

Aus dem Funktionsbereich für Zahnärztliche Propädeutik/

Community Dentistry (Leiter: Prof. Dr. B. Kordaß)
der Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik und Werkstoffkunde
(Direktor: Prof. Dr. R. Biffar)
im Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
(Geschäftsführender Direktor: Prof. Dr. S. Hensel)
der Medizinischen Fakultät der Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald

**Untersuchungen zur photometrischen Beurteilung der
Paßgenauigkeit von feststitzendem Zahnersatz**

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des akademischen
Grades
Doktor der Zahnmedizin
(Dr. med. dent)
der Medizinischen Fakultät
der Ernst-Moritz-Arndt-Universität
Greifswald
1999

vorgelegt von:
Marc-Thilo Sagner
geb. am 08.07.1970
in Willich

Dekan:

1. Gutachter:

2. Gutachter:

Raum:

Tag der Disputation:

In Dankbarkeit

meinen Eltern

Danksagung

Ich danke ganz herzlich Herrn Prof. Dr. B. Kordaß für seine uneingeschränkte Unterstützung und jederzeit bereitwillige Betreuung meiner Dissertation.

Meinen besonderen Dank spreche ich Herrn Dipl. math. W. Müller, Frau U. Haberkorn, Herrn M. Gode, Herrn T. Sons, Herrn Dr. R. Svoboda, Herrn Prof. Dr. J. Mau, Herrn Prof. Dr. K. Gerharz und Frau G. Weber aus.

Inhalt

1. Einleitung und Problemstellung
2. Fragestellung
3. Material und Methode
 - 3.1. Herstellung der Untersuchungsobjekte
 - 3.1.1. Anfertigung eines Idealzahnstumpfes
 - 3.1.2. Test zum Ausschluß von Fehlerquellen
 - 3.1.3. Herstellung von 90 Vollgußkronen
 - 3.1.4. Definition und Eichung des konstanten Anpreßdruckes
 - 3.1.5. Herstellung von Silikonpräparate zur Spaltraumuntersuchung
 - 3.1.6. Zementierung der Gußrestauration unter konstantem Anpreßdruck
 - 3.2. Optische photometrische Darstellung des Kronspaltraumes
 - 3.2.1. Physikalische Grundlagen zur mathematischen Spaltraumberechnung
 - 3.2.2. Digitale Darstellung des photometrisch gemessenen Kronspaltraumes
 - 3.2.3. Eichung einer Referenzgröße zur Auswertung der digital dargestellten Silikonfilme und Auswertungsansatz
 - 3.2.4. Methoden zur Herstellung von geeichten Prüfkörpern (Vorversuche)
 - 3.2.4.1. Herstellung von dünn auslaufenden Silikonstreifen, deren Schichtstärke nach zwei mathematischen Formeln berechnet werden kann
 - 3.2.4.2. Messung der Absorption gefärbter Folien, welche der Absorption der Silikonpräparate entspricht
 - 3.2.4.3. Herstellung von Silikonprofilen mit einer digitalen Bügelmeßschraube
 - 3.2.5. Test zum Ausschluß von Fehlerquellen
 - 3.3. Mikroskopische Darstellung des Kronspaltraumes

- 3.3.1. Herstellung der Sägeschnitte
 - 3.3.2. Auswertung der Sägeschnitte und Vergleich mit der Photometrie
 - 3.4. Vergleich der Silikonpräparate mit den Sägeschnitten
 - 3.5. Statistische Auswertung
 - 3.6. Statistische Grundlagen
 - 3.6.1. Übereinstimmung
 - 3.6.2. Streuung
 - 3.6.3. Korrelationskoeffizienten
 - 3.6.4. Konfidenzintervall
 - 3.6.5. Signifikanz
- 4. Ergebnisse
 - 4.1. Ergebnisse der Vorversuche zur Eignung der Materialien
 - 4.1.1. Herstellung von dünn auslaufenden Silikonstreifen
 - 4.1.2. Messung der Absorption gefärbter Folien
 - 4.1.3. Herstellung von Silikonprofilen mit einer digitalen Bügelmeßschraube
 - 4.2. Statistik
 - 4.2.1. Übereinstimmung
 - 4.2.2. Streuung
 - 4.2.3. Korrelationskoeffizienten
 - 4.2.4. Konfidenzintervall
 - 4.2.5. Signifikanz
- 5. Diskussion
- 6. Zusammenfassung
- 7. Literaturverzeichnis
- 8. Anhang

Untersuchungen zur photometrischen Beurteilung der Paßgenauigkeit von festsitzendem Zahnersatz

1. Einleitung

Die Qualität von zahnärztlichen Restaurationen ist immer wieder Gegenstand von Forschungsarbeiten. Die Passung von zahnärztlichen Restaurationen, ihr präziser Anschluß an die gesunde Hartschubstanz des Zahnes im marginalen Kronenrandbereich sowie im gesamten Kroneninnenraum ist und bleibt ein zentrales Thema in der Zahnmedizin. Bei der prothetischen Versorgung mit Kronen und Brücken stellt die exakte Herstellung der zu inkorporierenden Objekte eine komplizierte Aufgabe dar [59]. Technisch ist es nicht möglich, Kronen und Brücken mikrometergenau an die gesunde Hartschubstanz anschließen zu lassen. Es entstehen immer Randfugen, die durch Befestigungszement geschlossen werden müssen. Ein weiteres zentrales Problem stellt deren qualitative Beurteilung nach objektiven und für den Zahnarzt in der Praxis überprüfbaren Kriterien vor diesem Schritt dar. Eine mangelnde Kontrolle der Suffizienz prothetischen Zahnersatzes kann durch die Entstehung von Sekundärkaries und Schädigungen des parodontalen Gewebes zu Mißerfolgen führen, die eine Wiederholungsversorgung der Restauration oder sogar den Zahnverlust nach sich ziehen können [60].

Die Paßgenauigkeit von festsitzendem Zahnersatz wird in der Literatur vielfach diskutiert. Ein Konsens besteht in der Forderung nach einem exakten Randschluß [1,2,3,4,5,6,7,8,14,16,18]. Es werden viele unterschiedliche Untersuchungsmethoden dargestellt. Das Belegen der Paßgenauigkeit sowie die Vergleichbarkeit [11] und die Reproduktion der Meßergebnisse zur kritischen Betrachtung stellen den Praktiker vor verschiedene Probleme [2,6,10,12]. Einige Methoden gehen über die Untersuchung des Randspaltes und des Randschlusses hinaus, indem sie

den gesamten Spaltraum zwischen dem beschliffenen Zahnstumpf und dem einzugliedernden Zahnersatz berücksichtigen [6,8,10,13,16,17, 19,20].

Diese Studie beschäftigt sich mit einer photometrischen Meßmethode zur Darstellung und Beurteilung des Spaltraumes in Hinblick auf eine Aussage über die Qualität des festsitzenden Zahnersatzes [11]. Ferner wird zur Einschätzung der Paßgenauigkeit des Gußobjektes der gesamte Spaltraum mit dem Kronenrand verglichen.

Für den Kliniker ist es von größter Wichtigkeit, vor der Inkorporation festsitzenden Zahnersatzes eine zuverlässige Aussage über dessen Paßgenauigkeit zu haben. Diese trägt deutlich zur Sicherung des Qualitätsstandards bei. Wie Körber [21] und Horn [18] feststellen, ist ein mangelhafter Sitz verantwortlich für Sekundärkaries im Kronenrandbereich und Parodontopathien am marginalen Saum der Gingiva mit deren Folgeerscheinungen im weiteren Verlauf der Erkrankungen. Nach Horn [18] ist ein schlechtpassendes Gußteil prädisponiert zu vorzeitiger Lockerung durch die Auflösung des Zementes bei eindringendem Speichel. Eichner [22] bezeichnet das marginale Parodontium in Kontakt mit dem Kronenrand als „locus minoris resistentiae“ und weist darauf hin, daß Körber [21] statistisch signifikante Ergebnisse für parodontale Veränderungen nur in Abhängigkeit von den Kronenrändern und der Mundhygiene fand. Dies trifft jedoch nicht für andere Ursachen, wie traumatische Okklusion oder Antagonistenkontakt zu, welche auch Faktoren der Paßgenauigkeit sind. Das Hauptaugenmerk gilt dem Randschluß oder dem Randspalt, welcher nicht überall gleich dimensioniert ist und dessen alleinige Betrachtung keine umfassende Aussage über die vollständige Paßgenauigkeit zuläßt. Der gesamte Spaltraum zwischen der Präparation und dem Gußobjekt wird in der Literatur weitgehend vernachlässigt. Der Erfolg einer Versorgung mit festsitzendem Zahnersatz ist nach Kerschbaum [23] jedoch nicht nur von den erwähnten Parametern abhängig, sondern wird ebenso durch die zahnärztliche Sorgfalt mitbe-

stimmt, welche von einer Reihe allgemeiner und spezifischer Voraussetzungen, die bei einer guten universitären Ausbildung beginnen und mit einer modernen Praxisausstattung inklusive entsprechender personeller Unterstützung und Labortechnik enden, abhängt. Auch die Patientenmitarbeit zeigt sich als ein wesentlicher, jedoch nicht zu standardisierender Faktor. Das Thema gibt nach Kordaß und Schrader [8] auch Diskussionsstoff auf standespolitischer Ebene. Die untersuchte Methode kann eine reproduzierbare und objektive Einschätzung des Zustandes einer zahnärztlichen Versorgung vor der definitiven Eingliederung geben. Sie soll aber nicht ein mechanistisches Qualitätsverständnis darstellen, da die beeinflussenden Determinanten nur zum Teil in der Gestaltungs- und Risikosphäre der Zahnärzte liegen, wie es Tiemann [11] beschreibt. Die Qualitätssicherung muß allerdings die Bedingung für eine qualitativ hochwertige zahnmedizinische Versorgung sein, wozu auch die Dokumentation der Arbeitsabläufe gehört, welche eine wichtige fachliche, organisatorische und juristische Grundlage darstellt. In diesem Zusammenhang weist Döring [16] auf die forensische Bedeutung der Paßgenauigkeit hin. Das Oberlandesgericht Frankfurt/Main beurteilte in einem höchstrichterlichen und somit rechtsbindenden Urteil das Einsetzen einer Krone trotz abstehender Ränder als einen Kunstfehler, der zugleich eine Körperverletzung gemäß § 823 BGB bedeutet [24].

Die exakte Paßform wird von verschiedenen Faktoren entscheidend beeinflusst. Bernstein et al. [3] nennen in diesem Zusammenhang die Art der Präparationsrandgestaltung [7], die Korngröße und Anmischkonsistenz des Befestigungszementes [4], die Herstellung des Gußobjektes im Labor [25] und den Zeitpunkt des Finierens während oder nach dem Zementieren [26]. Hanfland [27] führt die Abdruck-, Modell- und Gußgenauigkeit, die Oberflächenrauheit des Stumpfes sowie die Druckstärke und -dauer beim Einsetzen der Objekte als weitere Kriterien hinzu. Die Materialeigenschaften der verwendeten Werkstoffe und deren sachgemäße Verarbeitung müssen zum Ausschluß weiterer Fehlerquellen beachtet werden.

Rehberg [6] definiert den Randschluß als eine lineare Berührungslinie zweier verschiedener Materialien: der Krone und des Zahnstumpfes. Demnach könnte der Randschluß entweder überall an dieser Linie oder nur teilweise vorhanden sein, ein exakter Randschluß wäre demnach ein überall gleichmäßiges Anliegen oder ein überall glatter Übergang vom Kronenrand zum Schmelz. Der Randspalt wird von ihm als der Raum zwischen Zahnstumpf und Innenfläche des Kronenrandes beschrieben. Als eine gültige Definition für die Spaltbreitenmessung hat sich der Vorschlag Demmels [1] durchgesetzt: die „zervikale Diskrepanz“ bezeichnet den Abstand vom Kronenrand zur Präparationsgrenze und als „Randspalt“ gilt der Abstand von Kroneninnenkante zum Zahnstumpf. Im Folgenden wird ein Überblick über die in der Literatur diskutierten Untersuchungsergebnisse und die daraus abgeleiteten Forderungen geben:

Albert [29] beschreibt spaltfreie Gußfüllungen und solche, deren Spaltbreite im Laufe von bis zu 15 Jahren auf 250 μm zunehmen. Dies unterstreicht die Forderung nach einem Meßverfahren, welches den Qualitätsstand unmittelbar vor dem definitiven Eingliedern nachweist und dokumentiert. Boitel [30] fordert einen festen Sitz durch Preßpassung, was aus heutiger Sicht als überholt anzusehen ist. Bei Demmels Analysen [31] stellt sich ein Randspalt im Bereich von 5 bis 195 μm heraus, aus welchem er jedoch keinen Sollwert ableitet; so auch in einer Abhandlung von Marxkors [34], welcher fordert, einen definierten Spalt für die Zementfuge bei der Herstellung von Kronen und Brücken schon bei der zahntechnischen Laborarbeit einzukalkulieren. In einer Veröffentlichung von Dreyer-Jærgensen [32] wird die Mindestanforderung von 50 μm erhoben, auf welche in der Literatur zu Randspaltuntersuchungen sehr häufig Bezug genommen wird. Einfeldt [33] verlangt eine gesteuerte Ungenauigkeit im Sinne einer Spielpassung für die Zementfuge, welche je nach Korngröße des Zementes zwischen 20 und 50 μm liegen soll. Kluge und Binus [35] ließen in ihrer Studie verschiedene Behandler eine Gußfüllung an denselben Molaren herstellen und fanden Spaltdifferen-

zen zwischen 87 und 100 μm , was belegt, daß eine Standardisierung wegen der individuellen Anfertigung nicht möglich ist. Eine konkrete Definition für den Begriff: „exakter Randschluß“ findet sich in einer Arbeit Rehbergs [6]. Er verleiht Kronen mit einer maximalen Spaltbreite bis 20 μm dieses Prädikat. Die Toleranzbreite für die Paßgenauigkeit liegt bei ihm zwischen 20 und 50 μm . Voss [36,37,38] ist der Ansicht, daß ein exakter Randschluß makroskopisch fugenlos am Zahn anliegen muß und mit der Sonde nicht tastbar sein darf. Klinisch hält er 20 μm für optimal und den Bereich bis 50 μm für unbedenklich. Nach Weikart [4] läßt sich der Randspalt bestenfalls auf 25 μm reduzieren. Düsterhus leitet aus seinen Messungen an extrahierten, überkronten Zähnen eine anzustrebene Randfuge von < 160 μm ab [61]. Bei der Untersuchung von Parodontalschäden fanden Nordmeyer et al. mittlere Spalten von $187 \pm 71\mu\text{m}$. Sie befanden Werte unter 100 μm für wünschenswert [59]. Die Realität sieht anders aus. In-vivo-Großstudien belegen, daß mehr als 50 % der Kronenränder Undichtigkeiten in der Größenordnung von 300 bis 500 μm aufweisen oder noch unpräziser sind: Ludewig 647 μm (11-1283) [62], Spiekermann 382 μm (50-1425) [63], Donath 632 μm (39-5340) [64] und Müller 446 μm (169-892) [65].

