLUTE RANGDIFFERENZEN ZWISCHEN DEN VERSCHIEDENEN GRUPPEN UND UNTERHALB DER HAUPTDIAGONALEN DAS SIGNIFIKANZNIVEAU DER VERGLEICHE (N.S. – NICHT SIGNIFIKANT ($P \geq 0,10$); ° – $P < 0,10$; * – $P < 0,05$; ** – $P < 0,01$; *** – $P < 0,001$).....	47
TABELLE 7: GEGENÜBERSTELLUNG STATISTISCHER KENNGRÖßEN DER TIEFENÄNDERUNG (MM) IN DEN VIER GRUPPEN	49
TABELLE 8: ERGEBNISSE DES KRUSKAL-WALLIS-POST-HOC-TESTS ZUM PAARWEISEN VERGLEICH DER VIER GRUPPEN HINSICHTLICH DER MITTLEREN TIEFE AM MEßPUNKT 1. ANGEGEBEN SIND OBERHALB DER HAUPTDIAGONALEN DIE MITTLEREN ABSOLUTEN RANGDIFFERENZEN ZWISCHEN DEN VERSCHIEDENEN GRUPPEN UND UNTERHALB DER HAUPTDIAGONALEN DAS SIGNIFIKANZNIVEAU DER VERGLEICHE (N.S. – NICHT SIGNIFIKANT ($P \geq 0,10$); ° – $P < 0,10$; * – $P < 0,05$; ** – $P < 0,01$; *** – $P < 0,001$).....	49

TABELLE 9: GEGENÜBERSTELLUNG STATISTISCHER KENNGRÖßEN DER BREITENÄNDERUNG (MM) IN DEN VIER GRUPPEN	50
TABELLE 10: ERGEBNISSE DES KRUSKAL-WALLIS-POST-HOC-TESTS ZUM PAARWEISEN VERGLEICH DER VIER GRUPPEN HINSICHTLICH DER MITTLEREN BREITE AM MEßPUNKT 1. ANGEGBEN SIND OBERHALB DER HAUPTDIAGONALEN DIE MITTLEREN ABSOLUTEN RANGDIFFERENZEN ZWISCHEN DEN VERSCHIEDENEN GRUPPEN UND UNTERHALB DER HAUPTDIAGONALEN DAS SIGNIFIKANZNIVEAU DER VERGLEICHE (N.S. – NICHT SIGNIFIKANT ($P \geq 0,10$); ° – $P < 0,10$; * – $P < 0,05$; ** – $P < 0,01$; *** – $P < 0,001$).	51
TABELLE 11: GEGENÜBERSTELLUNG STATISTISCHER KENNGRÖßEN DER HÖHENÄNDERUNG (MM) IN DEN VIER GRUPPEN	51
TABELLE 12: ERGEBNISSE DES KRUSKAL-WALLIS-POST-HOC-TESTS ZUM PAARWEISEN VERGLEICH DER VIER GRUPPEN HINSICHTLICH DER MITTLEREN HÖHE AM MEßPUNKT 1. ANGEGBEN SIND OBERHALB DER HAUPTDIAGONALEN DIE MITTLEREN ABSOLUTEN RANGDIFFERENZEN ZWISCHEN DEN VERSCHIEDENEN GRUPPEN UND UNTERHALB DER HAUPTDIAGONALEN DAS SIGNIFIKANZNIVEAU DER VERGLEICHE (N.S. – NICHT SIGNIFIKANT ($P \geq 0,10$); ° – $P < 0,10$; * – $P < 0,05$; ** – $P < 0,01$; *** – $P < 0,001$).	52
TABELLE 13: GEGENÜBERSTELLUNG STATISTISCHER KENNGRÖßEN DER GESAMTÄNDERUNG (MM) IN DEN VIER GRUPPEN	54
TABELLE 14: ERGEBNISSE DES KRUSKAL-WALLIS-POST-HOC-TESTS ZUM PAARWEISEN VERGLEICH DER VIER GRUPPEN HINSICHTLICH DER MITTLEREN GESAMTVERÄNDERUNG AM MEßPUNKT 1. ANGEGBEN SIND OBERHALB DER HAUPTDIAGONALEN DIE MITTLEREN ABSOLUTEN RANGDIFFERENZEN ZWISCHEN DEN VERSCHIEDENEN GRUPPEN UND UNTERHALB DER HAUPTDIAGONALEN DAS SIGNIFIKANZNIVEAU DER VERGLEICHE (N.S. – NICHT SIGNIFIKANT ($P \geq 0,10$); ° – $P < 0,10$; * – $P < 0,05$; ** – $P < 0,01$; *** – $P < 0,001$).	54
TABELLE 15: GEGENÜBERSTELLUNG STATISTISCHER KENNGRÖßEN DER TIEFENÄNDERUNG (MM) IN DEN VIER GRUPPEN	56
TABELLE 16: ERGEBNISSE DES KRUSKAL-WALLIS-POST-HOC-TESTS ZUM PAARWEISEN VERGLEICH DER VIER GRUPPEN HINSICHTLICH DER MITTLEREN TIEFE AM MEßPUNKT 2. ANGEGBEN SIND OBERHALB DER HAUPTDIAGONALEN DIE MITTLEREN ABSOLUTEN RANGDIFFERENZEN ZWISCHEN DEN VERSCHIEDENEN GRUPPEN UND UNTERHALB DER HAUPTDIAGONALEN DAS SIGNIFIKANZNIVEAU DER VERGLEICHE (N.S. – NICHT SIGNIFIKANT ($P \geq 0,10$); ° – $P < 0,10$; * – $P < 0,05$; ** – $P < 0,01$; *** – $P < 0,001$).	56
TABELLE 17: GEGENÜBERSTELLUNG STATISTISCHER KENNGRÖßEN DER BREITENÄNDERUNG (MM) IN DEN VIER GRUPPEN.....	57

