

**Aus dem Institut für Pathologie der Universität Tübingen
Abteilung Allgemeine Pathologie und pathologische Anatomie
Abteilungsleiter: Professor Dr. B. Bültmann**

**Die Mächtigkeit des Reizdentins
bei unterschiedlichen Graden der Reduktion der
Zahnhartsubstanzen**

**Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Zahnheilkunde**

**der Medizinischen Fakultät
der Eberhard-Karls-Universität
zu Tübingen**

**vorgelegt von
Christiane Lehen**

**aus
Stuttgart**

2004

Dekan

Professor Dr. C. D. Claussen

1. Berichterstatter:

Professor Dr. H. Wolburg

2. Berichterstatter:

Professor Dr. J. Geis-Gerstorfer

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Fragestellung	1
1.1	Überblick	1
1.1.1	Zahnaufbau	1
1.1.2	Abnutzung der Zahnhartsubstanzen	3
1.1.2.1	Erosion und Attrition	4
1.1.2.2	Abrasion und Demastikation	5
1.1.2.2.1	Einfluss der Nahrung	6
1.1.3	Reaktion der Pulpa bei Reizeinwirkung	7
1.1.3.1	Bildung von Reizdentin (Sekundär- bzw. Tertiärdentin)	8
1.2	Zielsetzung der Arbeit	9
1.2.1	Hypothesen und Fragen	9
2	Material und Methoden	11
2.1	Untersuchungsmaterial	11
2.1.1	Auswahl der untersuchten Unterkiefermolaren	11
2.2	Untersuchungsmethoden	12
2.2.1	Bestimmung des Abrasionsgrades	12
2.2.1.1	Abrasionsgrad nach MILES (1963)	12
2.2.1.2	Kategorisierter Abrasionsgrad	13
2.2.2	Befundbögen	13
2.2.3	Röntgenologische Messungen	14
2.2.3.1	Anfertigung der Röntgenbilder	14
2.2.3.1.1	Paralleltechnik nach PASLER (1995)	14
2.2.3.1.2	Paralleltechnik modifiziert	14
2.2.3.2	Durchführung der röntgenologischen Messungen	16
2.2.3.2.1	Pulpenmessungen	17
2.2.3.2.2	Dentinmessungen	17
2.2.3.2.3	Röntgenologische Feilenlänge	18
2.2.4	Okklusale Messungen	19
2.2.4.1	Messung und Berechnung der Reizdentinflächen	20
2.3	Überblick über die Messwerte	22

2.3.1	Primäre Messwerte	22
2.3.2	Sekundäre Messwerte	23
2.4	Statistische Methoden.....	23
2.4.1	Statistische Signifikanz	24
2.4.2	Korrelation	24
2.4.3	Regressionsanalyse.....	24
2.4.4	ANOVA	25
3	Darstellung der Ergebnisse	26
3.1	Abrasionsgrade und deren Kategorisierung.....	26
3.2	Messwerte des Pulpenkavums (röntgenologisch).....	26
3.2.1	Deskriptive Statistiken der röntgenologischen Pulpenmesswerte.....	26
3.2.2	Zusammenhänge der röntgenologischen Pulpenmesswerte	28
3.2.3	Zusammenhänge zwischen Abrasionsgrad und Pulpenmesswerten (röntgenologisch).....	29
3.3	Messwerte der Dentinschicht (röntgenologisch)	29
3.3.1	Deskriptive Statistiken der Dentinschichtmesswerte.....	29
3.3.2	Zusammenhänge der Dentinschichtmesswerte	31
3.3.3	Zusammenhänge zwischen Abrasionsgrad und Dentinschichtmesswerten	31
3.3.4	Zusammenhänge zwischen Dentinschichtmesswerten und okklusaler Reizdentinfläche	32
3.3.4.1	Korrelation zwischen Dentinschichtstärken und okklusalen Reizdentinflächen.....	32
3.3.4.2	Regressionen Dentinschichtstärken auf okklusale Reizdentinflächen.....	33
3.3.4.2.1	Erklärung zu den nachfolgenden Tabellen.....	33
3.3.4.2.2	Vergleich mesialer Messwerte	34
3.3.4.2.3	Vergleich distaler Messwerte	36
3.3.4.2.4	Vergleich der Kavummesswerte	37
3.4	Messwerte okklusalen Reizdentins	39
3.4.1	Lokalisation von Reizdentin auf der Okklusalfäche (Reizdentintritt).....	39

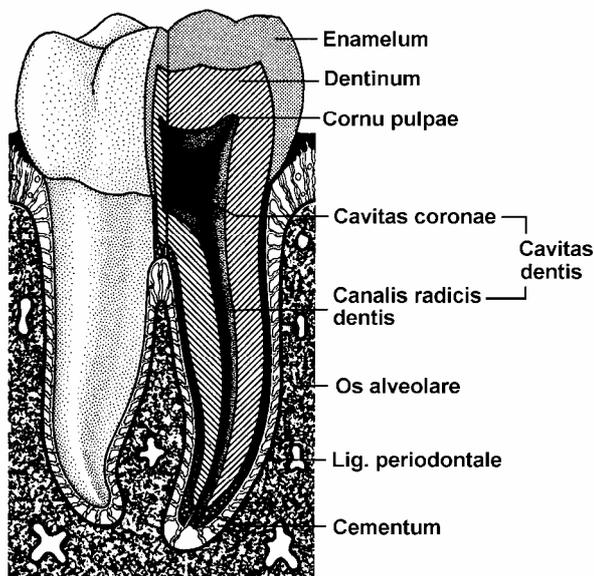
3.4.2	Ausdehnung von Reizdentin auf der Okklusalfäche (Reizdentindurchtritt).....	41
3.4.2.1	Deskriptive Statistik der Ausdehnung von Reizdentin auf der Okklusalfäche	42
3.4.3	Eröffnung der Pulpenkammer / Wurzelkanäle (Reizdentindurchbruch).....	44
3.4.4	Zusammenhänge zwischen Abrasionsgrad und okklusalen Reizdentinflächen	45
3.4.4.1	Korrelation zwischen Abrasion und okklusaler Reizdentinfläche	46
3.5	Differenzmaße (Reizdentinschicht aus Baseline).....	47
3.5.1	Reizdentinschicht aus Baseline	47
3.5.2	Deskriptive Statistik Reizdentin aus Baseline	47
3.5.3	Korrelation Abrasionsgrad und Reizdentin aus Baseline	49
3.5.4	Regressionen kategorisierter Abrasionsgrad und Reizdentin aus Baseline	50
3.5.4.1	Regression kategorisierter Abrasionsgrad und Reizdentin aus Baseline (mesial).....	50
3.5.4.2	Regression kategorisierter Abrasionsgrad und Reizdentin aus Baseline (distal).....	52
3.5.4.3	Regression kategorisierter Abrasionsgrad und Reizdentin aus Baseline (Kavum)	53
3.5.5	Korrelation okklusale Reizdentinflächen und Reizdentin aus Baseline	55
3.5.6	Regressionen okklusale Reizdentinflächen und Reizdentin aus Baseline	55
3.5.6.1	Regression mesiale Reizdentinfläche und Reizdentin aus Baseline (mesial).....	56
3.5.6.2	Regression distale Reizdentinfläche und Reizdentin aus Baseline (distal).....	57
3.5.6.3	Regression Reizdentinfläche über Kavum und Reizdentin aus Baseline (Kavum)	59

4	Diskussion der Ergebnisse.....	61
4.1	Nimmt die Ausbildung von Reizdentin in der Pulpenkammer mit fortschreitender Abrasion aus statisch funktionalen Gründen zu?	61
4.2	Verhindert die Reizdentinbildung eine Eröffnung des Pulpenkavums? Falls nicht, ab welchem Abrasionsgrad reicht dann die Reizdentinbildung dafür nicht mehr aus?	63
4.3	Welcher Zusammenhang besteht zwischen der okklusal gemessenen Reizdentinfläche und dem Abrasionsgrad?.....	65
4.4	Besteht ein Zusammenhang zwischen der röntgenologisch bestimmten Ausbildung von Reizdentin und der okklusal gemessenen Reizdentinfläche?	66
4.5	Methodenkritik.....	66
5	Zusammenfassung.....	69
5.1	Untersuchungsmaterial	69
5.2	Untersuchungsmethoden	69
5.3	Statistische Verfahren	70
5.4	Messwerte röntgenologisch	70
5.5	Messwerte okklusalen Reizdentins	70
5.6	Differenzmaße (Reizdentinschicht aus Baseline).....	71
5.7	Zusammengefasste Aussagen:.....	71
6	Literaturverzeichnis	73
7	Anhang	76
7.1	Befundbogen.....	76
7.2	Fotos von Abrasionsgebissen	78
7.3	Abbildungsverzeichnis	81
7.4	Tabellenverzeichnis	83

1 Einleitung und Fragestellung

Die Zähne sind mit der stabilste und robusteste Teil im menschlichen Organismus. Durch ihren bestimmungsgemäßen Gebrauch sind sie einem gewissen Verschleiß unterworfen. In der Literatur wird teilweise beschrieben, dass der Zahn diesem Verschleiß nicht hilflos gegenüber steht und von innen heraus eine „stabilisierende“ und schützende Schicht, das Reizdentin (Sekundär-, Tertiär- oder auch als Schutzdentin bezeichnet), als Reaktion auf diesen äußeren Reiz zum Schutz der Pulpa ausbildet. Da dieser Zusammenhang in der Literatur bisher kontrovers diskutiert wurde soll diese Frage im Rahmen dieser Untersuchung genauer nachgegangen werden. Ferner stellt sich bei dieser Analyse die Frage, inwieweit der menschliche Organismus, und hier speziell der Zahn, in der Lage ist, auf biomechanischen Belastungen mit den aus statisch-funktionalen Bedingungen postulierten Gesetzmäßigkeiten zu reagieren.

1.1 Überblick



1.1.1 Zahnaufbau

Abbildung 1: Unterkiefermolar z. T. eröffnet in der Alveole (aus SCHUHMACHER, SCHMIDT, BÖRNIG & RICHTER, 1990)

Zum besseren Verständnis der in dieser Arbeit durchgeführten Untersuchungen verdeutlicht die Abbildung 1 (Seite 1) den Aufbau eines Unterkiefermolaren (*spätlat. molaris*, zu *lat. mola* = Mühle: Mahlzahn). Die Zahnkrone wird vom Zahnschmelz (Enamelum) bekleidet, welcher sich aus Prismen (Prisma enameli) zusammensetzt, die den ganzen Schmelzmantel in radiärer Anordnung durchstrahlen. Der Schmelz ist die härteste Substanz des menschlichen Organismus und nur in sehr geringem Maß für Stoffe durchgängig. Die Dichte des Schmelzes nimmt von außen nach innen ab. Vor dem Durchbruch der Zähne ist der Schmelzmantel am dicksten und erreicht an den Höckern seine größte Stärke. Zervikal verjüngt sich der Mantel. Der Schmelz besitzt trotz seiner Härte einen hohen Elastizitätsmodul, aber eine geringe Zugfestigkeit, wodurch er sehr bruchanfällig ist (KRAUS, JORDAN & ABRAMS, 1969) Diese physikalischen Eigenschaften sind individuellen und lokalen Unterschieden unterworfen. Bei der Dauerbeanspruchung des Gebisses unterliegt der Schmelz einem ständigen mechanischen Verschleiß, der im Gegensatz zu allen anderen Zahngeweben nicht mehr ersetzt werden kann (SCHUMACHER, SCHMIDT, BÖRNIG & RICHTER, 1990). Die Zahnwurzel ist vom Zahnzement (Cementum) umgeben, dessen Hauptaufgabe darin besteht, die Fasern des am Alveolarknochen befestigten Zahnhalteapparates zu verankern. Unter dem Schmelz-Zement-Mantel liegt das Zahnbein oder auch Dentin (Dentinum) genannt: Das Dentin bildet massenmäßig den größten Anteil aller Zahnhartgewebe. Dentin hat einen wesentlich geringeren Elastizitätsmodul als Schmelz, so dass es eine Art Polster zum Auffangen des Kaudrucks bildet. Im Gegensatz zum Knochen enthält das Dentin keine Zellen, sondern ist von einem radiären Kanälchenwerk, den Dentinkanälchen (Tubuli dentinales), durchzogen (SCHUMACHER et al., 1990). Diese Dentinkanälchen sind Zellfortsätze der Odontoblasten, welche Dentin bildende Pulpazellen sind, die den Pulpenhohlraum auskleiden (LEHMANN & HELLWIG, 1993).

Im Inneren des Zahnes befindet sich die Pulpenkammer (Cavitas dentis / Cavitas pulparis), deren Form und Ausdehnung in etwa der des betreffenden Zahnes entspricht. Den in der Zahnkrone befindlichen Hohlraum bezeichnet man als Pulpenkammer (Cavitas coronae). In der Pulpenkammer befindet sich

das Zahnmark (Pulpa dentis). Man unterscheidet topografisch die Kronenpulpa (Pulpa coronalis) von der Wurzelpulpa (Pulpa radicularis). Ausläufer der Kronenpulpa setzen sich als Pulpenhorn (Cornu pulpae) bis unter die Zahnhöcker fort. Am Boden der Kronenpulpa gehen ein oder mehrere Wurzelkanäle (Canalis radialis dentis) ab und münden in einer bzw. mehreren Öffnungen (Foramen apicis dentis).

1.1.2 Abnutzung der Zahnhartsubstanzen

Nach ROSENBERG (1982) ist Abnutzung eine durch die Okklusion entstehende und mit dem Alterungsprozess assoziierte physiologische Erscheinung am Zahn. Je älter ein Mensch wird, desto stärker sind die Abnutzungsercheinungen an seinen Zähnen. Ein frühes klinisches Symptom der Abnutzung ist das Auftreten einer kleinen polierten Facette an einer Höckerspitze oder Leiste oder auch die leichte Abflachung einer Schneidekante. Mit fortschreitendem Alter und zunehmender Abnutzung nehmen die Höcker kontinuierlich an Höhe ab, und die schrägen Anteile der Kauflächen werden immer flacher. Männer weisen in der Regel stärkere Abnutzungsercheinungen auf als gleichaltrige Frauen, was seinen Grund in ihren größeren Kaukräften hat. Der Grad der Abnutzung ist von der Nahrungszusammensetzung (ZEMBIC, 2003), der Dauer der Beanspruchung, der Zahnstellung (beim Kopfbiss besonders stark), der Kraft der Kaumuskeln und der Art der Kaubewegungen sowie durch Angewohnheiten wie Bruxismus o. ä. abhängig (WALDEYER & MAYET, 1986). Die Abnutzung kann so weit fortschreiten, dass die Höcker überhaupt nicht mehr ineinander greifen und die Kauflächen abgeflacht sind (ROSENBERG, 1982). SAXER & KÖNIG (1992) berichten, dass die Abriebverluste bei mechanischer Beanspruchung von der Art der Zahnhartsubstanz abhängig sind. Nach FRANZ (1977) verhalten sie sich bei Schmelz zu Dentin zu Zement wie 1 : 25 : 35. SAXER & KÖNIG (1992) unterscheiden im Allgemeinen drei Arten dentaler Abnutzung: Erosion, Attrition und Abrasion. In der Paläostomatologie wird noch die Demastikation hinzugenommen (CZARNETZKI, 1996).

1.1.2.1 Erosion und Attrition

Erosionen sind Zahnhartsubstanzdefekte, die durch häufige direkte, nicht-bakterielle Säureeinwirkung auf die Oberfläche von Zahnhartsubstanzen (Säureschäden) verursacht werden. Sie sind gekennzeichnet durch ihr Auftreten in plaquefreien Arealen. Säuren bedingen einerseits einen flächenhaften Substanzabtrag durch Demineralisation, andererseits hinterlassen sie eine teilweise demineralisierte und damit erweichte Oberfläche, die leicht durch mechanischen Abrieb abgetragen werden kann (FRIEDRICH, 2001). Erosionen manifestieren sich meist in flachen, breiten, oft stumpf oder rau erscheinenden Oberflächendefekten. Meist ist die Schmelz-Zement-Grenze betroffen, am häufigsten an der Labialfläche der Schneidezähne (LAUTENBACH, 1992).

Erosionen sind oft bei Personen mit einer säurereichen Ernährung (z. B. Rohköstlern oder Vegetariern), Personen mit Allgemeinerkrankungen (z. B. Essstörungen oder gastrointestinalen Erkrankungen), aber auch bei Personen, die aus beruflichen Gründen einer Säureeinwirkung auf die Zähne ausgesetzt sind (z. B. Weinverkoster), festzustellen (FRIEDRICH, 2001).

Zahnhartsubstanzverlust kann auch physiologisch infolge von Abnutzung durch direkten Zahnkontakt (Attrition) entstehen. Als Attrition wird der Verlust von Zahnhartsubstanz durch alleinigen Antagonistenkontakt (ohne Beteiligung einer Fremdschubstanz) beim Schlucken und Sprechen bezeichnet. Meistens sind funktionelle Störungen des stomatognathen Systems, wie Bruxismus (Knirschen, Pressen) oder die für Zahnersatz heute üblichen harten Werkstoffe wie Keramik und Gold und auch in einem geringen Grad physiologische Abnutzung die Ursache für Attrition.

Als Folge von Attrition treten Schliiffacetten (plane, glänzende Flächen) auf der Okklusalfäche auf. Bei funktionellen Störungen wie Bruxismus wirken exzentrisch gerichtete Kräfte auf die Okklusalfächen und erzeugen durch Fehlbelastungen und Schubspannungen Mikrofrakturen im Bereich der Schmelz-Dentin-Grenze, die nach und nach abgesprengt werden. Es resultiert ein keilförmiger Defekt mit scharfen Kanten am Defektrand (MEYER, DAWID & SCHWARTZ, 1991; IMFELD, 1996).

Abrundungen an den Rändern einer Schliffacetten oder eines keilförmigen Defekts deuten auf Beteiligung eines zusätzlichen Säuretraumas hin, also eine Kombination von Attrition und Erosion. WANG und SMITH (1995, 1996) konnten nachweisen, dass die alleinige Einwirkung von Okklusalkräften nur einen geringen Substanzverlust zur Folge hat, welcher aber durch Säureerosion und (Zahnputz-) Abrasion (BAUER, 2001) verstärkt wird.

1.1.2.2 Abrasion und Demastikation

Zahnabration ist der langsam fortschreitende Verlust von Zahnhartsubstanzen, d. h. von Zahnschmelz und später auch von Dentin (ROSENBERG, 1982). SACHSER und KÖNIG (1992) bezeichnen Abrasion als mechanische Abnutzung. Nach ROSENBERG (1982) kann sie an freiliegenden Wurzeloberflächen, an Okklusalfächen sowie Schneidekanten oder an Approximalfächen auftreten. Der beim Kauen von Speisen auftretende Zahnhartsubstanzverlust wird als Demastikation bezeichnet. Dieser Prozess ist zusätzlich von der Abrasivität der aufgenommenen Nahrung (Partikel in der Nahrung) abhängig. Er stellt letztlich eine Kombination aus Abrasion und Attrition dar (FRIEDRICH, 2001). In zahlreichen Untersuchungen werden Attrition und Demastikation oft als Abrasion zusammengefasst (LUTZ, 1980, zit. nach SACHSER und KÖNIG, 1992). Erhöhter Abrieb von Zahnhartsubstanzen kann auch durch bestimmte Staubarten, die sich nach Mundatmung (z. B. am Arbeitsplatz) im Speichel anreichern und durch Demastikation verursacht werden. Epidemiologische Untersuchungen zeigen übereinstimmend, dass bestimmte Personengruppen, insbesondere Beschäftigte in Granit-Steinbrüchen, Bergleute, Steinmetze und Steinhauer nach Einwirkung quarzhaltiger Stäube am Arbeitsplatz eine erhöhte und schneller fortschreitende Abrasion an den Kauflächen der Zähne aufweisen (BERGER, 1985; HICKEL, 1988).

Abrasion, Demastikation, Erosion und Attrition können im Laufe des Lebens sich gegenseitig akkumulierende Schmelz- (und Dentin-) und Zahnveränderungen zur Folge haben, wie Verkürzungen und/oder Formveränderungen der Zahnkrone (SCHROEDER, 1997).

1.1.2.2.1 Einfluss der Nahrung

Zur Nahrung des Menschen gehören seit Alters her neben Fleisch von erjagten oder domestizierten Tieren und verschiedenen Früchten auch Zerealien. Anfangs noch wild gesammelt, kamen bald Kultursorten von Süßgräsern in verschiedenen Zubereitungsarten auf den Speiseplan. Zur Auf- und Zubereitung mussten die Körner zunächst vom Spelz (Hülse) befreit werden. Dies geschah teilweise durch Dörren oder Rösten; die Römer stampften dafür Weizenkörner sogar mit Sand (PLINIUS, zit. nach BROTHWELL & BROTHWELL, 1984). Für Breispeisen und Backwaren, die sich daraus entwickelt hatten, mussten die Körner auch noch mechanisch zerkleinert werden. Anfangs wohl durch Stampfen und Mörsern, kamen seit der Jungsteinzeit (5.000 B.C.) Getreidemühlen zum Einsatz, bei denen die Körner zwischen zwei Steinscheiben zu Mehl zerrieben wurden. Bis zur Entwicklung von Stahlwalzenmühlen im 19. Jh. waren die Mühlsteine Verschleiß ausgesetzt und mussten regelmäßig nachgeschärft werden. So finden sich auch bereits in frühägyptischen Brotproben Reste von Steinstaub in Form von scharfkantigen Fragmenttrümmern, was Flugsand o. ä. als Quelle ausschließt (BROTHWELL & BROTHWELL, 1984). Neben Getreide wurde das Mehl in Notzeiten oft mit Eichel-, Bucheckern- oder sogar mit Sägemehl gestreckt.

Steinstaub im Getreidemehl ist nur eine von mehreren Ursachen für Zahnabrieb. Wesentlich stärker wirkt sich sicherlich die in den Schalen von Pflanzenkörnern enthaltene Kieselsäure (SiO_2) aus. Zu nennen sind auch die Nutzung der Zähne als Werkzeug, wie sie bei der Ledergerbung noch bis in die Neuzeit bei den Eskimos üblich war oder das Lutschen von Kieselsteinen um den Speichelfluss zu erhöhen (ALT, RÖSING & TESCHLER-NICOLA, 1998).

In der gegenwärtigen Bevölkerung spielen ernährungsbedingte Faktoren für die Zahnabrasion eine eher untergeordnete Rolle, dagegen tragen die heutzutage in der Zahnheilkunde verwendeten Werkstoffe (z. B. Füllungsmaterialien und Zahnersatz aus Gold oder Keramik) zum Zahnhartsubstanzverlust bei (siehe 1.1.2.1 Erosion und Attrition). Neben ökologischen Bedingungen spielen eine Reihe schwer abschätzbarer Faktoren (z. B. Kaumuskulatur, Zahnstellung) sowie mögliche Fehlfunktionen (z. B. Bruxismus) und anlagebedingte Unterschiede in der Härte des Zahnschmelzes eine Rolle bei der Abnutzung der

Okklusalflächen, so dass der Abrasionsbefund an historischen Populationen nur eine bevölkerungsspezifische Bedeutung hat (ALT, 1997).

1.1.3 Reaktion der Pulpa bei Reizeinwirkung

ROSENBERG (1982) beschreibt die Pulpa als ein hochspezialisiertes Bindegewebe mit der Hauptaufgabe der Bildung von Dentin. Die Reaktion der Pulpa auf einen Reiz hängt von der Intensität und Dauer seiner Einwirkung sowie vom biologischen Zustand der Pulpa ab. Die Pulpa von Zähnen, die okklusale Abnutzung sowie Erosion erfahren haben, zeigt regressive und atrophische Erscheinungen, die für die Alterung typisch sind. SELTZER (zit. nach ROSENBERG, 1982) hat hierfür die Bezeichnung *induzierte Alterung der Pulpa* geprägt. Zu den Folgeerscheinungen des Alterungsprozesses gehören die zahlenmäßige Verringerung von Fibroblasten und Odontoblasten sowie der die Pulpa versorgenden Blutgefäße und Nerven, eine Fibrosierung der Pulpa mit gleichzeitiger Abnahme der Grundsubstanz sowie das Auftreten einer atrophischen Verkalkung. Unter den betroffenen Dentintubuli wird reparatives Dentin abgelagert, wodurch das Volumen der Pulpa abnimmt. In manchen Fällen ist eine Abnahme des Durchmesser des Pulpenkanals sowie eine fast vollständige Obliteration der Pulpenkammer zu beobachten (ROSENBERG, 1982).

Nach Untersuchungen von SZABO (1900), TRUEB (1909) und WAGNER (1927) (zit. nach SCHUMACHER et al., 1990) hält die Verengung des Pulpenkavums von vertikal her länger an als in horizontaler Richtung, so dass das Pulpenkavum im Alter niedriger als breit ist. Auch NITZAN et al. (1986) (zit. nach GULDENER und LANGELAND, 1993) bestätigen, dass infolge des stetigen Sekundärdentinanbaus das Kronenkavum kleiner, vor allem niedriger wird, und die Wurzelkanäle enger werden, wodurch die Pulpa altersbedingt an Volumen abnimmt. Weiterhin geben sie an, dass Dentikel, wie konzentrische Zwiebelschalendentikel sowie diffuse Verkalkungen und Faserdentikel im Pulpenkavum in vielen Zähnen (50 - 90%) in jedem Lebensalter vorhanden seien, und ihre Zahl und Größe rein altersbedingt weder zu- noch abnehme. Nach NITZAN et al. (1986) (zit. nach GULDENER und LANGELAND, 1993) treten sie mit Ausnahme der diffusen Verkalk-

kungen und Faserdentikel in der Wurzelpulpa, bis zum 25. Lebensjahr nur selten auf.