Nach Durchsicht der aktuellen Literatur besteht Übereinstimmung in der allgemeinen Forderung nach einer Minimierung des Randspaltes. Die angegebenen Richtwerte erscheinen in der klinischen Situation jedoch unrealistisch, da sie sich auf Meßmethoden bei Laboruntersuchungen oder auf klinische Studien an zu extrahierenden Zähnen beziehen (photographisch, mechanisch, optisch, mikroskopisch, elektronenmikroskopisch, Penetrationstests mit Farbe oder radioaktiv markierten Träger-substanzen [40]). Somit ist eine Anwendung dieser Untersuchungsmethoden hinfällig, da sie aufgrund der Versuchsanordnungen nicht ohne weiteres auf die zahnärztliche Praxis übertragbar sind. Hier stehen dem Zahnarzt zur klinischen Untersuchung weniger aussagekräftige Methoden zur Verfügung: wie z. B. die optisch mechanische Beurteilung mit zahnärztlichem Spiegel und Sonde [6,8,9,41], bei der die Sicht und die

Palpation eingeschränkt sind und eine Maßabschätzung nicht möglich ist, oder die Röntgenkontrollaufnahme [16], bei welcher es zu Überlagerungen und Artefakten kommen kann. Die Aussagekraft eines zwischen Stumpf und Krone gepreßten Indikatorbands [42] ist nicht eindeutig genug. Bei den nicht am Patienten durchführbaren Meßverfahren ergibt sich nach Biffar [28] aus der sphärischen Gestalt der Randregion die Unsicherheit, ob die initiale Öffnung des Spaltes am Beginn der Rundung oder die minimale Breite in der Tiefe des Spaltes als Referenz gelten soll. Dies stellt die genaue Definition des Randspaltes von Demmel [1] in Frage, da die Meßergebnisse vom Ansatzpunkt der Messungen und der Meßrichtung abhängig sind. Die anhand von Schnitten gewonnenen Randspaltbreiten stellen nur einen sehr kleinen Ausschnitt des gesamten Kronenrandes dar, was die Aussagekraft von Untersuchungen nach solchen Methoden überdies einschränkt. Biffar schlägt daher vor, die Messungen in definierten Intervallen zirkulär vorzunehmen, um eine repräsentative Anzahl von Beobachtungen zur Beschreibung der Randspaltbreite und zur Durchführung statistischer Testungen zu erhalten. Dies erhöht zwar die Genauigkeit, läßt jedoch keine Aussage über die Paßform des gesamten Gußobjektes zu. Aus der Summe der Betrachtungsweisen läßt sich ableiten, daß eine Untersuchungsmethode, welche den gesamten Spaltraum einschließlich des Randspaltes berücksichtigt, von Nutzen ist, was in der Literatur ausgiebig diskutiert wird [8,13,16,17,19,20,39].

Es soll im folgenden eine fehlerfreie, reproduzierbare und dokumentierbare Methode vorgestellt werden, mit deren Hilfe jeder Punkt des Spaltraumes zwischen einem präparierten Zahnstumpf und dem einzugliedernden Zahnersatz auf seine tatsächliche Dimension hin überprüft werden kann. Als Ausgangspunkt für die Untersuchungen diene die Idee, den Spaltraum durch einen Silikonabdruck mit einer repräsentativen Anzahl von Vollgußkronen in seinem vollen Ausmaß darzustellen.

Um indirekte Fehlerquellen und Mängel der Meßungenaugigkeiten auszuschließen, wurde ein optisches Scan-Verfahren gewählt.

2. Fragestellung

Mit Hilfe der angegebenen Methode sollen folgende Fragen beantwortet werden:

1. Ist der gesamte Kronenspaltraum zur qualitativen Einschätzung der Paßgenauigkeit von feststehendem Zahnersatz von Interesse oder reicht die alleinige Beurteilung des Randspaltes aus?

2. Konnten die in der Literatur [6, 8, 10, 17,19] besprochenen Methoden zur Paßgenauigkeitskontrolle sinnvoll verifiziert werden?
3. Sind die Mängel älterer in der Literatur besprochener Ansätze [8, 12, 16] ausgeräumt?
4. Wie läßt sich der gesamte Spaltraum darstellen, welcher zwischen einem beschliffenen Zahnstumpf und dem dazu angefertigten Kronen-Brückenersatz besteht?
5. Erlaubt diese photometrische Darstellung eine exakte Beurteilung des Gesamtspaltraumes?
6. Entspricht der ermittelte Spaltraum dem tatsächlichen und läßt sich dieser anhand von Sägeschnitten überprüfen?
7. Lassen sich Aussagen über den marginalen Randspalt treffen?
8. Stehen die Ergebnisse der Spaltraumanalyse im Zusammenhang mit dem Randspalt?
9. Welches Volumen darf der Kronenspaltraum haben und ein wie großer Randspalt ist tolerierbar?
10. Handelt es sich bei der vorgestellten Methode um ein anwendbares Qualitätsprüfverfahren für festsitzenden Zahnersatz?

3. Material und Methode

3.1 Herstellung der Untersuchungsobjekte

3.1.1 Anfertigung eines Idealzahnstumpfes

Die Studie geht von einer nicht klinischen Versuchsanordnung aus. Es wurde jedoch versucht, möglichst praxisnah zu arbeiten, um realistische Ergebnisse zu erhalten und die Methode anwendungsfähig zu gestalten.

Als Objekt für die Untersuchungen wurde ein Frasacko[®] Zahn (24) gewählt. Dieser wurde mit dem F 1 Fräsgerät der Firma Degussa[®] (mit Komet K 9 der Firma KaVo[®]) und einer Konusfräse, die einen Winkel von 6° [8] besaß, beschliffen. Im Randbereich wurde eine Hohlkehle mit hochtourigem Diamanten angelegt. Ein Aufbiegen der Kronenränder durch den Anpreßdruck beim Zementieren konnte so, im Gegensatz zur Tangentialpräparation mit sehr dünn auslaufenden Rändern, vermieden werden. Zusätzlich ergab die marginale Abrundung einen erleichterten Abfluß des Befestigungsmaterials [3,14,51]. Die Präparationsgrenze verlief entlang der Schmelz-Zement-Grenze. Anschließend wurde der Zahnstumpf mit einem Hartmetallfinierer finiert. Für die spätere mikroskopische Untersuchung mußte die zu vermessende Stelle festgelegt werden, welche auch bei den Silikonpräparaten wiederauffindbar sein mußte. Zu diesem Zwecke wurde eine vertikal, von okklusal nach zervikal, über den Präparationsrand hinaus, über der Zahnstumpf und den Modellsockel verlaufende Rille an der bukkalen Fläche der Zahnstümpfe angelegt (s. Abb. 15/18). Diese diente als Meßansatz, da sie nach dem definitiven Zementieren am Kronenrand eindeutig wiederauffindbar war und sich in den Silikonfilmen als Verdickung darstellte. Unter 3.3.1 wird das später erfolgte Sägen der Kronenstumpfmodelle in der Markierungsrille beschrieben. Die Abformung erfolgte mit Provil P[®] + L[®] nach der Doppelmischtechnik; Kunststoffformen dienten zur Stabilisierung. Die Arbeitsmodelle wurden aus Superhartgips angefertigt (Moldano Bayer[®] und Fudji-Rock Fudji[®]). Insgesamt entstanden 100 Modelle. Die Arbeitsabläufe für die Anfertigung der Laborarbeiten entsprachen den Angaben von Körber [52], Lehmann [53] und Marxkors [54].



Abb. 1: Präparierter Idealzahnstumpf des Zahnes 24

3.1.2 Test zum Ausschluß von Fehlerquellen

In Anlehnung an Hanfland [27], der auf die folgende Art und Weise die physikalischen Eigenschaften verschiedener Acrylat- und Phosphatzemente testete, wurden sechs transparente Kunststoffkronen hergestellt, um das Abfließverhalten des elastomeren Silikons (Provil L[®]) und des Befestigungszements (Harvard Crystone Silikatzement[®]) zu untersu-

chen. Da sich Tiefziehfolien durch ihr zu starkes Aufbiegen bei der Adaption nicht eigneten, wurden die Kronen aus schichtbarem, farblosem Kaltpolymerisat angefertigt (Orthocryl[®]). Bei sachgemäßer Verarbeitung kam es zu keiner Blasenbildung und zum guten Abfluß des überschüssigen Materials.

3.1.3 Herstellung von 90 Vollgußkronen

Durch das Auftragen eines Abstandlackes (Vermax-S[®]) wurde ein künstlicher Freiraum im Abstand von ca. 1 mm vom Präparationsrand geschaffen. Das gleichmäßige einmalige Benetzen führt nach Herstellerangaben zu einer Schichtstärke von 5 µm. Nach Martignoni [14] kann die Abweichung so auf mindestens 45 µm nach dem Zementieren verringert werden. Die Stumpfmodelle wurden unterschiedlich häufig mit Abstandslack bestrichen, um die Paßgenauigkeit zu variieren. Mit einem Wachstauchbad der Firma Degussa[®] wurden Wachskäppchen hergestellt, deren Rand gleichfalls ungefähr 1 mm über der Präparationsgrenze abgeschnitten wurde. Dieser Rand wurde mit Gründlerwachs[®] nachgearbeitet, die Kronenmodellation erfolgte mit S-U Ästhetikwachs-O[®]. Die Modellationen wurden mit universalen silikat-phosphat gebundenen Einbettmassen nach DIN 13 919 eingebettet. Dies erfolgte in einer gummielastischen Form, da so eine gleichmäßige Abbindeexpansion in horizontaler und vertikaler Richtung erreicht werden konnte, was nach Kocjancic [25] entscheidenden Einfluß auf die Paßgenauigkeit hat. Als Gußmaterial wurde das Degussa Phantom-Metall NF[®] vergossen. Vier Stumpfmodelle dienen zur Anpassung der Kronen und zur Präzisionskontrolle.



Abb. 2: Wachsmodellation des Zahnes 24



Abb. 3: Stumpfmodell mit Vollgußkrone des Zahnes 24



Abb. 4: Krone mit angesägte Markierungsritze

3.1.4 Definition und Eichung des konstanten Anpreßdruckes

Für die Herstellung der Silikonfilme und das Zementieren der Vollgußkronen muß derselbe Anpreßdruck angewandt werden. Dieser muß ferner bei allen Objekten gleich sein, was eine genaue Berechnung und Eichung erforderlich macht. Zur gleichmäßigen vertikalen Verteilung der Kräfte wurde eine Unterfütterungsvorrichtung mit einem verformbaren Gegenstempel aus Schaumgummi zur individuellen Anpassung an das jeweilige Kronenäußere benutzt [14]. Beim Adaptieren der Gußobjekte auf den Stümpfen wurde ein Gewicht von 5 kg aufgelegt. Das Gewicht des Gegenstempels und der Kronen war zu vernachlässigen. Andere Autoren, die ähnliche Proben durchgeführt haben, wendeten bei der Zementierung Kräfte bis 27 kg auf, die anschließend vermindert wurden,

womit der nachlassende Kaudruck eines Patienten beim Zubeißen simuliert werden sollte. Bei der Anwendung von derart schweren Gewichten werden auch entsprechend starke Kräfte wirksam, die dünne und feine Kronenränder aufbiegen und zu Mikrorissen führen können. Da es sich um eine nicht klinische Studie handelte und das Phantometall leicht deformierbar ist, wurde auf ein leichteres Gewicht zurückgegriffen. Der „Rebounding Effekt“ [14], das elastische Rückstellen der Krone in entgegengesetzter Zementierungsrichtung aufgrund von minimalen Friktionszonen zwischen dem Stumpf und dem Kronenlumen, wurde dadurch vermieden, daß die Belastung bis zum endgültigen Aushärten beibehalten wurde [56]. Das 5-kg-Gewicht wurde mit einer Federwaage geeicht. Bei dieser ist die Auslenkung der Schraubfeder nach dem Hookschen Gesetz proportional zur auslenkenden Kraft. Die Gesetze der Mechanik besagen, daß die Gewichtskraft gleich dem Produkt aus Masse und Erdbeschleunigung ist. Daraus ergibt sich im vorliegenden Fall die Berechnung der einwirkenden Kraft in Newton [43,44]:

$$[N] = \frac{[kg] * [m]}{[s^2]} \Leftrightarrow \frac{5 \text{ kg} * 9,81 \text{ m}}{s^2} = 49,05 \text{ N}$$

3.1.5 Herstellung der Simulationsapparate zur Spalttraumuntersuchung [8]

Die Kronen wurden mit plastischem Silikon ausgefüllt und unter konstantem Anpreßdruck auf das Stumpfmodell adaptiert (Definition: konstanter Anpreßdruck siehe 3.1.4). Der tatsächlich vorhandene Spaltraum zwischen Zahnstumpf und Kronengußrestauration wurde in seiner Gesamtheit mit dünnfließendem Silikon ausgefüllt. Eine Unterfütterungsvorrichtung diente als Führungshilfe. Der gleichmäßig verteilte Anpreßdruck betrug 49,05 N. Die Preßfahnen wurden mit einem Skalpell abgeschnitten. Nach dem Abbinden des Silikons wurden die Kronen wieder vorsichtig mit dem Luftpuster oder einer zahnärztlichen Sonde vom Stumpfmodell gelöst. Eine subjektive Einschätzung der Paßgenauigkeit bei der Betrachtung im durchscheinenden Licht war möglich [10]. Damit

der Silikonfilm plan ausgelegt werden konnte, wurden okklusale Anteile abgetrennt und in die Darstellung des axialen Spaltraumes in Längsschnitt angebracht. Der Silikonfilm konnte in den meisten Fällen problemlos zwischen den Glasscheiben der Objektträger fixiert werden. War dies nicht der Fall, wurde ein Zyonacrylat-Sekundenkleber als Fixierhilfe benutzt. Bei Kronen, welche eine Preßpassung aufwiesen, waren die Filme löcherig, in wenigen Fällen rissen Präparate, waren jedoch reparierbar. Bei allen Arbeitsschritten war eine äußerst genaue und saubere Verarbeitung erforderlich, um zu gewährleisten, daß die Licht-absorption der späteren Messungen nicht durch Artefakte verfälscht wurde.



