

Aus der Klinik für Zahnerhaltung, Parodontologie und Präventive Zahnheilkunde,

Universitätsklinikum des Saarlandes, Homburg/Saar

Direktor: Prof. Dr. M. Hannig

***In-vitro-* Randschlussverhalten von Kompositfüllungen in Abhängigkeit von der Härte des Kavitätenbodens**

Dissertation zur Erlangung des Grades eines Doktors der Zahnheilkunde

der Medizinischen Fakultät

der UNIVERSITÄT DES SAARLANDES

2017

vorgelegt von:

Ute Frenzel

geb. am: 29.06.1965 in Marl

Tag der Promotion:

Dekan: Prof. Dr. M.D. Menger

1. Berichterstatter: Prof. Dr. S. Rupf

2. Berichterstatter:

Meinen lieben Kindern

Paula und Leonie

Inhaltsverzeichnis

1	ZUSAMMENFASSUNG.....	1
1.1	Deutsche Zusammenfassung	1
1.2	Abstract.....	2
2	EINLEITUNG.....	4
2.1	Literaturübersicht.....	6
2.1.1	Dentin	6
2.1.2	Dentinkaries	8
2.1.3	Belassen von Dentinkaries	13
2.2	Ziel der Arbeit / Fragestellung.....	16
3	MATERIAL UND METHODE.....	17
3.1	Versuchsaufbau in schematischer Darstellung.....	17
3.2	Vorversuche.....	18
3.3	Präparation der Kavitäten	19
3.4	Füllen der Kavitäten	20
3.5	Anwendung der Materialien	22
3.5.1	Unterfüllungsmaterial.....	22
3.5.1.1	Ketac Bond.....	22
3.5.1.2	Cavit G.....	23
3.5.1.3	Durelon.....	23
3.6	Thermo-mechanische Belastung der Proben	24
3.7	Lichtmikroskopische Analyse der Füllungsråder	25
3.8	Statistische Auswertung	29
4	ERGEBNISSE.....	30
4.1	Füllungsrandanalyse der schmelzbegrenzten Approximalbereiche	30
4.2	Füllungsrandanalyse der dentinbegrenzten Approximalbereiche	43
5	DISKUSSION.....	55
5.1	Diskussion Material und Methode	58
5.1.1	Versuchsaufbau	58
5.1.1.1	Auswahl der Zähne.....	58
5.1.1.2	Lagerung der Zähne	59
5.1.1.3	Präparation der Kavität.....	59
5.1.2	Material und Füllungstechnik	60
5.1.3	Thermische und mechanische Belastung	58

5.1.4 Füllungsrandanalyse	58
5.2 Diskussion der Ergebnisse	59
5.3 Schlussfolgerung	62
6 LITERATURVERZEICHNIS.....	63
7 DANKSAGUNG.....	74
8 LEBENSLAUF.....	75
9 ANHANG	77

1. Zusammenfassung

1.1 Deutsche Zusammenfassung

In der vorliegenden *In-vitro*-Studie wurde das Randschlussverhalten von Kompositfüllungen der Klasse-II in Abhängigkeit von der Härte des Kavitätenbodens untersucht. Die Untersuchung sollte die Frage beantworten, wie sich der Randschluss von adhäsiven Kompositfüllungen der Klasse II bei verringerter Dentinhärte, wie sie z.B. klinisch nach unvollständiger Entfernung von Karies im Kavitätenboden auftritt, verändern.

Es wurden an 32 unteren extrahierten humanen Weisheitszähnen jeweils mesial und distal Kavitäten der Klasse-II präpariert. Mit einem Rosenbohrer wurde am okklusalen und approximalen Kavitätenboden 1mm tief und 3mm im Durchmesser zusätzlich exkaviert. Zur Simulation von Restkaries im Dentin wurden in die okklusalen und approximalen Zusatzkavitäten an je acht Zähnen einseitig Materialien verschiedener Härtegrade unter der Kompositfüllung eingebracht. Dies waren Cavit G (Vickershärte (VH)2), Ketac Bond (VH51), Durelon 0,2g (VH20) und Durelon 0,25g (VH30). Anschließend wurden alle Kavitäten im Etch-and-rinse-Verfahren mit Syntac classic und Tetric Evo Ceram in Inkrementtechnik gefüllt.

Es folgte eine Untersuchung des Randschlusses direkt nach dem Legen der Füllungen, nach 5.000 Zyklen thermischer Wechselbelastung bei 5°C und 55°C und nach mechanischer Belastung im Kausimulator mit 50 N für 100.000 Zyklen. Die Bewertung des Randschlusses erfolgte in einem Lichtmikroskop bei 200facher Vergrößerung in 200µm-Abschnitten jeweils im Zahnschmelz und im Dentin mit Hilfe der Parameter „Randspalt vorhanden“ / „klinisch akzeptabel“ (kein Spalt).

Die Ergebnisse wurden mittels gepaartem T-Test ($p < 0,05$) statistisch ausgewertet.

Die Bewertung des Randschlusses unmittelbar nach dem Legen der Füllungen ergab sowohl im Schmelz als auch im Dentin bei allen Versuchsgruppen keine signifikanten Unterschiede für den Parameter „klinisch akzeptabel“ gegenüber den Kontrollgruppen.

Nach der vollständigen thermo-mechanischen Belastung lag bei den Füllungen mit Ketac Bond-Unterlage der Anteil spaltfreien Randes im Dentin bei 89,8% und bei den Kontrollfüllungen bei 96,1%. Der Unterschied war statistisch signifikant ($p = 0,034$).

In den Versuchsgruppen mit Cavit, Durelon 0,2g und Durelon 0,25g gab es nur noch 69,5 – 79,5% klinisch akzeptable Füllungsänder im Dentin, während in den Kontrollgruppen noch 91,6% – 95,7% der Füllungsänder akzeptabel waren. Diese Unterschiede waren alle statistisch signifikant (Cavit $p=0,011$, Durelon 0,2g $p=0,034$, Durelon 0,25g $p=0,005$).

Als Schlüsselergebnis dieser Untersuchung ist festzustellen, dass die Randdichte von adhäsiv befestigten Kompositfüllungen der Klasse II sich bei reduzierter Härte des Kavitätenbodens nach thermo-mechanischer Belastung verringert.

Obwohl es sich hier um einen *In-vitro*-Modellversuch handelte, muss ein Einfluss von kariös erweichtem Dentin am Kavitätenboden auf den Randschluss von Kompositfüllungen auch für die klinische Situation in Betracht gezogen werden.

1.2 Abstract

This *in-vitro*-study examined the marginal integrity of Class II composite fillings with soft cavity floors of the dentine. It shall answer the question, how much the stability and marginal integrity of adhesive fixed Class II composite fillings at reduced dentine hardness will change after an incomplete removal of caries in the cavity floor.

The Class II cavities of 32 extracted lower human wisdom teeth have been dissected mesial and distal and excavated with the bud burr occlusal and approximal, 1mm deep and 3mm in the diameter. In order to simulate remaining caries, different cementum bases of variant hardness grade have been inserted to the mesial cavities of eight teeth occlusal and approximal. These were Cavit G (Vickers hardness (VH)2), Ketac Bond (VH51), Durelon 0,2g (VH20) and Durelon 0,25g (VH30). Then all the cavities were filled using the Etch-and-rinse process with Syntac classic and Tetric Evo Ceram Increment technique.

An examination of the border seal followed directly after the placement of fillings, after 5.000 cycles of thermic variation in stress at 5°C and 55°C and after automatic stress in the cyclic loading with 50 N for 100.000 cycles. All this has been effected

under optical microscope with 200fold magnification in 200µm-segments respectively in the tooth enamel and the dentine. The results have been analysed statistically by use of paired T-Test ($p < 0.05$).

The examination after the placement of fillings concerning the parameter „gap free margin“ revealed no significant differences for all test groups towards the control groups, and that as well in the enamel as in the dentine.

After the complete thermic and automatic stress, the rate of gap free margins in the dentine was at 89,8% regarding the fillings on a Ketac-base, and 96,1% regarding the control groups. The difference was clinically significant ($p = 0,034$).

Within the test groups using Cavit, Durelon 0,2g and Durelon 0,25g, only 69,5% to 79,5% of the filling borders had no gap in the dentine, while the control groups revealed 91,6% to 95,7% gap free margins. These differences were significant (Cavit $p=0,011$, Durelon 0,2g $p=0,034$, Durelon 0,25g $p=0,005$).

In conclusion it should be noted that the marginal integrity of adhesively fixed Class II composite fillings is decreasing when leaving soft areas in the cavity floor area.

Although this has been a model test, more examinations concerning the leaving of carious dentine within the dentine will be necessary.

2. Einleitung

Zahnärzte lernen in ihrer Ausbildung, dass Karies vollständig exkaviert werden muss. Die 1908 von G. V. Black empfohlenen Regeln für die Amalgamfüllungstherapie in Seitenzähnen sahen ein großzügiges Entfernen auch gesunder Zahnhartsubstanz vor. Die klinischen Kriterien für ausreichende Exkavation kariöser Zahnhartsubstanz waren visuelle und taktile Inspektion, nämlich das Fehlen von Verfärbungen und das als „Cri dentaire“ bezeichnete Klirren der zahnärztlichen Sonde beim Sondentest des Kavitätenbodens.

In einer Umfrage wurde ermittelt, dass Zahnärzte auch in der heutigen Zeit zu einem hohen Anteil dies als Voraussetzung für die Langlebigkeit von Füllungen erachten (Schwendicke *et al.*, 2013b).

Die vollständige Entfernung von Dentinkaries birgt jedoch auch Risiken wie zum Beispiel die Pulpaeröffnung. Auch aus diesem Grunde hat inzwischen in der Kariestherapie ein Paradigmenwechsel stattgefunden (Kidd 2004, Hotz 2003). Die Präparation des Zahnes erfolgt nur noch defektorientiert, weil moderne Werkstoffe dies ermöglichen. Heute werden minimalinvasive zahnschonende Füllungen mit adhäsiv befestigten Kompositen in Schichttechnik oder Bulktechnik eingebracht (Van Ende *et al.* 2013). Diskutiert wird aktuell, ob dies unter Belassen von Restkaries am Kavitätenboden geschehen kann (Maltz *et al.* 2007, 2011, Schwendicke *et al.* 2013a).

Inzwischen kann als gesichert angesehen werden, dass bei dichter Versiegelung der kariösen Läsion und des inneren infizierten Dentins eine Reduktion der Mikroorganismen und eine Remineralisation des Dentins am Kavitätenboden stattfinden. Das Material zur Unterfüllung scheint hierbei eine eher untergeordnete Rolle zu spielen (Corallo *et al.* 2013, Petrou *et al.* 2013).

Die destruktiven Vorgänge in der Karieszone werden durch den Metabolismus von Mikroorganismen verursacht. Die durch den Bakterienstoffwechsel gebildeten Säuren lösen Mineralien aus der Zahnhartsubstanz und machen diese durchlässiger (Paris, Meyer-Lückel 2012, Rupf *et al.* 2014). Durch ebenfalls freigesetzte Endotoxine reagiert die Pulpa mit Entzündung (Hellwig *et al.* 2013). Ist die Entzündung irreversibel, wird trotz invasiver Behandlungsmaßnahmen bei hohen Kosten die Lebensdauer des Zahnes verkürzt (Schwendicke 2013d).

Sobald die Substratzufuhr für die Mikroorganismen im Biofilm durch eine Barriere verhindert wird, gibt es Anzeichen, dass die Destruktion von gesundem Dentin in der Karieszone aufgehalten wird. Solange hier noch das Kollagengerüst intakt ist, findet sogar Remineralisation statt (Kidd 2004, Maltz *et al.* 2012).

Die Exkavation des äußeren nicht mehr remineralisierbaren kariösen Dentins durch Hartmetall-Rosenbohrer wird meistens bis ins innere gesunde Dentin extendiert (Naves *et al.* 2011, Toledano *et al.* 2013). Die Unterscheidung von äußerem und innerem infizierten, aber remineralisierbarem, Dentin ist bis heute nicht exakt möglich; hinreichend nachgewiesen ist jedoch eine ungefähre Differenzierung durch den Härtegrad des restkariösen Dentin, welcher ca. 15-30 Knoop-Härte (HK) beträgt (Meredith *et al.* 1996, Shimizu *et al.* 2013). Die Härte des nichtkariösen Dentins direkt an der Pulpa beträgt 30 HK und erhöht sich nach peripher auf ca. 60 HK (Meredith *et al.* 1996).

Dieser Wert weist eine große interindividuelle Variabilität auf. Die Unterscheidung von kariösem und nichtkariösem Dentin kann mit technischen Hilfsmitteln wie beispielsweise der FACE-Methode oder selbstlimitierenden Kunststoffbohrern nur annähernd erreicht werden (Ramamoorthi *et al.* 2013, Toledano *et al.* 2013). Die anschließende indirekte Pulpaüberkappung, bisher mit Calciumhydroxid ausgeführt, ist resorbierbar und führte damit zur Hohlrumbaueung unter der Füllung. Eine Hohlrumbaueung ist ebenfalls der Fall durch Wasserverlust und Schrumpfung des Dentins unter einer Füllung (Ito *et al.* 2005). Dies veranlasste Björndahl *et al.* 2010 im Rahmen eines systematischen Reviews zunächst zur Empfehlung eines zweizeitigen Vorgehens mit temporärer Füllung und Wiedereröffnung zur vollständigen Exkavation sowie definitiver Füllung.

Obwohl bislang nur wenige Studien vorliegen, wird heute propagiert, dass die schrittweise Kariesexkavation und die unvollständige Kariesexkavation der klassischen vollständigen Exkavation in Bezug auf die mittelfristige Vitalerhaltung der Pulpa überlegen sind (Ricketts *et al.* 2013, Schwendicke *et al.* 2013).

Als weitere Vorteile der unvollständigen einzeitigen Kariesexkavation werden Kostenreduktion, höherer Behandlungskomfort und bessere Langzeitprognose angegeben (Schwendicke *et al.* 2013d).

Es gibt aber Zweifel, ob die Festigkeit von Kompositfüllungen bei unvollständiger Kariesexkavation mit definitiver Restauration unter Kaubelastung langzeitstabil bleibt (Hevinga *et al.* 2010).

Die vorliegende *In-vitro*-Studie sollte die Frage beantworten, wie sich der Randschluss von adhäsiven Komposit-Füllungen der Klasse II bei verringerter Härte des Kavitätenbodens, als Modell für unvollständige Entfernung der Karies, verändert.

2.1 Literaturübersicht

2.1.1 Dentin

Das Dentin wird von der äußeren Schicht des Zahnes, dem Zahnschmelz ummantelt und umgibt selbst die Zahnpulpa. Im Gegensatz zum Zahnschmelz ist Dentin ein lebendes Gewebe, das aus 70 Gew. % anorganischem Material (Phosphat, Kalzium und Spurenelemente), 18 Gew. % organischem Material (Kollagen und kollagenartige Verbindungen) und aus 12 Gew. % Wasser besteht. Zwar ist die anorganische Substanz wie im Zahnschmelz aus Apatitkristallen und amorphem Kalziumphosphat aufgebaut, sie ist aber nicht wie beim Zahnschmelz in Prismenform angeordnet.

Odontoblastenkörper befinden sich in der Zahnpulpa und senden ihre Zellfortsätze durch das komplette Dentin bis zur Schmelz-Zement-Grenze. Im Querschnitt sind diese Odontoblastenfortsätze umgeben vom flüssigkeitsgefüllten periodontoblastischen Raum, auf den das peritubuläre Dentin folgt. Dies ist die dichteste und am stärksten mineralisierte Dentinschicht.

Zum Schutz der Pulpa kann das peritubuläre Dentin sklerosieren und dadurch die Dentinkanälchen einengen. Nachdem die Primärdentinbildung mit Abschluss des Wurzelwachstums beendet ist, wird lebenslang bei vitaler Pulpa weiterhin das sogenannte Sekundärdentin ausgebildet. Zur Abwehr äußerer Reize, wie iatrogenen Schäden, Attrition, Erosion und Karies, entsteht lokal das Tertiärdentin.

Zur Verdeutlichung dieser Funktion bezeichnet man Dentin und Pulpa als Pulpa-Dentin-Einheit (Hellwig 2013) oder als Pulpa-Dentin-Organ (Meyer-Lückel 2012).

Schließlich existiert zwischen den Dentinkanälchen das intertubuläre Dentin, eine weniger mineralisierte Dentinschicht, die zu über 50% aus kollagenen Fasern besteht.

Von der Pulpa zum Zahnschmelz unterscheidet man ebenfalls verschiedene Zonen, beginnend mit dem noch nicht mineralisierten Prädentin. Im Zwischendentin findet die Mineralisation statt, es folgt die zirkumpulpale Dentinschicht. Weniger mineralisiert ist die periphere Zone angrenzend an den Zahnschmelz, das Manteldentin. Charakteristisch für diese Zone sind die zahlreichen Seitenäste der Odontoblastenfortsätze, die diese Schicht durchziehen. (Hellwig E. *et al.* 2013).

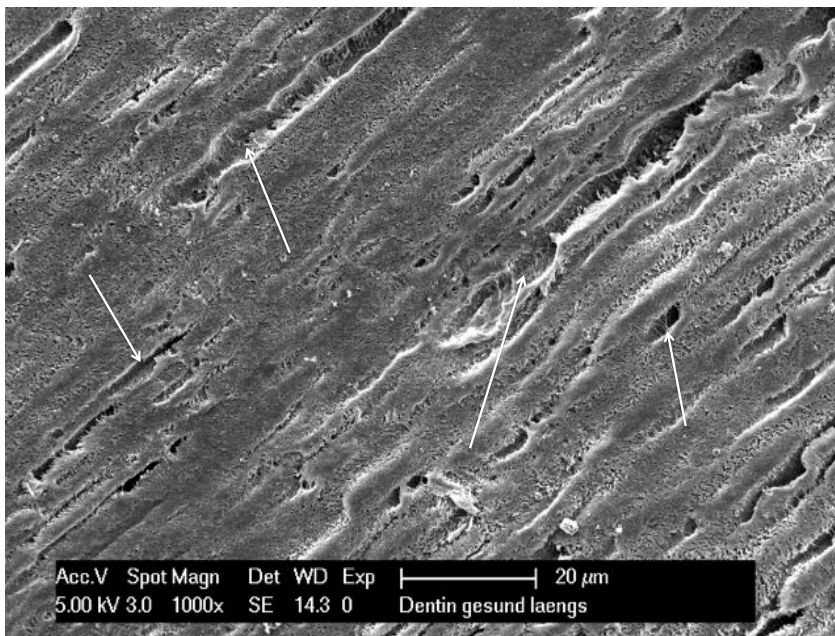


Abbildung 1: Rasterelektronenmikroskopische (REM) Aufnahme von gesundem Dentin mit angeschliffenen Dentinkanälen (Pfeile) bei 1000facher Vergrößerung im Längsschnitt.

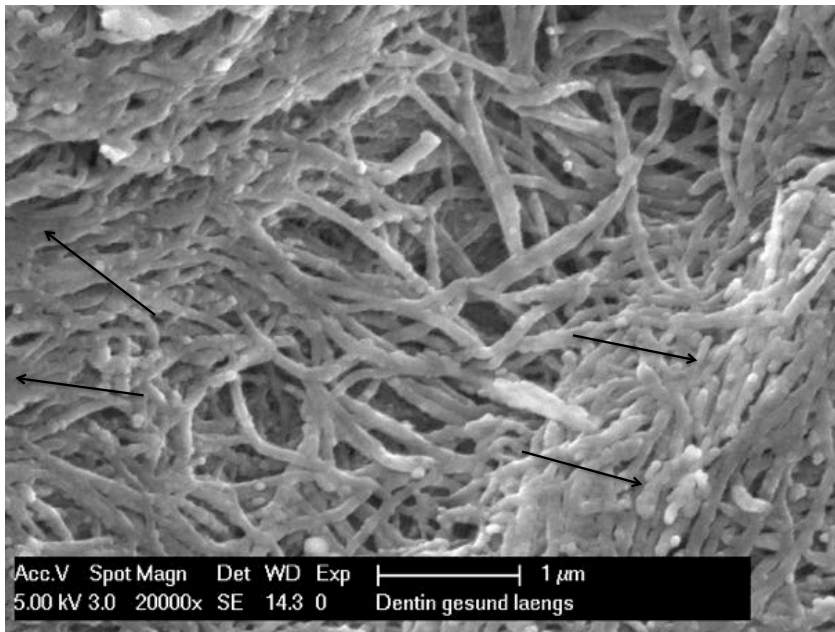


Abbildung 2: REM-Aufnahme von gesundem Dentin bei 20.000facher Vergrößerung im Längsschnitt. Die Pfeile zeigen die mineralisierten peritubulären kollagenen Fasern.

Charakteristisch sind in den einzelnen Dentinschichten die Härtewerte nach Knoop (HK) oder Vickers (HV). Die Härte des zentralen pulpanahen Dentins beträgt 30 HK und erhöht sich nach peripher auf ca. 60 HK (Meredith *et al.* 1996).

2.1.2 Dentinkaries

Karies ist eine mikrobiell bedingte Erkrankung der Zahnhartgewebe Schmelz und Dentin.

Sie entsteht durch Demineralisation des Zahnhartgewebes bei Verschiebung des ökologischen Gleichgewichtes im dentalen mikrobiellen Biofilm. Potentiell pathogene Mikroorganismen wie z.B. *Streptococcus mutans*, können bei erhöhter Zufuhr von kurzkettigen Kohlenhydraten den pH-Wert Biofilm so absenken, dass die Zucker metabolisierenden säuretoleranten und säureproduzierenden Mikroorganismen bevorzugt werden. Die Anzahl an säurebildenden Laktobazillen steigt in der fortgeschrittenen, tiefen Dentinkaries stark an (Maltz *et al.* 2002).

Diese aktuell vertretene ökologische Plaquehypothese geht davon aus, dass ein Teil der endogenen physiologischen Plaque durch qualitative und quantitative Veränderungen pathologisch werden (Rupf *et al.* 2014, Wolff *et al.* 2014). In der ausgereiften Plaque bzw. dem Biofilm befinden sich dicht gepackt Bakterien, die in eine Plaque-matrix eingebettet sind. Diese Matrix ermöglicht den Zusammenhalt der Bakterien und die Haftung des Biofilms an der Zahnoberfläche. Wenn durch den Säureangriff aus dem Biofilm der Zahnschmelz demineralisiert wird, entsteht eine Läsion, dessen Form sich bei breiter peripherer Basis mit zunehmender Durchdringungstiefe verjüngt, bis die Schmelz-Dentin-Grenze erreicht ist. Hier breitet sich der kariöse Prozess sehr schnell entlang dieser Grenze aus, denn in dieser Zone ist der Gehalt an organischer Substanz und Wasser höher, während der Mineralstoffgehalt deutlich niedriger ist (Kidd 2004).

Als vitales pulpo-dentales Organ zeigt das Dentin eine Abwehrreaktion auf diesen Reiz. Die Stoffwechselprodukte der Bakterien erreichen zuerst das Dentin und als primäre Reaktion findet dort die tubuläre Sklerose statt. Die Dentinkanälchen oblitieren durch peritubuläre Dentinanlagerung, die Odontoblastenfortsätze mineralisieren und weichen zurück (Pugach *et al.* 2009). Dies ist ein Signal, das die Odontoblasten in der Pulpa zur Bildung von Tertiärdentin veranlasst.

Ist die Karies langsam fortschreitend, hat dieses Reizdentin eine regelmäßige Struktur und ähnelt dem Primär- oder Sekundärdentin.

Bei starker Reizung der Pulpa durch schnell fortschreitende Karies, ist das Tertiärdentin unregelmäßig und es fehlen Dentinkanälchen (Corralo 2013).

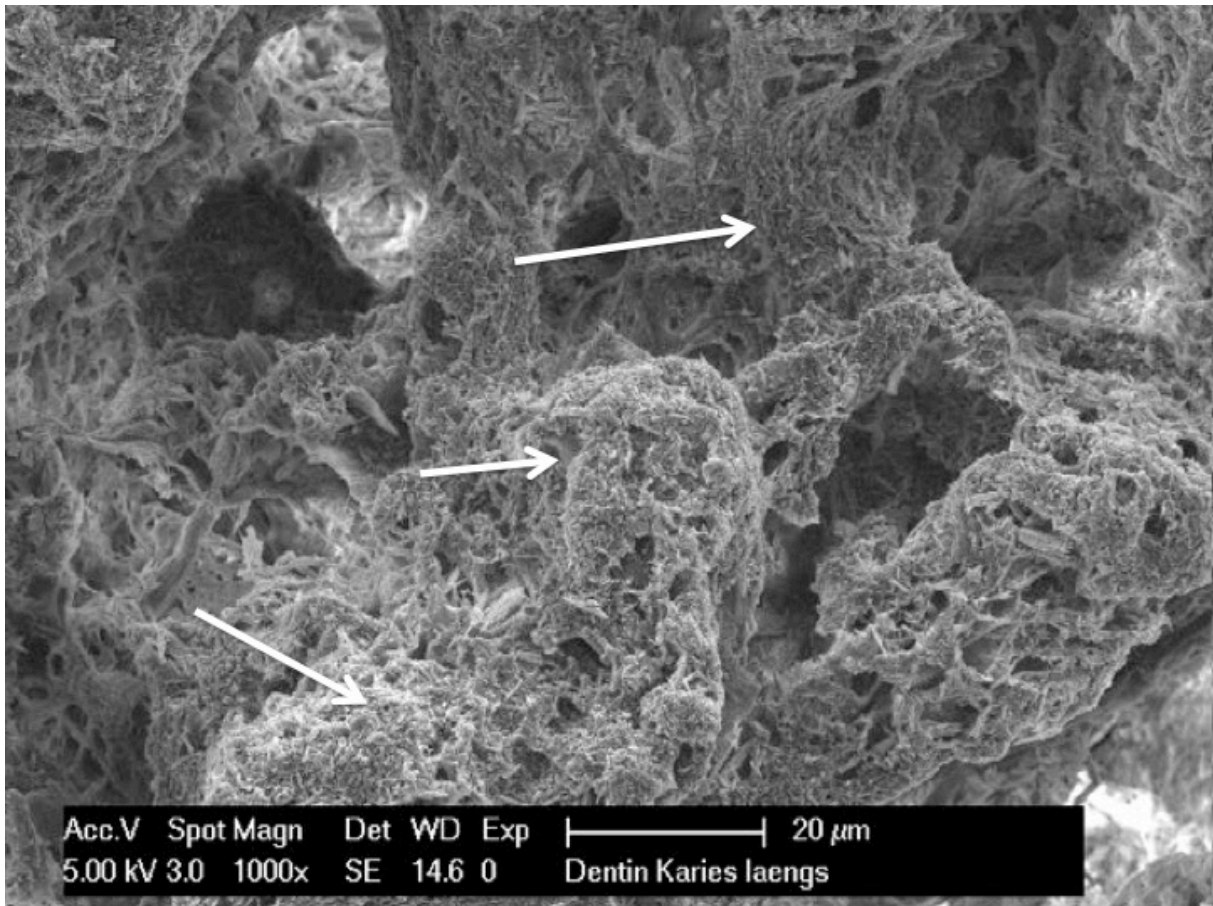


Abbildung 3: REM-Aufnahme von denaturiertem Kollagen (Pfeile) im kariösen Dentin bei 1.000facher Vergrößerung im Längsschnitt.

Histologisch unterscheidet man in diesem Stadium im Dentin, in dem der Zahnschmelz zwar porös, aber noch intakt ist, verschiedene Zonen von peripher nach pulpal. Dies beginnt mit der Zone der Demineralisation an der Schmelz-Dentin-Grenze. Es folgt der dead tract, der nach Rückzug der Odontoblastenfortsätze keine Verbindung mehr mit der Pulpa und eine höhere Durchlässigkeit hat. Daran schließt sich die sklerotische Zone an, dann normales Dentin und schließlich Tertiärdentin. Diese Reihenfolge der Zonen bleibt immer gleich, allerdings ist das Vorhandensein bzw. die Ausprägung der jeweiligen Zone vom Fortschritt des kariösen Prozesses abhängig. Mit der Kavitation des Schmelzes können dann Bakterien in das Dentin eindringen und eine Zone der bakteriellen Penetration bilden. Sie ersetzt somit die frühere Zone der Demineralisation, die sich nun weiter in Richtung Pulpa verschiebt (Paris *et al.* 2012).

Die eingedrungenen Bakterien bauen mit ihren hydrolytischen und proteolytischen Enzymen die vorher durch Säuren demineralisierten Kollagene der Dentinmatrix ab, so dass eine Schicht weichen Materials aus Biofilm und zerstörtem Dentin, die sogenannte Zone der Nekrose, entsteht. Mit der Zeit werden dann die restlichen Zonen von der bakteriellen Penetration überholt und nach lateral ausgedehnt, bis irgendwann die Pulpa von der Zone der Penetration erreicht und irreversibel geschädigt wird (Hellwig *et al.* 2013, Meyer-Lückel 2012).

Die Härte des remineralisierbaren kariösen Dentins beträgt nur ca. 15 HV bzw. HK (Marquezan *et al.* 2009, Hamama 2013, Shimizu *et al.* 2013).

Der praktische Zahnarzt ist bei der Beurteilung von Karies im Dentin auf seinen visuellen Eindruck und die taktile Untersuchung mit der Sonde angewiesen.

Zur klinischen Unterscheidung der Karieszonen hat Fusayma (1979) zwei kariöse Dentinschichten mit Hilfe eines basischen Fuchsinfarbstoffes als Kariesdetektor beschrieben.

Die erste äußere Schicht ist stark demineralisiert, enthält denaturierte Kollagenfasern und eine große Zahl Bakterien, sie wird als „infected zone“ bezeichnet und lässt sich durch den Kariesdetektor rot färben.

Die darunterliegende Schicht, die „affected zone“, ist durch intakte Kollagenfasern gekennzeichnet und kann remineralisieren.

Da vor den Bakterien bereits Säuren in das Dentin vordringen, färbt sich auch remineralisierbares Dentin an. Deshalb ist diese Methode zur Unterscheidung ungenau (Pugach *et al.* 2009).

Ein weiteres klinisches Unterscheidungsmerkmal ist die Farbe und Konsistenz des Dentins. Dentin der „infected zone“ ist heller, weicher und feuchter als Dentin der „affected zone“ (Corralo, Maltz 2013). Wenn Karies belassen wird, aber dicht abgeriegelt unter einer Füllung verbleibt, findet man nach Wiedereröffnung der Kavität remineralisiertes Dentin, das dunkler, trockener und fester geworden ist (Maltz 2002, Santiago 2005, Smales *et al.* 2005, Duque *et al.* 2009, Corralo, Maltz 2013).

Werden nur die nekrotischen Anteile im kariösen Dentin entfernt und der remineralisierbare Teil von den schädigenden Einflüssen des Biofilms abgeriegelt, reduziert sich zwar die Zahl der Mikroorganismen, dennoch überleben sie in geringer Zahl

(Maltz 2002). Was dann mit ihnen geschieht, ist noch nicht abschließend aufgeklärt. Möglicherweise können sie sich durch opportunistische Adaptation an die veränderte Umgebung anpassen (Kidd 2004, Duque 2009). Die Menge der persistierenden Mikroorganismen ist in komplett exkavierten Zähnen und in unvollständig exkavierten Zähnen, nachdem die Kavität versiegelt wurde, ähnlich hoch (Lula 2009). Der Kariesprozess wird zumindest kurzfristig gestoppt, dies jedoch unabhängig vom Material der Unterfüllung (Ziskind *et al.* 2007, Schwendicke *et al.* 2013b, Petrou 2013). Möglicherweise hat die Dentinätzung einen inhibitorischen Effekt auf die Bakterienaktivität (Gu 2010) und auf die wiedererlangte Härte nach Behandlung der Caries profunda (Bresciani *et al.* 2010).

Die Herausforderung besteht darin, einen evidenz-basierten Endpunkt für die Exkavation festzulegen. Lediglich eine Annäherung gelingt mit Hilfe von selbstlimitierenden Exkavationsverfahren (Mollica *et al.* 2012, Neves *et al.* 2011). Diese hat Kunzelmann (2011) systematisch beschrieben. Es gibt solche mit einstellbarem Schwellenwert und weitere mit intrinsisch festgelegtem Schwellenwert.

Tabelle 1: Einteilung der selbstlimitierenden Exkavationsarten nach Kunzelmann (2011)

Aktives Feedback (Schwellenwert einstellbar)	Passives Feedback (intrinsisch festgelegter Schwellenwert)
Fluoreszenz-Aided Caries Excavation (=FACE)	Chemomechanische Verfahren (z.B. Carisolv)
Drehmoment-kontrollierter Bohrer	Proteolytische Enzyme (z.B. Papacarie)
Fluoreszenz-gesteuerter Laser	Rotierende Polymerinstrumente (Smartburs 2, Polybur P1)

Einigkeit herrscht insofern, dass man eine zu erreichende Dentinhärte von ca. 20 KH als Anhaltspunkt für das Exkavationsende annehmen kann. Shimizu (2013) unterstreicht diesen Ansatz mit der Entwicklung eines Cariotesters zur Bestimmung der Härte.

2.1.3 Belassen von Dentinkaries

Nachdem sich in den vergangenen Jahren die Füllungstherapie mit Kompositmaterialien etabliert hat, liegen inzwischen Daten vor, die eine Langzeitstabilität von Kompositfüllungen belegen (Pallesen, van Dijken 2015, Opdam *et al.* 2014). Darüber hinaus wurde in mehreren Untersuchungen gezeigt, dass es möglich ist, die Kariesprogression unter Füllungen aufzuhalten. Die Abkehr von der kompletten Exkavation (= complete caries removal) mit Risiko der Eröffnung der Pulpa wird für den Langzeiterhalt des Zahnes als günstiger beschrieben (Bjorndahl *et al.* 2010, Kidd 2004, Leksell *et al.* 1996, Maltz *et al.* 2002, Maltz *et al.* 2011, Maltz *et al.* 2012, Maltz *et al.* 2007, Oliveira *et al.* 2006).

