

**Quantitative Randspaltanalyse von Grandio/Voco Fil-
vs. Tetric Ceram-Restaurationen
– Eine Modellanalyse –**

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Zahnmedizin

des Fachbereichs Medizin

der Justus-Liebig-Universität Gießen

vorgelegt von Küßner, Pierre Günther (Lutter)

aus Singen

Gießen 2018

Aus dem Medizinischen Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde

Poliklinik Kinderzahnheilkunde der Justus-Liebig-Universität Gießen

Leiter: Prof. Dr. Norbert Krämer

Gutachter: Prof. Dr. Norbert Krämer

Gutachter: PD Dr. Dr. Streckbein

Tag der Disputation: 20.08.2018

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
2	Literaturübersicht.....	2
2.1	Definition der Komposite	2
2.2	Hauptbestandteile.....	2
2.3	Klassifikation nach dem Füllkörpersystem.....	3
2.4	Füllstoffanteil.....	4
2.5	Polymerisation und die Folgen.....	5
2.6	Dentin Bonding Agents.....	6
2.7	Der Füllungsrand – die Problematik der Kompositfüllungen	8
2.8	Semi-quantitative Randspaltanalyse	9
2.9	3D-Untersuchung	10
3	Zielsetzung der Arbeit	11
4	Material und Methode	12
4.1	Studienaufbau	12
4.2	Füllungstherapie.....	12
4.2.1	Konditionierung der Studiengruppe.....	12
4.2.2	Konditionierung der Kontrollgruppe	13
4.2.3	Eingliederung der Füllungsmaterialien.....	13
4.2.4	Ausarbeitung und Politur	13
4.2.5	Bewertung der „marginalen Integrität“.....	13
4.3	Photodokumentation und Präzisionsabformung.....	15
4.4	Replikaherstellung.....	16
4.5	Auswahlkriterien	17
4.6	Quantitative Randspaltanalyse	18
4.6.1	Sputtervorgang.....	18
4.6.2	Bilder	18
4.6.3	Rekonstruktion des Randspaltes	18
4.6.4	Auswertung	21
4.6.5	Maßstabkontrolle	26
4.7	Statistische Auswertung.....	26
5	Ergebnisse.....	28

5.1	Semi-quantitative Randspaltanalyse	28
5.1.1	Deskriptive Statistik	28
5.1.2	Unterschiede und Gemeinsamkeiten der Füllungsmaterialien im Verlauf	28
5.1.3	Marginale Analyse des Beobachtungszeitraumes	29
5.1.4	Marginale Analyse bezogen auf die Füllungsmaterialien	31
5.2	Grandio vs. Tetric Ceram	31
6	Diskussion	35
6.1	Methodenkritik	35
6.2	Ergebnisdiskussion	41
6.2.1	Korrelation zwischen der klinischen Untersuchung mit der Modellanalyse	41
6.2.2	Bewertung der SQRA-Daten mit der Literatur	43
7	Fazit	46
8	ZUSAMMENFASSUNG	47
8.1	Einleitung	47
8.2	Zielsetzung	47
8.3	Material und Methode	47
8.4	Ergebnisse	48
8.5	Schlussfolgerung	48
9	Summary	49
9.1	Introduction	49
9.2	Objective	49
9.3	Methods	49
9.4	Results	50
9.5	Conclusion	50
10	Literaturverzeichnis	51
11	Abkürzungsverzeichnis	59
12	Abbildungsverzeichnis	60
13	Tabellenverzeichnis	62
14	Publikationsverzeichnis	66
15	Anhang	68
16	Erklärung zur Dissertation	70
17	Danksagung	71

1 Einleitung

Die Idee, ein Material in Kavitäten zu applizieren, um fehlende Zahnhartsubstanz zu ersetzen, ist älter, als man vermuten könnte. Die Menschen haben schon vor ca. 6500 Jahren v. Chr. Bienenwachs zum Füllen von Zähnen verwendet, vermutlich um Schmerzen zu lindern. Die Ägypter entwickelten sogar das erste „Komposit“. Sie vermengten Honig mit Mineralien, sodass durch die Klebrigkeit und Klemmpassung eine Haftung in der Kavität möglich wurde [87].

Heutzutage steht bei den Patienten nicht mehr die alleinige Behandlung zur Schmerzbefreiung im Vordergrund, sondern eine hochwertige, zahnfarbene und ästhetisch perfekte Restauration [19,44,55,89]. Um dem Rechnung zu tragen, wurden zahnfarbene Füllungsmaterialien entwickelt und stetig optimiert.

Mit dem Beginn der adhäsiven Füllungsmaterialien vor über 30 Jahren hat die Entwicklung der Komposite rasant zugenommen [42]. Komposite waren anfangs nicht in der Lage, alle Vorteile des Amalgams vollständig abzudecken. Dies bezog sich auf: die perfekte Gestaltung des Approximalkontaktes, die Abrasionsstabilität respektive Attritionsstabilität und die Möglichkeit, auch im feuchten Milieu einen adhäsiven Verbund zu erreichen [4]. Der größere Zeitfaktor beim Legen von Kompositmaterialien ist immer noch der entscheidende Unterschied im Vergleich zum Amalgam [18]. Untersuchungen haben ergeben, dass Komposite (Hybridkomposite und Mikrofüller) mit dem Amalgam in Bezug auf die Langlebigkeit absolut gleichwertig sind [36]. Die Nachfrage von Amalgamrestorationen ist seit Mitte der 1990er-Jahre von Jahr zu Jahr gesunken – nicht nur aus ästhetischen Gründen, sondern auch oder gerade wegen der damaligen Quecksilber-Debatte [55].

Die Komposite sind anfänglich nur für Klasse-I-Kavitäten im Seitenzahngebiet zugelassen gewesen. Beispielsweise entstanden Probleme aufgrund der Oberflächenabnutzung, die sich negativ auf die Langzeitstabilität auswirkte [101]. Die stetigen Verbesserungen der Komposite sind hauptsächlich durch Veränderungen der materialkundlichen Zusammensetzung wie beispielsweise die Form und Größe der Partikel sowie das Verhältnis der Füllstoffanteile erreicht worden, wodurch der Indikationsbereich erweitert werden konnte [37,47].

2 Literaturübersicht

2.1 Definition der Komposite

Das Wort Komposit wird vom lateinischen Wort *componere/compositum* (=zusammensetzen) oder dem englischen Begriff *composite* (=Verbundwerkstoff, Zusammensetzung) abgeleitet. Daraus folgt, dass Komposite aus verschiedenen Werkstoffen bestehen [18,44].

2.2 Hauptbestandteile

Die dentalen Komposite bestehen im Allgemeinen aus einer dispersen Phase, einer organischen Matrix und der Verbundphase. Die disperse Phase ist durch die Füller charakterisiert, die wiederum aus anorganischen Materialien bestehen. Diese sind z. B. Quarz, Keramik und Siliziumdioxid. Die organische Matrix besteht aus Monomeren, Initiatoren und Farbstoffen. Um die beiden Bestandteile miteinander auch chemisch verbinden zu können, muss ein so genannter Haftvermittler eingesetzt werden. Die Gruppe der Verbundphase besteht in der Regel aus 3-Methacryloyloxypropyltrimetoxisilan. Die chemische Verbindung mit Hilfe des Haftvermittlers wird als Silanisierung bezeichnet [37]. In *Tab. 1* sind die Hauptbestandteile von Grandio und Tetric Ceram gegenübergestellt.

	Grandio	Tetric Ceram
Organische Matrix	Bisphenol-Glycidyl-Methacrylat (BisGMA) Triethylen-Glycol-Dimethacrylat (TEGDMA) Ethoxyliertes Bisphenol-A-Dimethacrylat (BisEMA)	BisGMA Urethan-Dimethacrylat (UDMA) TEGDMA
Anorganischer Anteil	71.4 Vol % (87 Gew.-%),	60 Vol % (78 Gew.- %)
Photoinitiator	Kampherchinon	Kampherchinon
Indikation	Seitenzahn- und Frontzahngebiet	Seitenzahn- und Frontzahngebiet

Tab. 1 Darstellung der integralen Bestandteile der zu untersuchenden Komposite Grandio / Tetric Ceram [27].

2.3 Klassifikation nach dem Füllkörpersystem

Lutz et al. (1983) teilten Anfang der 1980er-Jahre die Komposite nach der Art der Füllkörper ein. Die vier Komposittypen sind folgendermaßen definiert worden: Konventionelles Komposit (KK), Hybridkomposit (HK), homogenes Mikrofüllerkomposit (HMK) und inhomogenes Mikrofüllerkomposit (IMK). In *Tab. 2* ist diese Einteilung aufgegliedert und es soll verdeutlicht werden, dass die Form, der Typ und die Größe der Füllkörper maßgeblich für die Einteilung sind [52].

Die Einteilung der Hybridkomposite erfolgt nach der Größe der Glasfüllkörper. Diese Klassifikation wurde eingeführt, weil die materialkundlichen Eigenschaften dieser Gruppe eine stetige Weiterentwicklung der Zusammensetzung begünstigten. Somit sind die Glasfüllkörper – auch durch neueste Techniken – immer kleiner geworden, um u. a. die Packungsdichte zu erhöhen. Es entstanden neben den klassischen Hybridkompositen die Gruppen der Feinpartikelhybridkomposite mit einer mittleren Glasfüllkörpergröße von 5 µm, der Feinsthybridkomposite (3 µm) und der Submikrometerhybridkomposite (1 µm) [37].

	Mittlere Füllkörpergröße [µm]	Füllkörperform	Füllkörpertyp
Konventionelles Komposit (KK)	> 5	splitterförmig	Quarz, Glas oder Keramik
Homogenes Mikrofüllerkomposit (HMK)	0,05	kugelförmig	pyrogenes SiO ₂ F
Inhomogenes Mikrofüllerkomposit (IMK)	0,04	kugelförmig und splitterförmig	SiO ₂
Hybridkomposit (HK)	2 < 2–10 > 10	eckig geformt	SiO ₂ ; 85 Gew.-% Makrofüller, 10–15 Gew.-% Mikrofüller
Tetric-Ceram-Hybridkomposit	0,04–3,0 µm	Splitterförmig	Bariumglas
Grandio-Nanohybridkomposit	20 nm–2,5 µm	splitterförmig, kugelförmig	Bariumaluminiumborsilikat SiO ₂

Tab.2 Die Klassifikation nach den Füllkörperformen bzw. -typen (nach Lutz 1983) sowie eine Klassifikation der in der Studie verwendeten Komposite [45,47,51,83,84].

2.4 Füllstoffanteil

Durch mangelnde Abrasions- und Attritionsstabilität des Komposites sind Form und Funktion oft während der Nutzungsphase verloren gegangen. Frakturen und Sekundärkaries sind weitere Phänomene, die bis heute eines der Hauptprobleme darstellen [53]. Mit Hilfe der Veränderung der Form, Größe und Menge des Füllstoffes wurden die Eigenschaften des Materials in Bezug auf Viskosität, Verschleiß, Ästhetik und Handhabung beeinflusst [50,51]. Werkstoffkundlich können durch die Füllkörper folgende Daten variiert werden: Biegefestigkeit, E-Modul, Abrasion, Polymerisationsschrumpfung, Viskosität und die Polierbarkeit [51,56]. Bei der mechanischen Analyse von Grandio und Tetric Ceram wurden bei Grandio höhere Werte in Bezug auf das E-Modul, die Bruchfestigkeit und die Dauerfestigkeit festgestellt. In Tab. 3 sind die Ergebnisse aufgeführt. Die Daten lassen vermuten, dass durch die Veränderung des Füllstoffanteils die mechanischen Eigenschaften verbessert werden. In einer experimentellen Untersuchung zeigt das Komposit mit dem kleinsten Füllstoffanteil – z. B. reine Nanokomposite (200 nm) – die besten physikalischen Werte. Das Komposit mit den größten Partikeln (9,88 µm) hatte die schlechtesten werkstoffkundlichen Daten (Konventionelles Komposit) [88].

	E-Modul (GPa)	Bruchfestigkeit (MPa)	Dauerfestigkeit (MPa)
Grandio	15,73	114,95	63,00
Tetric Ceram	8,67	101,46	44,33

Tab. 3 Mechanische Eigenschaften der Komposite Grandio und Tetric Ceram [27].

Die Entwicklung der Füllkörper führte zur derzeit kleinste Größe der Nanopartikel. Durch die Nanohybrid-Technologie ist es möglich, den Füllstoffanteil zu erhöhen und gleichzeitig die Viskosität und das Applikationsverhalten annähernd beizubehalten. Insgesamt besteht das Ziel darin, den anorganischen Anteil zu erhöhen und den organischen Anteil zu reduzieren, weil so die o. g. werkstoffkundlichen Daten am günstigsten sind [74]. Füllerpartikel können durch die höhere Härte die Oberflächenabnutzung verringern und dadurch die Abrasion und Attrition beeinflussen. Darüber hinaus ist der Widerstand der Füllungsfläche bei Belastung erhöht, wenn z. B. ein höheres E-Modul erreicht werden kann [8,15,51,75]. Die Füllergröße korreliert

ebenfalls mit der Rauigkeit. Je größer der Füllkörper, desto rauer wird die Füllungsoberfläche. Es wurde beobachtet, dass die Nano- und Mikrohybridkomposite die glatteste Oberfläche zu Beginn aufweisen [82]. Dies kann man auf den hohen Anteil an Matrix in der initialen Oberflächenstruktur zurückführen. Diese Glätte ist allerdings von kurzer Dauer, weil die Matrix sich schnell abnutzt. Während des Abnutzungszeitraumes kommen die größeren Füllstoffanteile hervor und verursachen die Oberflächenrauigkeit. Sobald die Matrix die Füllkörper nicht mehr umfasst, können diese z. B. bei Scherbelastungen aus dem Gefüge herausgelöst werden, weil der anorganische Füllkörperanteil ein höheres E-Modul aufweist als die Matrix [55-57]. Folglich stehen die Abnutzungseigenschaften in engem Zusammenhang mit dem Füllstoffanteil der Komposite [57]. In der In-vivo-Untersuchung der Komposite Grandio und Tetric Ceram nach sechs Jahren gab es keine signifikanten Unterschiede in Bezug auf die klinischen Parameter wie beispielsweise Verfärbungen und Spaltbildungen [27].

Der Füllstoffanteil beeinflusst auch die Menge der Wasseraufnahme. Curtis et al. stellten 2008 fest, dass bei der Aufnahme von Wasser ein Komposit weicher und duktiler sei sowie expandiere. Die Wasseraufnahme hängt von folgenden Eigenschaften eines Komposites ab: Füllstoffanteil, Methacrylatmatrix und Füllstoffoberfläche. Es scheint aber nur marginale Auswirkungen auf die Komposite zu haben. Bei einer materialkundlichen Untersuchung wurde z. B. festgestellt, dass das Verhalten des Mikrohybridkomposites Z250 in Bezug auf die Wasseraufnahme ähnlich ist wie das des Nanofüllers Filltek Supreme [9]. Die Wasseraufnahme beträgt nach sieben Tagen Lagerung bei Grandio 10 $\mu\text{g}/\text{mm}$ und bei Tetric Ceram 12,43 $\mu\text{g}/\text{mm}^3$ (ISO 4049) [50].

2.5 Polymerisation und die Folgen

Der Hersteller VOCO wirbt in seinen Werbebroschüren mit der sehr geringen Polymerisationsschrumpfung von Grandio (1,57 Vol.-%). Die Polymerisationsschrumpfung ist von folgenden Faktoren abhängig: Zusammensetzung der Menge der Matrix, Füllstoffanteil und Initiationssystem [51]. Durch die bestimmte Wellenlänge des Polymerisationslichtes (ca. 468 nm) wird der Fotoinitiator, z. B. Kampferchinon, chemisch angeregt und setzt dabei freie Radikale frei, die wiederum die Polymerisationsreaktion initiieren. Dabei kommt es zu einer Kettenpolymerisation, die immer eine Polymerisationsschrumpfung zur Folge hat. Genauer betrachtet, wird die Polymerisationsschrumpfung durch das molekulare Gewicht der Monomere, durch

deren Funktion (Silorane-Methacrylate) und durch den Füllstoffanteil beeinflusst [55]. BisGMA (Bisphenylglycidyl-Dimethacrylat) ist das meist benutzte Monomer in Kompositen. Die Volumenschrumpfung beträgt 5,2 %. Die Kombination des Monomers mit TEGDMA (Triethylenglycol-Dimethacrylat) ist die häufigste s. Tab. 1 (S. 2). Dennoch ist festzustellen, dass TEGDMA eine hohe Volumenschrumpfung aufweist. Man kann auf die Alternativen UDMA (Urethan-Dimethacrylat) und BisEMA (ethoxyliertes Bisphenol-A-Dimethacrylat) zurückgreifen, um die Schrumpfung weiter zu reduzieren [31,74]. Das Komposit Grandio weist 1,8 Vol.-% Polymerisations-schrumpfung auf [1]. Im Gegensatz dazu wurde beim Tetric Ceram 2,1 Vol.-% gemessen [30]. Diese Schrumpfung beeinflusst auch indirekt die marginale Adaptation [34]. Deswegen ist es wichtig, dass die Schrumpfung so gering wie möglich gehalten wird, um geringere Zugbelastungen auf die Kavitätenwände zu erreichen. Dadurch können Hypersensitivitäten, Randspaltverfärbungen und Sekundärkaries verringert werden [38,51,55,68,74,81,93,94,100]. Auch die richtige Handhabung, respektive das Inserieren der Inkremente, beeinflusst den Füllungserfolg. Dabei müssen stets die Herstellerangaben berücksichtigt werden. Beispielsweise soll bei 20 s Polymerisationszeit eine Inkrementdicke von 2 mm nicht überschritten werden [16,75]. Die Polymerisationsschrumpfung kann man mit Hilfe von verschiedenen Techniken minimieren. Die Inkrementtechnik ist eine vom Behandler gesteuerte Technik. Diese soll unter Berücksichtigung des C-Faktors die Anzahl der beteiligten Kavitätenwände so gering wie möglich halten [10,11,14,19,34,99]. Derzeit ist trotz vieler Bemühungen eine Eliminierung der Polymerisationsschrumpfung nicht erreicht worden [81]. Einer der wichtigsten Parameter für die Resistenz von Kompositrestaurationen ist der Grad der Lichthärtung. Dieser ist abhängig vom Füllstoffanteil, der Größe der Füllung, von der Zahnfarbe, von der Leistung der Lampe und von der Polymerisationszeit. Demzufolge müssen alle Anforderungen der Herstellerangaben bei der Insertion der Kompositrestaurationen eingehalten werden [75].

2.6 Dentin Bonding Agents

Eine notwendige Voraussetzung, um zahnfarbene Füllungsmaterialien verwenden zu können, ist der erfolgreiche Verbund zur Zahnhartsubstanz [21,23,54,60,62,64,93]. Die konsequente Verwendung eines funktionierenden Bondingsystems ist eine gute Prävention gegenüber Hypersensitivitäten, Randspaltbildungen und Sekundärkaries

[93]. Um einen Haftverbund zwischen Zahn und Komposit realisieren zu können, muss ein sog. Haftvermittler – auch Dentin Bonding Agent (DBA) genannt – benutzt werden.

Die DBAs lassen sich folgendermaßen einteilen [41]:

1. Anhand der Generationen – 1. bis 8. Generation
2. Anhand der Modi der Applikationen
3. Anhand der Anzahl der Behandlungsschritte
4. Anhand der Ätzmaßnahmen

Die geläufigste Einteilung der DBAs erfolgt anhand der Anzahl der Behandlungsschritte [41]. Bei der Insertion der Grandio- (Voco Fil) Kavitäten wurde das Solobond M appliziert. Dieser Haftvermittler basiert auf Aceton. Bezogen auf die Anzahl der Behandlungsschritte handelt es sich um einen Zweischritt-Total-Etch. Die Tetric-Ceram-Füllungen wurden mit Syntac Classic eingegliedert. Dieses Material ist wasserbasiert und stellt einen Vierschritt-Total-Etch dar [20,33,62,71,85]. In Tab. 4 sind die verschiedenen Inhaltsstoffe der verwendeten Haftvermittler aufgelistet. Es fällt auf, dass Solobond M ein Ein-Flaschen-Total-Etch-Zweischritt-System und Syntac Classic ein Total-Etch-Mehrschritt-System ist. Dabei gibt es bis heute die Tendenz, die Flaschenanzahl und Behandlungsschritte so einfach wie möglich zu gestalten, um die Gefahr einer Verwechslung der Flaschen bei Gebrauch zu reduzieren [23,24,36,63,70,90,95].

DBA	1. Flasche	2. Flasche	3. Flasche
Solobond M	Bis-GMA, HEMA, BHT, Monomere, Katalysatoren, Aceton		
Syntac Classic	Primer	Adhäsive	Heliobond
	TEGDMA, PEGDMA, Maleinsäure, Aceton, Wasser	PEGDMA, Glutaraldehyd, Maleinsäure, Wasser	Bis-GMA, TEGDMA

Tab. 4 Die verschiedenen Inhaltsstoffe der Haftvermittler Solobond M und Syntac Classic [33].

Im Hinblick auf die SQRA (semi-quantitative Randspaltanalyse) stellt sich die Frage, welche Parameter der Füllungsänder durch die Adhäsivsysteme beeinflusst werden. Bereits 1998 kamen van Meerbeek et al. zu der Beobachtung, dass die Bildung der Mikrospalte eher auf die Schrumpfung des Komposites zurückzuführen sei. Auch die

negativen Auswirkungen der Integrität des Randes sind eher auf die Eigenschaften des Komposites zurückzuführen als auf die Eigenschaften des Adhäsives [96].

Um die Eigenschaften von DBAs untersuchen zu können, sind klinische Studien im Indikationsbereich geeignet, um unter realen Bedingungen Beobachtungen hinsichtlich der Haftvermittlung zu tätigen [98]. Dabei muss aber berücksichtigt werden, dass die Zahnhalskavität (Klasse-V-Kavität) durch die besondere Kavitätenpräparation keine Unterschnitte besitzt und somit zu keiner Verklemmung der Füllung führt. Diese mechanischen Retentionen könnten nämlich die Ergebnisse verfälschen [59,73]. Daraus folgt, dass eine Untersuchungsmethode die SQRA von Klasse-V-Kavitäten betreffe, um Adhäsive untersuchen zu können [95]. Auch Klasse-II-In-vivo-Studien sind geeignet, Rückschlüsse auf die DBAs hinsichtlich des Randspaltes und der Verfärbungen desselbigen zu geben, wenn Methoden wie SQRA, 3D-Untersuchungsmethoden oder modifizierte USPHS-Kriterien Verwendung finden [17,21,46,89,95].

2.7 Der Füllungsrand – die Problematik der Kompositfüllungen

Die Entstehung der Füllungsråder und somit der Randspalte ist mit den Mechanismen der Tribologie zu erklären. Die Tribologie ist die Lehre vom unerwünschten Verschleiß mindestens zweier Oberfläche, bedingt durch das Herauslösen von kleinsten Teilchen mit einem Kontaktmedium [7]. 1999 stellten Kunzelmann et al. fest, dass die Tribologie in der Zahnmedizin durch Abrasion (Abrieb durch Partikel) und Attrition (Kontaktpunkte der Antagonisten) gekennzeichnet ist. Ferracane et al. erkannten bereits 1998, dass die Gründe für eine marginale Abnutzung z. B. eine Assoziation mit einem Okklusionspunkt seien [39]. Es bestehen durchaus kontroverse Theorien in diesem Zusammenhang. Die Bildung der Mikrospalte ist eher auf die Schrumpfung des Komposites zurückzuführen als auf die Eigenschaften des Adhäsives oder der Abnutzungserscheinungen, meinen van Meerbeek et al. [96]. Die Bedeutung der marginalen Integrität stellt sich u. a. wie folgt dar: Die Bildung eines Füllungsrandes führt u. a. zu einem Spalt. Dies kann zu einer bakteriellen Invasion führen. Die bakteriellen Produkte führen zu einer Immunreaktion der Pulpa [3]. 1989 stellten Roulet et al. fest, dass die marginale Adaptation perfekt sein muss, damit keine Sekundärkaries oder Pulpitis entstehen kann [79]. Auch Glady et al. hatten diese Aussage bereits 1995 bestätigt [29].