Abb. 5: Untersuchungsobjekt - unbearbeitetes Silikonpräparat



Abb. 6: Aufsichtfotographie des beschnittenen Silikonpräparates mit Meßskala entlang der Markierung

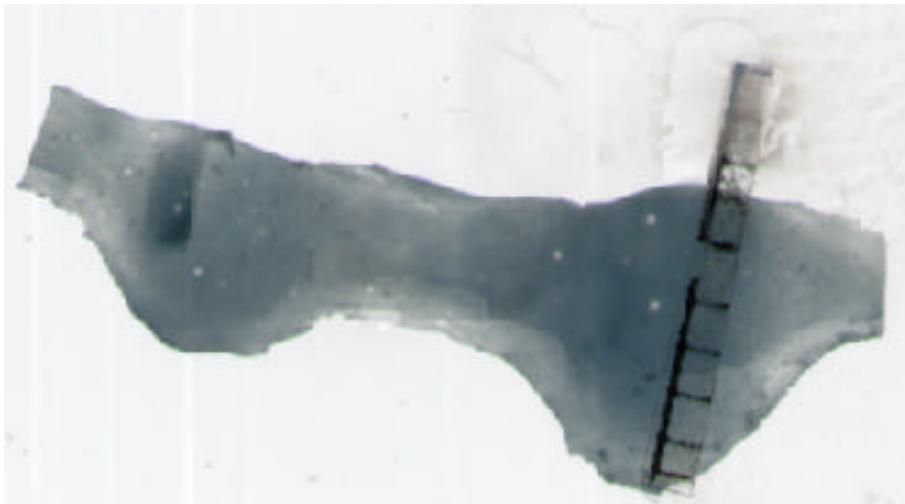


Abb. 7: Scan des Silikonpräparates als Graustufenbild

3.1.6 Zementierung der Gußrestaurationen unter konstantem Anpreßdruck

Das definitive Festzementieren der Kronen erfolgte mit der in 2.1.4 beschriebenen Unterfütterungsvorrichtung und einem konstanten Anpreßdruck von 49,05 N. Als Befestigungszement fand der praxisgebräuchliche Harvard Crystone Cement[®] aus Zinkoxyd, Magnesiumoxyd und Polyacrylsäure Anwendung. Wesentliche Kriterien für seine Qualität sind die Fließfähigkeit und die erreichbare Filmdicke [27]. Diese wird neben der Anrührkonsistenz auch von der Belastung beim Einzementieren bestimmt, da die einzelnen Zementkörner zerdrückt werden können. Grigo testete mehrere Zementsorten und fand unter anderem heraus, daß alle Phosphatzemente bei einer Korngröße von $\geq 5 \mu\text{m}$ den von der FDI vorgeschriebenen Grenzwert von $25 \mu\text{m}$ unterschritten, so daß das bessere Fließverhalten des Silikons nicht ins Gewicht fiel. Die nicht ausreichende Rigidität bei einem festsitzenden Ersatz ist häufig der Grund für Mißerfolge [58]. Alle Materialien werden bei Krafteinwirkung verformt. Die unterschiedlichen benutzten Stoffe bestimmen zu einem großen Teil den Grad der Verformung, der während des Zementierens und der Funktion erwartet werden kann [18]. Das hier verwandte Phantom-Metall NF (Vickers-Härte 130 HV 5, Dehngrenze 230 N/mm², Bruchdehnung 50 % nach DIN 13 906 [57]) besitzt ein relativ niedriges Elastizitätsmodul. Die angreifenden Kräfte werden daraufhin abgestimmt. Um ein Aufbiegen der Kronenränder zu vermeiden, wurde unter geringer Kraft langsam zementiert. Dadurch wurde der noch plastische, jedoch hochviskose Zement, langsam weggepreßt, bzw. besaß genügend Zeit zum Abfließen, ohne durch zu hohen Druck eine bleibende Deformierung des Kronenrandes zu bewirken. Die Forderung von Demmel [1], die Kronen innen nur dünn zu beschichten, wurde berücksichtigt. Die Hohlkehlpräparation unterstützt ein gutes Abflußverhalten des Zementes [3].

3.2 Optisch photometrische Darstellung des Kronenspaltraumes

3.2.1 Physikalische Grundlagen zur mathematischen Spalraum-berechnung [43,44,46]

Die Silikonfilme wurden auf den Durchlichtscanner, Scan Jet 4 c/t, der Firma Hewlett Packard[®] gelegt. Dieser gewährleistet eine gleichmäßig ausgeleuchtete Auflagefläche, ohne daß es zu Interferenzen oder zu Schattenwurf kommt. Die technischen Daten für dieses Gerät wurden mit einem Luxmeter überprüft (Lichtstrom [lm], Beleuchtungsstärke [lx]) [45]. Mittels der photometrischen Absorptionsspektralanalyse und den Gesetzmäßigkeiten der Optik ließ sich die Schichtdicke errechnen. Den Strahlungsgrößen Energiestrom Φ und Intensität E wurden die photometrischen Größen Lichtstrom Φ [lm] und Beleuchtungsstärke E [lx] gegenübergestellt:

$$\text{Beleuchtungsstärke } E \text{ [lx]} = \frac{\text{Lichtstrom } \Phi \text{ [lm]}}{\text{Fläche [m}^2\text{]}} = 1 \text{ lm} \cdot \text{m}^2$$

Einem Strahlungsbandel kann beim Durchgang durch Materie Energie entzogen werden. Die Strahlungsstromdichte nimmt ab. Diese Schwächung ist einerseits die Folge der Absorption, bei der die Energie der Strahlung in andere Energieformen umgewandelt wird, andererseits eine Folge der Streuung. Die Streuung entsteht in der Ablenkung der Strahlung an einzelnen Atomen oder, wenn es sich um Licht handelt, in der Ablenkung an kleinen Teilchen, die in durchsichtigen Substanzen enthalten sind. Die sich daraus ergebende Schwächung der Strahlung wird als Extinktion bezeichnet. Der Strahlungsstrom des auf eine Schicht einfallenden Strahlenbündels Φ wird beim Durchgang durch eine Materialschicht mit der Dicke dx um $d\Phi$ abgeschwächt. Die Abnahme $d\Phi$ ist dem Strahlungsstrom Φ und der Dicke dx der Materialschicht proportional. Der Kehrwert des Schwächungskoeffizienten oder der Extinktionskonstanten μ [$1 \cdot \text{m}^{-1}$] stellt die Eindringtiefe dar. Je größer der für jedes Material charakteristische Extinktionskoeffizient ist, desto größer ist die

Abnahme des Strahlungsstromes $d\varnothing$; daher auch das negative Vorzeichen. Die relative Abnahme des Strahlungsstromes in einer Schicht der Dicke $d\chi$ mit dem Extinktionskoeffizienten μ ist immer gleich. Die Gesamtschwächung in einer Materialschicht der Dicke χ ist also aus der Schwächung der aufeinanderfolgenden differentiellen Schichten der Dicke $d\chi$ zusammengesetzt. Sie ist durch eine Exponentialfunktion, das Lambertsche Gesetz, darstellbar:

$$\varnothing(\chi) = \varnothing_0 \cdot e^{-\mu\chi}$$

Der Strahlungsstrom ist eine Funktion der durchsetzten Schichtdicke $\varnothing(\chi)$, wobei \varnothing_0 der Strahlungsstrom vor Eintritt in die Materialschicht ist. Zusammengefaßt läßt sich die Dicke eines Silikonfilms errechnen, wenn man die jeweilige Beleuchtungsstärke des benutzten Gerätes, den Extinktionskoeffizienten des verwandten Silikons sowie die Abschwächung des Strahlungsstromes ermittelt. Die ersten zwei Parameter sind standardisierbar, für die Ermittlung des dritten bedarf es des beschriebenen Photometrieverfahrens, welches für die Praxis sicher zu aufwendig ist.

3.2.2 Digitale Darstellung des photometrisch gemessenen Kronenspaltraumes

Als Mindestsystemanforderungen für die computergestützte Auswertung gelten für Microsoft Windows[®]: ISA oder EISA Busarchitektur, 80 484 Prozessor, Windows 3.1x, 95 oder NT 4.0[®], 8 MB RAM, VGA-Bildschirm mit 640 * 480 Auflösung, CD-ROM-Laufwerk; für Macintosh[®]: 68 030 Prozessor, System 7.5, 8 MB RAM, Farbmonitor [45]. Die Silikonpräparate wurden mit dem unter 2.2.1 beschriebenen Scanner unter dem Programm Photostyler - Windows 95[®] eingescannt und im Programm Paintbrush zur Eichung und Auswertung weiter bearbeitet. Die digitale Darstellung der entsprechend der Lichtabsorption photometrisch gemessenen Scans konnte durch eine Modifizierung der Photostyler-Software (Windows[®]) übersichtlicher gestaltet werden (siehe Abb. 5). Die unterschiedlichen Grauwerte wurden in definierten Intervallen zusammengefaßt und deutlich abgrenzbaren Fehlfarben zugeordnet. Es wurden sieben Farbwerte angegeben, welche jeweils für die Graustufen in einem Bereich von 20 µm Schichtdicke stehen. Die Meßintervalle im 20 µm Abstand zu wählen, erschien aus mehreren Gründen sinnvoll: Die Übersichtlichkeit und somit schnelle Auswertbarkeit des Scans nach kurzer Sichtung ist gegeben, was bei der Darstellung aller 256 Grauwerte nicht der Fall gewesen wäre. Die spätere mikroskopische Überprüfung am Sägeschnitt entsprach einer Skalierung von 25 µm. Die Auflösung entspricht den in der Literatur beschriebenen, allgemein gültigen Anforderungen an eine erreichbare Paßgenauigkeit [6,8,32,33,36,37,38]. Es wurden folgende Zuordnungen getroffen:

weiß für	0 μm , keine Absorption,
gelb für	1 - 20 μm ,
cyan für	21 - 40 μm ,
grün für	41 - 60 μm ,
magenta für	61 - 80 μm ,
rot für	81 - 100 μm und
blau für alles	> 100 μm .

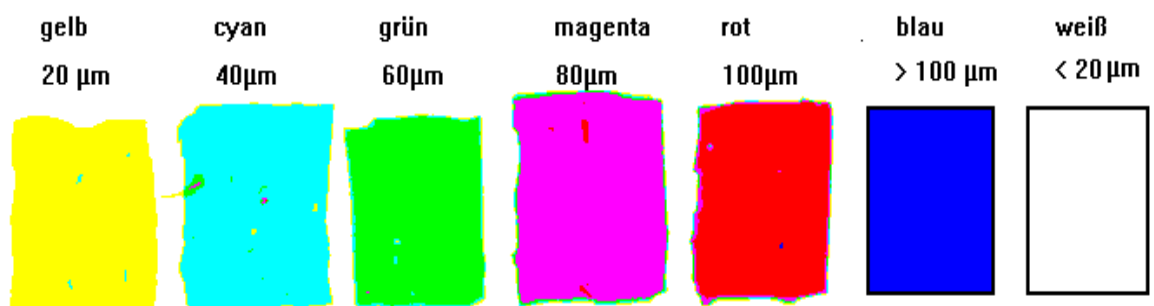


Abb. 8: Scans der Silikonproben

3.2.3 Eichung einer Referenzgröße zur Auswertung der digital dargestellten Silikonfilme und Auswertungsansatz

Um die Silikonfilme aus den Kronenspalträumen später maßstabsgetreu auswerten und mit den markierten Stellen der mikroskopischen Schnitte vergleichen zu können, mußte eine weitere Eichung zur Festlegung der Meßpunkte erfolgen. Es wurde Millimeterpapier auf dieselbe Art und Weise wie bei 2.2.2 eingescannt und nachbearbeitet, so daß ein Meßlineal entstand, welches ein Maßstabsverhältnis von 1:1 zu den Präparatescans aufwies und auf alle diese Dateien übertragen werden konnte.

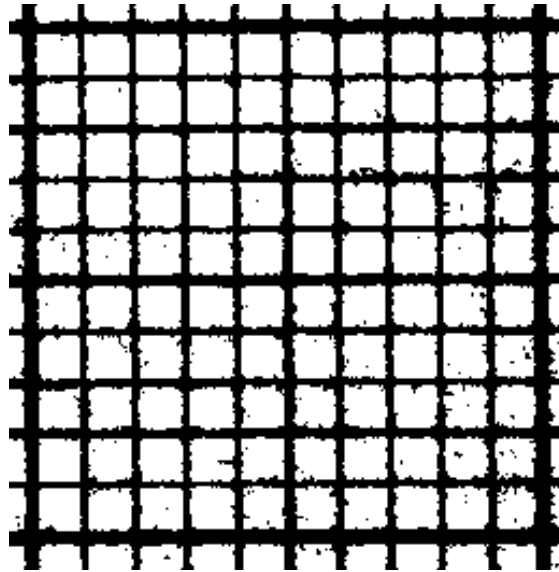


Abb. 9: Scan des Millimeterpapierrasters

Die Platzierung entsprach genau der Stelle, an welcher die Stümpfe die angebrachte Markierung aufwiesen. Somit war eine ortsgleiche Festlegung der Analysepunkte an den Scans und den Sägeschnitten nicht nur am Kronenrand der sichtbaren Markierung, sondern auch im gesamten Spaltraum im Abstand von jeweils 1 mm gewährleistet. Die Auswertung der gescannten Bilder erfolgte rechts dieser Meßskala. Es wurden sechs Meßpunkte vom Kronenrand nach okklusal für jedes Bild festgelegt. Für die Berechnung der Silikonstreifen als geeichte Prüfkörper, wie nachfolgend in 3.2.4.1 beschrieben, wurde in gleicher Weise Millimeterpapier-raster gescannt und auf die Streifen projiziert.