1.1.3.1 Bildung von Reizdentin (Sekundär- bzw. Tertiärdentin)

GULDENER und LANGELAND (1993) bezeichnen das Dentin, das sich unter einer kariösen Läsion, einer Füllung oder bei Abnutzung bildet, als Sekundär- oder Tertiärdentin, abhängig von seiner Morphologie und der bevorzugten Terminologie. Abnutzung beginnt zunächst im Schmelz, schreitet sie weiter fort, erreicht sie das ursprüngliche Dentin (Primärdentin). Durch die Freilegung von Dentintubuli werden die in der Pulpa befindlichen Odontoblasten zur Bildung von sekundärem Dentin stimuliert. Das Sekundärdentin wird pulpal des Primärdentins angelagert. Da es hierbei zu einer Verdickung des Dentins kommt, interpretieren GULDENER und LANGELAND (1993) es auch als „Schutzdentin“. Die alte deutsche Bezeichnung „Reizdentin“ ist nach GULDENER und LANGELAND (1993) zutreffender, weil dieses Dentin infolge eines natürlichen oder iatrogenen Reizes entsteht. Nach ROSENBERG (1982) verhütet dieser Vorgang zwar die Freilegung der Pulpa oder schiebt diese auf, die Pulpa macht dennoch die mit der induzierten Alterung assoziierten regressiven Veränderungen durch. In manchen Fällen schützt das sekundäre Dentin die Pulpa nicht ausreichend, und sie wird freigelegt. In histologischen Untersuchungen an durch Abnutzung freigelegtem Dentin von Milch- und bleibenden Zähnen wurden in freigelegten Dentintubuli Dentinsprünge und in nekrotischem Pulpagewebe Bakterien nachgewiesen. Vorhandenes primäres und reparatives Dentin scheinen demnach die Pulpa nicht völlig vor äußeren Reizen schützen zu können. Nach manchen Autoren charakterisiert fast alle Zähne mit einer Abnutzung eine Entzündung der Pulpa (ROSENBERG, 1982). HAUGEN und MJOR (zit. nach ROSENBERG, 1982) hingegen fanden Pulpenreaktionen in wesentlich geringerer Häufigkeit.

Die protektive Wirkung von sekundärem Dentin ist umstritten. Manche Untersucher schreiben ihm die Fähigkeit zu, die Pulpa völlig vor äußeren Reizen schützen zu können. Andere wiederum halten es für qualitativ minderwertig, permeabel und unfähig, einen verlässlichen und vollständigen Schutz vor äußeren Reizen zu bieten (ROSENBERG, 1982).

Nach GULDENER und LANGELAND (1993) kommt in der heutigen, zivilisierten Welt Abrasion dank der verfeinerten Ernährung seltener vor. Entgegen der Ansicht von ROSENBERG (1982) weisen sie die Betrachtung der Sekundärdentinbildung als Schutzmechanismus der Pulpa als Irrtum zurück und beschreiben diese Verkalkungen als Bestandteil pathologischer Veränderungen durch Ablagerung von Calciumsalzen in absterbenden und toten Zellen (ROBBINS et al., 1984).

1.2 Zielsetzung der Arbeit

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass bei der Literaturrecherche zum vorliegenden Thema keine Publikationen gefunden werden konnten, in denen eine Reizdentinbildung im Zusammenhang mit dem Abrasionsgrad weder makroskopisch noch radiologisch untersucht wurden. Daher wurde für diese Dissertation das Ziel gesetzt, herauszufinden, ob es einen Zusammenhang zwischen okklusaler Abnutzung (Abrasionsgrad) und der Ausbildung von Reizdentin gibt und ob dieser Zusammenhang anhand von Röntgenaufnahmen nachweisbar ist. Ferner soll analysiert werden, ob ein Zusammenhang zwischen der röntgenologisch bestimmten Reizdentinschichtstärke und dem Ausmaß der okklusalen Reizdentinfläche besteht. Voraussetzung für diese Annahme waren Überlegungen aus der Mechanik, wonach eine höhere Schichtdicke einem höheren mechanischen Druck standhält.

1.2.1 Hypothesen und Fragen

Es ergaben sich folgende Hypothesen und Fragen, die in der vorliegenden Arbeit zu überprüfen sind:

1. Nimmt die Ausbildung von Reizdentin in der Pulpenkammer mit fortschreitender Abrasion zu?
2. Verhindert die Reizdentinbildung eine Eröffnung des Pulpenkavums? Falls nicht, ab welchem Abrasionsgrad reicht dann die Reizdentinbildung dafür nicht mehr aus?
3. Welcher Zusammenhang besteht zwischen der okklusal gemessenen Reizdentinfläche und dem Abrasionsgrad?

4. Besteht ein Zusammenhang zwischen der röntgenologisch bestimmten Ausbildung von Reizdentin und der okklusal gemessenen Reizdentinfläche?

2 Material und Methoden

2.1 Untersuchungsmaterial

2.1.1 Auswahl der untersuchten Unterkiefermolaren

Für die nachfolgend beschriebenen Untersuchungen wurden Unterkiefermolaren ausgewählt, weil bei diesen im Gegensatz zu Incisivi, Prämolaren und Oberkiefermolaren aufgrund ihrer Wurzelanatomie (i. d. R. zwei Wurzeln) in der Sagittalprojektion auf einem Röntgenbild Boden und Dach des Pulpenkavums gut zu erkennen sind und somit vertikale Pulpenmessungen möglich werden. Incisivi haben i. d. R. nur eine Wurzel, weswegen bei ihnen das Pulpenkavum direkt in den Wurzelkanal mündet. Weil Oberkiefermolaren i. d. R. drei Wurzeln besitzen, ist bei ihnen Boden und Dach des Pulpenkavums in einer Röntgenaufnahme nicht eindeutig festzulegen.

Es wurden menschliche Unterkiefer mit bleibendem Gebiss aus dem Skelettmaterial des Instituts für Anthropologie und Humangenetik der Eberhard-Karls-Universität Tübingen nach dem Zufallsprinzip ausgewählt. Fundorte, Alter und Geschlecht wurden hierfür nicht berücksichtigt. In einer Voruntersuchung wurden die Unterkiefer auf den Erhaltungszustand und den Abrasionsgrad der Unterkiefermolaren überprüft. Aufgrund der Bodenbeschaffenheit (Lössboden mit geringem Kalkanteil) kann es zu Dekompositionsschäden der Skelettanteile kommen. Einige der Unterkiefer waren in schlechtem Erhaltungszustand, sie wiesen bei der Erstuntersuchung Dekompositionsschäden auf oder waren weitgehend unvollständig erhalten. Nur gut erhaltene und kariesfreie Unterkiefermolaren unterschiedlicher Abrasionsgrade wurden zur Untersuchung herangezogen. Für die spätere statistische Auswertung sollten mindestens 30 Molaren je kategorisiertem Abrasionsgrad (Tabelle 7 auf Seite 26) untersucht werden. Von insgesamt 83 ausgesuchten Unterkiefern wurden 259 Unterkiefermolaren (M1, M2 und M3) der rechten und linken Unterkieferhälfte des bleibenden Gebisses für die nachfolgenden Untersuchungen verwendet. Das Skelettmaterial stammt überwiegend aus dem süddeutschen Raum und dem Zeitraum von der Völkerwanderung bis in die frühe Neuzeit.

2.2 Untersuchungsmethoden

2.2.1 Bestimmung des Abrasionsgrades

2.2.1.1 Abrasionsgrad nach MILES (1963)

Der Abrasionsgrad der Unterkiefermolaren wurde anhand des Schemas von MILES (1963), wie Abbildung 2 (Seite 12) und Tabelle 1 (Seite 12) zeigen, bestimmt. Diese Einteilung erlaubt für untere Molaren eine genaue und systematische Abstufung in sieben Abrasionsgrade. In der vorliegenden Untersuchung wurden nur Molaren bis einschließlich Abrasionsgrad 6 vorgefunden.

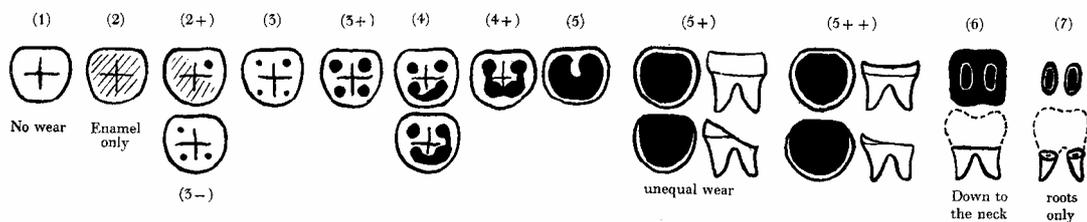


Abbildung 2: Abrasionsschema nach MILES (1963) (aus BROTHWELL, 1981)

Die Einteilung der untersuchten Unterkiefermolaren in dieses Abrasionsschemas erfolgte anhand der in Tabelle 1 (Seite 12) aufgeführten Beschreibungen.

Tabelle 1: Abrasionsschema nach MILES (1963) aus BROTHWELL (1981)

Grad	Beschreibung
(1)	keine Abrasionsspuren auf der Schmelzoberfläche
(2)	geringe Abrasionsspuren auf der Schmelzoberfläche
(2+)	geringe Abrasionsspuren, geringfügig freiliegendes Dentin an einem Höcker
(3-)	mäßige Abrasion, geringfügig freiliegendes Dentin an drei Höckern
(3)	mäßige Abrasion, geringfügig freiliegendes Dentin an allen Höckern
(3+)	mäßige Abrasion, größere, gegeneinander abgegrenzte Flächen freiliegenden Dentins
(4)	mäßig starke Abrasion, zwei oder drei Flächen freiliegenden Dentins miteinander verschmolzen,
(4+)	mäßig starke Abrasion, vier verschmolzene Dentinflächen, Zentralfissur noch vorhanden
(5)	starke Abrasion, vier verschmolzene Dentinflächen, Schmelzinselbildung
(5+)	Dentin auf der gesamten Zahnoberfläche freiliegend, - horizontale Abrasion: Schmelzrand intakt - vertikale Abrasion: Schmelzrand zerstört
(5++)	Kronenhöhe stärker reduziert, Schmelzrand weitgehend intakt
(6)	Kronenhöhe bis zum Zahnhals reduziert, Schmelzrand zerstört
(7)	Krone zerstört, nur noch Wurzeln sichtbar

2.2.1.2 Kategorisierter Abrasionsgrad

Für die statistische Auswertung wurden die sechs vorgefundenen Abrasionsgrade in acht Kategorien eingeteilt. Da die Abrasionsgrade 1 bis 2+ keine oder nur geringe Abrasion aufweisen, wurden diese in Kategorie 1 für geringe Abrasion und die Abrasionsgrade 3- bis 3+ in Kategorie 2 für mäßige Abrasion zusammengefasst. Die Abrasionsgrade 4, 4+, 5, 5+, 5++ und 6 wurden jeweils in eine eigene Kategorie (3 – 8) eingeordnet. Die Zuordnung der kategorisierten Abrasionsgrade zu den Abrasionsgraden geht aus Tabelle 2 auf Seite 13 hervor.

Tabelle 2: Abrasionsgrade nach MILES (1963) und daraus abgeleitete Abrasionsgradkategorien

Kategorisierter Abrasionsgrad	1			2			3	4	5	6	7	8
Abrasionsgrad	1	2	2+	3-	3	3+	4	4+	5	5+	5++	6

2.2.2 Befundbögen

Nach der ersten Untersuchung des gesammelten Materials wurde der Befundbogen 1 entworfen (Abbildung 23, Seite 76). In diesen Befundbogen wurden die untersuchten Unterkiefer nach ihrer Nummerierung eingetragen und jeder vorhandene Molar (36, 37, 38 bzw. 46, 47, 48) in diesem Kiefer dem entsprechenden Abrasionsgrad (nach MILES, 1963) zugeordnet. Die Abrasionsgrade 2, 2+ und 3-, 3, 3+ wurden in jeweils eine Spalte zusammengefasst. Ab Abrasionsgrad vier wurden die Haupt- und Unterklassen in eigene Spalten eingeteilt.

Für die Aufnahme röntgenologischer und okklusaler Messwerte wurde ein weiterer Befundbogen entworfen (Abbildung 24 auf Seite 77). In diesen zweiten Befundbogen wurden zusätzlich zu den registrierten Unterkiefermolaren und dem Abrasionsgrad, röntgenologische Messwerte der Pulpenkammer und der Dentinschicht an drei Messpunkten (mesiales und distales Pulpenhorn, Pulpenkavum) eingetragen. Zusätzlich wurde die röntgenologisch gemessene Länge einer Wurzelkanalfeile definierter Länge eingetragen, um den Vergrößerungseffekt der Röntgenaufnahmen ermitteln zu können (Näheres siehe

2.2.3.1 Anfertigung der Röntgenbilder und 2.2.3.2.3 Röntgenologische Feilenlänge). In den zweiten Abschnitt des zweiten Befundbogens wurden okklusale Messwerte eingetragen. Bei Auftreten von Reizdentin auf der Kaufläche wurden die Lokalisation (mesiales und distales Pulpenhorn, Pulpenkavum) und die Ausdehnung (m-d, b-l) der gefundenen Fläche(n) eingetragen.

2.2.3 Röntgenologische Messungen

Von den ausgewählten Unterkiefermolaren wurden im Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde der Universität Tübingen in der Abteilung Zentrales Röntgen Mundfilme in der Paralleltechnik angefertigt.

2.2.3.1 Anfertigung der Röntgenbilder

2.2.3.1.1 Paralleltechnik nach PASLER (1995)

Abbildung 3 auf Seite 15 zeigt die Paralleltechnik nach PASLER (1995). Dieses Verfahren ist ursprünglich aber von PRICE (1904, zit. nach PASLER, 1995) und von MCCORMACK (1920, zit. nach Pasler, 1995) beschrieben und von FITZGERALD (1947, zit. nach PASLER, 1995) verbessert worden. Dabei wird die Bildträgerenebene mit Hilfe eines Film-/Sensorhalters parallel zur Objektachse gestellt. Der Zentralstrahl trifft in der Mitte der Zahnlänge senkrecht auf die Zahnachse und auf die Bildträgerenebene. Vorteil dieser Technik ist, dass der Zahn in allen Teilen gleichmäßig vergrößert wiedergegeben wird.

2.2.3.1.2 Paralleltechnik modifiziert

Abbildung 4 auf Seite 15 zeigt eine speziell für diese Untersuchung modifizierte Paralleltechnik in Anlehnung an PASLER (1995). Für die vorliegende Untersuchung wurden Röntgenaufnahmen der rechten und linken Unterkieferhälfte angefertigt. Die Bildträgerenebene wurde mit Hilfe eines Universal-Aufbissfilmhalters nach Dr. Roschmann parallel zur Objektachse gestellt. Der Zentralstrahl traf senkrecht auf die Zahnachse und auf die Bildebene.

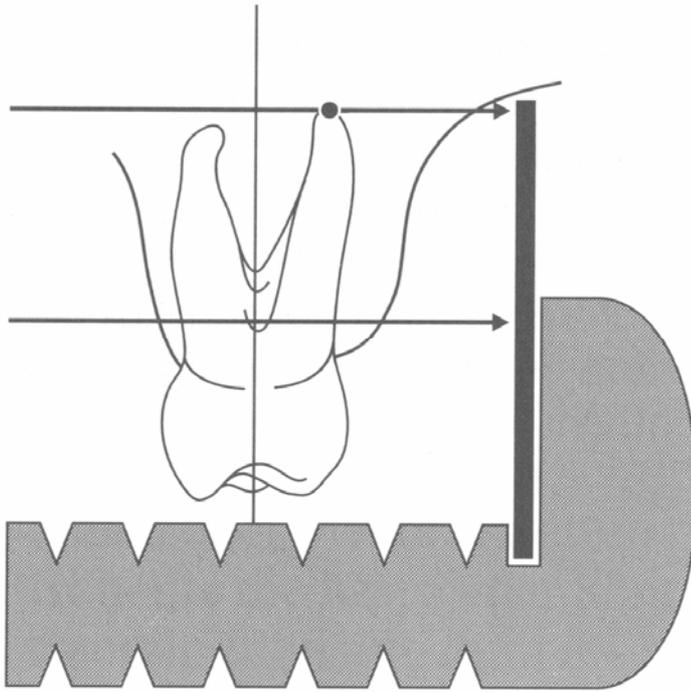


Abbildung 3: Paralleltechnik nach PASLER (1995)

- a Universal-Aufbissfilmhalter
- b Mundfilm
- c Zentralstrahl
- d Zahnachse
- e Unterkiefer mit Molar
- f Boxingwachs
- g Wurzelkanalfeile
- h Tischebene

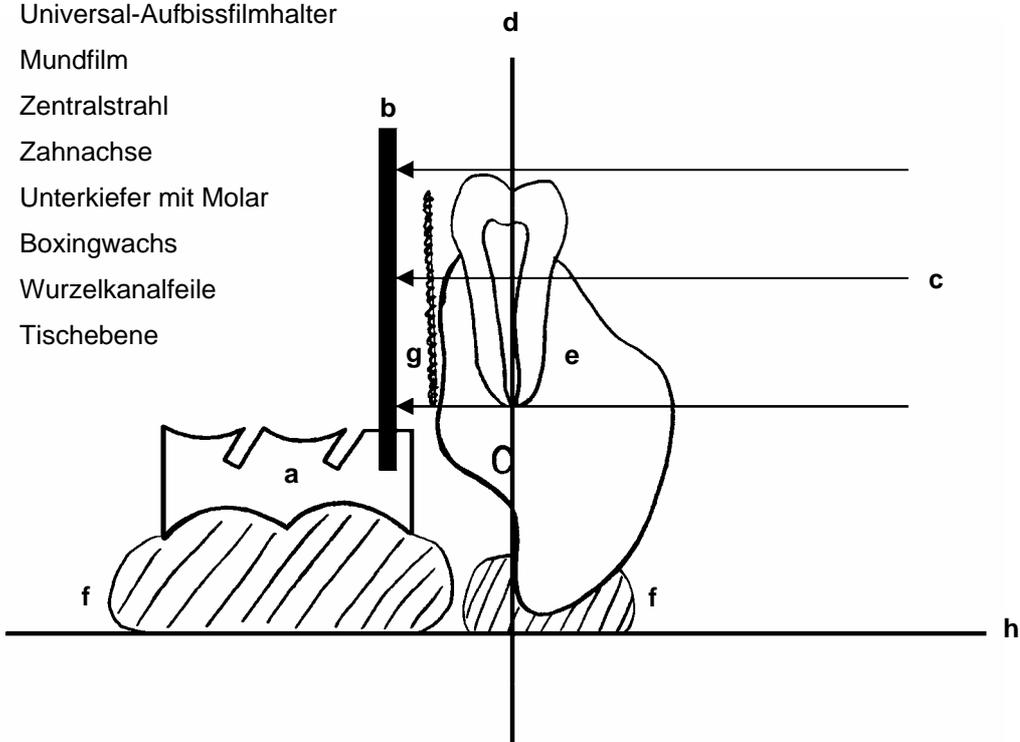


Abbildung 4: Aufnahmetechnik nach dem Prinzip der Paralleltechnik modifiziert

Hierfür wurden der Unterkiefer und der Filmhalter mit Boxingwachs auf einer Tischebene so ausgerichtet, dass die Zahnachse und der Mundfilm senkrecht zur Tischebene standen. Eine Wurzelkanalfeile definierter Länge wurde mit einem Klebestreifen auf der lingualen Seite des Unterkiefers parallel zu Zahnachse und Mundfilm befestigt. Der Filmhalter wurde auf der Tischebene lingual an den Zahnbogen geführt, so dass ein möglichst geringer Abstand zwischen Objekt und Bildebene entstand. Der Tubus der Röntgenröhre wurde mit dem Zentralstrahl senkrecht auf die Zahnachse und Bildebene gerichtet. Es wurden Ultra-speed Mundfilme (Kodak) und die Röntgeneinrichtung Heliodent MD (Sirona) mit einem Kurztubus von 6 cm Durchmesser verwendet. Der Mundfilm wurde mit 60 kV und 7 mAs belichtet und in einem vollautomatischen Ausarbeitungsautomat XR 24 II (Dürr Dental) entwickelt. Anschließend wurden die Mundfilme zur späteren Ausmessung in eine Röntgenbildhülle (Firma Cedip GmbH) eingeklebt

2.2.3.2 Durchführung der röntgenologischen Messungen

Mit einem Röntgenbildbetrachter Ultra Luna IIA (Lysta, Dänemark) wurden die röntgenologischen Messungen durchgeführt. Dabei wurde wie Abbildung 5 (Seite 17) zeigt, die Höhe des Pulpenkavums und die Dentinschichtstärke an drei Stellen (über den mesialen und distalen Pulpenhörnern und in der Mitte des Pulpenkavums) ausgemessen. Die Messungen wurden mittels einer Präzisionslupe (Kaiser Fototechnik) mit siebenfacher Vergrößerung und einer Skalierung in $\frac{1}{10}$ mm durchgeführt.

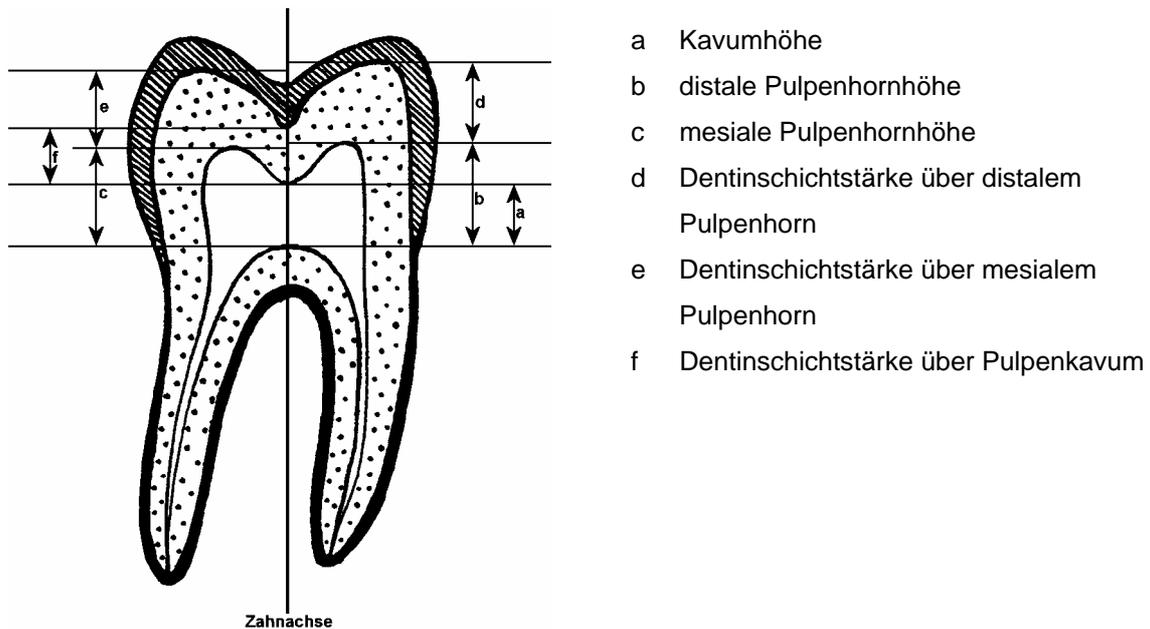


Abbildung 5: Röntgenologische Messungen

2.2.3.2.1 Pulpenmessungen

Die Pulpenmesswerte wurden, wie in Abbildung 5 auf Seite 17 dargestellt, aus den Röntgenbildern ermittelt. Der Kavumboden wurde durch eine Gerade festgelegt, die senkrecht zur Zahnachse durch seinen höchsten Punkt führt. Eine Gerade ebenfalls senkrecht zur Zahnachse und durch den tiefsten Punkt des Kavumdaches kennzeichnet die Höhe des Kavumdaches. Der Abstand zwischen beiden Geraden ergibt die Höhe des Pulpenkavums.

Die Höhe der Pulpenhörner wird bestimmt, indem man den Abstand vom Kavumboden zum höchsten Punkt eines Pulpenhorns misst.

Da ein unterer Molar zwei mesiale und zwei distale Pulpenhörner aufweist und diese sich im Mundfilm übereinander projizieren, wurden die Pulpenhornhöhen aus dem Mittelwert der Differenz zwischen beiden mesialen und beiden distalen Hörnern errechnet.

2.2.3.2.2 Dentinmessungen

Die Dentinmessungen (Dentinschichtstärke über mesialem und distalem Pulpenhorn und über dem Pulpenkavum) ergaben sich als Differenzen aus

Unterkanten und korrespondierenden Oberkanten der Dentinschicht, parallel zur Zahnachse (Abbildung 5, Seite 17).

2.2.3.2.3 Röntgenologische Feilenlänge

Die Länge der Wurzelkanalfeile wurde ausgemessen um den Vergrößerungsfaktor eines Mundfilms zu bestimmen. Beim Erstellen eines Röntgenbildes kommt es bekanntlich durch die Projektion zu einem Vergrößerungseffekt in Abhängigkeit vom Abstand und Winkel zwischen Film und Projektionsobjekt. Für die vorliegende Auswertung waren exakte Längenmessungen an den Röntgenbildern nötig, weswegen, wie schon erwähnt, zur Ermittlung des Vergrößerungseffektes der einzelnen Röntgenbilder eine Wurzelkanalfeile bestimmter Länge parallel zur Zahnachse an der Lingualseite jedes Unterkiefers befestigt wurde. Bei Durchführung der röntgenologischen Messungen wurde deren Länge ebenfalls ausgemessen und zur Berechnung eines Korrekturfaktors für jedes einzelne Röntgenbild herangezogen.

Die tatsächliche Länge der Wurzelkanalfeile betrug 24,2 mm. Die auf den Röntgenbildern gemessenen Längen der Wurzelkanalfeile schwanken um das arithmetische Mittel von 24,630 mm mit der Standardabweichung von 1,777 mm. In Tabelle 3 (Seite 18) sind die gemessenen Längen der Wurzelkanalfeile als Häufigkeitsverteilung aufgelistet. In Abbildung 6 (Seite 19) ist die Verteilung dieser Schwankung dargestellt.

