

Abteilung für Experimentelle Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde  
(Direktor: Prof. Dr. R. J. Radlanski)  
der Klinik und Polikliniken für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde  
des Fachbereiches Humanmedizin  
der Freien Universität Berlin

**Zur Frage des Regenerationspotentials der Zahnhartsubstanzen.  
Eine Literaturübersicht.**

Inauguraldissertation  
zur  
Erlangung der zahnmedizinischen Doktorwürde  
am Fachbereich Humanmedizin  
der Freien Universität Berlin

vorgelegt von  
Zahnärztin Alexa Kube  
aus Berlin

Referent: Prof. Dr. Ralf J. Radlanski

Korreferent: Prof. Dr. W. B. Freesmeyer

Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereichs Humanmedizin der Freien Universität Berlin

Promoviert am: 05.09.2003

## ZUR FRAGE DES REGENERATIONSPOTENTIALS DER ZAHNHART-SUBSTANZEN. EINE LITERATURÜBERSICHT.

### INHALT

<b>1.</b>	<b>Einleitung</b>	6
1.1.	Einführung	6
1.2.	Fragestellung	7
<b>2.</b>	<b>Material und Methode</b>	7
<b>3.</b>	<b>Ergebnisse</b>	8
<b>3.1.</b>	<b>Hartsubstanzbildung</b>	8
<b>3.1.1.</b>	<b>Zahnschmelz</b>	8
3.1.1.1	Amelogenesis	8
3.1.1.1.1	Präruptive Schmelzreifung	8
3.1.1.1.2	Posteruptive Schmelzreifung	10
3.1.1.2	Strukturmerkmale	11
3.1.1.3	Ausgereifter Schmelz: Zusammensetzung und Eigenschaften	11
<b>3.1.2.</b>	<b>Dentin</b>	12
3.1.2.1	Dentinogenesis	12
3.1.2.2	Strukturmerkmale	13
<b>3.1.3.</b>	<b>Zement</b>	13
3.1.3.1	Zementogenesis	13
3.1.3.2	Zementbildende Zellen	14
3.1.3.3	Verschiedene Zementarten	14
<b>3.2.</b>	<b>Veränderungen in den Zahnhartsubstanzen</b>	14
<b>3.2.1.</b>	<b>Schmelz</b>	14
<b>3.2.1.1</b>	<b>Physiologisch-chemische Einflussfaktoren</b>	14
3.2.1.1.1	Hydroxylapatitstrukturen	14
3.2.1.1.2	Voraussetzungen für molekularen Austausch am Schmelz	15
3.2.1.1.3	Eigenschaften des Ionenaustausches des Schmelzkristalls	15
3.2.1.1.4	Auswirkung des Ionenaustausches auf die Kristallstruktur	16
3.2.1.1.5	Einwirkung durch pH-Änderung in der Mundhöhle: Demineralisation	16
3.2.1.1.5.1	Nahrungszusammensetzung und das kariogene Potential der Nahrung	16
3.2.1.1.5.2	Schmelzläsionen: Erosion und Karies	17
3.2.1.1.5.2.1	Die Erosion: Definition	17
3.2.1.1.5.2.2	Die Karies: Definition, Histologie, Progression, Pathologie	17
<b>3.2.1.2</b>	<b>Physikalische Einflussfaktoren</b>	18
3.2.1.2.1	Thermische Einwirkung: Schmelzsprünge/-Risse	18
<b>3.2.1.2.2</b>	<b>Mechanische Einwirkung</b>	20
3.2.1.2.2.1	Schmelzaustrocknung	20