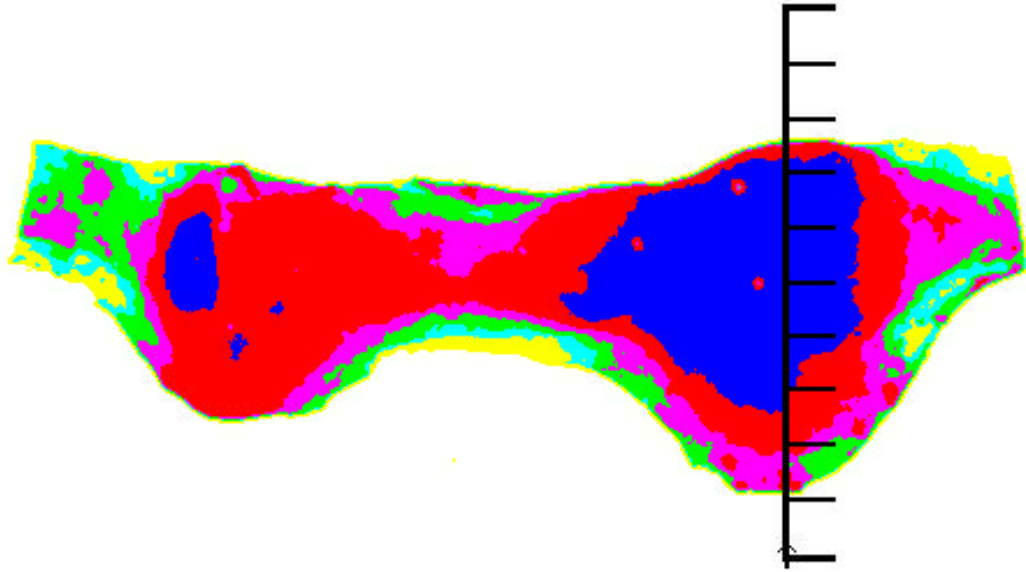


Abb. 10: Scan einer Probe mit Meßskala

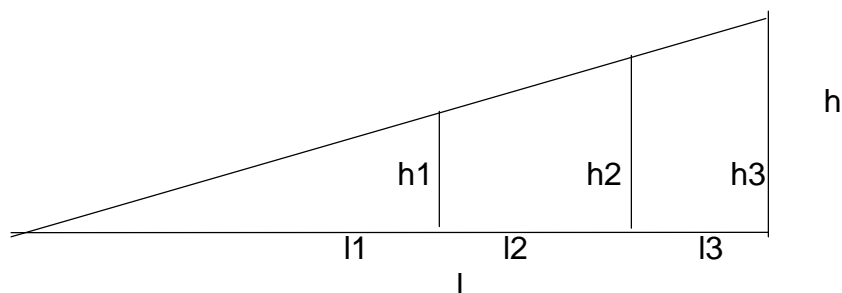
3.2.4 Methoden zur Herstellung von geeichten Prüfkörpern (Vorversuche)

Um die beschriebenen Graustufen mit Werten belegen zu können, mußten diese zuvor geeicht werden. Die geeichten Referenzpräparate müssen jederzeit reproduzierbar und auf die einzelnen Scans kompatibel übertragbar sein, damit eine sichere Kontrolle und Auswertung garantiert ist. Es wurden drei Lösungsansätze diskutiert:

3.2.4.1 Herstellung von dünn auslaufenden Silikonstreifen, deren Schichtstärke nach zwei mathematischen Formeln berechnet werden kann

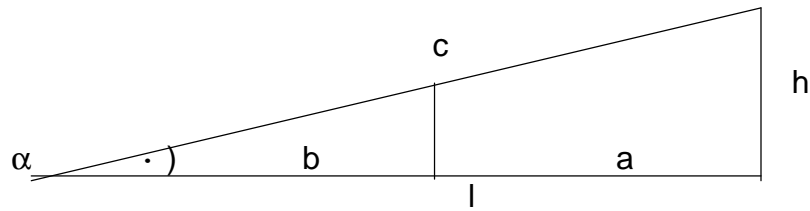
Es wurden zwei kleine Glasplatten so aufeinander gelegt, daß sie sich an einer Kante berührten und an der anderen einen minimalen Spalt bildeten. In diesen Zwischenraum wurde Silikon appliziert. Es wurden nacheinander fünf verschiedene Abformmaterialien getestet. Die gleichmäßig zunehmende Dicke des so entstandenen Silikonkeils läßt sich mathematisch zum einen nach dem Strahlensatz und zum anderen aus der Winkelfunktion wie folgt berechnen [48,49]:

I. Strahlensatz



$$\frac{h}{l} = \frac{h_1}{l_1} \quad \Leftrightarrow \quad h_1 = \frac{h * l_1}{l} \quad \Leftrightarrow \quad l_1 = \frac{h_1 * l}{h}$$

II. Winkelfunktion



$$\tan \alpha = \frac{h}{l} \quad \Leftrightarrow \quad \alpha = \frac{\arctan(h)}{l}$$

$$\cos \alpha * c = b \quad \Leftrightarrow \quad c = \frac{b}{\cos \alpha}$$

$$\sin \alpha * c = a \quad \Leftrightarrow \quad a = \frac{\sin \alpha * b}{\cos \alpha} \quad \Leftrightarrow \quad a = \tan \alpha * b$$

Es wurden Materialien mit unterschiedlichen Eigenschaften getestet, um einen möglichst optimal zu verarbeitenden Werkstoff zu ermitteln. Besonderes Augenmerk galt dem Fließverhalten/Viskosität, der Farbe/Absorptionsverhalten, der Anwendbarkeit und der Dimensionsstabilität/Rückstellverhalten. Getestet wurden die im folgenden aufgeführten fünf Abformsilicone, die den Prüfvorschriften für Elastomere nach DIN 13 913 entsprechen [47].

3.2.4.2 Messung der Absorption gefärbter Folien, welche der Absorption der Silikonpräparate entspricht

Mehrere Folien unterschiedlicher Farbtönungen wurden übereinander gelegt und eingescannt. Auf diese Weise erhielt man Bilddarstellungen mit klaren Grenzen. Die 3. Methode knüpft hier in vereinfachter Form an.

3.2.4.3 Herstellung von Silikonprofilen mit einer digitalen Bügelmeßschraube

Eine feinmechanische digitale Bügelmeßschraube vom Typ Digimatic[®] der Firma Mitutoyo[®] diente zur Herstellung von Silikonprofilen definierter Schichtdicken. Zwischen die Meßbranchen des Gerätes wurde Provil L[®] appliziert, welches sich in der plastischen Verarbeitungsphase auf den gewünschten Wert einstellen ließ. Die ausgehärteten Objekte konnten mit der Bügelmeßschraube gegengeprüft werden. Danach wurden sie eingescannt.

3.2.5 Test zum Ausschluß von Fehlerquellen

Die Absorptionsmessungen an den Glasscheiben der Objektträger für die Silikonpräparate und an einem ausgestrichenen Tropfen Zyonacrylat-Sekundenkleber (Loktite/IS 496) ergaben keine Ergebnisbeeinflussung durch diese Fixierhilfen. Ferner waren die Glasscheiben in den meisten Fällen zur Fixierung ausreichend, so daß auf den Kleber weitgehend verzichtet werden konnte. Die in 2.2.4 beschriebenen Prüfkörper wurden je dreimal, wie in 2.2.2 dargestellt, gescannt und lieferten immer dieselben Ergebnisse, so daß die Reproduzierbarkeit und der Ausschluß von Meßfehlern als bewiesen gelten.

3.3 Mikroskopische Darstellung des Kronenspaltraumes

3.3.1 Herstellung der Sägeschnitte

Die Modelle mit den aufzementierten Kronen wurden mittels einer histologischen Feinsäge mit diamantiertem Sägeblatt an der nach 2.1.1 markierten Stelle in bucco-lingualer Richtung (transversal) gesägt, plange-

schliffen und poliert. Um einen möglichst geringen Materialverlust und plane Untersuchungsflächen zu erzielen, wurde feinstgekörntes Schleifpapier (1000er) verwandt. Anschließend wurden die Hälften poliert (2000er). Das zu sägende Objekt wurde durch ein Ziehgewicht in Richtung des Sägeblattes bewegt.



Abb. 11: Gesägtes Modell mit adaptierter Krone

3.3.2 Auswertung der Sägeschnitte und Vergleich mit der Photometrie

Für die Messungen der Spalträume wurde ein Okular mit eingravierter, graduierter Skalierung benutzt. Diese wurde gegengeeicht, indem eine Millimeterskala als Objekt benutzt wurde. Es ließ sich errechnen, wie groß der Abstand zweier Skalenstriche zueinander war. Einem Millimeter entsprechen 39 Teilstriche der Okularskalierung. Somit war eine exakte Auswertung im Bereich von 25 µm möglich:

$$1\text{mm} = 1000\ \mu\text{m} * 39\ \text{Teilstriche} = 25,64\ \mu\text{m}/\text{Teilstrich}.$$

Da die Festlegung der Intervalle in Schritten von 20 µm lag, eignete sich diese Apparatur zur vergleichenden Analyse. Analog zu den Silikonpräparatescans wurde jeweils die rechte Hälfte des gesägten Stumpfmodelles mikroskopisch untersucht. Die Stumpfquerschnitte wurden an ihrer bukkalen Fläche vermessen. Benutzt wurde ein Invertmikroskop Typ M 3 Z der Firma Wild-Heerburg[®] mit Auflicht. Das Stereomikroskop konnte mit der Standardausrüstung eine bis zu 40fache Okularvergrößerung liefern. Gemessen wurde der Spaltraum im Abstand von je 1 mm vom Kronenrand nach okklusal. Es wurden sechs Meßpunkte analog zu den Silikonpräparaten festgelegt.

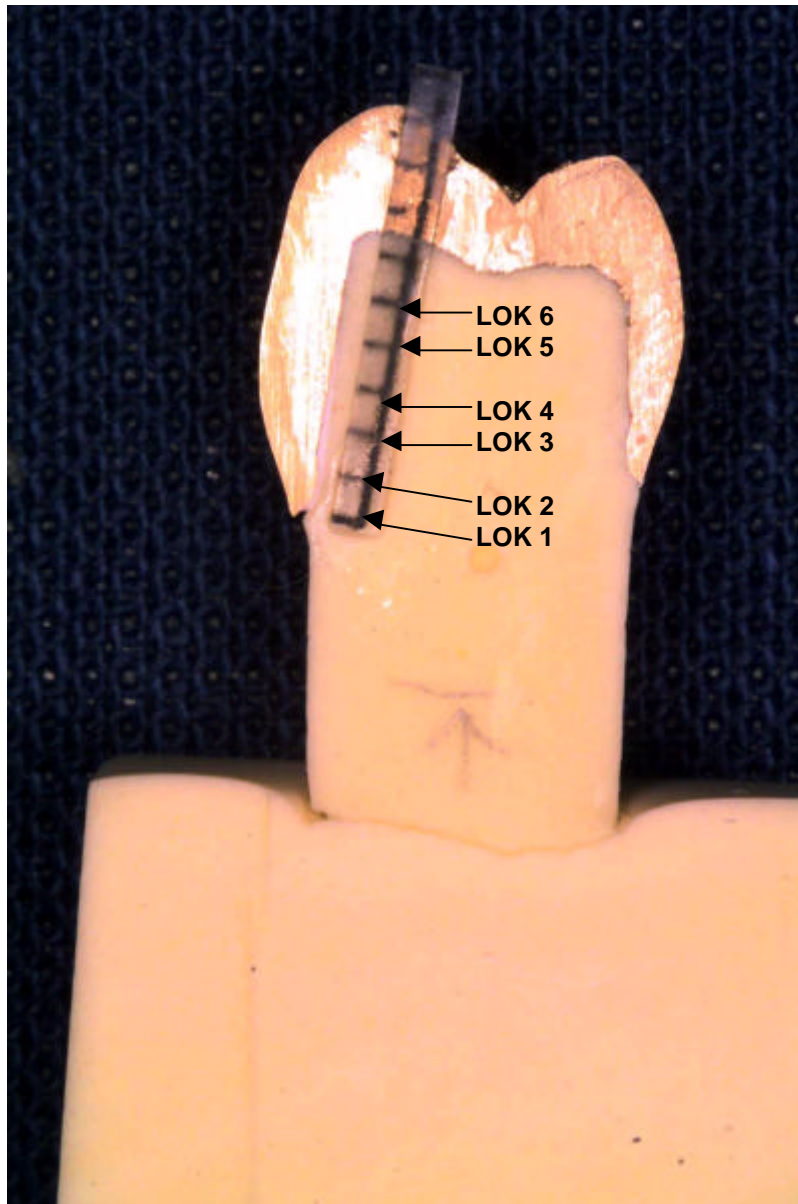


Abb. 12: Mikroskopische Untersuchung der 6 Meßpunkte

3.4 Vergleich der Silikonpräparate mit den Sägeschnitten

Ein Teileinheitsstrich der Okularskalierung des Mikroskops entsprach einem Abstand von 25,64 μm . Bei der Messung von beispielsweise 1,5 Teilstrichen ergab sich somit ein Wert von 38,46 μm , welcher zur vereinfachten Handhabung auf 40 μm aufgerundet wurde. Da die festgelegten Intervalle für die optische Analyse einen Bereich von je 20 μm umfaßten und die Mikroskopauflösung in kleineren Abständen nicht sinnvoll war, kam es bei solchen Rundungen zu keinen Ergebnisverfälschungen, da die Intervallgrenzen nicht übersprungen wurden.

Die an den Sägeschnitten festgestellten Werte wurden den Intervallen der Silikonfilme zugeordnet. Bei einem faktischen Spaltraum von < 1 Teilstrich (entspricht $< 25,64 \mu\text{m}$) wurde auch eine Übereinstimmung beider Untersuchungsmethoden dokumentiert, genau dann, wenn die photometrische Messung keine Absorption, d. h. eine weiße Fläche, ergab. In diesem Falle waren die Silikonfilme so dünn, daß sie keine Absorption verursachten oder wegen des Reißens beim Entfernen vom Zahnstumpf nicht zu scannen waren. Aus den getroffenen Zuordnungen ergaben sich für beide Untersuchungsansätze jeweils sieben verschiedene Intervalle, welche in normaler numerischer Reihenfolge erfaßt wurden. Dies ermöglichte eine eindeutige und einfache Gegenüberstellung und Berechnung der Ergebnisse.

3.5 Statistische Auswertung mit SAS

Zur Datenerfassung wurden folgende Variablen definiert, denen jeweils entsprechende Werte zugeordnet wurden:

ID	LOK	FARBE	MIKROMETER
Präparatnummern	Meßpunkte	photometrische Werte	mikroskopische Werte

Tab. 1: Variablen

1. ID

Die Präparatnummern sind von 1 bis 90 fortlaufend.

2. LOK

Die Meßpunkte sind bei jedem Sägeschnitt mit 1 bis 6 festgelegt.

3. FARBE

Die Farben bei der phototechnischen Darstellung des Spaltraumes wurden von 0, 1, 2, 3, 4, 5 bis 6, d. h. für weiß, gelb, cyan, grün, magenta, rot und blau durchnummeriert. Die 0 zeigt keinen Spalt auf, während die 6 eine Paßgenauigkeit von $> 100 \mu\text{m}$ angibt. Die Ziffern 1 bis 5 fassen Spalträume von je $20 \mu\text{m}$ Dicke zusammen.