Tabelle 3: Häufigkeitsverteilung der gemessenen Feilenlänge je Röntgenbild und Kennwerte der Verteilung

Messwert [mm]	Häufigkeit
24,1	2
24,3	2
24,4	17
24,5	28
24,6	30
24,7	18
24,8	12
24,9	20
25	1
25,1	2
Gesamt	132

tatsächliche Länge	arithmetisches Mittel	Standardabweichung
24,2 mm	24,630 mm	1,777 mm

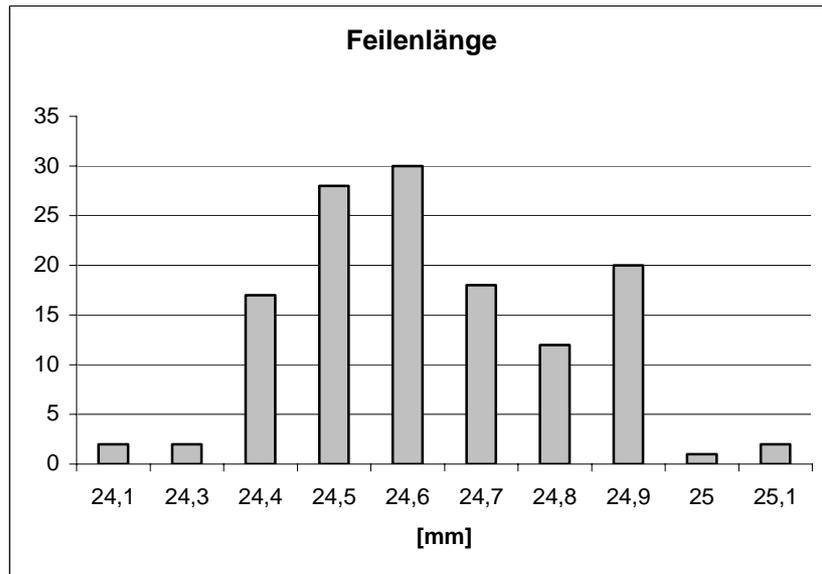


Abbildung 6: Verteilung des Vergrößerungseffektes durch die Röntgenprojektion

Da ein gemittelter Korrekturfaktor für die weiteren Auswertungen ungenau gewesen wäre, wurden die aus den Röntgenbildern gewonnenen Kavum- und Dentinmesswerte mit einem individuell berechneten Faktor für jedes Röntgenbild korrigiert. Diese Korrektur wurde mit der aus dem 2. Strahlensatz abgeleiteten Formel 1 berechnet.

$$\text{Messwert}_{\text{korrigiert}} = \frac{\text{Messwert}_{\text{röntgenolog.}} \cdot \text{Feilenlänge}_{\text{original}}}{\text{Feilenlänge}_{\text{röntgenolog.}}}$$

Formel 1: Korrektur des röntgenologischen Vergrößerungseffektes

2.2.4 Okklusale Messungen

Nach Abschluss der röntgenologischen Messungen wurden die Unterkiefermolaren auf okklusal erkennbares Reizdentin hin untersucht. An Zähnen, mit höherem Abrasionsgrad ist die Kaufläche an manchen Stellen soweit abgenutzt, dass Reizdentin hervortritt. Man kann dieses durch eine dunklere und bernsteinähnliche Färbung vom Dentin abgrenzen. Lokalisationsstellen für Reizdentin können auf der Kaufläche über den Pulpenhörnern und über dem Dach des Pulpenkavums auftreten. Die Pulpenhörner werden bei Abrasion der Zähne zuerst erreicht, da sie einen geringeren Abstand zum Schmelz aufweisen. Bei stärkerer Abrasion wird dann das Kavumdach erreicht

und die Pulpenhörner sind durch die Abrasion bereits abgetragen. Bei schräg zur Kaufläche verlaufender Abrasion (vertikale Abrasion) kann Reizdentin am Kavumdach und zusätzlich an den höherliegenden Pulpenhörnern lokalisiert werden. Abbildung 25 auf Seite 78 zeigt ein Abrasionsgebiss. Zähne 36 und 46 lassen deutlich Reizdentin auf ihrer Kaufläche erkennen. Reizdentin ist über dem mesio-bukkalen und disto-bukkalen Pulpenhorn lokalisiert. Man erkennt dieses durch die deutlich abgegrenzte Dunkelfärbung gegenüber Dentin. Die Abrasionsgrade beider Zähne entsprechen hier dem Abrasionsgrad 5+ nach MILES (1963) bzw. dem kategorisierten Abrasionsgrad 6 in dieser Untersuchung.

2.2.4.1 Messung und Berechnung der Reizdentinflächen

Bei Auftreten von Reizdentin auf der Kaufläche wurden die Lokalisation und die Ausdehnung der Reizdentinfläche in den Befundbogen 2 eingetragen. Für jede Lokalisationsstelle über einem der vier Pulpenhörner oder über dem Dach des Pulpenkavums wurden die mesio–distale (md) und die bukko–linguale (bl) Ausdehnung gemessen. Dafür wurde der Durchmesser mit einem Zirkel abgegriffen und auf ein Blatt Papier übertragen. Mit der skalierten Präzisionslupe, mit der auch die röntgenologischen Messungen durchgeführt wurden, wurde nun der Abstand beider Einstichstellen auf dem Blatt Papier ausgemessen und in den Befundbogen eingetragen.

In Tabelle 4 auf Seite 20 sind die Maße für Reizdentinflächen aufgelistet. Für jede Lokalisation von okklusal sichtbarem Reizdentin über einem der vier Pulpenhörner oder über dem Dach des Pulpenkavums wurden die mesio–distale (md) und die bukko–linguale (bl) Ausdehnung gemessen.

Tabelle 4: Flächenmaße okklusalen Reizdentins

F-MB	RD Fläche über dem mesio-bukkalen Pulpenhorn
F-ML	RD Fläche über dem mesio-lingualen Pulpenhorn
F-DB	RD Fläche über dem disto-bukkalen Pulpenhorn
F-DL	RD Fläche über dem disto-lingualen Pulpenhorn
F-KAV	RD Fläche über dem Pulpenkavum
distale RD-Fläche	RD Fläche über dem distalen Pulpenhorn
mesiale RD-Fläche	RD Fläche über dem mesialen Pulpenhorn
FlächeGes	Summe aller okklusalen RD Flächen

Die Reizdentinflächen weisen meist unterschiedliche Formen auf. An den Pulpenhörnern ähnelt die Form eher einem Kreis. Über dem Pulpenkavum reicht die Form von rechteckig abgerundet bis schmetterlingsförmig. Für die Flächenberechnung wurde als Näherung eine Ellipse angenommen (Abbildung 7, Seite 21). Deren Fläche berechnet sich nach Formel 2. Die beiden Achsen der Ellipse a und b entsprechen jeweils der halben mesio-distalen (md) und bucco-lingualen (bl) Ausdehnung der Reizdentinfläche. Mit $md = 2a$ und $bl = 2b$ erhält man jede einzelne Reizdentinfläche angenähert nach Formel 3. Für die gesamte okklusale Reizdentinfläche eines Molaren wurden die Einzelflächen aus Formel 3 über den jeweiligen Pulpenhörnern bzw. dem Pulpenkavum summiert (Formel 4, Seite).

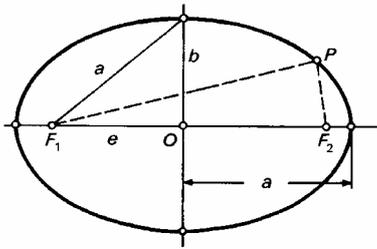


Abbildung 7: Ellipse mit ihren Halbachsen a und b (aus MEYERS, 1983)

$$F = \pi \cdot a \cdot b$$

Formel 2: Fläche einer Ellipse

$$F = \frac{\pi \cdot md \cdot bl}{4}$$

Formel 3: Einzelne Reizdentinfläche mit mesio-distaler (md) und bucco-lingualer (bl) Ausdehnung

$$F_{ges} = F_{mb} + F_{ml} + F_{db} + F_{dl} + F_{kav}$$

Formel 4: Reizdentinfläche okklusal gesamt

2.3 Überblick über die Messwerte

Durch röntgenologische und okklusale Messungen an den untersuchten Unterkiefermolaren wurde eine Vielzahl von Daten erhoben. Aus diesen primären, direkt erhobenen Messwerten wurden zur weiteren Auswertung sekundäre, abgeleitete Maße errechnet.

2.3.1 Primäre Messwerte

Die primären, direkt erhobenen röntgenologischen und okklusalen Messwerte sind in Tabelle 5 (Seite 22) dargestellt. Sie lassen sich gruppieren in Abrasionsgrade, Messwerte des Pulpenkavums, Messwerte der Dentinschicht und Messwerte okklusalen Reizdentins (Lokalisation und Ausdehnung).

Tabelle 5: Primäre Messwerte

Name (Abkürzung)	Beschreibung
Abrasionsgrad	Abrasionsgrad nach MILES (1963), 7 Klassen mit Unterklassen
kategorisierter Abrasionsgrad	Abrasionsgrad nach MILES (1963), zusammengefasst in 8 Kategorien
Kavumhöhe	Höhe des Pulpenkavums (röntgenologisch bestimmt)
Pulpenhornhöhe (m)	Höhe des mesialen Pulpenhorns (röntgenologisch bestimmt)
Pulpenhornhöhe (d)	Höhe des distalen Pulpenhorns (röntgenologisch bestimmt)
Dentinsch. ü. Kavum	Dentinschichtstärke über dem Pulpenkavum (röntgenologisch bestimmt)
Dentinsch. ü. Horn(m)	Dentinschichtstärke über dem mesialen Pulpenhorn (röntgenologisch bestimmt)
Dentinsch. ü. Horn(d)	Dentinschichtstärke über dem distalen Pulpenhorn (röntgenologisch bestimmt)
Rd. okkl. ü. mb Horn ^a	Lokalisation okklusalen RD über mesio-bukkalem Pulpenhorn
mb Horn /m-d	mesio-distale Ausdehnung des RD über mesio-bukkalem Pulpenhorn
mb Horn /b-li	bukko-linguale Ausdehnung des RD über mesio-bukkalem Pulpenhorn
Rd.okkl.ü.ml Horn ^a	Lokalisation okklusalen RD über mesio-lingualem Pulpenhorn
ml Horn /m-d	mesio-distale Ausdehnung des RD über mesio-lingualem Pulpenhorn
ml Horn /b-li	bukko-linguale Ausdehnung des RD über mesio-lingualem Pulpenhorn
Rd. okkl. ü. db Horn ^a	Lokalisation okklusalen RD über disto-bukkalem Pulpenhorn
db Horn /m-d	mesio-distale Ausdehnung des RD über disto-bukkalem Pulpenhorn
db Horn /b-li	bukko-linguale Ausdehnung des RD über disto-bukkalem Pulpenhorn
Rd. okkl. ü. dl Horn ^a	Lokalisation okklusalen RD über disto-lingualem Pulpenhorn
dl Horn /m-d	mesio-distale Ausdehnung des RD über disto-lingualem Pulpenhorn
dl Horn /b-li	bukko-linguale Ausdehnung des RD über disto-lingualem Pulpenhorn
Rd. okkl. ü. Kavum ^a	Lokalisation okklusalen RD über Pulpenkavum
KAV.M-D	mesio-distale Ausdehnung des RD über Pulpenkavum
KAV.B-LI	bukko-linguale Ausdehnung des RD über Pulpenkavum

^a Lokalisation ist eine boolsche Variable

2.3.2 Sekundäre Messwerte

Aus den primären Messwerten wurden für weitere Auswertungen und statistische Berechnungen sekundäre Messwerte wie Differenz-, Flächen- oder Summenmaße errechnet. In Tabelle 4 (Seite 20) und Tabelle 6 (Seite 23) sind diese abgeleiteten Maße dargestellt. Da Reizdentin im Röntgenbild nicht von ursprünglichem Dentin zu unterscheiden ist und somit die Reizdentinschichtstärke nicht direkt bestimmbar ist, wurden die zugehörigen Mittelwerte bei geringster Abrasion der Okklusalfächen (Abrasionskategorie 1) als Baseline gesetzt und die Differenzen zu den direkt gemessenen Pulpenmesswerten für die weitere Auswertung als Ersatz für die Reizdentinschichtstärke gesetzt (Tabelle 6 auf Seite 23).

Tabelle 6: Differenzmaße

Name	Beschreibung	Baseline
Differenz Kavumhöhe	RD Schichtstärkenbestimmung aus Baseline und Kavumhöhe röntgenologisch bestimmt	Mittelwert der Kavumhöhe in der Abrasionskategorie 1
Differenz Pulpenhornhöhe mesial	RD Schichtstärkenbestimmung aus Baseline und mesialer Pulpenhornhöhe röntgenologisch bestimmt	Mittelwert der mesialen Pulpenhornhöhe in der Abrasionskategorie 1
Differenz Pulpenhornhöhe distal	RD Schichtstärkenbestimmung aus Baseline und distaler Pulpenhornhöhe röntgenologisch bestimmt	Mittelwert der distalen Pulpenhornhöhe in der Abrasionskategorie 1
Differenz Kavumhöhe	RD Schichtstärkenbestimmung aus Baseline und Kavumhöhe röntgenologisch bestimmt	Mittelwert der Kavumhöhe bei Abrasionsgrad 1
Differenz Pulpenhornhöhe mesial	RD Schichtstärkenbestimmung aus Baseline und mesialer Pulpenhornhöhe röntgenologisch bestimmt	Mittelwert der mesialen Pulpenhornhöhe bei Abrasionsgrad 1
Differenz Pulpenhornhöhe distal	RD Schichtstärkenbestimmung aus Baseline und distaler Pulpenhornhöhe röntgenologisch bestimmt	Mittelwert der distalen Pulpenhornhöhe bei Abrasionsgrad 1

2.4 Statistische Methoden

Alle erhobenen röntgenologischen und okklusalen Daten wurden von den Befundbögen zur weiteren Untersuchung und statistischen Auswertung in Tabellenkalkulationsprogramme übertragen. Für die grundsätzlichen Auswertungen wurde Microsoft Excel Versionen 8.0 und 9.0 verwendet. Die teststatistischen Berechnungen wurden mit SPSS (Statistical Packages for Social Sciences) Versionen 9.0 und 11.0 erstellt, die Schaubilder mit Excel und SPSS.

2.4.1 Statistische Signifikanz

Die statistische Signifikanz bezeichnet die Bedeutsamkeit insbesondere die statistische Bedeutsamkeit von Unterschieden innerhalb und zwischen Daten. Signifikanztests dienen der Ermittlung dieser Signifikanz von Stichprobenergebnissen, sie prüfen die Wahrscheinlichkeit für das Abweichen des in der Stichprobe aufgefundenen Ergebnisses von der angenommenen Nullhypothese. Als Signifikanzniveau bezeichnet die Statistik die Größe des tolerierten Fehlers erster Art (α -Fehler) bei der Interpretation von Stichprobenergebnissen. Am häufigsten wird auf dem 1%- (hoch signifikant) oder auf dem 5%-Signifikanzniveau (signifikant) unterschieden (BORTZ, 1993).

2.4.2 Korrelation

Mit Korrelationen werden die Beziehungen zwischen Variablen oder deren Rängen gemessen. Der Korrelationskoeffizient nach Pearson (r) ist ein Maß für die Enge des linearen Zusammenhangs zweier normalverteilter Variablen (Merkmale). Er kann Werte im Bereich -1 bis $+1$ annehmen. Je höher der Korrelationskoeffizient r betragsmäßig ist und sich dem Wert ± 1 nähert desto stärker ist der lineare Zusammenhang der beiden untersuchten Variablen. Bei Werten gegen 0 besteht kein Zusammenhang mehr. Das Vorzeichen des Korrelationskoeffizienten gibt die Richtung des Zusammenhanges an: steigen beide Variablen gemeinsam an, ist der Zusammenhang positiv; nimmt eine Variable ab, während die andere zunimmt, hat der Korrelationskoeffizient ein negatives Vorzeichen. Zusätzlich zur Höhe der Korrelation ist auch die Signifikanz des Korrelationskoeffizienten von Bedeutung für dessen Interpretation. Eine Korrelation zweier Variablen sagt nichts über Kausalität oder eine Ursächlichkeit aus sondern nur über ein gemeinsames Einhergehen und darf daher nicht als kausal oder deterministisch interpretiert werden (BORTZ, 1993).

2.4.3 Regressionsanalyse

Mit linearer Regression werden die Koeffizienten der linearen Gleichung $y = bx + a$ berechnet. Mit Hilfe dieser Regressionsgleichung lässt sich eine schwer zu erfassende Variable (abhängige Variable / Kriteriumsvariable) unter

Einbeziehung einer oder mehrerer unabhängiger Variablen (Prädiktorvariable), die leichter messbar sind, schätzen bzw. vorhersagen. Neben der Steigung der Regressionsgeraden b und deren Achsenabschnitt a (Konstante) wird auch bei einer Regressionsanalyse, der Korrelationskoeffizient r von Prädiktor- und Kriteriumsvariablen und dessen Quadrat, der Determinationskoeffizient r^2 , das adjustierte r^2 (korrigierte r^2) und der Standardfehler des Schätzers berechnet. Die Genauigkeit dieser Vorhersage lässt sich mit dem Determinationskoeffizienten als Anteil der Varianz im Kriterium deuten, der durch den Prädiktor „aufgeklärt“ wird. Auch bei der Regressionsanalyse ist die Signifikanz von Bedeutung (BORTZ, 1993). Grundvoraussetzung für die Schätzung bzw. Vorhersage einer nicht messbaren Variablen ist, dass sie die Endpunkte der in die Berechnung eingeflossenen Daten nicht über- bzw. unterschreiten darf.

2.4.4 ANOVA

Unter der allgemeinen Bezeichnung Varianzanalyse (ANOVA) verbirgt sich eine Vielzahl von Einzelmethoden, mit deren Hilfe Messwerte, die von einer oder mehreren simultan wirksamen Variablen abhängen, analysiert werden können, um zu bestimmen, in welchem Ausmaß die untersuchten unabhängigen Variablen Einfluss nehmen. Mit der abhängigen Variablen wird dasjenige Merkmal bezeichnet, dessen Varianz mittels einer Varianzanalyse untersucht wird. Variablen, die am Zustandekommen dieser Varianz beteiligt sein können, werden unabhängige Variablen genannt. Varianzanalysen werden u. a. danach klassifiziert, wie viele unabhängige Variablen in ihrer Bedeutung für die abhängige Variable untersucht werden. Eine Varianzanalyse, die den Einfluss einer unabhängigen Variablen auf die abhängige Variable überprüft, wird als unifaktorielle Varianzanalyse bezeichnet. Im Gegensatz zur abhängigen Variable, die immer intervallskaliert sein muss (d. h. Mittelwerte und Varianzen müssen interpretierbar sein), können die unabhängigen Variablen ein beliebiges Skalenniveau aufweisen. Es muss lediglich gewährleistet sein, dass jeder Messwert eindeutig einer Stufe des Faktors (bzw. bei multifaktoriellen Varianzanalysen einer Faktorenstufenkombination) zugeordnet ist (BORTZ, 1993).

3 Darstellung der Ergebnisse

3.1 Abrasionsgrade und deren Kategorisierung

Tabelle 7: Verteilung der untersuchten Unterkiefermolaren über die Abrasionsgrade und Abrasionsgradkategorien

kategorisierter Abrasionsgrad	1			2			3	4	5	6	7	8	Gesamt
Abrasionsgrad (MILES, 1963)	1	2	2+	3-	3	3+	4	4+	5	5+	5++	6	
Gesamtanzahl untersuchter Zähne pro Abrasionsgrad	7	14	15	6	21	12	40	37	45	30	30	3	260
Gesamtanzahl untersuchter Zähne pro kategorisiertem Abrasionsgrad	36			39			40	37	45	30	30	3	260

In Tabelle 7 (Seite 26) findet sich eine Übersicht über die Einteilung der untersuchten Unterkiefermolaren in die verschiedenen Abrasionsgrade nach MILES (1963) wie in Abbildung 2 auf Seite 12 dargestellt und die daraus abgeleiteten Abrasionsgradkategorien. Ziel der Zusammenfassung war eine Mindestanzahl in jeder Abrasionskategorie von $N = 30$. Dieses Ziel wurde erreicht, wie Tabelle 7 zeigt. Die untersuchten Zähne sind gleichmäßiger über die neuen Kategorien verteilt, sie streuen weniger und die Standardabweichung wird geringer ($AM = 21,67$ und $STD = 14,34$ vor bzw. $AM = 32,5$ und $STD = 12,93$ nach der Zusammenfassung).

3.2 Messwerte des Pulpenkavums (röntgenologisch)

Zu den Pulpenmesswerten gehören die Kavumhöhe, die mesiale und die distale Pulpenhornhöhe.

3.2.1 Deskriptive Statistiken der röntgenologischen Pulpenmesswerte

In Tabelle 8 auf Seite 27 finden sich die deskriptiven Statistiken der Pulpenmesswerte, unterteilt nach den verschiedenen Abrasionsgradkategorien. Die Mittelwerte von Kavumhöhe, Pulpenhornhöhe distal und mesial nehmen mit steigendem Abrasionsgrad linear ab. Die lineare Abnahme dieser Mittelwerte aus Tabelle 8 auf Seite 27 ist in Abbildung 8 auf Seite 28 auch grafisch

dargestellt. Die distale Pulpenhornhöhe ist über alle Abrasionsgradkategorien geringer als die mesiale. Pulpenhornhöhe distal und mesial nehmen aber gleichmäßig ab. Die Kavumhöhe weist bei Abrasionskategorie 5 eine geringere Höhe auf als bei Abrasionskategorie 6. Der Abstand zwischen Kavumhöhe und den Pulpenhornhöhen nimmt mit zunehmender Abrasionskategorie ab.

Tabelle 8: Deskriptive Statistik der Pulpenmesswerte in Abhängigkeit vom kategorisierten Abrasionsgrad

Pulpenmesswert	kategorisierter Abrasionsgrad	N	Mittelwert	Standardabweichung	Standardfehler	95%-Konfidenzintervall für den Mittelwert		Minimum	Maximum
						Untergrenze	Obergrenze		
Kavumhöhe	1 (1, 2, 2+)	36	1,2611	0,5663	9,439E-02	1,0695	1,4527	0,30	2,60
	2 (3-, 3, 3+)	39	0,8846	0,6098	9,765E-02	0,6869	1,0823	0,10	3,20
	3 (4)	40	0,6950	0,4814	7,612E-02	0,5410	0,8490	0,10	2,10
	4 (4+)	37	0,6000	0,5764	9,476E-02	0,4078	0,7922	0,00	3,00
	5 (5)	45	0,3133	0,2912	4,341E-02	0,2258	0,4008	0,00	1,00
	6 (5+)	30	0,3533	0,3937	7,188E-02	0,2063	0,5003	0,00	1,50
	7 (5++)	30	0,2167	0,2379	4,344E-02	0,1278	0,3055	0,00	0,90
	8 (6)	3	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,00	0,00
Gesamt	260	0,6196	0,5775	3,582E-02	0,5491	0,6901	0,00	3,20	
Pulpenhornhöhe mesial	1 (1, 2, 2+)	36	2,3333	,6206	,1034	2,1234	2,5433	1,40	4,20
	2 (3-, 3, 3+)	39	2,1564	,7956	,1274	1,8985	2,4143	1,00	4,30
	3 (4)	40	1,7900	,4808	7,602E-02	1,6362	1,9438	1,00	3,20
	4 (4+)	37	1,4892	,7011	,1153	1,2554	1,7229	,40	3,80
	5 (5)	45	1,3467	,5976	8,908E-02	1,1671	1,5262	,00	3,10
	6 (5+)	30	1,1767	,6490	,1185	,9343	1,4190	,40	2,70
	7 (5++)	30	,7533	,5734	,1047	,5392	,9674	,00	2,10
	8 (6)	3	,0000	,0000	,0000	,0000	,0000	,00	,00
Gesamt	260	1,5896	,8160	5,061E-02	1,4900	1,6893	,00	4,30	
Pulpenhornhöhe distal	1 (1, 2, 2+)	36	1,8750	0,6290	0,1048	1,6622	2,0878	0,60	3,00
	2 (3-, 3, 3+)	39	1,4718	0,7612	0,1219	1,2250	1,7186	0,40	3,90
	3 (4)	40	1,2375	0,5032	7,956E-02	1,0766	1,3984	0,40	2,80
	4 (4+)	37	1,0514	0,6440	0,1059	0,8366	1,2661	0,10	3,00
	5 (5)	45	0,8556	0,5392	8,038E-02	0,6936	1,0175	0,00	2,70
	6 (5+)	30	0,5733	0,5212	9,516E-02	0,3787	0,7680	0,00	2,10
	7 (5++)	30	0,3100	0,3294	6,014E-02	0,1870	0,4330	0,00	0,90
	8 (6)	3	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,00	0,00
Gesamt	260	1,0704	0,7495	4,648E-02	0,9789	1,1619	0,00	3,90	

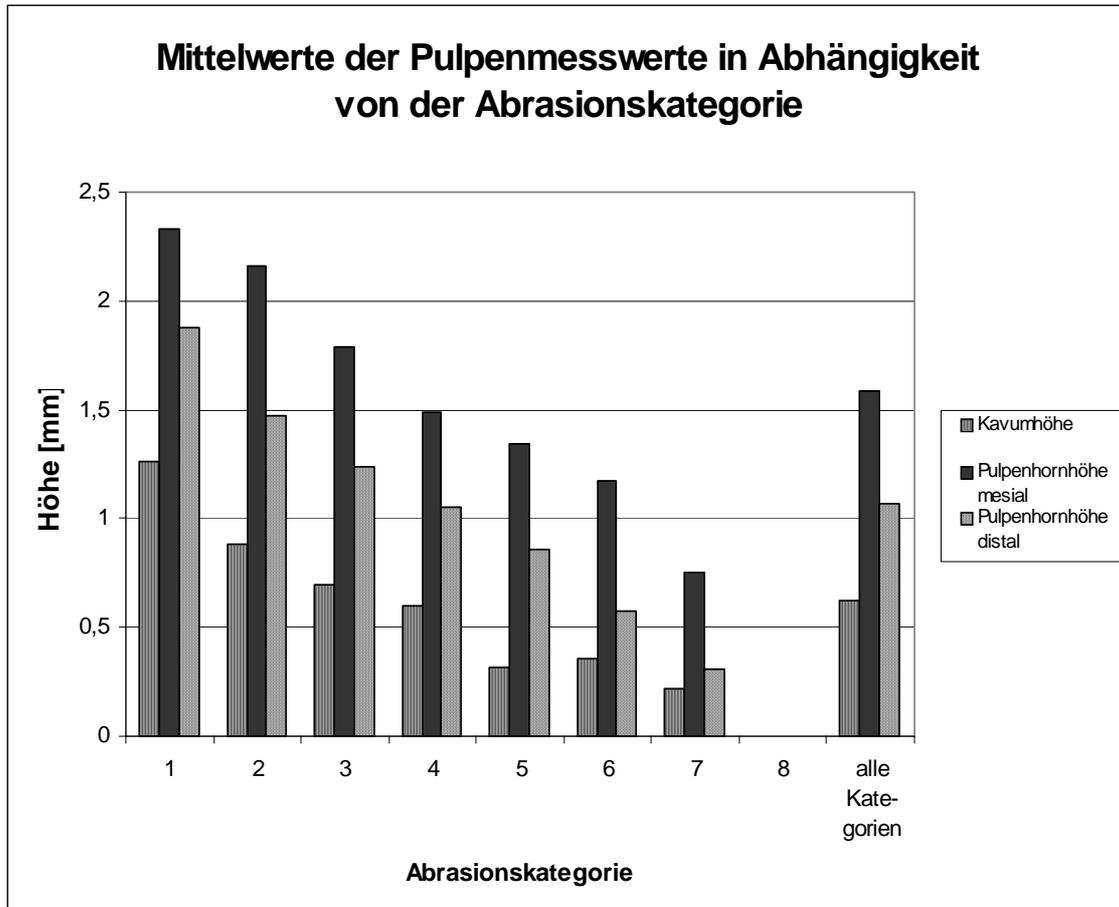


Abbildung 8: Mittelwerte der Pulpenmesswerte in Abhängigkeit vom kategorisierten Abrasionsgrad

3.2.2 Zusammenhänge der röntgenologischen Pulpenmesswerte

Wie in Tabelle 9 auf Seite 29 dargestellt, hängen die Höhen von Kavum und Pulpenhorn eng und signifikant zusammen. Am höchsten korrelieren die mesiale und die distale Pulpenhornhöhe mit $r = ,868$ bei einer zweiseitigen Signifikanz von $p < ,000$. Auch korrelieren der kategorisierte Abrasionsgrad mit den Pulpenmesswerten im Bereich $-,566$ bis $-,644$ hochsignifikant. Der geringste Zusammenhang besteht zwischen kategorisiertem Abrasionsgrad und Kavumhöhe.