TABELLE 18:	ERGEBNISSE DES KRUSKAL-WALLIS-POST-HOC-TESTS ZUM PAARWEISEN VERGLEICH DER VIER GRUPPEN HINSICHTLICH DER MITTLEREN BREITE AM MEßPUNKT 2. ANGEGBEN SIND OBERHALB DER HAUPTDIAGONALEN DIE MITTLEREN ABSOLUTEN RANGDIFFERENZEN ZWISCHEN DEN VERSCHIEDENEN GRUPPEN UND UNTERHALB DER HAUPTDIAGONALEN DAS SIGNIFIKANZNIVEAU DER VERGLEICHE (N.S. – NICHT SIGNIFIKANT ($P \geq 0,10$); ° – $P < 0,10$; * – $P < 0,05$; ** – $P < 0,01$; *** – $P < 0,001$).	58
TABELLE 19:	GEGENÜBERSTELLUNG STATISTISCHER KENNGRÖßEN DER HÖHENÄNDERUNG (MM) IN DEN VIER GRUPPEN	58
TABELLE 20:	ERGEBNISSE DES KRUSKAL-WALLIS-POST-HOC-TESTS ZUM PAARWEISEN VERGLEICH DER VIER GRUPPEN HINSICHTLICH DER MITTLEREN HÖHE AM MEßPUNKT 2. ANGEGBEN SIND OBERHALB DER HAUPTDIAGONALEN DIE MITTLEREN ABSOLUTEN RANGDIFFERENZEN ZWISCHEN DEN VERSCHIEDENEN GRUPPEN UND UNTERHALB DER HAUPTDIAGONALEN DAS SIGNIFIKANZNIVEAU DER VERGLEICHE (N.S. – NICHT SIGNIFIKANT ($P \geq 0,10$); ° – $P < 0,10$; * – $P < 0,05$; ** – $P < 0,01$; *** – $P < 0,001$).	59
TABELLE 21:	GEGENÜBERSTELLUNG STATISTISCHER KENNGRÖßEN DER GESAMTÄNDERUNG (MM) IN DEN VIER GRUPPEN	61
TABELLE 22:	ERGEBNISSE DES KRUSKAL-WALLIS-POST-HOC-TESTS ZUM PAARWEISEN VERGLEICH DER VIER GRUPPEN HINSICHTLICH DER MITTLEREN GESAMTVERÄNDERUNG AM MEßPUNKT 2. ANGEGBEN SIND OBERHALB DER HAUPTDIAGONALEN DIE MITTLEREN ABSOLUTEN RANGDIFFERENZEN ZWISCHEN DEN VERSCHIEDENEN GRUPPEN UND UNTERHALB DER HAUPTDIAGONALEN DAS SIGNIFIKANZNIVEAU DER VERGLEICHE (N.S. – NICHT SIGNIFIKANT ($P \geq 0,10$); ° – $P < 0,10$; * – $P < 0,05$; ** – $P < 0,01$; *** – $P < 0,001$).	61
TABELLE 23:	GEGENÜBERSTELLUNG STATISTISCHER KENNGRÖßEN DER TIEFENÄNDERUNG (MM) IN DEN VIER GRUPPEN	63
TABELLE 24:	ERGEBNISSE DES KRUSKAL-WALLIS-POST-HOC-TESTS ZUM PAARWEISEN VERGLEICH DER VIER GRUPPEN HINSICHTLICH DER MITTLEREN TIEFE AM MEßPUNKT 3. ANGEGBEN SIND OBERHALB DER HAUPTDIAGONALEN DIE MITTLEREN ABSOLUTEN RANGDIFFERENZEN ZWISCHEN DEN VERSCHIEDENEN GRUPPEN UND UNTERHALB DER HAUPTDIAGONALEN DAS SIGNIFIKANZNIVEAU DER VERGLEICHE (N.S. – NICHT SIGNIFIKANT ($P \geq 0,10$); ° – $P < 0,10$; * – $P < 0,05$; ** – $P < 0,01$; *** – $P < 0,001$).	63
TABELLE 25:	GEGENÜBERSTELLUNG STATISTISCHER KENNGRÖßEN DER BREITENÄNDERUNG (MM) IN DEN VIER GRUPPEN.....	64
TABELLE 26:	ERGEBNISSE DES KRUSKAL-WALLIS-POST-HOC-TESTS ZUM PAARWEISEN VERGLEICH DER VIER GRUPPEN HINSICHTLICH DER MITTLEREN BREITE AM MEßPUNKT	