4. MIKROMETER

Den bei der mikroskopischen Untersuchung gemessenen μm -Werten wurden in denselben Intervallen wie bei der Farbkodierung die Ziffern 0, 1, 2, 3, 4, 5 und 6 zugeordnet. Analog zu den Farbwerten ergibt sich so eine vergleichbare Zahlenzuordnung: die Ziffern 1 bis 5 fassen jeweils Spaltraumdicken von $20 \mu\text{m}$ zusammen. Die 0 steht für $0 \mu\text{m}$ und die 6 für Werte $> 100 \mu\text{m}$, was die Auswertung mit dem Statistikprogramm ermöglicht.

3.6 Statistische Grundlagen [48,49]

3.6.1 Übereinstimmung

Aus der Summe von 90 Präparaten, welche an sechs Lokalisationen vermessen wurden, ergaben sich 540 Werte. Diese wurden auf ihre Übereinstimmung miteinander untersucht (Variable: IDENTIX). Es wurde geprüft, ob sich eine signifikante Aussage (ρ) über die Wertegleichheit von FARBE und MIKROMETER in Abhängigkeit von LOK treffen ließ.

3.6.2 Streudiagramm

Die graphische Darstellung der bivariaten Verteilung von FARBE und MIKROMETER erfolgte mit einem Streudiagramm, welches auch die zufallsbedingte Streuung verdeutlicht sowie die Regressionsgerade beinhaltet.

3.6.3 Korrelationskoeffizienten

Zur Verdeutlichung des linearen statistischen Zusammenhangs der genannten Größen und deren Darstellung sowie Quantifizierung wurde der Produktmomentkorrelationskoeffizient nach Pearson (τ) ermittelt, dessen Aussage mit dem Rangkorrelationskoeffizienten nach Spearman (τ_s) unter Berücksichtigung der Bindung (Ties) bestätigt wurde. Ihre Beträge geben an, wie eng die stochastische Beziehung beider untersuchten Meßverfahren zueinander ist. τ nach Pearson ist zulässig, da die Daten intervallskaliert sind, beide Variablen aus normalverteilten Grundgesamtheiten (parametrisch) stammen und in einer linearen Abhängigkeit zueinander stehen:

$$\tau = \frac{\sum \text{Abweichungsprodukte}}{\sqrt{\sum \text{Abweichungsquadrate FARBE} \times \sum \text{Aq. MIKRO}}}$$

Für kleine Stichproben ließ sich nicht sicher sagen, ob die genannten Voraussetzungen zur Berechnung bzw. Interpretation des Produktmoment-Korrelationskoeffizienten τ gegeben sind oder nicht. Obwohl es sich um eine größere Fallzahl mit 540 Werten handelte, wurde zusätzlich τ_s berechnet. Der Spearmansche Rangkorrelationskoeffizient τ_s unter Berücksichtigung der Bindungen, d. h. mehrere Werte nehmen denselben Rangplatz ein, weicht nur minimal von τ ab, wenn gleiche Voraussetzungen wie für τ erfüllt sind:

$$\tau_s = 1 - \frac{6 \sum D_i^2}{n^3 - n}$$

Die Assoziation in Kontingenztafeln erfolgte mit diesen zwei Korrelationskoeffizienten und deren Standardabweichungen (σ).

3.6.4 Konfidenzintervall

Das Konfidenzintervall der Anzahl übereinstimmender Messungen gibt mit einer vorgegebenen Vertrauenswahrscheinlichkeit ($1-\alpha$) an, mit welcher Genauigkeit der Erwartungswert (μ) zutrifft. Normalerweise wird als Irrtumswahrscheinlichkeit $\alpha = 5 \%$ gewählt. In diesem Fall ist das Konfidenzintervall so breit, daß es μ mit der Vertrauenswahrscheinlichkeit von 95 % umfaßt.

3.6.5 Signifikanz

Der p -Wert besagt, auf welchem Niveau sich ein signifikantes Ergebnis eingestellt hat, und gibt die Irrtumswahrscheinlichkeit für die Fehlermöglichkeit an. Es wird die sogenannte Nullhypothese aufgestellt, die besagt, daß in der Grundgesamtheit kein Effekt existiert. Unter dieser Annahme wäre ein in der Stichprobe beobachteter Effekt nur ein Produkt des Zufalls. Das statistische Testverfahren errechnet, mit welcher Wahrscheinlichkeit sich die vorliegenden Ergebnisse zufällig ergeben könnten, wenn die Nullhypothese tatsächlich zuträfe. Ein Wert von 0,05 wird als signifikant beschrieben.

Die angegebenen Rechenverfahren wurden mit SAS, Version 6.12, Process Frequency, unter Betriebssystem OS/2 durchgeführt.

4. Ergebnis

4.1 Ergebnisse der Vorversuche zur Eignung der Materialien

4.1.1 Herstellung von dünn auslaufenden Silikonstreifen

Produktname	Fließverhalten	Farbe	Darreichung	Dimensionsst. Rückstellverh.	Eignung
Blend-a-Scon	mittelviskos	violett	Paste -Tube	- 0,8 / 98,5	zu viskos
Provil L	dünnfließend	grün	Kartusche	- 0,3 / 99,75	gut
Provil M	mittelfließend	gelb	Kartusche	- 0,25 / 99,5	zu hell
Xantropen H	zähfließend	grün	Paste -Tube	- 0,8 / 98	zu viskos
Xantropen L	dünnfließend	blau	Paste -Tube	- 0,9 / 98	zu hell

Tab. 2: Silikonstreifen

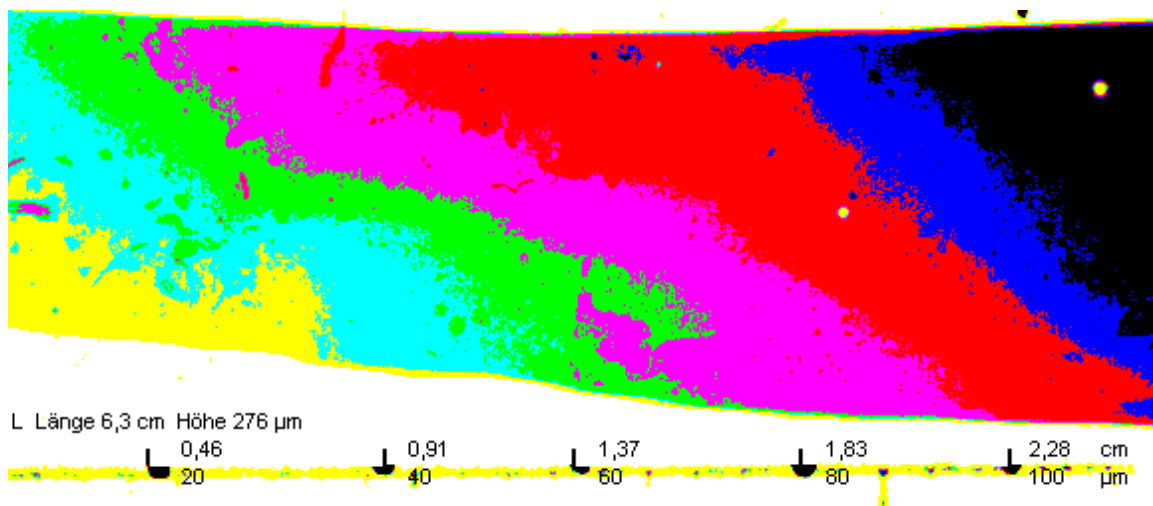


Abb. 13: Silikonstreifen 1 - Prvil[®] Länge 6,3 cm, Höhe 276 µm

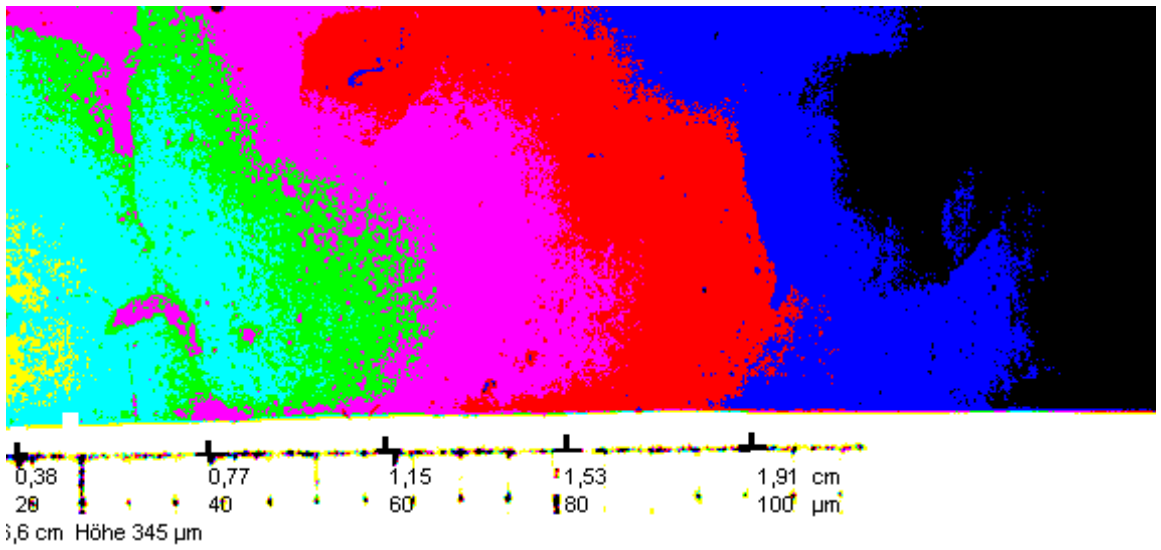


Abb. 14: Silikonstreifen 2 - Provil M[®] Länge 6,6 cm, Höhe 345 μm

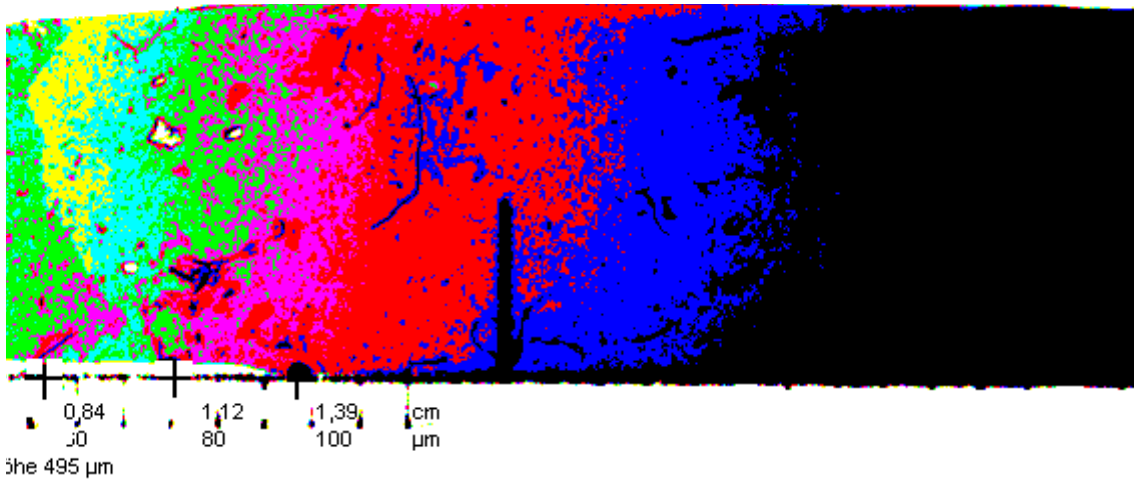


Abb. 15: Silikonstreifen 3 - Xantropren L[®] Länge 6,9 cm, Höhe 495 μm

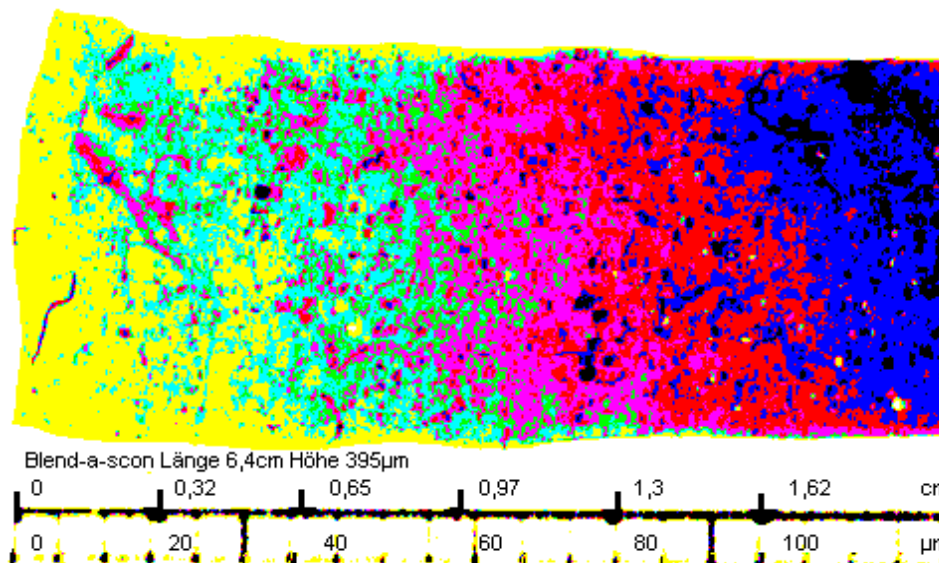


Abb. 16: Silikonstreifen 4 - Blend-a-schon[®] Länge 6,4 cm, Höhe 395 µm

Alle fünf hergestellten Silikonstreifen wurden gescannt, die erhaltenen Bilder berechnet und ausgewertet. Hierzu diente das vorherige Scannen von Millimeterpapier (im Verhältnis 1:1), um eine Referenzgröße für die mathematischen Schichtdickenberechnungen zu haben. Das geeignetste Material war Provil L[®], da es aufgrund seiner Verarbeitungseigenschaften und seiner dunkelgrünen Farbe für die photometrische Durchleuchtung gut auswertbar war. Die Darreichungsform in Kartuschen sicherte ein immer gleiches Anmischverhältnis. Die anderen Silikone waren entweder zu viskos und rissen im Bereich der Schichtdicken $< 40 \mu\text{m}$ oder waren von ihrer Farbe zu hell, so daß die Extinktion für ein auswertbares Bild zu gering war. Aus diesen Gründen wurde die Herstellung von Prüfkörpern zur Eichung und die der Präparate selbst mit Provil L[®] vorgenommen. Allgemein waren die Schichtstärken der Silikonstreifen zwar exakt berechenbar, jedoch ließen sich die Grenzen zu den farblich festgelegten Meßintervallen nicht klar definieren, da diese unregelmäßig ausliefen.

4.1.2 Messung der Absorption gefärbter Folien

Da es sich um vorgefertigte Folien (Rotring®) handelte, konnte durch das Aufeinanderlegen dieser keine oder nur zufällig vereinzelt eine Übereinstimmung mit den Absorptionswerten der zu untersuchenden Präparate erzielt werden. Die Herstellung von Folien mit genau abgestimmter Absorption in den festgelegten Bereichen wurde als geeignet befunden und ist für weitere Untersuchungen am genauesten.