3.2.3 Zusammenhänge zwischen Abrasionsgrad und Pulpenmesswerten (röntgenologisch)

Tabelle 9: Korrelationen Abrasionsgrad und Pulpenmesswerte

		Kategorie Abrasion	Kavumhöhe	mesiale Pulpenhornhöhe	distale Pulpenhornhöhe
Kategorie Abrasion	Korrelation nach Pearson	1,000	-,566(**)	-,632(**)	-,644(**)
	Signifikanz (2-seitig)	,	,000	,000	,000
	N	260	260	260	260
Kavumhöhe	Korrelation nach Pearson	-,566(**)	1,000	,794(**)	,805(**)
	Signifikanz (2-seitig)	,000	,	,000	,000
	N	260	260	260	260
mesiale Pulpenhornhöhe	Korrelation nach Pearson	-,632(**)	,794(**)	1,000	,868(**)
	Signifikanz (2-seitig)	,000	,000	,	,000
	N	260	260	260	260
distale Pulpenhornhöhe	Korrelation nach Pearson	-,644(**)	,805(**)	,868(**)	1,000
	Signifikanz (2-seitig)	,000	,000	,000	,
	N	260	260	260	260

** Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.

3.3 Messwerte der Dentinschicht (röntgenologisch)

3.3.1 Deskriptive Statistiken der Dentinschichtmesswerte

Die deskriptiven Statistiken der Dentinschichtmesswerte in Abhängigkeit vom kategorisierten Abrasionsgrad sind in Tabelle 10 (Seite) 30 wiedergegeben, deren grafische Darstellung in Abbildung 9 auf Seite 31. Die Dentinschichtstärke über dem mesialen Pulpenhorn bleibt bis Abrasionskategorie 4 auf gleichem Niveau und nimmt erst ab Abrasionskategorie 5 ab. Ähnlich verhält es sich mit der Dentinschichtstärke über dem distalen Pulpenhorn, auch hier nimmt die Schichtstärke ab Abrasionskategorie 5 ab. Die Dentinschicht über dem Pulpenkavum dagegen nimmt von Abrasionskategorie 1 bis 3 leicht zu und ab Abrasionskategorie 4 wieder ab.

3 Darstellung der Ergebnisse

Tabelle 10: Deskriptive Statistik der Dentinmesswerte in Abhängigkeit vom kategorisierten Abrasionsgrad

Dentin- messwerte	kategorisi- erter Abrasions- grad	N	Mittelwert	Standard- abweichung	Standard- fehler	95%-Konfidenzintervall für den Mittelwert		Minimum	Maximum
						Untergrenze	Obergrenze		
Dentin- schicht über Kavum	1 (1, 2, 2+)	36	3,1833	0,3753	6,255E-02	3,0563	3,3103	2,70	4,40
	2 (3-, 3, 3+)	39	3,5205	0,4225	6,766E-02	3,3836	3,6575	2,80	4,50
	3 (4)	40	3,5575	0,5262	8,320E-02	3,3892	3,7258	2,20	5,00
	4 (4+)	37	3,4216	0,6232	0,1025	3,2138	3,6294	2,30	5,60
	5 (5)	45	3,0956	0,6816	0,1016	2,8908	3,3003	1,00	4,50
	6 (5+)	30	2,7567	0,6484	0,1184	2,5145	2,9988	1,50	4,20
	7 (5++)	30	1,8333	0,5641	0,1030	1,6227	2,0440	0,50	2,80
	8 (6)	3	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,00	0,00
	Gesamt	260	3,0685	0,8289	5,140E-02	2,9672	3,1697	0,00	5,60
Dentin- schicht über mesialem Horn	1 (1, 2, 2+)	36	2,9889	0,2993	4,989E-02	2,8876	3,0902	2,50	3,70
	2 (3-, 3, 3+)	39	2,8641	0,4539	7,269E-02	2,7170	3,0112	2,00	4,20
	3 (4)	40	2,9025	0,4406	6,966E-02	2,7616	3,0434	1,80	3,70
	4 (4+)	37	2,9081	0,5035	8,278E-02	2,7402	3,0760	2,00	4,10
	5 (5)	45	2,3356	0,6779	0,1011	2,1319	2,5392	0,50	3,80
	6 (5+)	30	2,1833	0,7226	0,1319	1,9135	2,4532	0,10	3,40
	7 (5++)	30	1,4467	0,5871	0,1072	1,2275	1,6659	0,10	2,60
	8 (6)	3	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,00	0,00
	Gesamt	260	2,5269	0,7749	4,806E-02	2,4323	2,6216	0,00	4,20
Dentin- schicht über distalem Horn	1 (1, 2, 2+)	36	3,1694	0,3838	6,397E-02	3,0396	3,2993	2,60	4,00
	2 (3-, 3, 3+)	39	3,2256	0,4153	6,650E-02	3,0910	3,3603	2,10	4,40
	3 (4)	40	3,1475	0,5023	7,942E-02	2,9869	3,3081	1,90	4,20
	4 (4+)	37	3,0973	0,6457	0,1062	2,8820	3,3126	1,50	4,70
	5 (5)	45	2,5467	0,7409	0,1104	2,3241	2,7693	0,50	4,20
	6 (5+)	30	2,3200	0,6764	0,1235	2,0674	2,5726	0,60	3,60
	7 (5++)	30	1,7167	0,5706	0,1042	1,5036	1,9297	0,70	2,80
	8 (6)	3	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,00	0,00
	Gesamt	260	2,7542	0,8137	5,046E-02	2,6549	2,8536	0,00	4,70

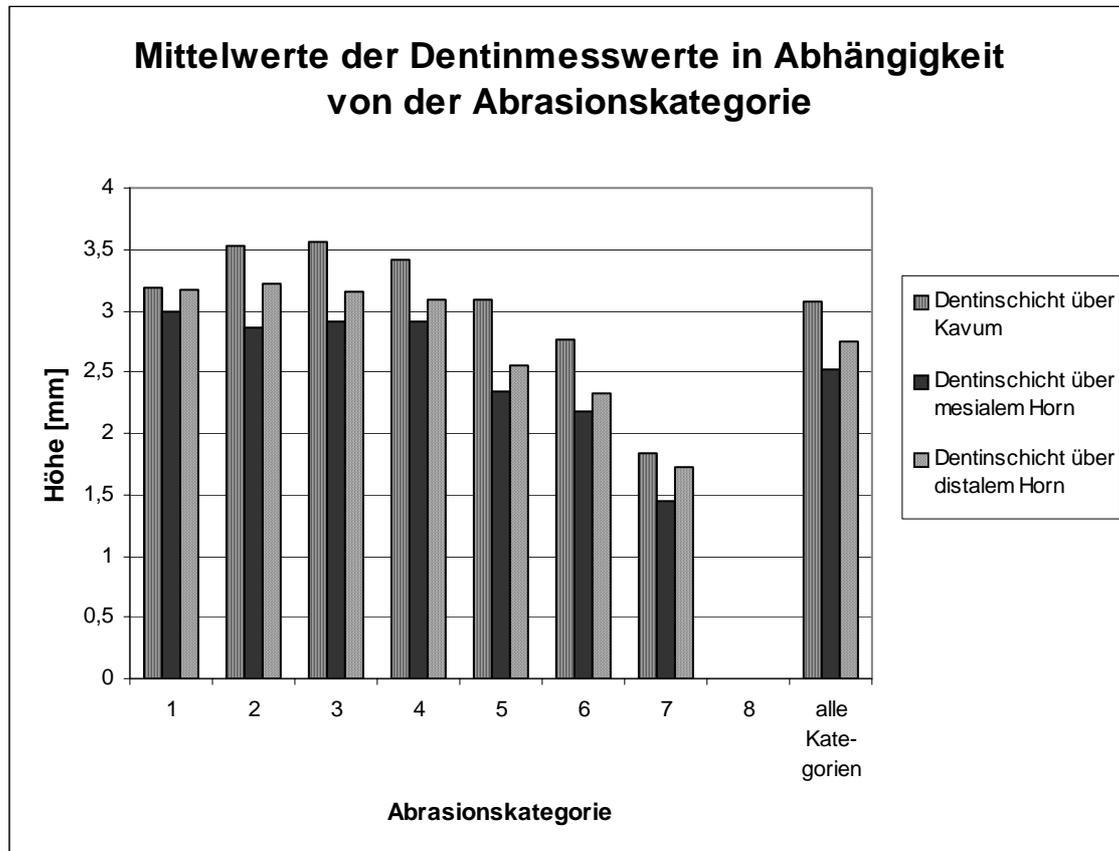


Abbildung 9: Mittelwerte der Dentinmesswerte in Abhängigkeit vom kategorisierten Abrasionsgrad

3.3.2 Zusammenhänge der Dentinschichtmesswerte

Wie in Tabelle 11 auf Seite 32 dargestellt, bestehen enge und signifikante Zusammenhänge innerhalb der Dentinschichtmesswerte. So korrelieren diese untereinander mit Werten von $r = ,811$ ($p < 0,01$) bis $r = ,853$ ($p < 0,01$).

3.3.3 Zusammenhänge zwischen Abrasionsgrad und Dentinschichtmesswerten

Der Zusammenhang zwischen kategorisiertem Abrasionsgrad und den Dentinschichtmesswerten ist in Tabelle 11 auf Seite 32 dargestellt. Es bestehen enge und hoch signifikante negative Korrelationen, die von $-,551^{**}$ bis $-,625^{**}$ reichen. Der negative Korrelationskoeffizient besagt mit Sicherheit, dass, je stärker ein Molar abradert ist, desto geringer seine Dentinschicht ist.

Tabelle 11: Korrelationen Abrasionsgrad und Dentinmesswerte

		Kategorie Abrasion	Dentinschicht über Kavum	Dentinschicht über mesialem Pulpenhorn	Dentinschicht über distalem Pulpenhorn
Kategorie Abrasion	Korrelation nach Pearson	1,000	-,551(**)	-,628(**)	-,625(**)
	Signifikanz (2-seitig)	,	,000	,000	,000
	N	260	260	260	260
Dentinschicht über Kavum	Korrelation nach Pearson	-,551(**)	1,000	,811(**)	,835(**)
	Signifikanz (2-seitig)	,000	,	,000	,000
	N	260	260	260	260
Dentinschicht über mesialem Pulpenhorn	Korrelation nach Pearson	-,628(**)	,811(**)	1,000	,853(**)
	Signifikanz (2-seitig)	,000	,000	,	,000
	N	260	260	260	260
Dentinschicht über distalem Pulpenhorn	Korrelation nach Pearson	-,625(**)	,835(**)	,853(**)	1,000
	Signifikanz (2-seitig)	,000	,000	,000	,
	N	260	260	260	260

** Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.

3.3.4 Zusammenhänge zwischen Dentinschichtmesswerten und okklusaler Reizdentinfläche

Die Nullhypothese, dass ein Zusammenhang zwischen den Dentinschichtmesswerten und den Messwerten okklusaler Reizdentinflächen besteht, wurde mit Korrelations- und Regressionsrechnungen überprüft.

3.3.4.1 Korrelation zwischen Dentinschichtstärken und okklusalen Reizdentinflächen

Aus Tabelle 12 auf Seite 33 geht hervor, dass zwischen den Dentinschichtstärken und den okklusalen Reizdentinflächen keine korrelativen Zusammenhänge nachweisbar sind. Die korrespondierenden Korrelationen (mesial-mesial, distal-distal, Kavum-Kavum) sind fett hervorgehoben und liegen zwischen -,250 und ,197 (nicht signifikant).

Tabelle 12 Korrelationen Dentinschichtstärken und Reizdentinflächen

		mesiale Reizdentinfläche	distale Reizdentinfläche	Reizdentinfläche über Pulpenkavum
Dentinschicht über mesialem Pulpenhorn	Korrelation nach Pearson	-,195	,081	-,005
	Signifikanz (2-seitig)	,206	,706	,974
	N	44	24	39
Dentinschicht über distalem Pulpenhorn	Korrelation nach Pearson	-,093	,197	-,213
	Signifikanz (2-seitig)	,549	,355	,193
	N	44	24	39
Dentinschicht über Kavum	Korrelation nach Pearson	-,130	,195	-,250
	Signifikanz (2-seitig)	,402	,362	,124
	N	44	24	39

3.3.4.2 Regressionen Dentinschichtstärken auf okklusale Reizdentinflächen

Während Korrelationen nur einen Zusammenhang zwischen zwei Variablen beschreiben ohne eine Abhängigkeit auszudrücken, werden bei Regressionsrechnungen Prädiktorvariable (unabhängig) und Kriteriumsvariable (abhängig) unterschieden. In den nachfolgenden Regressionsrechnungen werden jeweils eine Reizdentinfläche (mesial, distal, Kavum) als Prädiktor und die dazugehörige Dentinschichtstärke (mesial, distal, Kavum) als Kriterium genommen.

Im Methodenteil (2.4.3 Regressionsanalyse) wurden die nachfolgenden verwendeten statistischen Testverfahren und die Bedeutung der einzelnen Tabellenwerte genau erklärt.

3.3.4.2.1 Erklärung zu den nachfolgenden Tabellen

In der ersten Tabelle zu jeder Regression sind Prädiktor- und Kriteriumsvariable, deren Korrelationskoeffizient r , deren Determinationskoeffizient r^2 , deren adjustiertes r^2 (korrigiertes r^2) und deren Standardfehler des Schätzers wiedergegeben.

In der zweiten (varianzanalytischen) Tabelle zu jeder Regression finden sich die Varianzaufspaltung und die Signifikanz des F-Werts (d. h. ob der Korrelationskoeffizient signifikant von Null verschieden ist). Im Beispiel in Tabelle 35 (Seite 53) ist dies mit der Signifikanz $p < 0,000$ bei 5%iger Irrtumswahrscheinlichkeit der Fall.

In der Regressionstabelle finden sich die Regressionsgewichte und ihre Prüfung auf Signifikanz. Dies sind die (unstandardisierten) Regressionskoeffizienten, deren Standardfehler, die standardisierten Regressionskoeffizienten (β -Gewichte) sowie der für die Signifikanzprüfung benötigte T-Wert und die zweiseitigen p -Werte (Signifikanzen).

Abschließend stellt ein Streudiagramm (Scatterplot) den Zusammenhang von Prädiktorvariable (x) und Kriteriumsvariable (y) und der Regressionsgeraden dar. Der Korrelationskoeffizient (r) und die Regressionsgleichung ist zusätzlich eingetragen.

3.3.4.2.2 Vergleich mesialer Messwerte

Aus Tabelle 13 (Seite 34) gehen der geringe Zusammenhang ($r = ,195$) und die geringe Varianzaufklärung des Kriteriums ($r^2 = ,038$) hervor. Wie die ANOVA in Tabelle 14 (Seite 35) zeigt, ist dieser Korrelationskoeffizient mit erheblichem Fehler ($p = ,206$) behaftet und kann daher nicht interpretiert werden. Das Streudiagramm in Abbildung 10 auf Seite 35 veranschaulicht, dass kein Einfluss von mesialer Reizdentinfläche auf die Dentinschicht über dem mesialen Pulpenhorn nachweisbar ist.

Tabelle 13 Regression Dentinschicht über mesialem Pulpenhorn auf mesiale Reizdentinfläche

Prädiktorvariable (unabhängig)	mesiale Reizdentinfläche
Kriteriumsvariable (abhängig)	Dentinschicht über mesialem Pulpenhorn
Korrelationskoeffizient r	-,195
Determinationskoeffizient r^2	,038
Korrigiertes r^2	,015
Standardfehler des Schätzers	,7638

Tabelle 14 ANOVA^b: Regression Dentinschicht über mesialem Pulpenhorn auf mesiale Reizdentinfläche

Modell		Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
1	Regression	,964	1	,964	1,652	,206(a)
	Residuen	24,501	42	,583		
	Gesamt	25,464	43			

a Einflussvariablen : (Konstante), mesiale Reizdentinfläche

b Abhängige Variable: Dentinschicht über mesialem Pulpenhorn

Tabelle 15 Regressionskoeffizienten^a Regression Dentinschicht über mesialem Pulpenhorn auf mesiale Reizdentinfläche

Modell	Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten	T	Signifikanz	
	B	Standardfehler	Beta			
1	(Konstante)	2,436	,192		12,681	,000
	mesiale Reizdentinfläche	-,127	,099	-,195	-1,285	,206

a Abhängige Variable: Dentinschicht über mesialem Pulpenhorn

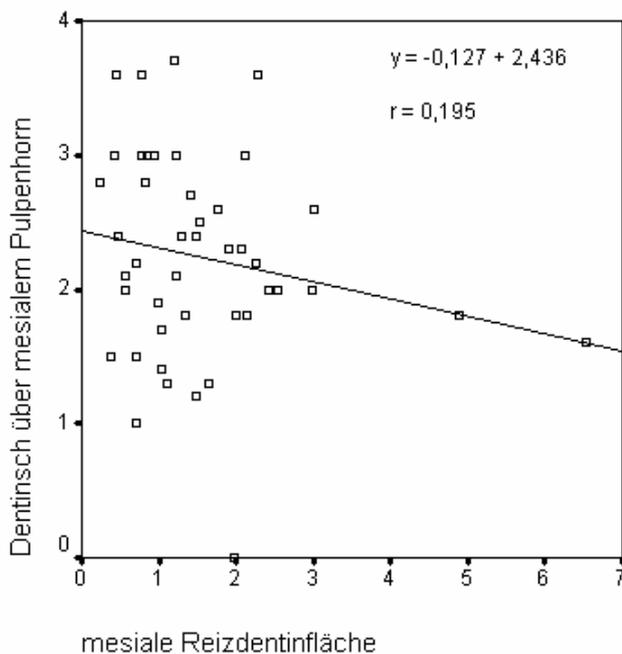


Abbildung 10 Streudiagramm mit Regressionsgerade:
Dentinschicht über mesialem Pulpenhorn auf mesiale Reizdentinfläche

3 Darstellung der Ergebnisse

3.3.4.2.3 Vergleich distaler Messwerte

Beim Vergleich der distalen Messwerte finden sich ähnliche Werte. Nach Tabelle 16 (Seite 36) ist die Korrelation ebenfalls gering ($r = ,197$), wird gleich viel Varianz aufgeklärt wie bei den mesialen Werten ($r^2 = ,039$) und ist der Korrelationskoeffizient mit einem höheren Fehler ($p = ,355$) behaftet (Tabelle 17 auf Seite 36). So veranschaulicht auch das Streudiagramm in Abbildung 11 auf Seite 37, dass kein Einfluss der Prädiktorvariable nachgewiesen werden kann.

Tabelle 16 Regression Dentinschicht über distalem Pulpenhorn auf distale Reizdentinfläche

Prädiktorvariable (unabhängig)	distale Reizdentinfläche
Kriteriumsvariable (abhängig)	Dentinschicht über distalem Pulpenhorn
Korrelationskoeffizient r	,197(a)
Determinationskoeffizient r^2	,039
Korrigiertes r^2	-,005
Standardfehler des Schätzers	,7170

Tabelle 17 ANOVA^b: Regression Dentinschicht über distalem Pulpenhorn auf distale Reizdentinfläche

Modell		Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
1	Regression	,459	1	,459	,892	,355(a)
	Residuen	11,311	22	,514		
	Gesamt	11,770	23			
a Einflussvariablen : (Konstante), distale Reizdentinfläche						
b Abhängige Variable: Dentinschicht über distalem Pulpenhorn						

Tabelle 18 Regressionskoeffizienten^a Regression Dentinschicht über mesialem Pulpenhorn auf mesiale Reizdentinfläche

Modell		Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten	T	Signifikanz
		B	Standardfehler	Beta		
1	(Konstante)	2,112	,272		7,752	,000
	distale Reizdentinfläche	,199	,210	,197	,945	,355
a Abhängige Variable: Dentinschicht über distalem Pulpenhorn						

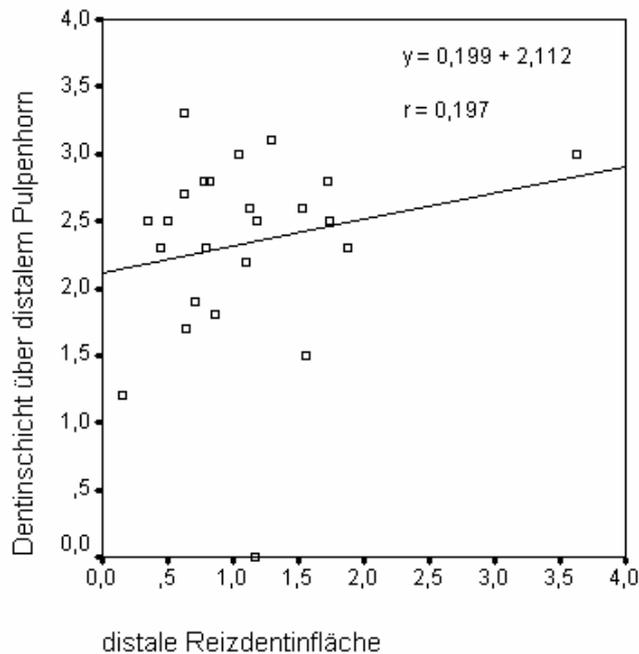


Abbildung 11 Streudiagramm mit Regressionsgerade:
Dentinschicht über distalem Pulpenhorn auf distale
Reizdentinfläche

3.3.4.2.4 Vergleich der Kavummesswerte

Der Vergleich der Kavummesswerte ergibt einen höheren Zusammenhang (Tabelle 19, Seite 37): Die Prädiktorvariable Reizdentinfläche über dem Pulpenkavum würde doppelt so viel Varianz aufklären ($r^2 = ,063$, $r = ,250$), ist aber mit einer Fehlerwahrscheinlichkeit von $p = ,124$ (Tabelle 20, Seite 38) nicht interpretierbar.

Tabelle 19 Regression Dentinschicht über Kavum auf Reizdentinfläche über
Pulpenkavum

Prädiktorvariable (unabhängig)	Reizdentinfläche über Pulpenkavum
Kriteriumsvariable (abhängig)	Dentinschicht über Kavum
Korrelationskoeffizient r	,250(a)
Determinationskoeffizient r^2	,063
Korrigiertes r^2	,037
Standardfehler des Schätzers	,6926

3 Darstellung der Ergebnisse

Tabelle 20 ANOVA^b: Regression Dentinschicht über Kavum auf Reizdentinfläche über Pulpenkavum

Modell		Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
1	Regression	1,187	1	1,187	2,475	,124(a)
	Residuen	17,747	37	,480		
	Gesamt	18,934	38			

a Einflussvariablen : (Konstante), Reizdentinfläche über Pulpenkavum
b Abhängige Variable: Dentinschicht über Kavum

Tabelle 21 Regressionskoeffizienten^a Regression Dentinschicht über Kavum auf Reizdentinfläche über Pulpenkavum

Modell	Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten	T	Signifikanz	
	B	Standardfehler	Beta			
1	(Konstante)	2,392	,297		8,064	,000
	Reizdentinfläche über Pulpenkavum	-3,986E-02	,025	-,250	-1,573	,124

a Abhängige Variable: Dentinschicht über Kavum

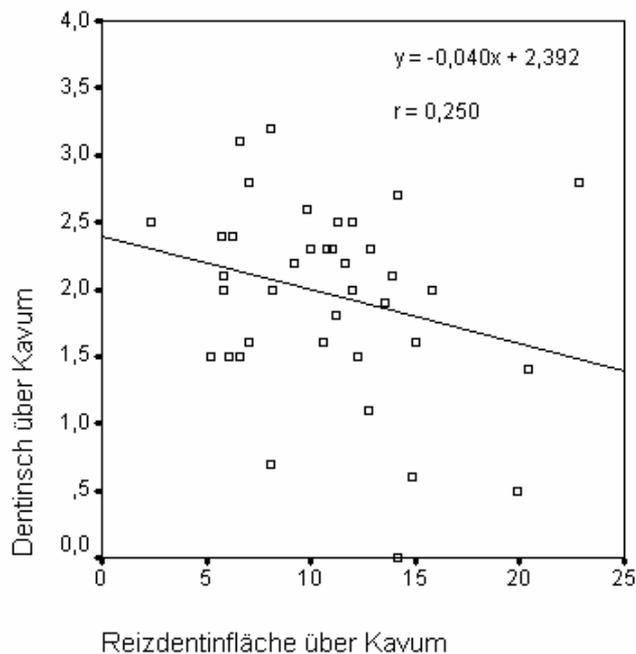


Abbildung 12 Streudiagramm mit Regressionsgerade: Dentinschicht über Kavum auf Reizdentinfläche über Pulpenkavum

Zusammenfassend lässt sich über die Regressionsanalysen sagen, dass zwischen den Reizdentinflächen und den korrespondierenden Dentinschichtstärken kein Zusammenhang nachgewiesen werden kann. Im Vergleich der Streudiagramme (Abbildung 10 auf Seite 35, Abbildung 11 auf Seite 37 und Abbildung 12 auf Seite 38) veranschaulichen die Regressionsgeraden mit abwechselnd gering positiver und negativer Steigung ebenfalls den nicht nachweisbaren Zusammenhang zwischen den abhängigen und unabhängigen Variablen.