2.8 Semi-quantitative Randspaltanalyse

Zu den quantitativen Untersuchungsformen zählt die semi-quantitative Randspaltanalyse [5,66].

Die semi-quantitative Randspaltanalyse ist eine bewährte Methode, um Füllungsänderungen zu beurteilen [26,58,66,79]. Durch die Replikaherstellung ist die gesamte okklusale Evaluation des Füllungsrandes im REM möglich [79]. Sie ist somit in der Lage, frühzeitige und minimale Veränderungen am Füllungsrand festzustellen, weil durch die Untersuchungsintervalle eine mögliche Veränderung in der Beschaffenheit des Füllungsrandes bei der Analyse dargestellt werden kann [5,24,25,35]. Somit erhält man durch die Evaluation des Randes Rückschlüsse auf die Restaurationsqualität [34]. Die materialkundlichen Eigenschaften, wie geringere Polymerisationsschrumpfung, Verschleiß und ein möglicherweise verbessertes Schrumpfungsverhalten, können indirekt mit der hier verwendeten SQRA-Untersuchungsmethodik erarbeitet werden, da diese Eigenschaften direkte Auswirkungen auf den Füllungsrand haben [24].

Somit eignet sich diese Technik sehr gut, um eine Restauration auf ihre Materialeigenschaften (*marginale Integrität*) zu überprüfen und zu bewerten. Jedoch ist nur eine Gesamteinschätzung der Veränderung möglich. Man kann weder eine detaillierte Aussage auf die Auswirkungen der Materialveränderungen treffen noch die Ursachen für diese Veränderung benennen [7,26,29,79]. Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass die hergestellten Replikas auch mit anderen Untersuchungsmethoden, z. B. mechanische Profilometrie oder 3D-Scanner, befundet werden können [97]. Ein weiterer Vorteil der klinischen und semi-quantitativen Randspaltanalyse besteht darin, dass eine parallele Einschätzung der Zähne erfolgt. Das bedeutet, dass die klinische Einschätzung der Restaurationen mit dem rasterelektronischen Pendant verglichen werden kann [28,45,47,48].

Die SQRA ist eine kostspielige und zeitintensive Methode, weil eine sehr aufwendige klinische Studie durchgeführt werden muss, um die Replika gewinnen zu können [7,34]. Die methodische Genauigkeit haben Heintze et al. untersucht. Bei den optischen Untersuchungsverfahren wie der SQRA liegt die Genauigkeit bei der Untersuchungswiederholung des gleichen Untersuchers bei einer Abweichung von 4 %. Bei zwei unterschiedlichen Untersuchern bei 10–20 % [34,69,79].

2.9 3D-Untersuchung

Nach erfolgter Replikaherstellung wird z. B. die Oberfläche – in toto – mittels Kugeltaster abgetastet oder mittels einer Optik gescannt, um letztlich ein 3D-Bild zu erzeugen [7,40,69]. Anschließend kann man den Volumenverlust respektive die Veränderung der Restaurationsoberfläche feststellen. Dies funktioniert wie folgt: Die konfigurierten Bilder werden miteinander verglichen, indem diese übereinander gelegt werden und die Differenz berechnet wird. Dieser Vorgang wird „Matching“ genannt[5,97].

Die Genauigkeit liegt z. B. in der Erfassung des Verschleißes. Es gibt es bei der mechanischen Profilometrie eine Einschränkung, die sich auf Höckerneigungen von mehr als 45 Grad bezieht. Somit wäre die Untersuchung eines Füllungsrandes auf einem Höcker mit einer Neigung von mehr als 45 Grad nicht genau genug [43]. Die Messgenauigkeit von 3D-Analysen beträgt ca. 5 µm [17,40]. Zudem entfällt der subjektive Anteil des Untersuchers [69].

Die Aussagen in Bezug auf modifizierte USPHS-Kriterien, die klinisch evaluiert werden, können mit den Daten der SQRA verglichen werden, weil bei beiden Verfahren die Randspaltqualitäten ermittelt werden [2].

3 Zielsetzung der Arbeit

Ziel dieser prospektiven klinisch kontrollierten Langzeitstudie über einen Zeitraum von acht Jahren war es, die Eignung eines Nanohybridkomposits (Grandio, VocoFil, VOCO, Cuxhaven) und eines Hybridkomposits (Tetric Ceram, IvoclarVivadent, Liechtenstein) in Klasse-II-Kavitäten rasterelektronenmikroskopisch zu untersuchen.

Nullhypothesen:

1. Es gibt keine Veränderungen des marginalen Füllungsrandes über die Zeit.
2. Nach acht Jahren zeigt sich kein signifikanter Unterschied bezüglich der Randqualität zwischen den beiden Gruppen (Mann-Whitney-Test, $p > 0,05$).

4 Material und Methode

4.1 Studienaufbau

Die Studie wurde von der Ethikkommission der Universität Erlangen geprüft und genehmigt (siehe Anhang). Die Patienten wurden über die Studie hinreichend informiert und mussten eine Einverständniserklärung unterzeichnen. Bei 30 Patienten wurden 68 Füllungen im Split-Mouth-Design in einer privaten Praxis gelegt. Die Studiengruppe (Grandio mit Solobond M) beinhaltete 36 Füllungen und die Kontrollgruppe (Tetric Ceram mit Syntac Classic) 32 Füllungen. Dabei wurden maximal zwei Zähne pro Patient der jeweiligen Gruppe therapiert.

4.2 Füllungstherapie

Präpariert wurde mit einem zylindrischen Diamantensystem (80 µm und 25 µm Diamant, Komet, Lemgo, Deutschland). Bei der Entfernung der Karies wurde stets ein Hartmetallrosenbohrer benutzt. Nach dem Finieren der Füllungsänder wurde ein Kofferdam gelegt (Coltene/Whaledent Inc., Altstätten, Schweiz), damit eine absolute Trockenlegung der Kavität gewährleistet war. Matrizen und Keilchen (Tofflemire-Matrize Nr. 11, Ahorn-Interdentalkeile, Hawe Neos) dienten der Rekonstruktion der Zahnform und der Abdichtung der Kantenränder. Die Zähne wurden gereinigt (3 % Wasserstoffperoxid) und getrocknet, damit diese anschließend konditioniert werden konnten.

4.2.1 Konditionierung der Studiengruppe

Die Kavitäten wurden selektiv mit dem Ätzel (Vococid, Voco) geätzt. Zuerst wurde das Gel auf den gesamten Schmelzrand aufgetragen. Nach 15 Sekunden wurde der komplette Dentinanteil zusätzlich benetzt. Nach 10–15 Sekunden wurde das Ätzel abgesaugt und die Kavität ca. 20 Sekunden lang mit Wasser abgespült. Ein Verpüsten des Zahnes diente der Trocknung. Mit Micro-Tim- (Voco) Dosierapplikatoren wurde Solobond M zunächst auf die Schmelzareale aufgebracht und auf dem Dentin einmassiert. Insgesamt sollte eine Einwirkzeit des Total-Etch-Bonds von 30 Sekunden eingehalten werden, um anschließend mit einem leichten Luftstrom verpüstert und 10 Sekunden lang polymerisiert (Polymerisationslampe Elipar II, 3M Espe) zu werden.

4.2.2 Konditionierung der Kontrollgruppe

Die Ätzung der präparierten Zahnhartsubstanzen erfolgte selektiv mit dem Ätzgel der Firma Ivoclar (Email Preparator GS, Ivoclar Vivadent). Nach 30-sekündiger Einwirkzeit wurde das Ätzgel abgesaugt, 30 Sekunden lang mit Wasser abgesprüht und durch den Luftpüster getrocknet. Die Applikation des Primers (Syntac® Classic, Ivoclar Vivadent) erfolgte mit einem Pinsel. Nach 15 Sekunden Einwirkzeit wurde der Primer verpüstert und getrocknet. Somit konnte das Syntac-Adhäsiv 10 Sekunden lang aufgetragen und ebenso wie der Primer verpüstert werden. Das Auftragen des Einkomponenten-Haftvermittlers Heliobond (Ivoclar Vivadent) erfolgte mittels Pinsel. Damit eine gleichmäßige Schicht erreicht werden konnte, geschah die Verteilung durch sanftes Verblasen. Die Zähne konnten somit 20 Sekunden lang polymerisiert werden.

4.2.3 Eingliederung der Füllungsmaterialien

Das Material wurde mit Handinstrumenten (GML 1/2, Fa. HuFriedy, Chicago, USA) schichtweise (max. 2 mm große Inkremente) in die Kavität eingebracht. Dabei wurden die Grandio-Inkremente 20 Sekunden und die Tetric-Ceram-Anteile 40 Sekunden lang polymerisiert (Elipar Trilight, 3MESPE, Seefeld, Deutschland).

4.2.4 Ausarbeitung und Politur

Die groben Überschüsse wurden mittels Finierdiamanten entfernt. Die ursprüngliche Situation der Okklusion und Artikulation konnte durch die Nutzung von Okklusionsfolien geprüft und rekonstruiert werden (Hanel-Folie 18 µm, Coltene Whaledent, Langenau, Deutschland; schwarz oder blau für Okklusion, rot für Artikulation). Die approximale Politur erfolgte mittels Metallstreifen in den Körnungen 200, 300, 600 und 1000 (New Metal Strips, GC, Europe). Die Formgebung und Politur wurde durch u. a. Soflex-Scheiben (3M Espe, Seefeld, Deutschland), Dia-Finish E-Filz-scheiben (Renfert, Hilzingen, Deutschland) mit Diamantpolierpaste und Brinell-Polierpaste, Filzkegel (Renfert, Hilzingen) zur Endpolitur durchgeführt. Obligat war die Fluoridierung mit Bifluorid 12 (VOCO) am Ende der Behandlung.

4.2.5 Bewertung der „marginalen Integrität“

Die Studie wurde von zwei unabhängigen Untersuchern durchgeführt. Bevor die Zähne beurteilt wurden, wurden diese mit einem Bürstchen und Bimssteinpulver gründlich gereinigt. Die visuelle Beurteilung erfolgte mit einer Lupenbrille (Leitz-Lupenbrille,

3,5x, Abstand 35 cm). Jeder Zahn hatte nur ein Bewertungskriterium erhalten. Dabei galt immer das nächsthöhere für den Zahn. In Tab. 5 sind die Bewertungskriterien für die Evaluation der Füllungen dargestellt. Die Qualitätsbezeichnung „Zufriedenstellend“ teilt sich in drei Kategorien auf. Die zweite Bezeichnung ist „Nicht akzeptabel“ und ist in zwei Kategorien unterteilt. Nähere Erläuterungen sind der Tab. 5 zu entnehmen. In Tab. 6 (S. 15) sind die Bewertungsmaßstäbe für die Evaluation der klinischen Füllungsänder aufgeführt. Auch hier gilt der nächsthöhere Maßstab für die Bewertung.

Qualitätsbezeichnung	Kategorie	Erklärung
Zufriedenstellend	1 = Klinisch sehr gut	Die Qualität der Restauration ist exzellent, der Zahn und/oder die umliegenden Gewebe werden adäquat geschützt.
	2 = Klinisch gut	Die Qualität der Restauration ist akzeptabel, ein oder mehrere Kriterien weichen vom Ideal ab. Eine Nachkorrektur und Überführung in den exzellenten Zustand wäre möglich bzw. ist nicht nötig. Ein Schaden für den Zahn und/oder die umliegenden Gewebe ist ausgeschlossen. Kontrolle in der nächsten Sitzung.
	3 = Klinisch ausreichend	Die Qualität der Restauration ist zufriedenstellend. Es bestehen geringe Mängel, die jedoch aufgrund ihrer Lokalisation / ihres Umfangs nicht ohne Schaden für den Zahn entfernt werden können, jedoch keine negativen Auswirkungen erwarten lassen.
Nicht akzeptabel	4 = Klinisch mangelhaft	Die Qualität der Restauration ist nicht akzeptabel, es bestehen starke Mängel, die einen künftigen Schaden für den Zahn und/oder die umliegenden Gewebe verursachen. Die Restauration sollte aus Präventionsgründen erneuert werden.
	5 = Klinisch schlecht	Die Qualität der Restauration ist nicht akzeptabel. Der Zahn und/oder die umliegenden Gewebe werden unmittelbar geschädigt, die Restauration sollte sofort erneuert werden.

Tab. 5 Die klinischen Bewertungskriterien zur Untersuchung der gesamten Füllung [21].

Alpha I	1	Klinisch sehr gut	Der Randbereich hebt sich weder in Form noch in Farbe von der Restauration und dem Restzahn ab und setzt die Kontur am Übergang Zahn/Füllung harmonisch fort.
Alpha II	2	Negative Stufe Überschuss Verfärbter Übergang (polierbar)	Die marginale Integrität weicht vom Ideal ab, ist jedoch klinisch uneingeschränkt akzeptabel und kann ohne Schaden für den Zahn in den „klinisch sehr guten“ Zustand (z. B. durch Politur) überführt werden. Sämtliche Abweichungen von der Idealform können meist durch Nachpolitur in einen optimalen Zustand überführt werden, ohne Zahnhartsubstanz oder umgebende Gewebe zu schädigen. Darunter fällt auch eine Verfärbung des Randbereiches, die sich klinisch (Sonde) als polierbar erweist.
Bravo	3	Randspalt/neg. Stufe Verfärbung Übergang (nicht polierbar)	Randspalte (>100 µm – gut sondierbar), die sich nicht ohne geringen Schaden für den Zahn oder die umliegenden Gewebe nachbessern lassen, jedoch auch ohne Nachbesserung nicht zu bleibenden negativen Folgen für den Zahn oder die umliegenden Gewebe führen.
Charlie	4	Randspalt (> 200 µm) Karies	Randspalte, die deutlich größer als 200 µm sind und bereits ohne Sondieren mit dem bloßen Auge erkennbar sind und zum Freiliegen des Dentins führen, machen eine Erneuerung zur Prävention erforderlich. Darunter fallen ebenfalls Randverfärbungen, die sich an der Füllung oder am Zahn entlang in die Tiefe ausbreiten.
Delta	5	Restauration locker Sekundärkaries (Dentin)	Besteht eine Lockerung der Restauration oder erstreckt sich eine Sekundärkaries bis ins Dentin, ist eine sofortige Behandlung (z. B. Erneuerung der Versorgung) erforderlich.

Tab. 6 Klinischer Bewertungsmaßstab der Füllungsänder [21].

4.3 Photodokumentation und Präzisionsabformung

Bei jeder Untersuchung wurde u. a. eine Photodokumentation (Sigma D90, Makro: DG Macro 105 mm, 1:2.8, Sigma-Ringblitz: em-140Dg) erstellt Abb. 1 (S. 16) und es wurden einzeitige, zweiphasige Abformungen (Doppelmischtechnik) der Füllungen mit einem A-Silikon (Dimension® Penta und Garant, 3M Espe AG, Seefeld, Deutschland,

Minitray®, Hagen & Werken, Duisburg, Deutschland) genommen Abb. 2 (S. 16) und desinfiziert (Impresept®, 3M Espe AG, Seefeld, Deutschland). Diese Abformungen wurden visuell auf Vollständigkeit der notwendigen Strukturen – keine Blasen im Bereich der Zähne – überprüft.

4.4 Replikaherstellung

Ein Vorwall wurde mit einem knetbaren Silikon (giroform® putty, Amann Girrbach AG, Koblach, Österreich) um die Zähne adaptiert. Nach dem Auspusten der Formen zu deren Reinigung wurden die Negative mit einem Epoxidharz (AlphaDie, Schütz-Dental Artikelnr. 621215, Chargenr. 2010007177) ausgegossen. Das Material wurde unter Einhaltung der Gebrauchsanweisung verarbeitet. Das Bearbeiten der Replika erfolgte nach frühestens einer Stunde. Mit einem Technikerhandstück und einer Fräse wurde der Überschuss entfernt. Dabei mussten sämtliche Strukturen der Krone unbeschädigt bleiben. Die Zähne wurden beschriftet und auf Probenteller geklebt (Leit-C n. Göcke, PLANO GMBH, Wetzlar, Deutschland). Abb. 3 (S. 17) zeigt die fertig hergestellte Replika des Zahnes 46.



Abb. 1



Abb. 2

In Abb. 1 ist ein photodokumentierter Zahn 46 (Lfd 7.8, Tetric Ceram) bei der klinischen Evaluation dargestellt. Auf der rechten Abb. 2 sieht man eine Präzisionsabformung desselbigen.



Abb. 3 Bespottete Replika des Zahnes 46 (Lfd 7.8)

4.5 Auswahlkriterien

Die Auswahl der Zähne für die Randspaltanalyse war abhängig von folgenden Einschluss- bzw. Ausschlusskriterien:

1. Alle Kontrolltermine wurden eingehalten.
2. Es mussten alle Abformungen und die Replikas vorhanden sein.
3. Das Split-Mouth-Design (quadrantenweise) musste eingehalten werden.
4. Eine Gleichverteilung der Komposite Tetric-Grandio musste erreicht werden.
5. Zwei Zähne pro Patient
6. Vergleichbare Region

Seit Dezember 2002 wurden in definierten Abständen von 2 Wochen, 6 Monaten sowie 1, 2, 4, 6 und 8 Jahren die Patienten von zwei unabhängigen Prüfern klinisch nachuntersucht. Das Datum dieser Untersuchungen orientierte sich terminlich an den Kontrolluntersuchungen. Die Nachuntersuchungsintervalle durften max. um $\pm 10\%$ unter- oder überschritten werden. Diese Auswahlkriterien sind von 40 Zähnen erfüllt worden. Bei der Auswahl der Zähne wurde darauf geachtet, dass diese sich im Kauzentrum befinden. Insgesamt belief sich die zu untersuchende Zahnanzahl auf 160 Replikas (40 Zähne pro Untersuchungszeitpunkt).

4.6 Quantitative Randspaltanalyse

4.6.1 Sputtervorgang

Damit die Oberfläche eines Zahnes im Mikroskop erkannt werden konnte, musste diese vorher mit einer Goldschicht besputtert werden. Dazu wurde das Gerät Polaron SC 502 Sputter Coater (Polaron Equipment Ltd., Watford, Herts, GB) verwendet. Bei 20 mA, 20 Pa Kammerdruck und 75 s wurden die Replikas in der Vakuumkammer beschichtet s. Abb. 3 (S. 17).

4.6.2 Bilder

Es wurden hochauflösende Bilder bei einer 10- bis 200-fachen Vergrößerung und 12–16 kV hergestellt (Amray 1610 Turbo, Software DISS5 Vers. 5.9, point electronic, Halle, Deutschland). Die Bilder wurden im .tiff-Format abgespeichert. Die Auflösung betrug: 100 Pixel = 100 µm vgl. Abb. 11 und Tab. 8 (S. 26). Der Ablauf der mikroskopischen Untersuchung war wie folgt:

1. Ein Übersichtsbild wurde bei 10- bis 20-facher Vergrößerung der Okklusionsfläche aufgenommen Abb. 4 (S. 19).
2. Der Anfang des Randspaltes wurde bei einem konstanten Zoom von x200 aufgesucht.
3. Entlang des Randes wurden stetig Bilder – bei gleichbleibender Vergrößerung x200 – produziert, wobei darauf geachtet wurde, dass die Ränder immer überlappend fotografiert respektive gespeichert wurden Abb. 5 (S. 20).
4. Abhängig von der Zahnachse auf dem Fixierteller wurde die X-, Y- und Z-Achse individuell eingestellt.

4.6.3 Rekonstruktion des Randspaltes

Die entstandene Bilder-Serie des jeweiligen Randspaltes musste vor der Auswertung wieder zusammengefügt werden. Sowohl das Zusammensetzen der Bilder als auch die Auswertung konnten mit Hilfe der Software Fiji (Fiji-win32, <http://fiji.sc/wiki/index.php/Downloads>), insbesondere mit den Plugins „Stitching“ und „KHKs_iQuantiGap“ (jQuantiGap, entwickelt von Prof. Dr. Karl-Heinz Kunzelmann, Poliklinik für Zahnerhaltung und Parodontologie, LMU München, Deutschland) realisiert werden.

Um die Einzelbilder miteinander zu verbinden, musste im Plugin „Stitching“ ein sogenanntes POI (Point Of Interest) mit Hilfe eines gelben Rechtecks bei zwei Bildern mit den Überlappungscharakteristika markiert werden Abb. 5 (S. 20). Dieses Programm fügt die Bilder dann zusammen Abb. 6 (S. 20). Das führte man so lange fort, bis der komplette Randspalt rekonstruiert war Abb. 7 (S. 21).

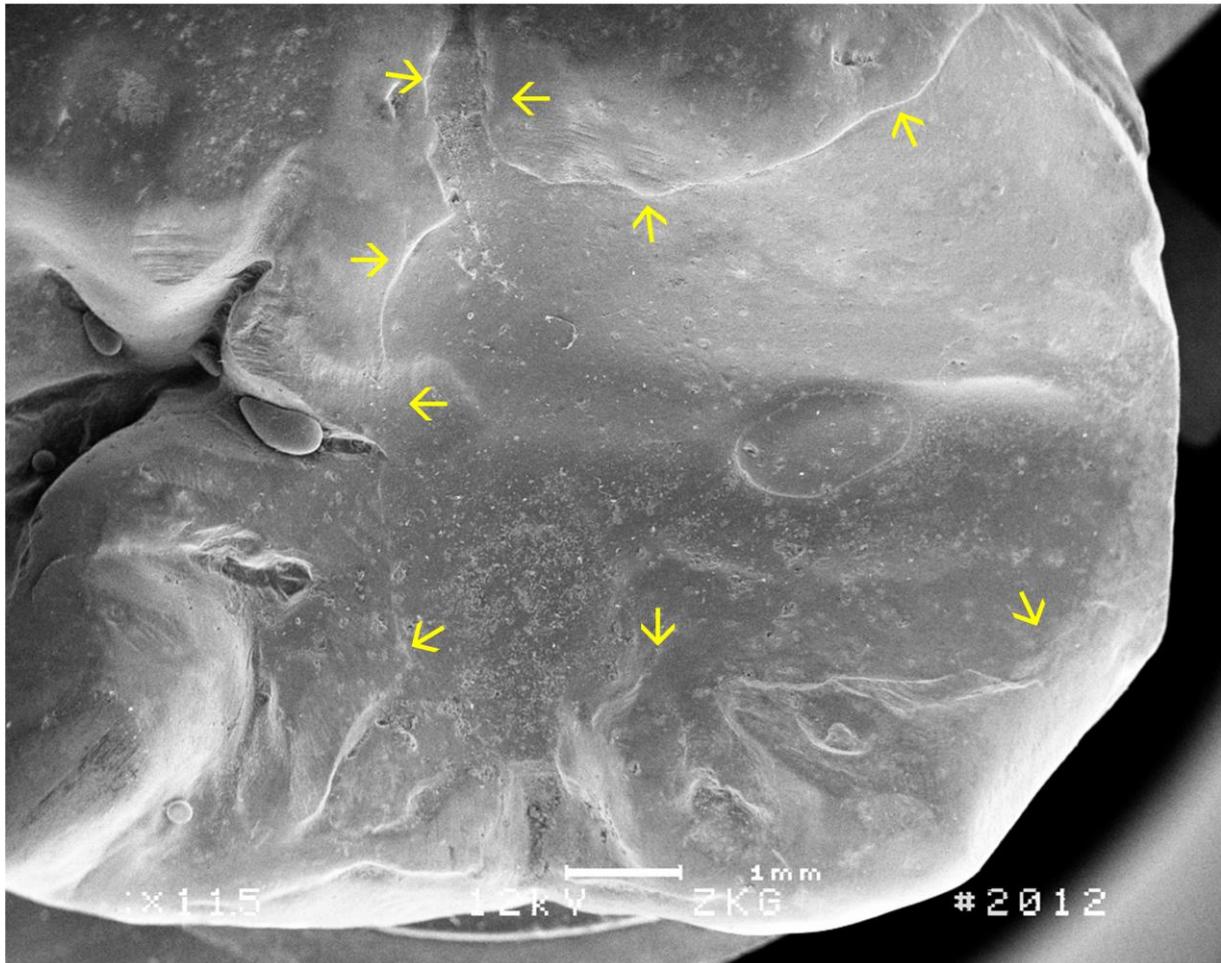


Abb. 4 Übersichtsbild eines Molars bei 11,5-facher Vergrößerung (Lfd 7.0, Zahn 46 od, Tetric Ceram). Die Pfeile sollen den Verlauf des Füllungsrandes verdeutlichen.