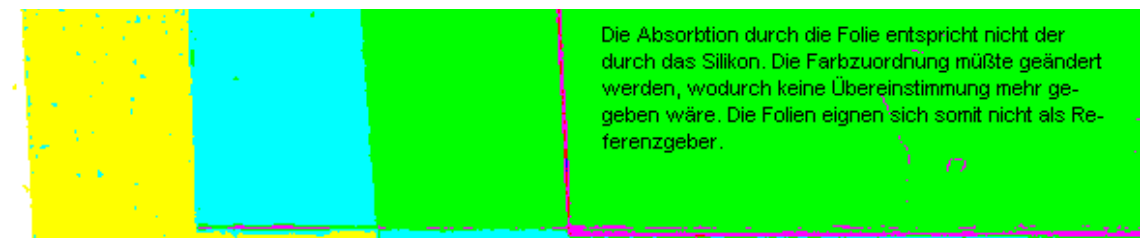


Abb.17: Scan der Folien 1

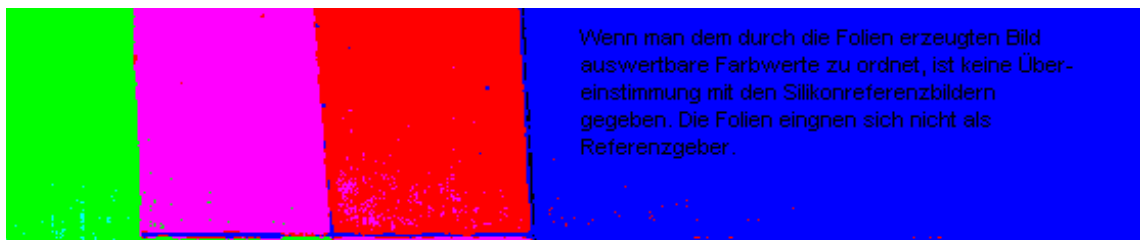


Abb. 18: Scan der Folien 2

4.1.3 Herstellung von Silikonprofilen mit einer digitalen Bügelmeßschraube

Durch die Darstellung der Silikonprofile ließ sich eine definierte Zuordnung der Farben entsprechend der Schichtdickenwerte vornehmen. Der Versuch war mehrfach, jeweils mit den identischen Ergebnissen, wiederholbar und eignete sich dazu genormte Silikonprofile herzustellen, welche den zu untersuchenden Präparaten als Referenzgrössen dienen. Der Hersteller gab folgende Werte an: Auflösung: 0,001 mm (.0005''), Zählfehler: ± 1 Digit, Meßkraft: 5 bis 10 Newton [50].

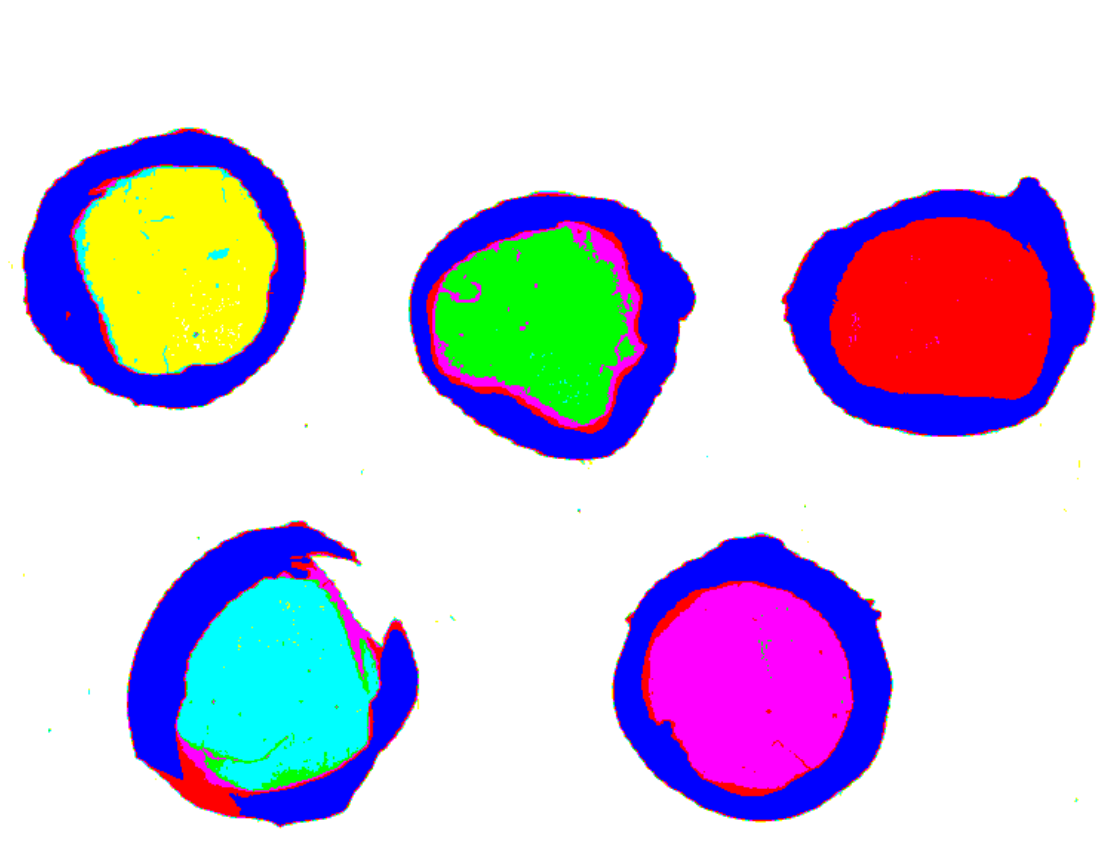


Abb. 19: Scans der mit einer digitalen Bügelmeßschraube hergestellten Silikonprofile, welche nach den Ergebnissen von 2.2.4.2 mit dem Material Provil L[®] angefertigt wurden.

4.2 Statistik

4.2.1 Übereinstimmung

Beim Vergleich der 540 Werte ergaben sich 476 Übereinstimmungen (1) und 64 Differenzen (0). Dieselben Meßergebnisse (IDENTIX) liegen demnach bei 88,15 % vor. Die folgende Tabelle schlüsselt die Meßgleichheiten für alle Meßstellen (LOK) auf. Sie nehmen vom Kronenrand zum Kronendeckel hin zu.

LOK							
IDENTIX	1	2	3	4	5	6	SUMME
0	17	16	11	9	7	4	64 real
0	3,15	2,96	2,04	1,67	1,30	0,74	11,85 %
1	73	74	79	81	83	86	476 real
1	13,52	13,70	14,63	15,00	15,37	15,93	88,15 %

Tab. 3: IDENTIX by LOK

4.2.2 Streuung

Die Abbildung zeigt die Streuung der Meßergebnisse. Diese liegen zu 88,15 % um die Gerade verteilt, was die große Übereinstimmung der Ergebnisse beider Meßmethoden miteinander graphisch veranschaulicht. Bei der Geraden handelt es sich um die lineare Regressionsgerade mit 95 % Konfidenzintervallen. Sie zeigt den linearen Zusammenhang der Einzelwerte der Punktwolke im Rahmen einer zufallsbedingten, möglichst kleinen Streuung. Die Graphik wurde mittels SAS, Version 6.12, unter der Prozedur GPLOT angefertigt.

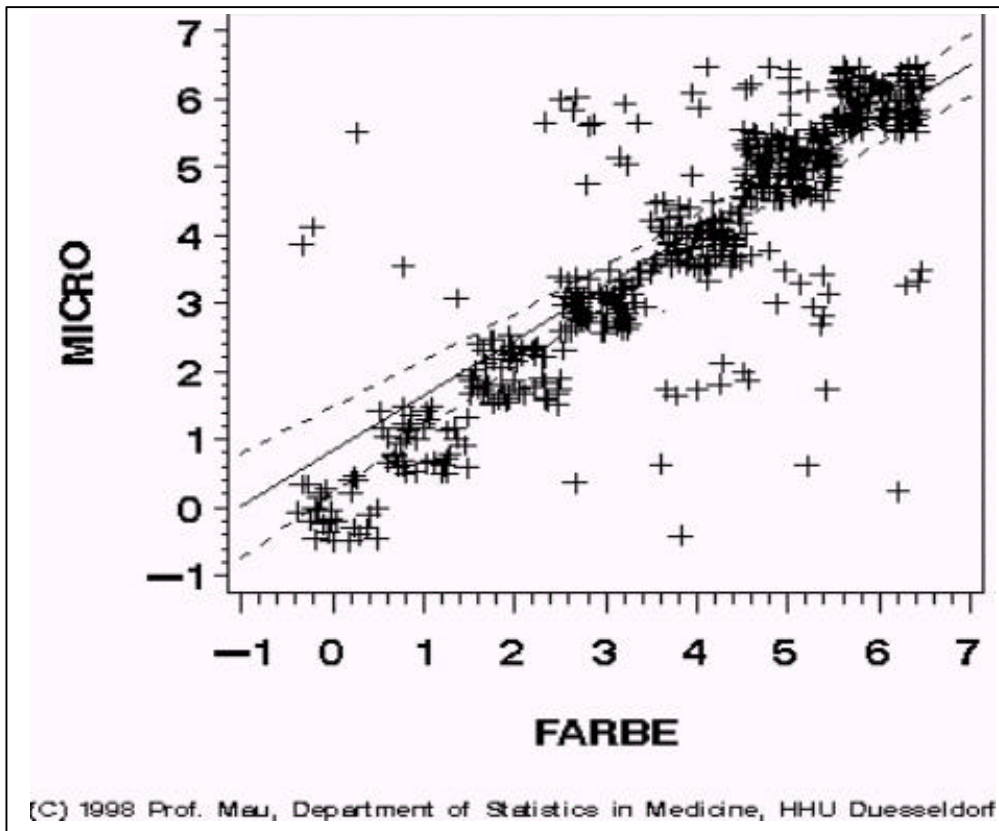


Abb. 20: Regressionsdiagramm

4.2.3 Korrelationskoeffizienten

		LOK					
		1	2	3	4	5	6
Korrelationskoeffizienten nach Pearson	τ	0,768	0,828	0,875	0,928	0,958	0,924
Standardabweichung	σ	0,083	0,054	0,046	0,035	0,020	0,059

Tab. 4: Assoziation in Kontingenztafeln mit dem Produktmomentkorrelationskoeffizienten nach Pearson τ mit der Standardabweichung σ

		LOK					
		1	2	3	4	5	6
Rangkorrelationskoeffizienten nach Spearman	τ_s	0,768	0,831	0,855	0,918	0,958	0,922
Standardabweichung	σ	0,077	0,054	0,051	0,037	0,019	0,057

Tab. 5: Assoziation in Kontingenztafeln mit dem Rangkorrelationskoeffizienten nach Spearman τ_s mit der Standardabweichung σ

Der Produktmomentkorrelationskoeffizient und der Rangkorrelationskoeffizient weisen fast identische Werte auf, die nahe am Maximalwert der Korrelation (1) liegen. Dieses bestätigt die Ergebnisse der hohen Übereinstimmung. Die Kontingenztafeln schlüsseln die Meßgleichheiten an den einzelnen Meßpunkten (LOK) auf. Sie liegen zwischen 0,768 am Kronenrand und 0,958 im Innern der Krone. Die Genauigkeit nimmt demnach nach marginal hin ab. Es ist ein Trend zu erkennen. Die Berechnungen ergaben eine geringe Standardabweichung im Bereich von 0,019 bis 0,083. Auch dies bestätigt die Genauigkeit der Methode.

4.2.4 Konfidenzintervall

Die Auflistung der Intervallwerte zeigt einen von den Lokalitäten (LOK) abhängigen Trend. Das Gesamtkonfidenzintervall liegt mit 88 % in der Mitte der Einzelwerte, mit einem Vertrauensbereich von 85 % bis 90 %. Der Erwartungswert μ der Untersuchungsergebnisse liegt somit mit einer 95 %igen Wahrscheinlichkeit in diesem Vertrauensbereich. Dies ist jedoch vorsichtig zu interpretieren, da durch das Vorhandensein des Trends die Zusammenfassung der Konfidenzintervalle das Ergebnis verfälschen kann.

Konfidenzintervall

LOK	IDENTIX	Total	% IDENTIX	unterer Wert	oberer Wert
1	73	90	0,81111	0,71816	0,87859
2	74	90	0,82222	0,73056	0,88750
3	79	90	0,87778	0,79426	0,93036
4	81	90	0,90000	0,82076	0,94649
5	83	90	0,92222	0,84806	0,96182
6	86	90	0,95556	0,89123	0,98258
SUMME	476	540	0,88148	0,85149	0,90609

Tab. 6: Konfidenzintervalle

4.2.5 Signifikanz

Der ermittelte p -Wert beträgt 0,017. Das Untersuchungsergebnis ist somit als signifikant zu bezeichnen, da über 98 % der Werte keinem Effekt unterliegen, d. h. als nicht zufällig zu bezeichnen sind. Die photometrische und die mikroskopische Meßmethode erzielen übereinstimmende Ergebnisse, somit ist erwiesen, daß eine ausreichend genaue Überprüfung der Paßgenauigkeit von Kronen mittels der photometrischen Analyse von Silikonfilmen möglich ist und daß die Darstellung des Spaltraumvolumens mit Silikon den Zustand der Passung nach dem Zementieren wiedergeben kann.

5. Diskussion

Im Vergleich mit den mikroskopischen Kontrollergebnissen erweist sich die Darstellung des Spaltraumes mit dünnfließendem Silikon und photometrischer Auswertung als geeignetes Verfahren zur Überprüfung der Passung von festsitzenden Restaurationen und deren qualitativer Beurteilung.