3.4 Messwerte okklusalen Reizdentins

3.4.1 Lokalisation von Reizdentin auf der Okklusalfläche

(Reizdentintritt)

Tabelle 22 (Seite 40) zeigt, ab welcher Abrasion Reizdentin auf der Kaufläche (okkusal) festgestellt und wo es lokalisiert werden konnte. Nullhäufigkeiten sind wegen der besseren Übersichtlichkeit nicht aufgeführt. Bei den Abrasionskategorien 1 und 2 trat definitionsgemäß okkusal kein Reizdentin auf (siehe Abbildung 2: Abrasionsschema nach MILES (1963) (aus BROTHWELL, 1981) auf Seite 12).

Über dem mesio-bukkalen Pulpenhorn wurde mehr als doppelt so häufig Reizdentin nachgewiesen als über den anderen drei Pulpenhörnern. Die statistische Überprüfung mit dem Chi²-Test auf Gleichverteilung ergab signifikante Unterschiede zwischen den verschiedenen Pulpenhörnern ($\chi^2(3, N = 91) = 17,70, p = 0,001$).

Während die durchschnittliche Lokalisation pro Molar über die Abrasionsgrade gleich bleibt (AM = 0,643; STD = 0,104; MIN = 0,60; MAX = 0,82) steigt der Anteil der Molaren mit Lokalisation von 7,5% bei Abrasionskategorie 3 (Abrasionsgrad 4) bis zu 86,7% bei Abrasionskategorie 7 (Abrasionsgrad 5++) an, wie das in Abbildung 13 (Seite 40) gezeigt wird. Bei Abrasionskategorie 8 (Abrasionsgrad 6) ist bei 100% der untersuchten Zähne Reizdentin okkusal lokalisiert worden, wobei ursprünglich vorhandenes Reizdentin aufgrund der starken Abrasion durchbrochen ist und eine Eröffnung der Wurzelkanäle vorliegt.

3 Darstellung der Ergebnisse

Tabelle 22: Lokalisation von Reizdentin auf der Okklusalfäche in Abhängigkeit vom Abrasionsgrad

Abrasionsgrad	1	2	2+	3-	3	3+	4	4+	5	5+	5++	6	Gesamt
kategorisierter Abrasionsgrad	1			2			3	4	5	6	7	8	
Lokalisation okklusalen RD über mesio-bukkalem Pulpenhorn							3	7	16	7	4		37
Lokalisation okklusalen RD über mesio-lingualem Pulpenhorn									6	1	7		14
Lokalisation okklusalen RD über disto-bukkalem Pulpenhorn							1	2	7	4	1		15
Lokalisation okklusalen RD über disto-lingualem Pulpenhorn							1	2	2	1	6		12
Lokalisation okklusalen RD über Pulpenkavum									2	13	22		37
Anzahl Lokalisation							5	11	33	26	40		115
Lokalisationen verteilen sich auf Anzahl Zähne							3	9	18	18	26		74
Lokalisation pro Zahn							1,67	1,22	1,83	1,44	1,54		1,55
Gesamtanzahl untersuchter Zähne pro Abrasionsgrad	7	14	15	6	21	12	40	37	45	30	30	3	260
Anteil Zähne mit Lokalisation (%)	0	0	0	0	0	0	7,5	24,3	40,0	60,0	86,7	0	28,5

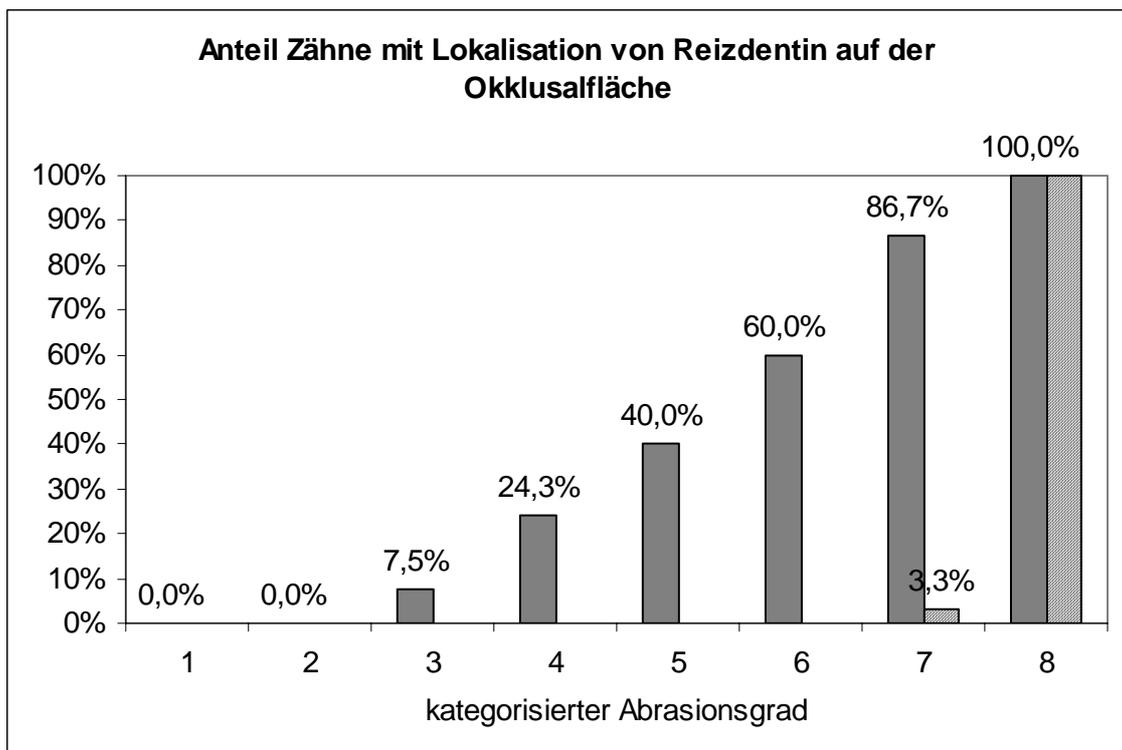


Abbildung 13: Anteil der Zähne mit Lokalisation von Reizdentin auf der Okklusalfäche und Durchbruch von Reizdentin

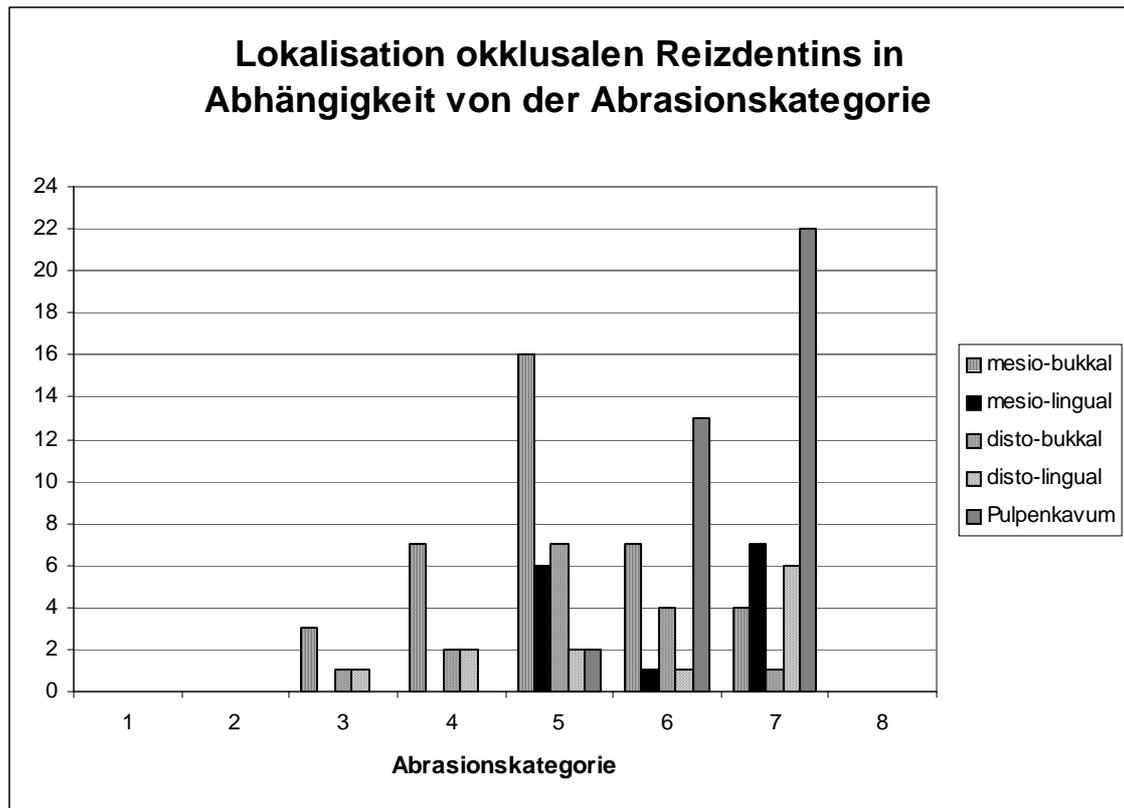


Abbildung 14 Lokalisation okklusalen Reizdentins in Abhängigkeit vom Abrasionsgrad (Werte aus Tabelle 23 auf Seite 42)

Ab Abrasionskategorie 6 (Abrasionsgrad 5+) nimmt die Häufigkeit des über dem Pulpenkavum lokalisierten Reizdentins stark zu, während die Häufigkeit des über den Pulpenhörnern lokalisierten Reizdentins gleichermaßen abnimmt, wie dies aus Abbildung 14 auf Seite 41 ersichtlich ist.

3.4.2 Ausdehnung von Reizdentin auf der Okklusalfäche (Reizdentindurchtritt)

Die in Tabelle 4 auf Seite 20 aufgelisteten Flächenmaße beschreiben die okklusale Ausdehnung von Reizdentin. Tabelle 23 auf Seite 42 enthält die deskriptive Statistik der Flächen okklusalen Reizdentins in Abhängigkeit vom Abrasionsgrad.

3.4.2.1 Deskriptive Statistik der Ausdehnung von Reizdentin auf der Okklusalfäche

Tabelle 23: Deskriptive Statistik, Flächen des okklusalen Reizdentins in Abhängigkeit vom Abrasionsgrad

Okklusale Reizdentinflächen	kategorisierter Abrasionsgrad	N	Mittelwert	Standardabweichung	Standardfehler	95%-Konfidenzintervall für den Mittelwert		Minimum	Maximum
						Untergrenze	Obergrenze		
Reizdentinfläche über mesio-bukkalem Pulpenhorn	1	0							
	2	0							
	3	3	1,8745	1,0884	0,6284	-0,8293	4,5783	0,85	3,02
	4	7	1,3004	0,7243	0,2738	0,6305	1,9703	0,42	2,27
	5	16	1,7259	1,0376	0,2594	1,1730	2,2788	0,24	3,43
	6	7	1,4979	0,9091	0,3436	0,6571	2,3387	0,57	2,98
	7	4	2,8608	2,4909	1,2455	-1,1028	6,8244	1,04	6,53
	8	1	0,1963					0,20	0,20
	Gesamt	38	1,6965	1,2125	0,1967	1,2979	2,0950	0,20	6,53
Reizdentinfläche über mesio-lingualem Pulpenhorn	1	0							
	2	0							
	3	0							
	4	0							
	5	6	0,7134	0,4173	0,1704	0,2754	1,1514	0,16	1,12
	6	1	9,425E-02					0,09	0,09
	7	7	1,4126	1,5581	0,5889	-2,8447E-02	2,8536	0,38	4,88
	8	1	3,7385					3,74	3,74
	Gesamt	15	1,2001	1,3321	0,3439	0,4624	1,9378	0,09	4,88
Reizdentinfläche über disto-bukkalem Pulpenhorn	1	0							
	2	0							
	3	1	0,6283					0,63	0,63
	4	2	3,2515	2,9989	2,1206	-23,6929	30,1960	1,13	5,37
	5	7	1,1141	0,6328	0,2392	0,5289	1,6994	0,35	2,04
	6	4	0,9484	0,4594	0,2297	0,2174	1,6793	0,44	1,53
	7	1	0,1571					0,16	0,16
	8	1	1,6493					1,65	1,65
	Gesamt	16	1,2831	1,2181	0,3045	0,6340	1,9322	0,16	5,37
Reizdentinfläche über disto-lingualem Pulpenhorn	1	0							
	2	0							
	3	1	0,7775					0,78	0,78
	4	2	1,1899	0,9830	0,6951	-7,6419	10,0217	0,49	1,88
	5	2	1,4923	8,886E-02	6,283E-02	0,6939	2,2906	1,43	1,56
	6	1	1,1231					1,12	1,12
	7	5	1,0194	0,5130	0,2294	0,3825	1,6564	0,63	1,87
	8	1	0,6912					0,69	0,69
	Gesamt	12	1,0878	0,4911	0,1418	0,7757	1,3998	0,49	1,88

Fortsetzung der Tabelle auf der nächsten Seite

Reizdentinfläche über Pulpenkavum	1	0							
	2	0							
	3	0							
	4	0							
	5	2	6,3931	0,9552	0,6754	-2,1892	14,9755	5,72	7,07
	6	13	10,2084	5,0370	1,3970	7,1646	13,2522	2,31	22,87
	7	23	11,4675	4,1398	0,8632	9,6773	13,2577	5,21	20,36
	8	1	14,1372					14,14	14,14
	Gesamt	39	10,8560	4,4339	0,7100	9,4187	12,2933	2,31	22,87

Die Varianzanalyse der Flächenwerte okklusalen Reizdentins (Tabelle 23 auf Seite 42) ergab keine signifikanten Unterschiede, die auf die Abrasionskategorie als Faktor zurückzuführen wären (Tabelle 24 auf Seite 43). D. h. die Unterschiede zwischen den Abrasionskategorien sind nicht signifikant größer als innerhalb der einzelnen Abrasionskategorien. Auch der aus Abbildung 15 auf Seite 44 ersichtliche Anstieg der Fläche okklusalen Reizdentins über dem Pulpenkavum wies über die Abrasionskategorien keinen signifikanten Unterschied auf ($F(5, 43) = 0,625, p = 0,682$).

Tabelle 24: ANOVA: Flächen okklusalen Reizdentins in Abhängigkeit vom Abrasionsgrad

		Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
Reizdentinfläche über mesio-bukkalem Pulpenhorn	Zwischen den Gruppen	9,156	5	1,831	1,295	0,290
	Innerhalb der Gruppen	45,240	32	1,414		
	Gesamt	54,397	37			
Reizdentinfläche über mesio-bukkalem Pulpenhorn	Zwischen den Gruppen	9,404	5	1,881	1,096	0,425
	Innerhalb der Gruppen	15,438	9	1,715		
	Gesamt	24,841	14			
Reizdentinfläche über disto-bukkalem Pulpenhorn	Zwischen den Gruppen	10,228	5	2,046	1,701	0,222
	Innerhalb der Gruppen	12,030	10	1,203		
	Gesamt	22,258	15			
Reizdentinfläche über disto-lingualem Pulpenhorn	Zwischen den Gruppen	0,626	5	0,125	0,371	0,852
	Innerhalb der Gruppen	2,027	6	0,338		
	Gesamt	2,653	11			
Reizdentinfläche über Pulpenkavum	Zwischen den Gruppen	64,653	5	12,931	0,625	0,682
	Innerhalb der Gruppen	682,396	33	20,679		
	Gesamt	747,049	38			

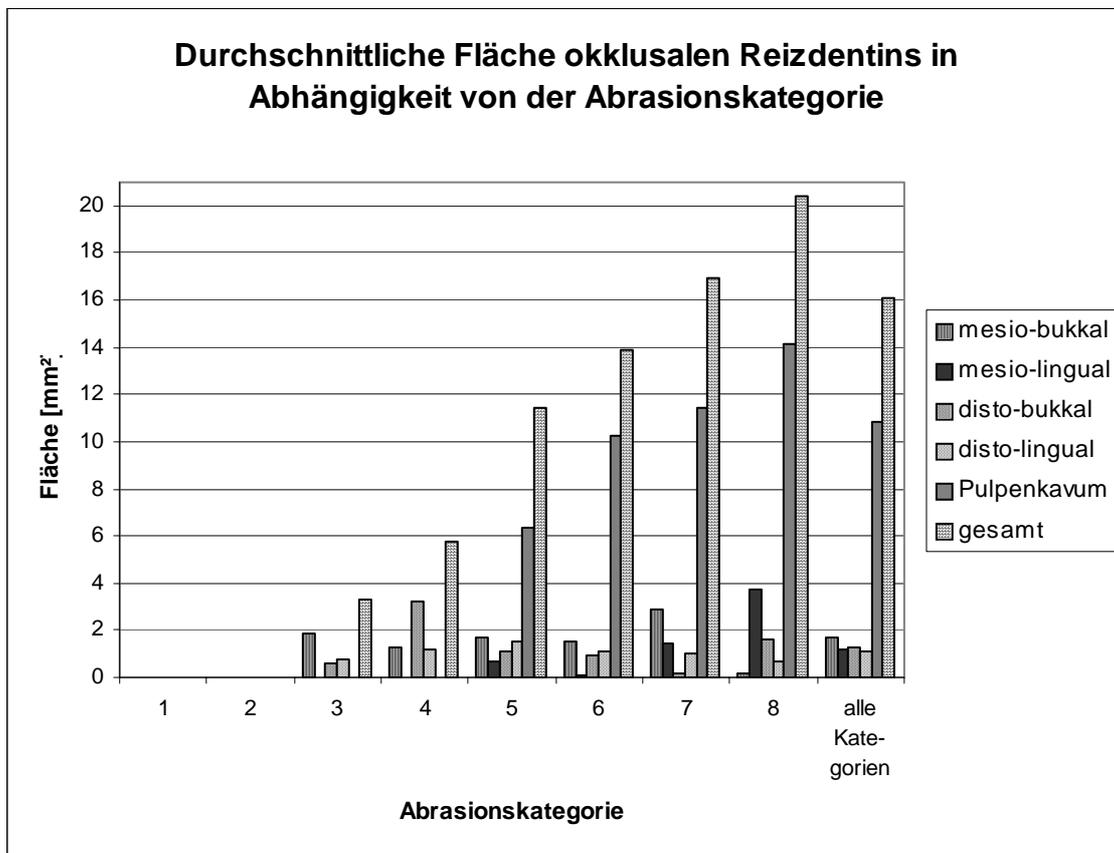


Abbildung 15: Flächen des okklusalen Reizdentins in Abhängigkeit vom Abrasionsgrad (Werte aus Tabelle 23 auf Seite 42)

3.4.3 Eröffnung der Pulpenkammer / Wurzelkanäle (Reizdentindurchbruch)

Die Verteilung von Zähnen, die so stark abradert sind, dass die Reizdentinschicht durchbrochen ist und die Pulpenkammer bzw. Wurzelkanäle freigelegt wurden, ist in Tabelle 25 auf Seite 45 dargestellt. Nullhäufigkeiten sind der Übersichtlichkeit wegen nicht aufgeführt. Bei den Abrasionskategorien 1 und 2 trat okklusal kein Reizdentin auf. Bei einem Zahn brach das Reizdentin bereits bei 5++ (ml und dl) durch, bei drei Zähnen erst bei 6 (alle Pulpenhörner), davon bei einem zusätzlich das Kavum

Tabelle 25: Verteilung von Reizdentindurchbruch in Abhängigkeit vom Abrasionsgrad

kategorisierter Abrasionsgrad	1			2			3	4	5	6	7	8	Gesamt
Abrasionsgrad	1	2	2+	3-	3	3+	4	4+	5	5+	5++	6	
Lokalisation okklusalen RD über mesio-bukkalem Pulpenhorn												3	3
Lokalisation okklusalen RD über mesio-lingualem Pulpenhorn											1	3	4
Lokalisation okklusalen RD über disto-bukkalem Pulpenhorn												3	3
Lokalisation okklusalen RD über disto-lingualem Pulpenhorn											1	3	4
Lokalisation okklusalen RD über Pulpenkavum												1	1
Anzahl Lokalisation											2	13	15
Lokalisationen verteilen sich auf Anzahl Zähne											1	3	4
Lokalisation pro Zahn											1	4,33	3,75
Gesamtanzahl untersuchter Zähne pro Abrasionsgrad	7	14	15	6	21	12	40	37	45	30	30	3	260
Anteil Zähne mit Lokalisation (%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,3	100	1,5

Die beiden in Tabelle 25 (Seite 45) dargestellten Reizdentindurchbrüche bei Abrasionskategorie 7 (Abrasionsgrad 5++) beziehen sich auf einen Zahn, bei dem die Abrasion lingual soweit fortgeschritten war, dass die Reizdentinschicht auf der Lingualfläche durchbrochen war. Darunter waren der mesio-linguale und der disto-linguale Wurzelkanal eröffnet. Vermutlich hatte der Molar zwei mesiale und zwei distale Wurzelkanäle. Bei Abrasionskategorie 8 trat an allen drei untersuchten Molaren an allen Pulpenhörnern und an einem Exemplar noch zusätzlich am Pulpenkavum ein Durchbruch des Reizdentins auf. Auch hier waren die Wurzelkanäle eröffnet.

3.4.4 Zusammenhänge zwischen Abrasionsgrad und okklusalen Reizdentinflächen

Die Zusammenhänge der Ausdehnung von Reizdentin auf der Okklusalfäche (die in Tabelle 4 auf Seite 20 aufgeführten Flächenmesswerte) mit der okklusalen Abrasion einerseits und mit den Reizdentinschichtstärken andererseits wurden mit Korrelations- und Regressionsrechnung statistisch überprüft.

3.4.4.1 Korrelation zwischen Abrasion und okklusaler Reizdentinfläche

Tabelle 26: Korrelation kategorisierter Abrasionsgrad und Reizdentinflächen

		mesio- bukale Reizdentin- fläche	mesio- linguale Reizdentin- fläche	disto- bukale Reizdentin- fläche	disto- linguale Reizdentin- fläche	Reizdentin- fläche über Pulpen- kavum	Fläche Gesamt	katego- risierter Abrasio- nsgrad
mesio- bukale Reizdentin- fläche	Korrelation nach Pearson	1,000	-,469	,222	,618	,091	,355(*)	,098
	Signifikanz (2-seitig)	,	,203	,445	,267	,942	,029	,558
	N	38	9	14	5	3	38	38
mesio- linguale Reizdentin- fläche	Korrelation nach Pearson	-,469	1,000	,538	-,386	,820(*)	,581(*)	,470
	Signifikanz (2-seitig)	,203	,	,271	,521	,013	,023	,077
	N	9	15	6	5	8	15	15
disto- bukale Reizdentin- fläche	Korrelation nach Pearson	,222	,538	1,000	,879	,(a)	,364	-,234
	Signifikanz (2-seitig)	,445	,271	,	,121	,	,166	,382
	N	14	6	16	4	1	16	16
disto- linguale Reizdentin- fläche	Korrelation nach Pearson	,618	-,386	,879	1,000	,324	,180	-,166
	Signifikanz (2-seitig)	,267	,521	,121	,	,531	,576	,606
	N	5	5	4	12	6	12	12
Reizdentin- fläche über Pulpen- kavum	Korrelation nach Pearson	,091	,820(*)	,(a)	,324	1,000	,971(**)	,275
	Signifikanz (2-seitig)	,942	,013	,	,531	,	,000	,090
	N	3	8	1	6	39	39	39
Fläche Gesamt	Korrelation nach Pearson	,355(*)	,581(*)	,364	,180	,971(**)	1,000	,615(**)
	Signifikanz (2-seitig)	,029	,023	,166	,576	,000	,	,000
	N	38	15	16	12	39	185	185
katego- risierter Abrasio- nsgrad	Korrelation nach Pearson	,098	,470	-,234	-,166	,275	,615(**)	1,000
	Signifikanz (2-seitig)	,558	,077	,382	,606	,090	,000	,
	N	38	15	16	12	39	185	260
* Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,05 (2-seitig) signifikant.								
** Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.								
a Kann nicht berechnet werden, da mindestens eine der Variablen konstant ist.								

Die Zusammenhänge zwischen kategorisiertem Abrasionsgrad und Reizdentinflächen sind in Tabelle 26 auf Seite 46 dargestellt. Hervorzuheben ist, dass der kategorisierte Abrasionsgrad mit der gesamten okklusalen Reizdentinfläche

(Summenmaß) hoch signifikant korreliert ($r = ,615$, $p < ,001$), nicht aber mit den Einzelflächen. Die Einzelflächen weisen eine zu große Streuung auf. Innerhalb der Einzelflächen besteht nur ein unsystematischer Zusammenhang.

3.5 Differenzmaße (Reizdentinschicht aus Baseline)

3.5.1 Reizdentinschicht aus Baseline

Als Baseline wurden die Mittelwerte der Pulpenmesswerte (Kavumhöhe, mesiale und distale Pulpenhornhöhen) bei Abrasionskategorie 1 genommen. Im Nachhinein wird es Reizdentin aus Baseline genannt.

3.5.2 Deskriptive Statistik Reizdentin aus Baseline

In Tabelle 27 auf Seite 47 sind die deskriptiven Statistiken des Reizdentins aus Baseline (Reizdentinschichtstärken) aufgeführt. Aus deren grafischer Darstellung (Abbildung 16 auf Seite 48) lässt sich erkennen, dass die Reizdentinschicht am mesialen und distalen Pulpenhorn mit steigendem Abrasionsgrad kontinuierlich zunimmt. Die Reizdentinschicht über dem Pulpenkavum hingegen wächst bis Abrasionskategorie 5 an und nimmt dann nur noch in geringem Maße zu.