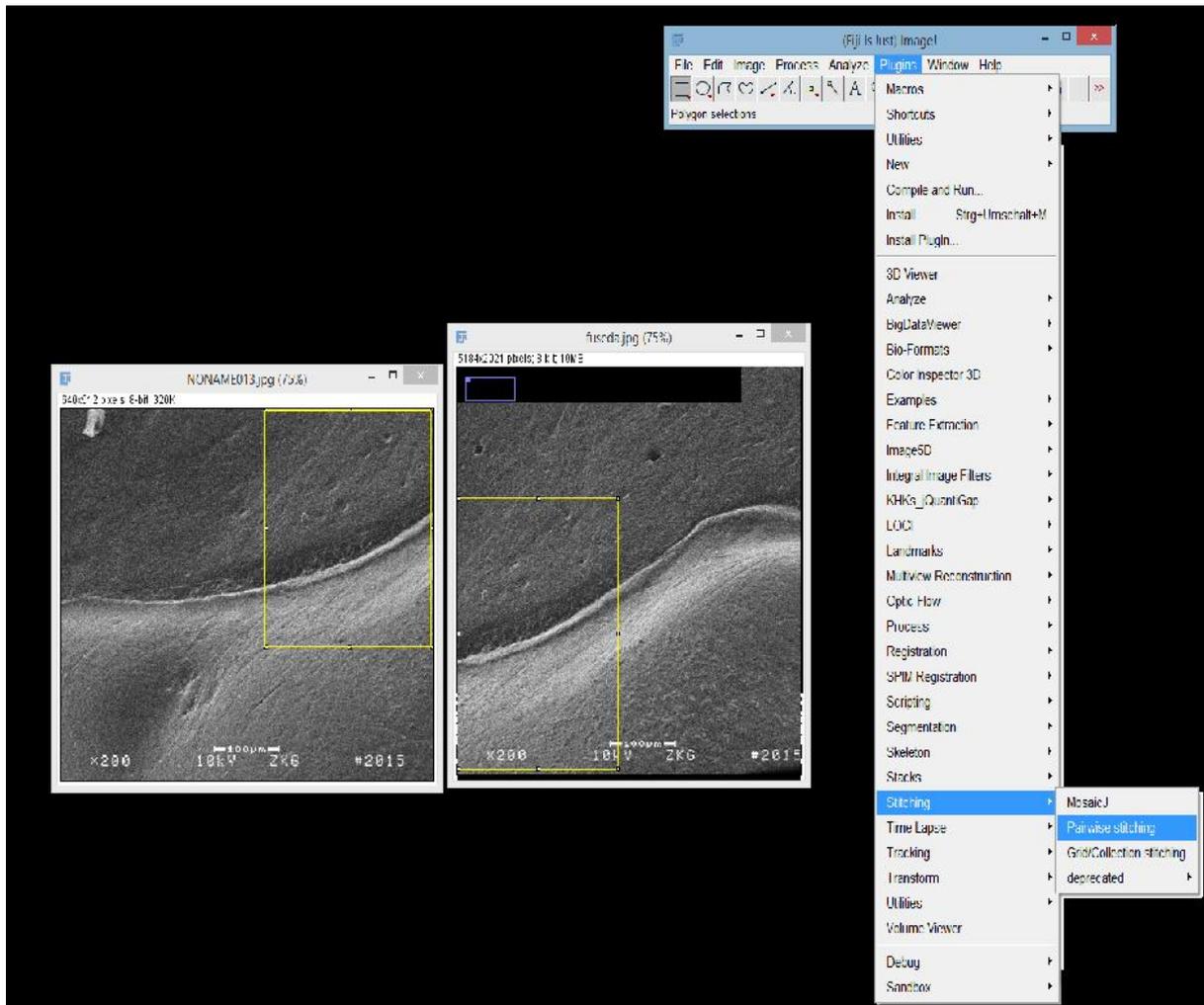


Abb. 5 Das geöffnete Fiji-Programm. Es sind zwei Bilder bei 200-facher Vergrößerung dargestellt, bei denen die Überlappungscharakteristika – das POI (gelbes Rechteck) – markiert sind. Somit kann das Plugin „Stitching“ die zwei Bilder zusammenfügen.

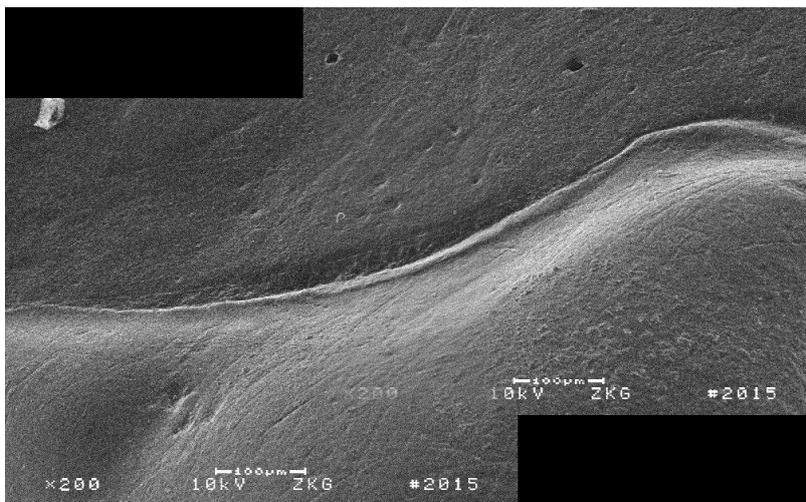


Abb. 6 Die zusammengefügte Bilder, die in Abb. 5 markiert wurden.

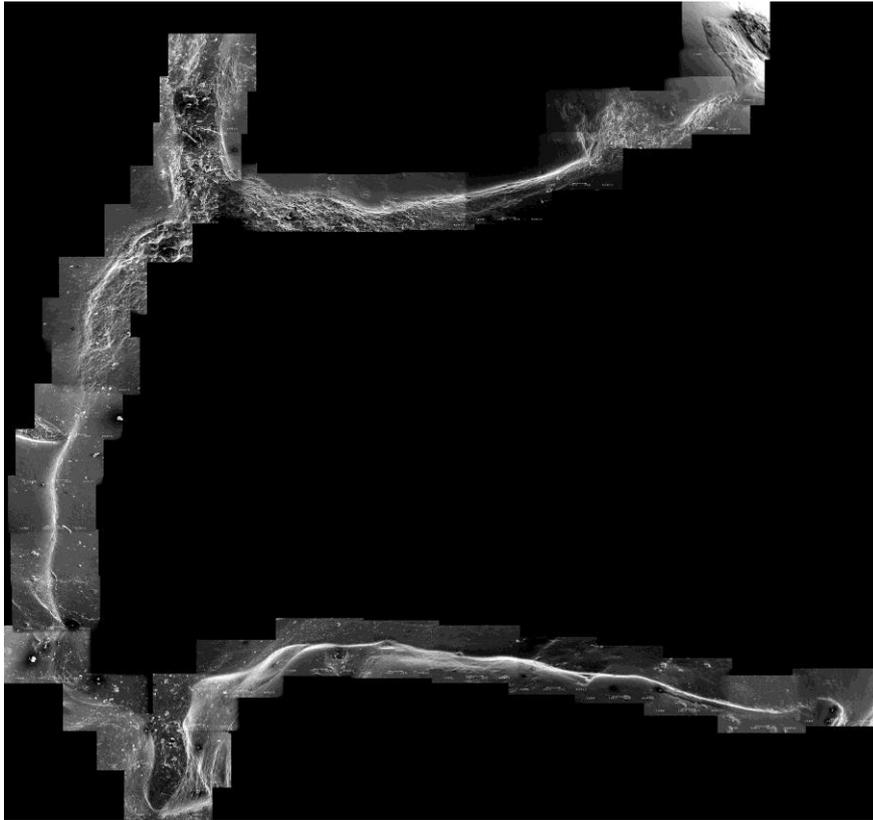
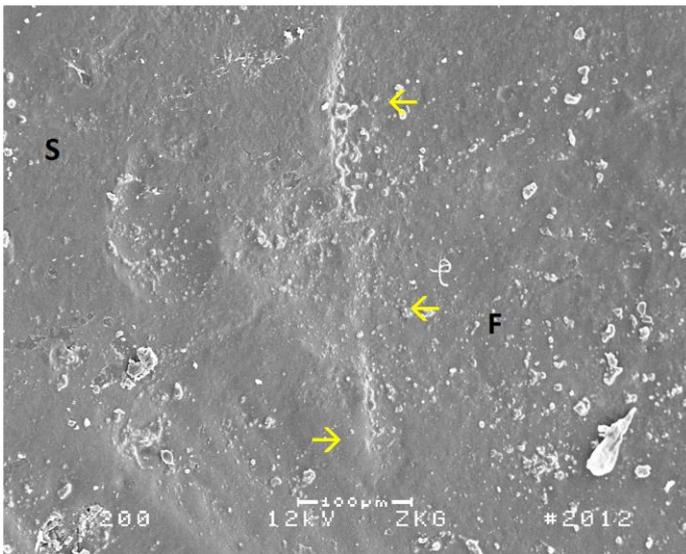
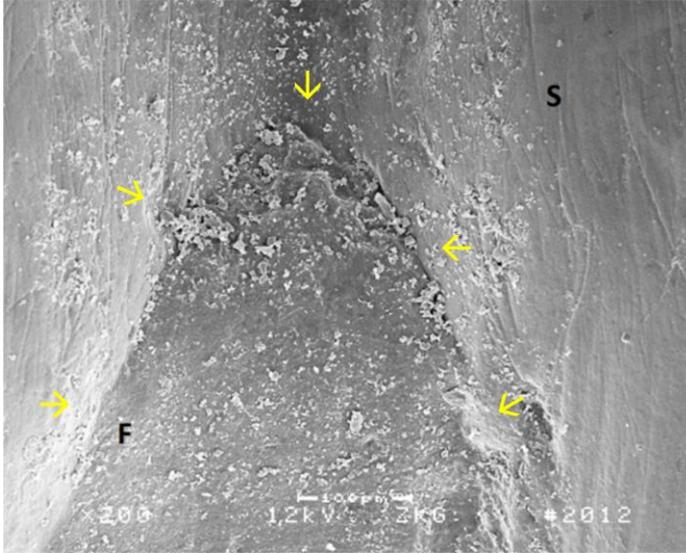
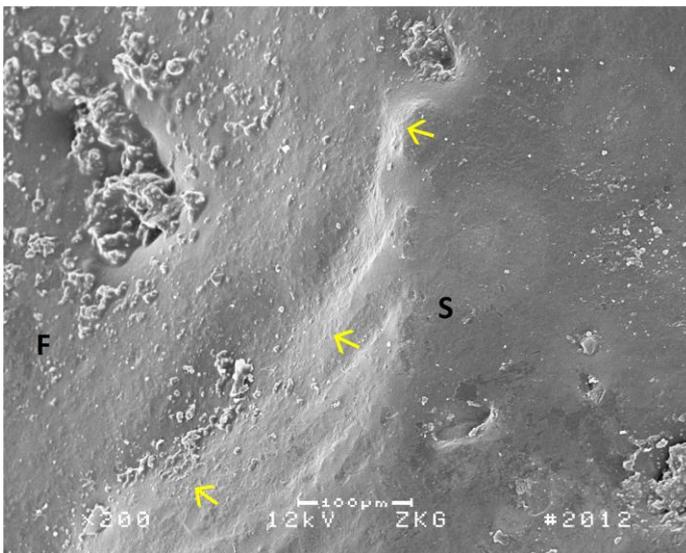


Abb. 7 Der rekonstruierte Randspalt des Zahnes 46 (Lfd 7.8). Insgesamt wurden 40 Einzelbilder angefertigt und zusammengefügt, um den gesamten Randspalt bei 200-facher Vergrößerung darstellen zu können.

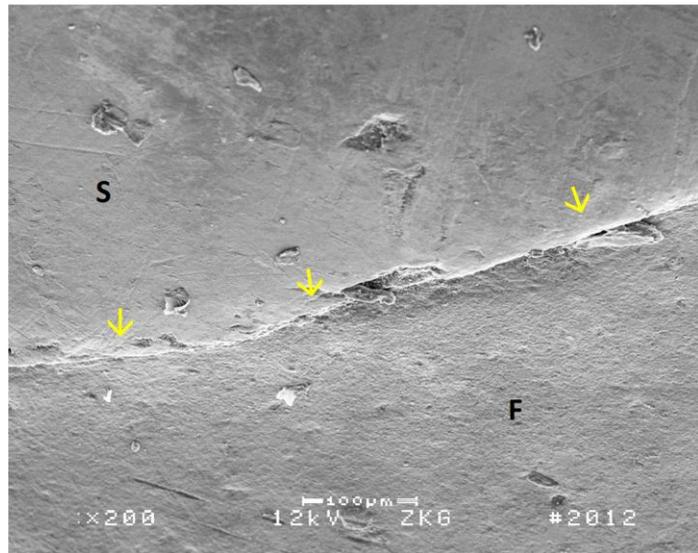
4.6.4 Auswertung

Grundsätzlich ist bei der Auswertung das Bild des rekonstruierten Randspaltes gewählt worden Abb. 7. Zunächst wählte man das zu untersuchende Bild im Fiji-Programm aus. Das Plugin KHKs_iQuantiGap wurde aktiviert. Dabei fragte das Plugin nach den Rahmendaten für die Rohdatentabelle. Diese wurden mit den individuellen Daten des Zahnes ausgefüllt und anschließend bestätigt Abb. 8 (S. 24). Nun konnte eine semi-quantitative Randspaltanalyse durchgeführt werden, indem eine Linie entlang des Füllungsrandes gelegt wurde Abb. 9 (S. 25). Auf diese Weise wurde die Länge der Untersuchungsstrecke definiert Abb. 10 (S. 25). Das Entscheidende dabei war die Möglichkeit, dass man der Linie sieben verschiedene Kriterien zuordnen konnte. Diese Kriterien sind in Tab. 7 (S. 22 ff) erklärt und mit den jeweiligen Bildbeispielen illustriert.

Kriterium	Bildäquivalent
<p>a) Perfekter Rand (per)</p> <p>Es ist kein eindeutiger Unterschied zwischen Schmelz und Füllung zu erkennen.</p>	
<p>b) Überschuss (ueber)</p> <p>Häufig durch die Anatomie des Zahnes bedingter Füllungsüberschuss, z. B. in tiefen Fissuren.</p>	
<p>c) Positive Stufe (pos)</p> <p>Deutlicher, durchgehender Materialüberstand: meist weit über den Füllungsrand hinaus zu finden.</p>	

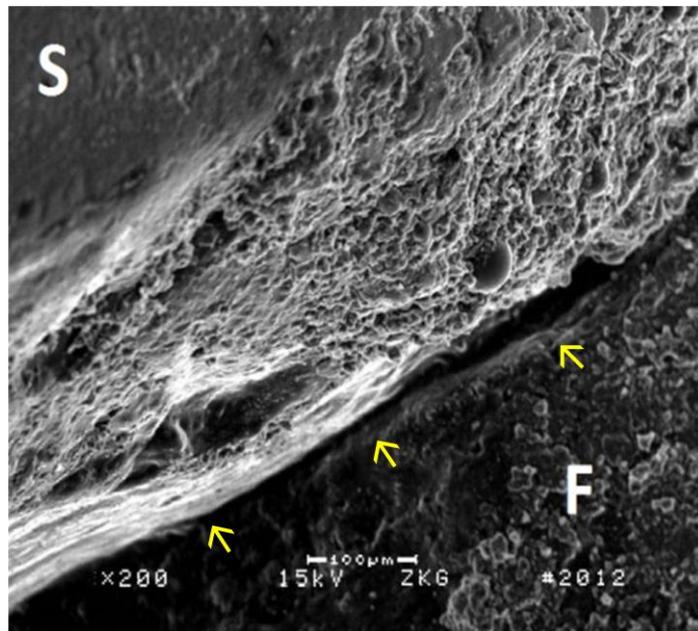
d) Negative Stufe (neg)

Der Übergang vom Schmelz zur Füllung ist deutlich zu erkennen: meist scharfbegrenzt.



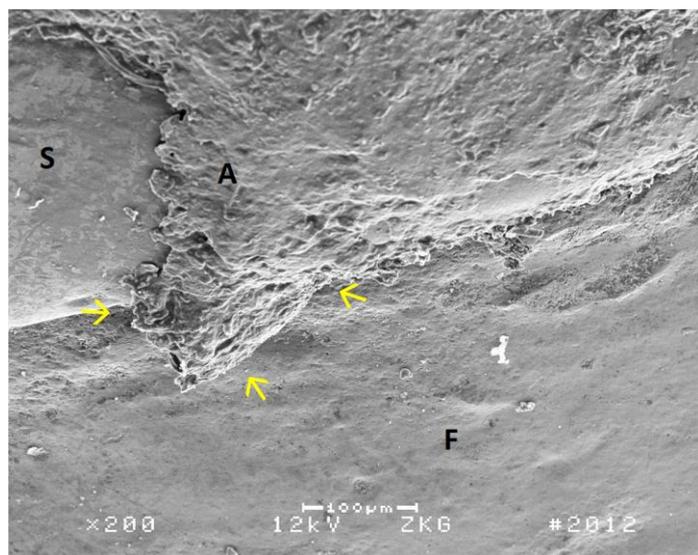
e) Spalt (spalt)

Die gelben Pfeile zeigen auf einen Spalt.



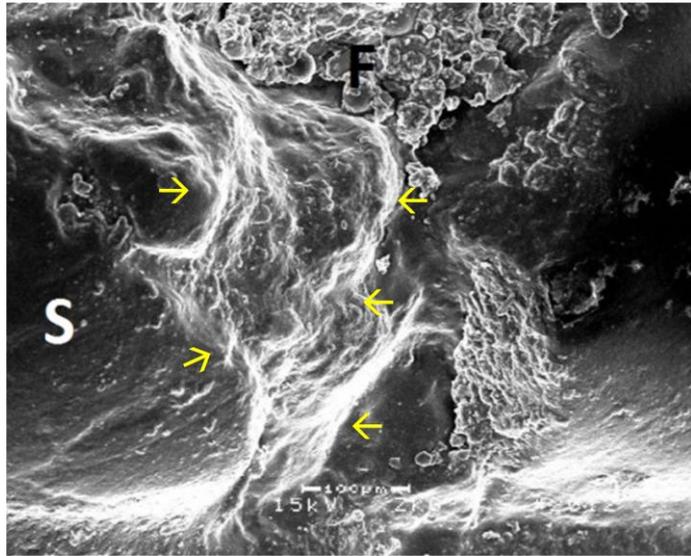
f) Nicht beurteilbar (nb)

Bedingt durch das Füllungs-material ist ein eindeutiger Füllungsrandverlauf nicht gewährleistet und somit nicht evaluierbar.



g) Fraktur (fra)

Unregelmäßiger Verlauf des Füllungsrandes.



Tab. 7 Die einzelnen Kriterien für die Bewertung der Füllungsänder mit dem zugehörigen Bildäquivalent. Die gelben Pfeile verdeutlichen die Kriterien zusätzlich. Legende: S = Schmelz, F = Füllung, A = Artefakt

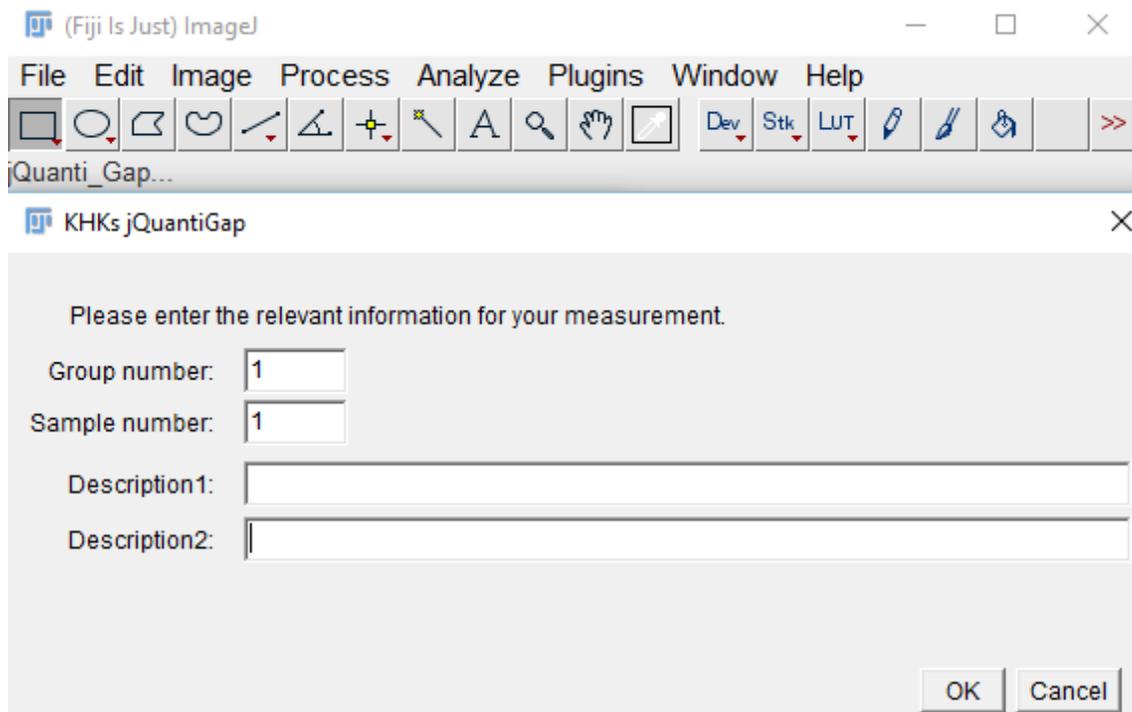


Abb. 8 Die Eingabemaske für die Rahmendaten. *Group number* blieb unverändert. Bei *Sample number* wurde die LFD des jeweiligen Zahnes eingegeben. *Description 2* ist für die Namen vorgesehen.

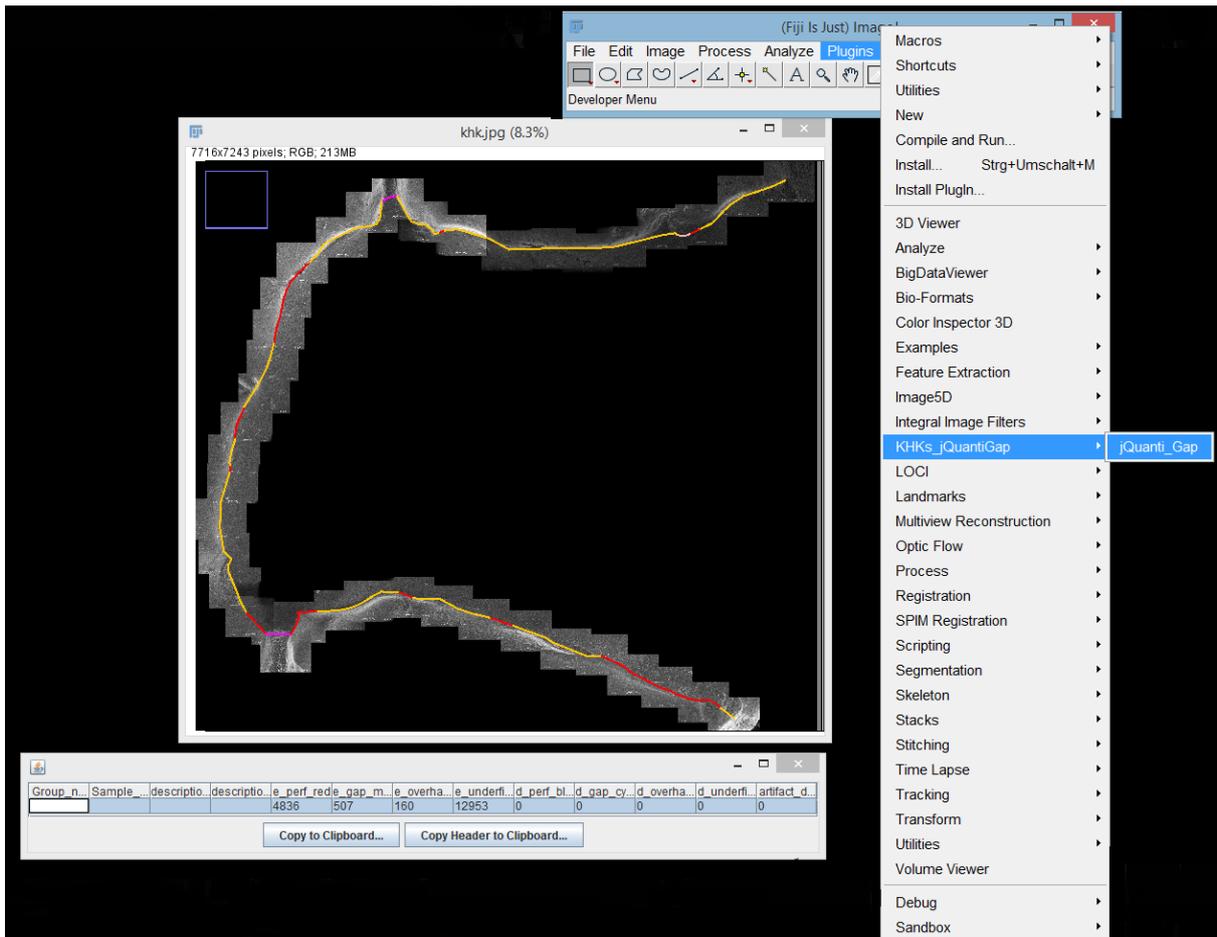


Abb. 9 Das geöffnete Fiji-Programm mit dem Plugin KHKs_iQuantiGap. Der zusammengefügte Zahn (LFD 7.8) ist bereits evaluiert worden. Die ausgegebenen Werte sind in der Tabelle dargestellt und bereit, in die Rohdatentabelle eingefügt zu werden.