3. ANGEZEIGT SIND OBERHALB DER HAUPTDIAGONALEN DIE MITTLEREN ABSOLUTEN RANGDIFFERENZEN ZWISCHEN DEN VERSCHIEDENEN GRUPPEN UND UNTERHALB DER HAUPTDIAGONALEN DAS SIGNIFIKANZNIVEAU DER VERGLEICHE (N.S. – NICHT SIGNIFIKANT ($P \geq 0,10$); ° – $P < 0,10$; * – $P < 0,05$; ** – $P < 0,01$; *** – $P < 0,001$).	65
TABELLE 27: GEGENÜBERSTELLUNG STATISTISCHER KENNGRÖßEN DER HÖHENÄNDERUNG (MM) IN DEN VIER GRUPPEN	66
TABELLE 28: ERGEBNISSE DES KRUSKAL-WALLIS-POST-HOC-TESTS ZUM PAARWEISEN VERGLEICH DER VIER GRUPPEN HINSICHTLICH DER MITTLEREN HÖHE AM MEßPUNKT 3. ANGEZEIGT SIND OBERHALB DER HAUPTDIAGONALEN DIE MITTLEREN ABSOLUTEN RANGDIFFERENZEN ZWISCHEN DEN VERSCHIEDENEN GRUPPEN UND UNTERHALB DER HAUPTDIAGONALEN DAS SIGNIFIKANZNIVEAU DER VERGLEICHE (N.S. – NICHT SIGNIFIKANT ($P \geq 0,10$); ° – $P < 0,10$; * – $P < 0,05$; ** – $P < 0,01$; *** – $P < 0,001$).	67
TABELLE 29: GEGENÜBERSTELLUNG STATISTISCHER KENNGRÖßEN DER GESAMTÄNDERUNG (MM) IN DEN VIER GRUPPEN	67
TABELLE 30: ERGEBNISSE DES KRUSKAL-WALLIS-POST-HOC-TESTS ZUM PAARWEISEN VERGLEICH DER VIER GRUPPEN HINSICHTLICH DER MITTLEREN GESAMTVERÄNDERUNG AM MEßPUNKT 3. ANGEZEIGT SIND OBERHALB DER HAUPTDIAGONALEN DIE MITTLEREN ABSOLUTEN RANGDIFFERENZEN ZWISCHEN DEN VERSCHIEDENEN GRUPPEN UND UNTERHALB DER HAUPTDIAGONALEN DAS SIGNIFIKANZNIVEAU DER VERGLEICHE (N.S. – NICHT SIGNIFIKANT ($P \geq 0,10$); ° – $P < 0,10$; * – $P < 0,05$; ** – $P < 0,01$; *** – $P < 0,001$).	68
TABELLE 31: GEGENÜBERSTELLUNG STATISTISCHER KENNGRÖßEN DER TIEFENÄNDERUNG (MM) IN DEN VIER GRUPPEN	70
TABELLE 32: ERGEBNISSE DES KRUSKAL-WALLIS-POST-HOC-TESTS ZUM PAARWEISEN VERGLEICH DER VIER GRUPPEN HINSICHTLICH DER MITTLEREN TIEFE AM MEßPUNKT 4. ANGEZEIGT SIND OBERHALB DER HAUPTDIAGONALEN DIE MITTLEREN ABSOLUTEN RANGDIFFERENZEN ZWISCHEN DEN VERSCHIEDENEN GRUPPEN UND UNTERHALB DER HAUPTDIAGONALEN DAS SIGNIFIKANZNIVEAU DER VERGLEICHE (N.S. – NICHT SIGNIFIKANT ($P \geq 0,10$); ° – $P < 0,10$; * – $P < 0,05$; ** – $P < 0,01$; *** – $P < 0,001$).	70
TABELLE 33: GEGENÜBERSTELLUNG STATISTISCHER KENNGRÖßEN DER BREITENÄNDERUNG (MM) IN DEN VIER GRUPPEN.....	71
TABELLE 34: ERGEBNISSE DES KRUSKAL-WALLIS-POST-HOC-TESTS ZUM PAARWEISEN VERGLEICH DER VIER GRUPPEN HINSICHTLICH DER MITTLEREN BREITE AM MEßPUNKT 4. ANGEZEIGT SIND OBERHALB DER HAUPTDIAGONALEN DIE MITTLEREN ABSOLUTEN RANGDIFFERENZEN ZWISCHEN DEN VERSCHIEDENEN GRUPPEN UND UNTERHALB DER	