Temporäres Belassen von Restkaries ist der Grundgedanke bei der schrittweisen Exkavation (= stepwise excavation technique). Zuerst erfolgt die unvollständige Kariesentfernung mit Erhalt des Pulpadaches, die Überdeckung der Karies am Kavitätensboden mit Calciumhydroxid und eine temporäre Versorgung. Nach drei Monaten, in der Remineralisation und Tertiärdentinbildung durch die Pulpa bei reduzierter mikrobieller Aktivität in der Kavität erfolgten, wird die Kavität wieder geöffnet, das noch kariös erweichte Dentin vollständig exkaviert und der Defekt definitiv gefüllt (Leksell *et al.* 1996, Bjorndahl *et al.* 2010).

Bei dieser Technik besteht durch die Wiedereröffnung der Kavität erneut das Risiko der Pulpaschädigung. Eine Hohlrumbaueung unter der Füllung durch Resorption des Calciumhydroxides und Schrumpfung des Dentins durch Austrocknung des Dentins (Ito *et al.* 2004) tritt bei dieser Behandlungsvariante jedoch nicht auf.

Ebenfalls einen günstigen Einfluss auf die für die Pulpavitalität scheint die unvollständige Kariesentfernung (= partial caries removal) zu besitzen. Hierbei erfolgt keine Wiedereröffnung, das kariöse Dentin wird mit Calciumhydroxid abgedeckt und unter der definitiven Restauration belassen (Kidd 2004, Oliveira *et al.* 2006, Maltz *et al.* 2007, Thompson *et al.* 2008).

Nachteilig bei diesem Vorgehen ist die Hohlrumbaueung durch Resorption des Calciumhydroxides einhergehend mit Schrumpfung durch Trocknung des Dentins (Ito *et al.* 2004).

Es wurde und wird sogar das vollständige Belassen von Dentinkaries unter adhäsiven Füllungen in Betracht gezogen (= no dentinal caries removal) (Going *et al.* 1978., Weerheijm *et al.* 1992). Dieses Verfahren hat sich jedoch in der klinischen Anwendung nicht bewährt.

Die Erkenntnis, dass die Kariesprogression aufgehalten werden kann, hat eine lebhafte Diskussion darüber entfacht, welches Verfahren nun für die klinische Anwendung empfohlen werden soll.

Der aktuelle Cochrane Review von Ricketts *et al.* 2013 hat über einen Zeitraum von 1946 bis 2012 die Literatur hinsichtlich zu den genannten unvollständigen Exkavationsarten im Vergleich zur vollständigen Exkavation mit Bezug zur Pulpaeröffnung untersucht. Dabei konnten die Daten von 1191 Zähnen aus acht Studien einbezogen werden. Die Technik der schrittweisen Exkavation reduziert die Häufigkeit der Pulpaexposition um 56% und die partielle Exkavation um 77%. Dabei gab es keine evidenten Zahlen, inwieweit dies Einfluss auf die Restauration hat. Die Nichtentfernung von Dentinkaries wurde als „nicht ausreichend untersucht“ bewertet, jedoch gab es ähnliche Ergebnisse wie bei der partiellen Exkavation.

Bereits 1997 konnten Mertz-Fairhurst *et al.* einen Langzeiterfolg bei Füllungen auf Restkaries zeigen, jedoch nur bei Klasse-I Füllungen auf Karies bis maximal zur Hälfte des Dentins.

Weitere Untersuchungen zeigten auch über einen Zeitraum von mehreren Jahren die Langlebigkeit von Füllungen nach unvollständiger Kariesentfernung nahe der Pulpa.

Diese Autoren empfehlen, die Kavitäten nicht wieder zu eröffnen (Ricketts *et al.* 2006, Maltz *et al.* 2011).

Es wurde in diesen Studien nicht untersucht, wie die Misserfolge dieser Füllungen verursacht werden. Auffällig ist das häufigere Scheitern bei mehrflächigen Füllungen (Maltz *et al.* 2012, 2013). Maltz *et al.* (2011) gehen davon aus, dass dieses Scheitern den Füllungen selbst zuzuschreiben ist und empfehlen indirekte Restaurationen bei mehrflächigen Defekten. Das würde allerdings bedeuten, dass trotz Belassen von Karies am Kavitätenboden letztlich wesentlich invasivere Restaurationstechniken angewandt werden.

Es existieren nach wie vor sehr wenige Studien, die sich mit den Auswirkungen von Restkaries am Kavitätenboden auf die Haltbarkeit der Füllungen beschäftigen, insbe-

sondere fehlen Langzeitstudien im Vergleich der Exkavationsarten auf das Füllungsverhalten (Maltz *et al.* 2012b).

Hevinga *et al.* (2010) haben in einer *in vitro* Studie die Bruchfestigkeit von einflächigen Komposit-Füllungen bei unvollständiger Kariesentfernung in Molaren getestet. Es gab in dieser Gruppe Frakturen um den Füllungsrand, während in der Kontrollgruppe mit vollständig exkavierter Karies Vertikalfrakturen an der Schmelz-Dentin Grenze auftraten. Nicht berücksichtigt ist die Remineralisation des Dentins über die Zeit mit der damit verbundenen größeren Härte des Untergrundes, wie die Autoren diskutieren. Sie empfehlen, dass der Einfluss der Menge der Restkaries auf die Füllungsfestigkeit besser untersucht werden muss. Sie kommen zu dem Ergebnis, dass die Bruchfestigkeit der Füllungen über Restkaries reduziert ist. Sie empfehlen daher eher die schrittweise Exkavation.

Dieser Schlussfolgerung widerspricht Maltz (2011), weil sie in den oben bereits angeführten Studien die Füllung und nicht die Karies als Misserfolgsgrund anführt und nochmals auf die steigende Dentinhärte durch die Remineralisierung hinweist.

Schwendicke *et al.* (2013a, 2013c) warnen ebenso vor voreiligen Schlüssen bezüglich der Stabilität und Empfehlung aus einer *in vitro* Studie und kommen eher zu der Einsicht, dass die unvollständige Kariesentfernung Vorteile hat. Ganz deutlich wird jedoch hervorgehoben, dass dies noch nicht ausreichend untersucht ist. In ihrem Review (2013a) formulieren sie die folgenden bislang ungeklärten Fragen: „Wieviel Karies kann belassen werden und wie kann man dies messen?“ und „Wie beeinflusst Restkaries die physikalischen Eigenschaften der restaurierten Zähne, und können die Limitierungen der Bondingtechnik durch andere Materialien verbessert werden?“

Diese Arbeitsgruppe hat selbst die aktuellste Untersuchung zur Bruchfestigkeit durchgeführt (Schwendicke *et al.* 2014).

So wurde die Bruchfestigkeit von dreiflächig gefüllten Prämolaren getestet. Die Autoren kommen im Gegensatz zu Hevinga *et al.* (2010) zu dem Ergebnis, dass die Bruchfestigkeit nicht von der Restkaries abhängt. Sie geben genau wie Maltz *et al.* (2013) eine vorsichtige Empfehlung zur unvollständigen Exkavation.

Die unvollständige Kariesexkavation wird von 70% der befragten Zahnärzte aus Praxen in Norddeutschland abgelehnt (Schwendicke 2013b). Sie stehen unter dem

Zwang eine 2-jährige Garantie auf Füllungen zu gewähren und fürchten, dass Füllungen auf Restkaries diesen geforderten Zeitraum nicht überstehen.

Die röntgenologische Diagnose von Residualkaries unter einer bestehenden Restauration veranlasst Zahnärzte zur Erneuerung und vollständigen Exkavation von randständig intakten Füllungen (Kidd 2001).

Dadurch verkürzt sich die Vitalität dieser Zähne um etwa 10 Jahre und das Überleben des Zahnes um etwa 4 Jahre. Die Gesamtkosten, die aus allen Behandlungen entstehen, erhöhen sich bei vollständiger Exkavation im Verhältnis zur unvollständigen Exkavation um 50% (Schwendicke *et al.* 2013d).

2.2 Ziel der Arbeit / Fragestellung

Die vorliegende *In-vitro*-Studie sollte die Frage beantworten, wie sich die Randdichte von adhäsiven Kompositfüllungen der Klasse II bei unterschiedlich hartem Kavitätenboden als Modell für die unvollständige Kariesexkavation verändert.

Die Nullhypothese lautet:

Das Randschlussverhalten von adhäsiv befestigten Kompositfüllungen der Klasse II ist unabhängig von der Härte des Kavitätenbodens.

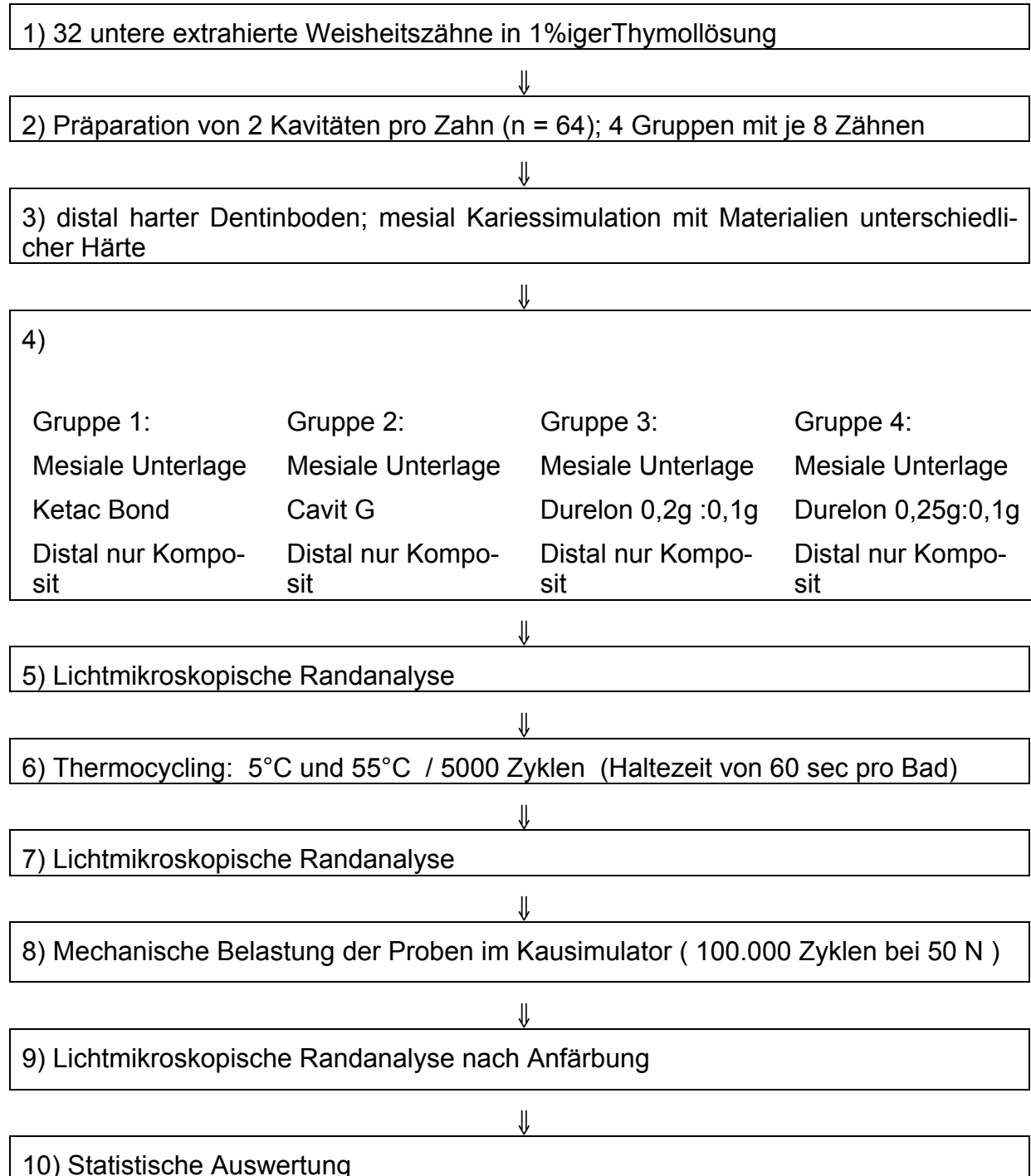
Die Alternativhypothese lautet:

Die Randdichte von adhäsiv befestigten Kompositfüllungen der Klasse II verringert sich bei weicher Unterlage im Bereich des Kavitätenbodens.

3. Material und Methode

3.1 Versuchsaufbau in schematischer Darstellung

Das folgende Schema zeigt die Versuchsanordnung:



3.2 Vorversuche

In einem Vorversuch wurde zuerst die Vickershärte der Materialien für die Kariessimulation ermittelt. Mit einem Legostein als Matrix wurden durch Silikonabformung zylindrische Formen mit einem Durchmesser von 4 mm hergestellt.



Abbildung 4: Silikonform für die Herstellung von Prüfkörpern für die Härtemessung.

Mit etwas Überschuss wurden in jeweils fünf Vertiefungen Cavit G, Ketac Bond und Durelon in verschiedenen Mischungsverhältnissen (0,15g Pulver zu 0,1g Flüssigkeit, 0,2g Pulver zu 0,1g Flüssigkeit und 0,25g Pulver zu 0,1g Flüssigkeit) eingefüllt. Nach 24stündigem Aushärten dieser Proben in Wasser (Tafelwasser, Black-Forest, Hansjakobquelle, Peterstal) wurden mit dem birnenförmigen Diamantfinierer der Größe 014 mit 25 μm Körnung (Hager & Meisinger GmbH, Neuss/Deutschland) aus den Formen herausragende Überschüsse abgetragen.

Anschliessend erfolgte bei fünf Proben die Härtemessung als Vickershärte an 5 verschiedenen Punkten mit Hilfe des Härtemessgerätes Duramin-5 (Struers GmbH, 2610 Rødovre/Dänemark)

Aus den fünf mal fünf Messungen pro Probe wurde die mittlere Vickershärte der Materialien ermittelt (Tabelle 4 im Anhang).

3.3 Präparation der Kavitäten

Zur Herstellung der Proben wurden 32 extrahierte humane untere kariesfreie Weisheitszähne gesammelt und in 1%iger Thymollösung gelagert. Die Zähne wurden von den Patienten nach der Extraktion in der Zahnarztpraxis zurückgelassen und vollständig anonymisiert in einem Gefäß aufbewahrt. Die Kronengröße betrug in bucco-lingualer Richtung 9 mm bis 11 mm, in mesio-distaler Richtung 11 mm bis 12 mm. Anomalien in der Kronenform waren nicht vorhanden.

Vor der weiteren Verwendung wurden die Probenzähne für 24 Stunden in 70%iger Ethanollösung gelagert.

Die Reinigung der Wurzeln von desmodontalen Geweberesten und Konkrementablagerungen erfolgte mit Gracy-Küretten (Hu-Friedy, Frankfurt a. M./ Deutschland), sowie Polierbürsten (Orbis, Münster/Deutschland) und Polierpaste (Dentsply, Konstanz/ Deutschland).

Nach dem Wässern der Zähne in Tafelwasser für 24 Stunden wurden sie digital geröntgt, um die Pulpengröße einzuschätzen, und anschließend in einen Silikonblock eingebettet.

Jeweils mesial und distal wurden untersichgehende Kavitäten der Klasse-II mittels birnenförmiger Diamanten der Größe 014 mit 100 µm Körnung (Hager & Meisinger GmbH, Neuss/Deutschland) bis 1 mm unterhalb der Schmelz-Zement Grenze präpariert und anschließend mit einem birnenförmigen Diamantfinierer der Größe 014 mit 25 µm Körnung (Hager & Meisinger GmbH, Neuss/Deutschland) finiert. Ein flammenförmiger Diamantfinierer derselben Körnung (Hager & Meisinger GmbH, Neuss/ Deutschland) diente zum Anlegen einer 0,5 mm breiten Abschrägung in einem Winkel von 45° an den lateralen Schmelzrändern. Die Tiefe der zervikalen Stufe betrug 1 mm, die Breite der Stufe im bucco-oralen Bereich 4 mm. Okklusal wurde die Kavitätentiefe so angelegt, dass ein Abstand von 2 mm zum Pulpdach eingehalten wurde. Ermittelt wurde dies anhand von Röntgenbildern.

Aus der Größe der Zahnkronen ergab sich auch eine variable Höhe im okklusal-zervikalen Abstand. Die bucco-orale Breite okklusal betrug 3 mm, die mesio-distale Ausdehnung 5 mm.

Nun wurde mit einem Hartmetallrosenbohrer der Größe 027 (Hager & Meisinger GmbH, Neuss/Deutschland) jeweils im okklusalen Kavitätenboden und im approxi-

malen vertikalen Anteil des präparierten Dentins eine Vertiefung von 1 mm bei einem Durchmesser von 3 mm angelegt.

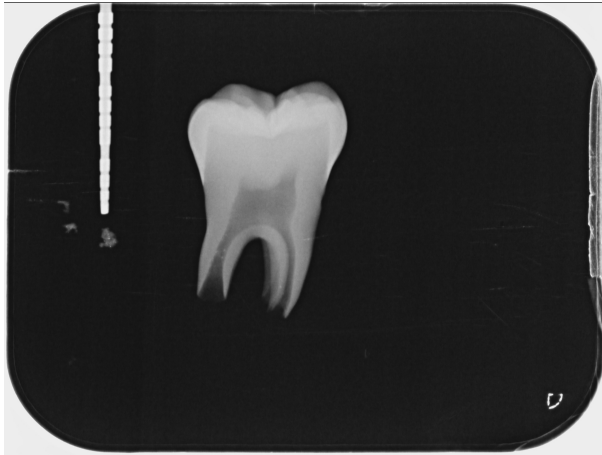


Abbildung 5: Repräsentative Röntgenaufnahme vor Präparation.

3.4 Füllen der Kavitäten

Die eingebrachten Vertiefungen am Kavitätenboden wurden in allen mesialen Kavitäten der Gruppe 1 mit Ketac Bond (3M Deutschland GmbH, Neuss/Deutschland), in Gruppe 2 mit Cavit G (3M Deutschland GmbH, Neuss/Deutschland), in Gruppe 3 mit Durelon (3M Deutschland GmbH, Neuss/Deutschland) im Mischungsverhältnis 0,2g Pulver zu 0,1g Flüssigkeit und in Gruppe 4 mit Durelon im Mischungsverhältnis 0,25g Pulver zu 0,1g Flüssigkeit ausgefüllt. Anschließend wurden die Unterfüllungen für 24 Stunden in Wasserlagerung ausgehärtet. Die aus den 1 mm Vertiefungen herausragenden Überschüsse wurden mit dem birnenförmigen Diamantfinierer der Größe 014 mit 25 μ m Körnung abgetragen.

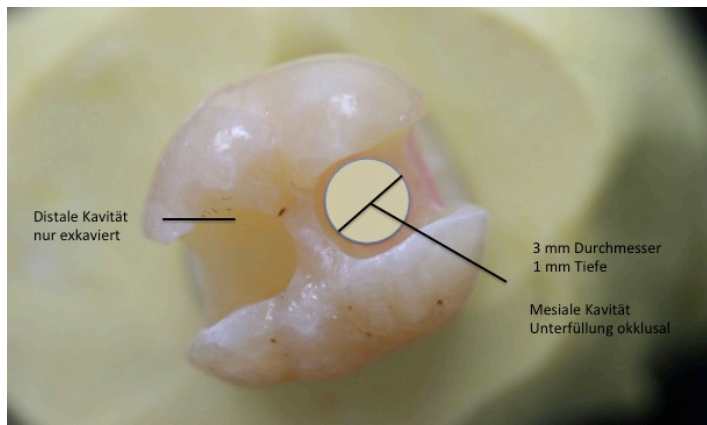


Abbildung 6: Repräsentative Ansicht der Kavitäten von okklusal.

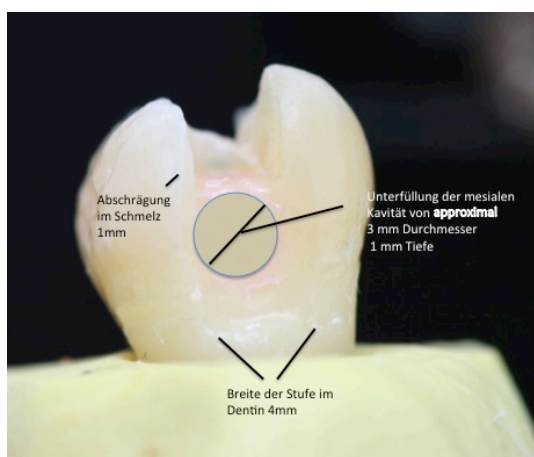


Abbildung 7: Beispiel einer mesialen Kavität mit Wachseinlage an der vertikalen Wand.

Danach wurde um die fertig präparierten Zähne eine Tofflemire Ringmatrize (Orbis, Münster/Deutschland) angelegt. Mit einer Ratschenklemme FZR 30, Wolfcraft, Kempenich/Deutschland) wurde die Matrize im Bereich der zervikalen Stufe fixiert. Die Konditionierung der Kavität in Gruppe 1 erfolgte durch Ätzung mit 37%igem Phosphorsäuregel erst für 15 s nur am Schmelz und dann weitere 15 s auch im Dentin. Anschließend folgte die Applikation des Adhäsivsystems Syntac Classic und Heliobond (Ivoclar Vivadent, Schaan/Liechtenstein) nach Herstellerangaben.

Die Füllung mit Tetric Evo Ceram (Ivoclar Vivadent) wurde mit Hilfe der Inkrementtechnik in Schichten von 1,5 - 2 mm ausgeführt. Für die Kontrollen wurden die Kavitäten in derselben Weise konditioniert und gefüllt. Auch hier kam die Inkrementtechnik in maximalen Schichtstärken von 1,5 - 2 mm zum Füllen der Kavitäten

mit Tetric Evo Ceram zur Anwendung. Die Aushärtung der einzelnen Schichten geschah mit einer Polymerisationslampe (Mectron, Starlight pro, Carasco/Italy) für 20 s mit 1400 mW/cm^2 mit 1 mm Distanz zur Kompositschicht, limitiert durch die Matrize.

Alle Füllungen wurden zuerst mit einem flammenförmigen Diamantfinierer mit $15 \mu\text{m}$ Körnung (Hager & Meisinger GmbH, Neuss/Deutschland) ausgearbeitet und anschließend mit speziellen Gummipolierern (CPS2, ORIDIMA, Ortenburg/Deutschland) für superharte Komposite vor- und hochglanzpoliert.

Zur eindeutigen Kennzeichnung der Proben wurden die Füllungen schließlich mit einem Diamanten innerhalb des Füllungsbereiches fortlaufend durchnummeriert.

3.5 Anwendung der Materialien

3.5.1 Unterfüllungsmaterial

In den Vorversuchen ermittelte Härtewerte wurden für die Materialauswahl herangezogen. Es wurde ein Material mit ähnlicher Vickershärte im Vergleich zum Dentin, KetacBond, zwei Materialien mit Härtewerten, die kariösem Dentin entsprechen und ein weiteres Material mit sehr geringer Härte einbezogen

3.5.1.1 Ketac Bond (VH 51)

Ketac Bond (3M Deutschland GmbH, Neuss/Deutschland) ist ein chemisch härtender Glasionomerzement zur Unterfüllung. Er besteht aus einem Gemisch aus Carbon säuren (z. B. Polyacrylsäure oder deren Kopolymere), anorganischen Füllkörpern (Kalzium-Aluminium-Silikat-Glas) und destilliertem Wasser, das durch eine Säure-Basen-Reaktion aushärtet.

Anwendung:

4,2 Teile Pulver : 1 Teil Flüssigkeit wurden für 30 sek mit einem Zementspatel auf einer Glasplatte zu einer Masse mit homogener Konsistenz vermischt und mit einem Füllspatel (Orbis, Münster/Deutschland) in die Exkavationen der mesialen Füllung eingebracht. Anschliessend wurden die Proben für 24h unter Wasser bei Raumtemperatur gelagert. Überschüssiges Material wurde mit dem birnenförmigen Diamantfinierer der Größe 014 mit $25 \mu\text{m}$ Körnung (Hager & Meisinger GmbH, Neuss/Deutschland) abgetragen.

3.5.1.2 Cavit G (VH2)

Cavit G (3M Deutschland GmbH, Neuss/Deutschland) ist eine unter Feuchtigkeit selbst aushärtende Verschlussmasse zur temporären Versorgung von Kavitäten. Es besteht aus einer Mischung von Kalziumsulfat, Zinkoxid, Zinksulfat, Glykol-acetat, Polyvenylacetat und Triäthanolamin.

Anwendung:

Mit einem Füllspatel (Orbis, Münster/Deutschland) wurde die benötigte Menge entnommen und in die Exkavationen der mesialen Präparation eingebracht. Anschließend wurden die Proben für 24h in Wasser gelagert. Überschüssiges Material wurde mit dem birnenförmigen Diamantfinierer der Größe 014 mit 25 µm Körnung abgetragen.

3.5.1.3 Durelon (VH20/VH30)

Durelon (3M Deutschland GmbH, Neuss/Deutschland), ist ein fluoridhaltiger Carboxylat-Zement und besteht aus Zinkphosphat und Polyacrylsäure. Er wird zur Befestigung und als Unterfüllung verwendet.

Anwendung:

Unter Beachtung des jeweiligen Mischungsverhältnisses (0,15g Pulver zu 0,1g Flüssigkeit und 0,25g Pulver zu 0,1g Flüssigkeit) wurde das Pulver auf einmal in die Flüssigkeit gegeben und mit einem Zementspatel in 30 s auf einer Glasplatte zu einer homogenen Masse angemischt. Dann wird der Zement mit einem Füllspatel (Orbis, Münster/Deutschland) in die Exkavationen der mesialen Füllung eingebracht und bindet innerhalb von 10 min ab. Anschließend wurden die Proben für 24 h in Wasser gelagert. Überschüssiges Material wurde mit dem birnenförmigen Diamantfinierer der Größe 014 mit 25 µm Körnung (Hager & Meisinger GmbH, Neuss/ Deutschland) abgetragen.

Füllungsmaterial

Als Füllungsmaterial wurde ein Nanohybrid-Komposit mit einer durchschnittlichen Partikelgröße der Glasmikrofüllkörper von 0,6 μm und einer Polymerisationsschrumpfung von 1,5 Vol. % und 82,5 % Füllstoffgehalt (Tetric Evo Ceram, Ivoclar Vivadent, Schaan/Liechtenstein) verwendet. Das Komposit-Füllungsmaterial wurde in Kombination mit dem etch-and-rinse Mehrschrittadhäsivsystem Syntac Classic und Heliobond (Ivoclar Vivadent, Schaan/Liechtenstein) eingesetzt.

Anwendung:

Syntac: Kavitätenkonditionierung für 30 s (15 s nur Schmelz, weitere 15 s auch Dentin) mit 37%igem Phosphorsäure-Gel (Total etch Gel, Ivoclar Vivadent, Schaan/Liechtenstein), 30 s mit Wasserspray abspülen, im Luftstrom trocknen bis nur das Dentin noch eine leicht feucht schimmernde Oberfläche aufweist, Syntac Primer für 15 s einpinseln und anschließend den Überschuss mit Luftstrom verblasen und trocknen, Syntac Adhäsiv mit dem Pinsel auftragen und 10 s einwirken lassen und im Luftstrom trocknen, Heliobond mit dem Pinsel applizieren und dünn verblasen, 20 s auspolymerisieren.

Tetric Evo Ceram: In Schichten von 1,5- 2 mm in Inkrementtechnik in die Kavität einbringen und jede Schicht 20 s auspolymerisieren.

3.6 Thermo-mechanische Belastung der Proben

Die Proben wurden zuerst in einem Thermocycler (Willytec Thermocycler V. 2.8, SD Mechatronik GmbH, Feldkirchen-Westerham/Deutschland) thermisch bei 5.000 Zyklen abwechselnd je eine Minute in ein 5°C und eine Minute in ein 55°C temperiertes Bad eingetaucht.

Die weitere Simulation des Alterungsprozesses erfolgte durch die mechanische Belastung der Proben im Kausimulator (Kausimulator CS-4.8, SD Mechatronik GmbH, Feldkirchen-Westerham/Germany). Die Zähne wurden mit Paladur (Heraeus Kulzer GmbH, Hanau/Germany) in den gerätespezifischen Probenhalter eingebettet. Mit einem Polyätherabformmaterial (Impregum, 3M Espe, Neuss/Deutschland) wurde

durch Auftragen eines dünnen Films ($< 0,5$ mm) das Parodont simuliert. Ein Metall-Antagonist wurde 100.000mal mit einer Kraft von 50 N auf die Füllungen gebracht.



Abbildung 8: Kausimulator (CS-4.8, SD Mechatronik GmbH, Feldkirchen-Westerham/Deutschland). Ein Metall-Antagonist (Pfeil 1) belastet die Probe (Pfeil 2) von vertikal.

3.7 Lichtmikroskopische Analyse der Füllungsråder

Die Untersuchung der Füllungsråder erfolgte mit dem Lichtmikroskop (Keyence VHX Digital Microscope, Keyence Deutschland GmbH, 63263 Neu-Isenburg/Deutschland) in $200 \mu\text{m}$ Schritten. Bei 200facher Vergrößerung wurde der approximale Füllungsrand erst im Schmelz und dann im Dentin untersucht. Im Lichtmikroskop wurden die Füllungsråder dreidimensional erfasst.

Die Untersuchung der ausgewählten Proben erfolgte zuerst direkt nach dem Legen der Füllungen, nach thermischer Belastung und noch einmal nach der mechanischen Alterung jeweils nach Anfärbung mit Methylen-Blau.

Die Untersuchungskriterien waren:

„Spaltfreier Randschluss“: kontinuierlicher Übergang von Restaurationsmaterial zur Zahnhartsubstanz (Score 0)

„Marginale Imperfektion“: nicht kontinuierlicher, aber spaltfreier Übergang von Restaurationsmaterial zur Zahnhartsubstanz (Score 1)

„Klinisch akzeptabel“: Score 0+1 zusammengefasst



Abbildung 9: Repräsentativer mit Methylenblau angefärbter Füllungsrand nach vollständiger thermo-mechanischer Belastung. Die Ausbrüche stellen eine marginale Imperfektion dar.

„Randspalt“: Kontinuitätsunterbrechung zwischen Zahn und Restaurationsmaterial (Score 2)

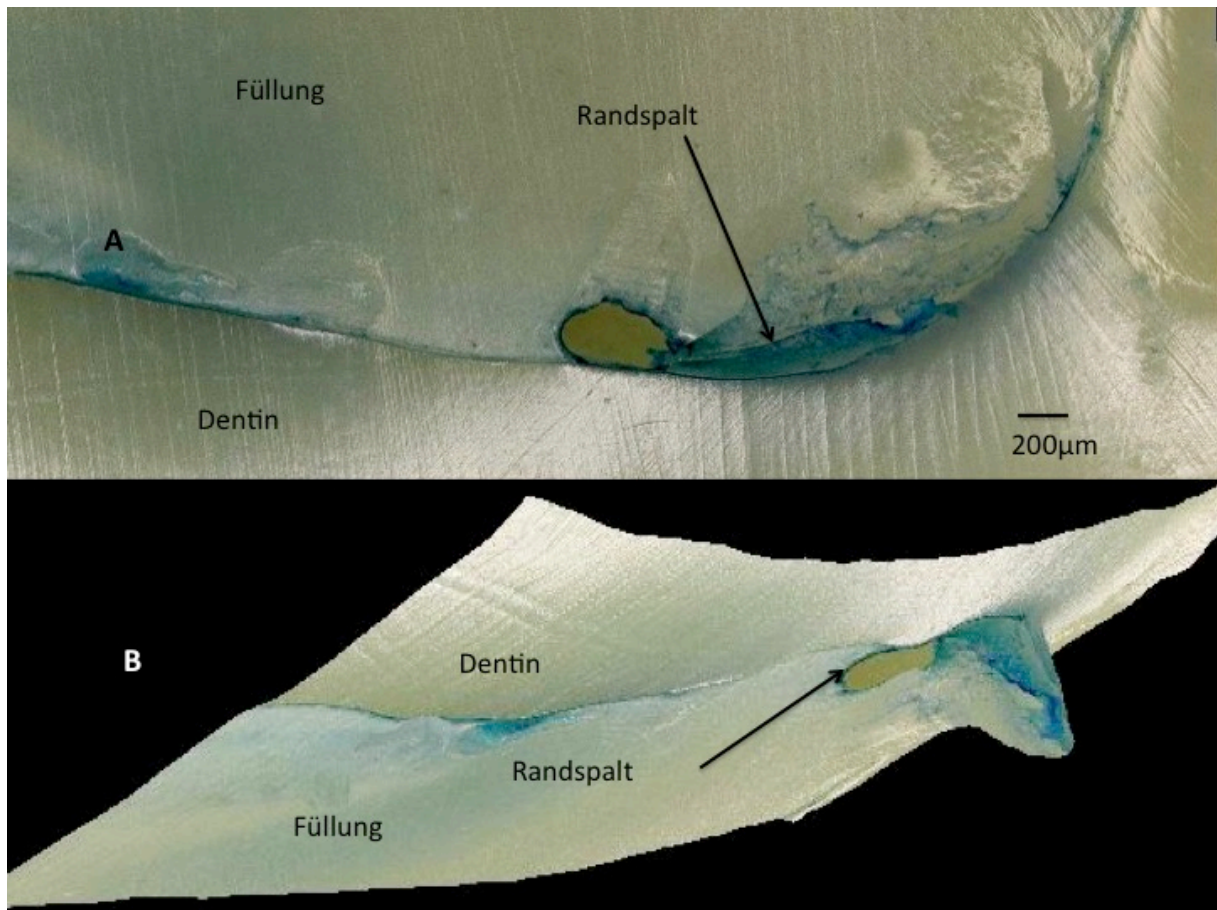


Abbildung 10: Repräsentativer, mit Methylenblau angefärbter Füllungsrand nach vollständiger thermo-mechanischer Belastung im Dentin. A: Aufsicht auf einen Randspalt im Dentin. B: Dreidimensionale Darstellung des Randspaltes aus Bild A in der Innenansicht.