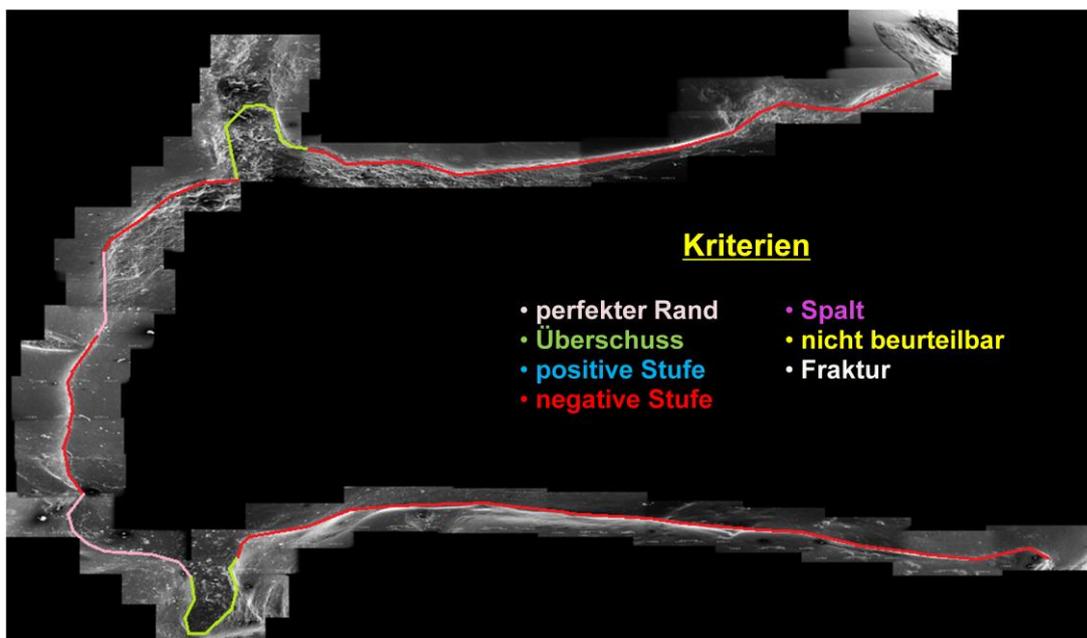


Abb. 10 Das Bild zeigt den Zahn 46 (Lfd 7.8). Mit dem Beenden der Untersuchung wurden die Längen der definierten Kriterien einzeln aufgelistet. Diese wurden in die jeweilige Rohdatentabelle eingefügt.

4.6.5 Maßstabskontrolle

Die Maßstabskontrolle erfolgte auf der gleichen Art und Weise wie die Auswertung des Randspaltes. Auf der 100- μm -Skala wurde eine Linie vom Anfang bis zum Ende gelegt Abb. 11. Die Linie entspricht bei den Werten x200 und bei einer Länge von 100 μm 100 Pixel Tab. 8.



Abb. 11 Ein Randspalt bei x200. Auf der 100- μm -Skala ist ein pinkfarbener Balken gelegt worden.

Group_n...	Sample...	descripti...	descripti...	e_perf_r...	e_gap_...	e_overh...	e_underf...	d_perf_b...	d_gap_c...	d_overh...	d_underf...	artifact_...
1	1	Kalibrier...		0	100	0	0	0	0	0	0	0

Copy to Clipboard... Copy Header to Clipboard...

Tab. 8 Rohdaten-Tabelle des Plugins „KHKsjQuantiGap“: In der Tabellenspalte „e_gap_...“ ist der Messwert 100 Pixel zu sehen, der wie in Abb. 10 gezeigt vorher kalibriert wurde. Zu Demonstrationszwecken wurde hier die Farbe Pink gewählt. Diese Farbe steht bei der tatsächlichen Randspaltanalyse für „Perfekter Rand“.

4.7 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung der Rohdaten erfolgte mit dem Softwareprogramm SPSS for Windows (Version 15, SPSS inc, Chicago, USA).

Für die deskriptive Statistik sind alle Daten der Rohdatentabelle ins SPSS-Programm eingefügt worden.

Als nicht-parametrischer Test wurde der Friedman-Test für abhängige Stichproben ausgewählt. Es wurden die sieben Kriterien der beiden Gruppen (Grandio vs. Tetric Ceram) auf die möglichen signifikanten Veränderungen in Abhängigkeit von der Zeit (0, 2, 4 und 8 Jahre) untersucht. Für die unabhängigen Stichproben wurde der Mann-

Whitney-U-Test ausgewählt. Mit diesem nicht-parametrischen Test wurden die beiden Werkstoffgruppen auf die möglichen signifikanten Unterschiede in Bezug auf die Materialien untersucht. Analog zur SQRA wurden die klinischen Ergebnisse statistisch ausgewertet.

Die graphische Darstellung der Ergebnisse wurde mit Hilfe von Säulendiagrammen durchgeführt.

5 Ergebnisse

5.1 Semi-quantitative Randspaltanalyse

5.1.1 Deskriptive Statistik

Die durchschnittliche Liegedauer der Kompositfüllungen betrug 8,2 Jahre. Es handelte sich um 16 Oberkieferprämolaren, 9 Oberkiefermolaren, 9 Unterkieferprämolaren und 6 Unterkiefermolaren sowie je 20 Solobond-M+Grandio-Füllungen und Syntac+Tetric-Ceram-Füllungen (14 Frauen und 6 Männer, mit einem Durchschnittsalter von 32,4 Jahren). Die Gründe der Füllungstherapie waren: 11 kariöse Defekte, zwei insuffiziente Füllungen und 27 Zähne mit Sekundärkaries. Die gefüllten Zähne mit Grandio setzten sich aus 15 Prämolaren und 5 Molaren zusammen. An 13 Zähnen wurde eine Caries-Profunda-Therapie durchgeführt. Jeweils 10 Prämolaren und Molaren wurden mit Tetric Ceram gefüllt (17 Zähne mit Caries-Profunda-Therapie). Die Kavitätenausdehnung sah wie folgt aus: 11x mo, 22x od, 5x mod und 2x mod-b. Insgesamt belief sich die untersuchende Zahnanzahl auf 160 Replikas (40 Zähne im Untersuchungsjahr 0 Jahre, 2 Jahre, 4 Jahre, 8 Jahre).

5.1.2 Unterschiede und Gemeinsamkeiten der Füllungsmaterialien im Verlauf

Der Vergleich der Materialien ergab in keiner Kategorie einen signifikanten Unterschied im Verlauf des Untersuchungszeitraumes (Mann-Whitney-U-Test, $p > 0.05$). Abb. 21 (S. 34) verdeutlicht die verschiedenen Anteile der Kriterien. Wie bei der SQRA wird deutlich, dass sich die Qualität der Füllungsänder im Verlauf in Richtung „Negative Stufe“ (Alpha IIa und Bravo a) und „Füllungsrandverfärbung“ (Alpha IIc und Bravo b) entwickelte.

Sowohl bei Grandio als auch bei Tetric Ceram gab es ein Absinken von „Klinisch sehr gut – perfekter Rand“ (Alpha I) bei der Baseline-Untersuchung (45 % Grandio/ 45 % Tetric Ceram) im Vergleich zu den anderen Untersuchungsjahren 2, 4 und 8 Jahren (0 % Grandio / 0 % Tetric Ceram). Auf der anderen Seite stieg der Anteil „Negative Stufe“ (Alpha IIa und Bravo a) im gesamten Zeitraum stetig an. Das Kriterium „Verfärbung Übergang nicht polierbar“ (Bravo b) ist ebenfalls bei beiden Materialien gestiegen (Baseline: 0 % Grandio / 0 % Tetric Ceram; 8 Jahre: 30 % Grandio / 60 % Tetric Ceram).

Der Anteil des Überschusses war bei der Baseline-Untersuchung (45 % Grandio / 45 % Tetric Ceram) deutlich höher als in den Untersuchungsjahren danach (8 Jahre: 5 % Grandio / 5 % Tetric Ceram). Die Abbildungen 17–20 (S.33) zeigen einen Prämolar in der klinischen und rasterelektronischen Situation auf.

5.1.3 Marginale Analyse des Beobachtungszeitraumes

	N	0 Jahre MW	2 Jahre MW	4 Jahre MW	8 Jahre MW	p -Wert
Perfekter Rand [σ]	40	59,71 [15,47]	23,67 [15,16]	19,47 [13,90]	15,67 [14,00]	0,000
Überschuss [σ]	40	5,88 [10,47]	6,06 [8,34]	5,46 [7,90]	4,00 [6,10]	0,429
Positive Stufe [σ]	40	14,80 [11,40]	12,56 [10,46]	11,19 [10,12]	10,28 [8,83]	0,050
Negative Stufe [σ]	40	19,32 [14,70]	57,09 [18,20]	63,42 [19,35]	69,95 [17,88]	0,000
Spalt [σ]	40	0,22 [0,67]	0,61 [2,02]	0,47 [1,33]	0,06 [0,37]	0,138
Fraktur [σ]	40	0,00 [0,00]	0,00 [0,00]	0,00 [0,00]	0,00 [0,00]	-
Nicht beurteilbar [σ]	40	0,07 [0,30]	0,02 [0,14]	0,00 [0,00]	0,05 [0,31]	0,572
Gesamtlänge in px [σ]	40	15918,45 [5979,58]	16462,88 [6566,89]	16576,33 [6736,70]	16649,38 [6932,46]	

Tab. 9 Friedmann-Test: Veränderung des Füllungsrandes in Abhängigkeit von der Zeit (MW = Mittelwert, σ = Standardabweichung, N = 40, Angaben in Prozent)

Es konnte eine Abnahme des „perfekten Randes“ aller Untersuchungszeitpunkte im Bezug zur Baseline festgestellt werden ($p < 0,05$). Auffällig dabei war die Abnahme des Kriteriums nach zwei Jahren von 59,71 % auf 23,67 %. Dieser Unterschied war der größte aller Untersuchungszeiträume. Nach acht Jahren belief sich das Kriterium des Füllungsrandes auf 15,67 %. Insgesamt ist der Anteil „Perfekter Rand“ von null bis acht Jahren um 73,76 % gesunken. In den Abb. 12–15 (S. 30) ist ein Zahn 46 nach der Baseline- und Acht-Jahres-Untersuchung dargestellt. Überwiegend ist ein perfekter

Rand in der Ausgangssituation zu sehen. Nach acht Jahren ist dieser Rand zum größten Teil zu einer negativen Stufe geworden. Im Gegensatz zum „perfekten Rand“ verhielt sich das Kriterium „negative Stufe“ genau gespiegelt. In Abb. 16 (S. 31) ist diese gespiegelte Entwicklung der Kriterien „Perfekter Rand“ und „Negative Stufe“ verdeutlicht. Es konnte ein signifikanter Unterschied des Kriteriums „Negative Stufe“ in Bezug auf die Baseline-Untersuchung festgestellt werden ($p < 0.05$). Der Anteil „Negative Stufe“ ist von null bis acht Jahren um 72,38 % gestiegen. Die Abbildungen 12–15 verdeutlichen die Bildung der negativen Stufe, welche im Wesentlichen die Abrasion der Füllungen während der Nutzungsphase beschreibt. Alle anderen Kriterien sind ohne Auffälligkeiten Tab. 9 (S.29).

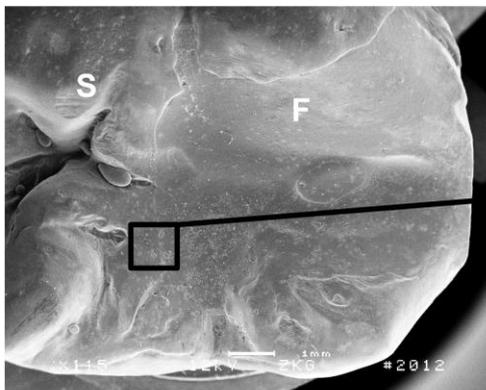


Abb. 12 REM-Übersichtsbild des Zahnes 46 nach 0 Jahren bei 11,5x Vergrößerung

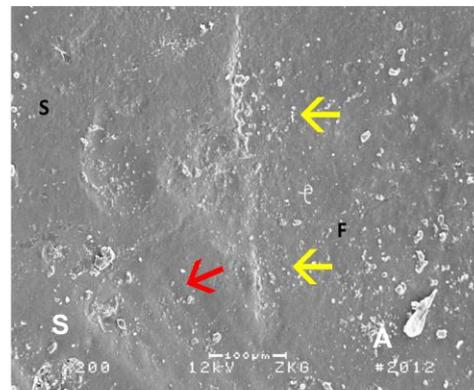


Abb. 13 Perfekter Rand bei 0 Jahren Riefen durch die Oberflächenausarbeitung (200x)

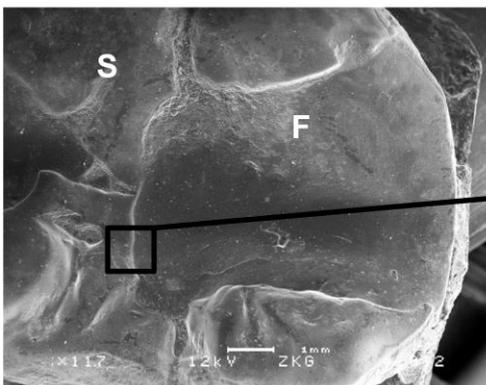


Abb. 14 REM-Übersichtsbild des Zahnes 46 nach 8 Jahren bei 11,7x Vergrößerung

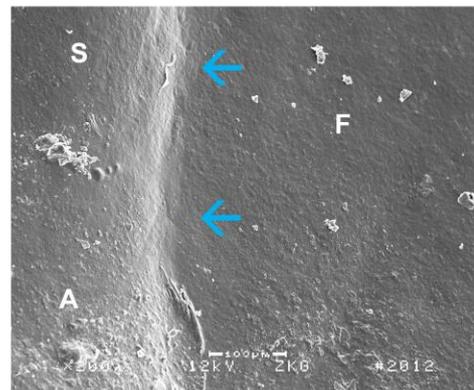


Abb. 15 Negative Stufe bei 8 Jahren (200x)

(S = Schmelz, F = Füllung, A = Artefakt.)

5.1.4 Marginale Analyse bezogen auf die Füllungsmaterialien

Selektiert betrachtet konnte ein signifikanter Unterschied des „perfekten Randes“ und der „negativen Stufe“ aller Zähne im Verlauf der Studie sowohl bei Grandio- als auch bei Tetric-Ceram-Restaurationen in Bezug auf die Baseline-Untersuchung festgestellt werden ($p < 0.05$). Im Wesentlichen stellte sich der Verlauf genauso dar wie bei der Gesamtbeurteilung der Füllungen: Der Anteil der positiven Stufe verringerte sich signifikant. Gleichzeitig erhöhte sich der Anteil der negativen Stufe Abb. 16.

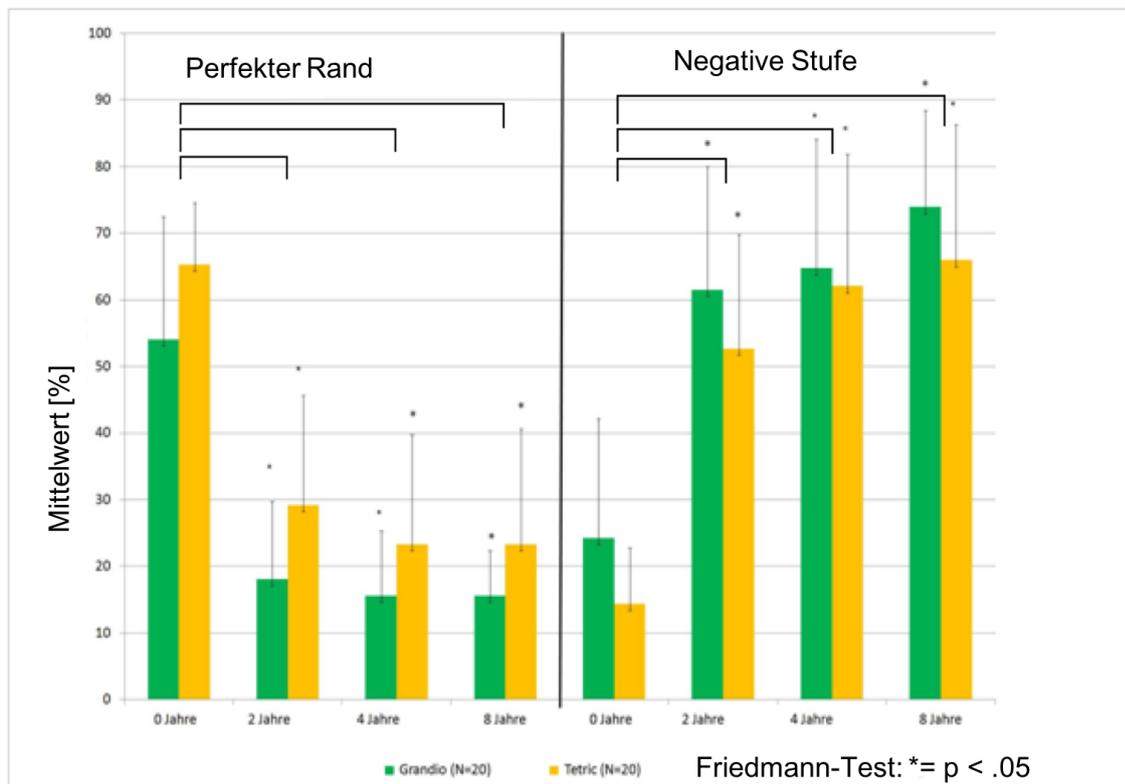


Abb. 16 Mittelwert und Standardabweichung der marginalen Integrität von Grandio und Tetric Ceram in Abhängigkeit vom Untersuchungszeitraum (Friedmann-Test: * = $p < 0.05$)

5.2 Grandio vs. Tetric Ceram

Tab. 10 (S.32) zeigt die Entwicklung der einzelnen Kriterien für Grandio und Tetric Ceram im Verlauf der acht Jahre auf und beschreibt mögliche vorhandene Unterschiede der verschiedenen Werkstoffe. Das Kriterium „Perfekter Rand“ ist das einzige, bei dem Signifikanzen im Mann-Whitney-U-Test aufgetreten sind (0, 2 und 8 Jahre). Bei der genauen Betrachtung der Signifikanzen der anderen Kriterien erkennt man keine Unterschiede der Materialien.

	N	Füllungsmaterial	0 Jahre MW	2 Jahre MW	4 Jahre MW	8 Jahre MW
Perfekter Rand [σ]	20	Grandio	54,07 [18,43]	18,09 [11,66]	15,60 [9,78]	10,35 [6,72]
	20	Tetric	65,34 [9,20]	29,22 [16,45]	23,33 [16,41]	20,99 [17,26]
P-Wert			0,013	0,010	0,121	0,011
Überschuss [σ]	20	Grandio	7,63 [12,58]	7,00 [9,28]	7,57 [8,86]	5,12 [7,43]
	20	Tetric	4,12 [7,77]	5,13 [7,41]	3,35 [6,35]	2,88 [4,30]
P-Wert			0,192	0,862	0,142	0,659
Positive Stufe [σ]	20	Grandio	13,95 [11,63]	12,34 [9,65]	11,63 [10,65]	10,48 [8,86]
	20	Tetric	15,66 [11,41]	12,78 [11,46]	10,74 [9,81]	10,07 [9,03]
P-Wert			0,602	0,883	0,904	0,904
Negative Stufe [σ]	20	Grandio	24,26 [17,95]	61,50 [18,56]	64,76 [19,32]	73,94 [14,47]
	20	Tetric	14,39 [8,40]	52,68 [17,16]	62,09 [19,80]	65,97 [20,33]
P-Wert			0,096	0,183	0,738	0,183
Spalt [σ]	20	Grandio	0,09 [0,40]	1,06 [2,79]	0,44 [1,15]	0,11 [0,51]
	20	Tetric	0,35 [0,85]	0,15 [0,38]	0,49 [1,53]	0,00 [0,00]
P-Wert			0,301	0,547	0,968	0,799
Fraktur [σ]	20	Grandio	0,00 [0,00]	0,00 [0,00]	0,00 [0,00]	0,00 [0,00]
	20	Tetric	0,00 [0,00]	0,00 [0,00]	0,00 [0,00]	0,00 [0,00]
P-Wert			1,000	1,000	1,000	1,000
Nicht beurteilbar [σ]	20	Grandio	0,00 [0,00]	0,00 [0,00]	0,00 [0,00]	0,00 [0,00]
	20	Tetric	0,13 [0,42]	0,04 [0,20]	0,00 [0,00]	0,10 [0,44]
P-Wert			0,602	0,799	1,000	0,799
Gesamtlänge in px [σ]	20	Grandio	14154,70 [5133,51]	14693,35 [6022,01]	14813,65 [5977,11]	14634,10 [5965,74]
	20	Tetric	17682,20 [6363,23]	18232,40 [6757,31]	18339,00 [7133,58]	18664,65 [7382,91]
P-Wert			0,072	0,068	0,72	0,056

Tab. 10 Mann-Whitney-U-Test: Unterschiede der Füllgränder zwischen Grandio und Tetric Ceram in Abhängigkeit von der Zeit (MW = Mittelwert, σ = Standardabweichung, N = 40).

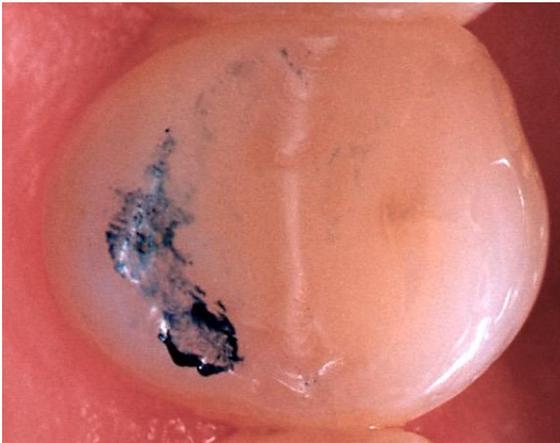


Abb.17 0 Jahre: Übersichtsbild LFD 26.0 (Zahn 15 od - gespiegelt) Zu sehen ist die klinische Situation der Füllung bei der Baseline-Untersuchung. Die blaue Markierung stellt den Kontakt mit dem Gegenkieferzahn dar. Die okkludistale Füllung ist kaum zu erkennen.