Ähnliche Ansätze, die sich von den schon vorgestellten Methoden [6,8,9,41,16,42,28] unterscheiden, welche nur den Randspalt berücksichtigen, sind aus der Literatur bekannt. Peters [13] empfahl 1966, einen Abdruck mit der Krone selbst als Abformlöffel und Xanthopren[®] als Abformmaterial durchzuführen und per Durchsicht zu kontrollieren. Rehberg [6,10] stellt 1967 seine Methode vor, in welcher er die auf gleiche Art wie bei Peters gewonnenen Silikonfilme aus der elastomeren Abformmasse optisch durch Interferenzmikroskopie vermisst. Die mechanische Überprüfung mit einer Feinstschraublehre bestätigte seine Ergebnisse, beinhaltet jedoch Meßungenauigkeiten. Döring [16] greift diese mechanische Methode 1983 mit ihrer Problematik auf, lehnt sie aber wegen des Reißens dünner Filmstärken, der Kompression des Silikons durch die Branchen der Schraublehre, der zu großen Aufstandsflächen für punktuelle Messungen sowie der unterschiedlichen Viskosität und des Fließverhaltens von Silikon im Vergleich mit Phosphatzement ab. Seine Bedenken bezüglich der Praktikabilität dieser Methode mit Silikonfilmen werden durch die vorliegenden Untersuchungen widerlegt. Auch Zarnitz [20] beurteilt Rehbergs Verfahren wegen der nicht gewährleisteten Wiederauffindbarkeit von bestimmten Punkten als unbrauchbar. Ferner rät er von absorptionsoptischen Versuchen mit gefärbten Abdruckmaterialien ab, da sie sich nur inhomogen mischen würden und sich durch Dosierungsfehler oder Dosierungsungenauigkeiten aufgrund der Einfärbung von Basis- und Katalysatormaterial unterschiedlich stark gefärbte Untersuchungsobjekte ergäben. Ein Herstellen derer mit konstanter Farbe und Extinktion sei nicht möglich. Die Darrei-

chungsform in Anmischkartuschen sicherte bei den vorgestellten Untersuchungen ein immer gleiches Mischverhältnis, so daß die Bedenken es käme zu unterschiedlichen Färbungen durch ungleiche Materialdosierungen, zurückgewiesen werden können. Die Studie von Pecenjok [19] aus 1982 beschreibt auch das Herstellen von Silikonfilmen aus dünnfließenden Abdruckmassen, deren Gewicht mit einer Analysewaage bestimmt wird, um das Spaltvolumen zu errechnen. Er zieht die Schlußfolgerung, daß die unabhängig voneinander gewonnenen Meßergebnisse über das mittlere Spaltvolumen und die mittlere Spaltbreite proportional zueinander sind. 1985 führt Fuchs [17] das Benutzen von Xanthopren[®] zur Paßkontrolle auf. Er stellt so den subgingivalen Kronenrand dar, welcher mit der Sonde schlecht zu palpieren ist und deckt Preßpassungen an den durchgedrückten Stellen auf. Er beschreibt eine einfache optische Überprüfung der Paßgenauigkeit durch das Betrachten der erzeugten Silikonfilme gegen das Licht, was einen guten Ansatz darstellte, jedoch nicht weit genug ging.

In der Arbeit von Kordaß und Schrader [8] 1990 wird die mechanische Meßmethode von Rehberg aufgegriffen und dahingehend modifiziert, daß die Meßintervalle verkleinert wurden und die elastische Verformung reduziert werden konnte. Nach eigenen Angaben kann auf eine subjektive Beurteilung jedoch nicht verzichtet werden, da die Größe der Meßbranchen die zu untersuchende Fläche begrenzt und die elastische Verformbarkeit des Silikons umso größer ist, je kleiner die erhabene Struktur im Film ist, was sich negativ auf die Genauigkeit der Messungen auswirkt. Die Aussagekraft dieses Verfahrens war somit begrenzt, lieferte jedoch die Grundlage für das in dieser Arbeit diskutierte Thema. Das Problem der Kompression des Elastomers durch die Meßlehre stellte sich beim Durchleuchten nicht mehr, so daß die mechanische Messung hier zur Eichung diente.

Zwei Gesichtspunkte lassen diese Methode besonders interessant erscheinen:

1. Praktikabilität

2. Qualitätssicherung

Das Verfahren kann von jedem Zahnarzt oder zahnärztlichem Hilfspersonal aus der Praxis durchgeführt werden. Sie entspricht dem derzeitigen technischen Standard. Selbst wenn sich die photometrische Untersuchung als zu zeitintensiv darstellt, dient die schnelle und unkomplizierte Herstellung eines Silikonfilmes zur stichfesten Dokumentation der Qualität des festzusetzenden Zahnersatzes zum Zeitpunkt der Eingliederung. Da ein Material wie beispielsweise Provil L[®] nahezu unbegrenzt lagerbar ist, kann ein solches Präparat noch wesentlich später photometrisch untersucht werden. Dieses Verfahren könnte somit die Dokumentationslücke mit den sich daraus ergebenden Problemen für die Qualitätssicherung, wie in der Einleitung erwähnt, schließen.

Bei der Betrachtung der Ergebnisse fällt auf, daß die Genauigkeiten vom Kronenrand zum Kroneninneren hin zunehmen. Man kann hieraus jedoch nicht schließen, die Übereinstimmung beider Verfahren sei marginal geringer. Die Ursache ist vielmehr im Versuchsansatz begründet. Wie die bereits in der Einleitung erwähnten Autoren in ihren Arbeiten schildern, sind die meisten der auf ihre Paßgenauigkeit untersuchten Kronen und Brücken sehr ungenau. Es werden extrem hohe Spaltwerte [64] angegeben. Auch die für die Untersuchungen hergestellten Kronen wiesen Paßungenauigkeiten oberhalb von 100 µm auf. Die obere Intervallgrenze bei beiden Meßmethoden wurde jedoch auf diesen Wert festgelegt, so daß es sich bei Spalträumen mit dem Zuordnungswert 6 generell um solche größer 100 µm handelte. Deren exakter Betrag wurde nicht ermittelt. Infolgedessen kam es auch zu Übereinstimmungen, wenn die Meßergebnisse zwar größer als 100 µm waren, jedoch nicht miteinander übereinstimmten. Mit dem Platzhalterlack sind solche Spalträume bewußt erzeugt worden. Die Kronen sind im Randbereich präziser gearbeitet worden, was die Werte der LOK 1 im Vergleich mit den höheren Lokalisationen zeigen. In dieser Region ist der Kroneninnenraum besser

zu untersuchen. Dies hat jedoch keine Aussagekraft bei der Beurteilung der digitalen Meßmethode. Es empfiehlt sich, bei weiteren Untersuchungen die Messungen auch auf größere Spaltvolumina auszudehnen.

Es wurde häufig beobachtet, daß Abweichungen in der Übereinstimmung zwischen beiden Verfahren dergestalt auftraten, daß einige Werte direkt aufeinanderfolgend, exakt deckungsgleich waren, dann jedoch stark abwichen, oder umgekehrt. Dies wurde durch einen schräg durchgeführten Sägeschnitt am Kronen-Stumpfmodell verursacht, da es beim Ansetzen des diamantierten Sägeblattes auf einer vertikal verlaufenden Kante der Kronenmodellation zum Abrutschen desselben kommen konnte. Ferner verzog in einigen Fällen das Sägeblatt, was durch ein zu schweres Gewicht und somit zu schnelles Sägen verursacht wurde. Es ist hier, bei Einbeziehung der restlichen Ergebnisse, mit hoher Übereinstimmung bei korrekt angebrachtem Schnitt sowie der Anfertigung eines Kontrollschnittes am selben Präparat bewiesen, daß der Spaltraum zwar photometrisch exakt reproduziert, der Sägeschnitt jedoch abweichend durchgeführt und an der falschen Stelle vermessen wurde. Ein weiteres Indiz für einen ungenauen Sägeschnitt bei dennoch korrekter Spaltraumwiedergabe liegt vor, wenn mehrere Werte am Sägeblock im Verhältnis zu den Werten am Silikonpräparat gleich stark schwanken (beispielsweise: 20, 40, 60, 80, 100, > 100 µm zu 40, 60, 80, 100, > 100, > 100 µm). Dies deutet auf einen bei einer homogen gearbeiteten Krone sich gleichmäßig verändernden Spaltraum hin. Die gleiche Ursache begründet gänzlich abweichende Ergebnisse bei Stumpfmodellen, die im gesamten neben der Markierung gesägt wurden oder bei denen der Materialverlust am Objekt durch das Sägen selbst sowie das Schleifen und Polieren so groß war, daß die mikroskopierte Stelle nicht mehr der markierten entsprach. Diese Fehler lassen sich durch eine hochwertigere histologische Säge sowie das Einbetten der Stumpfmodelle in Kunstharz einschränken oder gänzlich vermeiden. Abweichungen in der Mitte einer Meßreihe können durch Herstellungsungenauigkeiten wie z. B. Gußperlen, Kratzer oder Rillen in der Wachsmodellation entstanden

sein. Fehler konnten auch bei der Ausarbeitung der Gußobjekte auftreten. Ihr Durchmesser war jedoch so gering, daß sie nur an einem Meßpunkt erfaßt wurden und der Wert aus den übrigen Werten der Meßreihe rausstach. Diese Fehlerquellen lassen sich durch mehrfache Kontrolle vermeiden, müssen jedoch immer mit einkalkuliert werden, da es sich bei den Untersuchungsgegenständen um handwerklich angefertigte zahntechnische Arbeiten handelt, welche als normal anzusehenden Qualitätsschwankungen unterliegen. Die teilweise recht großen Sprünge in den Werten am unteren Rand der Krone zeigen die Wirkung des Platzhalterlackes, welcher zirkumferent dem Stumpf, mit Ausnahme des Randes, aufgetragen wurde. Auf diese Weise wurde ein guter Rand-schluß bei relativ großem Spaltraum im Inneren der Krone zur Aufnahme des Befestigungszements ermöglicht. Diese Spalträume sind wegen der differierenden Anzahl der Zahnstumpfbenezungen mit Abstandslack unterschiedlich groß.

Thesen

Zur Diskussion über die Untersuchungen zur photometrischen Beurteilung der Paßgenauigkeit von festsitzendem Zahnersatz:

1. Für eine exakte Paßform bei festsitzenden Kronen und Brücken ist neben einem geringen marginalen Randspalt auch ein geringer zirkumferenter Gesamtpaltraum anzustreben.
2. Die als ideal anzusehende Spaltraumgröße sollte im Bereich zwischen 20 und 50 µm liegen.
3. Eine Preßpassung sowie ein zu großer Spaltraum sind zu vermeiden.
4. Mangelnde Genauigkeit bei festsitzendem Zahnersatz führt zu Parodontopathien und Sekundärkaries mit ihren Folgeerscheinungen.
5. Zur Qualitätssicherung ist eine Meßmethode erforderlich, die Aufschluß über die Gesamtpassung bei festsitzendem Zahnersatz gibt.
6. Die bewährte Durchsichtkontrolle stellt die sinnvolle Grundlage für das vorgestellte optische Meßverfahren dar.
7. Die photooptischen Untersuchungen ermöglichen eine präzise Kontrolle des tatsächlich vorhandenen Spaltraumes.
8. Das Ergebnis der Paßgenauigkeitsuntersuchungen kann langfristig dokumentiert und auch nach dem definitiven Einsetzen des Zahnersatzes reproduziert werden.
9. Es ist kein Rückschluß vom Ergebnis des Spaltraumes auf den Zustand des Randspaltes möglich.
10. Die Darstellung des Gesamtpaltraumes ist unabhängig vom Ausmaß desselbigen.

vorgelegt von Marc-Thilo Sagner

6. Zusammenfassung

Diese Studie befaßt sich mit der Präzision einer photometrischen Meßmethode zur Beurteilung der Paßgenauigkeit von festsitzendem Zahnersatz. Die Frage nach der exakten Paßform von Kronen und Brücken wird in der Literatur meist lediglich auf den Kronenrandschluß bezogen. Offen

bleibt die Frage, wie gut die jeweilige zahnärztliche Restauration paßt, d. h. wie groß der Spaltraum zwischen dem präparierten Zahnstumpf und dem einzugliedernden Zahnersatz ist. Hiermit wird eine verlässliche und einfach reproduzierbare Methode zur Einschätzung dessen vorgestellt. Sie dient zur allgemeinen Qualitätssicherung.

Für 90 Duplikate eines präparierten Zahnes wurden nach klinischen Gesichtspunkten Vollgußkronen hergestellt. Diese wurden mit dem Abdruckmaterial Provil L[®] eingesetzt, wodurch ein feiner Silikonfilm entstand, welcher exakt dem gesamten Spaltraum der Objekte zueinander entsprach. Durch das Scannen dieser Silikonfilme erhielt man entsprechend der Farbextinktion ein digitalisiertes Graustufenbild. Die Veränderung einer bildverarbeitenden Software ließ eine Zusammenfassung der Grautöne in acht Intervallen zu, denen je eine Fehlfarbe zugeordnet wurde. Ein spezielles Eichverfahren definierte einen bestimmten µm-Wert im Intervallabstand von 20 µm für jede Farbe, wodurch sich von jedem Silikonfilm ein übersichtliches Bild einscannen ließ, an dem die Dicke des Silikons und damit des Kronenspaltraumes ablesbar war. An einer zuvor markierten Stelle wurde der Spaltraum an sechs Rasterpunkten im Abstand von je 1 mm vermessen. Zur Gegenprobe mußte man die Kronen auf die Zahnstümpfe zementieren, an derselben Stelle sägen und den tatsächlichen Spaltraum vergleichen.

Bei dem Vergleich der Ergebnisse beider Meßmethoden konnte eine Übereinstimmung von 88,15% sowie eine Signifikanz von 0,017 festgestellt werden. Die Untersuchungen belegen die Eignung dieses photometrischen Prüfverfahrens zur qualitativen Paßgenauigkeitsuntersuchung für die klinische Anwendung in der zahnärztlichen Praxis.