Tabelle 2: Werkstofftabelle:

Werkstoffe	Lot-Nr.	Verfallsdatum
Syntac Classic Assortment, Ivoclar Vivadent (Schaan/Liechtenstein)	S45241	01/2016

Material und Methode

Tetric Evo Ceram A3 Ivoclar Vivadent (Schaan/Liechtenstein)	T12553	03/2018
Cavit G 3M Espe (Neuss/Deutschland)	578615	03/2018
Durelon Flüssigkeit	70201103317	04/2017
Durelon Pulver 3M Espe (Neuss/ Deutschland)	70201136010	05/2017
President putty Coltene/Whaledent AG, Altstätten/Switzerland	F61804	06/2016
Mectron starlight pro 1400 mW/cm ²		
Epoxidharz Stycast – Emerson & Cuming, Wester- lo/Belgium		
Paladur Heraeus Kulzer GmbH, Hanau/Deutschland		
President putty Coltene/Whaledent AG, Altstätten/Switzerland	F618	06/2016
Ketac Bond 3M Espe (Neuss/ Deutschland)	586592	05/2018
Präparationsdiamanten Meisinger		
Politurset CPS2 ORIDIMA Dentalinstrumente GmbH &Co. KG, Or- tenburg/Germany		
Phosphorsäure 37%ig, Total Etch, Ivoclar Vivadent (Schaan/Liechtenstein)	T11900	09/2016
Nylon Polierbürsten	5125699	02/2019

Kerr Hawe SA, Bioggio/Switzerland		
Tofflemire Matrizen Orbis, Münster/Deutschland	2496698	04/2019

3.8 Statistische Auswertung

Es wurden die prozentualen Anteile der Scores 0 - 2 jeweils im Schmelz und im Dentin erhoben und im Mittelwert zusammengefasst.

Score 0 und 1 wurden als „klinisch akzeptabel“ zusammengefasst

Die Analyse der erfassten Datensätze erfolgte mit Hilfe des Programms Excel für Windows.

Die Daten wurden mittels gepaartem T-Test statistisch ausgewertet (Microsoft Excel für Mac 2011 Version 14.7.3, Microsoft Corporation, Redmond, USA). Ein signifikanter Unterschied wurde bei $p < 0,05$ angenommen.

4. Ergebnisse

Ergebnisse der Vorversuche

Tabelle 3: Mittlere Vickershärte der getesteten Materialien

Material	Cavit G	Durelon 0,15g:0,1g	Durelon 0,2g:0,1g	Durelon 0,25g:0,1g	Ketac Bond
Vickershärte (VH)	VH2	VH16	VH20	VH30	VH51

Die Analyse der Füllungsråder erfolgte mit Hilfe des Lichtmikroskopes (LM) direkt nach dem Legen der Füllungen, nach thermischer Belastung und nach mechanischer Belastung, getrennt nach schmelz- oder dentinbegrenzten Bereichen.

4.1 Füllungsrandanalyse der schmelzbegrenzten Approximalbereiche

Randanalyse vor Belastung

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen beispielhaft die Darstellung der Füllungsråder direkt nach dem Legen im Lichtmikroskop.

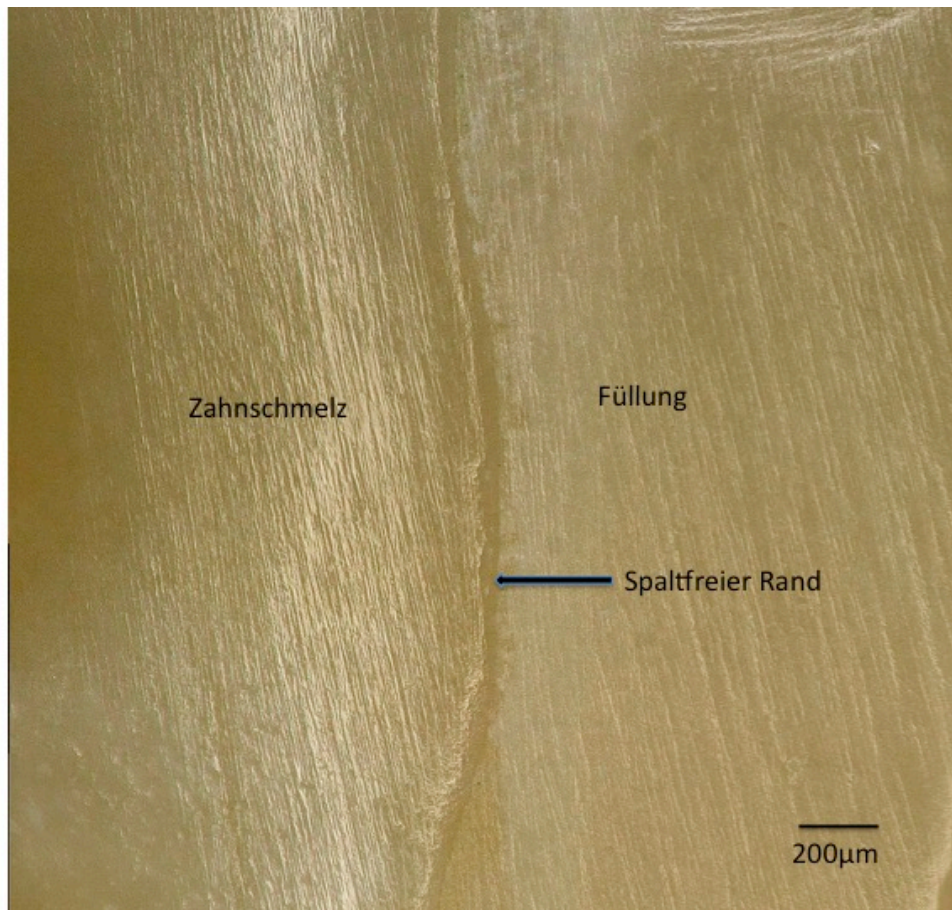


Abbildung 11: Repräsentative Lichtmikroskopische Aufnahme eines Füllungsrandes im Zahnschmelz bei 200facher Vergrößerung direkt nach dem Legen der Füllung.

Einen klinisch akzeptablen Randschluss (Score 0+1) am Schmelz hatten nahezu alle Füllungen direkt nach dem Legen in allen Versuchs- und Kontrollgruppen, so dass es im Vergleich der Testgruppen untereinander keine signifikanten Unterschiede gab.

Score 0+1 betrug in Gruppe 1 (Ketac) 99,39% und in der Kontrollgruppe 1 (Dentin) 98,44%. Im statistischen Vergleich ergab sich kein signifikanter Unterschied bei den Ergebnissen ($p = 0,585$).

In Gruppe 2 (Cavit G) betrug Score 0+1 98,61% und in der Kontrollgruppe 2 (Dentin) 98,23%. Der statistische Vergleich der Ergebnisse ergab auch hier keinen signifikanten Unterschied ($p = 0,593$).

Ein gleiches Ergebnis lag sowohl in Gruppe 3 (Durelon 0,2g) als auch in Gruppe 4 (Durelon 0,25g) vor. Hier betrug Score 0+1 jeweils 100% und in der Kontrollgruppe

3 (Dentin) und 4 (Dentin) 100%, so dass kein statistischer Unterschied vorhanden war.

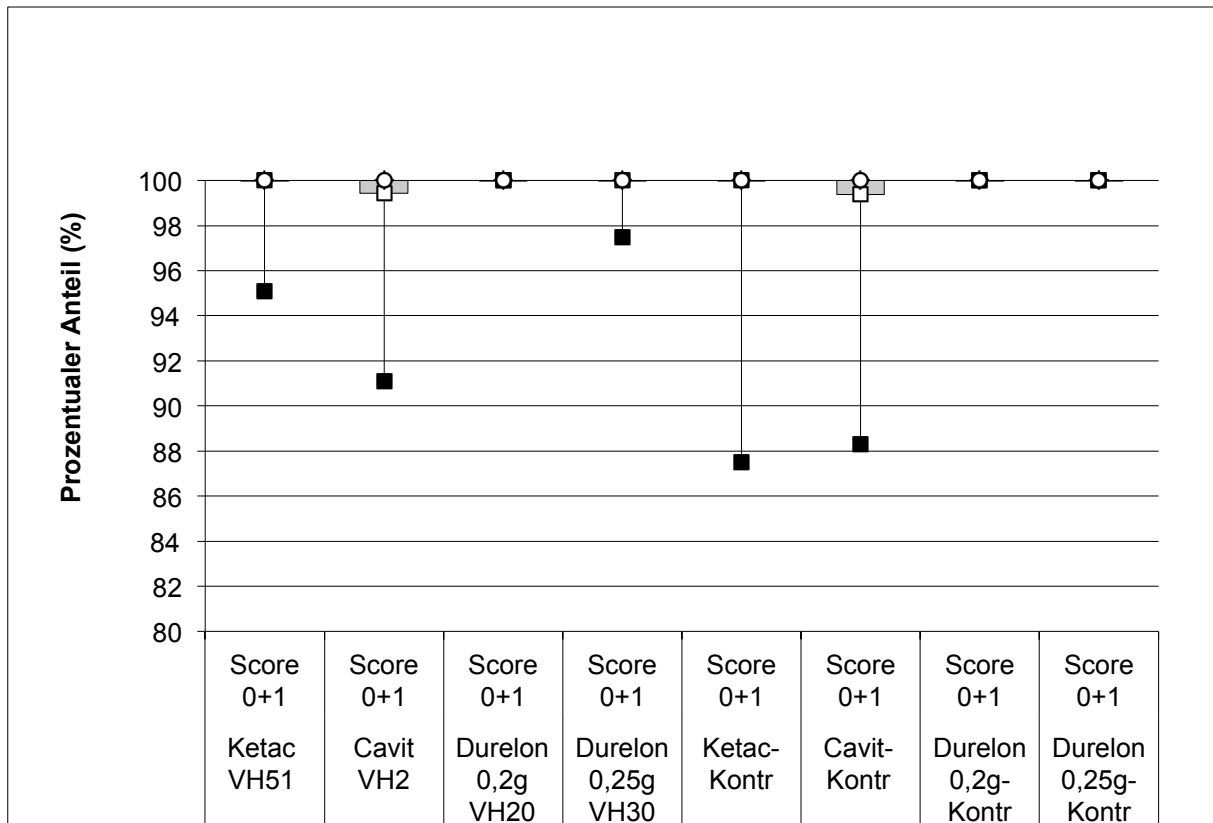


Abbildung 12: Auswertung des Randschlusses im Schmelz vor der thermo-mechanischen Wechselbelastung im Vergleich der Test- und Kontrollgruppengruppen mit Score 0+1 in der Box-Plot-Whisker-Darstellung.

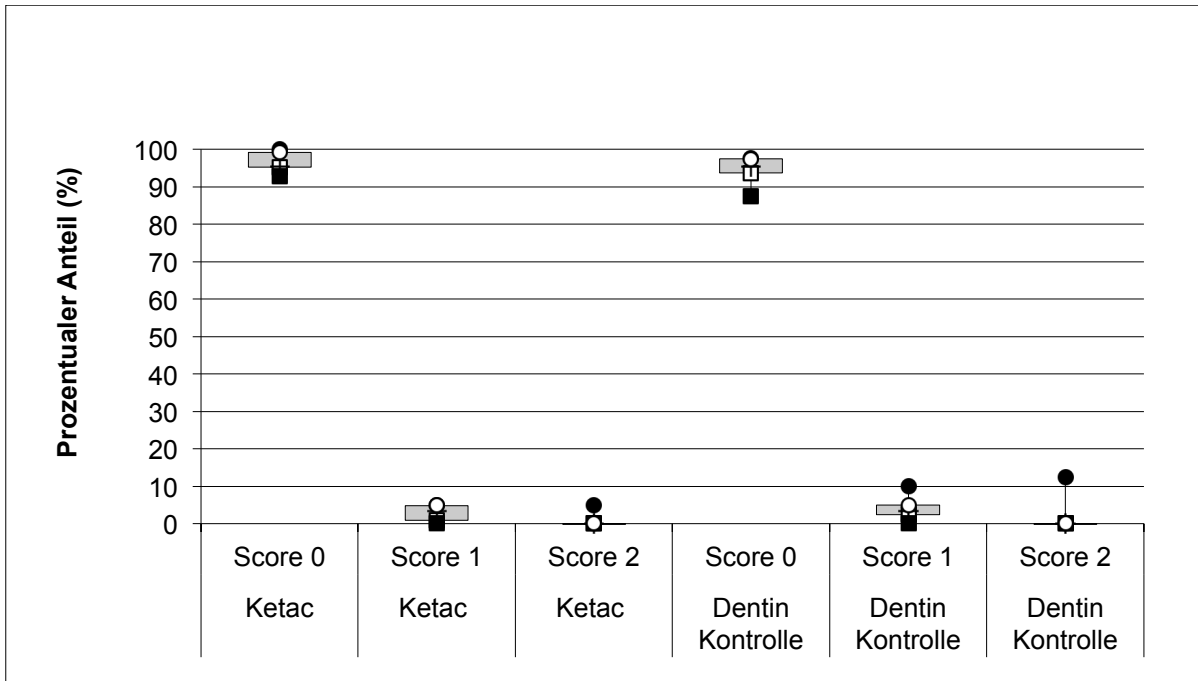


Abbildung 13: Detailanalyse des Randschlusses im Schmelz vor der thermo-mechanischen Wechselbelastung in Gruppe 1 (Ketac Bond (VH51)) Score 0 bis 2 einzeln dargestellt in der Box-Plot-Whisker-Darstellung.

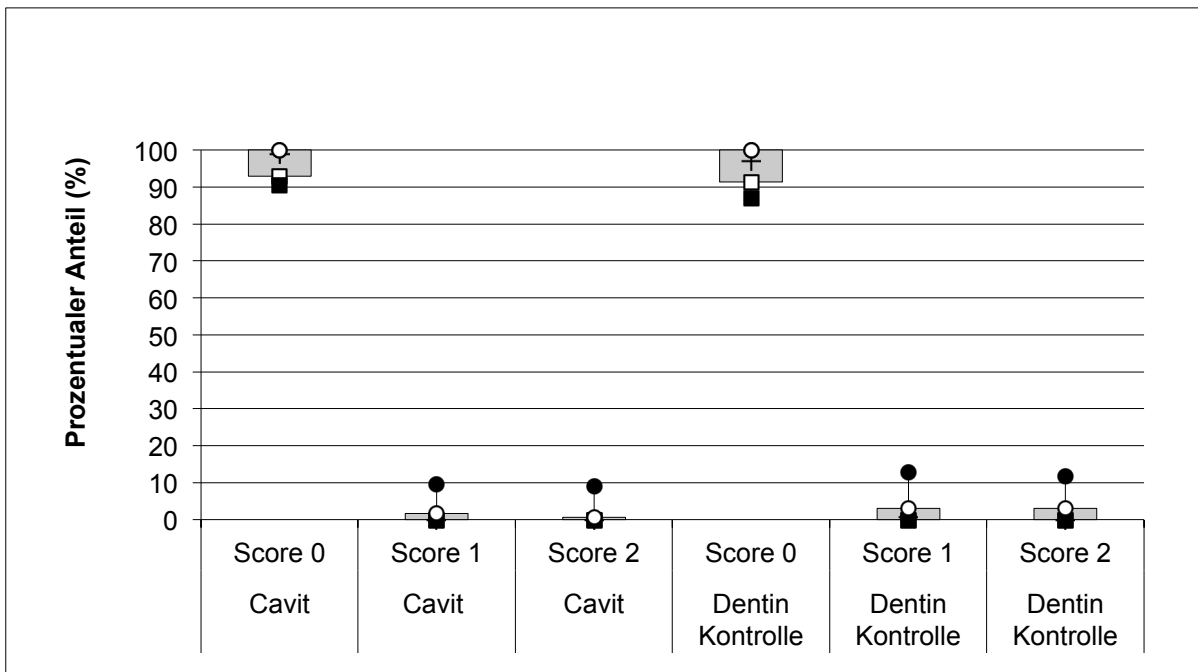


Abbildung 14: Auswertung des Randschlusses im Schmelz vor der thermo-mechanischen Wechselbelastung in Gruppe 2 (Cavit (VH2)) Score 0 bis 2 einzeln dargestellt in der Box-Plot-Whisker-Darstellung.

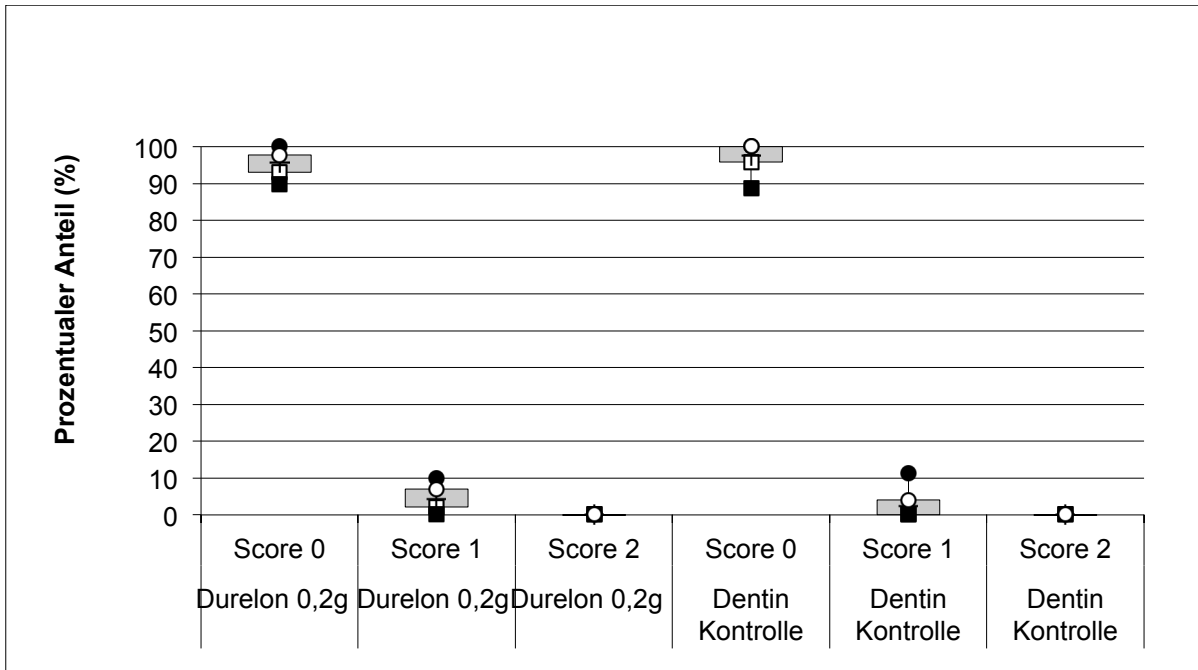


Abbildung 15: Auswertung des Randschlusses im Schmelz vor der thermomechanischen Wechselbelastung in Gruppe 3 (Durelon 0,2g (VH20)) Score 0 bis 2 einzeln dargestellt in der Box-Plot-Whisker-Darstellung

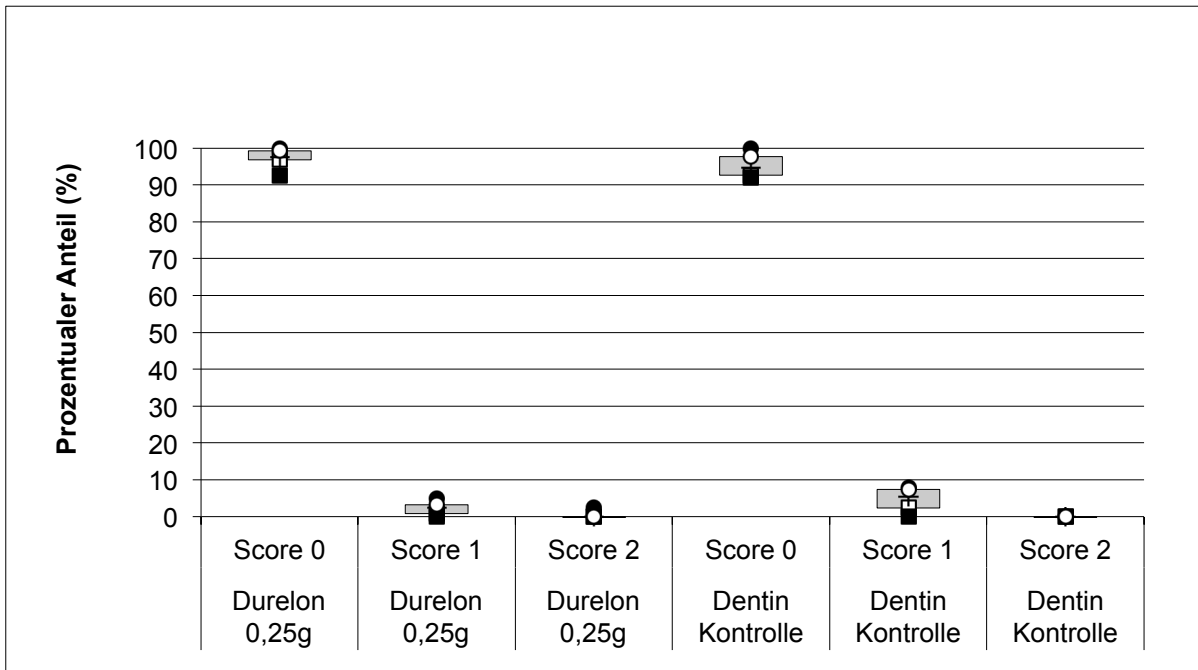


Abbildung 16: Auswertung des Randschlusses im Schmelz vor der thermomechanischen Wechselbelastung in Gruppe 4 (Durelon 0,25g (VH30)) Score 0 bis 2 einzeln dargestellt in der Box-Plot-Whisker-Darstellung

Randanalyse nach thermischer Belastung

Die Auswirkungen des Thermocyclings auf den Füllungsrand im Schmelz veranschaulicht das folgende LM-Bild:

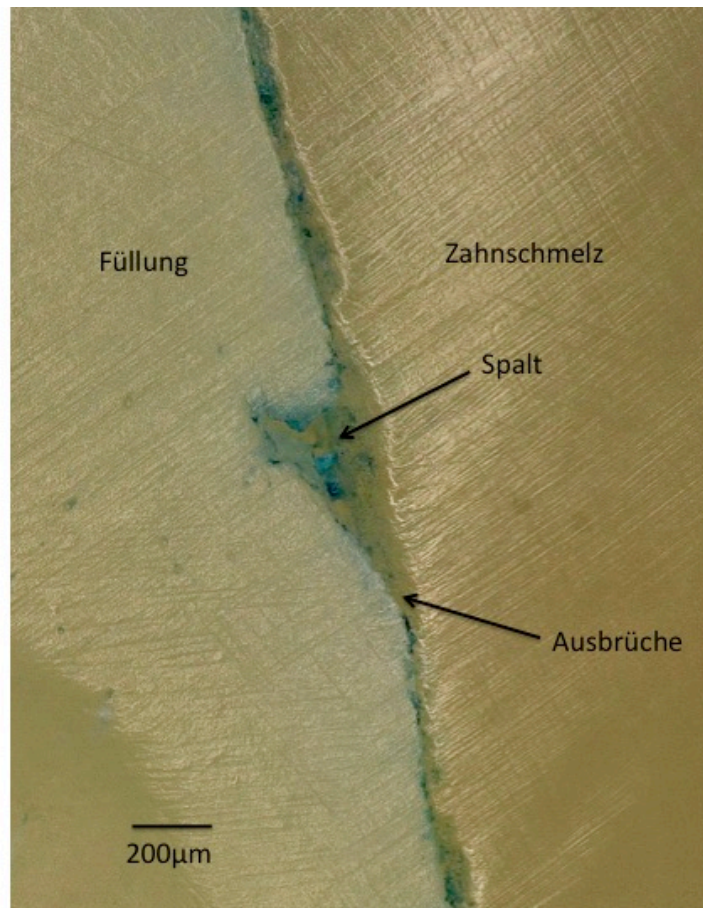


Abbildung 17: Repräsentative LM-Aufnahme eines Füllungsrandes im Zahnschmelz bei 200facher Vergrößerung in der Versuchsgruppe 2 (Cavit G) nach thermischer Belastung.

Nach der thermischen Belastung der Proben nahm der Anteil an klinisch akzeptablen Füllungsrandern im Schmelz in allen Versuchsgruppen gegenüber den Kontrollgruppen nicht signifikant ab (Ketac Bond 97,4% - Kontrollgruppen Ketac 98,4% ($p = 0,676$), Cavit G 92,2% - Kontrollgruppe Cavit G 95,5% ($p = 0,279$), Durelon 0,2g 100% - Kontrollgruppe Durelon 0,2g 100%, Durelon 0,25g 97,6% - Kontrollgruppe Durelon 0,25g 97,2% ($p=0,88$)).

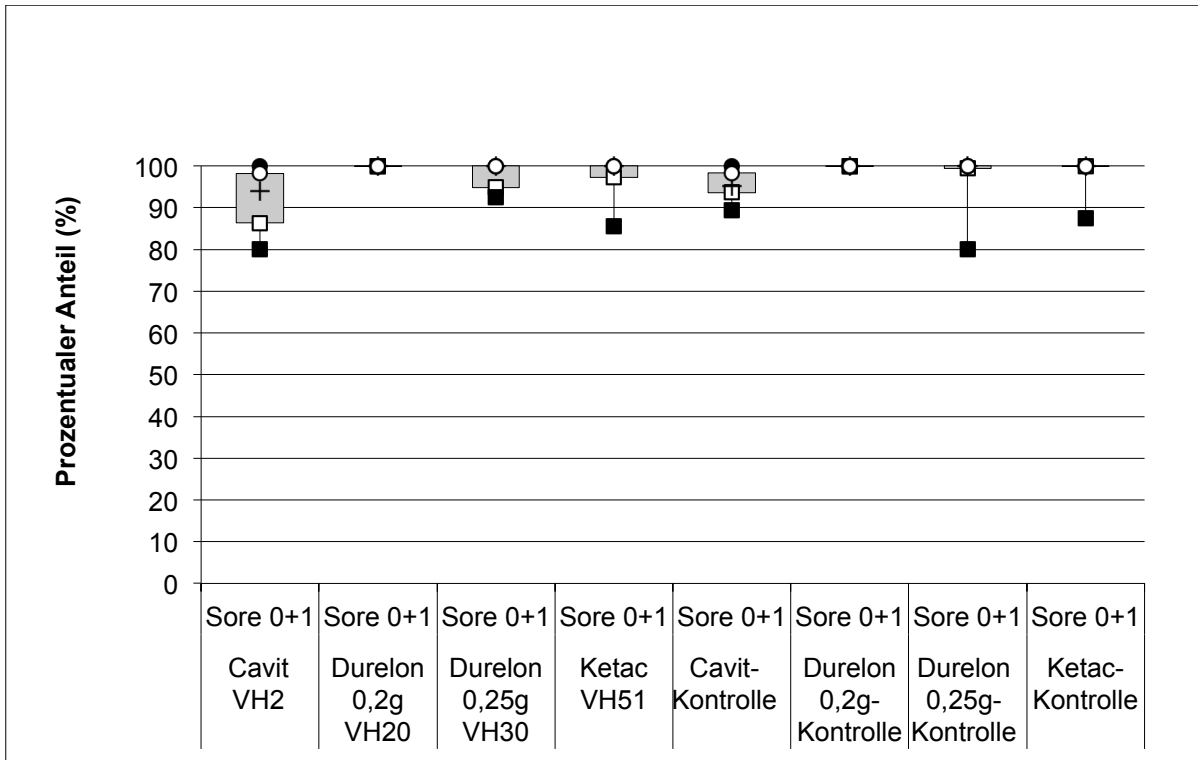


Abbildung 18: Auswertung des Randschlusses im Schmelz nach dem Thermocycling im Vergleich der Test- und Kontrollgruppen mit Score 0+1 in der Box-Plot-Whisker-Darstellung.

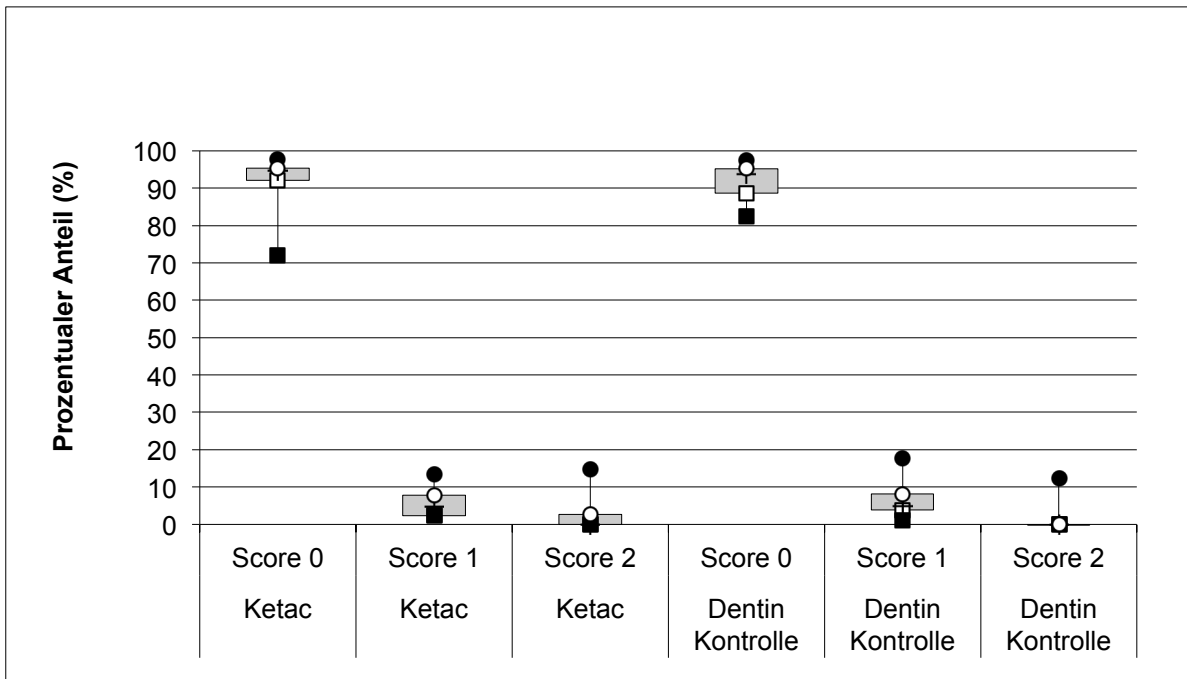


Abbildung 19: Auswertung des Randschlusses im Schmelz nach dem Thermocycling in Gruppe 1 (Ketac Bond (VH51)) Score 0 bis 2 einzeln dargestellt in der Box-Plot-Whisker-Darstellung.

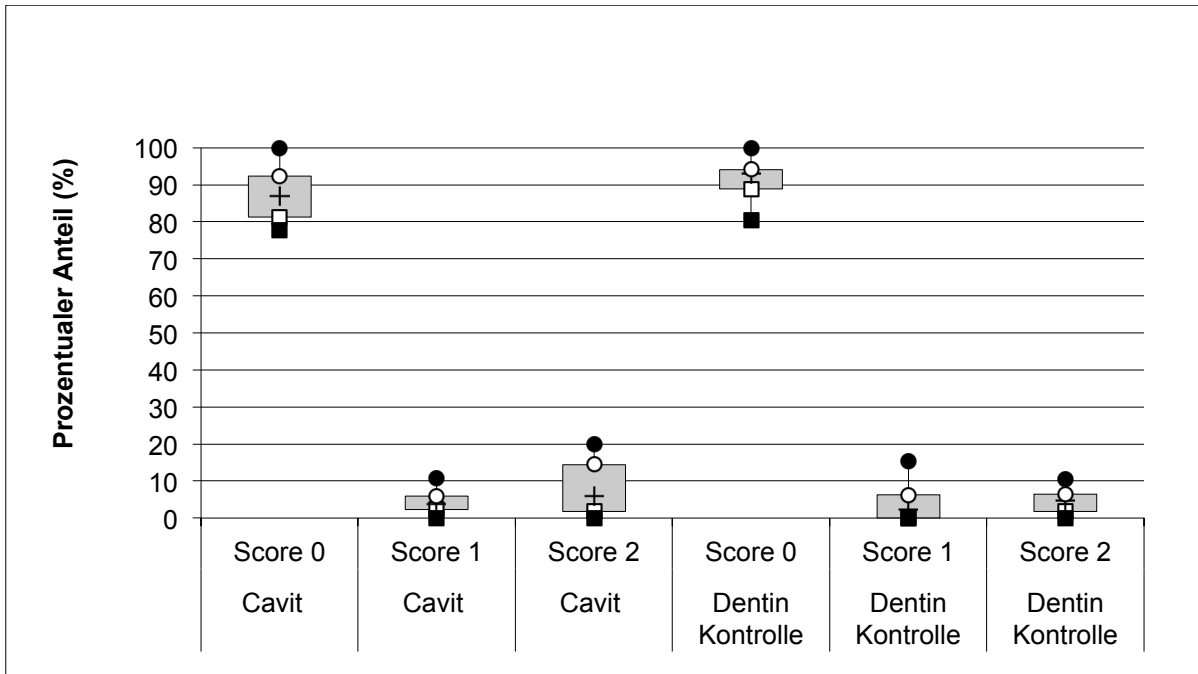


Abbildung 20: Auswertung des Randschlusses im Schmelz nach dem Thermocycling in Gruppe 2 (Cavit (VH2)) Score 0 bis 2 einzeln dargestellt in der Box-Plot-Whisker-Darstellung.