Tabelle 27: Deskriptive Statistik Reizdentin aus Baseline

Reizdentin aus Baseline	kategorisierter Abrasionsgrad	N	Mittelwert	Standardabweichung	Standardfehler	95%-Konfidenzintervall für den Mittelwert		Minimum	Maximum
						Untergrenze	Obergrenze		
Differenz Pulpenhornhöhe mesial	1 (1, 2, 2+)	36	,62289	,367579	,061263	,49852	,74726	,086	1,486
	2 (3-, 3, 3+)	39	,80015	,543179	,086978	,62408	,97623	,014	1,714
	3 (4)	40	,94830	,429553	,067918	,81092	1,08568	,114	1,714
	4 (4+)	37	1,33681	,443481	,072908	1,18895	1,48467	,414	2,314
	5 (5)	45	1,38831	,545866	,081373	1,22431	1,55231	,086	2,714
	6 (5+)	30	1,53733	,648969	,118485	1,29500	1,77966	,014	2,314
	7 (5++)	30	1,96067	,573395	,104687	1,74656	2,17478	,614	2,714
	8 (6)	3	2,71400	,000000	,000000	2,71400	2,71400	2,714	2,714
	Gesamt	260	1,21762	,668346	,041449	1,13600	1,29924	,014	2,714

Fortsetzung der Tabelle auf der nächsten Seite

3 Darstellung der Ergebnisse

Differenz Pulpen- hornhöhe distal	1 (1, 2, 2+)	36	,6701	,48227	,08038	,5069	,8333	,09	1,81
	2 (3-, 3, 3+)	39	1,0895	,52186	,08356	,9203	1,2587	,01	2,01
	3 (4)	40	1,1958	,45411	,07180	1,0506	1,3410	,01	2,01
	4 (4+)	37	1,3990	,55829	,09178	1,2128	1,5851	,09	2,31
	5 (5)	45	1,5712	,50002	,07454	1,4209	1,7214	,29	2,41
	6 (5+)	30	1,8407	,52123	,09516	1,6460	2,0353	,31	2,41
	7 (5++)	30	2,1040	,32942	,06014	1,9810	2,2270	1,51	2,41
	8 (6)	3	2,4140	,00000	,00000	2,4140	2,4140	2,41	2,41
	Gesamt	260	1,3942	,65014	,04032	1,3148	1,4736	,01	2,41
Differenz Kavumhöhe	1 (1, 2, 2+)	36	,48956	,374163	,062361	,36296	,61615	,014	1,214
	2 (3-, 3, 3+)	39	,77964	,393161	,062956	,65219	,90709	,014	1,686
	3 (4)	40	,85760	,406685	,064303	,72754	,98766	,014	1,414
	4 (4+)	37	1,00362	,394446	,064847	,87211	1,13514	,086	1,514
	5 (5)	45	1,20067	,291236	,043415	1,11317	1,28816	,514	1,514
	6 (5+)	30	1,16067	,393686	,071877	1,01366	1,30767	,014	1,514
	7 (5++)	30	1,29733	,237927	,043439	1,20849	1,38618	,614	1,514
	8 (6)	3	1,51400	,000000	,000000	1,51400	1,51400	1,514	1,514
	Gesamt	260	,96838	,441786	,027398	,91443	1,02234	,014	1,686

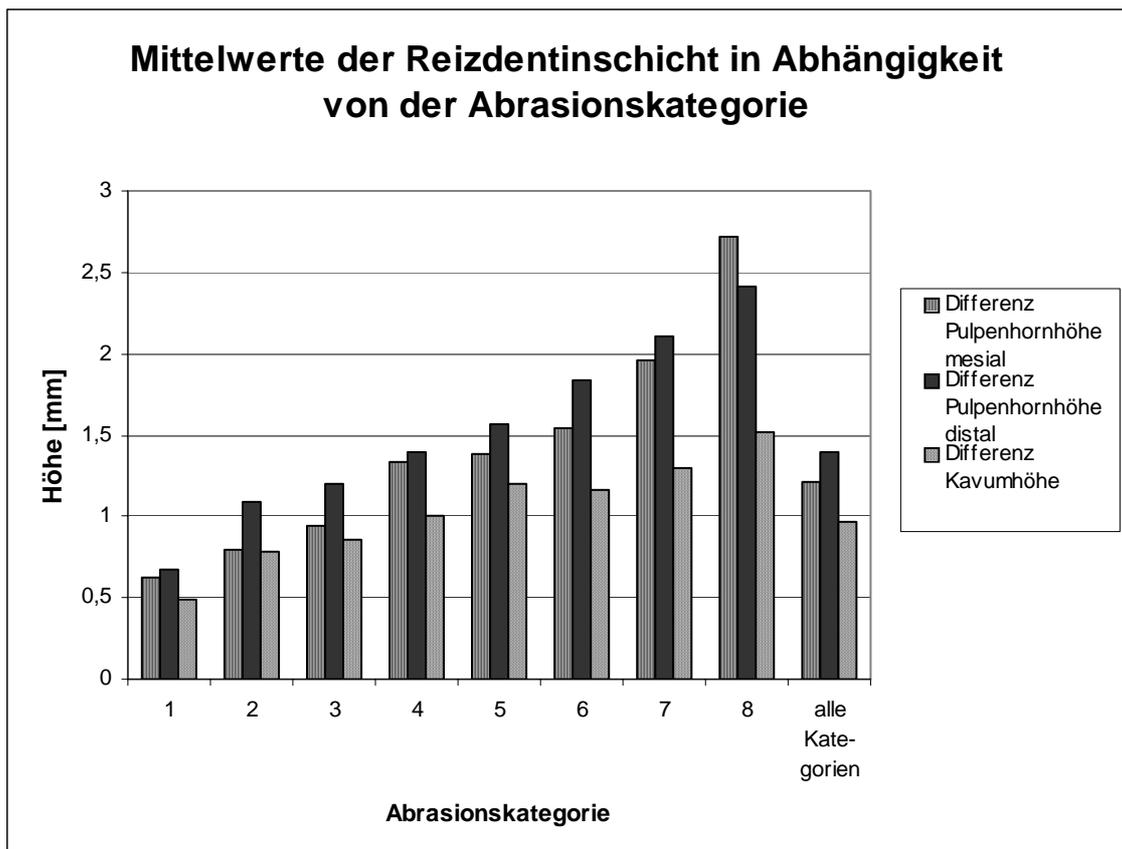


Abbildung 16: Reizdentin aus Baseline in Abhängigkeit vom kategorisierten Abrasionsgrad

3.5.3 Korrelation Abrasionsgrad und Reizdentin aus Baseline

Aus Tabelle 28 (Seite 49) geht ein sehr hoher und hoch signifikanter Zusammenhang innerhalb der Stärken des Reizdentins aus Baseline hervor ($r = ,706^{**}$ bis $r = ,800^{**}$). Darüber hinaus wurde auch ein mittlerer aber hoch signifikanter Zusammenhang zwischen Reizdentin aus Baseline und Abrasionsgrad bzw. kategorisiertem Abrasionsgrad festgestellt ($r = ,573^{**}$ bis $r = ,667^{**}$).

Tabelle 28 Korrelationen Reizdentin aus Baseline und Abrasion

		kategorisierter Abrasionsgrad	Abrasions- grad	Differenz Kavumhöhe	Differenz Pulpenhorn- höhe mesial	Differenz Pulpenhorn- höhe distal
kategorisierter Abrasionsgrad	Korrelation nach Pearson	1	,953(**)	,573(**)	,644(**)	,667(**)
	Signifikanz (2-seitig)	,	,000	,000	,000	,000
	N	260	260	260	260	260
Abrasionsgrad	Korrelation nach Pearson	,953(**)	1	,581(**)	,617(**)	,659(**)
	Signifikanz (2-seitig)	,000	,	,000	,000	,000
	N	260	260	260	260	260
Differenz Kavumhöhe	Korrelation nach Pearson	,573(**)	,581(**)	1	,706(**)	,723(**)
	Signifikanz (2-seitig)	,000	,000	,	,000	,000
	N	260	260	260	260	260
Differenz Pulpenhorn- höhe mesial	Korrelation nach Pearson	,644(**)	,617(**)	,706(**)	1	,800(**)
	Signifikanz (2-seitig)	,000	,000	,000	,	,000
	N	260	260	260	260	260
Differenz Pulpenhorn- höhe distal	Korrelation nach Pearson	,667(**)	,659(**)	,723(**)	,800(**)	1
	Signifikanz (2-seitig)	,000	,000	,000	,000	,
	N	260	260	260	260	260

** Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.

3.5.4 Regressionen kategorisierter Abrasionsgrad und Reizdentin aus Baseline

Bei den Regressionsrechnungen Reizdentin aus Baseline auf kategorisierten Abrasionsgrad ist die *abhängige Variable (Kriteriumsvariable)* das Reizdentin aus Baseline. Die *unabhängige Variable (Prädiktorvariable)* ist der kategorisierte Abrasionsgrad.

Wie aus Tabelle 29 auf Seite 50, Tabelle 32 auf Seite 52 und Tabelle 35 auf Seite 53 hervorgeht, lassen sich aus dem kategorisierten Abrasionsgrad die Varianzen der Reizdentinschichtstärken zu 41,5%, 44,5% und 32,9% vorhersagen. Die Korrelationskoeffizienten liegen zwischen $r = ,573$ und $r = ,667$ und sind mit $p < ,000$ hoch signifikant. Die Streudiagramme in Abbildung 17 auf Seite 51, Abbildung 18 auf Seite 53 und Abbildung 19 auf Seite 54 veranschaulichen die regressionsbedingten Zusammenhänge mit den Steigungen der Regressionsgeraden von 0,220; 0,219 und 0,129.

3.5.4.1 Regression kategorisierter Abrasionsgrad und Reizdentin aus Baseline (mesial)

Aus dem kategorisierten Abrasionsgrad lässt sich 41,5% der Varianz der Mächtigkeit des Reizdentins am mesialen Pulpenhorn erklären. Beide Variablen korrelieren mit $r = ,644$ hoch signifikant.

Tabelle 29: Regression Differenz Pulpenhornhöhe mesial auf kategorisierter Abrasionsgrad

Prädiktorvariable (unabhängig)	kategorisierter Abrasionsgrad
Kriteriumsvariable (abhängig)	Differenz Pulpenhornhöhe mesial
Korrelationskoeffizient r	0,644
Determinationskoeffizient r ²	0,415
Korrigiertes r ²	0,413
Standardfehler des Schätzers	0,512230

Tabelle 30: ANOVA^b Differenz Pulpenhornhöhe mesial auf kategorisierter Abrasionsgrad

Modell	Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz	
1	Regression	47,998	1	47,998	182,933	0,000 ^a
	Residuen	67,694	258	0,262		
	Gesamt	115,692	259			
a Einflussvariablen : (Konstante), kategorisierter Abrasionsgrad						
b Abhängige Variable: Differenz Pulpenhornhöhe mesial						

Tabelle 31: Regressionskoeffizienten^a Differenz Pulpenhornhöhe mesial auf kategorisierter Abrasionsgrad

Modell	Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten	T	Signifikanz	
	B	Standardfehler	Beta			
1	(Konstante)	0,358	0,071		5,038	0,000
	kategorisierter Abrasionsgrad	0,219	0,016	0,644	13,525	0,000
a Abhängige Variable: Differenz Pulpenhornhöhe mesial						

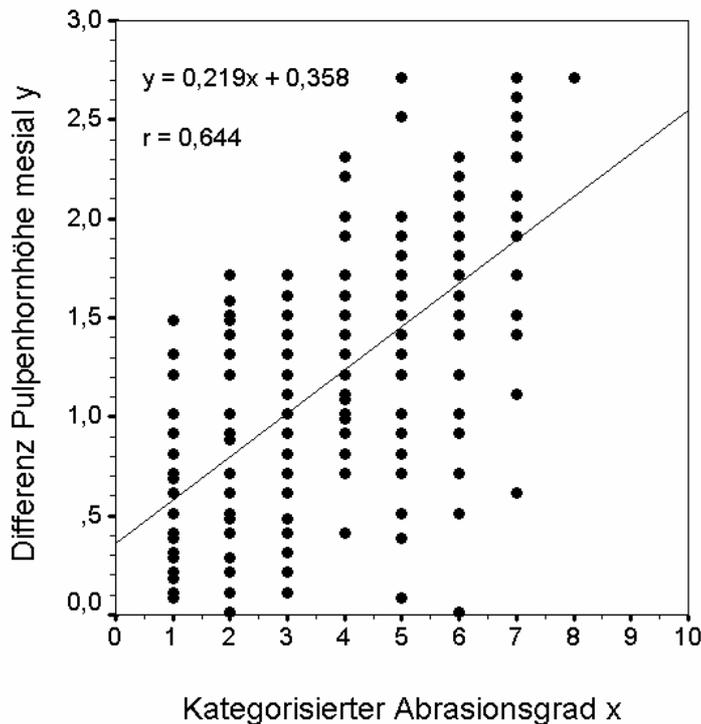


Abbildung 17: Streudiagramm mit Regressionsgerade:
Differenz Pulpenhornhöhe mesial auf kategorisierter Abrasionsgrad

3.5.4.2 Regression kategorisierter Abrasionsgrad und Reizdentin aus Baseline (distal)

Tabelle 32: Regression Differenz Pulpenhornhöhe distal auf kategorisierter Abrasionsgrad

Prädiktorvariable (unabhängig)	kategorisierter Abrasionsgrad
Kriteriumsvariable (abhängig)	Differenz Pulpenhornhöhe distal
Korrelationskoeffizient r	0,667
Determinationskoeffizient r ²	0,445
Korrigiertes r ²	0,442
Standardfehler des Schätzers	0,4855

Aus dem kategorisierten Abrasionsgrad lässt sich 44,5% der Varianz der Mächtigkeit des Reizdentins am distalen Pulpenhorn erklären. Beide Variablen korrelieren mit $r = ,667$ hoch signifikant.

Tabelle 33: ANOVA^b Differenz Pulpenhornhöhe distal auf kategorisierter Abrasionsgrad

Modell	Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz	
1	Regression	48,664	1	48,664	206,464	0,000 ^a
	Residuen	60,811	258	0,236		
	Gesamt	109,474	259			

a Einflussvariablen : (Konstante), kategorie Abrasion
b Abhängige Variable: Differenz Pulpenhornhöhe distal

Tabelle 34: Regressionskoeffizienten^a Differenz Pulpenhornhöhe distal auf kategorisierter Abrasionsgrad

Modell	Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten	T	Signifikanz	
	B	Standardfehler	Beta			
1	(Konstante)	0,529	0,067		7,850	0,000
	kategorie Abrasion	0,220	0,015	0,667	14,369	0,000

a Abhängige Variable: Differenz Pulpenhornhöhe distal

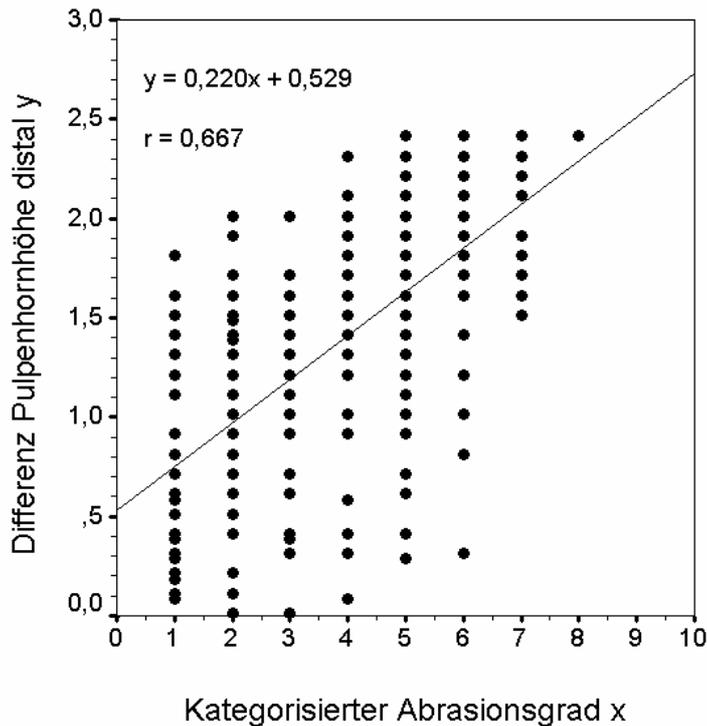


Abbildung 18: Streudiagramm mit Regressionsgerade:
Differenz Pulpenhornhöhe distal auf kategorisierter
Abrasionsgrad

3.5.4.3 Regression kategorisierter Abrasionsgrad und Reizdentin aus Baseline (Kavum)

Tabelle 35: Regression Differenz Kavumhöhe auf kategorisierter
Abrasionsgrad

Prädiktorvariable (unabhängig)	kategorisierter Abrasionsgrad
Kriteriumsvariable (abhängig)	Differenz Kavumhöhe
Korrelationskoeffizient r	0,573
Determinationskoeffizient r^2	0,329
Korrigiertes r^2	0,326
Standardfehler des Schätzers	0,36266

Aus dem kategorisierten Abrasionsgrad lässt sich 32,9% der Varianz der Mächtigkeit des Reizdentins am Dach des Pulpenkavums erklären. Beide Variablen korrelieren mit $r = ,573$ hoch signifikant.

3 Darstellung der Ergebnisse

Tabelle 36: ANOVA^b Regression Differenz Kavumhöhe auf kategorisierter Abrasionsgrad

Modell		Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
1	Regression	16,617	1	16,617	126,337	0,000 ^a
	Residuen	33,934	258	0,132		
	Gesamt	50,550	259			

a Einflussvariablen : (Konstante), kategorisierter Abrasionsgrad
b Abhängige Variable: Differenz Kavumhöhe

Tabelle 37: Regressionskoeffizienten^a Differenz Kavumhöhe auf kategorisierter Abrasionsgrad

Modell	Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten	T	Signifikanz	
	B	Standardfehler	Beta			
1	(Konstante)	0,463	0,050		9,195	0,000
	kategorisierter Abrasionsgrad	0,129	0,011	0,573	11,240	0,000

a Abhängige Variable: Differenz Kavumhöhe

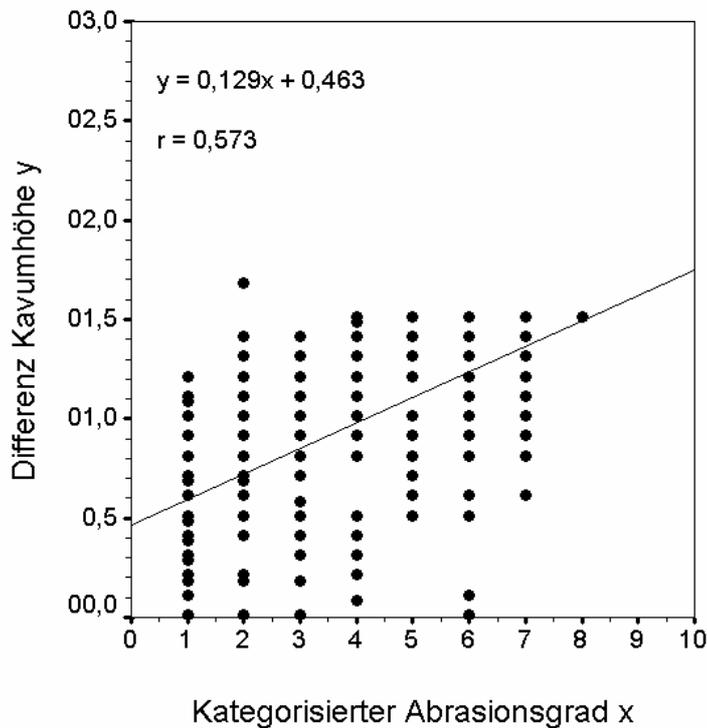


Abbildung 19: Streudiagramm mit Regressionsgerade:
Differenz Kavumhöhe auf kategorisierter Abrasionsgrad

3.5.5 Korrelation okklusale Reizdentinflächen und Reizdentin aus Baseline

In Tabelle 38 (Seite 55) sind die Korrelationen von okklusalen Reizdentinflächen und Reizdentin aus Baseline aufgetragen. Die korrespondierenden Korrelationen (mesial-mesial, distal-distal, Kavum-Kavum) sind fett hervorgehoben und liegen zwischen $-,081$ und $,236$, sind aber nicht signifikant. Es kann daher kein Zusammenhang zwischen den Reizdentinschichtstärken und der Größe der korrespondierenden okklusalen Reizdentinflächen nachgewiesen werden.

Tabelle 38: Korrelation okklusale Reizdentinflächen und Reizdentin aus Baseline

		mesiale Reizdentinfläche	distale Reizdentinfläche	Reizdentinfläche über dem Pulpenkavum
Differenz Pulpenhornhöhe mesial	Korrelation nach Pearson	,216	-,120	,392(*)
	Signifikanz (2-seitig)	,158	,576	,014
	N	44	24	39
Differenz Pulpenhornhöhe distal	Korrelation nach Pearson	,158	-,081	,324(*)
	Signifikanz (2-seitig)	,304	,706	,044
	N	44	24	39
Differenz Kavumhöhe	Korrelation nach Pearson	,097	,032	,236
	Signifikanz (2-seitig)	,531	,883	,148
	N	44	24	39

3.5.6 Regressionen okklusale Reizdentinflächen und Reizdentin aus Baseline

Bei den Regressionsrechnungen Reizdentin aus Baseline auf okklusale Reizdentinflächen ist die *abhängige Variable (Kriteriumsvariable)* das Reizdentin aus Baseline. Die *unabhängige Variable (Prädiktorvariable)* ist die jeweils korrespondierende Reizdentinfläche.

3 Darstellung der Ergebnisse

Die Reizdentinfläche erscheint als ein ungeeigneter Prädiktor für die Reizdentinschichtstärke, denn die Determinationskoeffizienten liegen bei allen drei Bereichen (mesial, distal, Kavum) zwischen 0,7% und 5,6%. Für die Regressionen kann keine Signifikanz nachgewiesen werden.

3.5.6.1 Regression mesiale Reizdentinfläche und Reizdentin aus Baseline (mesial)

Tabelle 39: Regression Differenz Pulpenhornhöhe mesial auf die Reizdentinfläche über den mesialen Pulpenhörnern

Prädiktorvariable (unabhängig)	RD-Fläche über den mesialen Pulpenhörnern
Kriteriumsvariable (abhängig)	Differenz Pulpenhornhöhe mesial
Korrelationskoeffizient r	0,216
Determinationskoeffizient r ²	0,047
Korrigiertes r ²	0,024
Standardfehler des Schätzers	0,581362

Aus der Reizdentinfläche über den mesialen Pulpenhörnern lässt sich keine Vorhersage über die Mächtigkeit des Reizdentins im Bereich der mesialen Pulpenhörner machen. Es konnte kein Zusammenhang zwischen den beiden Variablen nachgewiesen werden.

Tabelle 40: ANOVA^b Regression Differenz Pulpenhornhöhe mesial auf die Reizdentinfläche über den mesialen Pulpenhörnern

Modell		Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
1	Regression	0,698	1	0,698	2,065	0,158 ^a
	Residuen	14,195	42	0,338		
	Gesamt	14,893	43			
a Einflussvariablen : (Konstante), Reizdentinfläche über den mesialen Pulpenhörnern						
b Abhängige Variable: Differenz Pulpenhornhöhe mesial						

Tabelle 41: Regressionskoeffizienten^a Differenz Pulpenhornhöhe mesial auf die Reizdentinfläche über den mesialen Pulpenhörnern

Modell		Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten	T	Signifikanz
		B	Standardfehler	Beta		
1	(Konstante)	1,420	0,146		9,707	0,000
	mesiale RD-Fläche	0,108	0,075	0,216	1,437	0,158
a Abhängige Variable: Differenz Pulpenhornhöhe mesial						

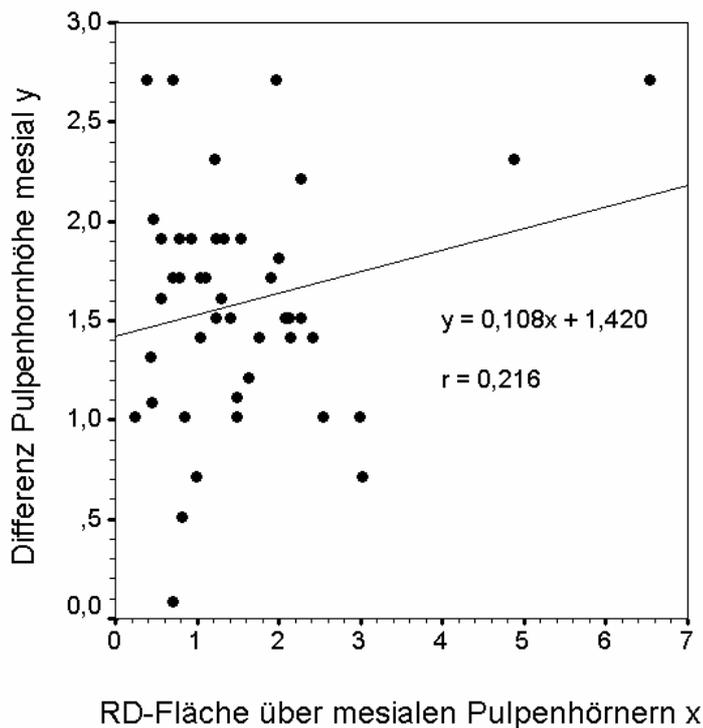


Abbildung 20: Streudiagramm mit Regressionsgerade:

Differenz Pulpenhornhöhe mesial auf die Reizdentinfläche über den mesialen Pulpenhörnern

3.5.6.2 Regression distale Reizdentinfläche und Reizdentin aus Baseline (distal)

Tabelle 42: Regression Differenz Pulpenhornhöhe distal auf die Reizdentinfläche über distalen Pulpenhörnern

Prädiktorvariable (unabhängig)	Reizdentinfläche über distalen Pulpenhörnern
Kriteriumsvariable (abhängig)	Differenz Pulpenhornhöhe distal
Korrelationskoeffizient r	0,081
Determinationskoeffizient r ²	0,007
Korrigiertes r ²	-0,039
Standardfehler des Schätzers	0,42711

Aus der Reizdentinfläche über den distalen Pulpenhörnern lässt sich keine Vorhersage über die Mächtigkeit des Reizdentins im Bereich der distalen Pulpenhörner machen. Es konnte kein Zusammenhang zwischen den beiden Variablen nachgewiesen werden.