3.2.1.2.2.2	Attrition: Physiologische Schmelzabnutzung	20
3.2.1.2.2.3	Schmelzausbruch: Der keilförmige Defekt	21
3.2.1.2.2.4	Traumaeinwirkung und Schmelzfraktur	21
<b>3.2.2.</b>	<b>Dentin</b>	22
3.2.2.1	Klassifikation in Primär-/Sekundär- und Tertiärdentin	22
3.2.2.2	Physiologisch-chemische Austauschvorgänge	26
3.2.2.3	Einwirkung von pH-Änderung in der Mundhöhle aufs Dentin	26
3.2.2.3.1	Überempfindlicher Zahnhals	26
3.2.2.3.2	Dentinerosion	27
3.2.2.3.3	Dentinkaries	27
<b>3.2.2.4</b>	<b>Physikalische Einflussfaktoren</b>	28
<b>3.2.2.4.1</b>	<b>Mechanische Einwirkung</b>	28
3.2.2.4.1.1	Attrition des Dentins bei physiologischer Abnutzung	28
3.2.2.4.1.2	Überempfindlicher Zahnhals	29
3.2.2.4.1.3	Dentinausbruch: Der keilförmige Defekt	29
3.2.2.4.1.4	Dentinfrauma durch Kavitätenpräparation	30
3.2.2.4.1.5	Dentinfrauma durch Dentinaustrocknung	31
3.2.2.4.1.6	Traumaeinwirkung und Fraktur des Kronen- oder Wurzel Dentins	31
<b>3.2.2.4.2</b>	<b>Thermische Einwirkung</b>	31
3.2.2.4.2.1	Einfluß von Temperaturänderungen auf Odontoblasten	32
<b>3.2.3.</b>	<b>Zement</b>	33
<b>3.2.3.1</b>	<b>Physikalische Einflussfaktoren</b>	33
3.2.3.1.1	Mechanische Einwirkung	33
3.2.3.1.2	Freiliegender Zahnhals	33
3.2.3.1.3	Thermische Einwirkung	34
<b>3.2.3.2</b>	<b>Physiologisch-chemische Einflussfaktoren</b>	34
3.2.3.2.1	Einwirkung durch pH-Änderung in der Mundhöhle	34
3.2.3.2.2	Erosion	34
3.2.3.2.3	Wurzelkaries	34
<b>3.2.3.3</b>	<b>Gründe für Resorptionen des Zementes</b>	35
<b>3.2.3.3.1</b>	<b>Mechanisch</b>	35
3.2.3.3.1.1	Traumatische Okklusion	35
3.2.3.3.1.1.1	Trauma orthodontischen Typs	35
3.2.3.3.1.1.2	Trauma durch Jiggling-Bewegungen	36
3.2.3.3.1.1.3	Trauma durch übergroße Krafteinwirkung (Zahntrauma)	36
<b>3.2.3.3.2</b>	<b>Entzündlich</b>	36
3.2.3.3.2.1	Parodontitis marginalis superficialis et profunda	36
3.2.3.3.2.2	Parodontitis apikalis	36
<b>3.2.3.4</b>	<b>Gründe für Apposition von Zement</b>	37