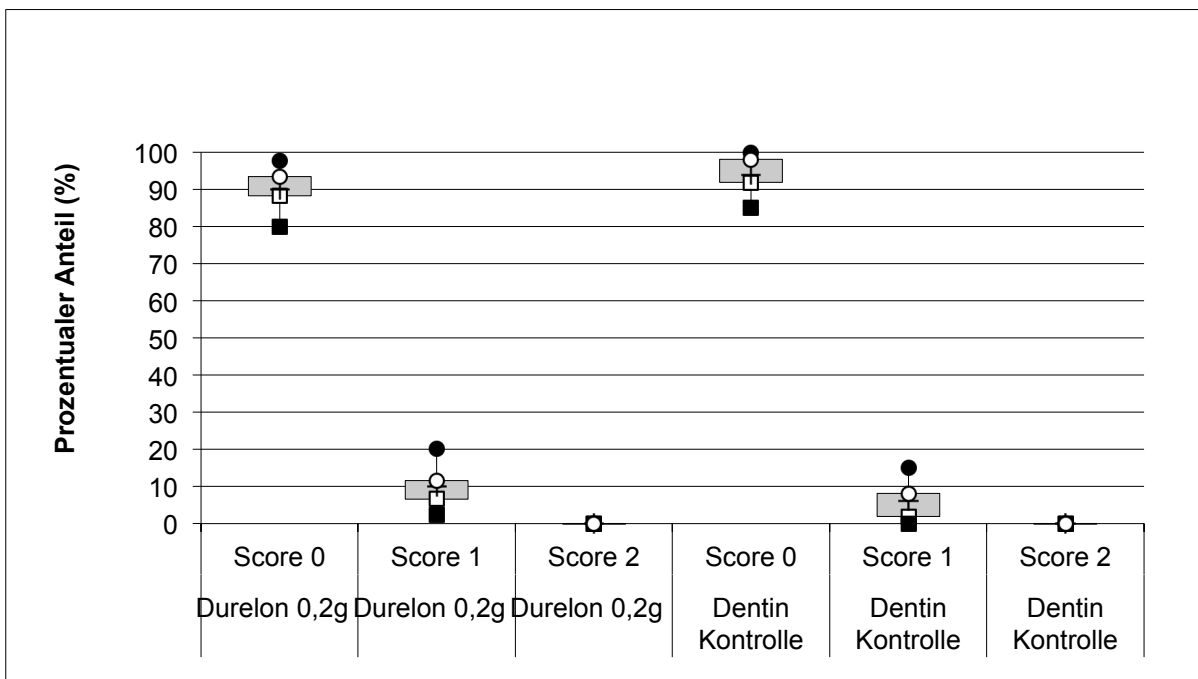


Abbildung 21: Auswertung des Randschlusses im Schmelz nach dem Thermocycling in Gruppe 3 (Durelon 0,2g (VH20)) Score 0 bis 2 einzeln dargestellt in der Box-Plot-Whisker-Darstellung.

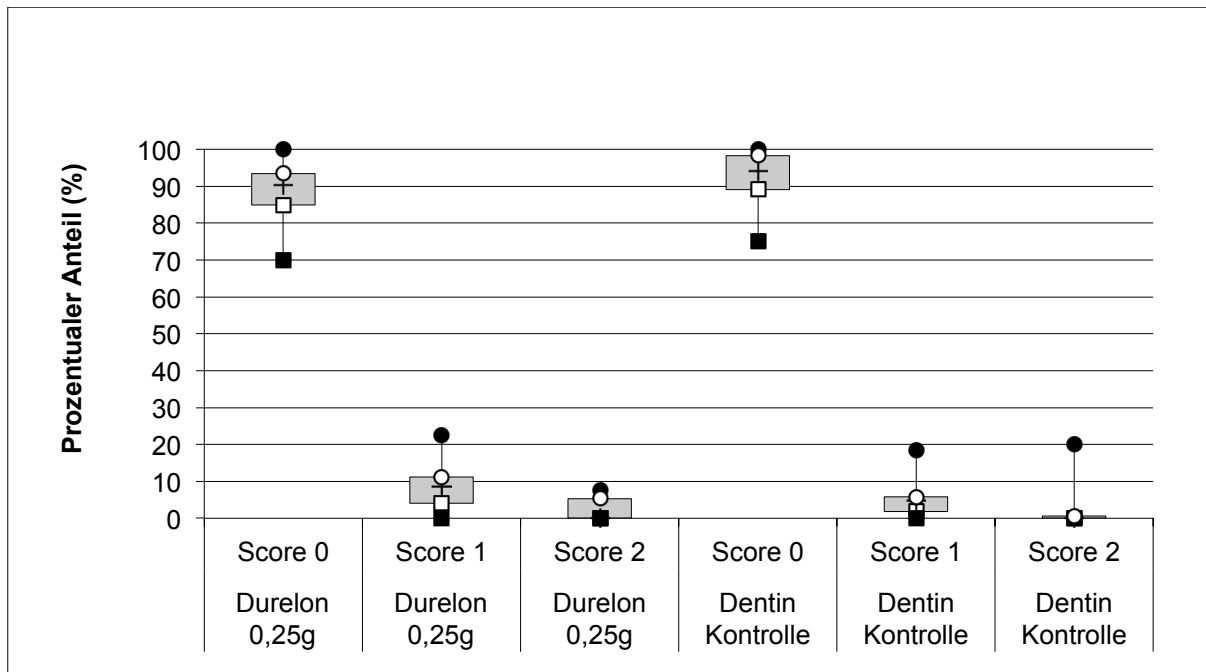


Abbildung 22: Auswertung des Randschlusses im Schmelz nach dem Thermocycling in Gruppe 4 (Durelon 0,25g (VH30)) Score 0 bis 2 einzeln dargestellt in der Box-Plot-Whisker-Darstellung.

Randanalyse nach mechanischer Belastung

Das nächste Beispielbild aus dem LM zeigt die Spaltbildung in der Versuchsgruppe im Schmelz nach den thermo-mechanischen Belastungen.

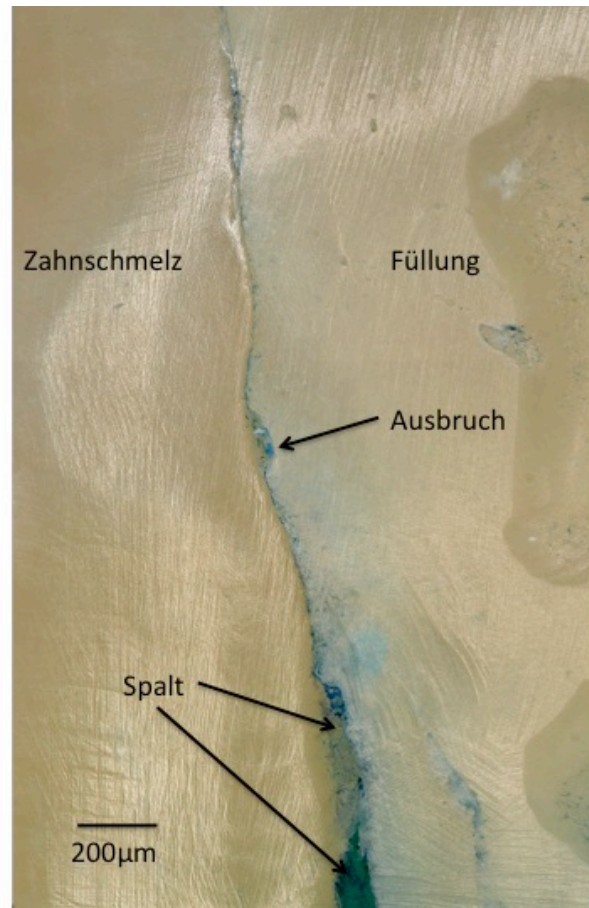


Abbildung 23: Repräsentative LM-Aufnahme eines Füllungsrandes im Zahnschmelz bei 200facher Vergrößerung in der Versuchsgruppe 2 (Cavit G) nach vollständiger thermo-mechanischer Wechselbelastung.

Auch nach vollständiger thermo-mechanischer Belastung der Proben nahm der Anteil an klinisch akzeptablem Füllungsrand im Schmelz in der Versuchsgruppe 1 (Ketac Bond) mit 97 % gegenüber der Kontrollgruppe mit 98,4% nicht signifikant ab ($p = 0,676$).

In der Versuchsgruppe 2 (Cavit G) betrug der Anteil an klinisch akzeptablem Randschluss mit 85,1% signifikant weniger als in der Kontrollgruppe 2 mit 94,5% ($p=0,047$) nach vollständiger Belastung.

Nicht signifikant änderte sich nach der Kausimulation an den Proben der Anteil an klinisch akzeptablem Füllungsrand im Schmelz in der Versuchsgruppe 3 (Durelon 0,2g) und 4 (Durelon 0,25g) mit jeweils 93,5% gegenüber 97,63% ($p=0,856$) (Durelon 0,2g), sowie 94,9% gegenüber 95,7% ($p=0,822$) (Durelon 0,25g) in ihren Kontrollgruppen.

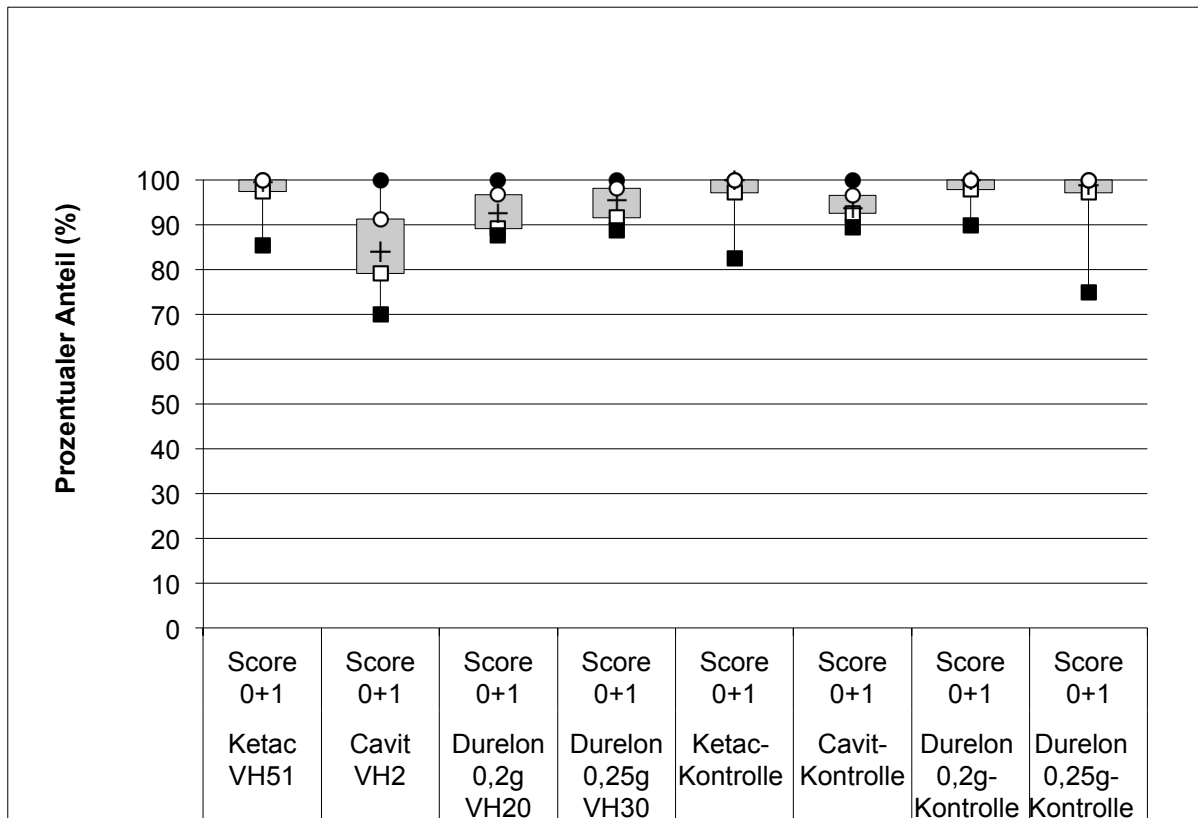


Abbildung 24: Auswertung des Randschlusses im Schmelz nach vollständiger thermo-mechanischer Wechselbelastung im Vergleich der Test- und Kontrollgruppen mit Score 0+1 in der Box-Plot-Whisker-Darstellung.

Im Vergleich der Testgruppen untereinander nach vollständiger Belastung gab es einen signifikanten Unterschied ($p=0,017$) von klinisch akzeptablem Kronenrand bei Füllungen mit Cavit G-Unterlage gegenüber denen mit Ketac-Unterlage und denen mit Durelon 0,25g-Unterlage ($p=0,042$).

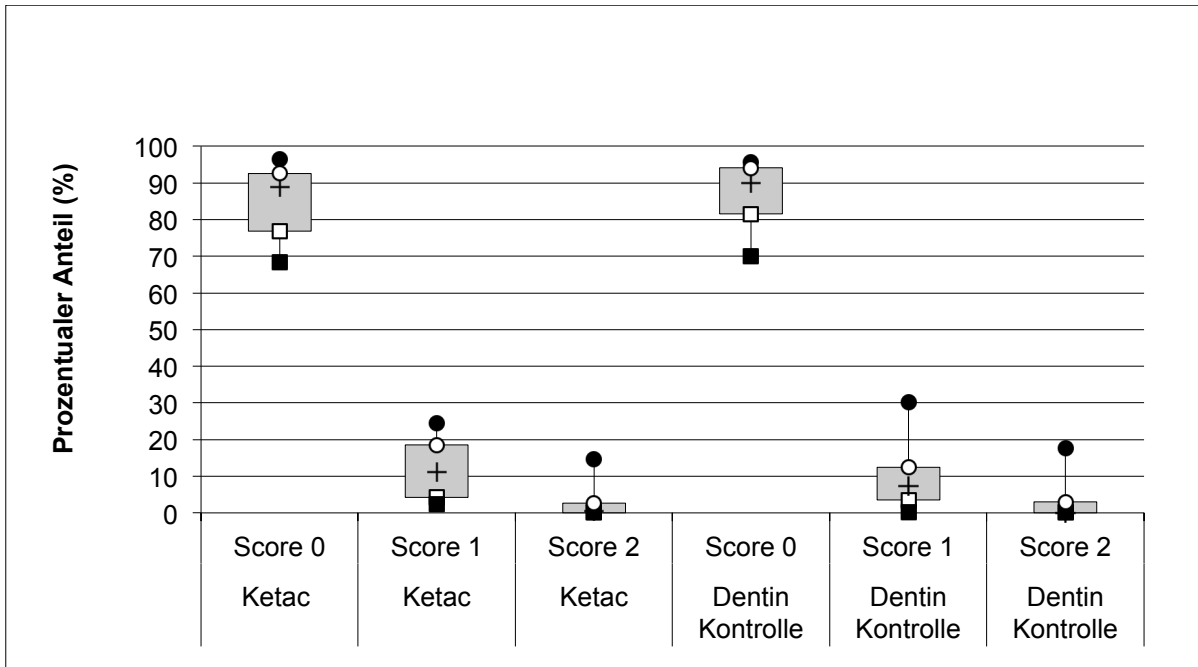


Abbildung 25: Auswertung des Randschlusses im Schmelz nach vollständiger thermo-mechanischer Wechselbelastung in Gruppe 1 (Ketac Bond (VH51)). Score 0 bis 2 einzeln dargestellt in der Box-Plot-Whisker-Darstellung.

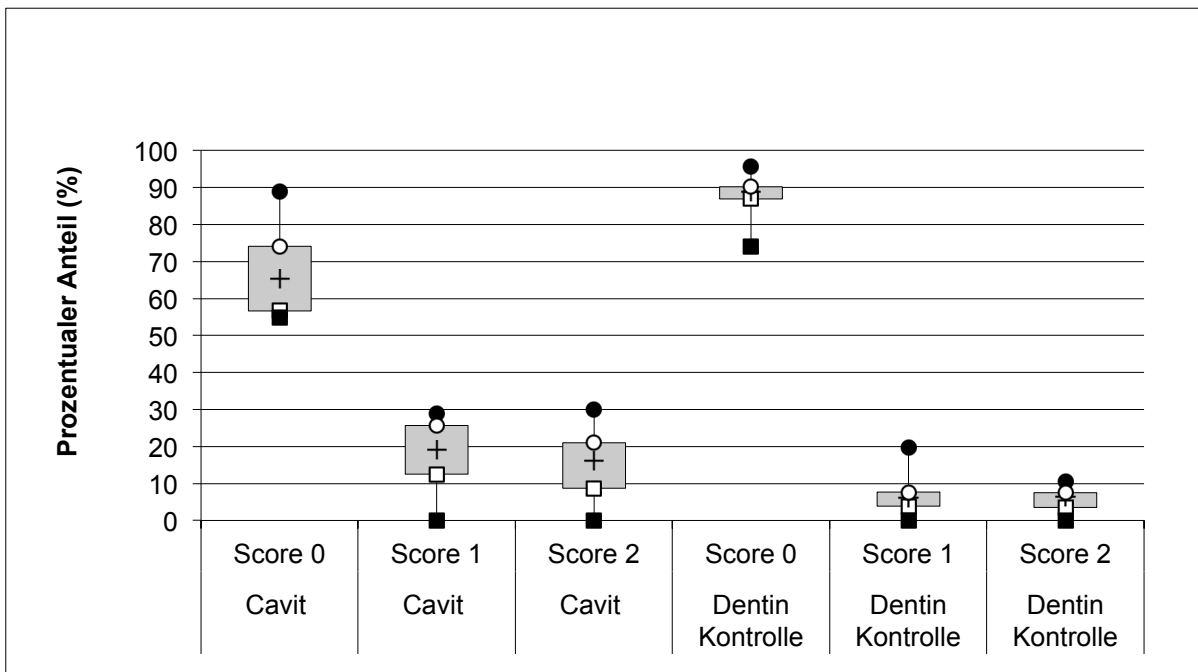


Abbildung 26: Auswertung des Randschlusses im Schmelz nach vollständiger thermo-mechanischer Wechselbelastung in Gruppe 2 (Cavit (VH2)). Score 0 bis 2 einzeln dargestellt in der Box-Plot-Whisker-Darstellung.

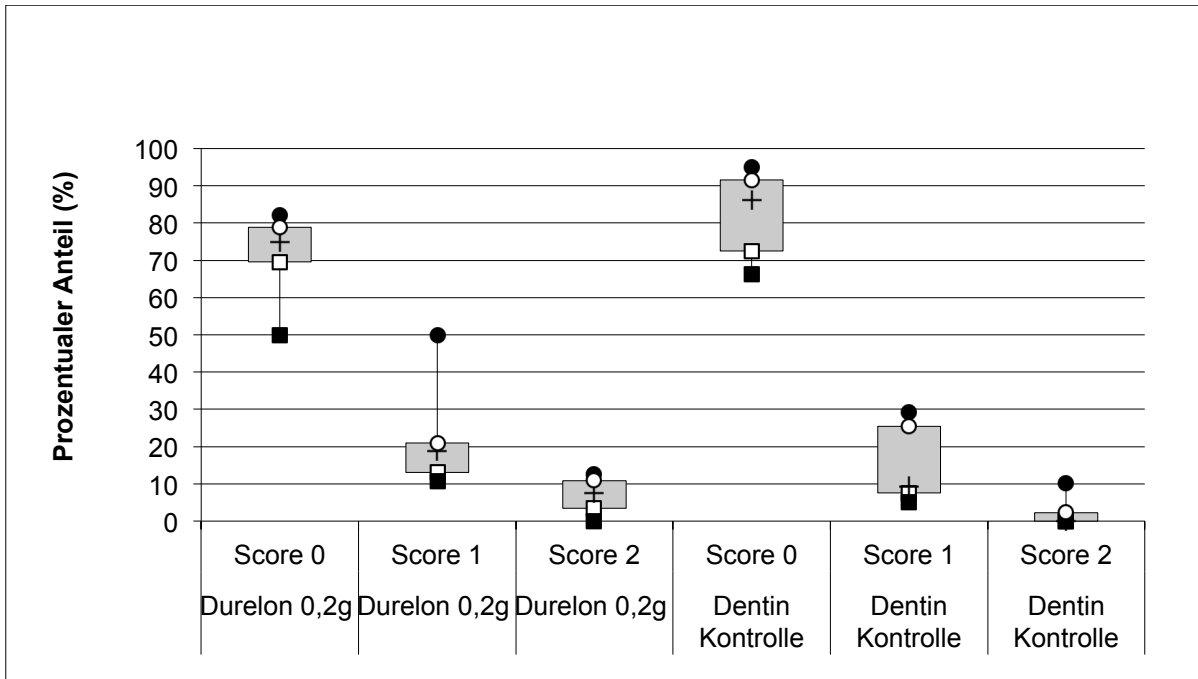


Abbildung 27: Auswertung des Randschlusses im Schmelz nach vollständiger thermo-mechanischer Wechselbelastung in Gruppe 3 (Durelon 0,2g (VH20)). Score 0 bis 2 einzeln dargestellt in der Box-Plot-Whisker-Darstellung.

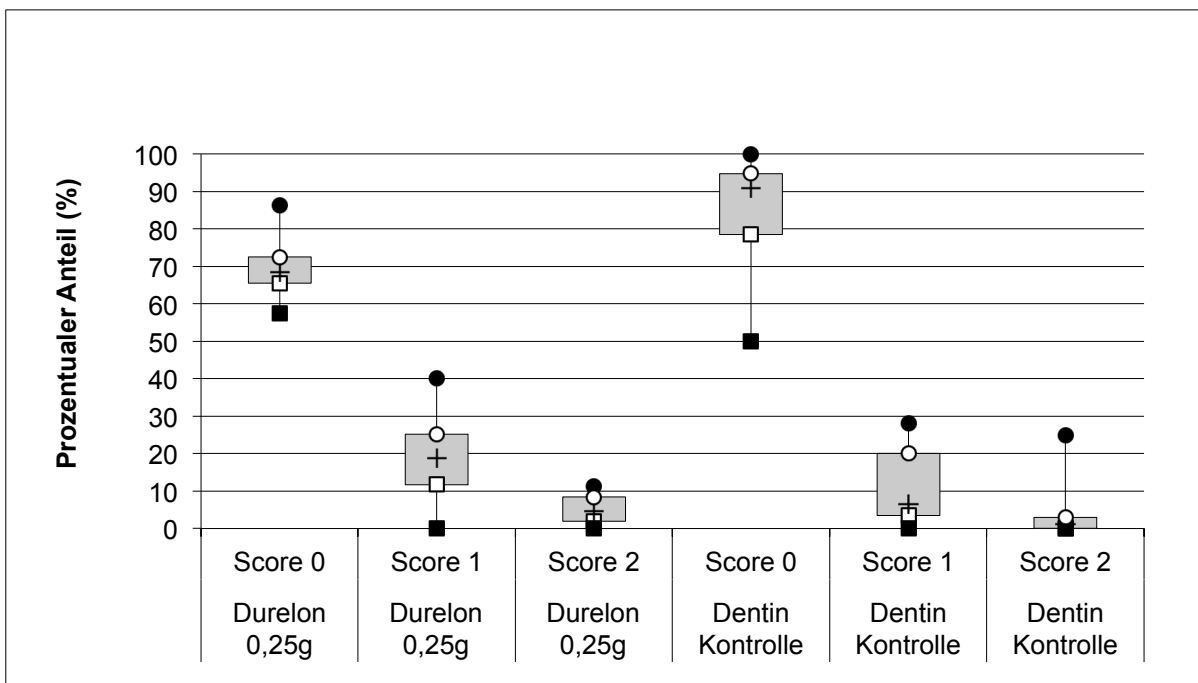


Abbildung 28: Auswertung des Randschlusses im Schmelz nach vollständiger thermo-mechanischer Wechselbelastung in Gruppe 4 (Durelon 0,25g (VH30)). Score 0 bis 2 einzeln dargestellt in der Box-Plot-Whisker-Darstellung.

4.2 Füllungsrandanalyse der dentinbegrenzten Approximalbereiche

Die nachfolgende Abbildung zeigt beispielhaft die Darstellung der Füllungsränder direkt nach dem Legen im Lichtmikroskop.

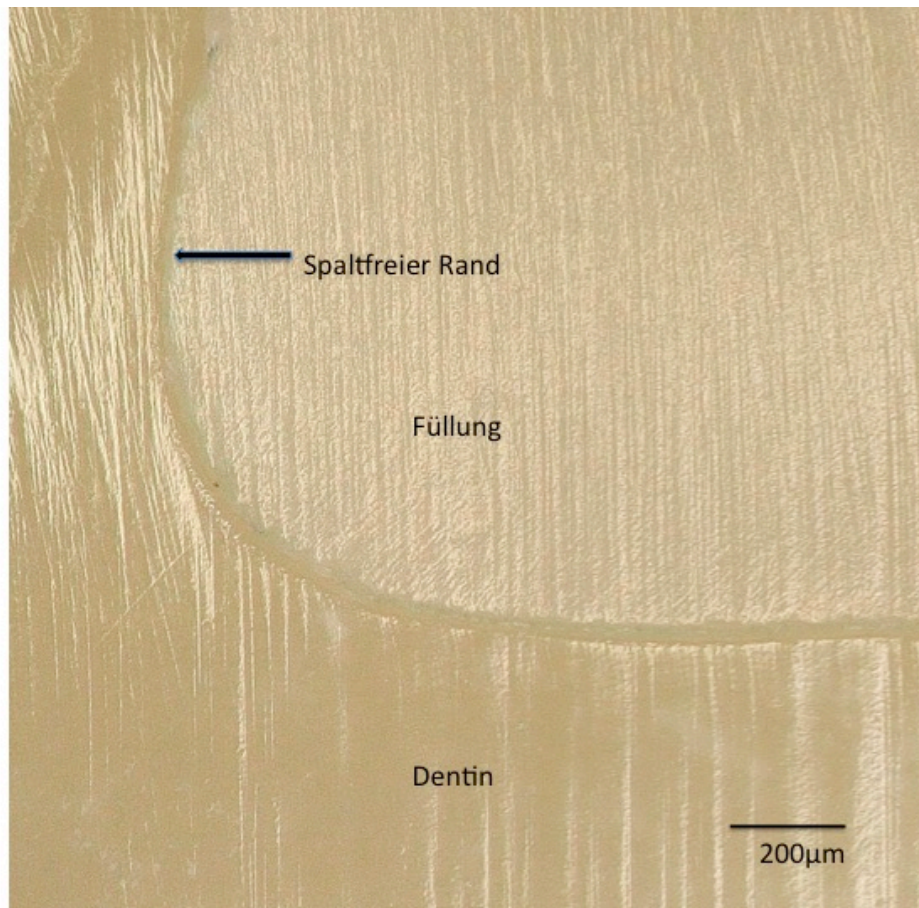


Abbildung 29: Repräsentative Lichtmikroskop-Aufnahme eines Füllungsrandes im Dentin bei 200facher Vergrößerung direkt nach dem Legen der Füllung.

Randanalyse vor Belastung

Einen klinisch akzeptablen Randschluss (Score 0+1) im Dentin hatten nahezu alle Füllungen direkt nach dem Legen in allen Versuchs- und Kontrollgruppen, so dass es im Vergleich der Testgruppen untereinander keine signifikanten Unterschiede gab.

Score 0+1 betrug in Gruppe 1 (Ketac) 98,46% und in der Kontrollgruppe 1 (Dentin) 99,46%. Im statistischen Vergleich ergab sich kein signifikanter Unterschied bei den Ergebnissen ($p = 0,428$).

In Gruppe 2 (Cavit G) betrug Score 0+1 94,71% und in der Kontrollgruppe 2 (Dentin) 97,23%. Der statistische Vergleich der Ergebnisse ergab auch hier keinen signifikanten Unterschied ($p = 0,496$).

In Gruppe 3 (Durelon 0,2g) waren Score 0+1 in Höhe von 96,35% und in der Kontrollgruppe 3 (Dentin) in Höhe von 92,18% vorhanden. Im statistischen Vergleich ergab sich kein signifikanter Unterschied bei den Ergebnissen ($p = 0,355$).

Score 0+1 betrug in Gruppe 4 (Durelon 0,25g) 99,04% und in der Kontrollgruppe 4 (Dentin) 100%. Im statistischen Vergleich ergab sich ebenso kein signifikanter Unterschied bei den Ergebnissen ($p = 0,351$).

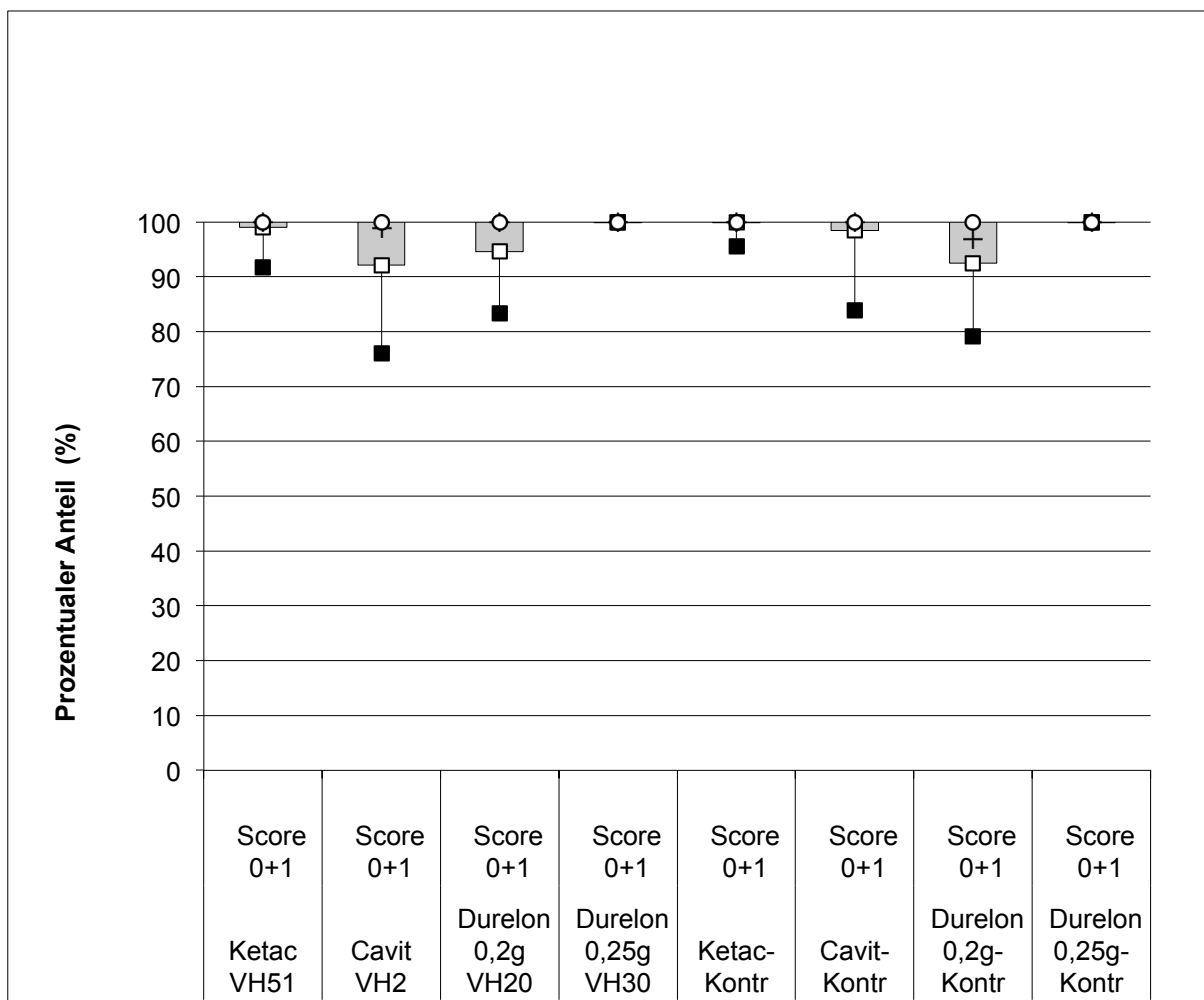


Abbildung 30: Auswertung des Randschlusses im Dentin vor der thermo-mechanischen Wechselbelastung im Vergleich der Test- und Kontrollgruppengruppen mit Score 0+1 in der Box-Plot-Whisker-Darstellung.

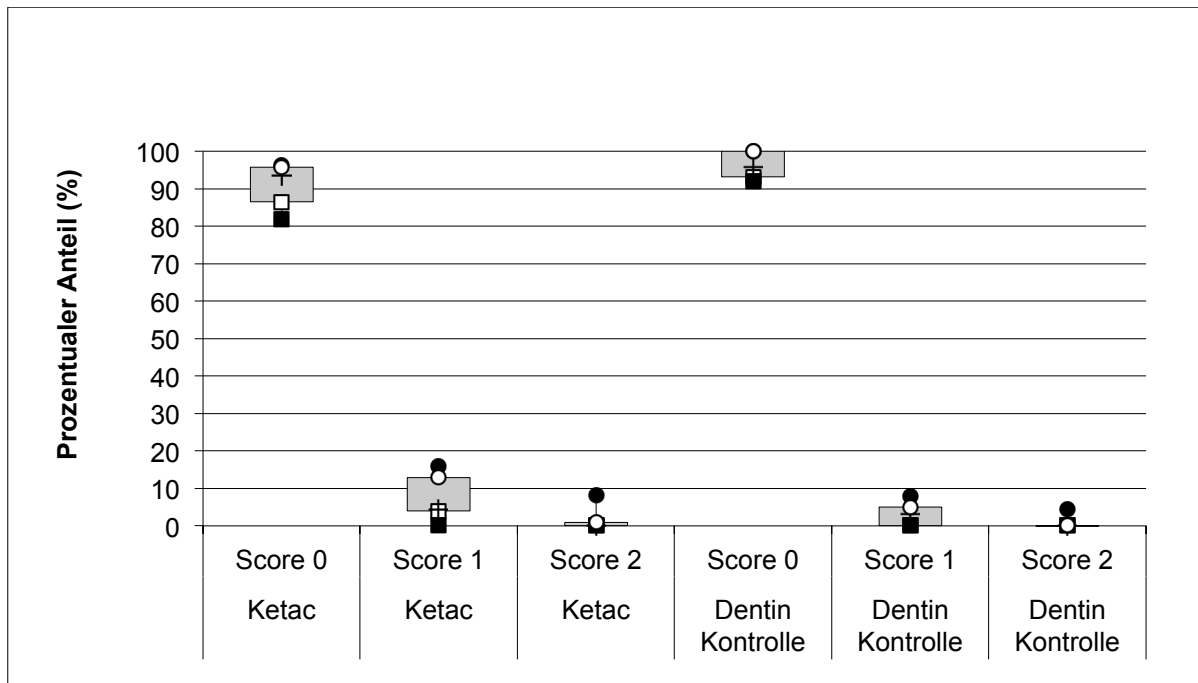


Abbildung 31: Auswertung des Randschlusses im Dentin vor der thermo-mechanischen Wechselbelastung in Gruppe 1 (Ketac Bond (VH51)) Score 0 bis 2 einzeln dargestellt in der Box-Plot-Whisker-Darstellung.