	HAUPTDIAGONALEN DAS SIGNIFIKANZNIVEAU DER VERGLEICHE (N.S. – NICHT SIGNIFIKANT ($P \geq 0,10$); ° – $P < 0,10$; * – $P < 0,05$; ** – $P < 0,01$; *** – $P < 0,001$).	72
TABELLE 35:	GEGENÜBERSTELLUNG STATISTISCHER KENNGRÖßEN DER HÖHENÄNDERUNG (MM) IN DEN VIER GRUPPEN	73
TABELLE 36:	ERGEBNISSE DES KRUSKAL-WALLIS-POST-HOC-TESTS ZUM PAARWEISEN VERGLEICH DER VIER GRUPPEN HINSICHTLICH DER MITTLEREN HÖHE AM MEßPUNKT 4. ANGEGBEN SIND OBERHALB DER HAUPTDIAGONALEN DIE MITTLEREN ABSOLUTEN RANGDIFFERENZEN ZWISCHEN DEN VERSCHIEDENEN GRUPPEN UND UNTERHALB DER HAUPTDIAGONALEN DAS SIGNIFIKANZNIVEAU DER VERGLEICHE (N.S. – NICHT SIGNIFIKANT ($P \geq 0,10$); ° – $P < 0,10$; * – $P < 0,05$; ** – $P < 0,01$; *** – $P < 0,001$).	74
TABELLE 37:	GEGENÜBERSTELLUNG STATISTISCHER KENNGRÖßEN DER GESAMTÄNDERUNG (MM) IN DEN VIER GRUPPEN	74
TABELLE 38:	ERGEBNISSE DES KRUSKAL-WALLIS-POST-HOC-TESTS ZUM PAARWEISEN VERGLEICH DER VIER GRUPPEN HINSICHTLICH DER MITTLEREN GESAMTVERÄNDERUNG AM MEßPUNKT 4. ANGEGBEN SIND OBERHALB DER HAUPTDIAGONALEN DIE MITTLEREN ABSOLUTEN RANGDIFFERENZEN ZWISCHEN DEN VERSCHIEDENEN GRUPPEN UND UNTERHALB DER HAUPTDIAGONALEN DAS SIGNIFIKANZNIVEAU DER VERGLEICHE (N.S. – NICHT SIGNIFIKANT ($P \geq 0,10$); ° – $P < 0,10$; * – $P < 0,05$; ** – $P < 0,01$; *** – $P < 0,001$).	75
TABELLE 39:	GEGENÜBERSTELLUNG STATISTISCHER KENNGRÖßEN DER TIEFENÄNDERUNG (MM) IN DEN VIER GRUPPEN	77
TABELLE 40:	ERGEBNISSE DES KRUSKAL-WALLIS-POST-HOC-TESTS ZUM PAARWEISEN VERGLEICH DER VIER GRUPPEN HINSICHTLICH DER MITTLEREN TIEFE AM MEßPUNKT 5. ANGEGBEN SIND OBERHALB DER HAUPTDIAGONALEN DIE MITTLEREN ABSOLUTEN RANGDIFFERENZEN ZWISCHEN DEN VERSCHIEDENEN GRUPPEN UND UNTERHALB DER HAUPTDIAGONALEN DAS SIGNIFIKANZNIVEAU DER VERGLEICHE (N.S. – NICHT SIGNIFIKANT ($P \geq 0,10$); ° – $P < 0,10$; * – $P < 0,05$; ** – $P < 0,01$; *** – $P < 0,001$).	77
TABELLE 41:	GEGENÜBERSTELLUNG STATISTISCHER KENNGRÖßEN DER BREITENÄNDERUNG (MM) IN DEN VIER GRUPPEN.....	78
TABELLE 42:	ERGEBNISSE DES KRUSKAL-WALLIS-POST-HOC-TESTS ZUM PAARWEISEN VERGLEICH DER VIER GRUPPEN HINSICHTLICH DER MITTLEREN BREITE AM MEßPUNKT 5. ANGEGBEN SIND OBERHALB DER HAUPTDIAGONALEN DIE MITTLEREN ABSOLUTEN RANGDIFFERENZEN ZWISCHEN DEN VERSCHIEDENEN GRUPPEN UND UNTERHALB DER HAUPTDIAGONALEN DAS SIGNIFIKANZNIVEAU DER VERGLEICHE (N.S. – NICHT SIGNIFIKANT ($P \geq 0,10$); ° – $P < 0,10$; * – $P < 0,05$; ** – $P < 0,01$; *** – $P < 0,001$).	79