<b>3.3.</b>	<b>Physiologische Reparaturmechanismen</b>	38
<b>3.3.1.</b>	<b>Des Schmelzes</b>	38
3.3.1.1	Natürliche Remineralisation durch Speichel	38
3.3.1.1.1	Schutzfunktion des erworbenen Schmelzoberhäutchens	38
3.3.1.1.2	Speichelqualität und Einfluß auf Karies	39
3.3.1.1.3	Speichelquantität und Einfluß auf Karies	39
3.3.1.1.4	Reparatur von Demineralisation	40
3.3.1.1.4.1	Remineralisationsverhalten von erodiertem Schmelz	40
3.3.1.1.4.2	Remineralisation von initialer Schmelzkaries	41
3.3.1.2	Reparatur der thermischen Einwirkung	41
3.3.1.3	Reparatur der mechanischen Einwirkung	42
<b>3.3.2.</b>	<b>Physiologische Reparaturmechanismen des Dentins</b>	42
3.3.2.1	Reparatur der pH-Änderung in der Mundhöhle	42
3.3.2.2	Reparatur der thermischen Einwirkung	43
3.3.2.3	Reparatur der mechanischen Einwirkung	43
3.3.2.4	Reparatur des freiliegenden Zahnhalses	43
3.3.2.5	Reparatur von Dentinläsionen: Die Fraktur	44
<b>3.3.3.</b>	<b>Physiologische Reparaturmechanismen des Zementes</b>	46
3.3.3.1	Reparaturen von Schäden nach mechanischer Einwirkung	46
3.3.3.2	Reparatur von Schäden nach physiologisch-chemischer Einwirkung	47
3.3.3.2.1	Reparatur von Schäden nach pH-Wert-Änderung	47
3.3.3.3	Reparatur von Schäden nach thermischer Einwirkung	47
<b>3.4.</b>	<b>Reparaturmechanismen unter therapeutischen Bedingungen</b>	47
<b>3.4.1.</b>	<b>Reparaturmechanismen des Zahnschmelzes</b>	48
3.4.1.1	Therapie der Erosion	48
3.4.1.1.1	Fluoridtherapie	48
3.4.1.2	Therapie der Karies	49
3.4.1.2.1	Remineralisation kariöser Schmelzläsionen in vitro	49
3.4.1.2.2	Remineralisation kariöser Schmelzläsionen in vivo	49
3.4.1.2.3	Wirkung der Fluoridkonzentration in vitro	50
3.4.1.2.4	Grenze der Remineralisierbarkeit	51
<b>3.4.2.</b>	<b>Therapeutisch beeinflusste Reparaturmechanismen des Dentins</b>	51
3.4.2.1	Medikamentös beeinflusste Therapie des überempfindlichen Zahnhalses	52
3.4.2.2	Tertiärdentinbildung nach Kavitätenpräparation	52
3.4.2.3	Tertiärdentinbildung nach direkter Überkappung	53
3.4.2.3.1	Mit Calciumhydroxid	53
3.4.2.3.2	Mit Wachstumsfaktoren	54
<b>3.4.3.</b>	<b>Reparative Zementbildung</b>	55
<b>3.4.3.1</b>	<b>Resorption und Reparatur bei mechanischen Einflüssen</b>	55
3.4.3.1.1	Resorption und Reparatur bei Vorkontakten	57
3.4.3.1.2	Resorption und Reparatur bei Bruxismus	57
3.4.3.1.3	Resorption und Reparatur bei Einwirkung kieferorthopädischer Kräfte	58
3.4.3.1.4	Resorption und Reparatur nach Zahntrauma	61

<b>3.4.3.2</b>	<b>Resorption und Reparatur bei entzündlichen Einflüssen</b>	63
<b>3.4.3.2.1</b>	<b>Parodontitis marginalis superficialis et profunda</b>	63
3.4.3.2.1.1	Behandlungsziel der subgingivalen Konkremententfernung	63
3.4.3.2.1.2	Formen der Gewebeausheilung	63
3.4.3.2.1.3	Gewebeheilung abhängig vom Behandlungstyp	64
3.4.3.2.1.3.1	Heilung nach konventioneller Parodontalbehandlung	64
3.4.3.2.1.3.2	Heilung nach alternativer Behandlungsmethode	64
3.4.3.2.1.3.3	Histologie der parodontalen Heilung	71
3.4.3.2.1.3.4	Qualität des neuen Attachments	71
<b>3.4.3.2.2</b>	<b>Parodontitis apikalis</b>	73
<b>4.</b>	<b>Diskussion</b>	75
<b>5.</b>	<b>Schlussfolgerungen</b>	80
<b>6.</b>	<b>Zusammenfassung</b>	81
<b>7.</b>	<b>Quellenverzeichnis</b>	84
<b>8.</b>	<b>Danksagung</b>	114
<b>9.</b>	<b>Lebenslauf</b>	115