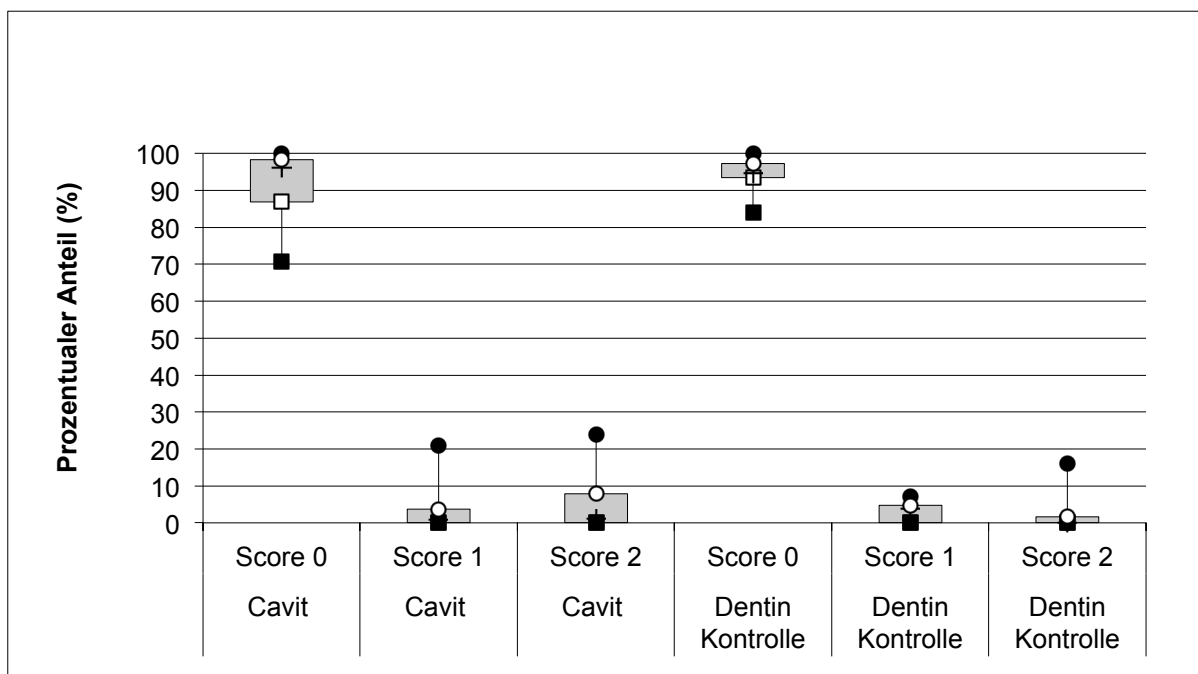


Abbildung 32: Auswertung des Randschlusses im Dentin vor der thermo-mechanischen Wechselbelastung in Gruppe 2 (Cavit (VH2)) Score 0 bis 2 einzeln dargestellt in der Box-Plot-Whisker-Darstellung.

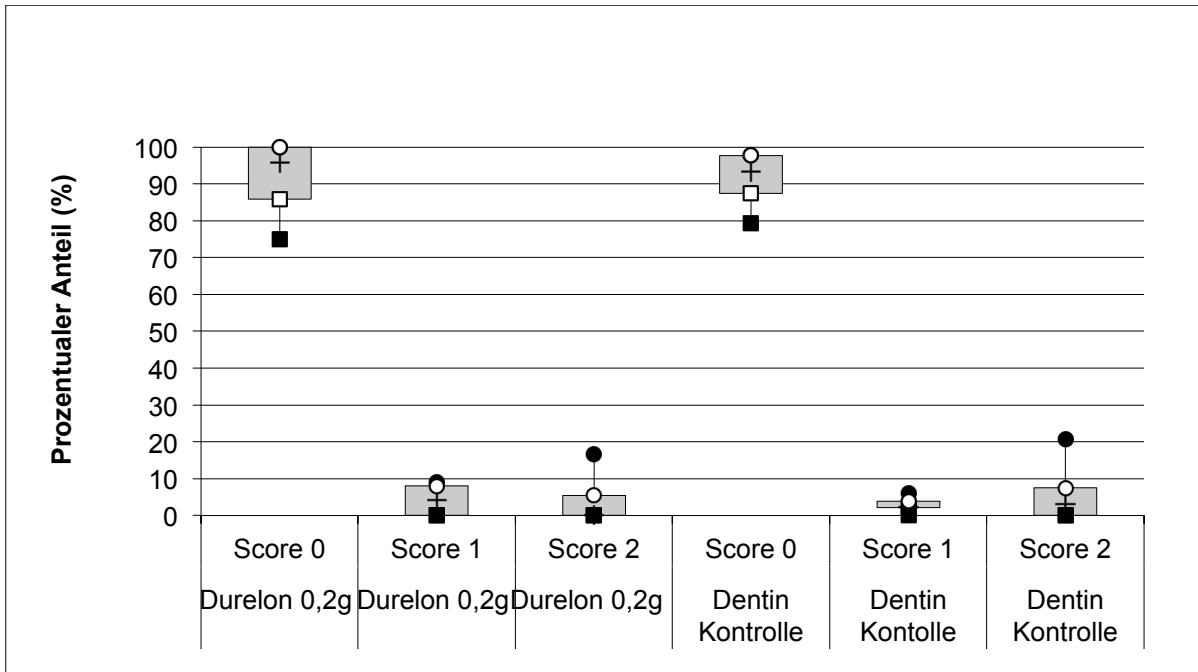


Abbildung 33: Auswertung des Randschlusses im Dentin vor der thermo-mechanischen Wechselbelastung in Gruppe 3 (Durelon 0,2g (VH20)) Score 0 bis 2 einzeln dargestellt in der Box-Plot-Whisker-Darstellung.

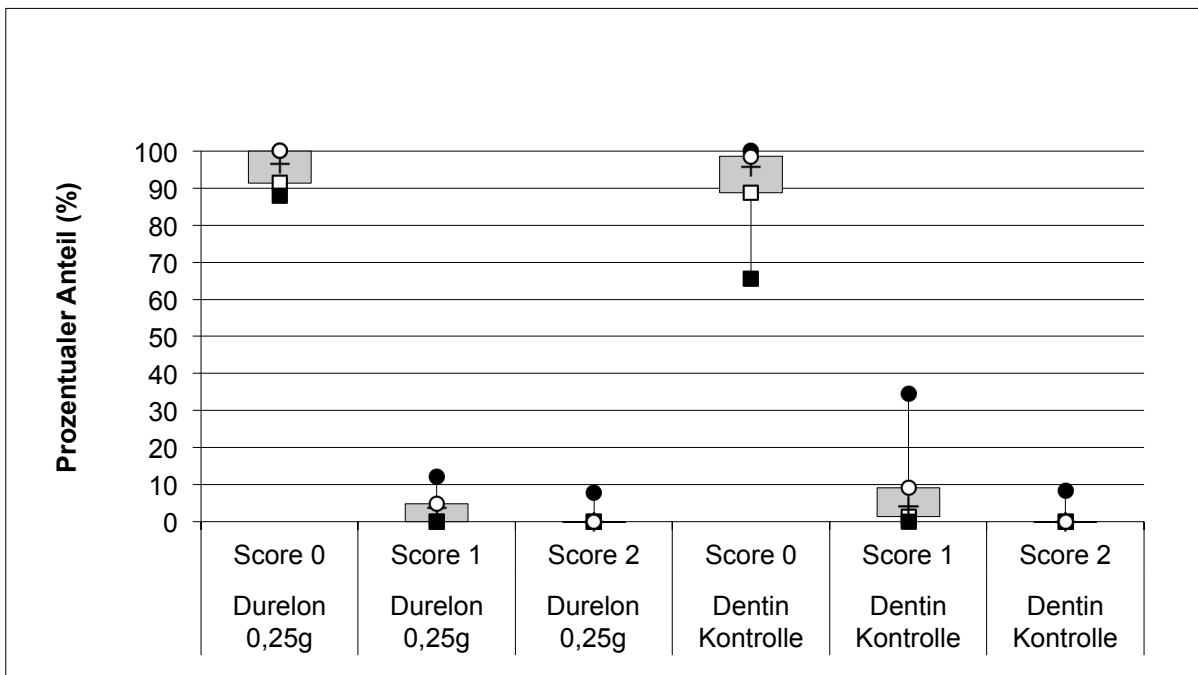


Abbildung 34: Auswertung des Randschlusses im Dentin vor der thermo-mechanischen Wechselbelastung in Gruppe 4 (Durelon 0,25g (VH30)) Score 0 bis 2 einzeln dargestellt in der Box-Plot-Whisker-Darstellung.

Randanalyse nach thermischer Belastung

Die möglichen Auswirkungen des Thermocyclings auf den Füllungsrand im Dentin veranschaulicht das folgende LM-Bild:

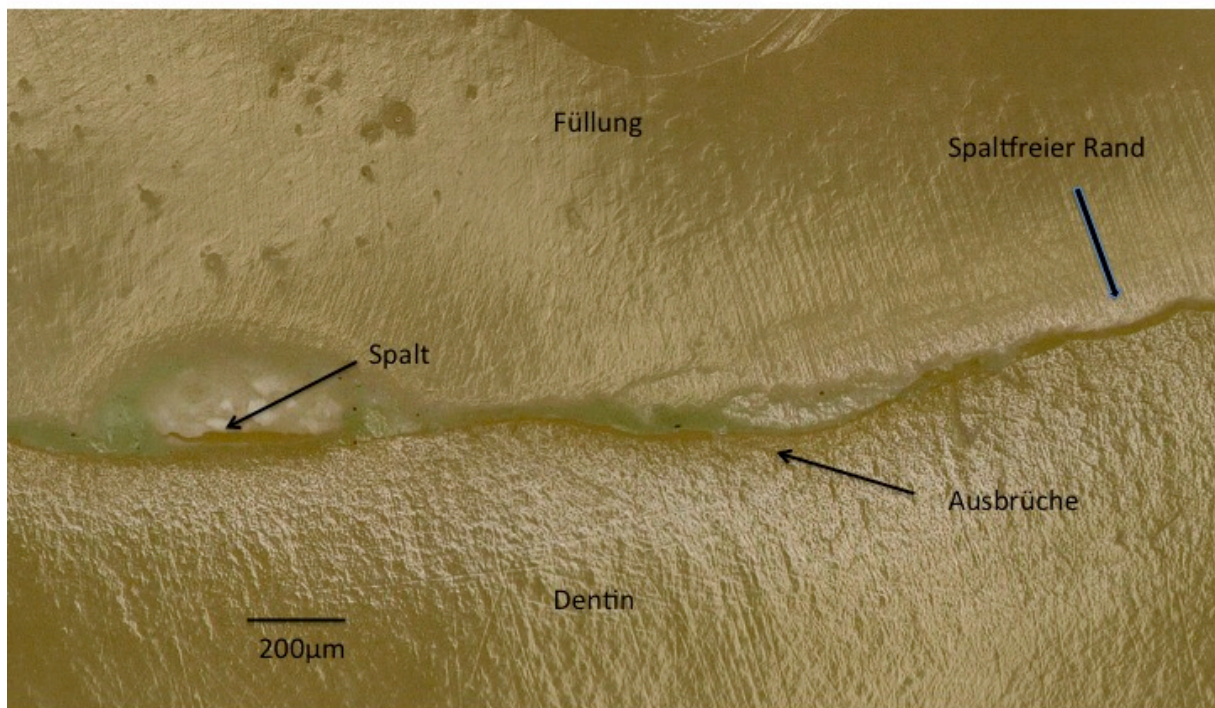


Abbildung 35: Repräsentative LM-Aufnahme eines Füllungsrandes im Dentin bei 200facher Vergrößerung in der Versuchsgruppe 2 (Cavit G) nach thermischer Belastung.

Nach der thermischen Belastung der Proben nahm der Anteil an klinisch akzeptablen Füllungsrandern im Dentin in allen Versuchsgruppen gegenüber den Kontrollgruppen nicht signifikant ab (Ketac Bond 97,1% - Kontrollgruppen Dentin 97,9% ($p = 0,766$), Cavit G 84,2% - Kontrollgruppe Dentin 92,5% ($p = 0,432$), Durelon 0,2g 92,8% - Kontrollgruppe Dentin 91,6% ($p=0,758$), Durelon 0,25g 95,6% - Kontrollgruppe Dentin 97,2% ($p=0,599$)).

Im Vergleich der Testgruppen untereinander nach dem Thermocycling gab es keinen signifikanten Unterschied von klinisch akzeptablem Kronenrand.

Ergebnisse

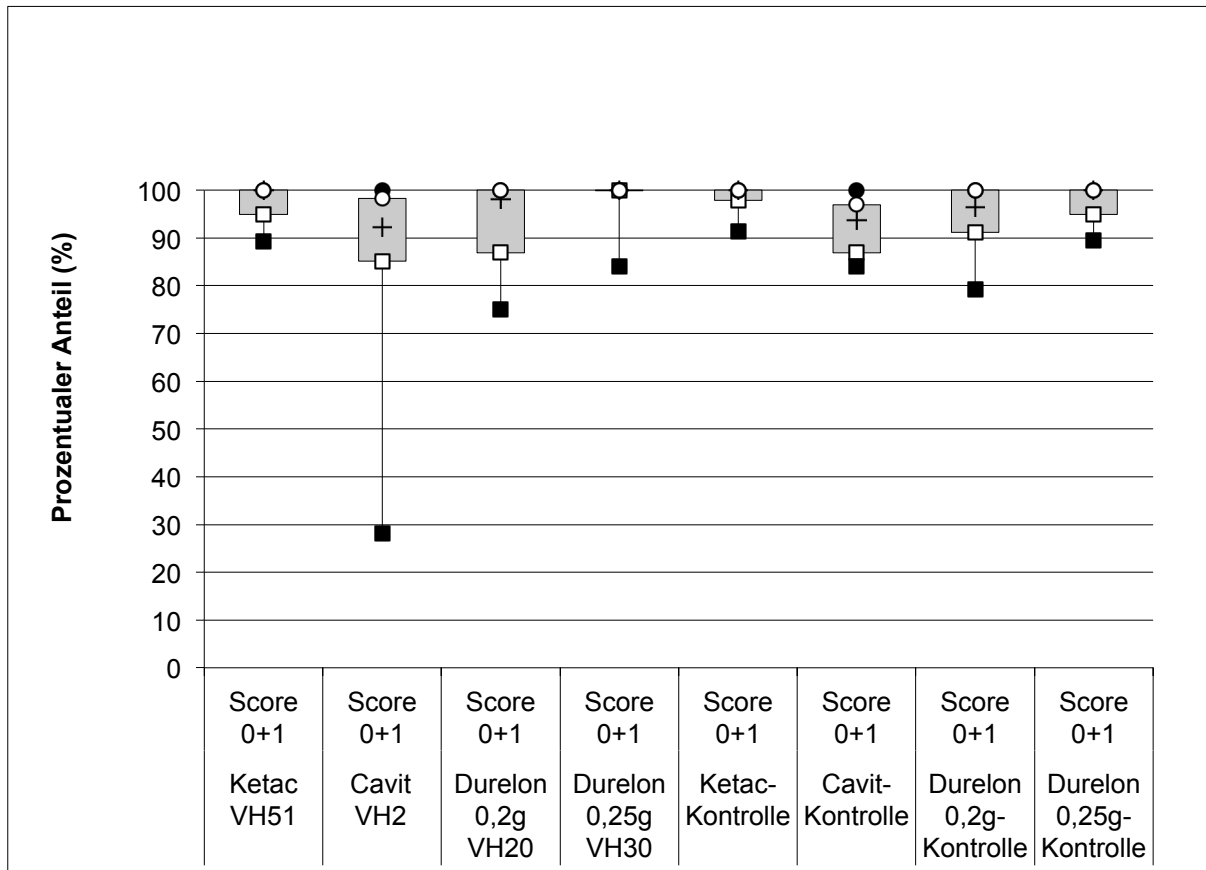


Abbildung 36: Auswertung des Randschlusses im Dentin nach dem Thermocycling im Vergleich der Test- und Kontrollgruppen mit Score 0+1 in der Box-Plot-Whisker-Darstellung.

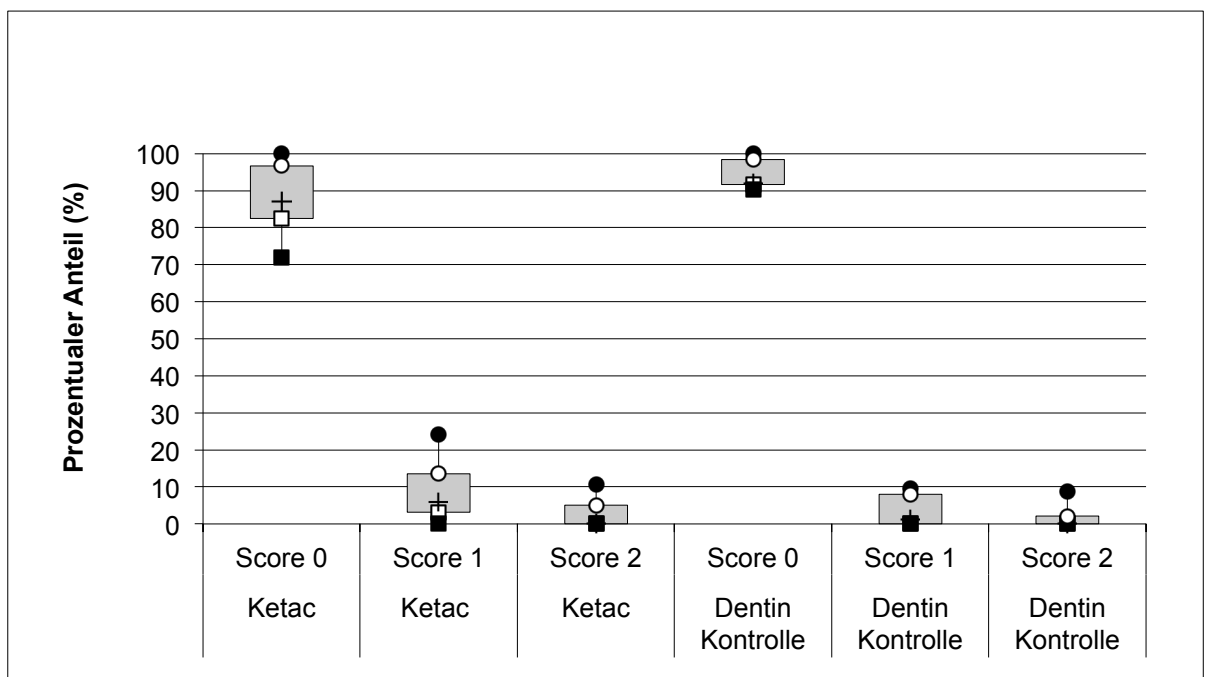


Abbildung 37: Auswertung des Randschlusses im Dentin nach dem Thermocycling in Gruppe 1 (Ketac Bond (VH51)) Score 0 bis 2 einzeln dargestellt in der Box-Plot-Whisker-Darstellung.

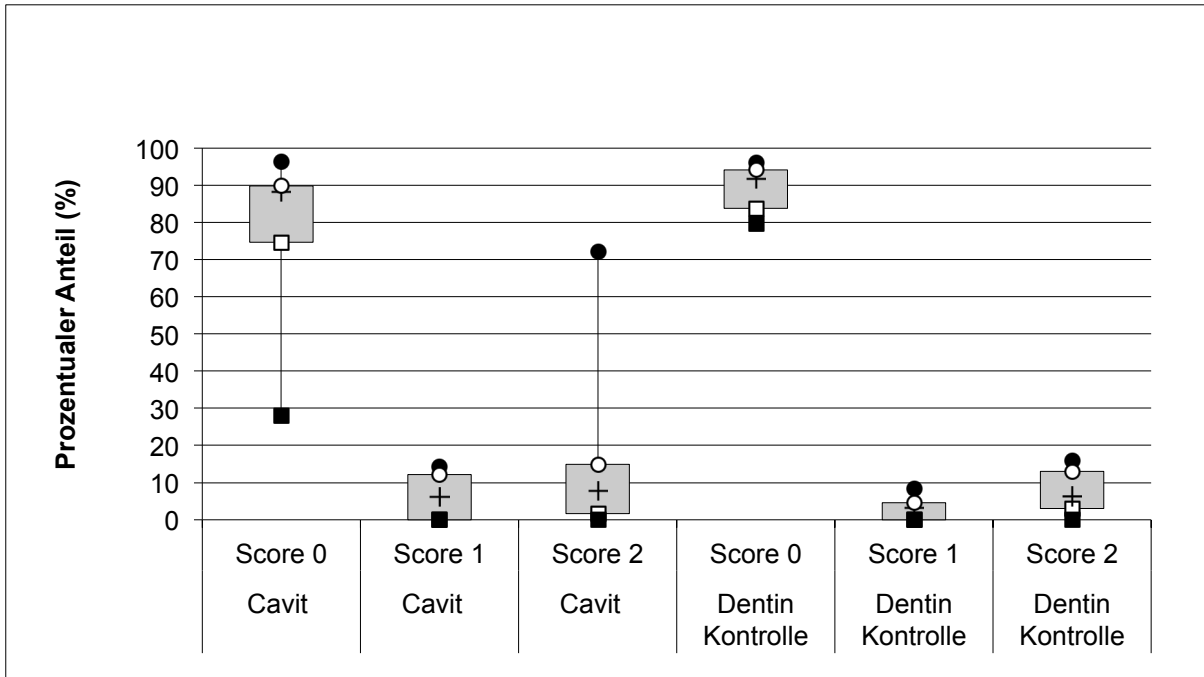


Abbildung 38: Auswertung des Randschlusses im Dentin nach dem Thermocycling in Gruppe 2 (Cavit (VH2)) Score 0 bis 2 einzeln dargestellt in der Box-Plot-Whisker-Darstellung.

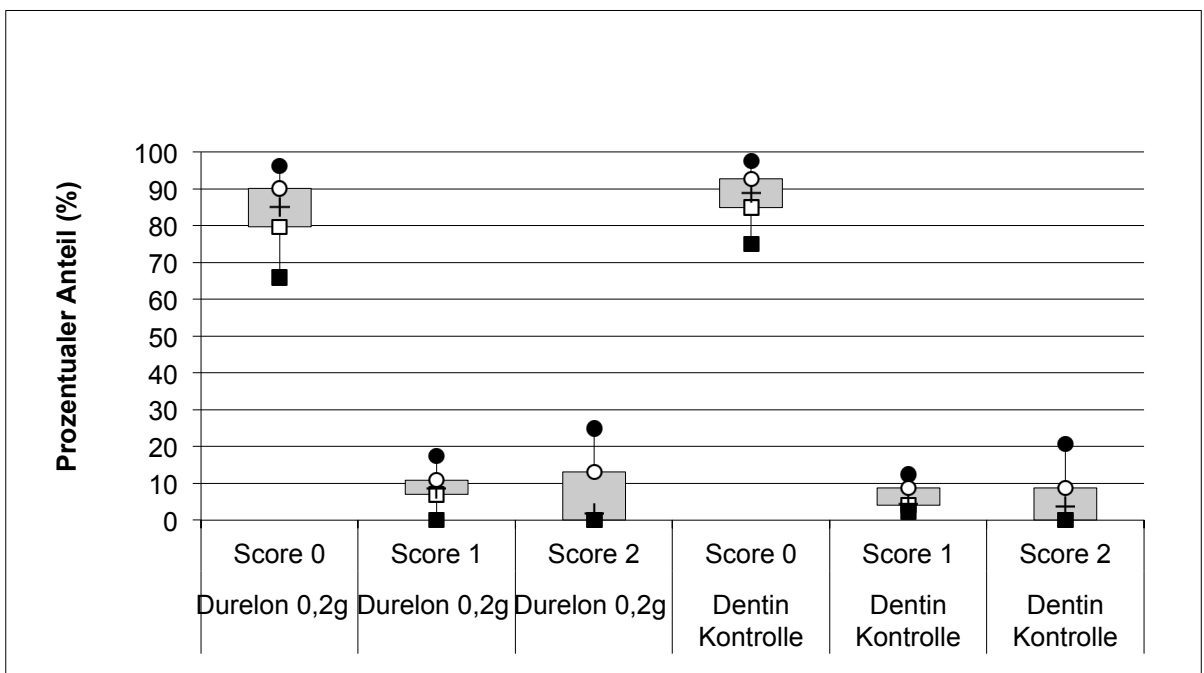


Abbildung 39: Auswertung des Randschlusses im Dentin nach dem Thermocycling in Gruppe 3 (Durelon 0,2g (VH20)) Score 0 bis 2 einzeln dargestellt in der Box-Plot-Whisker-Darstellung.

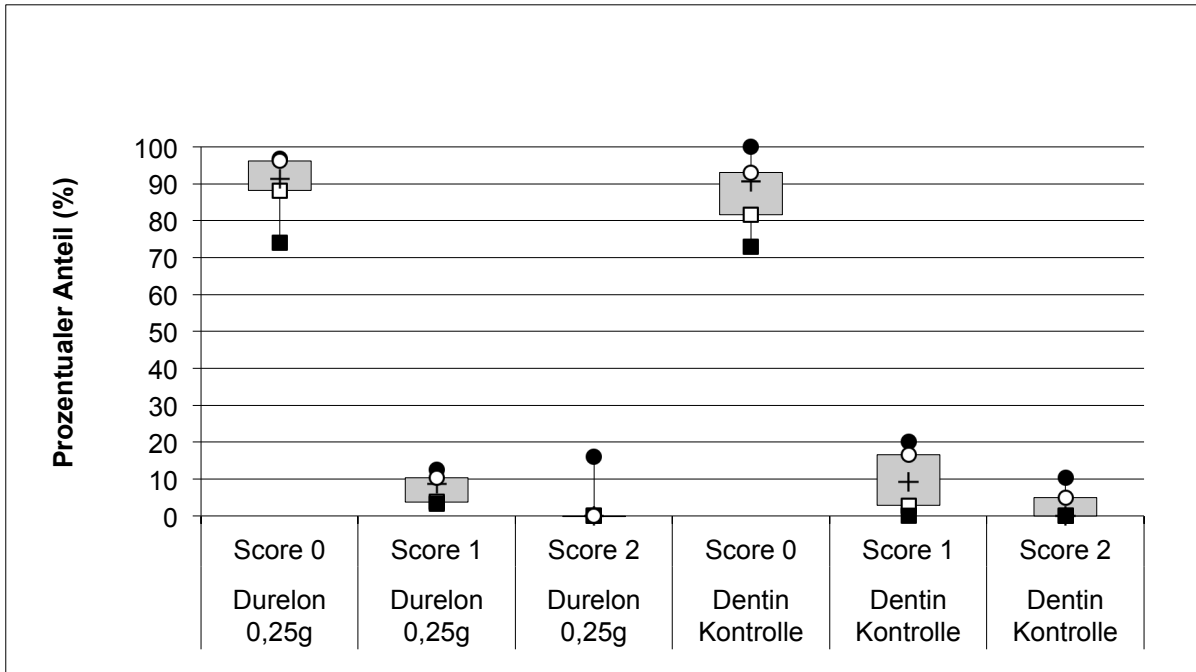


Abbildung 40: Auswertung des Randschlusses im Dentin nach dem Thermocycling in Gruppe 4 (Durelon 0,25g (VH30)) Score 0 bis 2 einzeln dargestellt in der Box-Plot-Whisker-Darstellung.

Randanalyse nach mechanischer Belastung

Das nächste Beispielbild aus dem LM zeigt die Spaltbildung in der Versuchsgruppe 3 im Dentin nach den thermo-mechanischen Belastungen.

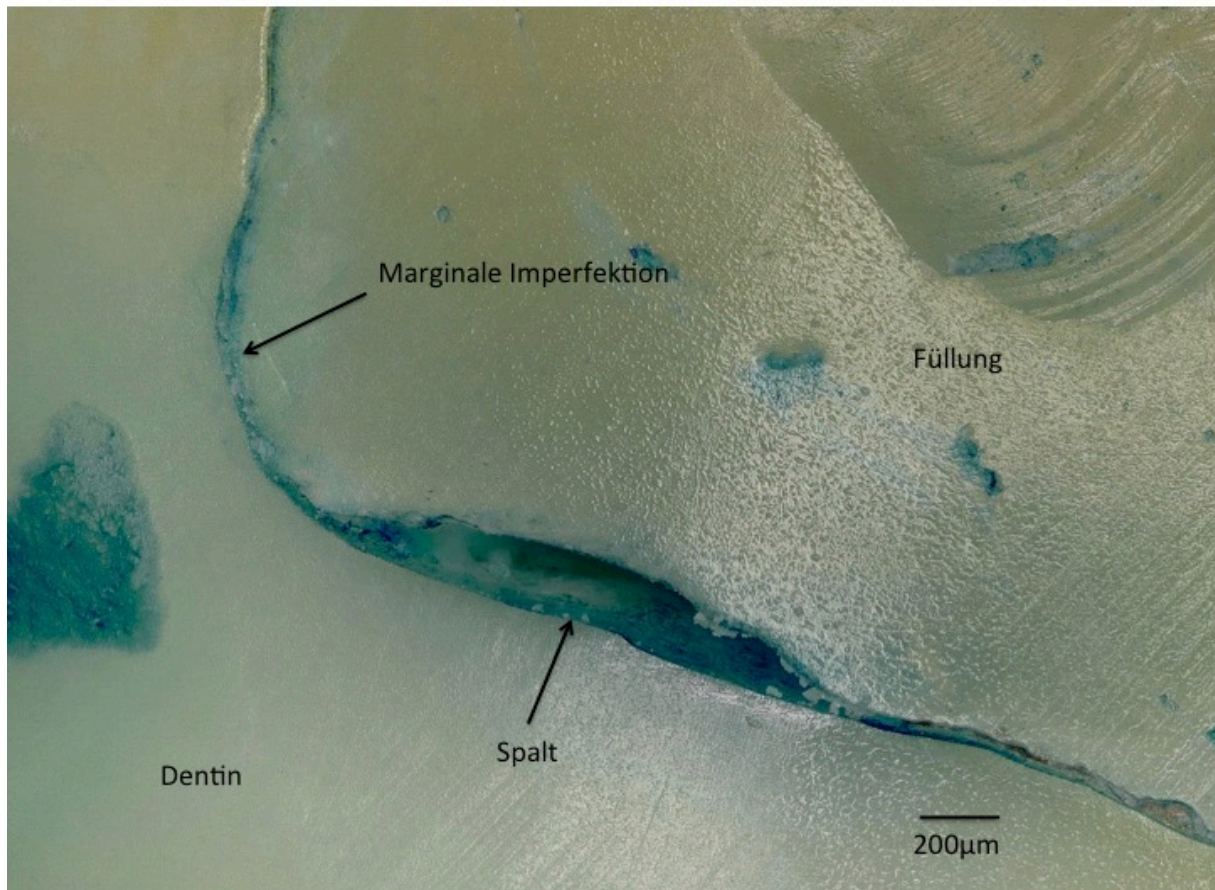


Abbildung 41: Repräsentative LM-Aufnahme eines Füllungsrandes im Dentin bei 200facher Vergrößerung in der Versuchsgruppe 3 (Durelon 0,2g) nach vollständiger thermo-mechanischer Wechselbelastung und Methylenblau-Färbung.

Nach vollständiger thermo-mechanischer Wechselbelastung zeigte sich bei den Füllungen mit weicher Unterlage vermehrt Randspaltbildung im Dentin.

Alle Versuchsgruppen wiesen gegenüber ihren Kontrollgruppen signifikante Unterschiede beim Score 0+1 auf. (Ketac Bond 89,8% - Kontrollgruppen Dentin 96,1% ($p = 0,034$), Cavit G 69,5% - Kontrollgruppe Dentin 91,6% ($p = 0,028$), Durelon 0,2g 75,7% - Kontrollgruppe Dentin 90,8% ($p=0,034$), Durelon 0,25g 79,5% - Kontrollgruppe Dentin 95,2% ($p=0,005$)).

Es ergaben sich signifikante Unterschiede von klinisch akzeptablen Kronenrändern zwischen der Versuchsgruppe 1 mit fester Unterlage und den Versuchsgruppen 2 bis 4 mit weichen Unterlagen.

Gruppe 1 (Ketac) hatte einen durchschnittlichen Score 0+1 von 89,8%, Gruppe 2 (Cavit) 69,5% Score 0+1, was mit $p=0,039$ einen signifikanten Unterschied im klinischakzeptablen Ergebnis darstellt.

Die Auswertung für Gruppe 3 (Durelon 0,2g) ergab durchschnittlich 75,7% Score 0+1 und damit auch einen signifikanten Unterschied zu Gruppe 1 ($p=0,0459$).

Ebenfalls signifikant war der Unterschied von Gruppe 1 (89,8%) zu Gruppe 4 (Durelon 0,25g) mit $p=0,022$ bei mittlerem Score 0+1 von 79,7%.

