

Aus der  
Abteilung für Orale Struktur- und Entwicklungsbiologie  
des CharitéCentrums 3 für Zahnmedizin  
der Medizinischen Fakultät Charité – Universitätsmedizin Berlin

DISSERTATION

***In vitro* Abrasion zahnärztlicher Füllungsmaterialien durch  
Pulverwasserstrahl und deren Auswertung mit  
Hilfe eines radioaktiven Tracers**

- Ein Beitrag zur Prüfung von Werkstoffen -

zur Erlangung des akademischen Grades

Doctor medicinae dentariae

(Dr. med. dent.)

vorgelegt der Medizinischen Fakultät Charité –

Universitätsmedizin Berlin

von

Bettina Arens

aus Hong Kong

Gutachter:   1. Prof. Dr. R. J. Radlanski  
                  2. Prof. Dr. med. dent. S. Zimmer  
                  3. Prof. Dr. A. M. Schmidt-Westhausen

Datum der Promotion: 01.06.2008

Meinen Eltern gewidmet



---

## Inhaltsverzeichnis

<b>1.</b>	<b>Einleitung</b>	<b>7</b>
	1.1 Einführung	7
	1.2 Ziele der vorliegenden Arbeit	8
<b>2.</b>	<b>Literaturübersicht</b>	<b>9</b>
	2.1 Komposite	9
	2.2 Polymerisation	12
	2.3 Verschleiß, Abrasion, Tribologie	13
	2.4 Abrasion in der Zahnmedizin	15
	2.5 Zusammenhang zwischen Kompositabrieb und physikalischen Materialeigenschaften	18
	2.6 Verfahren zum Auswerten von Abrasion	20
<b>3.</b>	<b>Material und Methode</b>	<b>22</b>
	3.1 Untersuchte zahnärztliche Füllungswerkstoffe	22
	3.1.1 Arabesk <sup>®</sup>	23
	3.1.2 Z100 <sup>®</sup>	23
	3.1.3 Durafill <sup>®</sup>	24
	3.2 Versuchsaufbau	26
	3.2.1 Beschreibung der Versuchsanordnung	26
	3.2.2 Beschreibung des Pulverwasserstrahlgerätes	34
	3.3 Vorversuche	38
	3.3.1 Abriebszeit und Muldengeometrie	38
	3.3.2 Vickershärteprüfung	40
	3.3.3 Tracersuche durch Neutronenaktivierungsanalyse	41
	3.3.4 Homogenität des Tracers	50
	3.3.5 Messvorrichtungen	53

---

3.4 Hauptversuche	58
3.4.1 Herstellen und Lagern der Proben	58
3.4.2 Wiegen der Proben	60
3.4.3 Aktivieren der Proben	60
3.4.4 Durchführung der Hauptversuche	61
3.4.5 Nachuntersuchung	62
<b>4. Ergebnisse</b>	<b>64</b>
4.1 Ergebnisse der Hauptversuche	64
4.2 Relativer Substanzverlust	68
4.3 Berechnung der abradierten Masse	69
4.4 Ergebnis der Nachuntersuchung	72
4.5 Ergebnis der Quantifizierung des Abriebs durch Wägung	73
<b>5. Diskussion</b>	<b>75</b>
<b>6. Zusammenfassung</b>	<b>82</b>
<b>7. Summary</b>	<b>84</b>
<b>8. Literaturverzeichnis</b>	<b>86</b>
<b>9. Anhang</b>	<b>98</b>
9.1 Begriffe	98
9.2 Materialliste	99
9.3 Danksagung	101
9.4 Lebenslauf	102
9.5 Eidesstattliche Erklärung	103

## 9. ANHANG

### 9. Anhang

#### 9.1 Begriffe

Begriff	Erklärung
Bequerel (Bq) <sup>55</sup>	SI-Einheit der Radioaktivität: $1 \text{ Bq} = 1 \text{ s}^{-1}$ (1 Zerfall pro Sekunde).
Biegefestigkeit <sup>35</sup>	Widerstand von Werkstoffen gegen Kräfte, die senkrecht zu deren Längsachse angreifen beziehungsweise die Spannung, die hierbei im Werkstück auftritt.
Bruch <sup>10</sup>	Endstadium einer Werkstoffschädigung infolge mechanischer Beanspruchung und Werkstofftrennung im makroskopischen Bereich.
Duktilität <sup>10</sup>	Fähigkeit zur bleibenden Formveränderung ohne Bruch.
Elastizitätsmodul <sup>22</sup>	Maß für die Steifigkeit eines Stoffes. Zu Beginn der Spannungs-Dehnungs-Linie ist der Anstieg zunächst geradlinig. Es besteht lineare Proportionalität zwischen der Spannung als Ursache der Dehnung entsprechend der Formel: Spannung ( $\sigma$ ) = Elastizitätsmodul (E) · Dehnung ( $\epsilon$ ) E wird als Elastizitätsmodul bezeichnet. (Hookesches Gesetz <sup>30</sup> )
Gray (Gy) <sup>55</sup>	SI-Einheit der Energiedosis: $1 \text{ Gy} = 1 \text{ J kg}^{-1}$ .
Härte <sup>10</sup>	Härte ist der Widerstand, den ein Körper dem Eindringen eines anderen (härteren) Körper entgegensetzt. Heute haben sich weltweit die Härteprüfverfahren nach Brinell, Rockwell, Vickers und Knoop durchgesetzt.
Konversionsrate	Umwandlungsrate der C=C Bindungen zu C-C Bindungen bei der Polymerisation.
spezifische Zählrate	Durch einen Detektor kann die Aktivität gemessen werden. Die dazugehörige Messgröße ist die Zählrate. Wird die Zählrate auf die Probenmasse bezogen, so heißt sie spezifische Zählrate.