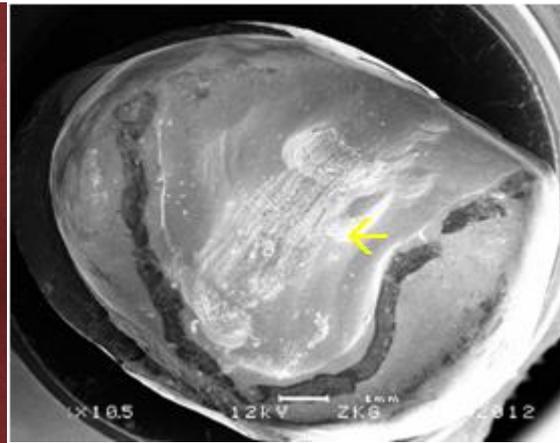


Abb. 18 0 Jahre: Übersichtsbild LFD 26.0 (Zahn 15 od) bei 10,5-facher Vergrößerung. Zu erkennen ist eine Markierung um den Füllungsrand herum. Der gelbe Pfeil zeigt auf die Schleifspuren, die bei der Ausarbeitung entstanden sind. Im Vergleich ist der Füllungsrand deutlicher zu erkennen.

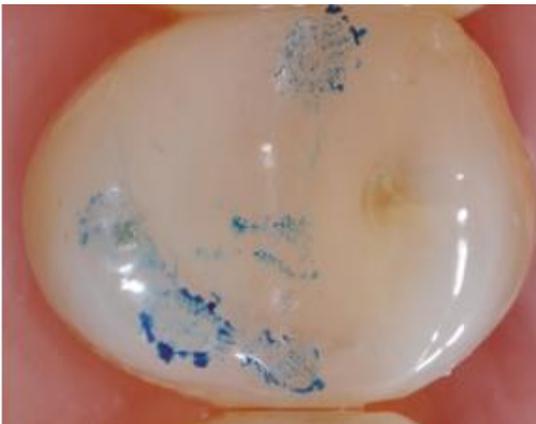


Abb. 19 8 Jahre: Übersichtsbild LFD 26.8 (Zahn 15 od - gespiegelt). Zu sehen ist die klinische Situation der Füllung bei der Achtjahres-Untersuchung. Die blaue Markierung stellt den Kontakt mit dem Gegenkieferzahn dar. Die okkludistale Füllung ist deutlicher zu erkennen.

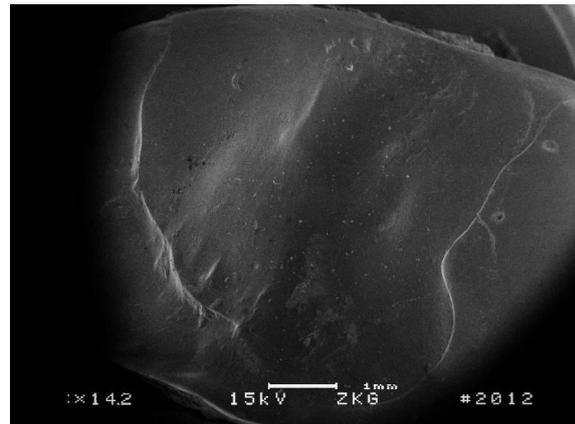


Abb. 20 8 Jahre: Übersichtsbild LFD 26.8 (Zahn 15 od) bei 14,2-facher Vergrößerung. Der Füllungsrand ist deutlich erkennbar, die Schleifspuren sind nicht mehr vorhanden.

Klinische Auswertung der marginalen Integrität

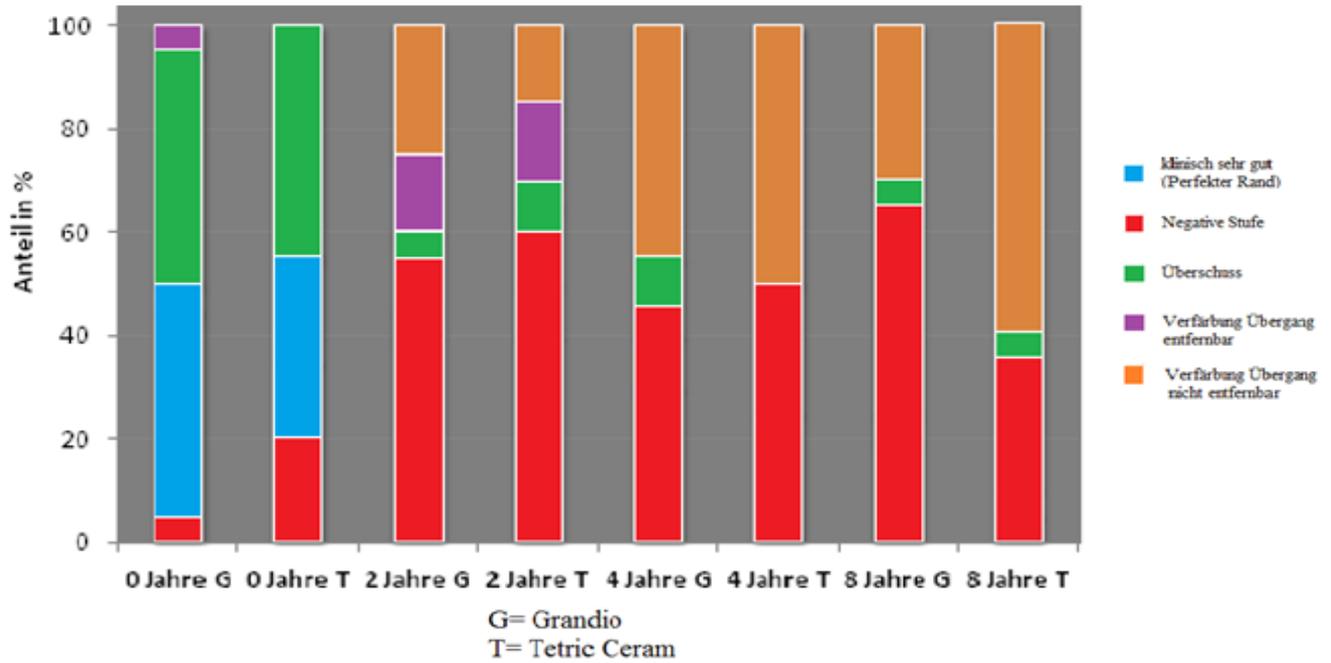


Abb. 21 Mann-Whitney-U-Test: Prozentualer Anteil der klinischen Untersuchungskriterien in Abhängigkeit von der Zeit (N = 40).

6 Diskussion

6.1 Methodenkritik

Klinische Langzeitstudien sind etablierte Untersuchungsformen, um adhäsive Restaurationen zu evaluieren [72]. Um frühzeitige Veränderungen am Randspalt erkennen zu können, sollte zur klinischen Untersuchung zusätzlich eine Modellanalyse (semi-quantitative Randspaltanalyse oder Abrasionsuntersuchung) erfolgen, um u. a. objektivierbare Ergebnisse zu erhalten [25].

Der langfristige Untersuchungszeitraum von 8 Jahren ermöglichte Informationen (Überlebensrate, Sekundärkaries), die erst mit einer Verweildauer von 4 bis 6 Jahren in der Mundhöhle entstehen können. Daraus folgt prinzipiell, dass klinische Studien mit mehr als 4 bis 6 Jahresuntersuchungen für die möglichen Folgen wie Sekundärkaries oder Frakturen interessant werden [92]. Aufgrund hoher Kosten und großen Aufwands sind klinische Langzeitstudien gerade in diesem Gebiet der Zahnmedizin sehr selten und die Durchführbarkeit ist erschwert, weil die Patienten über eine sehr lange Periode an engmaschigen Untersuchungsintervallen teilnehmen müssen [12]. Um die Patienten zu motivieren, wurde ein kostenloses Mundhygiene-Programm angeboten und ein dezidiertes Recall-Programm durchgeführt. Diese Maßnahmen wurden dankbar angenommen und sind für neue Studien zu empfehlen, um die Compliance der Patienten über lange Studienzeiträume aufrechterhalten zu können.

Wenn unterschiedliche Behandler für eine Studie die Restaurationen durchführen, können in Bezug auf die Wiederholbarkeit und Standardisierung unterschiedliche Behandlungsergebnisse folgen, die nicht zu verhindern sind [76]. Denn so ist die Vergleichbarkeit nicht eindeutig und die Ergebnisse können dadurch beeinflusst werden [65,80]. Die insgesamt 68 Füllungen wurden von ein und demselben Behandler gelegt, um mögliche o. g. Komplikationen nicht zu generieren. Das Vorgehen der Therapie wurde eindeutig festgelegt (s. Material und Methode). Die zwei Untersucher wurden vor der Evaluation der Füllungen kalibriert und wussten im Sinne der Doppel-Blind-Studie nicht, welche Materialien bei dem zu untersuchenden Zahn gelegt wurden.

In dieser Modellanalyse wurde darauf geachtet, dass sowohl die Füllungen als auch die verglichenen Zähne der semi-quantitativen Randspaltanalyse die Kriterien des Split-Mouth-Designs erfüllten. Ein großer Vorteil vom Split-Mouth-Design liegt darin, dass sich sowohl die Kontrollgruppe als auch die zu vergleichenden Restaurationen im selben Mundraum befinden und somit weitgehend gleiche Bedingungen vorherrschen

[80]. Der Füllungswerkstoff der Kontrollgruppe war zum damaligen Zeitpunkt eines der gängigen Kontrollgruppenmaterialien. Aufgrund der Datenlage und Untersuchungen von Tetric Ceram eignet sich dieses Komposit als Goldstandard [13].

Eine mögliche Problematik bei der Replikaauswertung lag in der Genauigkeit und Unversehrtheit der Abformungen und der Herstellung der Replikas. Denn Fehler wie Luftblasen in der Abformung, Verzüge des Materials oder Dimensionsverlust führen zu einer Kette von Problemen bei der Auswertung in Bezug auf die Kriterien, wie z. B. „Gesamtlänge“ oder „Nicht beurteilbar“. Deshalb kam bei jeder klinischen Untersuchung zum Abformen der Füllungen ein zeichengenaues A-Silikon zum Einsatz. Diese additionsvernetzende Silikonabformung (Dimension® Penta und Garant, 3M Espe AG, Seefeld) musste ausgehärtet, blasenfrei, eindeutig, gereinigt und im Abformtray fest verbunden gewesen sein, um die höchsten Präzisionsanforderungen erfüllen zu können. Das Ausgießen der Abformungen erfolgte mit einem etablierten Epoxidharz (AlphaDie, Schütz-Dental) [79]. Dabei wurde stets auf die Vollständigkeit und Unversehrtheit der gefüllten Zähne geachtet, damit der komplette Füllungsrand untersucht werden konnte und es nicht zum Fehlen von wichtigen Anteilen des Randes bei der SQRA kommen konnte. Darüber hinaus wurden stets die Gebrauchsvorschriften eingehalten [79].

Ein weiteres Problem konnte sich bereits beim Restaurieren des Zahnes einstellen. Denn eine unzureichende Ausarbeitung der Füllungsänder führt unmittelbar zu einer erschwerten Auswertung des Randes, weil die Kompositüberschüsse eine eindeutige Identifikation des Randes unmöglich machen können [5,25]. Das korrelierende Kriterium „Nicht beurteilbar“ könnte dann die dominierende Größe bei der Auswertung sein [22,25]. Um dies möglichst gering zu halten, wurde bei der Unterweisung des Behandlers akribisch das Behandlungsprotokoll durchgearbeitet, während die einzelnen Schritte kontrolliert wurden (Material & Methode). Die Beurteilung von Überschüssen im Rasterelektronenmikroskop stellte sich im Übergang Komposit/Schmelz als schwierig heraus [25]. Allerdings ist ein vollständiges Verhindern der Bildung von Überschüssen nicht möglich [22]. In den Abb. 22–24 (S. 37) ist exemplarisch dargestellt, wie der Anteil eines Füllungsüberschusses typischerweise in der Fissur zu finden ist. Es fällt gerade in der Abb. 23 (S. 37) im Vergleich zu Abb. 24 (S. 37) auf, wie deutlich die Abrasion den Füllungsüberschuss reduziert hat, jedoch nicht komplett entfernen konnte.

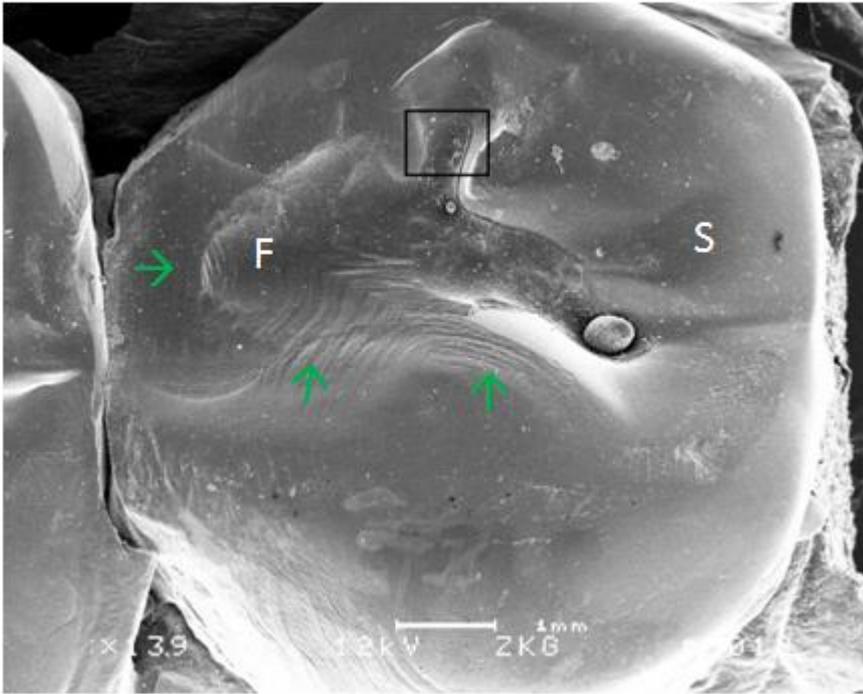


Abb. 22 Übersichtsbild eines Zahnes 24 od LFD 65.0 in 13,9-facher Vergrößerung bei der Erstuntersuchung. Der Kasten verdeutlicht die typische Lokalisierung des Kompositüberschusses in einer Fissur direkt nach der Füllungstherapie. Die grünen Pfeile weisen auf die Ausarbeitungsriefen hin. F = Füllung S = Schmelz

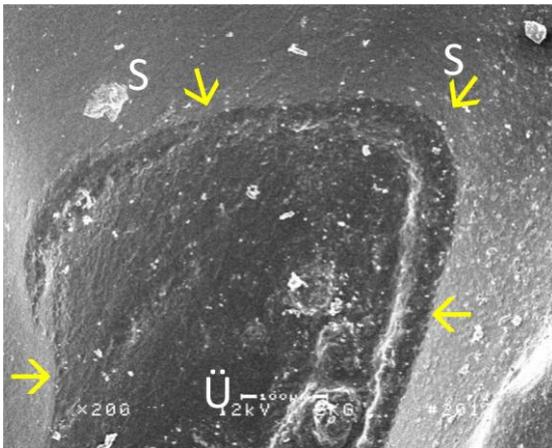


Abb. 23 200-fache Vergrößerung des Kastens aus Abb. 22. Die gelben Pfeile zeigen den Übergang der Füllungsgrenze auf.

S= Schmelz

Ü= Überschuss (Füllung)

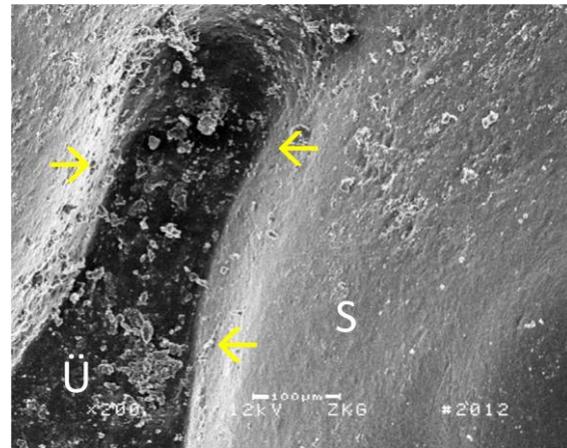


Abb. 24 200-fache Vergrößerung des Kastens aus Abb. 22 nach 8 Jahren. Die gelben Pfeile zeigen den Füllungsrand. Im Vergleich ist nun der Fundus der Fissur deutlicher zu erkennen.

Die rasterelektronenmikroskopische Darstellung der Replika hatte zum einen die Aufgabe, die Füllungsänder bei 200-facher Vergrößerung darzustellen, und zum anderen, eine Übersichtsaufnahme des Zahnes zu produzieren [7]. Dabei ist die exakte Einstellung der Achse des Zahnes im REM im Vergleich zum Zahn des nächsten

Evaluationsjahres sehr wichtig gewesen. Im Extremfall hätte dies Auswirkungen auf die Darstellung der Füllungsänderungen ergeben und somit die Gesamtlänge des Füllungsrandes beeinflussen können [34]. In den Abbildungen 25–28 (S. 39) ist derselbe Molar (LFD 11.0–11.8) als Übersichtsbild dargestellt. Es ist eine großflächige distookklusale Füllung zu erkennen. Eine Auswirkung auf die Länge der Füllungen im Vergleich konnte jedoch nicht beobachtet werden Tab. 9 (S.29).

Eine weitere mögliche Fehlerquelle ist die subjektive Analyse der Füllungsänderungen [7]. Um diesen Einfluss auf die Bewertung der Füllungsänderungsqualität möglichst gering zu halten, wurde ein Untersucher herangezogen, um sämtliche Replikas im Zeitraum von 2003 bis 2012 zu untersuchen. Vorher wurden die Kriterien festgelegt und der Untersucher somit kalibriert. In Bezug auf die Kriterienauswahl ist beim Kriterium „negative Stufe“ Folgendes beobachtet worden: Es gab keine Unterkriterien, wie z. B. starke oder schwache negative Stufe. Auf den Abbildungen 29–31 (S. 40) ist zu erkennen, dass die negative Stufe nach vier und acht Jahren an Deutlichkeit der Stufe am Füllungsrand gewann. Diese Beobachtung ist allerdings rein subjektiv. Dennoch könnte dieser Nachteil der SQRA unter Berücksichtigung einer optischen Untersuchungsmethode verhindert werden und so zusätzliche Informationen, z. B. für die Abnutzungsresistenz, ergeben. Des Weiteren ist die SQRA eine Methode, die eine Fläche besser untersuchen kann als die Höckermorphologie eines Zahnes. Dies liegt in der Tatsache begründet, dass die Linie der Kriterien den Füllungsrand nicht in der dritten Dimension beurteilen kann [97]. Hinsichtlich der Beurteilung der gesamten Füllungsänderungen ist die klinische Evaluation einer rasterelektronischen Untersuchung der rein okklusalen Evaluation insgesamt eher überlegen. Ein weiterer vermeintlicher Nachteil der Untersuchung mittels REM besteht darin, dass man den Randspalt nur okkusal und lediglich bedingt von vestibulärer/oraler Richtung untersuchen kann. Im Vergleich zur klinischen Evaluation ist es durch die Replikaherstellung nicht möglich, den approximalen und cervikalen Randspalt zu untersuchen [48]. Deutlich wird diese Feststellung auf der Abb. 22 (S. 37). Die Kaufläche ist vollständig dargestellt; der disto-approximale Anteil der okkludistalen Füllung ist somit nicht bildlich erfasst. Diese Flächen befinden sich allerdings nicht im belasteten Bereich eines Zahnes. Insofern stellt sich die Frage, inwiefern dieser Anteil der Restauration überhaupt Veränderungen im Bereich der Kriterien ergeben würden.

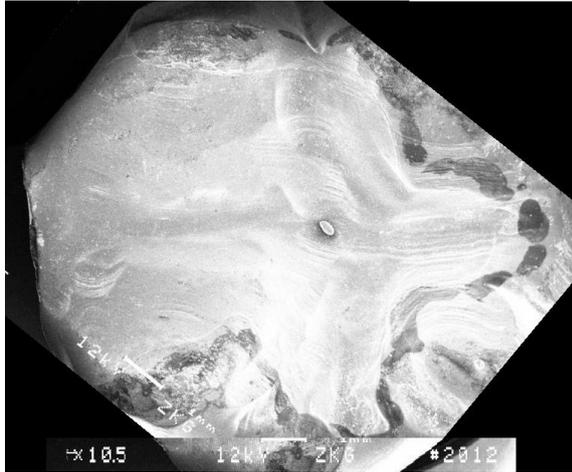


Abb. 25 0 Jahre: Übersichtsbild LFD 11.0 (Zahn 46 od) bei 10,5-facher Vergrößerung. Zu erkennen ist eine Markierung, um im REM den Füllungsrand zu visualisieren.

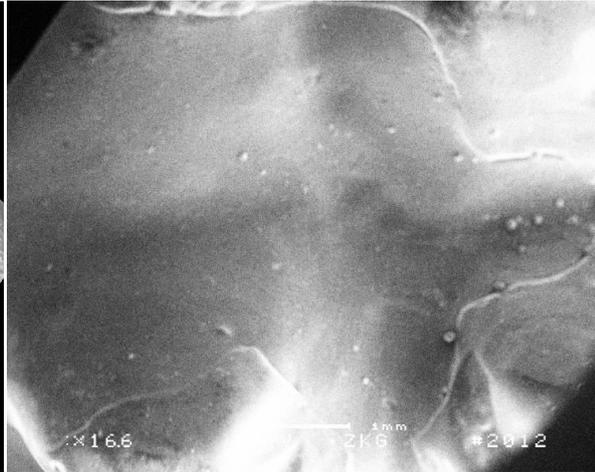


Abb. 26 2 Jahre: Übersichtsbild LFD 11.2 (Zahn 46 od) bei 16,6-facher Vergrößerung. Eine Markierung war nicht mehr notwendig, weil der Rand deutlicher zu erkennen ist.

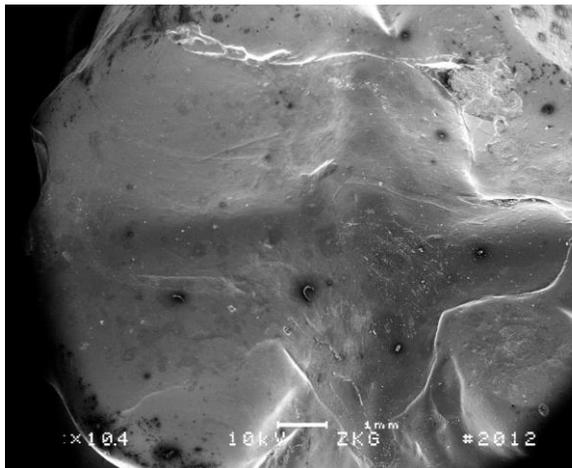


Abb. 27 4 Jahre: Übersichtsbild LFD 11.4 (Zahn 46 od) bei 10,4-facher Vergrößerung. Oben links am Füllungsrand sind Schmelzrisse im Übergang Füllung-Zahn zu erkennen.

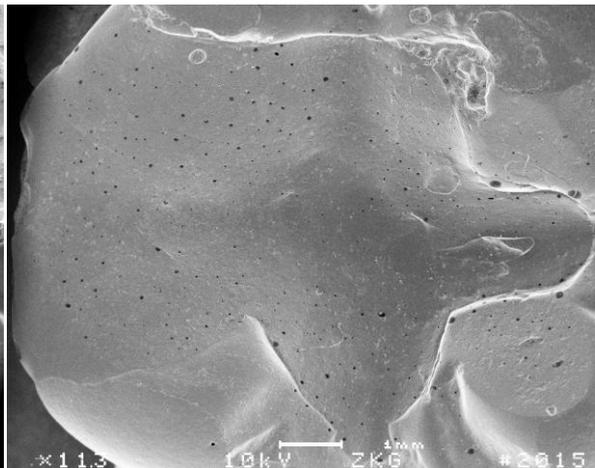


Abb. 28 8 Jahre: Übersichtsbild LFD 11.8 (Zahn 46 od) bei 11,3-facher Vergrößerung. Weitere Schmelzattritionen sind am Füllungsrand zu erkennen.