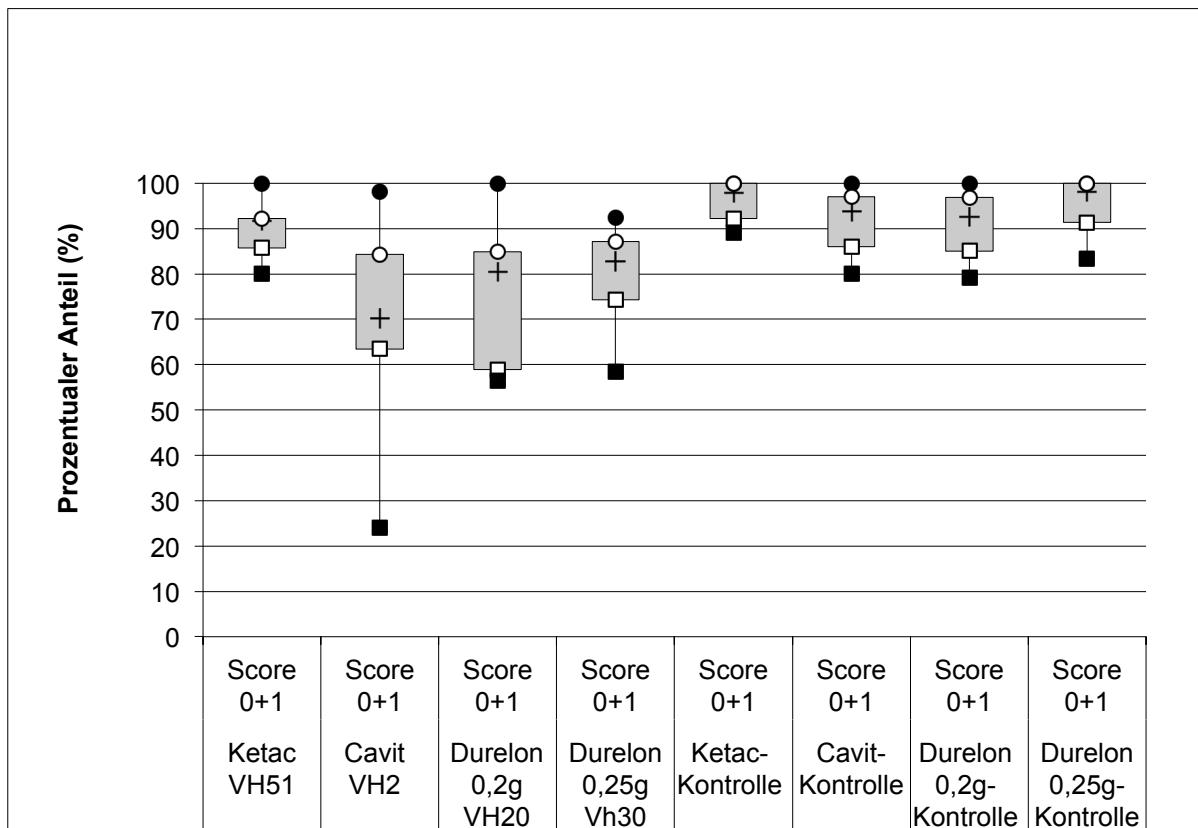


Abbildung 42: Auswertung des Randschlusses im Dentin nach vollständiger thermo-mechanischer Wechselbelastung im Vergleich der Test- und Kontrollgruppen mit Score 0+1 in der Box-Plot-Whisker-Darstellung.

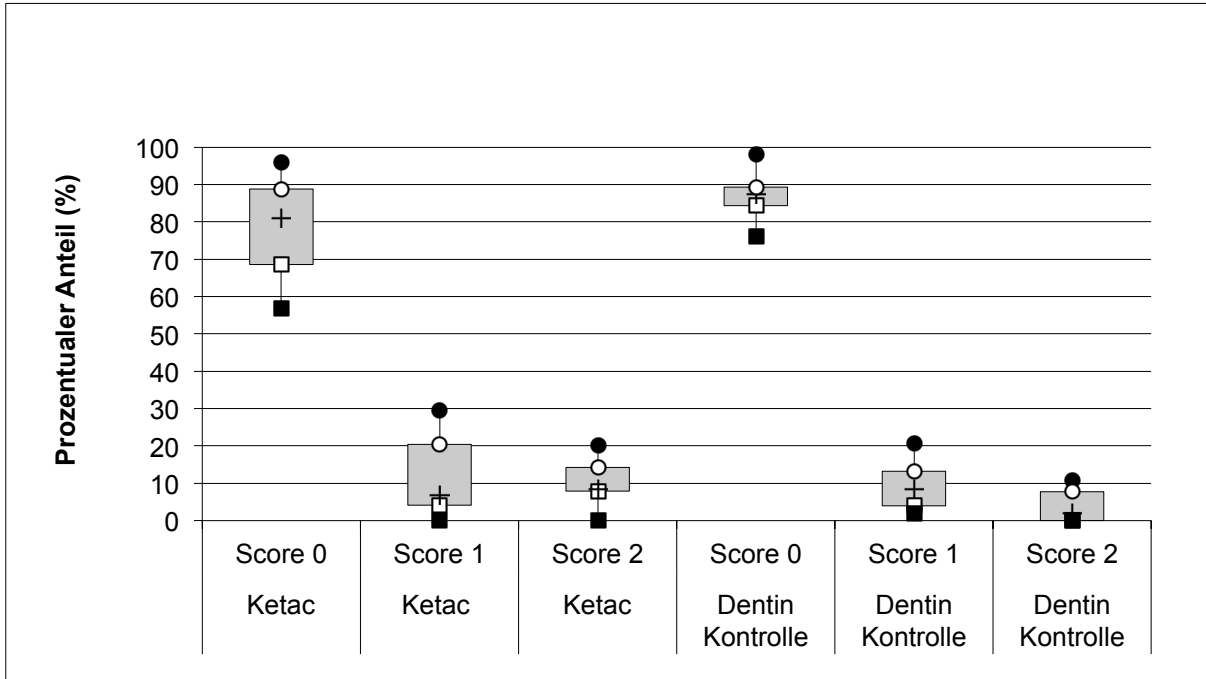


Abbildung 43: Auswertung des Randschlusses im Dentin nach vollständiger thermo-mechanischer Wechselbelastung in Gruppe 1 (Ketac Bond (VH51)) Score 0 bis 2 einzeln dargestellt in der Box-Plot-Whisker-Darstellung.

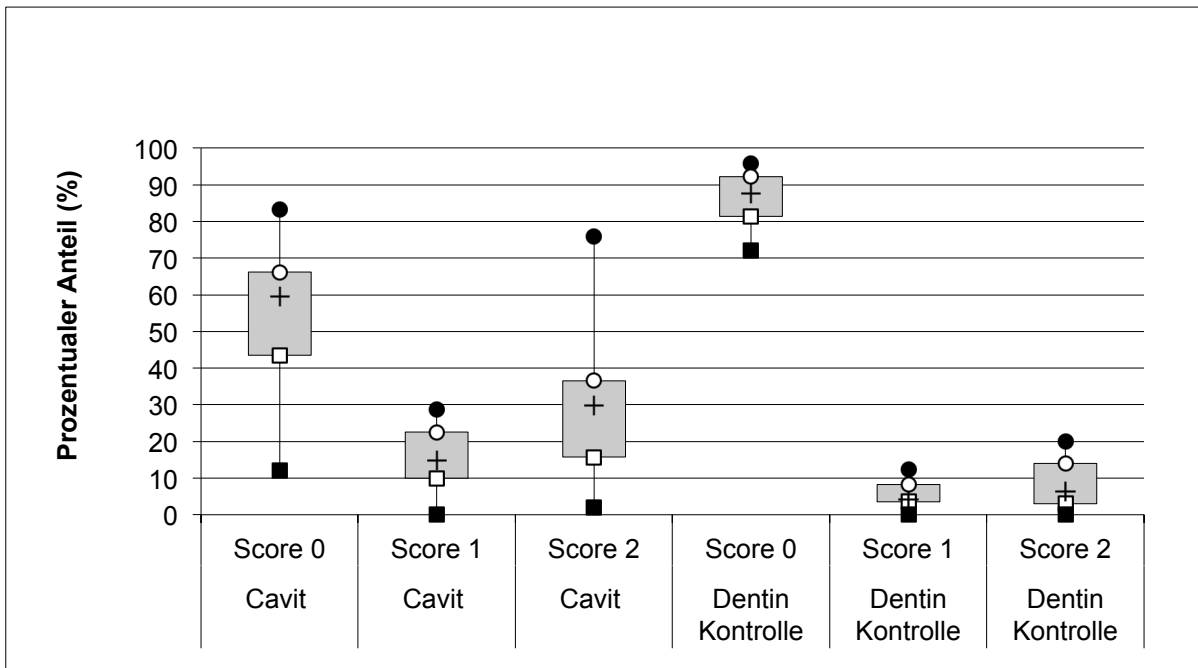


Abbildung 44: Auswertung des Randschlusses im Dentin nach vollständiger thermo-mechanischer Wechselbelastung in Gruppe 2 (Cavit (VH2)) Score 0 bis 2 einzeln dargestellt in der Box-Plot-Whisker-Darstellung.

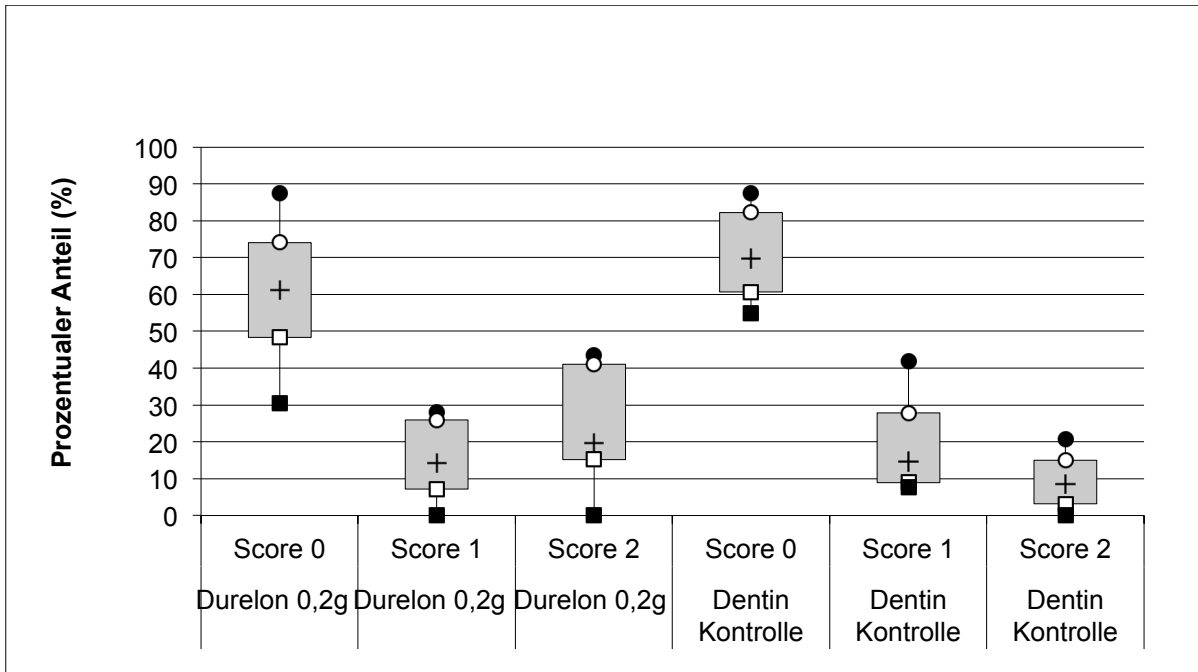


Abbildung 45: Auswertung des Randschlusses im Dentin nach vollständiger thermo-mechanischer Wechselbelastung in Gruppe 3 (Durelon 0,2g (VH20)) Score 0 bis 2 einzeln dargestellt in der Box-Plot-Whisker-Darstellung.

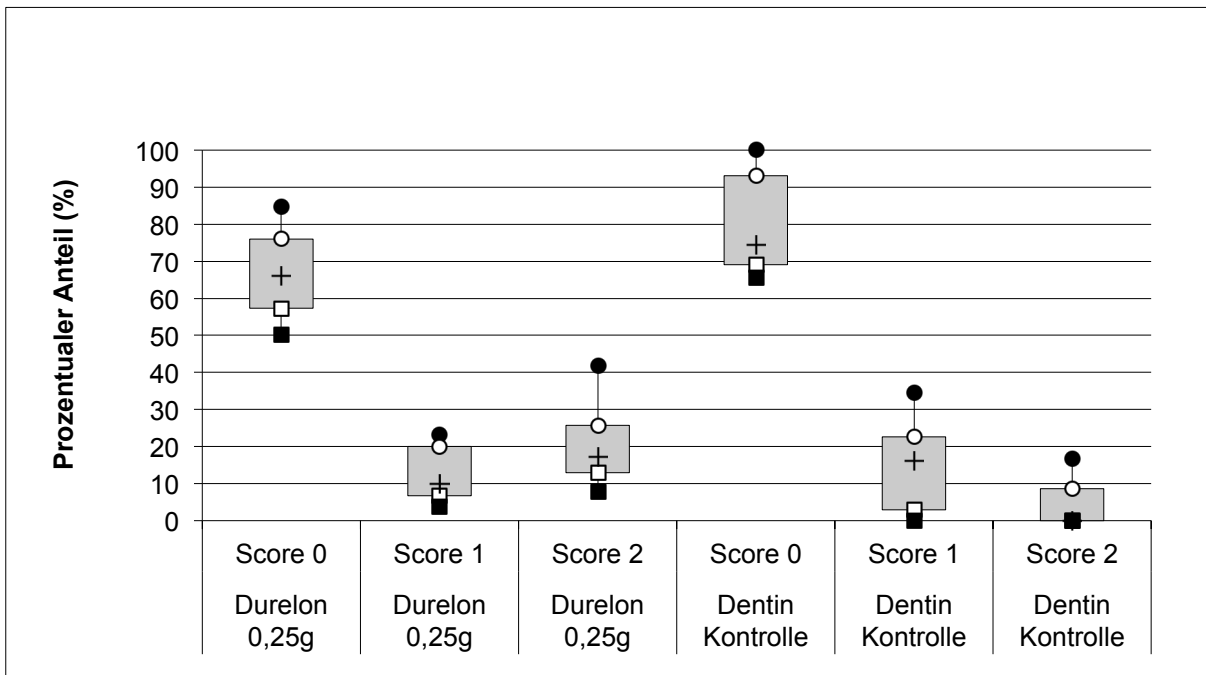


Abbildung 46: Auswertung des Randschlusses im Dentin nach vollständiger thermo-mechanischer Wechselbelastung in Gruppe 4 (Durelon 0,25g (VH30)) Score 0 bis 2 einzeln dargestellt in der Box-Plot-Whisker-Darstellung.

Ergebnisse

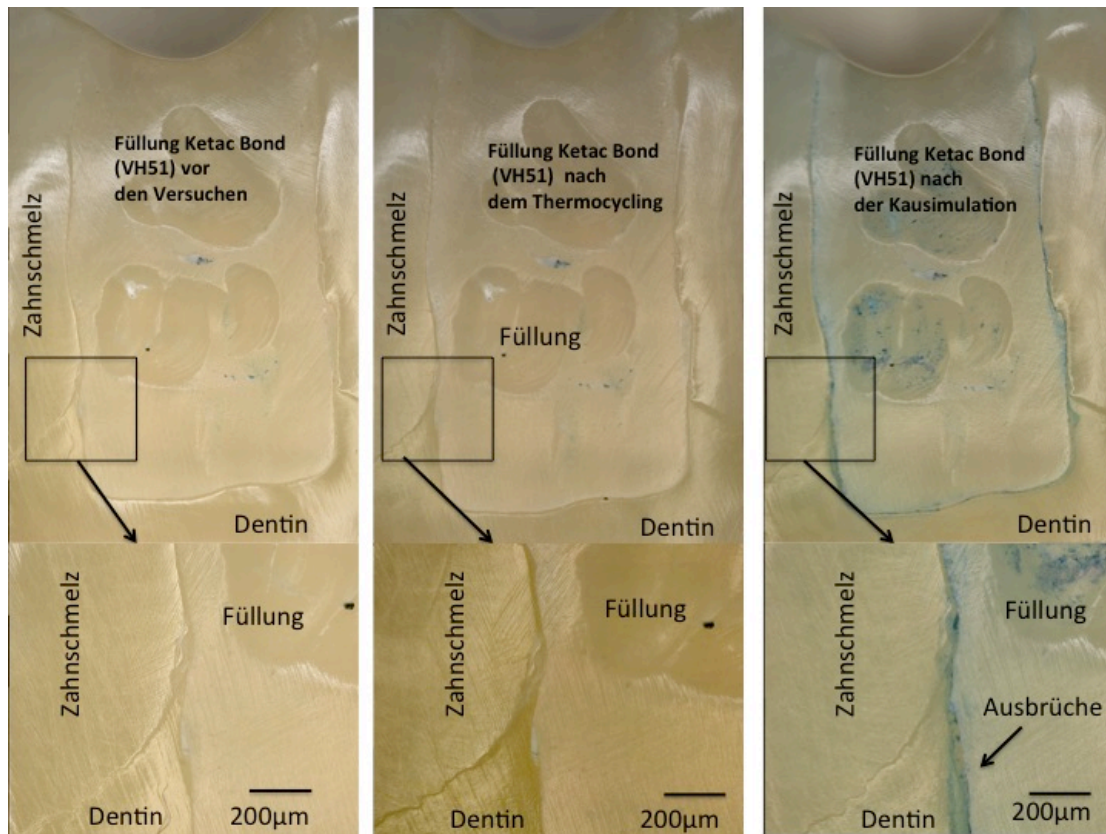


Abbildung 47a: Füllungsbeispiel aus Versuchsgruppe 1 (Ketac).

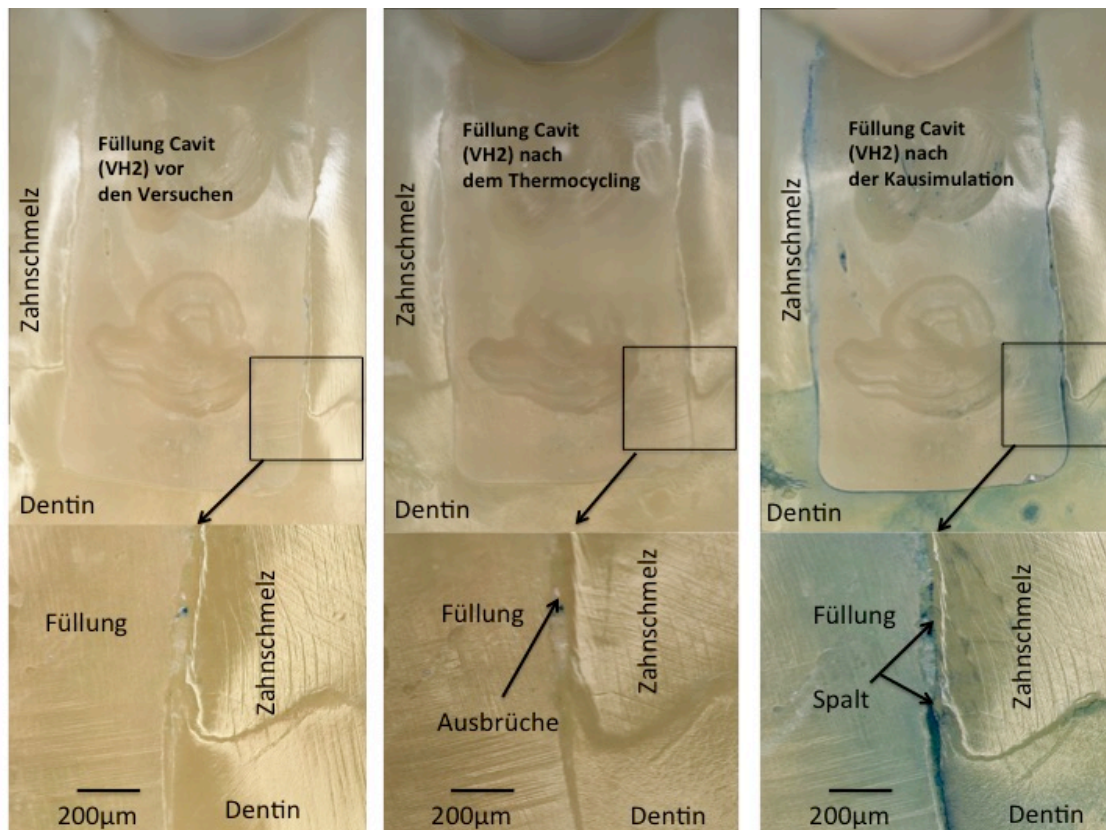


Abbildung 47b: Füllungsbeispiel aus Versuchsgruppe 2 (Cavit).

Ergebnisse

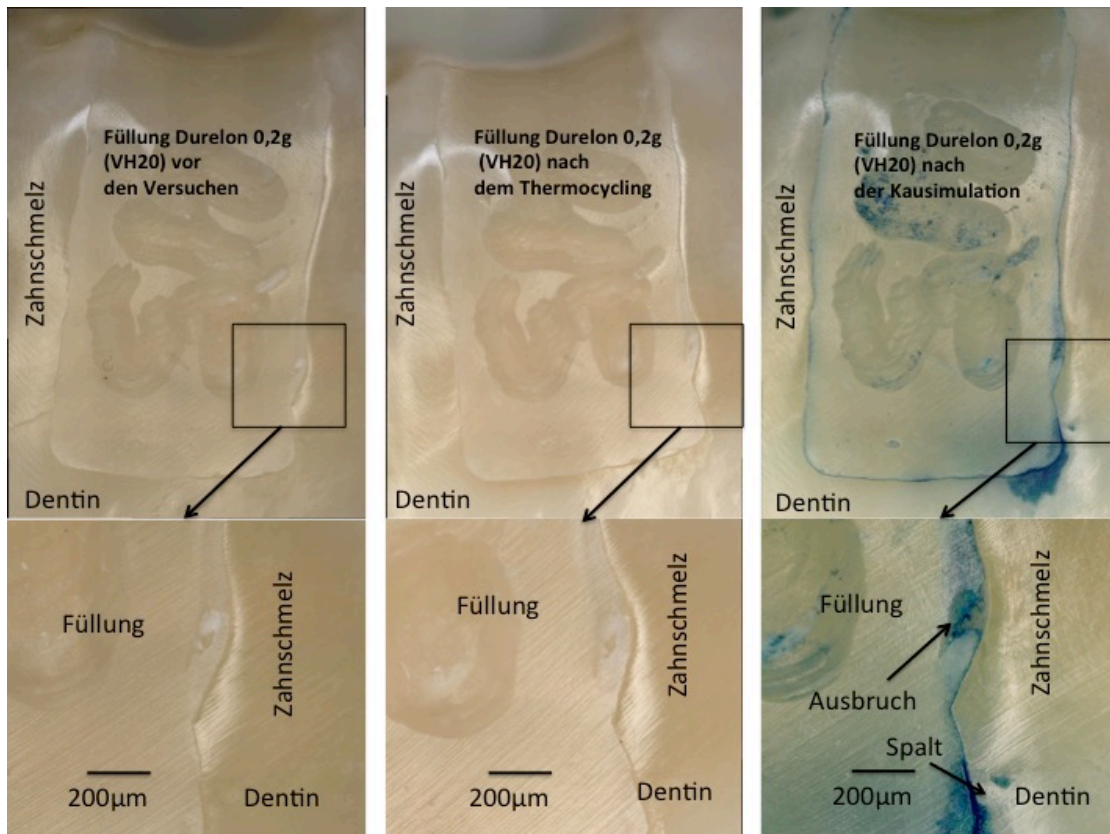


Abbildung 47c: Füllungsbeispiel aus Versuchsgruppe 3 (Durelon 0.2g).

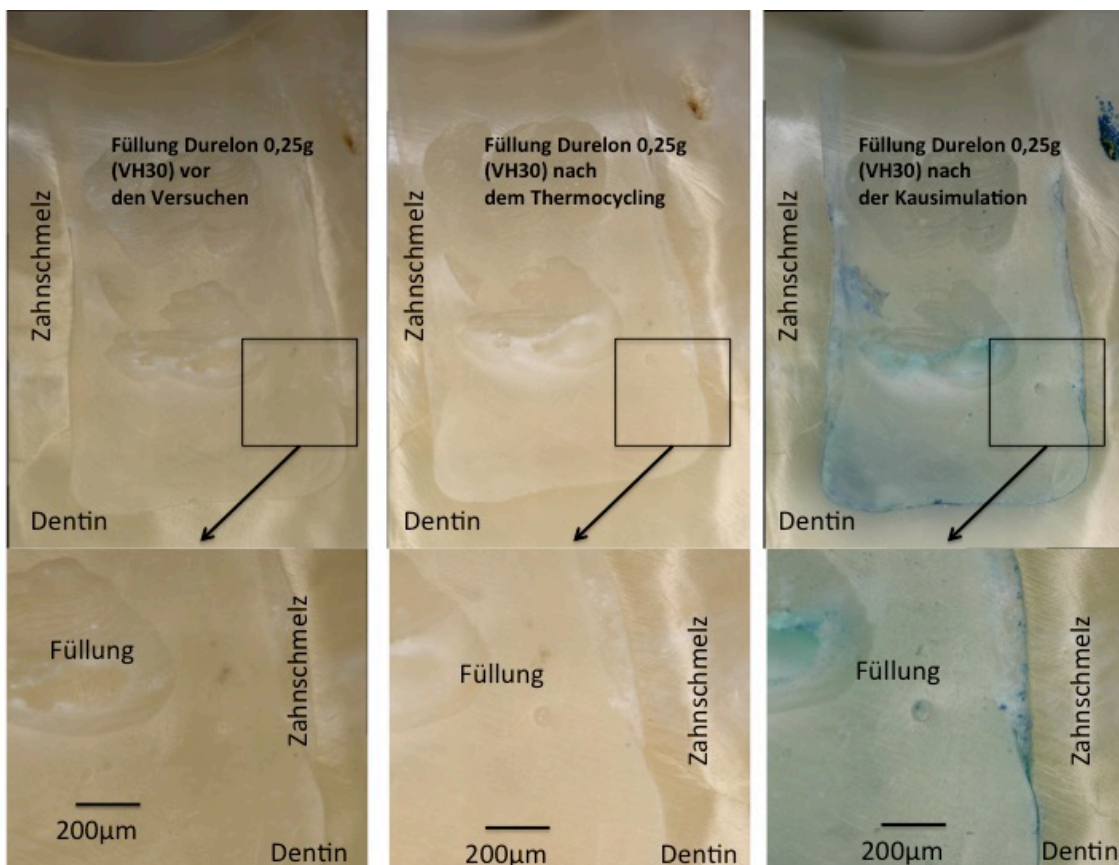


Abbildung 47d: Füllungsbeispiel aus Versuchsgruppe 4 (Durelon 0.25g).

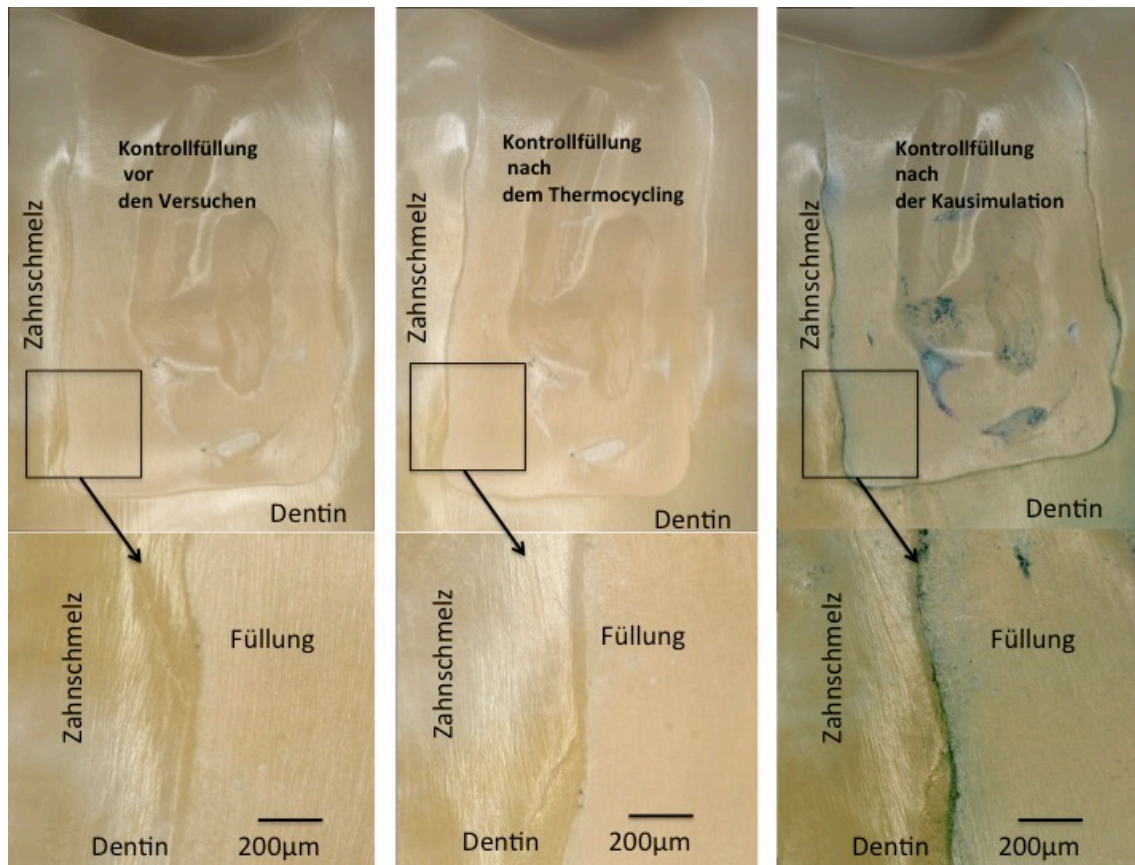


Abbildung 47e: Füllungsbeispiel aus einer Kontrollgruppe (Dentin).

Abbildungen 47a – 47e: Zusammenfassende Darstellung repräsentativer Aufnahmen aus den jeweiligen Versuchsgruppen. Links vor den Versuchen, in der Mitte nach thermischer Belastung und rechts nach vollständiger thermo-mechanischer Belastung.

5. Diskussion

5.1 Material und Methode

5.1.1 Versuchsaufbau

In der vorliegenden *In-vitro*-Studie wurde das Randschlussverhalten von Kompositfüllungen der Klasse II bei Belassen von Dentinkaries modellhaft untersucht. Hierzu wurden durch Zementunterlagen mit verschiedenen Härtegraden weiche Kavitätenböden simuliert. Der Anteil der weichen Unterlage am Kavitätenboden betrug etwa 80% um die übliche defektorientierte Ausdehnung der Restkaries zu simulieren. Es sollte eine erste Einschätzung zur Festigkeit adhäsiver Füllungen unter solchen Bedingungen erfolgen, denn die Durchführung von klinischen Studien ist sehr kostenintensiv und aufwändig.

Die *In-vitro*-Bedingungen sollten eine Annäherung an die klinischen Anforderungen der Kompositfüllungen auf Restkaries ergeben und wurden im Kavitätendesign weitest möglich an die Situation in der Mundhöhle angepasst.

5.1.1.1 Auswahl der Zähne

Zur Herstellung der Proben wurden extrahierte humane untere kariesfreie dritte Molaren herangezogen. Durch die Kariesfreiheit der Zähne war es möglich, in den Kavitäten die gleichen Bedingungen sowohl unter den Proben als auch in der Kontrollgruppe herzustellen. Die unteren Weisheitszähne sind sich in ihrer Form und Beschaffenheit ähnlich, so dass die Kavitätenpräparation der Klasse-II-Füllungen im Molarenbereich eine häufig vorkommende klinische Situation widerspiegelte.

Es handelte sich um extrahierte Weisheitszähne verschiedenen Alters, was keinen Einfluss auf die vergleichende Untersuchung hatte, da immer Test- und Kontrollfüllung innerhalb eines Zahnes angelegt waren.

5.1.1.2 Lagerung der Zähne

Die Sammlung der extrahierten Zähne in Thymol und anschließender alkoholischer Lösung diente der Konservierung, führt aber auch zu einer Dehydratation. Dies wurde durch Wässerung der Zähne vor Probenanfertigung wieder ausgeglichen.

Die Aufbewahrung der fertigen Probenzähne im Wasser verhindert Strukturveränderungen der Kollagenanteile im Dentin. Bei Austrocknung denaturiert das Kollagen und das Dentin trennt sich vom Schmelz. Zudem wird das feuchte Milieu der Mundhöhle simuliert.

Die Polymerisationsschrumpfung des Füllungsmaterials wird zwar zunächst durch seine Wasseraufnahme kompensiert, aber die gesamte hygroskopische Expansion des Komposits begünstigt den dichten Randschluss.

5.1.1.3 Präparation der Kavität

Klasse-II Füllungen, deren proximale Stufe bis ins Dentin reicht, stellen eine klinisch häufig vorkommende Situation dar. Der Zugang nach proximal ist nur mit Hilfe einer okklusalen Zugangskavität möglich.

Die okklusale und proximale Präparation erfasste die häufigsten Prädilektionsstellen für profunde Karies (Kidd 2004b). Die Exkavation mit dem Rosenbohrer ist bislang die übliche Vorgehensweise bei der Entfernung der Karies. Die Ausdehnung der Kavität war erforderlich, um den Zugang mit dem großen Rosenbohrer zu ermöglichen. Das Risiko zur unbeabsichtigten Pulpaeröffnung ist bei größerem Durchmesser des Rosenbohrers geringer.

Es wurde bei der Präparation die derzeit gültigen Standards angelegt. So soll die Abschrägung im schmelzbegrenzten Approximalbereich 1 mm im Winkel von 45° betragen, um eine möglichst hohe Retention zu erreichen.