TABELLE 43:	GEGENÜBERSTELLUNG STATISTISCHER KENNGRÖßEN DER HÖHENÄNDERUNG (MM) IN DEN VIER GRUPPEN	79
TABELLE 44:	ERGEBNISSE DES KRUSKAL-WALLIS-POST-HOC-TESTS ZUM PAARWEISEN VERGLEICH DER VIER GRUPPEN HINSICHTLICH DER MITTLEREN HÖHE AM MEßPUNKT 5. ANGEGEBEN SIND OBERHALB DER HAUPTDIAGONALEN DIE MITTLEREN ABSOLUTEN RANGDIFFERENZEN ZWISCHEN DEN VERSCHIEDENEN GRUPPEN UND UNTERHALB DER HAUPTDIAGONALEN DAS SIGNIFIKANZNIVEAU DER VERGLEICHE (N.S. – NICHT SIGNIFIKANT ($P \geq 0,10$); ° – $P < 0,10$; * – $P < 0,05$; ** – $P < 0,01$; *** – $P < 0,001$).	80
TABELLE 45:	GEGENÜBERSTELLUNG STATISTISCHER KENNGRÖßEN DER GESAMTÄNDERUNG (MM) IN DEN VIER GRUPPEN	82
TABELLE 46:	ERGEBNISSE DES KRUSKAL-WALLIS-POST-HOC-TESTS ZUM PAARWEISEN VERGLEICH DER VIER GRUPPEN HINSICHTLICH DER MITTLEREN GESAMTVERÄNDERUNG AM MEßPUNKT 5. ANGEGBEN SIND OBERHALB DER HAUPTDIAGONALEN DIE MITTLEREN ABSOLUTEN RANGDIFFERENZEN ZWISCHEN DEN VERSCHIEDENEN GRUPPEN UND UNTERHALB DER HAUPTDIAGONALEN DAS SIGNIFIKANZNIVEAU DER VERGLEICHE (N.S. – NICHT SIGNIFIKANT ($P \geq 0,10$); ° – $P < 0,10$; * – $P < 0,05$; ** – $P < 0,01$; *** – $P < 0,001$).	82
TABELLE 47:	GEGENÜBERSTELLUNG STATISTISCHER KENNGRÖßEN DER GESAMTÄNDERUNG (MM) IN DEN VIER GRUPPEN	84
TABELLE 48:	ERGEBNISSE DES KRUSKAL-WALLIS-POST-HOC-TESTS ZUM PAARWEISEN VERGLEICH DER VIER GRUPPEN HINSICHTLICH DER MITTLEREN SUMME DER GESAMTVERÄNDERUNGEN. ANGEGBEN SIND OBERHALB DER HAUPTDIAGONALEN DIE MITTLEREN ABSOLUTEN RANGDIFFERENZEN ZWISCHEN DEN VERSCHIEDENEN GRUPPEN UND UNTERHALB DER HAUPTDIAGONALEN DAS SIGNIFIKANZNIVEAU DER VERGLEICHE (N.S. – NICHT SIGNIFIKANT ($P \geq 0,10$); ° – $P < 0,10$; * – $P < 0,05$; ** – $P < 0,01$; *** – $P < 0,001$).	84
ABBILDUNG 1:	ADHÄSIONS- UND KOHÄSIONSKRÄFTE IN EINER KLEBUNG, EIGENE ABBILDUNG	12
ABBILDUNG 2:	ZAHN AUS DER VERSUCHSREIHE MIT PRÄPARIERTEN KAVITÄTEN Á 3X3X3 MM.....	18
ABBILDUNG 3:	SCHEMATISCHE DARSTELLUNG DES VERSUCHSABLAUFS.....	19
ABBILDUNG 4:	EINBETTUNGSVERSUCH MIT TECHNOVIT, IMPREGNUM UND SILAPLAST ...	28