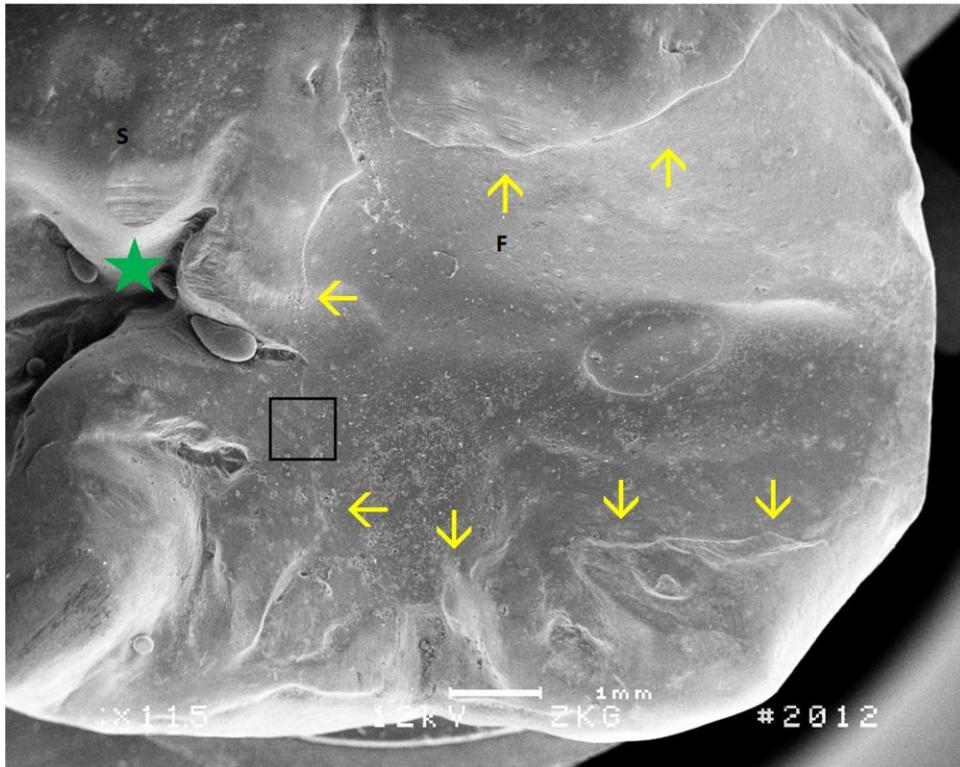


Abb. 29 REM-Übersichtsbild eines Zahnes 46 (LFD 7.0) bei der Erstuntersuchung (11,5-fach).
 S = Schmelz F =Füllung Kasten = Füllungsrand Stern = Fissur Pfeile =Füllungsrand

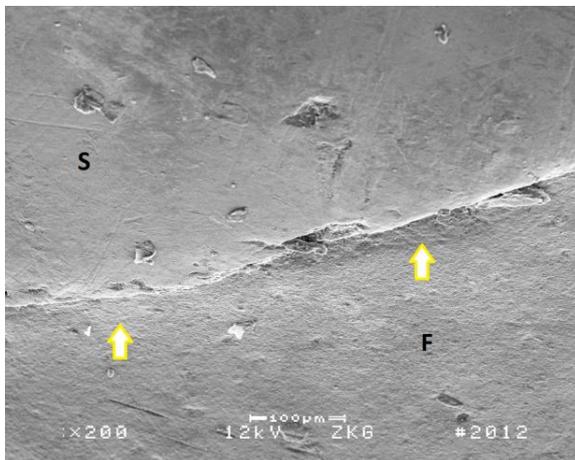


Abb. 30 Ausschnitt des Füllungsrandes – Zahn 46 LFD 7.4 bei 200-facher Vergrößerung (gelbe Pfeile: neg. Stufe).
 Deutlich zu erkennen ist die Lichtbrechung an der Füllungskante nach 4 Jahren.

S= Schmelz F=Füllung

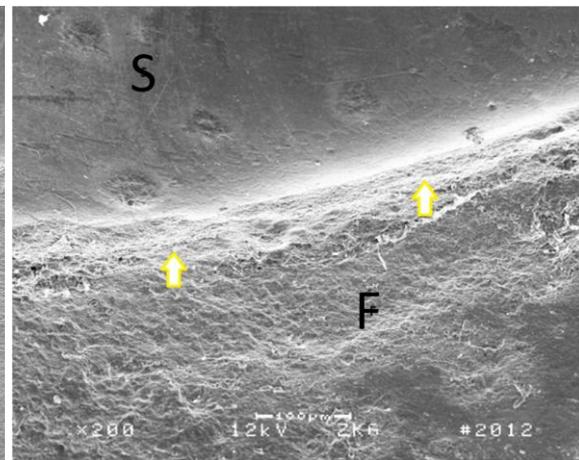


Abb. 31 Ausschnitt des Füllungsrandes – Zahn 46 LFD 7.8 bei 200-facher Vergrößerung (gelbe Pfeile: neg. Stufe).
 Die Lichtbrechung ist nach 8 Jahren wesentlich deutlicher.

S= Schmelz F=Füllung

6.2 Ergebnisdiskussion

6.2.1 Korrelation zwischen der klinischen Untersuchung mit der Modellanalyse

Ein Vergleich der Daten von der klinischen Untersuchung (Kriterium „marginale Integrität“) mit der SQRA war nicht möglich. Klinisch wurden modifizierte Ryge-Kriterien herangezogen. Dabei ist inkludiert, dass für jedes Kriterium das schlechteste Resultat, welches möglicherweise das Überleben der Füllung gefährdet, in die Bewertung eingeht. Die Lokalisation wird ebenfalls nur ungefähr notiert. Vorteil der klinischen Bewertung ist, dass der approximale Rand nahezu komplett evaluiert werden kann, da sich hauptsächlich in diesem Bereich Veränderungen der Randqualität zeigten [22,34,47,67].

Bei der SQRA wird der gesamte, vornehmlich okklusale Rand bewertet und für jedes Kriterium die Länge des Anteils an der Gesamtlänge des Randes in Prozent angegeben. Nachteil des Verfahrens ist, dass im wesentlichen nur der okklusale Anteil der Füllung erfasst werden kann. Das kritische proximale Füllungsareal ließ sich nur unzureichend abformen, sodass dieser Bereich nur unvollständig bewertet werden konnte [2,48,77]. Klinisch ist jedoch gerade die proximale Verarbeitung schwierig. Zudem ist proximal-zervikal häufig mit keiner oder kaum Dentinbegrenzung zu rechnen [3,59]. In unserer Stichprobe war bei 82,5 % der Fälle proximal keine oder max. 0,5 mm Schmelzbegrenzung vor dem Legen der Füllung vorhanden. Daher zeigen sich negative klinische Bewertungen hauptsächlich im Zahnzwischenraum auf [6,34,36,90,91].

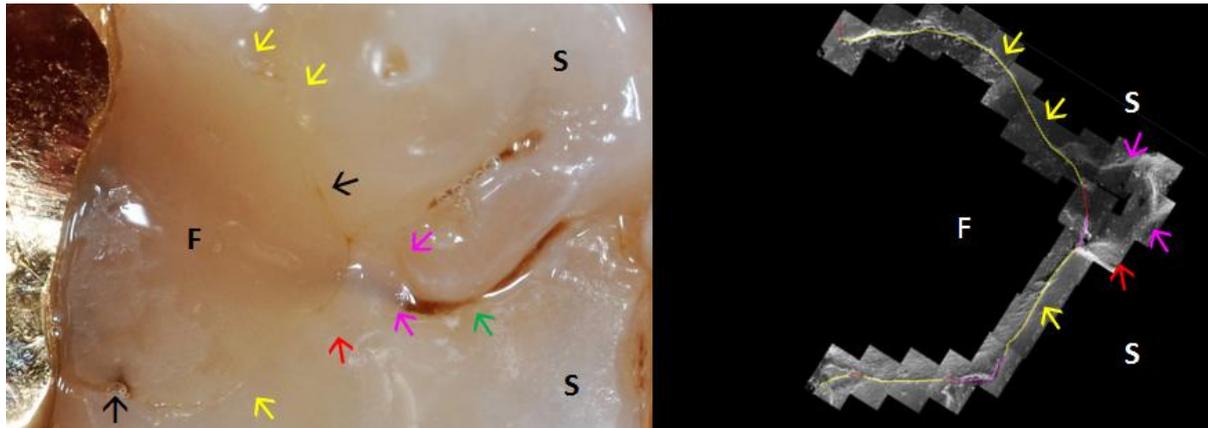


Abb. 32 Zu sehen ist der Zahn LFD 5.8 (Zahn 25 od) bei der Achtjahresuntersuchung in der klinischen- und REM-Untersuchung in der okklusalen Ansicht (links:klinisch, rechts;REM). F = Füllung, S = Schmelz, Die Abbildung verdeutlicht die Gemeinsamkeiten und Unterschiede der Untersuchungsmethoden. Die Schwarzen Pfeile im linken Bild deuten auf die Randspaltverfärbungen hin. Die klinische Evaluation kam zum folgenden Ergebnis: Bravo b Verfärbung Übergang (nicht polierbar). Wie im REM-Bild zu sehen, ist eine Verfärbung nicht zu erkennen. Man kam auf folgende Ergebnisse: Perfekter Rand: 7,2 %, Überschuss: 13,5 %, Positive Stufe: 4,6 %, Negative Stufe: 74,7 %. Die Pfeile in den Farben gelb, pink und rot zeigen auf beiden Bildern die Diversität des Füllungsrandes auf. Grüner Pfeil: verfärbte Fissur, Gelber Pfeil: Negative Stufe, Pinker Pfeil: Überschuss, Schwarzer Pfeil: verfärbter Füllungsrand, Roter Pfeil: Überschuss

Die Diversität der Füllungsänder kam durch beide Untersuchungsmethoden zum Tragen Abb. 32 (S.41). Die klinische Untersuchung ist u.a. in der Lage gewesen, die Verfärbungen zu evaluieren. Die SQRA konnte die abgeformten Bereiche des Füllungsrandes genau beschreiben, jedoch ohne Verfärbungen zu erfassen. Beide Methoden können daher zu einem Gesamtergebnis beitragen. Genau aus dieser Beobachtung heraus ist es umso wichtiger eine indirekte Untersuchungsmethodik möglichst mit einer klinische Untersuchungsmethodik zu verbinden, damit subjektive Eindrücke der klinischen Evaluation relativiert werden können [12,34].

Anscheinend haben die o.g. Beobachtungen der Randspaltverfärbungen oder die Veränderungen der marginalen Integrität keine Auswirkungen auf die Überlebensrate der Restaurationen gehabt [2,13,36,53,92,96]. Manhart et al. thematisierten das Problem der marginalen Integrität und Verfärbung bereits 2002. Die Arbeitsgruppe stellte fest, dass weder die marginale Integrität noch die Randspaltverfärbung einen Einfluss auf die Überlebensrate der Restaurationen nach acht Jahren hatten. Auch Palaniappan et al. stellten fest: Unabhängig vom Material (Nano vs. Feinpartikelhybrid) wurde eine Zunahme der negativen Stufe und eine Abnahme des Perfekten Randes unter dem

Rasterelektronenmikroskop im Laufe von 36 Monaten am Füllungsrand festgestellt - ohne Verluste [9].

6.2.2 Bewertung der SQRA-Daten mit der Literatur

Das Verfahren der SQRA ist als begleitende Analyse in klinischen Studien seit Anfang der 90 Jahre etabliert [7,9,34]. Der Einsatzbereich umfasst dabei vornehmlich Klasse I, II und V und als Materialien Amalgam-, Komposit-, Keramik- und Goldrestauration [34]. Um die Ergebnisse der SQRA einordnen zu können, sollten folgende Bedingungen in den ausgesuchten Studien erfüllt sein:

- Langzeitstudien mit einer Beobachtungszeit von Minimum 2 Jahren
- In-vivo
- Kompositrestauration der Black-Klasse I und II
- SQRA

Drei Studien konnten die o.g. Bedingungen weitestgehend erfüllen. Die Ergebnisse sind wie folgt:

In der Arbeitsgruppe Roulet et al. wurde eine retrospektive Untersuchung von Kompositrestaurationen nach 6 Jahren durchgeführt. Diese Füllungen wurden von Studenten im Studentenkurs der Charité Berlin seit 1996 gelegt. Neben der klinischen Untersuchung wurden diese Füllungen semiquantitativ im Rasterelektronenmikroskop evaluiert. 61 Füllungen der Klasse I und II wurden mit den Materialien Filtek Z100 / Scotchbond MP (Anzahl:49) und Füllungen mit Herculite / Optibond FL (Anzahl:12) untersucht. In der Tab. 11 ist diese Untersuchung mit den Daten der SQRA-Untersuchung gegenübergestellt worden [32].

	Perfekter Rand	Negative Stufe	Überschuss+ Positive Stufe	Spalt
40 Füllungen nach 8 Jahren	16 %	70 %	14 %	0,1 %
61 Füllungen nach 6 Jahren Roulet et al.	26 %	34 %	36 %	4 %

Tabelle 11 Prozentualer Anteil der SQRA nach 8 Jahren und REM-Daten nach 6 Jahren aus der Arbeitsgruppe Roulet et al [32].

Die Arbeitsgruppe beobachtete, dass die Kontinuitätsveränderungen am Füllungsrand in Richtung negative Stufe oder Spaltenbildung nicht verhindert werden konnte. Dennoch

hatten die beobachteten Veränderungen keine Auswirkung auf die Verlustrate nach 6 Jahren. Die Bildung von Sekundärkaries am Füllungsrand konnte ebenfalls nicht detektiert werden [32].

Hickel et al. untersuchten 50 Kompositrestaurationen nach 2 Jahren rasterelektronenmikroskopisch (SQRA). Dabei wurden 1999 jeweils 25 Tetric Ceram / Syntac Classic Füllungen und Tetric Ceram / Prompt L Pop Füllungen im Studentenkurs gelegt. Sowohl die Black Klasse I als auch die Black Klasse II wurden mit einbezogen. In der Tab. 12 (S.44) sind die Ergebnisse der 2 Jahresuntersuchung der Modellanalyse mit den der 2 Jahresuntersuchung der Arbeitsgruppe gegenübergestellt [78].

		Perfekter Rand	Negative Stufe	Spalt
40 Füllungen nach Jahren	2	23,7 %	57,1 %	0,6 %
50 Füllungen nach Jahren Hickel et al.	2	78,5 %	---	19,7 %

Tabelle 12 Prozentualer Anteil der SQRA nach 2 Jahren und der REM-Daten nach 2 Jahren aus der Arbeitsgruppe Hickel et al [78].

Nach zwei Jahren wurden Kontinuitätsunterbrechungen des Füllungsrandes in Form von Spaltenbildungen evaluiert. Anhand der klinischen Kriterien („Charlie“ und „Delta“) wurden 11 der 50 Restaurationen nach 2 Jahren als erneuerungsbedürftig eingestuft [78].

Im Rahmen einer Langzeitstudie wurde ab 1998 im Studentenkurs der LMU u.a. 44 Pertac2-Füllungen gelegt. Nach 2 Jahren wurden diese sowohl direkt (klinisch) als auch indirekt (SQRA) evaluiert. Die Black-Klassen I und II wurden mit einbezogen. Für die SQRA sind 20 Restaurationen zufällig ausgewählt und vermessen worden. Die Tab. 13 stellt die Ergebnisse der beiden Studien nach 2 Jahren gegenüber [86].

		Perfekter Rand	Nicht beurteilbar	Spalt
40 Füllungen nach Jahren	2	23,7 %	0,02 %	0,6 %
20 Füllungen nach Jahren Hickel et al.	2	59,8 %	16,6 %	20,8 %

Tabelle 13 Prozentualer Anteil der SQRA nach 2 Jahren und REM-Daten nach 2 Jahren aus der Arbeitsgruppe Hickel et al [86].

Nach zwei Jahren wurden ebenfalls Kontinuitätsunterbrechungen des Füllungsrandes in Form von Spaltenbildungen evaluiert. Aufgrund der klinischen Kriterien („Charlie“ und

„Delta“) musste festgestellt werden, dass bereits nach 2 Jahren 25,4% der Restaurationen nicht erhaltungswürdig waren [86].

In keiner Studie konnte die Bildung von Spalten am Füllungsrand verhindert werden [32,78,86]. Zusätzlich ist in jeder Studie das Kriterium der Negative Stufe detektiert worden [32,78,86]. In der 2 Jahresuntersuchung wurde von Hickel et al. der Zusammenhang zwischen der Verlustrate und der Marginale Integrität angenommen [86]. Allerdings konnten Sie keine signifikanten Zusammenhänge zwischen den REM-Daten und der klinischen Evaluation feststellen [86]. In der Arbeitsgruppe Roulet et al. ist nach 6 Jahren keine Verbindung zwischen der Veränderung der Marginalen Integrität im REM und der Verlustrate gefunden worden [32]. Kein Füllungsmaterial konnte die Veränderungen der Marginalen Integrität verhindern [32,78,86].

Feinpartikelhybridkomposite wurden entwickelt, weil die vorherigen mikrogefüllten Generationen zwar gut polierbar waren, aber die Abrasivität und Härte zu gering waren [15]. Die Ergebnisse in dieser 8-Jahres-Studie zeigten auf, dass eine klinische und REM-Untersuchung eine Veränderung des Füllungsrandes in der klinischen Nutzungsphase sowohl bei Grandio als auch bei Tetric Ceram beobachtet werden konnten. Daraus kann man schließen, dass weder ein Nano-, noch ein Feinpartikelhybridkomposit eine Abnutzung am Füllungsrand verhindert [10,67]. Die gegenwärtige Datenlage dieser Untersuchung zeigt auf, dass der relativ hohe Anteil der negativen Stufe (ca. 70 % nach 8 Jahren) keinen Einfluss auf die Überlebensrate der Füllungen hat. Die klinischen marginalen Veränderungen an den Restaurationen hatten keinen Einfluss auf die Überlebensrate, da diese klinisch als „bravo“ eingestuft wurden. Ebenso konnte kein Randspalt im REM mit Eröffnung des Dentins („Charlie“-Kriterium klinisch) detektiert werden.

7 Fazit

Beide Materialien haben einen ähnlichen Verlauf fast aller Kriterien aufzeigen können. Demzufolge kann man behaupten, dass diese geringen Unterschiede des Füllstoffanteils (Grandio/Voco Fil 84,2 Gew.-% – Tetric Ceram 79 Gew.-%) in der klinischen Situation keine Auswirkungen zeigten. Mögliche Folgen des besseren Schrumpfungsverhaltens von Grandio oder Tetric Ceram im Vergleich konnten in der Untersuchung nicht beobachtet werden. In der Modellanalyse wurde im Laufe der Zeit eine Beteiligung der negativen Stufe von ca. 70 % festgestellt. Diese Stufenbildung ist aufgrund der Abnutzung, also durch Abrasions- und Attritionsphänomene, entstanden. Dieser Abrieb konnte auf der gesamten Füllungsfläche beobachtet werden. Die gegenwärtige Datenlage dieser Untersuchung zeigt auf, dass der relativ hohe Anteil der negativen Stufe keinen Einfluss auf die Überlebensrate der Füllungen hat. Auch die klinischen Randspaltveränderungen hatten keinen Einfluss auf die Überlebensrate.

Die zweite Nullhypothese kann nur eingeschränkt bestätigt werden:

- Es konnten signifikante Unterschiede des marginalen Füllungsrandes über die Zeit festgestellt werden ($p < 0.05$).
- Das Kriterium „Perfekter Rand“ ist das einzige, bei dem Signifikanzen im Mann-Whitney-U-Test bei 0, 2 und 8 Jahren aufgetreten sind ($p < 0.05$).

Weiterführende Untersuchungen in Bezug auf das Abnutzungsverhalten im Verlauf des Untersuchungszeitraumes wären wünschenswert. Darüber hinaus ist festzustellen, dass Komposit für den Seitenzahnbereich geeignet ist.

8 ZUSAMMENFASSUNG

8.1 Einleitung

Seit dem Aufkommen der adhäsiven Füllungsmaterialien vor über 30 Jahren hat die Entwicklung der Komposite rasant zugenommen. Die Komposite sind anfänglich nur für Klasse-I-Kavitäten im Seitenzahngebiet zugelassen gewesen. Es entstanden beispielsweise Probleme infolge der Oberflächenabnutzung, die sich negativ auf die Langzeitstabilität ausübte. Die stetigen Verbesserungen der Komposite sind hauptsächlich durch Veränderungen der materialkundlichen Zusammensetzung wie beispielsweise der Form und Größe der Partikel oder des Verhältnisses der Füllstoffanteile erreicht worden, wodurch der Indikationsbereich erweitert werden konnte.

8.2 Zielsetzung

Im Rahmen einer prospektiven klinisch kontrollierten Langzeitstudie sollte die Eignung eines Nanohybridkomposits (Grandio, VocoFil, VOCO, Cuxhaven) gegenüber der eines Hybridkomposits (Tetric Ceram, IvoclarVivadent, Liechtenstein) in Klasse-II-Kavitäten überprüft werden. Der Untersuchungszeitraum betrug acht Jahre. Die Nullhypothesen wurden wie folgt definiert:

1. Es gibt keine Veränderungen des marginalen Füllungsrandes über die Zeit.
2. Nach acht Jahren zeigt sich kein signifikanter Unterschied bezüglich der Randqualität zwischen den beiden Gruppen (Mann-Whitney-Test, $p > 0.05$).

8.3 Material und Methode

30 Patienten erhielten 68 direkte Kompositfüllungen (Solobond M/Grandio: $n=36$; Syntac/Tetric Ceram: $n=32$) durch ein und denselben Behandler in einer privaten Praxis. Dabei wurde stets auf die Einhaltung des Split-Mouth-Designs geachtet. Nach dem Legen (Baseline) sowie nach 2, 4 und 8 Jahren wurden die Restaurationen klinisch mittels modifizierter USPHS-Kriterien bewertet. Zusätzlich wurden Replikas (Dimension® Penta und Garant, 3M Espe, AlphaDie, Schütz-Dental) hergestellt. Für die SQRA konnten 40 Zähne herangezogen werden, die die Einschlusskriterien erfüllten (20 Grandio und 20 Tetric Ceram). Über den gesamten Zeitraum der Modellanalyse wurde unter dem Rasterelektronenmikroskop (Amray 1610 Turbo; DISS5 Vers. 5.9,

point electronic) nach Besputterung (Polaron SC 502 Sputter Coater) die Untersuchung durchgeführt. Bei 200-facher Vergrößerung wurden die Einzelbilder entlang der Füllungsgrenze zusammengefügt (Fiji-win32; Plugin „Stitching“). Der so dokumentierte Randspalt konnte dann mit dem Plugin (KHKs_jQuantiGap) bewertet werden. Die statistische Auswertung erfolgte mittels des Programmpakets SPSS 15.0. Als nicht-parametrischer Test wurde der Friedman-Test für abhängige Stichproben ausgewählt. Für die unabhängigen Stichproben wurde der Mann-Whitney-U-Test ausgewählt.

8.4 Ergebnisse

Das Kriterium „Perfekter Rand“ ist das einzige, bei dem Signifikanzen im Mann-Whitney-U-Test bei 0, 2 und 8 Jahren aufgetreten sind ($p < 0.05$). Für beide Materialien sank der Anteil des perfekten Randes im Beobachtungszeitraum signifikant, während der Anteil der negativen Stufe signifikant stieg ($p < 0,05$; Friedmann-Test). Folgende Werte für den perfekten Rand konnten bestimmt werden [Anteil in %/SD]: 0 Jahre: Grandio 54/18, Tetric 65/9; 8 Jahre: Grandio 10/7, Tetric 21/17. Es konnte ein signifikanter Unterschied des „perfekten Randes“ und der „negativen Stufe“ aller Zähne im Verlauf der Studie sowohl bei Grandio- als auch bei Tetric-Ceram-Restaurationen in Bezug auf die Baseline-Untersuchung festgestellt werden ($p < 0.05$). Der Anteil der positiven Stufe verringerte sich signifikant. Gleichzeitig erhöhte sich der Anteil der negativen Stufe signifikant ($p < 0.05$).

8.5 Schlussfolgerung

Nach acht Jahren limitierte die Adhäsion des Füllungsmaterials an der Zahnhartsubstanz die Überlebensrate der Restaurationen nicht. Die zweite Nullhypothese kann nur eingeschränkt bestätigt werden:

- Es konnten signifikante Unterschiede des marginalen Füllungsrandes über die Zeit festgestellt werden ($p < 0.05$).
- Das Kriterium „Perfekter Rand“ ist das einzige, bei dem Signifikanzen im Mann-Whitney-U-Test bei 0, 2 und 8 Jahren aufgetreten sind ($p < 0.05$).