Die maximale Belastung erfahren die Füllungen der Klasse II bei einer proximalen Stufe mit Randschluss im Dentin. Die Untersuchungen zur Belastung von Kompositfüllungen auf Restkaries durch Hevinga *et al.* (2010) mit Randschluss im Schmelz ließen schon eine Insuffizienz des Materials und nicht des Randschlusses vermuten. Diese Ergebnisse lassen sich jedoch nicht vollständig auf diese Studie übertragen, da nur Füllungen der Klasse I untersucht wurden.

5.1.2 Material und Füllungstechnik

In kariösen Zähnen wäre die Herstellung von gleichen Bedingungen unter einer Füllung nicht exakt möglich gewesen, da aus unterschiedlichen Mengen von kariösem Dentin auch differierende Härtewerte am Kavitätenboden entstanden wären (Bresciani *et al.* 2010, Ramamoorthi *et al.* 2013).

Zur Simulation der Karies wurde eine Unterlage aus verschiedenen Materialien in die exkavierten Bereiche der Versuchsgruppe eingebracht. Diese hatten Härtewerte zwischen 2 VH und 55 VH, so wie kariöses Dentin in den unterschiedlichen Stadien bzw. Schichten der Karies. Es war wichtig, dass das Material nicht während der Zahnkonditionierung aus der Kavität gespült wurde oder einen inhibitorischen Effekt auf die Polymerisation des Füllungsmaterials hatte.

Bei der Anwendung von beispielsweise Silikonunterlagen gäbe es unter Druckbelastung einen Rückfederungseffekt aufgrund der Elastizität des Materials.

Der Verbund zwischen Komposit und Zahnschmelz bzw. Dentin ist entscheidend für die Festigkeit und Haltbarkeit der Füllung.

Syntac Classic und Tetric-Füllungen, eingebracht in Etch- and Rinse-Technik, kombiniert mit der Inkrementtechnik, stellen diesbezüglich einen Goldstandard in der Füllungstherapie dar (Van Ende *et al.* 2012, Frankenberger *et al.* 2014).

Die Konditionierung des Zahnes und die Anwendung des Mehrschritt-Adhäsiv-Systems erfordert ein exaktes Vorgehen nach Herstellerangaben. Syntac Classic ist unter den verschiedenen Systemen zwar eines der sichersten, aber das Risiko für Anwendungsfehler steigt mit der Anzahl der Arbeitsschritte.

Die Herstellung der Proben mit Lupenbrille unter standardisierten Bedingungen ermöglichte die Herstellung von annähernd gleichen Proben.

Das Anlegen der Matrize ist in der Mundhöhle bei Klasse-II-Füllungen obligat, damit kein Materialüberschuss in das Parodontium gelangt. Ein Füllungsüberhang wird ebenfalls vermieden.

Bei der Inkrementtechnik wird das Füllungsmaterial in dünnen Schichten eingebracht, um die gleichmäßige Durchdringung und Härtung mit der Polymerisationslampe zu gewährleisten. Die unter sich gehenden Bereiche der approximalen Kavitäten in der Kontrollgruppe waren durch die eingeschränkte Sicht in dieser Technik

schwer zu füllen. Allerdings entsprachen die Bedingungen der klinischen Realität, wobei in der Mundhöhle noch die Trockenlegung notwendig ist.

Alternativ wäre eine Bulkfülltechnik denkbar gewesen, jedoch wäre hier das Ergebnis nicht eindeutig einem Material zuzuordnen und diese Technik ist noch nicht ausreichend gut untersucht worden.

5.1.3 Thermische und mechanische Belastung

Der Schrumpfstress innerhalb der Kompositfüllungen während der Polymerisation wird durch den hohen Anteil von festen Füllkörpern, die Schichtung in Inkrementtechnik und die Adhäsivkraft des Bondings kompensiert.

Die Haftung am Zahn wird durch die natürliche Belastung im Mund beim Schlucken, Kauen oder durch Parafunktionen wie Pressen oder Knirschen sowohl thermisch als auch mechanisch zusätzlich beeinflusst.

Diesen Alterungsprozess der Restaurationen kann man mit Hilfe von Thermocycling und Kausimulation simulieren (Campos *et al.* 2014, Furness *et al.* 2014).

In einem Wasserbad wurden die Proben in jeweils 5°C und 55°C temperiertem Wasser für 60 Sekunden gehalten.

Anschließend wurden die Proben 100.000mal in axialer Richtung mit einer Kraft von 50 N in einem Kausimulator belastet. Eine realistische Abbildung der Kauvorgänge würde allerdings ein dreidimensionales Bewegungsmuster erfordern. Die durchgeführten Belastungen entsprechen einer geschätzten Alterung von 3 Monaten und bewirken vor allem in dentinbegrenzten Bereichen eine Spaltbildung.

5.1.4 Füllungsrandanalyse

Die Analyse der Füllungsråder erfolgte mit Hilfe eines Lichtmikroskops. Dies hat den Vorteil, dass die Proben direkt untersucht werden, während für die Untersuchung am Rasterelektronenmikroskop die Herstellung von Repliken aus Epoxidharz erforderlich ist. Das gewählte Lichtmikroskop ermöglichte eine dreidimensionale Abbildung der Füllungsoberfläche, wodurch man sicher zwischen Imperfektion und Spaltbildung unterscheiden konnte.

Die 200fache Vergrößerung ergibt eine genaue Darstellung des Füllungsrandes und eine Auswertung in 200µm-Schritten (Campos *et al.* 2014). Durch die prozentuale Ermittlung der Randschlussergebnisse im Verhältnis zur Gesamtlänge des Füllungsrandes wurde die unterschiedliche Gesamtlänge der Füllungsänder berücksichtigt und erst dann statisch verglichen.

5.2 Diskussion der Ergebnisse

Die Ergebnisse vor der Alterungssimulation zeigten kaum Unterschiede für den Anteil perfekten Randes bei den Versuchsgruppen. Der geringe Unterschied von 2% in der Kontrollgruppe ergab sich durch die notwendige Schichtung der Füllungen in nicht einsehbare unter sich gehende Bereiche approximal.

Die Unterschiede in der Füllungsstabilität zwischen Versuchsgruppen und Kontrollgruppen ließen bereits nach der thermischen Belastung die Schwächung der Füllungen mit den weichen Unterlagen vermuten, auch wenn diese nicht signifikant waren. Es ist denkbar, dass die thermische Volumenausdehnung bei den Unterfüllungsmaterialien eine verstärkende Rolle gespielt hat. Inwieweit diese der Ausdehnung der zurückbleibenden Karies *in vivo* entspricht, ist noch nicht untersucht worden. Da aber im kariösen Dentin flüssige und gasförmige Stoffwechselprodukte der Mikroorganismen nachzuweisen sind (Paris *et al.* 2012, Wolff *et al.* 2014), ist auch hier von einer thermischen Ausdehnung auszugehen.

Außerdem reduzierte sich die Adhäsivfläche im Dentin in der Versuchsgruppe fast um die Hälfte. Diese Schwächung gibt es auf kariösem Dentin nur teilweise. Eine reduzierte Ausbildung von Resin-tags und einer Hybridschicht erfolgt auch in kariösem Dentin (Doi *et al.* 2004a, 2004b). Hier erfolgt trotzdem eine Dentinhftung und damit eine erwünschte Versiegelung der kariös veränderten Bereiche (Frankenberger *et al.* 2014).

Die Veränderungen in kariösem Dentin, das durch eine dichte Füllung abgeschlossen wird, können in einem Modellversuch nicht abgebildet werden. Die Zementunterlage ist eine rein mechanische Simulation der verringerten Härte unter einer Füllung.

Die Härtewerte im kariösen Dentin erhöhen sich *in vivo* durch Remineralisation (Bresciani *et al.* 2010). Die wichtigste Voraussetzung hierfür ist zunächst die sichere Un-

terbindung von Substrat für die Mikroorganismen, da sonst die metabolischen Produkte der Bakterien eine weitere Destruktion der Dentinstrukturen und inflammatorische Reaktionen des Pulpa-Dentin-Komplexes bewirken (Rupf *et al.* 2014, Wolff *et al.* 2014).

Das zweizeitige Vorgehen bei der Behandlung von profunder Karies wird immer häufiger von verschiedenen Autoren infrage gestellt, da Remineralisation des Dentins unter jeder randdichten Füllung stattfindet. Um ein einzeitiges Vorgehen zu empfehlen, braucht es aber die Evidenz für die Stabilität und Randdichtigkeit von Füllungen auf kariösem Dentin (Hevinga *et al.* 2010, Maltz *et al.* 2013).

In den ersten Wochen ist die kariöse Unterlage zunächst noch mit einer hohen Anzahl von schädigenden Bakterien belastet. Aktuelle Untersuchungen konnten zeigen, dass die Menge von *S. mutans* Bakterien nach partieller Kariesexkavation zwar abnimmt, aber ihre Virulenz weiterhin vorhanden ist (Dame-Teixeira *et al.* 2014). Die Randdichte der Füllung beziehungsweise des Bondings der Füllung stellt eine entscheidende Barriere für weitere Substratzufuhr der Mikroorganismen dar (Bakhs-handeh 2010).

In dieser *In-vitro*-Untersuchung gab es bereits nach der thermischen Belastung der Füllungen mit weichen Unterlagen eine Verschlechterung der Randdichtigkeit und ein signifikantes Versagen des Randschlusses im Dentin nach mechanischer Belastung. Der Alterungsprozess des Thermocyclings und Kausimulation entspricht in etwa einer Liegedauer der Füllung im Mund von etwa 3 Monaten.

Soviel Zeit benötigt kariöses Dentin zur Remineralisierung. Dies geschieht in einem kontinuierlich fortschreitendem Prozess (Alves *et al.* 2010). Mit dem zweizeitigen Vorgehen kann man eine definitive Füllung sicher auf eine harte Dentinunterlage inserieren, erhöht jedoch wieder das Risiko zur Pulpaexposition beim zweiten Eingriff.

Diese Situation des harten Dentins am Kaviätenboden wurde in den Kontrollgruppen simuliert. Auch dort gab es nach der Belastung deutlich mehr defekte Füllungs-ränder.

Nicht die Füllungen selbst, sondern die Verbindung von Füllung zu Zahn scheint bei dentinbegrenzten Füllungs-rändern die Schwachstelle zu sein. Möglicherweise kann man mit einem stabileren Bonding mehr Randdichte unter Belastung erzielen. Die Stabilität der Füllungs-ränder im Schmelz war nicht signifikant schlechter bei den wei-

chen Unterlagen gegenüber den Kontrollfüllungen, so dass eventuell ein Belassen der Karies möglich ist, sofern alle Füllungsrän­der schmelz­begrenzt bleiben.

Ansonsten können indirekte Restaurationen zwar eine Behandlungsalternative darstellen (Maltz et al. 2012, 2013), aber durch sie würden die Kosten enorm ansteigen.

5.3 Schlussfolgerung

Die Alternativhypothese wurde bestätigt:

Der Randschluss von adhäsiven Kompositfüllungen der Klasse II verringert sich bei weicher Unterlage im Bereich des Kavitätenbodens.

In der vorliegenden Modellstudie gab es unmittelbar nach dem Legen der Füllungen zunächst keine signifikanten Unterschiede in der Randschlussqualität. Alle Füllungsgruppen zeigten einen nahezu spaltfreien Randschluss.

Nach der vollständigen thermo-mechanischen Belastung zeigten sich zwischen allen Versuchsgruppen und ihren Kontrollgruppen signifikante Unterschiede beim spaltfreien Randschluss im Dentin. Beim Zahnschmelz war der Unterschied bei Versuchsgruppe 2 (Cavit, geringste Härte) zur Kontrollgruppe signifikant.

Es konnte deutlich gezeigt werden, dass eine weiche Unterlage die Kompositfüllungen der Klasse-II signifikant schwächt. Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass *in vivo* die Härtegrade von kariösem Dentin je nach Menge der Restkaries stark variieren können und kariöses Dentin die Fähigkeit zur Remineralisierung besitzt.

Daher sollten weitere Untersuchungen, sowohl *in vitro*, als auch prospektive *In-vivo*-Studien, mit weiteren Materialien oder Füllungstechniken durchgeführt werden, bevor eine definitive Empfehlung für oder gegen die unvollständige Kariesentfernung abgegeben werden kann. In jedem Falle sollte die Stabilität des Kavitätenbodens in die klinische Entscheidung einbezogen werden.

6. Literaturverzeichnis

Alves L.S., Fontanella V., Damo A.C., Ferreira de Oliveira E., Maltz M. (2010): Qualitative and quantitative radiographic assessment of sealed carious dentin: A 10-year prospective study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 109, 135-141

Bakhshandeh A., Ekstrand K.R., Qvist V. (2011): Measurement of histological and radiographic depth and width of occlusal carious lesions : A methodological study. *Caries Res* 45, 547-555

Bakhshandeh A., Qvist V., Ekstrand K.R. (2012): Sealing occlusal caries lesions in adults referred for restorative treatment: 2-3 years of follow-up. *Clin Oral Investig* 16, 521-529

Banerjee A., Cook R., Kellow S., Shah K., Festy F., Sherriff M., Watson T. (2010): A confocal micro-endoscopic investigation of the relationship between the microhardness of carious dentine and its autofluorescence. *Eur J Oral Sci* 118(1), 75-79

Bjorndal L., Reit C., Bruun G., Markvart M., Kjaeldgaard M., Näsman P. et al (2010): Treatment of deep caries lesions in adults: randomized clinical trials comparing stepwise vs. direct pulp capping vs. partial pulpotomy. *Eur J Oral Sci* 118, 290-297

Black G.V. (1908): Operative dentistry. The technical procedures in filling teeth. Chicago, Medico-dental Publishing Co vol 11

Brescani E., Wagner W., Navarro M.F.L., Dickens S.H., Peters M.C. (2010): *In-vivo* dentin microhardness beneath a calcium-phosphate cement. *J Dent Res* 89, 837-841

Buchalla W. (2012): Histologisches und klinisches Erscheinungsbild der Karies. In: Meyer-Lückel et al.: *Karies* , Thieme (52-57)

Campos E.A., Ardu S., Lefever D., Jasse F.F., Bartolotto T., Krejci I. (2014): Marginal adaptation of class-II cavities restored with bulk-fill composites. *J Dent* 2014, 02.007

Chapat M.S. (2011): *In-vitro*-Untersuchung des Randschlussverhaltens von Füllungen aus schrumpfung reduzierten Restaurationsmaterialien in approximal dentinbegrenzten Klasse-II Kavitäten. Dissertation

Corralo D.J., Maltz M. (2013): Clinical and ultrastructural effects of different liners/restorative materials on deep carious dentin: A randomized clinical trial. *Caries Res* 47, 243-250

Dame-Teixeira N., Arthur R.A., Cavalcanti Fatturi Parolo C., Maltz M. (2014): Genotypic diversity and virulence traits of *streptococcus mutans* isolated from carious dentin after partial caries removal and sealing. *Scie World J* 10.1155/2014/165201

Dammaschke T., Rodenberg T.N., Schäfer E., Ott K.H.R. (2005): Vergleich der Effektivität von SmartPrep mit herkömmlichen Rosenbohrern bei der Exkavation der Dentinkaries. *Deutsch Zahnärztl Zeitsch* 60, 203-206

Doi J., Itota T., Torii Y., Nakabo S., Yoshiyama M. (2004a): Micro-tensile bond strength of self-etching primer adhesive systems to human coronal carious dentin. *J Oral Rehab* 31, 1023-1028

Doi J., Itota T., Torii Y., Nakabo S., Yoshiyama M. (2004b): Effect of 2-hydroxyethyl methacrylate pre-treatment on micro-tensile bond strength of resin composite to remineralized dentin. *J Oral Rehab* 31, 1061-1067

Duque C, Negrini Tde C, Sacono NT, Spolidorio DM, de Souza Costa CA, Hebling J. (2009): Clinical and microbiological performance of resin-modified glass-ionomer liners after incomplete dentine caries removal. *Clin Oral Investig* 13(4), 465-471

Frankenberger R., Heidemann D., Staehle H.J., Hellwig E., Blunck U., Hickel R. (2014): Neue Begriffe in der restaurativen Zahnerhaltung. *Dtsch Zahnärztl Z* 69, 722-734

Franzon R., Guimaraes L.F., Magalhaes C.E., Haas A.N., Araujo F.B. (2014): Outcomes of one-step incomplete and complete excavation in primary teeth: A 24-month randomized controlled trial. *Caries Res* 48, 376-383

Going R.E., Loesche W.J., Graininger D.A., Syed S.A. (1978): The viability of microorganisms in carious lesions five years after covering with a fissure sealant. *J Am Dent Assoc* 97(3), 455-462

Gu F., Bresciani E., Barata T.J., Fagundes T.C., Navarro M.F., Dickens S.H., Fenno J.C., Peters M.C. (2010): *In-vivo* acid etching effect on bacteria within caries-affected dentin. *Caries Res* 44(5), 472-477

Hamama H.H., Yiu C.K.Y., Burrow M.F., King N.M. (2013): Chemical, morphological and microhardness changes of dentine after chemomechanical caries removal. Aust Dent J 58, 283-292

Hellwig E., Klimek J., Attin T. (2013): Einführung in die Zahnerhaltung. Deutscher Zahnärzte Verlag Kap.1, 8-11, Kap. 2, 36-38

Hevinga M.A., Opdam N.J., Frencken J.E., Truin G.J., Huysmans M.C.D.N.J.M (2010): Does incomplete caries removal reduce strength of restored teeth? J Dent Res 89(11), 1270-1275

Hotz P.R. (2003): Muss Karies vollständig entfernt werden? Schweiz Monatsschr Zahnmed 113, 262-266

Ito S., Saito T., Tay F.R., Carvalho R.M., Yoshiyama M., Pashley D.H. (2004): Water content and apparent stiffness of non-caries versus caries-affected human dentin. Wiley InterScience, DOI 10.1002/jbm.b.30130

Kidd E.A.M. (2001): Diagnosis of secondary caries. J Dent Edu 65(10), 997-1000

Kidd E.A.M. (2004a): How "clean" must a cavity be before restoration? Caries Res 38, 305-313

Kidd E.A.M., Fejerskov O. (2004b): What constitutes dental caries? Histopathology of carious enamel and dentin related to the action of cariogenic biofilms. Caries Res 38(C), C35-C38

Kirsten GA, Takahashi MK, Rached RN, Giannini M, Souza EM. (2010): Microhardness of dentin underneath fluoride-releasing adhesive systems subjected to cariogenic challenge and fluoride therapy. J Dent 38(6), 460-468

Kunzelmann K-H., Koch J.H. (2011): Neue Erkenntnisse und selbstlimitierende Methoden. ZM 101 , Nr.13A, 42-48

Lai G, Zhu L, Xu X, Kunzelmann KH. (2014): An *in-vitro* comparison of fluorescence-aided caries excavation and conventional excavation by microhardness testing. Clin Oral Investig 18(2), 599-605

Leksell E., Ridell K., Cvek M., Mejare I. (1996): Pulp exposure after stepwise versus direct complete excavation of deep carious lesions in young posterior permanent teeth. *Endod Dent Traumatol* 12, 192-196

Lula E.C.O., Monteiro-Neto V., Alves C.M.C., Ribeiro C.C.C. (2009): Microbiological analysis after complete or partial removal of carious dentin in primary teeth: A randomized clinical trial. *Caries Res* 42, 103-109

Maltz M. (2011): Does incomplete caries removal increase restoration failure? *J Dent Res* 90(4), 541-542

Maltz M., Alves L.S. (2013): Incomplete caries removal significantly reduces the risk of pulp exposure and post-operative pulpal symptoms. *J Evid Based Dent Pract* 13(3), 120-122

Maltz M., Garcia J.J., Jardim J.J., de Paula L.M., Yamaguti P.M., K., Moura M.S., Garcia F., Nascimento C., Oliveira A., Mesttrinho H.D. (2012): Randomized trial of partial vs. stepwise caries removal: 3-year follow-up. *J Dent Res* 91(11), 1026-1031

Maltz M., Henz S.L., Oliveira E.F., Jardim J.J. (2012): Conventional caries removal and sealed caries in permanent teeth: a microbiological evaluation. *J Dent Res* 40(9), 776-782

Maltz M., Jardim J.J., Mesttrinho H.D., Yamaguti P.M., Podesta K., Moura M.S., de Paula L.M. (2013): Partial removal of carious dentine: A multicenter randomized controlled trial and 18-month follow-Up results. *Caries Res* 47, 103-109

Maltz M., Oliveira E.F., Fontanella V., Carminatti G. (2007): Deep caries lesions after incomplete dentine caries removal: 40-month follow-up study. *Caries Res* 41, 493-496

Marquezan M, Corrêa FN, Sanabe ME, Rodrigues Filho LE, Hebling J, Guedes-Pinto AC, Mendes FM. (2009): Artificial methods of dentine caries induction: A hardness and morphological comparative study. *Arch Oral Biol* 54(12), 1111-1117

Meredith N., Sherriff M., Setchell D.J., Swanson S.A.V. (1996): Measurement of the microhardness and Young's modulus of human enamel and dentine using an indentation technique. *Arch Oral Biol* 41(6), 539-545

Mertz-Fahrhurst E.J., Curtis J.W., Ergle J.W., Ruggenberg F.A., Adair S.M. (1998): Ultraconservative and cariostatic sealed restorations: Results at year 10. *JADA* 129, 55-66

Moosavi H., Kimyai S., Forghani M., Khodadadi R. (2013): The clinical effectiveness of various adhesive systems: An 18-month evaluation. *Oper Dent* 38(2), 134-141

Mollica F.B., Torres C.R.G., Concavives S.E., Mancini M.N.G. (2012): Dentine microhardness after different methods for detection and removal of carious dentine tissue. *J Appl Oral Sci* 20(4), 449-454

Neves A. de A., Coutinho E., De Munck J., Van Meerbeek B. (2011): Caries-removal effectiveness and minimal-invasiveness potential of caries-excitation techniques: A micro-CT investigation. *J Dent* 39, 154-162

Oliveira E.F., Carminatti G., Fontanella V., Maltz M. (2006): The monitoring of deep caries lesions after incomplete dentine caries removal: results after 14-18 months. *Clin Oral Investig* 10(2), 134-139

Pallesen U., van Dijken J.W.V. (2015): A randomized controlled 30 years follow up of three conventional resin composites in Class II restorations. *Dent Mat* 31, 1232-1244

Paris H., Meyer-Lückel H. (2012): Paradigmenwechsel. In: Meyer-Lückel et al.: *Karies*, Thieme (72-74)

Petrou M.A., Alhamoui F.A., Welk A., Altarabulsi M.B., Alkilzy M., Splieth H. (2013): A randomized clinical trial on the use of medical Portland cement, MTA and calcium hydroxide in direct pulp treatment. *Clin Oral Investig*

Pugach M.K., Strother J., Darling C.L., Fried D., Gansky S.A., Marshall S.J., Marshall G.W. (2009): Dentin caries zones: Mineral, structure, and properties. *J Dent Res* 88, 71-76

Ramamoortthi S., Nivedhitha M.S., Vanajassun P.P. (2013): Effect of two different chemomechanical caries removal agents on dentin microhardness: An in vitro study. *J Conserv Dent* 16(15), 429-433

Ricketts D., Lamont T., Innes N.P., Kidd E., Clarkson J.E. (2013): Operative caries management in adults and children. *Chochrane Database Syst Rev* 3

Rupf S., Hannig C., Hannig M. (2014): Kariesprophylaxe- aktueller Stand und zukünftige Herausforderungen. *Dtsch Zahnärztl Z* 69, 594-606

Sakoolnamarka R., Burrow M.F., Kubo S., Tyas M.J. (2002): Morphological study of demineralized dentine after caries removal using two different methods. Aust Dent J 47(2), 116-122

Santiago B.M., Ventin D.A., Primo L.G., Barcelos R. (2005): Microhardness of dentine underlying ART restorations in primary molars: an *in-vivo* pilot study. Br Dent J 199(2), 103-106

Schwendicke F., Dörfer C.E. and Paris S. (2013a): Incomplete Caries Removal: A Systematic Review and Meta-analysis. J Dent Res 92(4), 306-314

Schwendicke F., Meyer-Lueckel H. Dörfer C.E., Paris S. (2013b): Attitudes and Behaviour regarding Deep Dentin Caries Removal: A Survey among German Dentists. Caries Res 47, 566-573

Schwendicke F., Meyer-Lueckel H. Dörfer C.E., Paris S. (2013c): Failure of incompletely excavated teeth- A systematic review. J Dent 41, 569-580

Schwendicke F., Stolpe M., Meyer-Lueckel H. Dörfer C.E., Paris S. (2013d): Cost-effectiveness of one- and two-step incomplete excavations. J Dent Res 92(10), 880-887

Schwendicke F., Kern M., Meyer-Lueckel H., Boels A., Dörfer C.E., Paris S. (2013e): Fracture resistance and cuspal deflection of incompletely excavated teeth. J Dent 42(2), 107-113

Schwendicke F., Kern M., Blunck U., Dörfer C., Drenck J., Paris S. (2014): Marginal integrity and secondary caries of selectively excavated teeth *in-vitro*. J Dent 42, 1261-1268

Schwendicke F., Paris S. (2014): Kariesexkavation: Ein systematischer Überblick. Dtsch Zahnärztl Z 69, 456-466

Shimizu A., Nakashima S., Nikaido T., Sugawara T., Yamamoto T., Momoi Y. (2013): Newly developed hardness testing system, "Cariotester": Measurement principles and development of a program for measuring Knoop hardness of carious dentin. Dent Mater J 32(4), 643-647

Smales R.J., Ngo H.C., Yip K.H., Yu C. (2005): Clinical effects of glass ionomer restorations on residual carious dentin in primary molars. Am J Dent 18(3), 188-193

Thompson V., Craig R.G., Green W.S., Ship J.A. (2008): Deep or partial removal: which is best? J Evid Based Dent Pract 10, 71-72

Toledano M., Ghinea R., Cardona J.C., Cabello I., Yamauti M., Pérez M.M., Osorio R. (2013): Digital image analysis method to assess the performance of conventional and self-limiting concepts in dentine caries removal. J Dent 41s, e31-e38

Tsolmon L. (2008): Charakterisierung von Dentinoberflächen nach Bearbeitung mit neuen, minimal-invasiven und selbstlimitierenden Präparationsverfahren. Dissertation

Van Ende A., De Munck J., Van Landuyt K.L., Poitevin A., Peumans M., Van Meerbeek B. (2013): Bulk-filling of high C-factor posterior cavities: Effekt on adhesion to cavity-bottom dentin. Dent Mater J 29, 269-277

Weerheijm K.L., de Soet J.J., van Amerongen W.E., de Graaff J. (1992): Sealing of occlusal hidden caries lesions: An alternative for curative treatment? ASDC J Dent Child 59(4), 263-268

Wolff D., Kensche A., Rupf S., Hannig M., Hannig C. (2014): Der orale Biofilm- neue Perspektiven zu einem alten Thema? Dtsch Zahnärztl Z 69, 658-673

Zesewitz H., Klaiber B., Hotz P., Hugo B. (2005): Kavitätenmikromorphologie nach Kariesexkavation. Schweiz Monatsschr Zahnmed 115, 896-902

Ziskind D., Mass E., Watson T.F. (2007): Effect of different restorative materials on caries: aretropolispective *in-vivo* study. Quintessence Int 38(5), 429-434

7. Danksagung

Mein ganz besonders herzlicher Dank gilt Herrn Prof. Dr. med. dent. Stefan Rupf für die hervorragende Betreuung und Unterstützung während der Durchführung dieser Arbeit.

Herrn Prof. Dr. med. dent. Matthias Hannig, Direktor der Klinik für Zahnerhaltung, Parodontologie und Präventive Zahnheilkunde der Universität des Saarlandes, danke ich ganz herzlich für die gewährte Unterstützung und Anregungen.

Bei Herrn Dr. med. dent. Muhammad Al Muhammad bedanke ich mich herzlich für seine Unterstützung bei der Durchführung der Arbeit.

Ganz besonders herzlich möchte ich mich bei meiner Familie und meinen Praxismitarbeiterinnen für die Unterstützung während dieser Zeit bedanken.

8. Lebenslauf

9. Anhang

Tabelle 4: Darstellung der Ergebnisse aus den Vorversuchen zur Härtemessung

Vickershärte	Probe 1	Probe 2	Probe 3	Probe 4	Probe 5
Ketac Bond	50	52,6	48,7	45,8	52,9
Belastung mit 50p/10s	47,7	49	51,1	50	51,8
	49	48,3	50,4	49,7	55,7
	48,7	54,1	51,8	53,7	49,3
	51,5	51,5	50,7	50,4	56,1
Mittelwert einer Probe	49,38	51,1	50,54	49,92	53,16
Mittelwert gesamt	50,82				
Durelon 0,15g:0,1g	16,4	14,7	15,1	14,5	15,4
Belastung mit 50p/10s	16	16,9	15,4	16,5	15
	16,3	14,8	17	16,4	16,2
	15,7	17,3	15,6	14,8	14,5
	17,4	14,8	14,5	15,4	16,4
Mittelwert einer Probe	16,36	15,7	15,52	15,52	15,5
Mittelwert gesamt	15,72				
Durelon 0,2g:0,1g	20,9	19	19	20,3	18,5
Belastung mit 50p/10s	21,8	20,8	18,3	19,2	20,5
	19	20,4	19,4	19,5	18,3

Anhang

	19,8	19,4	18,4	18,7	22
	20,3	19,6	18,8	20	19
Mittelwert einer Probe	20,36	19,84	18,78	19,54	19,66
Mittelwert gesamt	19,636				
Durelon 0,25g:0,1g	30,3	34,4	31,4	29,1	30,6
Belastung mit 50p/10s	27,9	29	31,6	28,4	31,6
	30,9	32,2	29,5	29,6	28,4
	29,2	30,1	30,4	28,1	29,5
	30,6	30,9	31,3	30,8	31,4
Mittelwert einer Probe	29,78	31,32	30,84	29,2	30,3
Mittelwert gesamt	30,288				
Cavit G	2,3	2,1	2,2	3,5	2,5
Belastung mit 10p/5s	1,6	2,3	2,4	2,1	2,1
	2	2,5	2	2,3	2
	2,9	1,9	3,1	2,4	2,7
	3,4	2	2,9	2,9	2,9
Mittelwert einer Probe	2,44	2,16	2,52	2,64	2,44
Mittelwert gesamt	2,44				

Analyse Randschluss Zahnschmelz-Füllung nach Legen der Füllung

Tabelle 5: Darstellung der Ergebnisse der Analyse im Lichtmikroskop aus Gruppe 1 (Ketac) als prozentuale Anteile von Score 0 (=spaltfrei), 1(=Imperfektion), 2(=Randspalt) im Zahnschmelz vor den Versuchen.

Daten vor Belastung	Ketac S=0	Ketac S=1	Ketac S=2	Kontr S=0	Kontr S=1	Kontr S=2
	Schmelz	Schmelz	Schmelz	Schmelz	Schmelz	Schmelz
Probe 1/2	100	0	0	95	5	0
Probe 3/4	92,7	2,4	4,9	87,5	0	12,5
Probe 5/6	100	0	0	97,4	2,6	0
Probe 7/8	95,3	4,7	0	97,7	2,3	0
Probe 9/10	95,1	4,9	0	97,6	2,4	0
Probe 11/12	95,5	4,5	0	95,7	4,3	0
Probe 13/14	98,8	1,2	0	90	10	0
Probe 15/16	95,2	4,8	0	95,1	4,9	0

Analyse	Ketac S=0	Ketac S=1	Ketac S=2	Ketac-Kontr S=0	Ketac-Kontr S=1	Ketac-Kontr S=2
vor Belastung						
q1 (25%)	95,175	0,9	0	93,75	2,375	0
min	92,7	0	0	87,5	0	0
median	95,4	3,45	0	95,4	3,45	0
max	100	4,9	4,9	97,7	10	12,5
q3 (75%)	99,1	4,725	0	97,45	4,925	0

Tabelle 6: Darstellung der Ergebnisse der Analyse im Lichtmikroskop aus Gruppe 2 (Cavit G) als prozentuale Anteile von Score 0 (=spaltfrei), 1(=Imperfektion), 2(=Randspalt) im Zahnschmelz vor den Versuchen.

Daten vor Belas- tung	Cavit S=0	Cavit S=1	Cavit S=2	Kontr S=0	Kontr S=1	Kontr S=2
	Schmelz	Schmelz	Schmelz	Schmelz	Schmelz	Schmelz
Probe 17/18	97,8	0	2,2	100	0	0
Probe 19/20	100	0	0	100	0	0
Probe 21/22	91,1	0	8,9	87	13	0
Probe 23/24	90,5	9,5	0	98,8	1,2	0
Probe 25/26	100	0	0	88,3	2,4	11,7
Probe 27/28	100	0	0	92,5	5	2,5
Probe 29/30	100	0	0	95	0	5
Probe 31/32	93,6	6,4	0	100	0	0

Analyse	Cavit S=0	Cavit S=1	Cavit S=2	Cavit- Kontr S=0	Cavit-Kontr S=1	Cavit- Kontr S=2
vor Belas- tung						
q1 (25%)	92,975	0	0	91,45	0	0
min	90,5	0	0	87	0	0
median	98,9	0	0	96,9	0,6	0
max	100	9,5	8,9	100	13	11,7
q3 (75%)	100	1,6	0,55	100	3,05	3,125

Tabelle 7: Darstellung der Ergebnisse der Analyse im Lichtmikroskop aus Gruppe3 (Durelon 0,2g) als prozentuale Anteile von Score 0 (=spaltfrei), 1(=Imperfektion), 2(=Randspalt) im Zahnschmelz vor den Versuchen.