3 Darstellung der Ergebnisse

Tabelle 43: ANOVA^b Regression Differenz Pulpenhornhöhe distal auf die Reizdentinfläche über distalen Pulpenhörnern

Modell	Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
1 Regression	0,027	1	0,027	0,146	0,706 ^a
1 Residuen	4,013	22	0,182		
1 Gesamt	4,040	23			

a Einflussvariablen : (Konstante), Reizdentinfläche über distalen Pulpenhörnern
b Abhängige Variable: Differenz Pulpenhornhöhe distal

Tabelle 44: Regressionskoeffizienten^a Differenz Pulpenhornhöhe distal auf die Reizdentinfläche über distalen Pulpenhörnern

Modell	Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten	T	Signifikanz
	B	Standardfehler	Beta		
1 (Konstante)	1,866	0,162		11,500	0,000
1 distale RD-Fläche	-4,786E-02	0,125	-0,081	-0,382	0,706

a Abhängige Variable: Differenz Pulpenhornhöhe distal

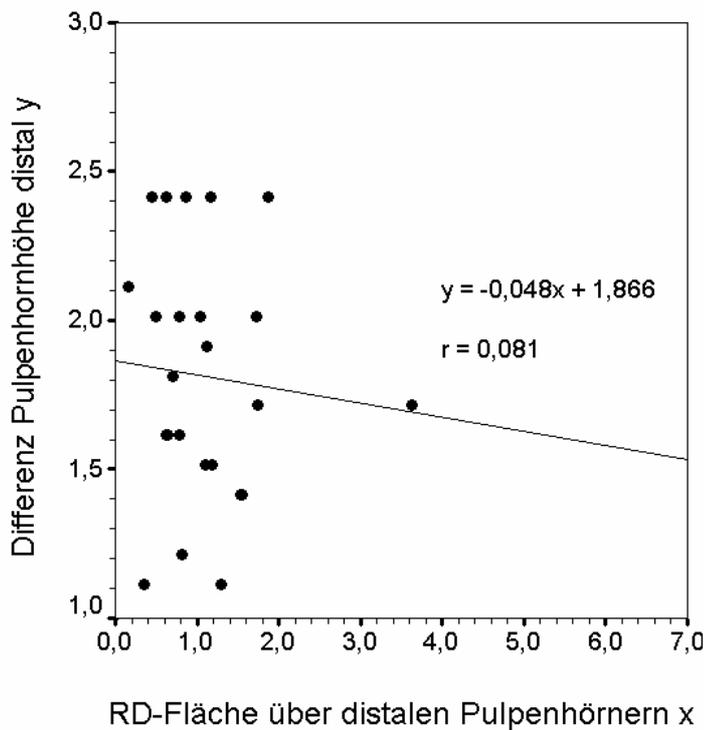


Abbildung 21: Streudiagramm mit Regressionsgerade:
Differenz Pulpenhornhöhe distal auf die Reizdentinfläche über distalen Pulpenhörnern

3.5.6.3 Regression Reizdentinfläche über Kavum und Reizdentin aus Baseline (Kavum)

Tabelle 45: Regression Differenz Kavumhöhe auf die Reizdentinfläche über dem Pulpenkavum

Prädiktorvariable (unabhängig)	Reizdentinfläche über dem Pulpenkavum
Kriteriumsvariable (abhängig)	Differenz Kavumhöhe
Korrelationskoeffizient r	0,236
Determinationskoeffizient r ²	0,056
Korrigiertes r ²	0,030
Standardfehler des Schätzers	0,201218

Aus der Reizdentinfläche am Dach des Pulpenkavums lässt sich keine Vorhersage über die Mächtigkeit des Reizdentins am Dach des Pulpenkavums machen. Es konnte kein Zusammenhang zwischen den beiden Variablen nachgewiesen werden.

Tabelle 46: ANOVA^b Regression Differenz Kavumhöhe auf RD-Fläche über dem Pulpenkavum

Modell	Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz	
1	Regression	0,089	1	0,089	2,188	0,148 ^a
	Residuen	1,498	37	0,040		
	Gesamt	1,587	38			
a Einflussvariablen: (Konstante), Reizdentinfläche über dem Pulpenkavum						
b Abhängige Variable: Differenz Kavumhöhe						

Tabelle 47: Regressionskoeffizienten^a Differenz Kavumhöhe auf RD-Fläche über dem Pulpenkavum

Modell	Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten	T	Signifikanz	
	B	Standardfehler	Beta			
1	(Konstante)	1,229	0,086		14,264	0,000
	RD-Fläche über Kavum	1,089E-02	0,007	0,236	1,479	0,148
a Abhängige Variable: Differenz Kavumhöhe						

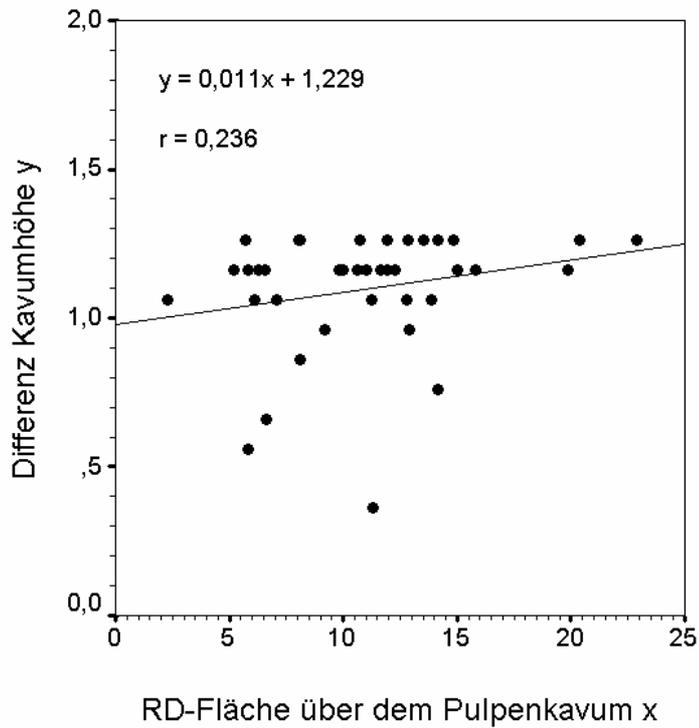


Abbildung 22: Streudiagramm mit Regressionsgerade:
Differenz Kavumhöhe auf die Reizdentinfläche über dem
Pulpenkavum

4 Diskussion der Ergebnisse

Weder in der zahnmedizinischen noch in der paläanthropologischen Literatur konnten Untersuchungen über den Zusammenhang zwischen Reizdentinbildung und dem Abrasionsgrad gefunden werden, wohl aber Hinweise auf die Reizdentinbildung bei Abrasion. So beschreibt ROSENBERG (1982) die Pulpa als ein hochspezialisiertes Bindegewebe, welches auf einen Reiz hin reparatives Dentin (Reizdentin, Sekundär-, bzw. Tertiärdentin) ausbildet, abhängig von der Intensität und Dauer der Reizeinwirkung. Der Reiz kann sowohl mechanischen als auch chemischen Charakter haben (Abnutzung, Säureeinwirkung). Das Volumen der Pulpa nimmt dadurch ab und kann in manchen Fällen zu einer vollständigen Obliteration der Pulpenkammer sowie der Wurzelkanäle führen. Die Autoren sind sich dahingehend einig, dass neues Dentin auf einen Reiz hin gebildet wird. Unstimmigkeiten gibt es jedoch bei der Funktion des angelegerten Dentins. Einige sehen darin einen Schutz vor intensiver Reizeinwirkung, andere Autoren hingegen bestreiten diese Schutzfunktion und sehen in diesem reparativen Dentin eine mindere Qualität ohne ausreichende Schutzfunktion (HAUGEN und MJOR, zit. nach ROSENBERG, 1982).

Da bisher noch keine Untersuchungen über die Ursachen der hier untersuchten Phänomene vorliegen, kann nur aus diesen Daten heraus diskutiert werden, welche Einflüsse und Faktoren zu den Befunden geführt haben könnten.

Wie bereits erwähnt, wurden in der vorliegenden Arbeit die folgenden Hypothesen und Fragen überprüft:

4.1 Nimmt die Ausbildung von Reizdentin in der Pulpenkammer mit fortschreitender Abrasion aus statisch funktionalen Gründen zu?

Zu Beginn dieser Arbeit wurde die Frage aufgeworfen, ob es einen Zusammenhang zwischen okklusaler Abrasion (Abrasionsgrad) und der Ausbildung von Reizdentin gibt. Es wurde festgestellt, dass mit steigender Abrasion eine Verkleinerung der Pulpenkammer (Messwerte des Pulpen-

kavums) auftritt. Dementsprechend weist die Dentinschicht zunächst einen Zuwachs auf, der aber bei stärkerer Abrasion wieder abnimmt (Dentinschichtmesswerte). Das „Zuwachsen“ der Pulpenkammer geschieht sehr gleichmäßig, denn sowohl die Messwerte des Pulpenkavums (Kavumhöhe, distale und mesiale Pulpenhornhöhe) als auch die Dentinschichtmesswerte (Dentinschicht über Kavum, über mesialem und distalem Pulpenhorn) korrelieren untereinander und zwar hoch signifikant (Tabelle 9, Seite 29), (Tabelle 12, Seite 33). Die Kavumhöhe korreliert in geringerem Maße mit dem kategorisierten Abrasionsgrad als die Pulpenhornhöhen (Tabelle 9, Seite 29). Diese Beobachtung ist eindeutig darauf zurückzuführen, dass die Okklusalfäche durch Abnutzung zuerst die höher gelegenen Pulpenhörner erreicht und erst bei stärkerer Abrasion das Dach des Pulpenkavum betroffen ist. Die Messwerte des Pulpenkavums (Kavumhöhe, distale und mesiale Pulpenhornhöhe) nehmen, wie in Tabelle 8 auf Seite 27 und aus Abbildung 8 auf Seite 28 ersichtlich ist, mit zunehmendem kategorisiertem Abrasionsgrad ab. Für diesen Zusammenhang spricht auch die hohe Korrelation zwischen kategorisiertem Abrasionsgrad und den Pulpenmesswerten (Tabelle 9, Seite 29). Ebenso nehmen die Dentinschichtmesswerte (Dentinschicht über Kavum, über mesialem und distalem Pulpenhorn) mit steigendem kategorisiertem Abrasionsgrad bis zu Abrasionskategorie 3 zu (Tabelle 10, Seite 30 und Abbildung 9, Seite 31) und nehmen dann wieder ab. Auch hier konnte wieder ein hoher korrelativer Zusammenhang zwischen kategorisiertem Abrasionsgrad und den Dentinschichtmesswerten gefunden werden (Tabelle 11, Seite 32). Das bedeutet, dass schon bei geringer bis mäßiger Abrasion Reizdentin im Pulpenkavum gebildet wird. Bei stärkerer Abrasion, wo bereits große Dentinflächen auf der Kaufläche hervortreten, nimmt die Dentinschicht auf Grund der okklusalen Dentinabnutzung an Höhe ab. Da Reizdentin röntgenologisch nicht von Primärdentin zu unterscheiden ist, wurden für weitere Untersuchungen die Differenzen aus Baseline und Pulpenmesswerten als Reizdentinstärke berechnet. Auch diese Differenzmaße nahmen mit steigendem kategorisiertem Abrasionsgrad zu und korrelieren wie in Tabelle 27 (Seite 47) dargestellt, was beides nicht nur für einen Einfluss der Abrasion auf

die Reizdentinbildung allgemein, sondern auch auf deren Stärke spricht. Eine Regressionsanalyse dieser Differenzmaße und des kategorisierten Abrasionsgrades ergab eine Aufklärung der Varianz der Differenzmaße durch den kategorisierten Abrasionsgrad von 41,5% beim mesialem Pulpenhorn (Tabelle 29, Seite 50), von 44,5% beim distalem Pulpenhorn (Tabelle 32, Seite 52) und von 32,9% beim Pulpenkavum (Tabelle 35, Seite 53). Dieser Anteil der Varianzen wird somit durch den kategorisierten Abrasionsgrad bestimmt.

Zusammenfassend lässt sich für diese Messwerte sagen, dass die Pulpenmesswerte am stärksten für den Zusammenhang von Abrasion und den Aufbau von Reizdentin sprechen, hier sind die Korrelationen zum kategorisierten Abrasionsgrad am höchsten, gefolgt von den Dentinschichtmesswerten, bei denen infolge der Abrasion die Schichtstärken ab Abrasionskategorie 4 wieder abnehmen – vermutlich weil ab Abrasionskategorie 3 die Reizdentinbildung zur Kompensation der Abrasion nicht mehr ausreicht – und den Differenzmaßen.

Der geringste Zusammenhang besteht zwischen kategorisiertem Abrasionsgrad und Kavumhöhe. Offenbar wird Reizdentin zuerst an der Spitze der Pulpenhörner gebildet, was entgegen der Ansicht von HAUGEN und MJOR (zit. nach ROSENBERG, 1982) für die Hypothese der Reizdentinbildung als Schutzmechanismus gegen Abrasion spricht (SCHUMACHER et al., 1990).

4.2 Verhindert die Reizdentinbildung eine Eröffnung des Pulpenkavums? Falls nicht, ab welchem Abrasionsgrad reicht dann die Reizdentinbildung dafür nicht mehr aus?

Wie an den Pulpenmesswerten, die mit steigender Abrasion sinken, ersichtlich ist, „wächst“ das Pulpenkavum stetig durch die Anlagerung von Reizdentin zu (Tabelle 8, Seite 27 und Abbildung 8, Seite 28). Ohne dieses „Zuwachsen“ durch Reizdentinbildung würde das Pulpenkavum bereits bei mäßig starker Abrasion (Abrasionskategorie 3, ab diesem Abrasionsgrad tritt Reizdentin auf der Kaufläche auf) eröffnet werden, die Pulpa und somit der Zahn würde durch den fehlenden Schutz absterben. Wie aus Tabelle 22 (Seite 40) ersichtlich ist, konnte an den untersuchten Molaren bereits ab Abrasionskategorie 3

Reizdentin okklusal über den Pulpenhörnern lokalisiert werden. Wie Tabelle 23 (Seite 42) und Abbildung 15 (Seite 44) zeigen, nimmt das okklusal diagnostizierte Reizdentin mit steigender Abrasion erheblich an Fläche zu. Ab Abrasionskategorie 5 ist die Kaufläche so stark abradiert, dass Reizdentin über dem Pulpenkavum durchtritt.

Dieses „Zuwachsen“ durch Reizdentinbildung zeigt sich bereits bei geringer Abrasion an den zunächst steigenden Dentinschichtmesswerten: Die Dentinschicht über dem Pulpenkavum erreicht bei Abrasionskategorie 3 (entsprechend Abrasionsgrad 4 nach MILES, 1963) einen Höhepunkt und nimmt bei höherer Abrasion wieder ab (Tabelle 10, Seite 30 und Abbildung 9, Seite 31). Diese stetige Anlagerung von Reizdentin in der Pulpenkammer reicht ab Abrasionskategorie 3 nicht mehr aus, den okklusalen Abrasionsverlust auszugleichen, die Dentinschicht wird okklusal stärker abgenutzt, als sie durch die Reizdentinanlagerung im Pulpenkavum ausgeglichen werden kann, der Kurvenverlauf in Abbildung 9 auf Seite 31 weist einen Wendepunkt auf. Ein Reizdentin durchbruch und damit eine Eröffnung des Pulpenkavums bzw. der Wurzelkanäle tritt bei Abrasionskategorie 7 bei 1 von 30 Unterkiefermolaren und bei Abrasionskategorie 8 bei allen 3 untersuchten Unterkiefermolaren auf, wie aus Tabelle 25 (Seite 45) ersichtlich ist.

Da aber nur drei Zähne in dieser Kategorie gefunden wurden, lässt die geringe Anzahl der untersuchten Exemplare grundsätzlich keine genaue Aussage darüber zu, ob bei diesem Abrasionsgrad generell ein Reizdentin durchbruch zu erwarten ist. Man kann jedoch auch davon ausgehen, dass der Dekompositionsprozess keine gezielte Auswahl trifft und somit der Befund bei allen Zähnen mit Abrasionskategorie 8 (Abrasionsgrad 6) erwartet werden kann.

Bei der vorliegenden Untersuchung handelt es sich um eine Querschnittsstudie: der Abrasionsgrad der untersuchten Unterkiefermolaren konnte nur zu einem bestimmten Zeitpunkt (post mortem) ausgemessen werden. Bei einer Längsschnittstudie dagegen wären einzelne Unterkiefermolaren zeitlebens wiederholt bei unterschiedlichen Abrasionsgraden zu untersuchen. Der zeitliche

Verlauf der Abrasion konnte in dieser Untersuchung nicht berücksichtigt werden.

Offen bleibt daher die Frage, ob die untersuchten Molaren, bei denen die Bildung von Reizdentin mit der Abrasion nicht mehr Schritt halten konnte, einer schnelleren Abrasion als der Ausbildung von Reizdentin unterlagen und es deshalb zu einem Reizdentindurchbruch kam. Genauso ungeklärt ist somit die Frage ob bei langsamerer Abrasion die Ausbildung von Reizdentin eine Eröffnung des Pulpenkavums verhindern kann, es also zu einer vollständigen Obliteration des Pulpenkavums sowie der Wurzelkanalanteile kommen kann.

4.3 Welcher Zusammenhang besteht zwischen der okklusal gemessenen Reizdentinfläche und dem Abrasionsgrad?

Wie Tabelle 23 auf Seite 42 und Abbildung 15 auf Seite 44 zeigen, hängen okklusale Reizdentinfläche und Abrasion zusammen. Während die Reizdentinflächen über den Pulpenhörnern nur unwesentlich variieren, steigt die Reizdentinfläche über dem Pulpenkavum bei steigendem Abrasionsgrad stark an. Dies erklärt sich aus der Zahnmorphologie: Die Kronenpulpa entspricht in ihrer Form in etwa der Zahnkrone. Sobald die Zahnkrone verstärkte Abrasion erfährt, werden in der Regel bei horizontaler Abrasion die Pulpenhörner als erstes erreicht. Bei vertikaler Abrasion können Reizdentinflächen im Bereich der Pulpenhörner sowie des Pulpenkavums gleichzeitig auftreten. Dies erklärt auch, warum bei sehr starker Abrasion immer noch Reizdentinflächen über den Pulpenhörnern vorzufinden sind. Wie Tabelle 27 (Seite 47) zeigt, besteht kein korrelativer Zusammenhang der einzelnen okklusalen Reizdentinflächen mit dem Abrasionsgrad. Die aufsummierte Gesamtfläche dagegen korreliert mit dem kategorisierten Abrasionsgrad zu $r = ,615^{(**)}$. Dies resultiert aus den hohen Varianzen der einzelnen Reizdentinflächen über den Pulpenhörnern. Bei geringer Abrasion ist kein Reizdentin auf der Okklusalfäche zu beobachten. Bei fortschreitender Abnutzung (Abrasionskategorie 3 bzw. Abrasionsgrad 4) tritt Reizdentin zunächst vereinzelt an den Spitzen der Pulpenhörner auf. Ab Abrasionskategorie 5 bzw. Abrasionsgrad 5 sind die Zahnkronen so stark abradiert, dass Reizdentinlokalisationen weniger häufig über den Pulpen-

hörnern (Ausnahme bei vertikaler Abrasion) dagegen vermehrt über dem Pulpenkavum auftreten

4.4 Besteht ein Zusammenhang zwischen der röntgenologisch bestimmten Ausbildung von Reizdentin und der okklusal gemessenen Reizdentinfläche?

Aus der okklusal gemessenen Reizdentinfläche lässt sich kein Rückschluss auf die Reizdentinschichtstärke ziehen. Wie die Regressionsrechnungen mit den Reizdentinflächen als Prädiktorvariablen ergaben, liegt deren Determinationskoeffizient r^2 und damit die Varianzaufklärung der abhängigen Variablen Reizdentinschicht zwischen 0,7% und 5,6% (Tabelle 39, Seite 56 bis, Tabelle 47, Seite 59 und Abbildung 20 auf Seite 57, Abbildung 21 auf Seite 58 und Abbildung 22 auf Seite 60). Mehr als 94% der Varianz der Reizdentinschicht werden nicht durch die Reizdentinfläche aufgeklärt, was bedeutet, dass es keinen nachweisbaren Zusammenhang zwischen der Zunahme der ermittelten Reizdentinschicht und der der ausgemessenen okklusalen Reizdentinfläche gibt. Zur Übersicht der Regressionsrechnungen sind die wichtigsten Werte aus Tabelle 39 bis Tabelle 47 in der folgenden Tabelle (Tabelle 48) noch einmal zusammengefasst. Daraus geht hervor, worauf schon vorher hingewiesen wurde, dass die gesamte Reizdentinfläche kein Parameter ist, aus dem sich Schlüsse über das Verhalten der Reizdentinschichtstärke ableiten lassen, im Gegensatz zu den Pulpenhörnern.

Tabelle 48: Zusammenfassung der Regressionsrechnungen
Reizdentinschichtstärken auf okklusale Reizdentinflächen

	Varianzaufklärung	Korrelation	Signifikanz	Regressionsgerade
mesial	4,7%	0,216	0,000	$y = 0,108x + 1,420$
distal	0,7%	0,081	0,000	$y = -0,048x + 1,866$
Kavum	5,6%	0,236	0,000	$y = 0,011x + 1,229$

4.5 Methodenkritik

- Die Abrasionsgrade 1, 2 und 2+ wurden zur Abrasionskategorie 1, die Abrasionsgrade 3-, 3 und 3+ wurden zur Abrasionskategorie 2 zusammen-

gefasst. Daher wurden keine Unterschiede zwischen den zu einer Kategorie zusammengefassten Abrasionsgraden untersucht. Molaren mit geringfügigen Unterschieden im Abrasionsmuster wurden zu je einer Abrasionskategorie zusammengefasst. Dadurch wurde für die spätere statistische Auswertung eine Mindestanzahl in jeder Abrasionskategorie von $N = 30$ erreicht.

- Es erfolgte keine Altersbestimmung der untersuchten Individuen, somit kann kein Zusammenhang zwischen Abrasionsgrad und Lebensalter festgestellt werden. Das war jedoch auch für diese Untersuchung irrelevant, da allein die Zusammenhänge zwischen dem Grad der Abrasion und der Bildung von Reizdentin untersucht werden sollten. Der Grad der Abrasion ist aber nur in geringem Maße allein vom Alter abhängig, sondern auch von zahlreichen anderen Faktoren.
- Mit der hier angewandten Methode der Querschnittsstudie (ein Messzeitpunkt post mortem) lässt sich nicht untersuchen, über welchen Zeitraum die einzelnen Zähne abradiert wurden noch wie schnell und wann Reizdentin ausgebildet worden ist. Dies ließe sich zum einen nur in einer Längsschnittstudie mit mehreren Messzeitpunkten über Jahre und Jahrzehnte untersuchen. Zum anderen müssten die Ess- und Kaugewohnheiten einschließlich der Berücksichtigung von Bruxismus als modifizierende Faktoren mit aufgenommen werden.
- Das Untersuchungsmaterial stammt aus unterschiedlichen Regionen und Epochen. Dadurch bedingte Ernährungsgewohnheiten wie Nahrungszusammensetzung und –zubereitung (ZEMBIC, 2003) sowie regionale Unterschiede im Zahnmaterial konnten nicht berücksichtigt werden.
- Ungenauigkeiten bei der röntgenologischen Messung, die auf die Projektion zurückzuführen sind, wurden mit Hilfe eines individuellen Korrekturfaktors ausgeglichen. Der mögliche Ablesefehler (Bias) beim Ausmessen der Röntgenbilder mit der skalierten Lupe wurde dagegen nicht korrigiert. Dieser Fehler ist zufällig und gleicht sich insgesamt gegen Null aus und ist somit vernachlässigbar (2. Theorem der klassischen

Testtheorie). Es wurde daher auch keine Fehlerstatistik oder eine Fehlerfortpflanzung berechnet.

- Ein Unterkiefermolar hat mesial und distal jeweils zwei Pulpenhörner (mb, ml, db, dl). Durch die angewandte Paralleltechnik überlagern sich diese zwar und sind in den meisten Fällen nicht mehr eindeutig zu unterscheiden. Da aber mesiale und distale Hörner zu je einem Horn zusammengefasst und zur Messung der Pulpenhornhöhe der Mittelwert zwischen beiden sich überlagernden Pulpenhörnern genommen wurden, konnte dieser Fehler methodisch nachvollziehbar ausgeglichen werden. Die röntgenologische Bestimmung der Reizdentinschicht lässt also keine differenzierte, sondern nur eine gemittelte Bestimmung für die einzelnen Pulpenhörner zu.
- Zur Bestimmung der okklusalen Reizdentinfläche wurde jeweils deren Länge und Breite gemessen. Da die Flächen unterschiedliche Formen aufweisen, wurde zu deren Flächenberechnung als Näherung eine Ellipse angenommen. Hierdurch treten zwar absolut Ungenauigkeiten auf. Dennoch liefert die hier entwickelte und angewandte Methode die Möglichkeit, vergleichbare Werte in anderen Untersuchungen zu erzielen.
- Bei der Korrelation okklusaler Reizdentinflächen und Reizdentin aus Baseline wurden die okklusalen Reizdentinflächen zusammengefasst (db mit dl bzw. mb mit ml), denn durch die angewandte Paralleltechnik standen nur die Mittelwerte von mesialen bzw. distalen Pulpenhörnern zur Verfügung. Da diese Vorgehensweise reproduzierbar ist, können Vergleichsuntersuchungen zu entsprechenden Ergebnissen führen.

5 Zusammenfassung

Im Mittelpunkt dieser Studie stehen die okklusale Abnutzung der Zahnhartsubstanzen und die dadurch verursachten Veränderungen am Zahn. Im Rahmen dieser Untersuchung wurden okklusale Zahnhartsubstanzverluste unter dem Begriff der Abrasion zusammengefasst. Während verschiedene Autoren vor allem die Nahrung des Menschen als Ursache für Abrasion ansehen, gehen deren Meinungen über die Zusammenhänge von Abrasion und einer daraus resultierenden Reaktion der Pulpa auseinander. In der bisherigen Forschung wurden widersprüchliche Aussagen über den Nutzen und die Genese von Reizdentin (andere Bezeichnungen sind Sekundär-, Tertiär-, Schutzdentin) gefunden. Hieraus leitet sich die für diese Arbeit bestimmende Frage ab, ob ein Zusammenhang zwischen dem Grad okklusaler Abnutzung und der Ausbildung von Reizdentin besteht, ob dieser Zusammenhang röntgenologisch untersucht werden kann und welche Aussagen diese Untersuchungsmethoden zulassen.

5.1 Untersuchungsmaterial

Aus dem Skelettmaterial der Osteologischen Sammlung des Instituts für Anthropologie und Humangenetik der Eberhard-Karls-Universität Tübingen wurden von insgesamt 83 nach dem Zufallsprinzip ausgesuchten Unterkiefern 259 Unterkiefermolaren des bleibenden Gebisses als Untersuchungsmaterial für eine Querschnittsstudie ausgewählt. Fundorte, Sterbealter, Epoche und Geschlecht der Kiefer wurden hierfür nicht berücksichtigt.

5.2 Untersuchungsmethoden

An den Unterkiefermolaren wurden der Abrasionsgrad als unabhängige, das Reizdentin röntgenologisch und okkusal als abhängige Variable untersucht. Die einheitliche Bestimmung des Abrasionsgrades für jeden Molaren geschah nach dem Abrasionsschema von MILES (1963). Dieses Schema erlaubt eine genaue und systematische Einteilung der Abrasion der Unterkiefermolaren in sieben Abrasionsgrade. Da innerhalb der ersten drei Abrasionsgrade nur geringer okklusaler Abrieb auftritt, wurden diese in eine Abrasionskategorie

zusammengefasst. Ab Abrasionsgrad 4 erfolgt ein verstärkter Abrieb im Dentin. Eine daraus resultierende Odontoblastenstimulierung lässt eine vermehrte Reizdentinbildung erwarten, weshalb weitere Abrasionsgrade und deren Unterklassen in jeweils eigene Abrasions-Kategorien aufgeteilt wurden.

5.3 Statistische Verfahren

Die teststatistische Überprüfung der Zusammenhangshypothesen geschah mit Korrelations- und Regressionsrechnungen, die Unterschiede zwischen den Abrasionskategorien wurden mit Varianzanalytischen Methoden untersucht. Daneben kam bei der statistischen Überprüfung der okklusalen Reizdentinlokalisationen auf Gleichverteilung der Chi-Quadrat Test (χ^2) zum Einsatz.

5.4 Messwerte röntgenologisch

Da Reizdentin im Röntgenbild nicht von ursprünglichem (primären) Dentin zu unterscheiden ist, wurde es indirekt bestimmt (Reizdentin aus Baseline). Es wurden Messungen der Pulpenkammer und der Dentinschichtstärken durchgeführt. Die Messungen zeigen, dass die Pulpenkammer mit steigendem Abrasionsgrad zunehmend eingeengt wird, was für die Ausbildung von Reizdentin innerhalb der Pulpenkammer spricht. Die Reizdentin schichtstärken nehmen bei Abrasionsgrad 4+ (Abrasionskategorie 4) wieder ab. Die Anlagerung von Reizdentin scheint offensichtlich die okklusale Dentinabnutzung weitgehend ausgleichen zu können, erst ab Abrasionsgrad 6 (Abrasionskategorie 8) vermag sie der hohen Abrasion nicht mehr standhalten zu können. Es wurde ein signifikanter Zusammenhang zwischen Abrasion und Ausbildung von Reizdentin festgestellt.

5.5 Messwerte okklusalen Reizdentins

Neben der indirekten Bestimmung der Reizdentin schichtstärke mit Hilfe von Röntgenbildern wurde Reizdentin auch okkusal makroskopisch untersucht. Wenn Reizdentin auf der Kaufläche hervortritt, kann es durch seine zum ursprünglichen Dentin dunklere Farbe gut abgegrenzt werden. Reizdentin tritt zunächst im Bereich der Pulpenhörner auf, bei stärkerer okklusaler Abnutzung ist es schließlich am Dach des Pulpenkavums vorzufinden. Ist die Zahnkrone

durch Abnutzung weitgehend abgetragen, kommt es zu einem okklusalen Durchbruch in die Wurzelkanäle. Reizdentinlokalisierungen und deren okklusale Flächen wurden festgestellt und berechnet.

5.6 Differenzmaße (Reizdentinschicht aus Baseline)

Die Reizdentinschicht konnte wie oben erwähnt nur indirekt bestimmt werden. Dafür wurden die Mittelwerte der Pulpenmesswerte (Pulpenhornhöhe mesial und distal, Kavumhöhe) bei geringster Abrasion der Okklusalfächen (Abrasionskategorie 1) als Baseline gesetzt und die Differenzen zu den direkt gemessenen Pulpenmesswerten für die weiteren Auswertungen als Reizdentinschichtstärke aus Baseline gesetzt.

Es konnte ein hoher Zusammenhang zwischen dem Abrasionsgrad und der Reizdentinschichtstärke festgestellt werden. Zwischen der Reizdentinschichtstärke und den Flächen okklusalen Reizdentins wurde kein korrelativer Zusammenhang festgestellt.

5.7 Zusammengefasste Aussagen:

- Wie die Untersuchungen zeigten, verhindert die Ausbildung von Reizdentin offensichtlich einen frühzeitigen Durchbruch in die Pulpenkammer. Selbst stark abradierete Zähne, deren Zahnkrone weitgehend bis zum Zahnhals abgenutzt war, blieben durch die Anlagerung von Reizdentin dennoch in der Regel intakt und funktionsfähig.
- Die Ausbildung von Reizdentin bietet dem Zahn offensichtlich nicht über einen bestimmten Abrasionsgrad hinaus ausreichenden Schutz. Ab Abrasionsgrad 6 (Abrasionskategorie 8) wurde in allen drei untersuchten Fällen ein Durchbruch der Reizdentinschicht in die Pulpenkammer beobachtet.
- Die okklusal berechnete Reizdentinfläche weist als Gesamtfläche im Gegensatz zur Reizdentinstärke einen großen Zusammenhang zum Abrasionsgrad auf. Bei den okklusalen Einzelflächen hingegen, lässt sich aufgrund der großen Streuung der Werte kein Zusammenhang feststellen.

- Es sollte ein Zusammenhang zwischen der indirekt gemessenen Reizdentinschichtstärke und der okklusal gemessenen Reizdentinfläche untersucht werden. Die Regressionsrechnungen aber zeigten, dass kein Zusammenhang zwischen beiden Variablen besteht.

6 Literaturverzeichnis

- ALT, K. W., RÖSING, F. W., TESCHLER-NICOLA, M. (1998). *Dental Anthropology: Fundamentals, Limits, and Prospects*. Wien: Springer.
- BERGER, F. (1985). *Zahnabrasion – eine berufsbedingte Schädigung?* Med. Diss. Marburg
- BAUER, M. J. (2001). *Kariesfreie Zahnhalsdefekte beim Menschen und ihre Ätiologie aus oberflächenhistologischer Sicht*. Med. dent. Diss. Universität Tübingen
- BORTZ, J. (1993). *Statistik für Sozialwissenschaftler*. 4. vollständig überarbeitete Auflage. Berlin, Heidelberg. New York: Springer.
- BROTHWELL, D. R. (1963), *Digging Up Bones: The excavation, treatment and study of human skeletal remains*. London: British Museum (National History)
- BROTHWELL, D. R. (1963), *Dental Anthropology*. Oxford: Pergamon Press; London, (Symposia of the Society for the Study of Human Biology; Volume 5).
- BROTHWELL, D. R. & BROTHWELL, P (1969), *Food in antiquity: a survey of the diet of early peoples*. London: Thames & Hudson.
- BROTHWELL, D. R. & BROTHWELL, P. (1984), *Manna und Hirse: eine Kulturgeschichte der Ernährung*. Mainz am Rhein: Zabern.
- CZARNETZKI, ALFRED (1996), *Die Bedeutung der Abrasion der Zahnkrone in der prähistorischen Anthropologie*. Bulletin der Schweizerischen Gesellschaft für Anthropologie, 2, 1996, 33-46
- CZARNETZKI, ALFRED, UHLIG, CHRISTIAN & WOLF, ROTRAUT (1983), *Menschen des frühen Mittelalters im Spiegel der Anthropologie und Medizin*. Stuttgart: Württembergisches Landesmuseum.
- FRANZ, G. (1977), *Untersuchungen zum Einfluss von Zahnpasten auf Zahnhartsubstanzen*. Zahnärztliche Welt Reform, 10, 515-517
- FRIEDRICH, D. J. (2001), *In-situ-Studie zur Ausprägung von Bürstabrasionen an erodiertem Schmelz in Abhängigkeit von Putzzeitpunkt und Fluorideinsatz*. Med. dent. Diss. Gießen.

- GIEBEL, W. (2000). Die medizinische Doktorarbeit: Anleitung zu selbständiger wissenschaftlicher Arbeit für Doktoranden in der Medizin und Zahnmedizin / Werner Giebel und Mirko Galic.- 4. überarb. und erw. Aufl. – Stuttgart, Berlin, Köln: Kohlhammer.
- GREVE, H. C. (1936). Abkauungserscheinungen an Gebissen der Neusteinzeit als Ausdruck der bei der Nahrungszerkleinerung ausgeführten Kieferbewegungen. Dtsch. Zahnärztl. Wschr. 39, 816.
- GULDENER, P. H. A. & LANGELAND, K. (1993). Endodontologie, Diagnostik und Therapie. 3. neu bearbeitete Auflage. Stuttgart: Thieme.
- HICKEL, R. (1988). Zahnabrasion und beruflich bedingte Einflüsse bei Granitsteinbrucharbeitern. Med. Habilitationsschrift, Erlangen
- IMFELD T. (1996). Dental Erosion. Definition, classification and links. Eur. J. Oral. Sci. 104:151-5
- LAUTENBACH, E. (1992). Wörterbuch Zahnmedizin, Hanau: Verlag für Zahnmedizin, Reizdentin S. 1365
- LEHMANN, K. M. & HELLWIG, E. (1993). Einführung in die restaurative Zahnheilkunde: Ein Lehrbuch für den propädeutischen Studienabschnitt. 7. überarb. u. erw. Auflage. München, Wien, Baltimore: Urban und Schwarzenberg.
- MEYERS GROßES TASCHENLEXIKON (1983): in 24 Bänden / herausgegeben und bearbeitet von der Lexikonredaktion des Bibliographischen Instituts. Mannheim, Wien, Zürich: Bibliographisches Institut.
- MEYER G., DAWID E. & SCHWARTZ P. (1991). Zur Pathomorphologie keilförmiger Defekte. Dtsch. Zahnärztl. Zeitschrift 1991;46:629-32
- PASLER, F. A. (1995). Zahnärztliche Radiologie. 3. vollständig überarbeitete Aufl. Stuttgart, New York: Georg Thieme.
- ROSENBERG, P. A. (1982). Okklusion, Pulpa und endodontische Behandlung. In: Isabell T. Whitehill-Grayson (Hrsg.) Dental-Report 1982/III, Okklusion und Funktion. Stuttgart, Wien, Zürich, Amsterdam: Medica Verlag.
- SAXER, U. P. & KÖNIG, K. G. (1992), Normale und abnormale Abnützungerscheinungen am menschlichen Gebiss. Zürich: Mentadent C Team der Elida Cosmetic AG.
- SCHROEDER, H. E. (1992). Orale Strukturbiologie: Entwicklungsgeschichte, Struktur und Funktion normaler Hart- und Weichgewebe der Mundhöhle und des Kiefergelenks; 26 Tabellen / Hubert E. Schroeder.-4., teilw. überarb. Aufl. – Stuttgart, New York: Thieme

- SCHROEDER, H. E. (1997), Pathobiologie oraler Strukturen. Zähne, Pulpa, Parodont. 3. überarbeitete Auflage. Basel, Freiburg: Karger.
- SCHUMACHER, G-H., SCHMIDT, H., BÖRNIG, H., RICHTER, W. (1990). Anatomie und Biochemie der Zähne, 4. überarbeitete Auflage mit 372 Abbildungen und 109 Tabellen. Stuttgart, New York: Gustav Fischer.
- SMITH, B. H. (1984). Patterns of molar wear in hunter-gatherers and agriculturists. *Am. J. Phys. Anthropol.* 63: 39-56.
- SMITH, B. H. (1994). Patterns of dental development in Homo, Australopithecus, Pan and Gorilla. *Am. J. Phys. Anthropol.* 94: 307-325.
- THODEN VAN VELZEN, S. K., GENET, J. M., KERSTEN, H. W., MOORER, W. R. & WESSELINK, P. R. (1988). Endodontie, aus dem Holländischen übersetzt von Uta Rahn-Schmidt, Köln: Deutscher Ärzte-Verlag.
- WALDEYER, A. & MAYET, A. (1986). Anatomie des Menschen: für Studierende und Ärzte dargestellt nach systematischen, topographischen und praktischen Gesichtspunkten. Teil 2, 15. neubearbeitete Auflage. Berlin, New York: Walter de Gruyter.
- WANG J., SMITH B. G. (1995). The effect of occlusal force on the formation of experimental cervical wedge-shaped defects on human teeth (Abstract). *Chung Hua Kou Chiang Hsueh Tsa Chih Sep*; 30:268-70, 319
- WANG J., SMITH B. G. (1996). Study on experimental cervical defect of human tooth by SEM (Abstract). *Chung Hua Kou Chiang Hsueh Tsa Chih Jan*; 31:31-3
- ZEMBIC, A. (2003). Regionale Unterschiede paläostomatologischer Befunde im Westen des Alamannischen Siedlungsgebietes. *Med. dent. Diss.* Tübingen

7.2 Fotos von Abrasionsgebissen



Abbildung 25: Abrasionsgebiss 1

Abrasionsgebiss 1 zeigt einen gut erhaltenen Unterkiefer. Der Zahn 37 ist zu Lebzeiten durch einen entzündlichen Prozess, der Zahn 32 ist post mortem verloren gegangen. An den Zähnen 36 und 46 liegt der Abrasionsgrad 5+ vor. Man kann deutlich die dunkleren Reizdentinflächen von dem ursprünglichen Dentin abgrenzen. Sie befinden sich im Bereich der bukkalen Pulpenhörner. Der Zahn 47 weist nur geringe Abrasion auf, die dem Abrasionsgrad 2+ entspricht. Im Bereich des mesio-bukkalen Höckers ist post mortem Schmelz abgesplittert.

Abbildung 26 auf Seite 80 und Abbildung 27 auf Seite 80 zeigen Ausschnitte eines Abrasionsgebisses in der Okklusal- und Bukkalansicht. Die Zähne 46 bis 48 weisen unterschiedliche Abrasionsgrade auf. Zahn 46 entspricht dem Abrasionsgrad 6, seine Zahnkrone ist bis zum Zahnhals abgenutzt. Es erfolgte ein Durchbruch in die drei Wurzelkanäle. Die beiden mesialen Kanäle sind durch Reizdentinbildung weitgehend obliteriert. Der distale Kanal ist breit eröffnet. Die Bukkalansicht zeigt aufgrund der stark vermehrten Gefäßeinsprossung einen apikalen entzündlichen osteolytischen Prozess an der distalen Wurzel. Über diese Öffnung konnte Pusausfluss erfolgen. Die Zahnwurzeln sind nur noch im Bereich des Pulpenkavumbodens miteinander verbunden. Der Zahn ist offensichtlich durch vorzeitigen Antagonistenverlust elongiert. Er befindet sich im Bereich des Kauzentrums und hat den stärksten okklusalen Abrieb erfahren. Der Zahn 47 entspricht dem Abrasionsgrad 5+, die Abnutzung ist bukkal stärker als lingual. Die Reizdentinfläche ist deutlich im Bereich des Pulpenkavums zu erkennen. Der Zahn 48 ist am geringsten abgenutzt, er entspricht dem Abrasionsgrad 5. Stärkere Abrasion weist er mesio-bukkal auf. Reizdentinflächen liegen mesio-bukkal und mesio-lingual.



Abbildung 26: Abrasionsgebiss 2, Ansicht von okkusal



Abbildung 27: Abrasionsgebiss 2, Ansicht von bukkal

7.3 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Unterkiefermolar z. T. eröffnet in der Alveole (aus SCHUHMACHER, SCHMIDT, BÖRNIG & RICHTER, 1990).....	1
Abbildung 2:	Abrasionsschema nach MILES (1963) (aus BROTHWELL, 1981)	12
Abbildung 3:	Paralleltechnik nach PASLER (1995)	15
Abbildung 4:	Aufnahmetechnik nach dem Prinzip der Paralleltechnik modifiziert.....	15
Abbildung 5:	Röntgenologische Messungen	17
Abbildung 6:	Verteilung des Vergrößerungseffektes durch die Röntgenprojektion	19
Abbildung 7:	Ellipse mit ihren Halbachsen a und b (aus MEYERS, 1983).....	21
Abbildung 8:	Mittelwerte der Pulpenmesswerte in Abhängigkeit vom kategorisierten Abrasionsgrad.....	28
Abbildung 9:	Mittelwerte der Dentinmesswerte in Abhängigkeit vom kategorisierten Abrasionsgrad.....	31
Abbildung 10	Streudiagramm mit Regressionsgerade: Dentinschicht über mesialem Pulpenhorn auf mesiale Reizdentinfläche.....	35
Abbildung 11	Streudiagramm mit Regressionsgerade: Dentinschicht über distalem Pulpenhorn auf distale Reizdentinfläche.....	37
Abbildung 12	Streudiagramm mit Regressionsgerade: Dentinschicht über Kavum auf Reizdentinfläche über Pulpenkavum.....	38
Abbildung 13:	Anteil der Zähne mit Lokalisation von Reizdentin auf der Okklusalfläche und Durchbruch von Reizdentin.....	40
Abbildung 14	Lokalisation okklusalen Reizdentins in Abhängigkeit vom Abrasionsgrad (Werte aus Tabelle 23 auf Seite 42).....	41
Abbildung 15:	Flächen des okklusalen Reizdentins in Abhängigkeit vom Abrasionsgrad (Werte aus Tabelle 23 auf Seite 42).....	44
Abbildung 16:	Reizdentin aus Baseline in Abhängigkeit vom kategorisierten Abrasionsgrad	48
Abbildung 17:	Streudiagramm mit Regressionsgerade: Differenz Pulpenhornhöhe mesial auf kategorisierter Abrasionsgrad.....	51

Abbildung 18: Streudiagramm mit Regressionsgerade: Differenz Pulpenhornhöhe distal auf kategorisierter Abrasionsgrad	53
Abbildung 19: Streudiagramm mit Regressionsgerade: Differenz Kavumhöhe auf kategorisierter Abrasionsgrad	54
Abbildung 20: Streudiagramm mit Regressionsgerade: Differenz Pulpenhornhöhe mesial auf die Reizdentinfläche über den mesialen Pulpenhörnern	57
Abbildung 21: Streudiagramm mit Regressionsgerade: Differenz Pulpenhornhöhe distal auf die Reizdentinfläche über distalen Pulpenhörnern.....	58
Abbildung 22: Streudiagramm mit Regressionsgerade: Differenz Kavumhöhe auf die Reizdentinfläche über dem Pulpenkavum	60
Abbildung 23: Befundbogen 1 zur Erfassung der Abrasionsgrade.....	76
Abbildung 24: Befundbogen 2 zur Erfassung der Abrasionsgrade, röntgenologischer und okklusaler Messwerte	77
Abbildung 25: Abrasionsgebiss 1	78
Abbildung 26: Abrasionsgebiss 2, Ansicht von okkusal	80
Abbildung 27: Abrasionsgebiss 2, Ansicht von bukkal	80

7.4 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Abrasionsschema nach Miles (1963) aus Brothwell (1981).....	12
Tabelle 2:	Abrasionsgrade nach Miles (1963) und daraus abgeleitete Abrasionsgradkategorien	13
Tabelle 3:	Häufigkeitsverteilung der gemessenen Feilenlänge je Röntgenbild und Kennwerte der Verteilung.....	18
Tabelle 4:	Flächenmaße okklusalen Reizdentins.....	20
Tabelle 5:	Primäre Messwerte	22
Tabelle 6:	Differenzmaße.....	23
Tabelle 7:	Verteilung der untersuchten Unterkiefermolaren über die Abrasionsgrade und Abrasionsgradkategorien	26
Tabelle 8:	Deskriptive Statistik der Pulpenmesswerte in Abhängigkeit vom kategorisierten Abrasionsgrad.....	27
Tabelle 9:	Korrelationen Abrasionsgrad und Pulpenmesswerte	29
Tabelle 10:	Deskriptive Statistik der Dentinmesswerte in Abhängigkeit vom kategorisierten Abrasionsgrad.....	30
Tabelle 11:	Korrelationen Abrasionsgrad und Dentinmesswerte	32
Tabelle 12	Korrelationen Dentinschichtstärken und Reizdentinflächen	33
Tabelle 13	Regression Dentinschicht über mesialem Pulpenhorn auf mesiale Reizdentinfläche	34
Tabelle 14	ANOVA: Regression Dentinschicht über mesialem Pulpenhorn auf mesiale Reizdentinfläche	35
Tabelle 15	Regressionskoeffizientena Regression Dentinschicht über mesialem Pulpenhorn auf mesiale Reizdentinfläche.....	35
Tabelle 16	Regression Dentinschicht über distalem Pulpenhorn auf distale Reizdentinfläche.....	36
Tabelle 17	ANOVA: Regression Dentinschicht über distalem Pulpenhorn auf distale Reizdentinfläche	36
Tabelle 18	Regressionskoeffizientena Regression Dentinschicht über mesialem Pulpenhorn auf mesiale Reizdentinfläche.....	36

Tabelle 19	Regression Dentinschicht über Kavum auf Reizdentinfläche über Pulpenkavum	37
Tabelle 20	ANOVA: Regression Dentinschicht über Kavum auf Reizdentinfläche über Pulpenkavum	38
Tabelle 21	Regressionskoeffizientena Regression Dentinschicht über Kavum auf Reizdentinfläche über Pulpenkavum	38
Tabelle 22:	Lokalisation von Reizdentin auf der Okklusalfäche in Abhängigkeit vom Abrasionsgrad	40
Tabelle 23:	Deskriptive Statistik, Flächen des okklusalen Reizdentins in Abhängigkeit vom Abrasionsgrad	42
Tabelle 24:	ANOVA: Flächen okklusalen Reizdentins in Abhängigkeit vom Abrasionsgrad	43
Tabelle 25:	Verteilung von Reizdentindurchbruch in Abhängigkeit vom Abrasionsgrad	45
Tabelle 26:	Korrelation kategorisierter Abrasionsgrad und Reizdentinflächen	46
Tabelle 27:	Deskriptive Statistik Reizdentin aus Baseline	47
Tabelle 28	Korrelationen Reizdentin aus Baseline und Abrasion	49
Tabelle 29:	Regression Differenz Pulpenhornhöhe mesial auf kategorisierter Abrasionsgrad	50
Tabelle 30:	ANOVA: Differenz Pulpenhornhöhe mesial auf kategorisierter Abrasionsgrad	51
Tabelle 31:	Regressionskoeffizientena Differenz Pulpenhornhöhe mesial auf kategorisierter Abrasionsgrad	51
Tabelle 32:	Regression Differenz Pulpenhornhöhe distal auf kategorisierter Abrasionsgrad	52
Tabelle 33:	ANOVA: Differenz Pulpenhornhöhe distal auf kategorisierter Abrasionsgrad	52
Tabelle 34:	Regressionskoeffizientena Differenz Pulpenhornhöhe distal auf kategorisierter Abrasionsgrad	52
Tabelle 35:	Regression Differenz Kavumhöhe auf kategorisierter Abrasionsgrad	53

Tabelle 36:	ANOVA Regression Differenz Kavumhöhe auf kategorisierter Abrasionsgrad	54
Tabelle 37:	Regressionskoeffizientena Differenz Kavumhöhe auf kategorisierter Abrasionsgrad	54
Tabelle 38:	Korrelation okklusale Reizdentinflächen und Reizdentin aus Baseline	55
Tabelle 39:	Regression Differenz Pulpenhornhöhe mesial auf die Reizdentinfläche über den mesialen Pulpenhörnern.....	56
Tabelle 40:	ANOVA Regression Differenz Pulpenhornhöhe mesial auf die Reizdentinfläche über den mesialen Pulpenhörnern.....	56
Tabelle 41:	Regressionskoeffizientena Differenz Pulpenhornhöhe mesial auf die Reizdentinfläche über den mesialen Pulpenhörnern	56
Tabelle 42:	Regression Differenz Pulpenhornhöhe distal auf die Reizdentinfläche über distalen Pulpenhörnern.....	57
Tabelle 43:	ANOVA Regression Differenz Pulpenhornhöhe distal auf die Reizdentinfläche über distalen Pulpenhörnern.....	58
Tabelle 44:	Regressionskoeffizientena Differenz Pulpenhornhöhe distal auf die Reizdentinfläche über distalen Pulpenhörnern	58
Tabelle 45:	Regression Differenz Kavumhöhe auf die Reizdentinfläche über dem Pulpenkavum.....	59
Tabelle 46:	ANOVA Regression Differenz Kavumhöhe auf RD-Fläche über dem Pulpenkavum.....	59
Tabelle 47:	Regressionskoeffizientena Differenz Kavumhöhe auf RD-Fläche über dem Pulpenkavum	59
Tabelle 48:	Zusammenfassung der Regressionsrechnungen Reizdentinschichtstärken auf okklusale Reizdentinflächen	66

Danksagung

Herrn Prof. Dr. Hartwig Wolburg aus dem Pathologischen Institut der Eberhard-Karls-Universität Tübingen danke ich für die Überlassung des Themas und die freundliche Unterstützung.

Mein Dank für die freundliche Bereitstellung des Untersuchungsmaterials und die großzügige Unterstützung und Förderung bei der Durchführung meiner Dissertation gilt Herrn Dr. Alfred Czarnetzki, Leiter der osteologischen Sammlung des Anthropologischen Instituts der Eberhard-Karls-Universität Tübingen.

Frau PD. Dr. Gabriele Kaepler aus der Abteilung Zentrales Röntgen vom Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde der Universität Tübingen, danke ich für die freundliche Unterstützung und Hilfestellung bei der Anfertigung der Röntgenaufnahmen und für die Überlassung der Gerätschaften und des Verbrauchsmaterials.

Mein besonderer Dank gilt Dipl. Psych. Alexander Maximilian Rapp für die Auswertung der statistischen Daten sowie für die Hilfestellung beim Layout und für die Durchsicht meiner Arbeit.

Ferner bedanke ich mich bei allen Mitarbeitern der osteologischen Sammlung des Anthropologischen Instituts der Eberhard-Karls-Universität Tübingen für die freundliche Unterstützung.

Meine Familie, insbesondere meine Mutter und meine Freunde haben mich während meiner Dissertation begleitet und unterstützt. Hierfür möchte ich mich an dieser Stelle herzlich bedanken.