Weiterführende Untersuchungen in Bezug auf das Abnutzungsverhalten im Verlauf des Untersuchungszeitraumes wären wünschenswert. Darüber hinaus ist festzustellen, dass Komposit für den Seitenzahnbereich geeignet ist.

9 Summary

9.1 Introduction

With the introduction of adhesive filling materials over 30 years ago, the development of composites has increased rapidly. At first, composites were only approved for first-class cavities. For example, problems arose due to surface wear, which had a negative effect on long-term stability. The continuous improvement of the composites has been achieved mainly by changes in the material composition, such as the shape and size of the particles, and the ratio of the filler parts, which could be used to extend the range of indications.

9.2 Objective

In a prospective, clinically controlled long-term study, the suitability of a nanocomposite (Grandio, VocoFil, VOCO, Cuxhaven) was to be tested against a hybrid composite (Tetric Ceram, IvoclarVivadent, Liechtenstein) in Class II cavities. The examination period was 8 years. The null hypotheses were defined as follows:

1. There are no changes in the marginal filling margin over time.
2. After eight years, no significant difference is found in the marginal quality between the two groups (Mann-Whitney test, $p > 0.05$).

9.3 Methods

30 patients received 68 direct composite fillings (Solobond M / Grandio: $n = 36$; Syntac / Tetric Ceram: $n = 32$) by the same dentist in a private practice. At the same time, attention was paid to compliance with the split-mouth design. After laying (baseline) and after 2, 4 and 8 years, the restorations were clinically evaluated using modified USPHS criteria. In addition, replicas (Dimension® Penta and Garant, 3M Espe, AlphaDie, Schütz-Dental) were produced. For the SQRA, 40 teeth could be used which met the inclusion criteria (20 Grandio and 20 Tetric Ceram). Over the whole period of the model analysis, the investigation was carried out under the scanning electron microscope (Amray 1610 Turbo, DISS5 version 5.9, point electronic) after sputter coating (Polaron SC 502 sputter coater). At a magnification of 200x, the individual images were merged along the filling edge (Fiji-win32; “Stitching” plugin). The documented edge gap could then be evaluated with the plugin (KHKs_jQuantiGap).

The statistical evaluation was carried out using the SPSS 15.0 program package. The Friedman test for dependent samples was selected as a non-parametric test. For independent samples, the Mann-Whitney U test was selected. The “perfect margin” criterion is the only one in which signifiers in the Mann-Whitney U-Test have occurred at 0, 2 and 8 years ($p > 0.05$).

9.4 Results

The “perfect margin” criterion is the only one in which signifiers in the Mann-Whitney U-Test have occurred at 0, 2 and 8 years ($p < 0.05$). For both materials, the proportion of the perfect margin decreased significantly during the observation period, whereas the proportion of the negative level significantly increased ($p < 0.05$, Friedmann test). The following results for the perfect margin could be determined [share in% / SD]: 0 years Grandio 54/18; Tetric 65/9; 8 years Grandio 10/7; Tetric 21/17. A significant difference between the “perfect margin” and the “negative edge” of all teeth was found in both the Grandio- and Tetric-Ceram restorations with respect to baseline ($p < 0.05$). The proportion of the positive edge decreased significantly. At the same time, the proportion of the negative edge increased significantly ($p < 0.05$).

9.5 Conclusion

After 8 years, the adhesion of the filling material to the enamel did not limit the survival rate of the restorations. The second null hypothesis can only be confirmed to a limited extent:

- Significant differences in the marginal filling margin over time were observed ($p < 0.05$).
- The “perfect margin” criterion is the only one that has been shown to be significant in the Mann-Whitney U test at 0, 2 and 8 years ($p < 0.05$).

Further studies with regard to the wear behavior during the investigation period would be desirable. In addition, it is to be noted that composite is suitable for the lateral tooth area.

10 Literaturverzeichnis

1. Alnazzawi A, Watts DC. Simultaneous determination of polymerization shrinkage, exotherm and thermal expansion coefficient for dental resin-composites. *Dental Materials* 2012;28:1240–1249.
2. Barabanti N, Gagliani M, Roulet JF, Testori T, Özcan M, Cerutti A. Marginal quality of posterior microhybrid resin composite restorations applied using two polymerisation protocols: 5-year randomised split mouth trial. *J Dent* 2013;41:436–442
3. Bergenholtz G. Evidence for Bacterial Causation of Adverse Pulpal Responses in Resin-Based Dental Restorations. *Crit Rev Oral Biol Med* 2000;11:467-480
4. BfArM. Amalgame in der zahnärztlichen Therapie;2005 Available from: http://www.agz-rnk.de/agz/download/3/broschuere_amalgame.pdf [Stand:17.05.2017]
5. Bryant RW. Comparison of three standards for quantifying occlusal loss of composite restorations. *Dental Materials* 1990;6:60–62
6. Burke FJ, Crisp RJ, James A, Mackenzie L, Pal A, Sands P, Thompson O, Palin WM. Two year clinical evaluation of a low-shrink resin composite material in UK general dental practices. *Dental Materials* 2011;7:622-630
7. Cecilia Pedroso Turssi. Wear of dental resin composites: Insights into underlying processes and assessment methods-A review. *j biomed mater res b appl biomater* 2003;15:280-5
8. Clelland NL, Pagnotto MP, Kerby RE, Seghi RR. Relative wear of flowable and highly filled composite. *J Prosthetic Dent* 2005;93:153-7
9. Curtis AR, Shortall AC, Marquis PM, Palin WM. Water uptake and strength characteristics of a nanofilled resin-based composite. *Journal of Dentistry* 2008;36:186–193
10. da Rosa Rodolpho, Paulo Antônio, Cenci MS, Donassollo TA, Loguércio AD, Demarco FF. A clinical evaluation of posterior composite restorations: 17-year findings. *Journal of Dentistry* 2006;34:427–435
11. Davidson CL, Feilzer AJ. Polymerization shrinkage and polymerization shrinkage stress in polymer-based restoratives. *Journal of Dentistry* 1997;25:435–440
12. Demarco FF, Corrêa MB, Cenci MS, Moraes RR, Opdam NJ. Longevity of posterior composite restorations: Not only a matter of materials. *Dental Materials* 2012;28:87–101
13. Ernst C, Brandenbusch M, Meyer G, Canbek K, Gottschalk F, Willershausen B. Two-year clinical performance of a nanofiller vs a fine-particle hybrid resin composite. *Clin Oral Investig* 2006;10:119-25

14. Feilzer AJ. Setting stress in composite resin in relation to configuration of the restoration. *J Dent Res* 1987;66:1636-9
15. Ferracane JL. Resin composite—State of the art. *Dental Materials* 2011;27:29–38
16. Finlay N, Hahnel S, Dowling AH, Fleming GJ. The in vitro wear behavior of experimental resin-based composites derived from a commercial formulation. *Dental Materials* 2013;29:365–374
17. Folwaczny M, Mehl A, Kunzelmann KH, Hickel R. Determination of changes on tooth-colored cervical restorations in vivo using a three-dimensional laser scanning device. *Eur. J. Oral Sci.* 2000;108:233–238
18. Frankenberger R. *Adhäsiv-Fibel: Adhäsive Zahnmedizin - Wege zum klinischen Erfolg.* 2nd ed. Balingen: Spitta, 2010.
19. Frankenberger R, Krämer N, Petschelt A. Technique sensitivity of dentin bonding: effect of application mistakes on bond strength and marginal adaptation. *Oper Dent* 2000;25:324–330
20. Frankenberger R, Lopes M, Perdigão J, Ambrose WW, Rosa BT. The use of flowable composites as filled adhesives. *Dental Materials* 2002;18:227–238
21. Frankenberger R, Reinelt C, Krämer N. Nanohybrid vs. fine hybrid composite in extended class II cavities: 8-year results. *Clin Oral Investig* 2014;18:125-27
22. Frankenberger R, Reinelt C, Petschelt A, Krämer N. Operator vs. material influence on clinical outcome of bonded ceramic inlays. *Dental Materials* 2009;25:960–968
23. Frankenberger R, Strobel WO, Krämer N, Lohbauer U, Winterscheidt J, Winterscheidt B, Petschelt A. Evaluation of the fatigue behavior of the resin-dentin bond with the use of different methods. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater* 2003;67:712-21
24. Frankenberger R, Strobel WO, Lohbauer U, Krämer N, Petschelt A. The effect of six years of water storage on resin composite bonding to human dentin. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater* 2004;69:25-32
25. Friedl KH, Hiller KA, Schmalz G, Bey B. Clinical and quantitative marginal analysis of feldspathic ceramic inlays at 4 years. *Clin Oral Investig* 1997;1:163–168
26. Gaengler P, Hoyer I, Montag R, Gaebler P. Micromorphological evaluation of posterior composite restorations - a 10-year report. *J Oral Rehabil* 2004;31:991–1000
27. Garcia-Godoy F, Frankenberger R, Lohbauer U, Feilzer AJ, Krämer N. Fatigue behavior of dental resin composites: Flexural fatigue in vitro versus 6 years in vivo. *J. Biomed. Mater. Res.* 2012;100B:903–910

28. Garcia-Godoy F, Krämer N, Feilzer AJ, Frankenberger R. Long-term degradation of enamel and dentin bonds: 6-year results in vitro vs. in vivo. *Dental Materials* 2010;26:1113–1118
29. Gladys S, van Meerbeek B, Inokoshi S, Willems G, Braem M, Lambrechts P et al. Clinical and semiquantitative marginal analysis of four tooth-coloured inlay systems at 3 years. *Journal of Dentistry* 1995;23:329–338
30. Gonçalves F, Boaro LC, Ferracane JL, Braga RR. A comparative evaluation of polymerization stress data obtained with four different mechanical testing systems. *Dental Materials* 2012;28:680–686
31. Gonçalves F, Kawano Y, Pfeifer C, Stansbury JW, Braga RR. Influence of BisGMA, TEGDMA, and BisEMA contents on viscosity, conversion, and flexural strength of experimental resins and composites. *European Journal of Oral Sciences* 2009;117:442–446
32. Große T. Klinische Nachuntersuchung und quantitative Randanalyse von im Studentenkurs gelegten Kompositfüllungen im Seitenzahnbereich. Eine 6-Jahres-Studie. [Dissertation]. Berlin: Universität; 2009.
33. Häfer M, Jentsch H, Haak R, Schneider H. A three-year clinical evaluation of a one-step self-etch and a two-step etch-and-rinse adhesive in non-cariou cervical lesions. *Journal of Dentistry* 2015;43:350–361
34. Heintze SD. Systematic reviews: I. The correlation between laboratory tests on marginal quality and bond strength. II. The correlation between marginal quality and clinical outcome. *J Adhes Dent* 2007;9:77–106
35. Heintze SD, Monreal D, Peschke A. Marginal Quality of Class II Composite Restorations Placed in Bulk Compared to an Incremental Technique: Evaluation with SEM and Stereomicroscope. *The journal of adhesive dentistry* 2015;17:147–154
36. Heintze SD, Rousson V. Clinical effectiveness of direct class II restorations - a meta-analysis. *J Adhes Dent* 2012;14:407–431
37. Hellwig E, Klimek J, Attin T. Einführung in die Zahnerhaltung: Prüfungswissen Kariologie, Endodontologie und Parodontologie mit 60 Tabellen. 5th ed. Köln: Dt. Zahnärzte-Verl., 2009
38. Ilie N, Jelen E, Hickel R. Is the soft-start polymerisation concept still relevant for modern curing units? *Clin Oral Invest* 2011;15:21–29
39. J.L. Ferracane JC. In vitro evaluation of the marginal degradation of dental composites under simulated occlusal loading. *Dent Mater* 1999;15:262-7
40. Jeon J, Kim H, Kim J, Kim W. Accuracy of 3D white light scanning of abutment teeth impressions: evaluation of trueness and precision. *J Adv Prosthodont* 2014;6:468

41. Kakar S, Goswami M, Kanase A, Praveen BN. Dentin Bonding Agents I: Complete Classification—A Review. *WJOUD* 2011;2:367–370
42. Kelsey WP LMSRSC. Physical properties of three packable resin-composite restorative materials. *Operative Dentistry* 2000;25:331–335
43. Kramer N, Kunzelmann K, Taschner M, Mehl A, Garcia-Godoy F, Frankenberger R. Antagonist Enamel Wears More Than Ceramic Inlays. *Journal of Dental Research* 2006;85:1097–1100
44. Krämer N. Die Klebefuge bei zahnfarbenen Inlays: Ein locus minoris resistentiae? Erlangen: Lengenfelder, 1999
45. Krämer N, García-Godoy F, Reinelt C, Feilzer AJ, Frankenberger R. Nanohybrid vs. fine hybrid composite in extended Class II cavities after six years. *Dental Materials* 2011;27:455–464
46. Krämer N, Küssner P, Motmaen I, Köhl M, Wöstmann B, Frankenberger R. Marginal quality and wear of extended posterior resin composite restorations: Eight-year results in vivo. *Journal of the mechanical behavior of biomedical materials* 2015;50:13–22
47. Krämer N, Reinelt C, Richter G, Petschelt A, Frankenberger R. Nanohybrid vs. fine hybrid composite in Class II cavities: Clinical results and margin analysis after four years. *Dental Materials* 2009;25:750–759
48. Krejci I, Güntert A, Lutz F. Scanning electron microscopic and clinical examination of composite resin inlays/onlays up to 12 months in situ. *Quintessence Int* 1994;25:403–409
49. Kuper NK, Opdam N, Bronkhorst EM, Huysmans M. The influence of approximal restoration extension on the development of secondary caries. *Journal of Dentistry* 2012;40(3):241–247.
50. Lohbauer U, Frankenberger R, Krämer N, Petschelt A. Strength and fatigue performance versus filler fraction of different types of direct dental restoratives. *J. Biomed. Mater. Res.* 2006;76B:114–120
51. Lu H, Lee YK, Oguri M, Powers JM. Properties of a Dental Resin Composite with a Spherical Inorganic Filler. *Operative Dentistry* 2006;31:734–740
52. Lutz F, Phillips RW. A classification and evaluation of composite resin systems. *The Journal of Prosthetic Dentistry* 1983;50:480–488
53. Mair LH. Ten-year clinical assessment of three posterior resin composites and two amalgams. *Quintessence Int* 1998;29:483–490

54. Manhart J, Chen H, Hamm G, Hickel R. Buonocore Memorial Lecture. Review of the clinical survival of direct and indirect restorations in posterior teeth of the permanent dentition. *Oper Dent* 2004;29:481–508
55. Manhart J, García-Godoy F, Hickel R. Direct posterior restorations: clinical results and new developments. *Dent. Clin. North Am.* 2002;46:303–339
56. Manhart J, Kunzelmann K, Chen H, Hickel R. Mechanical properties and wear behavior of light-cured packable composite resins. *Dental Materials* 2000;16:33–40
57. Marquis PM, Hu X, Shortall AC. Two-body wear of dental composites under different loads. *Int J Prosthodont* 2000;13:473–479
58. Mehl A, Gloger W, Kunzelmann K, Hickel R. A New Optical 3-D Device for the Detection of Wear. *Journal of Dental Research* 1997;76:1799–1807
59. Munck J de, van Landuyt K, Peumans M, Poitevin A, Lambrechts P, Braem M et al. A Critical Review of the Durability of Adhesion to Tooth Tissue: Methods and Results. *J Dent res* 2005;84:118-32
60. Munck J de, van Meerbeek B, Yoshida Y, Inoue S, Vargas M, Suzuki K et al. Four-year Water Degradation of Total-etch Adhesives Bonded to Dentin. *J Dent Res* 2003;82:136-40
61. Murray PE. How is the biocompatibility of dental biomaterials evaluated?. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal* 2007;12:258-66
62. Nikolaenko SA, Lohbauer U, Roggendorf M, Petschelt A, Dasch W, Frankenberger R. Influence of c-factor and layering technique on microtensile bond strength to dentin. *Dent Mater* 2004;20:579-85
63. Opdam NJ. Marginal integrity and postoperative sensitivity in Class 2 resin composite restorations in vivo. *J Dent* 1998;26:555-62
64. Opdam NJ, Bronkhorst EM, Roeters JM, Loomans BA. A retrospective clinical study on longevity of posterior composite and amalgam restorations. *Dental Materials* 2007;23:2–8
65. Opdam N, Roeters J, Loomans B, Bronkhorst E. Seven-year Clinical Evaluation of Painful Cracked Teeth Restored with a Direct Composite Restoration. *Journal of Endodontics* 2008;34:808–811
66. Palaniappan S, Bharadwaj D, Mattar DL, Peumans M, van Meerbeek B, Lambrechts P. Three-year randomized clinical trial to evaluate the clinical performance and wear of a nanocomposite versus a hybrid composite. *Dent Mater* 2009;25:1302-14
67. Palaniappan S, Elsen L, Lijnen I, Peumans M, Meerbeek B, Lambrechts P. Three-year randomised clinical trial to evaluate the clinical performance, quantitative and qualitative wear patterns of hybrid composite restorations. *Clin Oral Investig* 2010;14:441-58

68. Pallesen U, Dijken, Jan W. V., Halcken J, Hallonsten A, Höigaard R. A prospective 8-year follow-up of posterior resin composite restorations in permanent teeth of children and adolescents in Public Dental Health Service: reasons for replacement. *Clin Oral Invest* 2013;41:297-306
69. Perry R, Kugel G, Kunzelmann KH, Flessa HP, Estafan D. Composite restoration wear analysis: conventional methods vs. three-dimensional laser digitizer. *J Am Dent Assoc* 2000;131:1472–1477
70. Peumans M, Kanumilli P, Demunck J, Vanlanduyt K, Lambrechts P, Van Meerbeek B. Clinical effectiveness of contemporary adhesives: A systematic review of current clinical trials. *Dent Mater* 2005;21:864-81
71. Peumans M, Munck J de, Mine A, van Meerbeek B. Clinical effectiveness of contemporary adhesives for the restoration of non-cariou cervical lesions. A systematic review. *Dental Materials* 2014;30:1089–1103
72. Peumans M, Munck J de, van Landuyt K, Poitevin A, Lambrechts P, van Meerbeek B. Eight-year clinical evaluation of a 2-step self-etch adhesive with and without selective enamel etching. *Dental Materials* 2010;26:1176–1184
73. Peumans M, Munck J de, van Landuyt K, van Meerbeek B. Thirteen-year randomized controlled clinical trial of a two-step self-etch adhesive in non-cariou cervical lesions. *Dental Materials* 2015;31:308–314
74. Pick B, Pelka M, Belli R, Braga RR, Lohbauer U. Tailoring of physical properties in highly filled experimental nanohybrid resin composites. *Dental Materials* 2011;27(7):664–669
75. Poggio C, Gaviati S, Lombardini M, Chiesa M. Evaluation of Vickers hardness and depth of cure of six composite resins photo-activated with different polymerization modes. *J Conserv Dent* 2012;15:237
76. Qvist V, Laurberg L, Poulsen A, Teglers P. Longevity and Cariostatic Effects of Everyday Conventional Glass-ionomer and Amalgam Restorations in Primary Teeth: Three-year Results. *Journal of Dental Research* 1997;76:1387–1396
77. Raskin A, Michotte-Theall B, Vreven J, Wilson N. Clinical evaluation of a posterior composite 10-year report. *Journal of Dentistry* 1999;27:13–19
78. Romer J. Klinisches Verhalten und Randspaltverhalten von Klasse-II-Kompositfüllungen in Abhängigkeit von verschiedenen Dentinadhäsiven nach einer Liegezeit von 24 Monaten [Dissertation]. München: Universität; 2006.
79. Roulet JF, Reich T, Blunck U, Noack M. Quantitative margin analysis in the scanning electron microscope. *Scanning Microsc.* 1989;3:147-58
80. Schenke F, Federlin M, Hiller K, Moder D, Schmalz G. Controlled, prospective, randomized, clinical evaluation of partial ceramic crowns inserted with RelyX

Unicem with or without selective enamel etching. Results after 2 years. *Clin Oral Invest* 2012;16:451–461

81. Schneider, L. F. J., Cavalcante LM, Silikas N. Shrinkage Stresses Generated during Resin-Composite Applications: A Review. *Journal of Dental Biomechanics* 2010;1:131630
82. Senawongse P, Pongprueksa P. Surface Roughness of Nanofill and Nanohybrid Resin Composites after Polishing and Brushing. *J Esthet Restor Dent* 2007;19:265–273
83. Sevkusic M, Schuster L, Rothmund L, Dettinger K, Maier M, Hickel R et al. The elution and breakdown behavior of constituents from various light-cured composites. *Dental Materials* 2014;30:619–631
84. Sideridou ID, Karabela MM, Vouvoudi EC. Physical properties of current dental nanohybrid and nanofill light-cured resin composites. *Dental Materials* 2011;27:598–607
85. Silva e Souza Junior M, Carneiro K, Lobato M, Silva e Souza P, Góes M. Adhesive systems: important aspects related to their composition and clinical use. *J Appl Oral Sci* 2010;2010:207–214
86. Spörlein F. Klinische Untersuchung und Randspaltanalyse eines Hybridkomposites und eines Ormoceres in Seitenzahnkavitäten. Ergebnisse nach zwei Jahren. [Dissertation]. München: Universität; 2010.
87. Süddeutsche Zeitung. Steinzeitmenschen verwendeten Bienenwachs als Zahnfüllung; Available from: www.sueddeutsche.de/wissen/praehistorische-medizin-steinzeitmenschen-verwendeten-bienenwachs-als-zahnfuellung-1.1473050 [Stand:17.09.2015]
88. Suzuki S, Leinfelder KF, Kawai K, Tsuchitani Y. Effect of particle variation on wear rates of posterior composites. *Am J Dent* 1995;8:173–178
89. Tam L, Jokstad A. The Bond Between Resin Composite Restorations and Dentin may Degrade in the Mouth Over Time. *Journal of Evidence Based Dental Practice* 2010;10:21–22
90. Taschner M, Nato F, Mazzoni A, Frankenberger R, Falconi M, Petschelt A et al. Influence of preliminary etching on the stability of bonds created by one-step self-etch bonding systems. *Eur J Oral Sci* 2012;120:239–248
91. Tay FR, Frankenberger R, Krejci I, Bouillaguet S, Pashley DH, Carvalho RM, Lai CN. Single-bottle adhesives behave as permeable membranes after polymerization. I. In vivo evidence. *J Dent* 2004;32:611–621
92. van Dijken JW, Pallesen U. Clinical performance of a hybrid resin composite with and without an intermediate layer of flowable resin composite: A 7-year evaluation. *Dental Materials* 2011;27:150–156

93. van Dijken, Jan W.V. Durability of resin composite restorations in high C-factor cavities: A 12-year follow-up. *Journal of Dentistry* 2010;38:469–474
94. van Dijken, Jan W.V., Pallesen U. A six-year prospective randomized study of a nano-hybrid and a conventional hybrid resin composite in Class II restorations. *Dental Materials* 2013;29:191–198
95. van Meerbeek B, Munck J de, Yoshida Y, Inoue S, Vargas M, Vijay P et al. Buonocore memorial lecture. Adhesion to enamel and dentin: current status and future challenges. *Oper Dent* 2003;28:215–235
96. van Meerbeek B, Perdigão J, Lambrechts P, Vanherle G. The clinical performance of adhesives. *J Dent* 1998;26:1–20
97. van Meerbeek B, Peumans M, Poitevin A, Mine A, van Ende A, Neves A et al. Relationship between bond-strength tests and clinical outcomes. *Dental Materials* 2010;26:100
98. van Meerbeek B, Peumans M, Verschueren M, Gladys S, Braem M, Lambrechts P et al. Clinical status of ten dentin adhesive systems. *J. Dent. Res.* 1994;73:1690–1702
99. Watts D. Photo-polymerization shrinkage-stress kinetics in resin-composites: methods development. *Dental Materials* 2003;19:1–11
100. Weinmann W, Thalacker C, Guggenberger R. Siloranes in dental composites. *Dental Materials* 2005;21:68–74
101. Wilder AD, May KN, Bayne SC, Taylor DF, Leinfelder KF. Seventeen-year clinical study of ultraviolet-cured posterior composite Class I and II restorations. *J Esthet Dent* 1999;11:135–142