7. Literaturverzeichnis

1. Demmel, H. J.: Der Einfluß verschiedener Zementsorten auf den Randschluß paßgenauer Kronen. DZZ 26, 700 (1971)
2. Biffar, R.: Zur Auswertung von Randspaltnmessungen an festsitzen- dem Zahnersatz. DZZ 46, 523-525 (1991) 8

3. Bernstein, A. et al.: Untersuchungen zur Paßgenauigkeit von Teilkronen mit unterschiedlicher Gestaltung des Präparationsrandes. ZWR, 99. Jahrgang 1990, Nr. 1
4. Weikart, P.: Grenzen und Prüfung der Gußgenauigkeit. DZZ 12, 897 (1957)
5. Meiners H.: Prophylaxe und Werkstoffkunde. Zahnärztl. Welt 94, 795 (1985)
6. Rehberg, H. J.: Der Kronenrand; Exakter Randschluß - was ist das? DZZ 26, 696-699 (1971)
7. Fuchs, W. B. und Meyer, R.: Eine Methode zur Prüfung des Randschlusses eingesetzter Gußfüllungen. DZZ 25, 625 (1970)
8. Kordaß, B. und Schrader, U.: Nachuntersuchung zur Paßgenauigkeit von Kronen, die im Phantomkopf unter praxisnahen Bedingungen hergestellt wurden. ZWR, 99. Jahrgang 1990, Nr. 2
9. Sassen, H.: Paßgenauigkeit von Kronen bei definierter Präparationsgrenze. DZZ 33, 726-732 (1978)
10. Rehberg, H. J.: Eine neue Methode zur Beurteilung der Paßfähigkeit von Gußkörpern. Dtsch. Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde, Band 49 (1967) H. 1/10
11. IDZ, Weißbuch: Qualitätssicherung in der zahnmedizinischen Versorgung, Band 15
12. Kerf, W.: Schrifttum und eigene Untersuchungen zur Paßgenauigkeit von zahnärztlichen Gußobjekten Teil B, Dissertation Hamburg (1982)

13. Peters, C.: Experimentelle Untersuchungen des Randschlusses von Metallkronen. Diss. Kiel (1966)
14. Matigioni, M.: Präzision und Kronenkontur in der restaurativen Zahnheilkunde. Quintessenz Verlags GmbH (1990)
15. Pecenjok, S.: Untersuchungen über Spaltbreite, Spaltvolumen und Friktion von Gußfüllungen. Dissertation. Würzburg (1982)
16. Döring, R. W.: Die Paßgenauigkeit des Kronenrandes in Abhängigkeit von der Modellation. S. 4/5, Dissertation Tübingen (1983)
17. Fuchs, P.: Kronen- und Brückenprothetik heute; Ein Leitfaden. Quintessenz Verlags GmbH (1985)
18. Horn, H. R.: Kronen und Brücken als Therapie. Quintessenz Verlags GmbH (1982)
19. Sobkowiak, E.: Experimentelle Untersuchungen zur Paßgenauigkeit der Gußfüllungen. Dtsch. Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde 63 (6), 573-579 (1975)
20. Zarnitz, A.: Untersuchungen an Einzelkronen über Dimensionsänderungen des Kronenrandes durch Aufbrennkeramik. Dissertation Tübingen (1982)
21. Körber, K. H.: Konuskronen - ein physikalisch definiertes Teleskopsystem. DZZ 23, 619 (1968)
22. Eichner, K.: Kronenrand und das marginale Parodontium aus klinischer Sicht. DZZ 24, 1087-1093 (1969)

23. Kerschbaum, T.: Zur medizinischen Bedeutung der zahnärztlichen Therapie mit feststehendem Zahnersatz (Kronen und Brücken) im Rahmen der Versorgung. IDZ, Dtsch. Ärzte-Verlag Köln (1988)
24. Oberlandesgericht, Frankfurt/Main: Zahnärztebl. Baden-Württemberg 9/82, S. 283-284
25. Kocjancic, B.: Meßverfahren zur Verbesserung der Paßgenauigkeit zahntechnischer Gußobjekte. Dentallabor, XL, H. 6/92, 1075
26. Strub, J. R.: Elektronenmikroskopische Randspaltanalyse des Ap- proximalbereiches von Goldgußfüllungen. Eine in vivo-Studie. Schweiz, Mitschrift Zahnheilkunde 92, 746 (1982)
27. Hanfland, L.: Der Einfluß des Ausfüllens mit Zement beim Einsetzen von Kronen. Dissertation Köln (1984)
28. Biffar, R. und Weltzsch, U.: Zur Paßgenauigkeit von Verblendkronen bei keramischen Schultermassen. DZZ 44, 779 (1989)
29. Albert, H.-M.: Spaltbreiten und -tiefen bei Amalgam und Gußfüllun- gen. DZZ 26, 672-675 (1971)
30. Boitel, W. und Deutrich, G.: Wege zur Verbesserung der Paßgenauig- keit zahnärztlicher Gußobjekte. Dtsch. Stomat. 23, 484-490 (1973)
31. Demmel, H.: Über den Einfluß des Zementes auf den Randschluß paß- genauer Kronen bei verschiedenen Präparationsformen der Zahn- stümpfe. Dissertation Berlin (1971)
32. Dreyer-Jørgensen, K.: Prüfungsergebnisse zahnärztlicher Gußverfah- ren. DZZ 13, 461-469 (1958)

33. Einfeldt, H.: Paßgenauigkeit gegossener Metallarbeiten. Dtsch. Zahnärztl. Z. 24. 1087-1093 (1969)
34. Marxkors, R. und Meiners, H.: Taschenbuch der zahnärztlichen Werkstoffkunde. Hauser Verlag, München (1977)
35. Kluge, R. und Binus, W.: Die Gußfüllung im Approximalbereich. DZZ 22, 1584-1589 (1967)
36. Voss, R.: Zu speziellen Fragen der Gußtechnik. DZZ 22, 1220-1227 (1967)
37. Voss, R.: Abformung und Modell - praktische Forderungen und wissenschaftliche Grundlagen. DZZ 27, 96-118 (1972)
38. Voss, R.: Grundlagen des Behandlungserfolges bei Kronen und Brücken. Zahnärztl. Welt 78, 397-405 (1969)
39. Meiners, H.: Prophylaxe und Werkstoffkunde. ZWR 94, 796-798 (1985)
40. Döring, R. W.: Die Paßgenauigkeit des Kronenrandes in Abhängigkeit von der Modellation. Auflistung S. 10, Dissertation Tübingen (1983)
41. Körber, K. H. und Lenz, P.: Beitrag zum Problem der Randgestaltung von Ersatzkronen. Zahnärztl. Welt 77, 440-445 (1968)
42. Rathgeb, P.: Dentalprogramme zur Mikrobereichtestung des Rand-schlusses und der Kontaktpunkte bei einprobefertigen Kronen. Zahnärztl. Welt 80, 325-328 (1971)

43. Gonsior, B.: Physik für Mediziner, Biologen und Pharmazeuten. Schattauer Verlag (1984)
44. Harms, V.: Physik für Mediziner und Pharmazeuten. Harms Verlag Kiel, 9. Auflage (1984)
45. Hewlett Packard: ECSC, Technische Daten ScanJet 6100 C
46. Kleinhanß, H.-R.: Physikalisches Kurspraktikum für Mediziner und Naturwissenschaftler. UTB, Schattauer Verlag, 3. Auflage (1989)
47. IDZ: Das Dental Vademekum, 4. Ausg., Deutscher Ärzte-Verlag (1993)
48. Heinecke, A., Hultsch, E., Reppes, R.: Medizinische Biometrie. Springer Verlag (1992)
49. Harms, V.: Biomathematik, Statistik und Dokumentation. Harms Verlag Kiel, 6. Auflage (1992)
50. Mitutoyo Corporation: Digimatic Product Information, Tokyo (1996)
51. Mayer, R.: Zur Präparationsrandgestaltung bei oraler Rehabilitation. Dtsch zahnärztl. Zeitung 32, 120 (1977)
52. Körber, K. H.: Zahnärztliche Prothetik. Thieme Verlag Stuttgart (1975)
53. Lehmann, K.: Einführung in die Zahnersatzkunde. Urban und Schwarzenberg, 2. Aufl. (1977)
54. Marxkors, R.: Propädeutik der zahnärztlichen Prothetik. UTB Hüthig (1977)

55. Peters, C.: Experimentelle Untersuchungen des Randschlusses von Metallkronen. Dissertation Kiel (1966)

56. Garelis, J. R., et al.: The effect of various finish line preparations on the marginal seal and occlusal seat of full crown preparations. J. P. D., Februar 1981, 45 (2): 138

57. Degussa: Phantom-Metall-NF, Produktinformation

58. Grigo, W.: Vergleichende Untersuchungen physikalischer Eigenschaften der neuen Acrylatzemente mit einigen Zinkphosphatzementen. S. 20, Dissertation Marburg (1970)

59. Nordmeyer, J.: Die exakte Präparation bestimmt die Haltbarkeit mit. **zm** 88, Nr. 9, 1076 (1998)

60. Nordmeyer, J.: Verweildaueranalyse und klinische Nachuntersuchung von festsitzendem Zahnersatz unter besonderer Berücksichtigung der Kronenrandspaltbreiten. Dissertation Köln (1996)

61. Düsterhus, T.: Untersuchungen über den zervikalen Randschluß von Gußkronen an extrahierten überkronen Zähnen. Dissertation Münster (1991)

62. Ludewig, H.: Die Beziehung zwischen Spaltbreite und Spalttiefe bei Kronenersatz. Dissertation Köln (1979)

63. Spiekermann, H.: Zur marginalen Paßform von Kronen und Brücken. DZZ 41, 1015 (1986)

64. Donath, K. und Roth, K.: Histologisch morphometrische Studie zur Bestimmung des zervikalen Randschlusses von Einzel- und Pfeilerkronen. Stomatologie 84, 53 (1987)

65. Müller, N. und Pröschel, P.: Kronenrand und parodontale Reaktion.
 DZZ 49, 30 (1994)

8. Anhang

LOK												
	1		2		3		4		5		6	
ID	Farbe	Mikro	Farbe	Mikro	Farbe	Mikro	Farbe	Mikro	Farbe	Mikro	Farbe	Mikro
1	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	3	3
2	5	5	4	4	4	4	4	4	4	4	2	2
3	1	4	0	4	0	4	1	3	2	3	4	4
4	5	5	5	5	6	6	6	6	6	6	5	5
5	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	5	5
6	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3
7	5	5	4	4	4	4	4	4	5	5	2	2
8	5	5	5	5	6	6	6	6	6	6	4	4
9	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
10	3	6	5	6	5	6	5	6	5	5	5	5
11	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	3	3
12	6	6	6	6	6	6	4	4	4	4	5	5
13	5	6	5	6	5	6	3	6	2	2	4	4
14	6	6	6	6	5	5	5	5	5	5	4	4
15	5	6	6	6	6	6	6	6	2	2	3	3
16	5	5	3	3	2	2	4	4	5	5	4	4
17	5	3	3	3	2	2	0	0	1	1	3	3

18	3	3	3	3	4	4	4	4	3	3	2	2
19	5	5	2	6	3	6	4	6	5	5	6	0
20	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	4	4
21	4	2	4	2	3	3	3	3	2	2	0	0
22	4	0	3	0	1	1	1	1	4	4	5	5
23	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3	5	3
24	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5	4	4
25	5	5	4	4	2	2	3	3	2	2	1	1
26	5	5	5	4	5	4	5	4	5	5	5	5
27	5	5	5	5	5	5	5	5	6	6	0	0
28	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	4	4
29	5	5	6	6	6	6	6	6	6	6	1	1
30	5	3	3	3	3	3	4	2	4	4	0	0
31	0	0	0	0	0	0	2	2	2	2	2	2
32	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	5	5
33	3	3	3	3	1	1	2	2	2	2	0	0
34	0	6	2	2	3	3	2	2	2	2	2	2
35	0	0	2	2	3	3	3	3	5	5	6	6
36	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	3	3
37	5	5	5	5	5	2	5	5	2	2	1	1
38	6	6	6	6	6	6	6	6	5	5	0	0
39	4	4	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3
40	3	5	4	6	6	6	6	6	6	6	5	5
41	4	4	5	2	5	5	5	5	3	2	2	2
42	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
43	6	6	6	6	5	5	5	5	3	5	3	5
44	6	6	6	6	6	6	6	6	5	5	5	5
45	1	1	1	1	0	0	0	0	3	3	4	4

LOK												
	1		2		3		4		5		6	
ID	Farbe	Mikro	Farbe	Mikro	Farbe	Mikro	Farbe	Mikro	Farbe	Mikro	Farbe	Mikro
46	5	5	4	4	4	4	3	3	4	2	2	2
47	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	4
48	3	3	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5
49	4	4	3	3	1	1	0	0	0	0	0	0
50	2	2	1	1	1	1	2	2	0	0	0	0
51	4	5	5	5	5	5	5	5	4	4	4	4
52	3	6	3	6	6	6	6	6	6	6	1	1
53	0	0	0	0	2	2	4	4	4	4	4	4
54	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	3	3
55	2	2	1	1	1	1	1	1	3	3	5	5
56	5	5	5	5	5	5	5	5	4	6	5	5
57	3	3	2	2	2	2	4	4	4	4	2	2
58	5	5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
59	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	1	1
60	5	5	5	5	4	4	5	5	5	5	1	1
61	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	5	5
62	4	4	4	2	3	3	3	3	3	3	2	2
63	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	4

64	3	6	3	6	6	6	6	6	6	6	3	3
65	5	5	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3
66	2	2	4	4	4	4	4	4	4	4	5	5
67	6	6	5	5	5	5	5	5	5	5	3	3
68	3	3	1	1	1	1	1	1	2	2	3	3
69	5	6	5	6	5	6	5	6	5	6	5	6
70	4	4	5	5	4	4	4	4	4	4	3	3
71	5	3	5	3	5	2	5	1	4	1	1	1
72	5	5	6	6	6	6	6	6	6	6	4	4
73	5	5	5	5	5	5	5	5	4	4	4	4
74	5	5	6	6	5	5	5	5	5	5	5	5
75	3	3	2	2	0	0	0	0	0	0	5	5
76	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1
77	4	4	3	3	4	4	3	3	3	3	1	1
78	5	3	2	2	2	2	2	2	0	0	1	1
79	1	1	4	4	4	4	5	5	6	6	6	6
80	3	3	3	3	3	3	4	4	5	5	6	6
81	4	4	3	3	3	3	3	3	2	2	3	3
82	5	5	5	3	6	3	4	4	4	4	3	3
83	6	6	6	6	5	5	5	5	6	6	0	0
84	4	3	5	3	6	3	6	6	6	6	6	6
85	5	5	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
86	6	6	6	6	5	5	4	4	5	5	1	1
87	6	6	6	6	5	5	5	6	6	6	1	1
88	6	6	6	6	6	3	3	3	1	1	3	3
89	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
90	3	3	3	3	4	4	3	3	3	3	0	0

Tab. 7: Wertegegenüberstellung Farbe gegen Mikro

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich, daß ich die vorliegende Dissertation selbständig verfaßt und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe.

Die Dissertation ist bisher keiner anderen Fakultät vorgelegt worden.

Ich erkläre, daß ich bisher kein Promotionsverfahren erfolglos beendet habe und daß eine Aberkennung eines bereits erworbenen Doktorgrades nicht vorliegt.

Lebenslauf

Name: Sagner
Vorname: Marc-Thilo
Geburtsdatum: 08.07.1970
Geburtsort: Willich
Nationalität: deutsch
Anschrift: Franklinstraße 59
40479 Düsseldorf

Bildungsweg

1976 - 1980 St. Hubertus Grundschule, Willich
1980 - 5/89 St. Bernhard Gymnasium, Willich
6/89 - 9/90 Grundwehrdienst I. Luftwaffenausbildungsregiment 2,
Budel, Niederlande

7/90 - 10/91	Ausbildung zum Zahntechniker, Labor Gastes, Amern
10/91 - 9/97	Studium der Zahnmedizin Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf
seit 1/98	Ausbildungsassistent / zahnärztliche Praxis

Düsseldorf, 30.05.1999