Daten vor Belas- tung	Durelon 0,2g S=0	Durelon 0,2g S=1	Durelon 0,2g S=2	Kontr S=0	Kontr S=1	Kontr S=2
	Schmelz	Schmelz	Schmelz	Schmelz	Schmelz	Schmelz
Probe 33/34	97,5	2,5	0	100	0	0
Probe 35/36	100	0	0	96,3	3,7	0
Probe 37/38	93,2	6,8	0	95	5	0
Probe 39/40	98,8	1,2	0	97,5	2,5	0
Probe 41/42	90	10	0	100	0	0
Probe 43/44	96,3	3,7	0	88,8	11,2	0
Probe 45/46	95,2	4,8	0	100	0	0
Probe 47/48	92,5	7,5	0	97,6	2,4	0

Analyse	Durelon 0,2g S=0	Durelon 0,2g S=1	Durelon 0,2g S=2	Durelon 0,2g-Kontr S=0	Durelon 0,2g-Kontr S=1	Durelon 0,2g-Kontr S=2
q1 (25%)	93,025	2,175	0	95,975	0	0
min	90	0	0	88,8	0	0
median	95,75	4,25	0	97,55	2,45	0
max	100	10	0	100	11,2	0
q3 (75%)	97,825	6,975	0	100	4,025	0

Tabelle 8: Darstellung der Ergebnisse der Analyse im Lichtmikroskop aus Gruppe 4 (Durelon 0,25g) als prozentuale Anteile von Score 0 (=spaltfrei), 1(=Imperfektion), 2(=Randspalt) im Zahnschmelz vor den Versuchen.

Daten vor Belastung	Durelon 0,25g S=0	Durelon 0,25g S=1	Durelon 0,25g S=2	Kontr S=0	Kontr S=1	Kontr S=2
	Schmelz	Schmelz	Schmelz	Schmelz	Schmelz	Schmelz
Probe 49/50	100	0	0	92,5	7,5	0
Probe 51/52	95,3	4,7	0	97,6	2,4	0
Probe 53/54	97,5	2,5	0	92,7	7,3	0
Probe 55/56	100	0	0	94	6	0
Probe 57/58	92,5	5	2,5	100	0	0
Probe 59/60	97,3	2,7	0	92,1	7,9	0
Probe 61/62	98,9	1,1	0	95,3	4,7	0
Probe 63/64	97,7	2,3	0	97,8	2,2	0

Analyse	Durelon 0,25g S=0	Durelon 0,25g S=1	Durelon 0,25g S=2	Kontr S=0	Kontr S=1	Kontr S=2
vor Belastung	Schmelz	Schmelz	Schmelz	Schmelz	Schmelz	Schmelz
q1 (25%)	96,8	0,825	0	92,65	2,35	0
min	92,5	0	0	92,1	0	0
median	97,6	2,4	0	94,65	5,35	0
max	100	5	2,5	100	7,9	0
q3 (75%)	99,175	3,2	0	97,65	7,35	0

Analyse Randschluss Zahnschmelz-Füllung nach Thermocycling

Tabelle 9: Darstellung der Ergebnisse der Analyse im Lichtmikroskop aus Gruppe 1 (Ketac) als prozentuale Anteile von Score 0 (=spaltfrei), 1(=Imperfektion), 2(=Randspalt) im Zahnschmelz nach dem Thermocycling.

Daten	Ketac S=0	Ketac S=1	Ketac S=2	Kontr S=0	Kontr S=1	Kontr S=2
	Schmelz	Schmelz	Schmelz	Schmelz	Schmelz	Schmelz
nach TC						
Probe 1/2	94	2,4	3,6	95	5	0
Probe 3/4	72	13,4	14,6	86,3	1,2	12,5
Probe 5/6	90,5	9,5	0	97,4	2,6	0
Probe 7/8	95,3	2,3	2,4	89,5	10,5	0
Probe 9/10	92,7	7,3	0	92,7	7,3	0
Probe 11/12	95,5	4,5	0	95,7	4,3	0
Probe 13/14	97,7	2,3	0	82,5	17,5	0
Probe 15/16	95,2	4,8	0	95,1	4,9	0

Analyse	Ketac S=0	Ketac S=1	Ketac S=2	Ketac-Kontr S=0	Ketac-Kontr S=1	Ketac-Kontr S=2
nach TC						
q1 (25%)	92,15	2,375	0	88,7	3,875	0
min	72	2,3	0	82,5	1,2	0
median	94,6	4,65	0	93,85	4,95	0
max	97,7	13,4	14,6	97,4	17,5	12,5
q3 (75%)	95,35	7,85	2,7	95,25	8,1	0

Tabelle 10: Darstellung der Ergebnisse der Analyse im Lichtmikroskop aus Gruppe 2 (CavitG) als prozentuale Anteile von Score 0 (=spaltfrei), 1(=Imperfektion), 2(=Randspalt) im Zahnschmelz nach dem Thermocycling.

Daten	Cavit S=0	Cavit S=1	Cavit S=2	Kontr S=0	Kontr S=1	Kontr S=2
	Schmelz	Schmelz	Schmelz	Schmelz	Schmelz	Schmelz
nach TC						
Probe 17/18	81,1	5,6	13,3	100	0	0
Probe 19/20	89,5	3,5	7	93	0	7
Probe 21/22	77,8	2,2	20	80,4	15,2	4,4
Probe 23/24	84,5	10,7	4,8	93	4,7	2,3
Probe 25/26	97,7	2,3	0	89,4	0	10,6
Probe 27/28	100	0	0	87,5	6,2	6,3
Probe 29/30	90,5	7,1	2,4	95	0	5
Probe 31/32	81,3	3,8	17,5	93,8	6,2	0

Analyse	Cavit S=0	Cavit S=1	Cavit S=2	Cavit-Kontr S=0	Cavit-Kontr S=1	Cavit-Kontr S=2
nach TC						
q1 (25%)	81,25	2,275	1,8	88,925	0	1,725
min	77,8	0	0	80,4	0	0
median	87	3,65	5,9	93	2,35	4,7
max	100	10,7	20	100	15,2	10,6
q3 (75%)	92,3	5,975	14,35	94,1	6,2	6,475

Tabelle 11: Darstellung der Ergebnisse der Analyse im Lichtmikroskop aus Gruppe 3 (Durelon 0,2g) als prozentuale Anteile von Score 0 (=spaltfrei), 1(=Imperfektion), 2(=Randspalt) im Zahnschmelz nach dem Thermocycling

Daten	Durelon 0,2g S=0	Durelon 0,2g S=1	Durelon 0,2g S=2	Kontr S=0	Kontr S=1	Kontr S=2
nach TC	Schmelz	Schmelz	Schmelz	Schmelz	Schmelz	Schmelz
Probe 33/34	90	10	0	100	0	0
Probe 35/36	97,8	2,2	0	93,8	6,2	0
Probe 37/38	88,6	11,4	0	92,5	7,5	0
Probe 39/40	95	5	0	97,5	2,5	0
Probe 41/42	87,5	12,5	0	100	0	0
Probe 43/44	90	10	0	85	15	0
Probe 45/46	92,9	7,1	0	90,2	9,8	0
Probe 47/48	80	20	0	93,9	6,1	0

Analyse	Durelon 0,2g S=0	Durelon 0,2g S=1	Durelon 0,2g S=2	D 0,2g- Kontr S=0	D 0,2g- Kontr S=1	D 0,2g- Kontr S=2
nach TC						
q1 (25%)	88,325	6,575	0	91,925	1,875	0
min	80	2,2	0	85	0	0
median	90	10	0	93,85	6,15	0
max	97,8	20	0	100	15	0
q3 (75%)	93,425	11,675	0	98,125	8,075	0

Tabelle 12: Darstellung der Ergebnisse der Analyse im Lichtmikroskop aus Gruppe 4 (Durelon 0,25g) als prozentuale Anteile von Score 0 (=spaltfrei), 1(=Imperfektion), 2(=Randspalt) im Zahnschmelz nach dem Thermocycling

Daten	Durelon 0,25g S=0	Durelon 0,25g S=1	Durelon 0,25g S=2	Kontr S=0	Kontr S=1	Kontr S=2
nach TC	Schmelz	Schmelz	Schmelz	Schmelz	Schmelz	Schmelz
Probe 49/50	90	10	0	75	5	20
Probe 51/52	90,7	4,6	4,7	97,6	2,4	0
Probe 53/54	97,5	2,5	0	91,5	8,5	0
Probe 55/56	100	0	0	92,9	4,7	2,4
Probe 57/58	70	22,5	7,5	100	0	0
Probe 59/60	85,1	14,9	0	81,6	18,4	0
Probe 61/62	92	8	0	95,3	4,7	0
Probe 63/64	84,1	9,1	6,8	100	0	0

Analyse	Durelon 0,25g S=0	Durelon 0,25g S=1	Durelon 0,25g S=2	D 0,25g- Kontr S=0	D 0,25g- Kontr S=1	D 0,25g- Kontr S=2
nach TC						
q1 (25%)	84,85	4,075	0	89,025	1,8	0
min	70	0	0	75	0	0
median	90,35	8,55	0	94,1	4,7	0
max	100	22,5	7,5	100	18,4	20
q3 (75%)	93,375	11,225	5,225	98,2	5,875	0,6

Analyse Randschluss Zahnschmelz-Füllung nach vollständiger thermo-mechanischer Belastung

Tabelle 13: Darstellung der Ergebnisse der Analyse im Lichtmikroskop aus Gruppe 1 (Ketac) als prozentuale Anteile von Score 0 (=spaltfrei), 1(=Imperfektion), 2(=Randspalt) im Zahnschmelz nach der Kausimulation.

Daten	Ketac S=0	Ketac S=1	Ketac S=2	Kontr S=0	Kontr S=1	Kontr S=2
nach KS	Schmelz	Schmelz	Schmelz	Schmelz	Schmelz	Schmelz
Probe 1/2	91,7	4,8	3,5	95	5	0
Probe 3/4	68,3	17,1	14,6	82,5	0	17,5
Probe 5/6	77,4	22,6	0	89,7	10,3	0
Probe 7/8	95,3	2,3	2,4	79,1	18,6	2,3
Probe 9/10	75,6	24,4	0	90,2	9,8	0
Probe 11/12	88,6	11,4	0	95,7	4,3	0
Probe 13/14	96,5	2,3	1,2	70	30	0
Probe 15/16	89,3	10,7	0	93,9	1,2	4,9

Analyse	Ketac S=0	Ketac S=1	Ketac S=2	Ketac-Kontr S=0	Ketac-Kontr S=1	Ketac-Kontr S=2
nach KS						
q1 (25%)	76,95	4,175	0	81,65	3,525	0
min	68,3	2,3	0	70	0	0
median	88,95	11,05	0,6	89,95	7,4	0
max	96,5	24,4	14,6	95,7	30	17,5
q3 (75%)	92,6	18,475	2,675	94,175	12,375	2,95

Tabelle 14: Darstellung der Ergebnisse der Analyse im Lichtmikroskop aus Gruppe 2 (CavitG) als prozentuale Anteile von Score 0 (=spaltfrei), 1(=Imperfektion), 2(=Randspalt) im Zahnschmelz nach der Kausimulation.

Daten	Cavit S=0	Cavit S=1	Cavit S=2	Kontr S=0	Kontr S=1	Kontr S=2
nach KS	Schmelz	Schmelz	Schmelz	Schmelz	Schmelz	Schmelz
Probe 17/18	55,6	28,9	15,5	95,6	4,4	0
Probe 19/20	76,7	23,3	0	90,7	2,3	7
Probe 21/22	73,3	0	26,7	73,9	19,6	6,5
Probe 23/24	67,9	13,1	19	88,4	7	4,6
Probe 25/26	62,8	25,6	11,6	85,1	4,3	10,6
Probe 27/28	88,9	11,1	0	70	10	20
Probe 29/30	57,1	26,2	16,7	85	6,2	8,8
Probe 31/32	55	15	30	90	10	0

Analyse	Cavit S=0	Cavit S=1	Cavit S=2	Cavit-Kontr S=0	Cavit-Kontr S=1	Cavit-Kontr S=2
nach KS						
q1 (25%)	56,725	12,6	8,7	82,225	4,375	3,45
min	55	0	0	70	2,3	0
median	65,35	19,15	16,1	86,75	6,6	6,75
max	88,9	28,9	30	95,6	19,6	20
q3 (75%)	74,15	25,75	20,925	90,175	10	9,25

Tabelle 15: Darstellung der Ergebnisse der Analyse im Lichtmikroskop aus Gruppe 3 (Durelon 0,2g) als prozentuale Anteile von Score 0 (=spaltfrei), 1(=Imperfektion), 2(=Randspalt) im Zahnschmelz nach der Kausimulation.

Daten	Durelon 0,2g S=0	Durelon 0,2g S=1	Durelon 0,2g S=2	Kontr S=0	Kontr S=1	Kontr S=2
nach KS	Schmelz	Schmelz	Schmelz	Schmelz	Schmelz	Schmelz
Probe 33/34	77,5	12,5	10	95	5	0
Probe 35/36	82,2	13,3	4,5	92,5	7,5	0
Probe 37/38	68,2	20,5	11,3	90	10	0
Probe 39/40	70	17,5	12,5	91,3	8,7	0
Probe 41/42	80	20	0	82,1	7,7	10,2
Probe 43/44	72,5	22,5	5	66,3	25	8,7
Probe 45/46	78,6	10,7	10,7	70,7	29,3	0
Probe 47/48	50	50	0	73,2	26,8	0

Analyse	Durelon 0,2g S=0	Durelon 0,2g S=1	Durelon 0,2g S=2	D 0,2g- Kontr S=0	D 0,2g- Kontr S=1	D 0,2g- Kontr S=2
nach KS						
q1 (25%)	69,55	13,1	3,375	72,575	7,65	0
min	50	10,7	0	66,3	5	0
median	75	18,75	7,5	86,05	9,35	0
max	82,2	50	12,5	95	29,3	10,2
q3 (75%)	78,95	21	10,85	91,6	25,45	2,175

Tabelle 16: Darstellung der Ergebnisse der Analyse im Lichtmikroskop aus Gruppe 4 (Durelon 0,25g) als prozentuale Anteile von Score 0 (=spaltfrei), 1(=Imperfektion), 2(=Randspalt) im Zahnschmelz nach der Kausimulation.

Daten	Durelon 0,25g S=0	Durelon 0,25g S=1	Durelon 0,25g S=2	Kontr S=0	Kontr S=1	Kontr S=2
nach KS	Schmelz	Schmelz	Schmelz	Schmelz	Schmelz	Schmelz
Probe 49/50	100	0	0	50	25	25
Probe 51/52	67,4	27,9	4,7	69,5	28,1	2,4
Probe 53/54	60	40	0	91,5	8,5	0
Probe 55/56	69,1	21,4	9,5	92,9	4,7	2,4
Probe 57/58	85	12,5	2,5	100	0	0
Probe 59/60	67,6	24,3	8,1	81,6	18,4	0
Probe 61/62	86,4	9,1	4,5	90,6	4,7	4,7
Probe 63/64	72,7	15,9	11,4	100	0	0

Analyse	Durelon 0,25g S=0	Durelon 0,25g S=1	Durelon 0,25g S=2	D 0,25g- Kontr S=0	D 0,25g- Kontr S=1	D 0,25g- Kontr S=2
nach KS						
q1 (25%)	67,55	11,65	1,875	78,575	3,525	0
min	60	0	0	50	0	0
median	70,9	18,65	4,6	91,05	6,6	1,2
max	100	40	11,4	100	28,1	25
q3 (75%)	85,35	25,2	8,45	94,675	20,05	2,975

Analyse Randschluss Dentin-Füllung nach dem Legen der Füllung

Tabelle 17: Darstellung der Ergebnisse der Analyse im Lichtmikroskop aus Gruppe 1 (Ketac) als prozentuale Anteile von Score 0 (=spaltfrei), 1(=Imperfektion), 2(=Randspalt) im Dentin vor den Versuchen.

Daten vor Belastung	Ketac S=0	Ketac S=1	Ketac S=2	Kontr S=0	Kontr S=1	Kontr S=2
	Dentin	Dentin	Dentin	Dentin	Dentin	Dentin
Probe 1/2	82	14	4	95,8	4,2	0
Probe 3/4	91,7	0	8,3	100	0	0
Probe 5/6	84	16	0	92	8	0
Probe 7/8	95,5	4,5	0	92,3	7,7	0
Probe 9/10	95,8	4,2	0	95,8	4,2	0
Probe 11/12	95,8	4,2	0	93,5	2,2	4,3
Probe 13/14	96,3	3,7	0	100	0	0
Probe 15/16	87,5	12,5	0	100	0	0

Analyse	Ketac S=0	Ketac S=1	Ketac S=2	Ketac-Kontr S=0	Ketac-Kontr S=1	Ketac-Kontr S=2
vor Belastung						
q1 (25%)	86,625	4,075	0	93,2	0	0
min	82	0	0	92	0	0
median	93,6	4,35	0	95,8	3,2	0
max	96,3	16	8,3	100	8	4,3
q3 (75%)	95,8	12,875	1	100	5,075	0

Tabelle 18: Darstellung der Ergebnisse der Analyse im Lichtmikroskop aus Gruppe 2 (CavitG) als prozentuale Anteile von Score 0 (=spaltfrei), 1(=Imperfektion), 2(=Randspalt) im Dentin vor den Versuchen.

Daten vor Belas- tung	Cavit S=0	Cavit S=1	Cavit S=2	Kontr S=0	Kontr S=1	Kontr S=2
	Dentin	Dentin	Dentin	Dentin	Dentin	Dentin
Probe 17/18	70,8	20,8	8,4	95,7	4,3	0
Probe 19/20	95,8	4,2	0	96,3	3,7	0
Probe 21/22	76	0	24	100	0	0
Probe 23/24	96,4	3,6	0	84	0	16
Probe 25/26	100	0	0	100	4,2	0
Probe 27/28	97,8	0	2,2	93,7	6,3	0
Probe 29/30	90,4	1,9	7,7	93,8	0	6,2
Probe 31/32	100	0	0	92,9	7,1	0

Analyse	Cavit S=0	Cavit S=1	Cavit S=2	Cavit- Kontr S=0	Cavit- Kontr S=1	Cavit-Kontr S=2
vor Belas- tung						
q1 (25%)	86,8	0	0	93,5	0	0
min	70,8	0	0	84	0	0
median	96,1	0,95	1,1	94,75	3,95	0
max	100	20,8	24	100	7,1	16
q3 (75%)	98,35	3,75	7,875	97,225	4,8	1,55

Tabelle 19: Darstellung der Ergebnisse der Analyse im Lichtmikroskop aus Gruppe 3 (Durelon0,2g) als prozentuale Anteile von Score 0 (=spaltfrei), 1(=Imperfektion), 2(=Randspalt) im Dentin vor den Versuchen.

Daten vor Belas- tung	Durelon 0,2g S=0	Durelon 0,2g S=1	Durelon 0,2g S=2	Kontr S=0	Kontr S=1	Kontr S=2
	Dentin	Dentin	Dentin	Dentin	Dentin	Dentin
Probe 33/34	75	8,3	16,7	70,5	2,3	27,2
Probe 35/36	86,4	9,1	4,5	87,5	4,2	8,3
Probe 37/38	95,8	4,2	0	97,9	2,1	0
Probe 39/40	95,7	4,3	0	87,5	6,2	6,3
Probe 41/42	100	0	0	96,2	3,8	0
Probe 43/44	100	0	0	97,9	2,1	0
Probe 45/46	84	8	8	79,2	0	20,8
Probe 47/48	100	0	0	97,7	2,3	0

Analyse	Durelon 0,2g S=0	Durelon 0,2g S=1	Durelon 0,2g S=2	D 0,2g- Kontr S=0	D 0,2g- Kontr S=1	D 0,2g- Kontr S=2
vor Belas- tung						
q1 (25%)	85,8	0	0	85,425	2,1	0
min	75	0	0	70,5	0	0
median	95,75	4,25	0	91,85	2,3	3,15
max	100	9,1	16,7	97,9	6,2	27,2
q3 (75%)	100	8,075	5,375	97,75	3,9	11,425

Tabelle 20: Darstellung der Ergebnisse der Analyse im Lichtmikroskop aus Gruppe 4 (Durelon0,25g) als prozentuale Anteile von Score 0 (=spaltfrei), 1(=Imperfektion), 2(=Randspalt) im Dentin vor den Versuchen.

Daten vor Belas- tung	Durelon 0,25g S=0	Durelon 0,25g S=1	Durelon 0,25g S=2	Kontr S=0	Kontr S=1	Kontr S=2
	Dentin	Dentin	Dentin	Dentin	Dentin	Dentin
Probe 49/50	88,5	3,8	7,7	95,8	4,2	0
Probe 51/52	96,2	3,8	0	92	8	0
Probe 53/54	96,7	3,3	0	98,1	1,9	0
Probe 55/56	100	0	0	100	0	0
Probe 57/58	92,3	7,7	0	79,2	12,5	8,3
Probe 59/60	100	0	0	100	0	0
Probe 61/62	100	0	0	65,4	34,6	0
Probe 63/64	88	12	0	96	4	0

Analyse	Durelon 0,25g S=0	Durelon 0,25g S=1	Durelon 0,25g S=2	D 0,25g- Kontr S=0	D 0,25g- Kontr S=1	D 0,25g- Kontr S=2
vor Belas- tung						
q1 (25%)	91,35	0	0	88,8	1,425	0
min	88	0	0	65,4	0	0
median	96,45	3,55	0	95,9	4,1	0
max	100	12	7,7	100	34,6	8,3
q3 (75%)	100	4,775	0	98,575	9,125	0

Analyse Randschluss Dentin-Füllung nach vollständiger Thermocycling

Tabelle 21: Darstellung der Ergebnisse der Analyse im Lichtmikroskop aus Gruppe 1 (Ketac) als prozentuale Anteile von Score 0 (=spaltfrei), 1(=Imperfektion), 2(=Randspalt) im Dentin nach dem Thermocycling.

Daten	Ketac S=0	Ketac S=1	Ketac S=2	Kontr S=0	Kontr S=1	Kontr S=2
	Dentin	Dentin	Dentin	Dentin	Dentin	Dentin
nach TC						
Probe 1/2	72	24	4	91,7	8,3	0
Probe 3/4	83,3	8,3	8,4	100	0	0
Probe 5/6	80	20	0	92	8	0
Probe 7/8	88,6	11,4	0	90,4	9,6	0
Probe 9/10	100	0	0	91,7	0	8,3
Probe 11/12	97,9	2,1	0	91,3	0	8,7
Probe 13/14	96,3	3,7	0	97,8	2,2	0
Probe 15/16	85,7	3,6	10,7	100	0	0

Analyse	Ketac S=0	Ketac S=1	Ketac S=2	Ketac-Kontr S=0	Ketac-Kontr S=1	Ketac-Kontr S=2
nach TC						
q1 (25%)	82,475	3,225	0	91,6	0	0
min	72	0	0	90,4	0	0
median	87,15	6	0	91,85	1,1	0
max	100	24	10,7	100	9,6	8,7
q3 (75%)	96,7	13,55	5,1	98,35	8,075	2,075

Tabelle 22: Darstellung der Ergebnisse der Analyse im Lichtmikroskop aus Gruppe 2 (CavitG) als prozentuale Anteile von Score 0 (=spaltfrei), 1(=Imperfektion), 2(=Randspalt) im Dentin nach dem Thermocycling.

Daten	Cavit S=0	Cavit S=1	Cavit S=2	Kontr S=0	Kontr S=1	Kontr S=2
	Dentin	Dentin	Dentin	Dentin	Dentin	Dentin
nach TC						
Probe 17/18	62,5	12,5	25	95,7	4,3	0
Probe 19/20	91,7	0	8,3	79,6	5,6	14,8
Probe 21/22	28	0	72	91,7	8,3	0
Probe 23/24	78,6	14,3	7,1	84	0	16
Probe 25/26	96,3	3,7	0	93,5	2,2	4,3
Probe 27/28	89,1	8,7	2,2	83,3	4,2	12,5
Probe 29/30	88,5	0	11,5	91,7	0	8,3
Probe 31/32	88	12	0	96	0	4

Analyse	Cavit S=0	Cavit S=1	Cavit S=2	Cavit-Kontr S=0	Cavit-Kontr S=1	Cavit-Kontr S=2
nach TC						
q1 (25%)	74,575	0	1,65	83,825	0	3
min	28	0	0	79,6	0	0
median	88,25	6,2	7,7	91,7	3,2	6,3
max	96,3	14,3	72	96	8,3	16
q3 (75%)	89,75	12,125	14,875	94,05	4,625	13,075

Tabelle 23: Darstellung der Ergebnisse der Analyse im Lichtmikroskop aus Gruppe 3 (Durelon 0,2g) als prozentuale Anteile von Score 0 (=spaltfrei), 1(=Imperfektion), 2(=Randspalt) im Dentin nach dem Thermocycling

Daten	Durelon 0,2g S=0	Durelon 0,2g S=1	Durelon 0,2g S=2	Kontr S=0	Kontr S=1	Kontr S=2
nach TC	Dentin	Dentin	Dentin	Dentin	Dentin	Dentin
Probe 33/34	79,2	4,2	16,6	68,2	4,5	27,3
Probe 35/36	65,9	9,1	25	87,5	4,2	8,3
Probe 37/38	89,6	10,4	0	91,7	8,3	0
Probe 39/40	82,6	17,4	0	77,1	12,5	10,4
Probe 41/42	96,3	0	3,7	96,2	3,8	0
Probe 43/44	87,5	12,5	0	89,6	10,4	0
Probe 45/46	80	8	12	75	4,2	20,8
Probe 47/48	92	8	0	97,7	2,3	0

Analyse	Durelon 0,2g S=0	Durelon 0,2g S=1	Durelon 0,2g S=2	D 0,2g- Kontr S=0	D 0,2g- Kontr S=1	D 0,2g- Kontr S=2
nach TC						
q1 (25%)	79,8	7,05	0	76,575	4,1	0
Min	65,9	0	0	68,2	2,3	0
median	85,05	8,55	1,85	88,55	4,35	4,15
Max	96,3	17,4	25	97,7	12,5	27,3
q3 (75%)	90,2	10,925	13,15	92,825	8,825	13

Tabelle 24: Darstellung der Ergebnisse der Analyse im Lichtmikroskop aus Gruppe 4 (Durelon 0,25g) als prozentuale Anteile von Score 0 (=spaltfrei), 1(=Imperfektion), 2(=Randspalt) im Dentin nach dem Thermocycling.

Daten	Durelon 0,25g S=0	Durelon 0,25g S=1	Durelon 0,25g S=2	Kontr S=0	Kontr S=1	Kontr S=2
	Dentin	Dentin	Dentin	Dentin	Dentin	Dentin
nach TC						
Probe 49/50	71,2	13,5	15,3	91,7	8,3	0
Probe 51/52	96,2	3,8	0	92	0	8
Probe 53/54	96,7	3,3	0	96,2	3,8	0
Probe 55/56	87,5	12,5	0	100	0	0
Probe 57/58	80,8	15,4	3,8	72,9	16,7	10,4
Probe 59/60	90,4	9,6	0	69,6	30,4	0
Probe 61/62	96,2	3,8	0	63,5	36,5	0
Probe 63/64	74	10	16	76	20	4

Analyse	Durelon 0,25g S=0	Durelon 0,25g S=1	Durelon 0,25g S=2	D 0,25g- Kontr S=0	D 0,25g- Kontr S=1	D 0,25g- Kontr S=2
nach TC						
q1 (25%)	79,1	3,8	0	72,075	2,85	0
Min	71,2	3,3	0	63,5	0	0
median	88,95	9,8	0	83,85	12,5	0
Max	96,7	15,4	16	100	36,5	10,4
q3 (75%)	96,2	12,75	6,675	93,05	22,6	5

Analyse Randschluss Dentin-Füllung nach vollständiger thermo-mechanischer Belastung

Tabelle 25: Darstellung der Ergebnisse der Analyse im Lichtmikroskop aus Gruppe 1 (Ketac) als prozentuale Anteile von Score 0 (=spaltfrei), 1(=Imperfektion), 2(=Randspalt) im Dentin nach der Kausimulation.

Daten	Ketac S=0	Ketac S=1	Ketac S=2	Kontr S=0	Kontr S=1	Kontr S=2
	Dentin	Dentin	Dentin	Dentin	Dentin	Dentin
nach KS						
Probe 1/2	72	20	8	79,2	20,8	0
Probe 3/4	83,3	8,3	8,4	91,7	8,3	0
Probe 5/6	58	22	20	86	14	0
Probe 7/8	56,8	29,5	13,7	88,5	3,8	7,7
Probe 9/10	87,5	4,2	8,3	88	4	8
Probe 11/12	95,8	4,2	0	76,1	13	10,9
Probe 13/14	92,6	0	7,4	87	8,7	4,3
Probe 15/16	78,6	5,4	16	98,1	1,9	0

Analyse	Ketac S=0	Ketac S=1	Ketac S=2	Ketac-Kontr S=0	Ketac-Kontr S=1	Ketac-Kontr S=2
nach KS						
q1 (25%)	68,5	4,2	7,85	84,3	3,95	0
Min	56,8	0	0	76,1	1,9	0
median	80,95	6,85	8,35	87,5	8,5	2,15
Max	95,8	29,5	20	98,1	20,8	10,9
q3 (75%)	88,775	20,5	14,275	89,3	13,25	7,775

Tabelle 26: Darstellung der Ergebnisse der Analyse im Lichtmikroskop aus Gruppe 2 (CavitG) als prozentuale Anteile von Score 0 (=spaltfrei), 1(=Imperfektion), 2(=Randspalt) im Dentin nach der Kausimulation.

Daten	Cavit S=0	Cavit S=1	Cavit S=2	Kontr S=0	Kontr S=1	Kontr S=2
	Dentin	Dentin	Dentin	Dentin	Dentin	Dentin
nach KS						
Probe 17/18	43,8	25	31,2	95,7	4,3	0
Probe 19/20	68,8	14,6	16,6	72,2	9,3	18,5
Probe 21/22	12	12	76	87,5	12,5	0
Probe 23/24	42,9	28,6	28,5	76	4	20
Probe 25/26	83,3	14,8	1,9	93,5	2,2	4,3
Probe 27/28	65,2	21,7	13,1	83,3	4,2	12,5
Probe 29/30	65,4	0	34,6	91,7	0	8,3
Probe 31/32	53,8	3,9	42,3	88	8	4

Analyse	Cavit S=0	Cavit S=1	Cavit S=2	Cavit-Kontr S=0	Cavit-Kontr S=1	Cavit-Kontr S=2
nach KS						
q1 (25%)	43,575	9,975	15,725	81,475	3,55	3
Min	12	0	1,9	72,2	0	0
Median	59,5	14,7	29,85	87,75	4,25	6,3
Max	83,3	28,6	76	95,7	12,5	20
q3 (75%)	66,25	22,525	36,525	92,15	8,325	14

Tabelle 27: Darstellung der Ergebnisse der Analyse im Lichtmikroskop aus Gruppe 3 (Durelon0,2g) als prozentuale Anteile von Score 0 (=spaltfrei), 1(=Imperfektion), 2(=Randspalt) im Dentin nach der Kausimulation.

Daten	Durelon 0,2g S=0	Durelon 0,2g S=1	Durelon 0,2g S=2	Kontr S=0	Kontr S=1	Kontr S=2
nach KS	Dentin	Dentin	Dentin	Dentin	Dentin	Dentin
Probe 33/34	50	8,3	41,7	81,4	9,1	9,5
Probe 35/36	43,2	15,9	40,9	72,9	10,4	16,7
Probe 37/38	66,7	12,5	20,8	87,5	8,3	4,2
Probe 39/40	30,4	26,1	43,5	66,7	18,8	14,5
Probe 41/42	55,6	25,9	18,5	84,6	7,7	7,7
Probe 43/44	87,5	0	12,5	58,3	41,7	0
Probe 45/46	80	4	16	55	24,2	20,8
Probe 47/48	72	28	0	61,4	38,6	0

Analyse	Durelon 0,2g S=0	Durelon 0,2g S=1	Durelon 0,2g S=2	D 0,2g- Kontr S=0	D 0,2g- Kontr S=1	D 0,2g- Kontr S=2
nach KS						
q1 (25%)	48,3	7,225	15,125	60,625	8,9	3,15
Min	30,4	0	0	55	7,7	0
median	61,15	14,2	19,65	69,8	14,6	8,6
Max	87,5	28	43,5	87,5	41,7	20,8
q3 (75%)	74	25,95	41,1	82,2	27,8	15,05

Tabelle 28: Darstellung der Ergebnisse der Analyse im Lichtmikroskop aus Gruppe 4 (Durelon0,25g) als prozentuale Anteile von Score 0 (=spaltfrei), 1(=Imperfektion), 2(=Randspalt) im Dentin nach der Kausimulation.

Daten	Durelon 0,25g S=0	Durelon 0,25g S=1	Durelon 0,25g S=2	Kontr S=0	Kontr S=1	Kontr S=2
nach KS	Dentin	Dentin	Dentin	Dentin	Dentin	Dentin
Probe 49/50	84,6	3,8	11,6	67,5	15,8	16,7
Probe 51/52	73,1	11,5	15,4	92	0	8
Probe 53/54	66,7	20	13,3	96,2	3,8	0
Probe 55/56	50	8,3	41,7	100	0	0
Probe 57/58	84,6	7,7	7,7	72,9	16,7	10,4
Probe 59/60	65,4	3,8	30,8	69,6	30,4	0
Probe 61/62	57,7	23,1	19,2	65,4	34,6	0
Probe 63/64	56	20	24	76	20	0

Analyse	Durelon 0,25g S=0	Durelon 0,25g S=1	Durelon 0,25g S=2	D 0,25g- Kontr S=0	D 0,25g- Kontr S=1	D 0,25g- Kontr S=2
nach KS						
q1 (25%)	57,275	6,725	12,875	69,075	2,85	0
min	50	3,8	7,7	65,4	0	0
median	66,05	9,9	17,3	74,45	16,25	0
max	84,6	23,1	41,7	100	34,6	16,7
q3 (75%)	75,975	20	25,7	93,05	22,6	8,6