ABBILDUNG 5:	BILD DER VORBEREITETEN ZÄHNE MIT PLANGESCHLIFFENER OKKLUSALFLÄCHE, PRÄPARIERTER KAVITÄT UND PYRAMIDENFÖRMIG ZUGESCHLIFFENER WURZEL	30
ABBILDUNG 6:	ZÄHNE IM KUNSTSTOFFBEHÄLTER MIT MORITAKANÄLEN.....	31
ABBILDUNG 7:	AUFNAHMEEINHEIT CEREC 3 (SIRONA GMBH	33
ABBILDUNG 8:	VERSUCHSZÄHNE IN SILAPLAST-ROLLE EINGEBETTET.....	35
ABBILDUNG 9:	PRÄPARIERTE ZÄHNE DER GRUPPE I, 2 ZÄHNE IM DETAIL.....	37
ABBILDUNG 10:	PRÄPARIERTE ZÄHNE DER GRUPPE II, 2 ZÄHNE IM DETAIL.....	37
ABBILDUNG 11:	PRÄPARIERTE ZÄHNE DER GRUPPE III, 2 ZÄHNE IM DETAIL.....	38
ABBILDUNG 12:	PRÄPARIERTE ZÄHNE DER GRUPPE IV, 2 ZÄHNE IM DETAIL.....	38
ABBILDUNG 13:	MEßAUFNAHME, BILD AUS DEM EIGENEN UNTERSUCHUNGSGUT	40
ABBILDUNG 14:	SCHEMATISCHE DARSTELLUNG DER MEßPUNKTE.....	43
ABBILDUNG 15:	GEGENÜBERSTELLUNG DER REVISIONSZEITEN IN DEN VIER GRUPPEN ..	46
ABBILDUNG 16:	GEGENÜBERSTELLUNG DER MITTLEREN TIEFENÄNDERUNGEN AM MEßPUNKT 1.....	48
ABBILDUNG 17:	GEGENÜBERSTELLUNG DER MITTLEREN BREITENÄNDERUNGEN AM MEßPUNKT 1.....	50
ABBILDUNG 18:	GEGENÜBERSTELLUNG DER MITTLEREN HÖHENÄNDERUNGEN AM MEßPUNKT 1.....	52
ABBILDUNG 19:	GEGENÜBERSTELLUNG DER MITTLEREN GESAMTVERÄNDERUNGEN AM MEßPUNKT 1.....	53
ABBILDUNG 20:	GEGENÜBERSTELLUNG DER MITTLEREN TIEFENÄNDERUNGEN AM MEßPUNKT 2.....	55
ABBILDUNG 21:	GEGENÜBERSTELLUNG DER MITTLEREN BREITENÄNDERUNGEN AM MEßPUNKT 2.....	57
ABBILDUNG 22:	GEGENÜBERSTELLUNG DER MITTLEREN HÖHENÄNDERUNGEN AM MEßPUNKT 2.....	59
ABBILDUNG 23:	GEGENÜBERSTELLUNG DER MITTLEREN GESAMTVERÄNDERUNGEN AM MEßPUNKT 2.....	60
ABBILDUNG 24:	GEGENÜBERSTELLUNG DER MITTLEREN TIEFENÄNDERUNGEN AM MEßPUNKT 3.....	62
ABBILDUNG 25:	GEGENÜBERSTELLUNG DER MITTLEREN BREITENÄNDERUNGEN AM MEßPUNKT 3.....	64
ABBILDUNG 26:	GEGENÜBERSTELLUNG DER MITTLEREN HÖHENÄNDERUNGEN AM MEßPUNKT 3.....	66