## 9.2 Materialliste

### Material

1. VAX/VMS-Neutron Activation Analysis Software Package, Nuclear Data  
Canberra, Frankfurt a. M
2. Germaniumdetektor  
Canberra, Frankfurt a. M.
3. Halogenlichtgerät Euromax  
Dentsply DeTrey DeDent, Konstanz
4. Komposit Arabesk® (Farbe A3, Charge V 15719)  
Voco, Cuxhaven
5. Komposit Durafill® (Farbe L, Charge VP 070199/1Ju)  
Heraeus Kulzer, Dormagen
6. Komposit Z100® (Farbe B3, Charge 3021)  
3M Medica, Borken
7. Natriumjodiddetektor Type AS17  
Crismatec, Courbevoie, France
8. Pulverwasserstrahlgerät Airflow S1  
EMS Elektro Medical Systems, München
9. Pulver (Charge 4259)  
EMS Elektro Medical Systems SA, Nyon, Switzerland
10. Radiometergerät Curing Radiometer Model 100  
Demetron Research Corporation Danbury, USA



## 9. ANHANG

---

11. Rasterelektronenmikroskop CamScan MaXim  
Röntec, Elektronen-Optik-Service GmbH, Dortmund
  
12. Ultramikrowaage Sartorius 4504 MP8  
Sartorius, Göttingen
  
13. Vakuumpumpe Medvak  
Arthur Pfeiffer GmbH, Wetzlar

### 9.3 Danksagung

Ich danke Herrn Prof. Dr. R. J. Radlanski für das Überlassen des Themas und die gute Betreuung.

Mein besonderer Dank gilt Herrn OA Dr. Chr. Finke für seine allzeit freundliche und konstruktiv kritische Hilfe bei Fragen, die sich beim Durchführen und Anfertigen dieser Arbeit ergaben.

Des weiteren danke ich Herrn Prof. Dr. P. Brätter vom Hahn-Meitner-Institut Berlin und seinen Mitarbeitern in der Abteilung Spurenelementforschung in Gesundheit und Ernährung.

Mein ganz besonderer Dank gilt weiterhin Frau Dr. D. Alber und den Herren Dr. D. Gawlik und W. Gatschke dieser Abteilung. Ohne deren substantielle Hilfe hätte ich meine Studie nicht durchführen können.

Herrn Dr. Gawlik danke ich dafür, dass er seine wertvolle Zeit für fachliche und auch für fachübergreifende Themen zur Verfügung gestellt hat.

Bei Herrn Gatschke bedanke ich mich für die immer bereitwillige Unterstützung, insbesondere bei der praktischen Durchführung dieser Arbeit.

Auch Frau Dr. D. Alber danke ich für die stets bereitwillige Unterstützung.

Für wertvolle Ratschläge des Abschnitts 2.1 (Komposite) bedanke ich mich sehr herzlich bei den Kunststoffexperten Herrn Prof. Dr. Janda und Herrn Dr. Maletz.

Herrn R. Hoey aus der Fotoabteilung des Zentrums für Zahnmedizin schulde ich großen Dank dafür, dass die vorgelegte Arbeit auch durch die von ihm hergestellten Fotos bereichert wurde.

Den Firmen Heraeus-Kulzer, 3M und VOCO verdanke ich das Anfertigen und Bereitstellen der Untersuchungsmaterialien.

Ebenso gilt mein Dank der Firma EMS für die technische Information bezüglich des Pulverwasserstrahlgerätes und deren kostenlose Wartung.

Dank auch für die finanzielle Unterstützung durch die Charité in Form der Anschubfinanzierung (Nr. 96-209).

## 9. ANHANG

---

### 9.4 Lebenslauf

„Mein Lebenslauf wird aus Datenschutzgründen in der elektronischen Version meiner Arbeit nicht mit veröffentlicht.“

### 9.5 Eidesstattliche Erklärung

„Ich, Bettina Arens, erkläre, dass ich die vorgelegte Dissertationsschrift mit dem Thema: *In vitro* Abrasion zahnärztlicher Füllungsmaterialien durch Pulverwasserstrahl und deren Auswertung mit Hilfe eines radioaktiven Tracers selbst verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt, ohne die (unzulässige) Hilfe Dritter verfasst und auch in Teilen keine Kopie anderer Arbeiten dargestellt habe.“

Datum:

Unterschrift: