Aus dem Medizinischen Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
der Philipps-Universität Marburg
Geschäftsführender Direktor: Prof. Dr. U. Lotzmann

Abteilung für Zahnärztliche Propädeutik
und Kiefer-Gesichts-Prothetik
Direktor: Prof. Dr. K. M. Lehmann

---

# In-vitro und in-vivo Untersuchungen zum Prepometer®

INAUGURAL-DISSERTATION
zur
Erlangung des Doktorgrades der Zahnmedizin

Dem Fachbereich Humanmedizin der
Philipps-Universität Marburg
vorgelegt von

**Susanne Bruchmann**
geb. England

aus Fritzlar

Marburg 2003

Aus dem Medizinischen Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
der Philipps-Universität Marburg
Geschäftsführender Direktor: Prof. Dr. U. Lotzmann

Abteilung für Zahnärztliche Propädeutik
und Kiefer-Gesichts-Prothetik
Direktor: Prof. Dr. K. M. Lehmann

---

# In-vitro und in-vivo Untersuchungen zum Prepometer®

INAUGURAL-DISSERTATION
zur
Erlangung des Doktorgrades der Zahnmedizin

Dem Fachbereich Humanmedizin der
Philipps-Universität Marburg
vorgelegt von

**Susanne Bruchmann**
geb. England

aus Fritzlar

Marburg 2003

Angenommen vom Fachbereich Medizin der
Philipps-Universität Marburg am 11.12.2003

Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereiches

Dekan: Prof. Dr. Maisch
Referent: Prof. Dr. Gente
Korreferent: Prof. Dr. Flores de Jacoby

**Den wichtigsten Menschen in meinem Leben**

meiner lieben Mutter
meinem wunderbaren Mann
und unseren einzigartigen Kindern

**INHALTSVERZEICHNIS**


| | | Seite |
|---|---|---|
| 1. | Einleitung | 1 |
| 2. | Literaturübersicht | 4 |
| 2.1. | Die Anatomie der menschlichen Zähne | 4 |
| 2.1.1. | Makroskopische Strukturen | 4 |
| 2.1.2. | Mikroskopische Strukturen | 5 |
| 2.2. | Klinische Verfahren zur Begrenzung der Präparationstiefe bei der Kronenpräparation | 6 |
| 2.3. | Grundsätze der elektrischen Widerstandsmessung | 8 |
| 2.3.1. | Elektrischer Widerstand | 8 |
| 2.3.2. | Leitfähigkeit des Dentins | 9 |
| 2.3.3. | Technik der Widerstandsmessung | 11 |
| 3. | Material und Methode | 14 |
| 3.1. | in-vitro Untersuchungen mit dem Prepometer® | 14 |
| 3.1.1. | Zähne | 14 |
| 3.1.2. | Versuchsaufbau | 15 |
| 3.1.3. | Das Prepometer® | 16 |
| 3.1.4. | Präparation und Messungen mit dem Prepometer® | 17 |
| 3.2. | in-vivo Untersuchungen mit dem Prepometer® | 19 |
| 3.2.1. | Probanden | 19 |
| 3.2.2. | Zähne | 20 |
| 3.2.3. | Präparation und Messungen mit dem Prepometer® | 23 |

4. Ergebnisse 26

4.1. Ergebnisse der in-vitro Untersuchungen 26
4.2. Ergebnisse der in-vivo Untersuchungen 38
4.3. Statistische Auswertung 43

5. Diskussion 44

5.1. Bewertung der Methode 49
5.1.1. Bewertung der Methode der in-vitro Untersuchungen 49
5.1.2. Bewertung der Methode der in-vivo Untersuchungen 51
5.2. Bewertung der Ergebnisse 56
5.2.1. Bewertung der Ergebnisse der in-vitro Untersuchungen 56
5.2.2. Bewertung der Ergebnisse der in-vivo Untersuchungen 61
5.3. Vergleich der in-vitro und der in-vivo Untersuchungen 65
5.4. Grenzen des Einsatzbereiches des Prepometers® 66

6. Zusammenfassung 70

7. Summary 72

8. Literaturverzeichnis 74

9. Anhang 84

# 1. Einleitung

Die Überkronung von Zähnen ist indiziert, wenn eine Restauration mittels plastischer Füllungsmaterialien absehbar den großen okklusalen Belastungen nicht dauerhaft standhalten kann. In diesem Fall steht die Indikation zur Überkronung in direktem Bezug zur Defektgröße innerhalb des Zahnes. Zähne müssen jedoch auch dann mit einer Krone versorgt werden, wenn sie in der Planung von prothetischen Arbeiten als Brückenpfeiler oder Pfeiler für kombinierten Zahnersatz vorgesehen sind. Ebenso können Okklusions- und Stellungskorrekturen der Grund für Überkronungen sein. Die verschiedenen Indikationsgebiete für Kronen- und Brückenzahnersatz sind in einer wissenschaftlichen Stellungnahme der Deutschen Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde (DGZMK) beschrieben (Wichmann 1999).

Das Präparieren eines Zahnes zur späteren Aufnahme einer Krone erfordert immer einen Mindestabtrag von Zahnhartsubstanz. In der Literatur werden unterschiedliche Empfehlungen zur Präparationstiefe gegeben. Die Angaben liegen zwischen 1,2 mm (Strub et al. 1994) und 1,5 - 2 mm (Lehmann 1988, Lehmann und Hellwig 2002). *Marxkors* empfiehlt maximale Schnitttiefen für verschiedene Zahngruppen: für Molaren, Prämolaren und Eckzähne 1,3 mm, für mittlere obere Schneidezähne 1,0 – 1,3 mm, für seitliche, obere Schneidezähne und Unterkieferschneidezähne 0,8 – 1,0 mm (Marxkors 1991). Es handelt sich um allgemeine Leitwerte, die dem Behandler für den individuellen Patientenfall nur mit eingeschränktem Nutzen zur Orientierung dienen können (Stambaugh und Wittrock 1977, Strub et al. 1994). Vor dem Hintergrund sehr unterschiedlicher Hartsubstanzdicken verschiedener Zahngruppen, die darüber hinaus altersabhängig und interindividuell stark streuen (Hugel 1970, Schaaf 1971, Stambaugh und Wittrock 1977), sind allgemeine Präparationsleitlinien wenig hilfreich. In Einzelfällen erfordert die Fehlstellung eines Zahnes eine Präparation, die weit über empfohlene Leitwerte hinausgeht.

Für die klassische Verblendkronentechnik oder auch die Doppelkronen-technik werden von allen Autoren Präparationsformen gefordert, die eine

Präparation bis in das Dentin darstellen. Mit dem Abtrag der Zahnhartsubstanz Dentin verursacht der Behandler immer eine Wunde, die mit zunehmendem Querschnitt der angeschnittenen Dentinkanälchen größer wird (Ketterl 1961, Schroeder 1992). Je weiter in Richtung der Pulpa präpariert wird, desto größer ist der Durchmesser der iatrogen eröffneten Dentinkanälchen und es kommt zu einer zunehmenden Traumatisierung, die im äußersten Fall zum Verlust der Vitalität des Zahnes führen kann.

Zahlreiche Literaturangaben dokumentieren den Vitalitätsverlust von Zähnen und die Nekrose der Pulpa nach der Überkronung (Kerschbaum und Leempoel 1989, Lockard 2002). Um eine Traumatisierung zu vermeiden, wird unter anderem gefordert, den Verlust an Zahnhartsubstanz so gering wie möglich zu halten. Nach *Jüde* und Koautoren wird über der Pulpa eine verbleibende Restdentindicke von 1,4 mm für Zähne von Jugendlichen und 0,7 mm für Zähne von Erwachsenen gefordert (Jüde et al. 1997). Diese Angaben basieren auf Beschreibungen der Morphologie menschlicher Zähne und Messungen von Zahnhartsubstanzdicken (Kühl und Tabata 1968, Hugel 1970, Schaaf 1971).

Da es bisher während der Präparation nicht möglich war, das Ausmaß der verursachten Dentinwunde oder den Abstand der Präparationsoberfläche zur Pulpa zu kalkulieren, bestand die Forderung, den für die spätere Restauration benötigten Substanzabtrag eher gering zu halten. Dieser Maßgabe, durch einen möglichst geringen Substanzabtrag die Sensibilität und Vitalität des Zahnes auf keinen Fall zu gefährden, steht jedoch der Wunsch nach einem größeren Substanzabtrag gegenüber. Kann mehr von der Zahnhartsubstanz entfernt werden, so ist es dem Zahntechniker oftmals leichter, durch entsprechende Restaurationsschichtstärken einen ästhetisch optimierten, funktionell gestalteten und mechanisch langfristig belastbaren Zahnersatz herzustellen.

Oberste Priorität bei der prothetischen Behandlung muss nach *Weber* die Vitalerhaltung der Pulpa haben (Weber 1987). Bereits 1999 wurde von der Deutschen Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde (DGZMK) die Anwendung geeigneter Geräte zur Widerstandsmessung an der präparierten Dentinoberfläche zur „Einhaltung der klinisch relevanten Mindestdicken des Dentins“ empfohlen (Hellwig et al. 1999). Diese Methode

stellt einen wichtigen Bestandteil der Qualitätssicherung hinsichtlich langfristiger Vitalerhaltung zu überkronender Zähne dar. Ein Gerät zur Messung des elektrischen Widerstandes auf präparierten Dentinflächen wurde nach Voruntersuchungen von *Gente* und verschiedenen Mitarbeitern (Feige 1989, Wenz 1990, Gente und Wenz 1991, Gente 1992, Becker-Detert 1993) von *Gente* entwickelt. Es wird seit 2002 unter dem Produktnamen „Prepometer®“ von der Firma Hager & Werken (Hager & Werken, Deutschland) vertrieben.

Die vorliegende Studie gliedert sich in zwei Studienteile. Im ersten Teil wurde die Anwendung des Prepometers® innerhalb einer in-vitro-Versuchsreihe untersucht. Im zweiten Teil wurden der Einsatz und der Nutzen des Prepometers® am Patienten überprüft.

# 2. Literaturübersicht

## 2.1. Die Anatomie der menschlichen Zähne

### 2.1.1. Makroskopische Strukturen

Der Zahn wird untergliedert in die klinische Krone, die Kontakt zur Mundhöhle hat und die Wurzel, deren Oberfläche als Teil des Zahnhalteapparates (Parodontium) die Verankerung im Alveolarfortsatz des Kieferknochens sichert. Zähne sind aus unterschiedlichen Geweben aufgebaut. Den größten Massenanteil des Hartgewebes bildet das Zahnbein (Dentin), das im Kronenbereich durch den Zahnschmelz und im Wurzelbereich durch das Wurzelzement überzogen ist. Das Zahnbein umgibt das dentale Markorgan (Pulpa), das Weichgewebe des Zahnes. Die Ausdehnung der Pulpa in den drei Raumebenen entspricht weitgehend der verkleinerten Zahngeometrie.

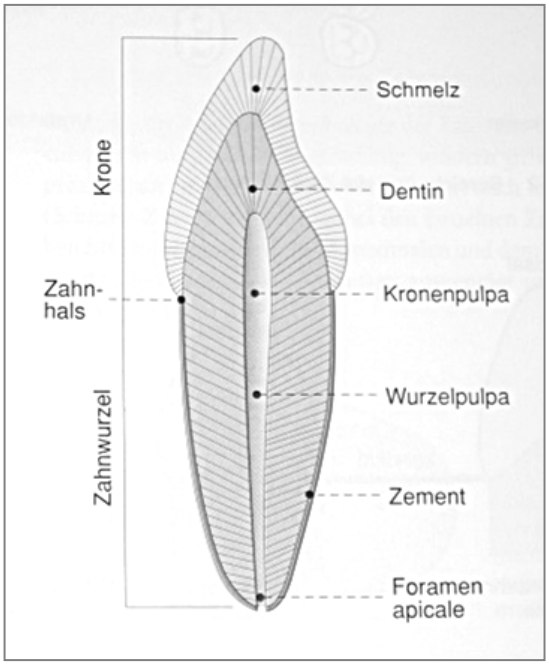
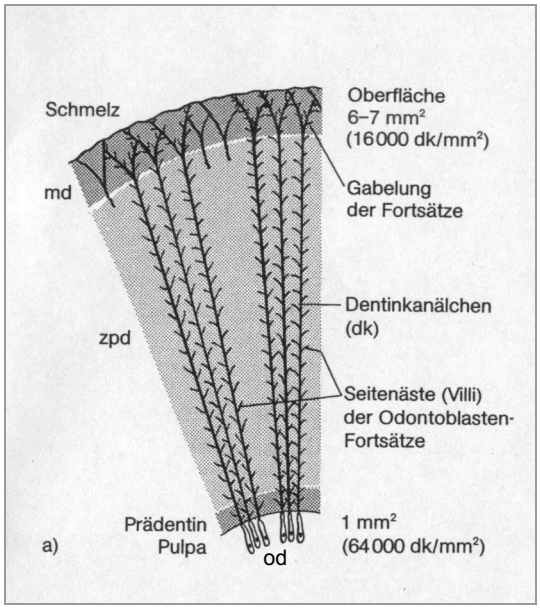



Abb. 1: Aufbau eines Zahnes
(aus: Lehmann und Hellwig 2002)

Die Pulpa wird in die Kronenpulpa und die Wurzelpulpa unterteilt (Abb. 1). Über eine Öffnung an der Wurzelspitze, das ´foramen apicale´, haben die Strukturen der Pulpa direkte Verbindung zum Parodontium. Durch das Foramen ziehen sensorische Nervenfasern und Gefäße in den Zahn, die dessen Sensibilität und Vitalität begründen.

### 2.1.2. Mikroskopische Strukturen

In der Mundhöhle zeigt sich der Zahnschmelz gegenüber äußeren Einflüssen besonders widerstandsfähig. Innerhalb der vorliegenden Untersuchung wurden Zähne durch den Schmelz hindurch bis in die Dentinschicht präpariert. Hinterfragt man den Einfluss einer Präparation auf die verschiedenen Zahnstrukturen, so ist im Rahmen dieser Studie der histologische Aufbau von Dentin und Pulpa von besonderer Bedeutung. Die Beurteilung der Reizantwort muss auf beide Schichten bezogen werden. Man spricht in diesem Zusammenhang von der Pulpa–Dentin–Einheit (Schroeder 1993).
Die Pulpa besteht aus spezialisiertem Bindegewebe, in das Gefäße und Nerven eingebettet sind. Neben den Zellen des Bindegewebes, den Fibroblasten, finden sich Zellen der Immunabwehr und die spezifischen Zellen der Dentinbildung, die Odontoblasten.




| | |
|---|---|
| md | Manteldentin |
| zpd | zirkumpulpales Dentin |
| dk | Dentinkanälchen |
| od | Odontoblasten |

Abb. 2: Schema des Verlaufes der Odontoblastenfortsätze im Dentin (Umzeichnet aus: Schroeder 1992)

Von der Pulpa bis hinein in die unteren Schichten des Zahnschmelzes durchlaufen Zellfortsätze der dentinbildenden Odontoblasten das Dentin (Abb. 2).

Die Struktur des Dentins (Abb. 2) weist in der histologischen Untersuchung folgende Merkmale auf (Schroeder 1992):

1. die Odontoblasten
2. die Dentinkanälchen
3. das peritubuläre Dentin
4. das intertubuläre Dentin
5. das Manteldentin

Die Odontoblasten liegen an der inneren Dentinoberfläche. Ihre Zellfortsätze, die Odontoblastenfortsätze, durchziehen das Dentin in den Dentinkanälchen. Die Dentinkanälchen enthalten außerdem Gewebsflüssigkeit und organische Strukturelemente. Der Durchmesser und die Dichte der Dentinkanälchen pro Fläche nimmt von der Pulpa zum Schmelz hin ab. Das peritubuläre Dentin kleidet die Wände der Kanälchen aus, während das intertubuläre Dentin den Raum zwischen den Kanälchen ausfüllt. Das Manteldentin bildet die Grenze zur Schmelzschicht und enthält zahlreiche Verzweigungen der Odontoblastenfortsätze (Ketterl 1961, Schroeder 1992).

## 2.2. Klinische Verfahren zur Begrenzung der Präparationstiefe bei der Kronenpräparation

### Präparationsrillen

Als Präparationshilfen gelten Orientierungsrillen, die vor Beginn der Kronenpräparation angelegt werden. Dazu dienen Schleifkörper, die in den Durchmessern 1,0 mm, 1,2 mm und 1,5 mm normiert sind (Marxkors 1991, Jüde et al. 1997). Durch diese zu Beginn der Behandlung angelegten Orientierungsrillen ist der für die weitere Präparation angestrebte maximale Substanzabtrag festgelegt. Ein zu großer Abtrag mit der Gefahr der Pulpaschädigung soll vermieden werden.

### Silikonschlüssel

Um eine visuelle Kontrolle über den Abtrag an Zahnhartsubstanz zu behalten, kann vor der Präparation ein sogenannter Silikonschlüssel angefertigt werden. Dazu wird eine Teilabformung über den zu präparierenden Zahn genommen, der dann in der Längs- und der Querachse der dargestellten Zahnimpression durchgeschnitten werden kann. Eine Kontrolle über den erfolgten Substanzabtrag am Pfeiler kann durch Zurücksetzen des Schlüssels auf den Kieferkamm und benachbarte, nicht präparierte Zähne erfolgen (Strub et al. 1994).

### Röntgenbilder

Röntgenbilder erlauben eine grobe Einschätzung der Lokalisation der Pulpa und ihrer Ausdehnung in mesio-distaler Richtung. Aufgrund der zweidimensionalen Darstellung und der multiplen Einstellungsmöglichkeiten des Strahlenganges ist eine genauere Beurteilung nicht möglich. Keine Informationen erhält man zur Ausdehnung der Pulpa in vestibulo-oraler Richtung. Die Pulpakammer wird häufig zu klein dargestellt und grazile Ausläufer der pulpalen Gewebe entgehen der Darstellung (Jung 1984).

### Ultraschallmessungen

Zur Bestimmung der Dentindicke können Ultraschallmessungen nach dem „Echolotprinzip“ durchgeführt werden. Diese berücksichtigen jedoch nicht den Durchmesser der Dentinkanälchen, so dass die tatsächlich verursachte Dentinwunde nicht kalkulierbar ist. Darüber hinaus ist der technische Aufwand wegen der ungünstigen akustischen Eigenschaften des Dentins so groß, dass die Methode nur für Forschungszwecke, nicht aber in der Routinebehandlung eingesetzt worden ist (Morozumi 1985, Morozumi et al. 1987).

Durchschnittswerte

Wissenschaftliche Untersuchungen an extrahierten Zähnen geben Angaben zu durchschnittlichen Zahnhartsubstanzstärken unpräparierter Zähne und zu Wandstärkenminima (Hugel 1970, Schaaf 1971). Die Durchschnittswerte derartiger anatomischer Präparate können zur Orientierung bei der Präparation verwendet werden. Vor dem Hintergrund nicht kalkulierbarer interindividueller Unterschiede ist die Methode aber sehr unsicher und in Einzelfällen daher mit der Gefahr einer Pulpaschädigung verbunden (Polansky et al. 1998).

## 2.3. Grundsätze der elektrischen Widerstandsmessung

### 2.3.1. Elektrischer Widerstand

Wird an die Enden eines elektrischen Leiters aus einem einheitlich elektrisch leitfähigen Material mit der Länge l und der Querschnittsfläche A eine elektrische Spannung angelegt, fließt ein Strom. Dabei ist die Spannung U dem Strom I proportional. Dies wird durch das Ohmsche Gesetz beschrieben.

Der Widerstand R ergibt sich aus dem Quotient aus Spannung U und Stromstärke I.

$$\text{Widerstand } \mathbf{R} = \frac{\text{Spannung } \mathbf{U}}{\text{Stromstärke } \mathbf{I}}$$

Die Einheit des elektrischen Widerstandes **R** lautet Ω (Ohm).

Das Material des elektrischen Leiters ist für den spezifischen Widerstand entscheidend. Man bezeichnet dies als Resistivität **σ**.

Spez. Widerstand **R** = Resistivität **σ** x Länge / Querschnitt

Die Einheit des spezifischen Widerstandes ist Ω (Ohm) x m (Meter).

### 2.3.2. Leitfähigkeit des Dentins

Die genannten Gleichungen sind anwendbar für die meisten elektrisch leitenden Stoffe, auch für Elektrolytlösungen.
Im Dentin durchlaufen die Dentinkanälchen das Dentin von der Pulpa-Dentin-Grenze bis zur Dentin-Schmelz-Grenze, bzw. Dentin-Zement-Grenze. Nach *Suzuki* (Suzuki 1941) sind die Dentinkanälchen mit ihren Seitenästen und den kollagenen Fibrillen der Grundsubstanz die stromleitenden Wege. Nach *Gente* (Gente 1992) und *Becker-Detert* (Becker-Detert 1993) ist der Mechanismus der Stromleitung im Dentin vorwiegend der des Ionentransportes in einem wässrigen Elektrolyten.
Die Gewebsflüssigkeit innerhalb der Dentinkanälchen, auch Dentinliquor genannt, enthält außer kollagenen Fibrillen die Ionen Natrium, Kalium und Chlorid. Er weist somit einen Elektrolytcharakter auf, der für den Ladungstransport verantwortlich ist. Zur Beschreibung der elektrischen Leitfähigkeit des Dentins entwickelte *Gente* ein physikalisches Modell. Dabei wird der elektische Widerstand eines einzelnen Dentinkanälchens als Summe der Widerstände von **n** gleichlangen aufeinander gestapelten Zylindern angenähert (Abb. 3) (Gente 1992).

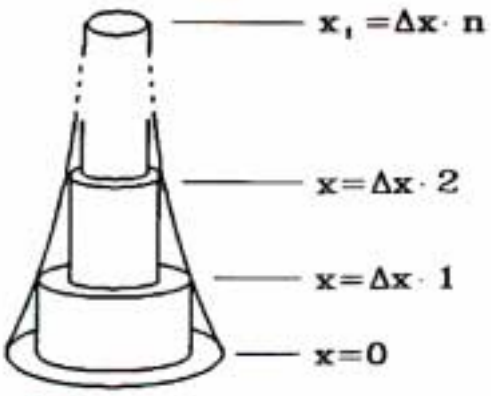



Abb. 3:Modell zur Annäherung der Form eines Dentinkanals (aus: Gente 1992)

Das Modell verwendet aufeinander gestapelte Zylinder der Höhe $\Delta x$ mit der Querschnittsfläche $A_n(x) = A(n * \Delta x)$. Die Form eines Dentinkanälchens wird

umso genauer angenähert, je größer n und je kleiner $\Delta x$ wird.
Diesem Modell liegen die Daten des Durchmessers und der Dichte der Dentinkanälchen pro Fläche von *Garberoglio* und *Brännström* (Garberoglio und Brännström 1976) zugrunde.

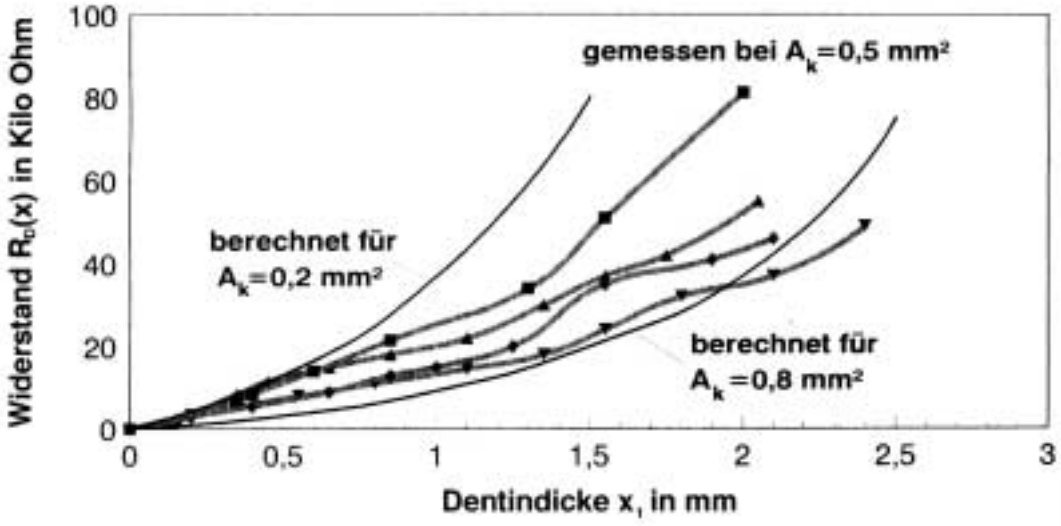



Abb. 4 : Widerstand $R_D$ von Dentinarealen mit einer berechneten Fläche von $A_K$= 0,8 mm² und $A_K$= 0,2 mm² und einer gemessenen Fläche $A_K$= 0,5 mm² als Funktion der Dentindicke über der Pulpa ($x_1$). (aus: Gente 1992)
Abszisse: Dentindicke $x_1$ über der Pulpa in mm
Ordinate: Widerstand $R_D$ in KΩ

In Abbildung 4 wurde die ausschließliche Stromleitung über die in der kontaktierten Fläche angeschlossenen Dentinkanälchen zur Pulpa angenommen, deren Länge als annähernd gleich vorausgesetzt wird. Der Widerstand einer über der Pulpa belassenen Dentinschicht nimmt überproportional mit steigender Dentindicke zu. Der Dentinwiderstand $R_D$ hängt von der Größe der angeschlossenen Dentinfläche $A_K$ ab. Je größer die Fläche, desto kleiner ist der Widerstand. Die kleinere Fläche weist für gleiche Dentindicken einen viermal so hohen Widerstand auf als die größere Fläche. Für den spezifischen Widerstand des Dentinkanalliquors wurde σ= 0,70 Ωm angenommen. Das ist der spezifische Widerstand von physiologischer Kochsalzlösung bei 18 Grad Celsius.

Die Fähigkeit der elektrischen Leitfähigkeit besitzt regulär gebildetes Dentin, das keine pathologischen Veränderungen der Dentintubuli aufweist. Als sklerosiertes Dentin wird Dentin bezeichnet, dessen ursprüngliche Strukturen durch den physiologischen Alterungsprozess oder auch durch mechanische, dentogene pathologische oder iatrogene Prozesse verändert sind (Schroeder 1992). Dies bedeutet, dass die ehemals offenen Dentinkanälchen durch peritubuläres sowie intratubuläres Dentin obliteriert werden. Hier kann kaum noch ein Ladungstransport und somit kein nennenswerter Stromfluß mehr stattfinden. Eine klinische Widerstandsmessung ist nicht mehr möglich.