ABBILDUNG 27: GEGENÜBERSTELLUNG DER MITTLEREN GESAMTVERÄNDERUNGEN AM MEßPUNKT 3.....	68
ABBILDUNG 28: GEGENÜBERSTELLUNG DER MITTLEREN TIEFENÄNDERUNGEN AM MEßPUNKT 4.....	69
ABBILDUNG 29: GEGENÜBERSTELLUNG DER MITTLEREN BREITENÄNDERUNGEN AM MEßPUNKT 4.....	71
ABBILDUNG 30: GEGENÜBERSTELLUNG DER MITTLEREN HÖHENÄNDERUNGEN AM MEßPUNKT 4.....	73
ABBILDUNG 31: GEGENÜBERSTELLUNG DER MITTLEREN GESAMTVERÄNDERUNGEN AM MEßPUNKT 4.....	75
ABBILDUNG 32: GEGENÜBERSTELLUNG DER MITTLEREN TIEFENÄNDERUNGEN AM MEßPUNKT 5.....	76
ABBILDUNG 33: GEGENÜBERSTELLUNG DER MITTLEREN BREITENÄNDERUNGEN AM MEßPUNKT 5.....	78
ABBILDUNG 34: GEGENÜBERSTELLUNG DER MITTLEREN HÖHENÄNDERUNGEN AM MEßPUNKT 5.....	80
ABBILDUNG 35: GEGENÜBERSTELLUNG DER MITTLEREN GESAMTVERÄNDERUNGEN AM MEßPUNKT 5.....	81
ABBILDUNG 36: GEGENÜBERSTELLUNG DER MITTLEREN SUMME DER GESAMTVERÄNDERUNGEN AN ALLEN MEßPUNKTEN.....	83
ABBILDUNG 37: SYNOPSIS DER ERGEBNISSE	90

10 Danksagung

Herrn Professor Dr. Detlef Heidemann danke ich für die Überlassung des Themas und für die Unterstützung, die mir bei der Durchführung dieser Arbeit sehr geholfen hat.

Ganz herzlich möchte ich mich bei Frau Priv.-Doz. Dr. Susanne Szep bedanken, die mich mit Anregungen und Tatendrang darin unterstützt hat, daß diese Arbeit zu dem wurde was sie ist; des weiteren möchte ich mich bei ihren Mitarbeitern bedanken.

Für die Überlassung des Cerec-Geräts möchte ich mich bei der Firma Sirona Bensheim bedanken und dort bei den Mitarbeitern Dr. Schneider und Frau Scharf. Für die Schleifkörper danke ich der Firma Komet und besonders Herrn Geyer, der dies möglich machte, sehr. Der Firma Vivadent und der Firma Voco danke ich für die Überlassung der Füllmaterialien.