11 Abkürzungsverzeichnis

KK	Konventionelles Komposit
HK	Hybridkomposit
HMK	Homogenes Mikrofüllerkomposit
IMK	Inhomogenes Mikrofüllerkomposit
E-Modul	Elastizitätsmodul
DBA	Dentin-Bonding-Agent
SQRA	Semi-Quantitative-Randspaltanalyse
REM	Rasterelektronenmikroskop
POI	Point Of Interest

12 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1	Photodokumentierter Zahn 46 (Lfd 7.8, Tetric Ceram)	Seite 16
Abb. 2	Präzisionsabformung, Zahn 46 (Lfd 7.8, Tetric Ceram)	Seite 16
Abb. 3	Besputterte Replika des Zahnes 46 (Lfd 7.8)	Seite 17
Abb. 4	Übersichtsbild eines Molars bei 11,5-facher Vergrößerung (Lfd 7.0, Zahn 46 od, Tetric Ceram)	Seite 19
Abb. 5	Das geöffnete Fiji-Programm	Seite 20
Abb. 6	Die zusammengefügte Bilder, die in Abb. 5, S. 24 markiert wurden	Seite 20
Abb. 7	Der rekonstruierte Randspalt des Zahnes 46 (Lfd 7.8)	Seite 21
Abb. 8	Die Eingabemaske für die Rahmendaten	Seite 24
Abb. 9	Das geöffnete Fiji-Programm mit dem Plugin KHKs_iQuantiGap	Seite 25
Abb. 10	Das Bild zeigt den Zahn 46 (Lfd 7.8)	Seite 25
Abb. 11	Ein Randspalt bei x200	Seite 26
Abb. 12	REM-Übersichtsbild des Zahnes 46 nach 0 Jahren bei 11,5x Vergrößerung	Seite 30
Abb. 13	Perfekter Rand bei 0 Jahren Riefen durch die Oberflächenausarbeitung (200x)	Seite 30
Abb. 14	REM-Übersichtsbild des Zahnes 46 nach 8 Jahren bei 11,7x Vergrößerung	Seite 30
Abb. 15	Negative Stufe bei 8 Jahren (200x)	Seite 30
Abb. 16	Mittelwert und Standardabweichung der marginalen Integrität von Grandio und Tetric Ceram in Abhängigkeit vom Untersuchungszeitraum	Seite 31
Abb. 17	0 Jahre: Übersichtsbild LFD 26.0 (Zahn 15 od)	Seite 33
Abb. 18	0 Jahre: Übersichtsbild LFD 26.0 (Zahn 15 od) bei 10,5-facher Vergrößerung	Seite 33
Abb. 19	8 Jahre: Übersichtsbild LFD 26.8 (Zahn 15 od)	Seite 33
Abb. 20	8 Jahre: Übersichtsbild LFD 26.8 (Zahn 15 od) bei 14,2-facher Vergrößerung	Seite 33
Abb. 21	Mann-Whitney-U-Test: Prozentualer Anteil der klinischen Untersuchungskriterien in Abhängigkeit von der Zeit	Seite 34

Abb. 22	Übersichtsbild eines Zahnes 24 od LFD 65.0 13,9-fache Vergrößerung	Seite 37
Abb. 23	200-fache Vergrößerung des Kastens aus Abb. 22	Seite 37
Abb. 24	200-fache Vergrößerung des Kastens aus Abb. 22 nach 8 Jahren	Seite 37
Abb. 25	0 Jahre: Übersichtsbild LFD 11.0 (Zahn 46 od) bei 10,5-facher Vergrößerung	Seite 39
Abb. 26	2 Jahre: Übersichtsbild LFD 11.2 (Zahn 46 od) bei 16,6-facher Vergrößerung	Seite 39
Abb. 27	4 Jahre: Übersichtsbild LFD 11.4 (Zahn 46 od) bei 10,4-facher Vergrößerung	Seite 39
Abb. 28	8 Jahre: Übersichtsbild LFD 11.8 (Zahn 46 od) bei 11,3-facher Vergrößerung	Seite 39
Abb. 29	REM-Übersichtsbild eines Zahnes 46 (LFD 7.0) bei der Erstuntersuchung (11,5-fach)	Seite 40
Abb. 30	Ausschnitt des Füllungsrandes – Zahn 46 LFD 7.4 bei 200-facher Vergrößerung	Seite 40
Abb. 31	Ausschnitt des Füllungsrandes – Zahn 46 LFD 7.8 bei 200-facher Vergrößerung	Seite 40
Abb. 32	Zu sehen ist der Zahn LFD 5.8 (Zahn 25 od)	Seite 42

13 Tabellenverzeichnis

Tab. 1	Darstellung der integralen Bestandteile der zu untersuchenden Komposite Grandio / Tetric Ceram	Seite 2
Tab. 2	Die Klassifikation nach den Füllkörperformen bzw. -typen (nach Lutz 1983) sowie eine Klassifikation der in der Studie verwendeten Komposite	Seite 3
Tab. 3	Mechanische Eigenschaften der Komposite Grandio und Tetric Ceram	Seite 4
Tab. 4	Die verschiedenen Inhaltsstoffe der Haftvermittler Solobond M und Syntac Classic	Seite 7
Tab. 5	Die klinischen Bewertungskriterien zur Untersuchung der gesamten Füllung	Seite 14
Tab. 6	Klinischer Bewertungsmaßstab der Füllungsrän­der	Seite 15
Tab. 7	Die einzelnen Kriterien für die Bewertung der Füllungs­rän­der mit dem zugehörigen Bildäquivalent	Seite 22-24
Tab. 8	Rohdaten-Tabelle des Plugins „KHKsjQuantiGap“	Seite 26
Tab. 9	Friedmann Test: Veränderung des Füllungsrandes in Abhängigkeit von der Zeit	Seite 29
Tab.10	Mann-Whitney-U-Test: Unterschiede der Füllungs­rän­der zwischen Grandio und Tetric Ceram in Abhängigkeit von der Zeit	Seite 32
Tab.11	Prozentualer Anteil der SQRA nach 8 Jahren und REM-Daten nach 6 Jahren aus der Arbeitsgruppe Roulet et al ²⁷ .	Seite 43
Tab.12	Prozentualer Anteil der SQRA nach 2 Jahren und der REM-Daten nach 2 Jahren aus der Arbeitsgruppe Hickel et al ²⁸ .	Seite 44
Tab.13	Prozentualer Anteil der SQRA nach 2 Jahren und REM-Daten nach 2 Jahren aus der Arbeitsgruppe Hickel et al ²⁹ .	Seite 44

	N	0 Jahre MW	2 Jahre MW	4 Jahre MW	8 Jahre MW	p-Wert
Perfekter Rand [σ]	20	54,07 [18,43]	18,09 [11,66]	15,60 [9,78]	10,35 [6,72]	0,000
Überschuss [σ]	20	7,63 [12,58]	7,00 [9,28]	7,57 [8,86]	5,12 [7,43]	0,102
Positive Stufe [σ]	20	13,95 [11,63]	12,34 [9,65]	11,63 [10,65]	10,48 [8,86]	0,766
Negative Stufe [σ]	20	24,26 [17,95]	61,50 [18,56]	64,76 [19,32]	73,94 [14,47]	0,000
Spalt [σ]	20	0,09 [0,40]	1,06 [2,79]	0,44 [1,15]	0,11 [0,51]	0,180
Fraktur [σ]	20	0,00 [0,00]	0,00 [0,00]	0,00 [0,00]	0,00 [0,00]	-
Nicht beurteilbar [σ]	20	0,00 [0,00]	0,00 [0,00]	0,00 [0,00]	0,00 [0,00]	-
Gesamtlänge in px [σ]	20	14154,70 [5133,51]	14693,35 [6022,01]	14813,65 [5977,11]	14634,10 [5965,74]	0,854

Friedmann Test: Veränderung des Füllungsrandes (Grandio) in Abhängigkeit von der Zeit (MW = Mittelwert, σ = Standardabweichung, N = 20, Angaben in Prozent)

Kriterium		0 Jahre (n=40)	2 Jahre (n=40)	4 Jahre (n=40)	8 Jahre (n=40)
Alpha I Klinisch sehr gut		40,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Alpha II klinisch gut, evtl. mit Nachkorrektur klinisch sehr gut	a Negative Stufe	12,50%	40,00%	27,50%	12,50%
	b Überschuss	45,00%	7,50%	5,00%	5,00%
	c Verfärbter Übergang (entfernbar)	2,50%	15,00%	0,00%	0,00%
Bravo klinisch ausreichend, geringe Mängel ohne Möglichkeit der Korrektur und ohne neg. Folgen	a Randspalt/neg. Stufe	0,00%	17,50%	20,00%	37,50%
	b Verfärbung Übergang (nicht polierbar)	0,00%	20,00%	47,50%	45,50%

Klinische Untersuchung der marginalen Integrität von Grandio und Tetric Ceram (N=40). Es konnte ein signifikanter Unterschied der marginalen Integrität in Abhängigkeit von der Zeit festgestellt werden (Friedmann-Test, $p < 0.05$).

	N	0 Jahre MW	2 Jahre MW	4 Jahre MW	8 Jahre MW	p- Wert
Perfekter Rand [σ]	20	65,34 [9,20]	29,22 [16,45]	23,33 [16,41]	20,99 [17,26]	0,000
Überschuss [σ]	20	4,12 [7,77]	5,13 [7,41]	3,35 [6,35]	2,88 [4,30]	0,399
Positive Stufe [σ]	20	15,66 [11,41]	12,78 [11,46]	10,74 [9,81]	10,07 [9,03]	0,017
Negative Stufe [σ]	20	14,39 [8,40]	52,68 [17,16]	62,09 [19,80]	65,97 [20,33]	0,000
Spalt [σ]	20	0,35 [0,85]	0,15 [0,38]	0,49 [1,53]	0,00 [0,00]	0,210
Fraktur [σ]	20	0,00 [0,00]	0,00 [0,00]	0,00 [0,00]	0,00 [0,00]	-
Nicht beurteilbar [σ]	20	0,13 [0,42]	0,04 [0,20]	0,00 [0,00]	0,10 [0,44]	0,572
Gesamtlänge in px [σ]	20	17682,20 [6363,23]	18232,40 [6757,31]	18339,00 [7133,58]	18664,65 [7382,91]	0,552

Friedmann-Test: Veränderung des Füllungsrandes (Tetric) in Abhängigkeit von der Zeit (MW = Mittelwert, σ = Standardabweichung, N = 20, Angaben in Prozent)

14 Publikationsverzeichnis

Vortrag & Postervorstellung: Deutscher Zahnärztag am 09.11.2013

Artikel:

Krämer N, Küßner P, Motmaen I, Köhl M, Wöstmann B, Frankenberger R. Marginal quality and wear of extended posterior resin composite restorations: Eight-year results in vivo. *J mech Behav Biomed Mater* 2015;50:13-22

JOURNAL OF THE MECHANICAL BEHAVIOR OF BIOMEDICAL MATERIALS 50 (2015) 13–22



ELSEVIER

Available online at www.sciencedirect.com

ScienceDirect

www.elsevier.com/locate/jmbbm



Research Paper

Marginal quality and wear of extended posterior resin composite restorations: Eight-year results in vivo



Norbert Krämer^a, Pierre Küßner^a, Ila Motmaen^a, Michael Köhl^b,
Bernd Wöstmann^b, Roland Frankenberger^{c,*}

^aDepartment of Pediatric Dentistry, Medical Center for Dentistry, University Medical Center Giessen and Marburg, Campus Giessen, Schlangenzahl 14, D-35392 Giessen, Germany

^bDepartment of Prosthetic Dentistry, Medical Center for Dentistry, University Medical Center Giessen and Marburg, Campus Giessen, Schlangenzahl 14, D-35392 Giessen, Germany

^cDepartment of Operative Dentistry and Endodontics, Medical Center for Dentistry, University Medical Center Giessen



Quantitative Randspaltanalyse eines Nanohybridkomposites nach 8 Jahren



Küßner PG¹, Reinelt C, Frankenberger R², Krämer N¹

ID: 68

¹ Justus-Liebig-Universität Gießen
Zentrum für Zahn-Mund- und Kieferheilkunde
Poliklinik für Kinderzahnheilkunde
² Philipps-Universität Marburg
Zentrum für Zahn-Mund- und Kieferheilkunde
Abteilung für Zahnerhaltung

Korrespondenzadresse:
Pierre G. Küßner
Poliklinik für Kinderzahnheilkunde
Zahn-Mund-Kieferheilkunde
Justus-Liebig-Universität Gießen
Schillingenstraße 14
36382 Gießen
Tel: +49 (0)641 8949-241
Fax: +49 (0)641 8949-238
pierre_kuessner@yahoo.de

Einleitung und Zielsetzung

Heutzutage steht bei den Patienten nicht mehr die alleinige schmerzfreie Behandlung im Vordergrund, sondern eine hochwertige, zahnfarbene und ästhetisch perfekte Restauration. Über die Jahre haben sich die Komposite in ihrer Zusammensetzung verändert um immer bessere Materialeigenschaften zu erreichen^{1 2 3 4}. Im Rahmen einer prospektiven klinisch kontrollierten Langzeitstudie sollte die Eignung eines Nanohybridkomposites (Grandio, VocoFil, VOCO, Cuxhaven) vs. eines Hybridkomposites (Tetric Ceram, IvoclarVivadent, Lichtenstein) in Klasse II-Kavitäten überprüft werden.

Nullhypothese: Nach acht Jahren zeigt sich kein signifikanter Unterschied bezüglich der Randqualität zwischen den beiden Gruppen.

Material und Methode



Abb. 1 Reevaluation der direkten Kompositfüllung nach 8 Jahren (Zahn 15). Die blaue Farbe stellt die Okklusionskontakte dar.

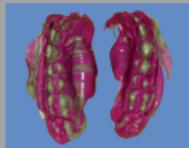


Abb. 2 Oberkiefer Präzisionsabformungen der Kompositrestaurationen (Dimension® Penta und Garant, 3M Espe)



Abb. 3 Ausgearbeitete Replika nach Ausformung mit Epoxidharz (AlphaDie, Schütz Dental)



Abb. 4 Besputterte Replika (Zahn 36 od) auf einem Probenhalter (Polaron SC 502 Sputter-Coater)

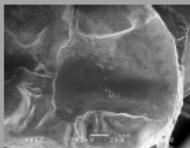


Abb. 5 Anschließend sind bei 200facher Vergrößerung Einzelbilder des Füllungsrandes erstellt worden. REM-Übersichtsbild (117x, Zahn 48)

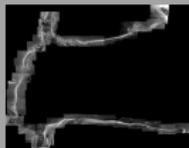


Abb. 6 Mittels Einzelbilder rekonstruierter Randspalt ist die Randspaltanalyse mit der Software jQuantigap erfolgt.

Ergebnisse

Grandio vs. Tetric Ceram

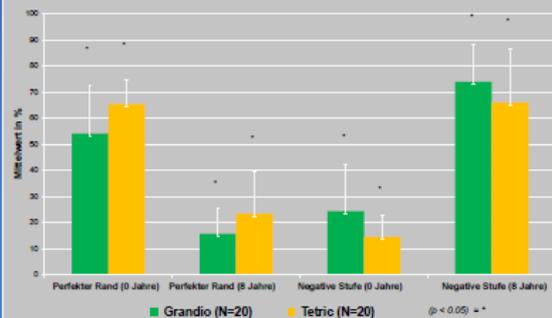


Diagramm 1: Mittelwert und Standardabweichung der marginalen Integrität von Grandio und Tetric Ceram in Abhängigkeit von der Zeit (Friedmann-Test: $p < 0,05$)

Außer für das Kriterium perfekter Rand (Baseline, 2- und 8-Jahre) konnte kein signifikanter Unterschied zwischen den Materialien festgestellt werden ($p < 0,05$; Mann-Whitney-U-Test). Für beide Materialien sank der Anteil des perfekten Randes im Beobachtungszeitraum signifikant, während der Anteil der negativen Stufe signifikant stieg ($p < 0,05$; Friedmann-Test).

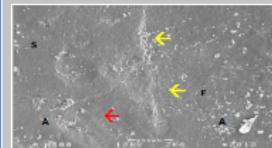


Abb. 7 Perfekter Rand (0 Jahre). Riefen bedingt durch die Oberflächenbearbeitung. S = Schmelz, F = Füllung, A = Artefakt (REM-Bild 200x)

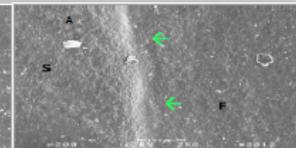


Abb. 8 Nach zwei Jahren entstandene **schalenförmige** Defekte. Zusätzlich ist eine deutliche Oberflächenzerrüttung festzustellen. S = Schmelz, F = Füllung, A = Artefakt (REM-Bild 200x)

Schlussfolgerung

Nach 8 Jahren limitierte die Adhäsion des Füllungsmaterials an die Zahnhartsubstanz die Überlebensrate der Restaurationen nicht. Um einen Unterschied der gesamten Füllungsmorphologie der beiden Materialien zu untersuchen, sollten weitere Methoden (z.B. 3-D Scan) durchgeführt werden.

Literatur:

- ¹ Frankenberger, Roland (2010): Adhäsiv-Fibel. Adhäsive Zahnmedizin - Wege zum klinischen Erfolg. 2. Aufl. Balingen: Bilita-Verl.
- ² Krämer, Norbert (1989): Die Klebefuge bei zahnfarbenen Inlays. Ein locus minoris resistentiae? Als Ms. gedr. Erlangen: Lengenfelder.
- ³ Mannhart, Juergen; Garola-Odoj, Franklin; Hinkel, Reinhard (2002): Direct posterior restorations: clinical results and new developments. In: Dent. Clin. North Am. 46 (2), S. 305-308.
- ⁴ Tam, Laura; Jokstad, Asbjorn (2010): The Bond Between Resin Composite Restorations and Dentin may Degrade in the Mouth Over Time. In: Journal of Evidence Based Dental Practice 10 (1), S. 21-22.

15 Anhang

Patientenfragebogen zur Erstuntersuchung

(Bitte ausfüllen und beim behandelnden Arzt / Zahnarzt abgeben)

**Klinik und Polikliniken für
Zahn-, Mund- u. Kieferkrankheiten
der Universität Erlangen-Nürnberg
Glückstraße 11 · 91054 Erlangen**

Name: Geburtstag:

	Nein	Ja	Medikamente		Nein	Ja
1 Nehmen Sie Medikamente ein?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		6 Haben Ansteckende Erkrankungen?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2 Haben Sie Gerinnungsstörungen, Blutverdünnung? Bluten Sie leicht?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		(oder hatten) Allergien (Haben Sie einen Allergiepaß?)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3 Besteht Schwangerschaft?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		Sie andere Erkrankungen?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4 Vertragen Sie zahnärztliche Spritzen?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		Herz-Kreislauf-Erkrankungen?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5 Sind Sie zur Zeit noch in allgemeinärztlicher Behandlung?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		Herzoperationen - Herzfehler?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				Diabetes (Zuckerkrankheit)?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				Rheumatismus - Rheum. Fieber?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				Lebererkrankungen oder Gelbsucht?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				Anfallsleiden (z. B. Epilepsie)?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				Immunschwäche (AIDS)?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				Andere Erkrankungen:.....		

Wenn Sie Erkrankungen haben, die Sie hier nicht angeben wollen, dann sprechen Sie bitte mit dem behandelnden Arzt / Zahnarzt.

7 Röntgenanamnese:
 Letzte RÖ-Aufnahme (außerhalb der ZMK-Klinik) am _____ / am _____ / am _____ / am _____
 Organ: _____ / _____ / _____ / _____
 Arzt / Zahnarzt / Klinik: _____ / _____ / _____ / _____

Datum:

Patient / Erziehungsberechtigter

Behandelnder Arzt / Zahnarzt

Medizinische Fakultät
Der Dekan



Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg

Medizinische Fakultät • Universitätsstraße 40 • D-91054 Erlangen

Herrn
Prof. Dr. A. Petschelt
Direktor der Poliklinik für
Zahnerhaltung und Parodontologie
Glückstr. 11

91054 Erlangen

Geschäftsstelle der Ethik-Kommission:
Dr. med. Sieglinde Wilkes
Tel. (09131) 85-26021 (8.30-11.30 Uhr)
Fax (09131) 85-22224
E-mail: ethik@zuv.uni-erlangen.de
Internet: <http://www.ethik.med.uni-erlangen.de>

Erlangen, 16. August 2002

✓ 20. 08. 02

Petschelt
→ Kopie an Notker

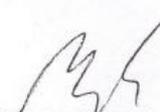
Antrag an die Ethik-Kommission/Bearbeitungs-Nr. 2740 (§ 20 Abs. 8 MPG)
Klinische Studie zur Bewertung von Voco Fil als adhäsives Seitenzahnfüllungsmaterial
Sponsor: VOCO GmbH, Cuxhaven
Prüfplan;
Patientenaufklärung und Einverständniserklärung in revidierter Fassung, eingegangen am 14. August 2002;
Merkblatt für den Hauszahnarzt; Merkblatt für den Patienten; Anamnesebogen 1 und 2; Behandlungsbogen;
Nachuntersuchungsbogen; Verlustbogen; Handbuch des klinischen Prüfers; Versicherungsbestätigung vom 13.05.2002;
Ihr Schreiben vom 8. August 2002

Sehr geehrter Herr Kollege Petschelt,

vielen Dank für Ihr oben bezeichnetes Schreiben.

Mit der ergänzten Patientenaufklärung und Einverständniserklärung wurden die Auflagen der Ethik-Kommission aus dem Schreiben vom 29. Juli 2002 berücksichtigt. Es bestehen somit keine ethischen und rechtlichen Bedenken mehr gegen die Durchführung des Forschungsvorhabens. Ich möchte Sie jedoch darauf aufmerksam machen, dass die datenschutzrechtliche Einwilligung gemäß § 20 MPG auch die Einwilligung des Patienten in die Einsichtnahme durch Beauftragte der zuständigen Behörde beinhaltet.

Mit freundlichen kollegialen Grüßen


(Prof. Dr. med. P. Betz)
Stellv. Vorsitzender der Ethik-Kommission

Bericht der Ethikkommission der Universität Erlangen am 16. August 2002

16 Erklärung zur Dissertation

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorgelegte Dissertation selbstständig, ohne unerlaubte fremde Hilfe und nur mit den Hilfen angefertigt, die ich in der Dissertation angegeben habe. Alle Textstellen, die ich wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten oder nicht veröffentlichten Schriften entnommen sind, und alle Angaben, die auf mündlichen Auskünften beruhen, sind als solche kenntlich gemacht. Bei den von mir durchgeführten und in der Dissertation erwähnten Untersuchungen habe ich die Grundsätze guter wissenschaftlicher Praxis wie sie in der „Satzung der Justus-Liebig-Universität Gießen zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis“ niedergelegt sind, eingehalten sowie ethische, datenschutzrechtliche und tierschutzrechtliche Grundsätze befolgt. Ich versichere, dass Dritte von mir weder unmittelbar noch mittelbar geldwerte Leistung für Arbeiten erhalten haben, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen, oder habe diese nachstehend spezifiziert. Die vorgelegte Arbeit wurde weder im Inland noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde zum Zweck einer Promotion oder eines anderen Prüfungsverfahrens vorgelegt. Alles aus anderen Quellen und von anderen Personen übernommene Material, das in der Arbeit verwendet wurde oder auf das direkt Bezug genommen wird, wurde als solches kenntlich gemacht. Insbesondere wurden alle Personen genannt, die direkt und indirekt an der Entstehung der vorliegenden Arbeit beteiligt waren. Mit der Überprüfung meiner Arbeit durch eine Plagiatserkennungssoftware bzw. ein internetbasiertes Softwareprogramm erkläre ich mich einverstanden.

Werl, 21.08.18

Ort, Datum



Unterschrift

17 Danksagung

Mein größter Dank gilt meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr. Dr. Norbert Krämer, der unermüdlich und mit größter Unterstützung mir überhaupt diese Arbeit ermöglicht hat. Des Weiteren bedanke ich mich bei Frau Dr. Susanne Lücker und bei Frau Ingrid Heidmann für die Hilfestellung im Labor.

Besonders möchte ich mich bei Herrn Prof. Kunzelmann bedanken, der mir hervorragend beim Auswertungsprogramm *Fuji* geholfen hat.