Von den Mitarbeitern in der Zahnklinik möchte ich Hansi Striez danken, der mich in technischen Dingen unterstützte, wo er nur konnte.

Ich möchte auch all denen meiner Familie und meiner Freunde danken, die mich in dieser nicht ganz einfachen Zeit gestützt und gehalten haben.

11 Lebenslauf

Name Andreas Borchert
Geboren am 17. Mai 1961 in Göttingen
Familienstand ledig, zwei Kinder
Wohnhaft 65929 Frankfurt a. M. Ludwig-Hensler-Str. 5

Schulbesuche

1967-1971 Grundschule Rosdorf bei Göttingen
1971-1972 Mittelpunktschule Rosdorf
1972-1974 Otto-Hahn Gymnasium Göttingen
Aug.-Nov. 1974 Deutsche Schule Madrid, Spanien
Nov.1974-1976 Otto- Hahn Gymnasium Göttingen
1976-1977 Himmelsthür Gymnasium Hildesheim
1977-1977 Hauptschule Marienburger Höhe Hildesheim
1977- 1982 Robert-Bosch Gesamtschule Hildesheim mit Erlangung des Abiturs im
Juni 1982

Okt.1982- Wehrdienst als Sanitäter mit der vorzeitigen Entlassung zur
Dez.1983 Studienaufnahme

Studienzeit

Okt. 1983- Bauingenieurwesen an der Technischen Universität Carolo-Wilhelmina
Okt. 1984 in Braunschweig

April 1984- Spanienaufenthalt zur Erlangung des spanischen Abiturs (nicht erteilt) zur
Nov. 1984 Aufnahme des Medizinstudiums

Nov. 1984- Tätigkeit als Kraftfahrer im Nahverkehr Südniedersachsen
Jan. 1985

Jan. 1985- Zeitarbeit bei Bosch-Blaupunkt Hildesheim
März 1985

-
- 01.04.1985 Aufnahme des Medizinstudiums an der Johann Wolfgang Goethe-Universität in Frankfurt
- Feb. 1988 Versterben meines Vaters (49 Jahre)
- Sep. 1988 Ärztliche Vorprüfung
- 06.02.-05.03.1989 Famulatur an der Chirurgischen Klinik Dr. Rinecker München
- 16.07-17.08.1990 Famulatur in der Abteilung Innere Medizin der J. W. G.-Universitätsklinik
- 01.09.-30.09.1990 Famulatur der Geburtshilfe u. Gynäkologie im Kreiskrankenhaus Bad Homburg von der Höhe
- Aug. 1990 Erstes Staatsexamen
- 1989-1991 Nachtwachentätigkeit in der Uni-Klinik und im St. Marcus Krankenhaus Frankfurt
- Sept. u. Okt. 1991 Famulatur an der Tropenlinik Asuncion Paraguay
- Sept. 1992 Geburt meines Sohns David
- Sept. 1993 Abbruch des Medizinstudiums ohne Erlangung des 2. Staatsexamens nach dem letzten Versuch
- Okt.1993 Eingeschrieben als Jurastudent (ohne Schein)
- Ausbildung zum Heilpraktiker mit Erlaubniserteilung am 06.02.1995 Tätigkeit als Ausbilder an der Heilpraktikerschule Medikus 95-99, und Call-Center-Agent bei Servo-Data (94-99)
- April 1995 Aufnahme des Zahnmedizinstudiums an der J.W.G.-Universität
- Sept.1996 Geburt meiner Tochter Leandra
- 07/1997-02/1999 Drei Urlaubssemester, um mich meinen Kindern zu widmen

- Feb. 1999 Erlangung der Zahnärztlichen Vorprüfung
- Feb. 2002 Zulassung zum Staatsexamen
- Feb.-Juni 2002 Examen der Zahnmedizin mit Erlangen der Approbation
- 01.10.2002 Arbeitsbeginn als Ausbildungsassistent in der Zahnarztpraxis Hagen Winkelmann
- Fertigstellung meiner Doktorarbeit mit dem Thema: „Eine in-vitro Studie zur Revision von plastischen Restaurationen unter Zuhilfenahme von unterschiedlichen farblichen Füllstoffen“