### 2.3.3. Technik der Widerstandsmessung

Voruntersuchungen, die zur Entwicklung des Prepometers® beitrugen, wurden von *Gente* und verschiedenen Mitarbeitern durchgeführt. *Gente* (Gente 1987) und *Feige* (Feige 1989) führten Untersuchungen durch, die die Möglichkeit einer Messung des elektrischen Widerstandes auf präparierten Dentinflächen bestätigten. Dadurch konnten Rückschlüsse auf die Lage und die Ausdehnung der Pulpahornspitzen gezogen werden. Weiterführende Untersuchungen von *Wenz* (Wenz 1990) konnten die stromleitenden Wege im Dentin durch Farbstoffionen darstellen. *Wenz* konnte außerdem feststellen, dass die Widerstandsmessung von der Dentinstruktur abhängig ist. Messungen auf kariösem Dentin und auch auf glasigem Tertiärdentin sind nur bedingt und mit differenten Ergebnissen möglich, da die geordnete Struktur der Dentinkanälchen zerstört ist. Basierend auf diesen Ergebnissen folgten Untersuchungen von *Netsch* (Netsch 1995), die zeigten, dass ein Widerstandsminimum auf der Dentinoberfläche abhängig ist von der Anzahl der angeschnittenen Dentinkanälchen sowie von deren Querschnitt und Länge. Die in den Untersuchungen verwendete Messapparatur wurde weiterentwickelt und das „Prepometer®“ für den routinemäßigen Einsatz in vivo hergestellt. Das „Prepometer®“ (Hager & Werken, Deutschland) wurde bis zum Jahr 2002 unter dem Handelsnamen „Dentometer DTM 800®“ (C. Hafner, Deutschland) vertrieben.

Das in Kapitel 3.1.3. (Material und Methode; Das Prepometer®) ausführlich beschriebene Prepometer® (Abb. 9, Seite 16) entspricht in seinem Aufbau einem AC – Ohmmeter, mit dem man durch Anlegen eines Wechselstromes eine elektrische Widerstandsmessung durchführen kann.

Am Gehäuse des Prepometers® sind drei verschiedene Elektroden anzuschließen. Die Bauweise des Gerätes sichert über die Gestaltung der Messelektrode, die auf die Präparationsoberfläche aufgesetzt wird und die Bezugselektrode, die in das bukkale Vestibulum des Patienten eingehängt wird, einen geschlossenen Stromkreis und ermöglicht damit die Widerstands-messung.

Die dritte Elektrode des Prepometers®, als Hilfselektrode oder Justierelektrode bezeichnet, muss bei jedem Zahn nur ein Mal angelegt werden. Das Gerät wird derart für den einen zu vermessenden Zahn feinjustiert. Es enthält einen elektronischen Speicher, der durch erstmalige Messung an der Dentinoberfläche den Widerstandswert `Kronenpulpa-Bezugselektrode` erfasst. Dieser Widerstandswert wird bei jeder weiteren Messung automatisch von den Widerständen `Messelektrode-Bezugselektrode` subtrahiert, so dass ausschließlich der relevante Widerstand `Messelektrode-Kronenpulpa` angezeigt wird. Die Zuordnung verschiedener Widerstandsbereiche zu den verschiedenen Leuchtdioden des Prepometers® erfolgte nach umfangreichen Voruntersuchungen durch *Gente* (Gente 1992). Der größte messbare Widerstand wird am Gerät angezeigt durch eine grüne Leuchtdiode 1 (LED, light emitting diode), der kleinste messbare Widerstand wird angezeigt durch die rote Leuchtdiode 10.

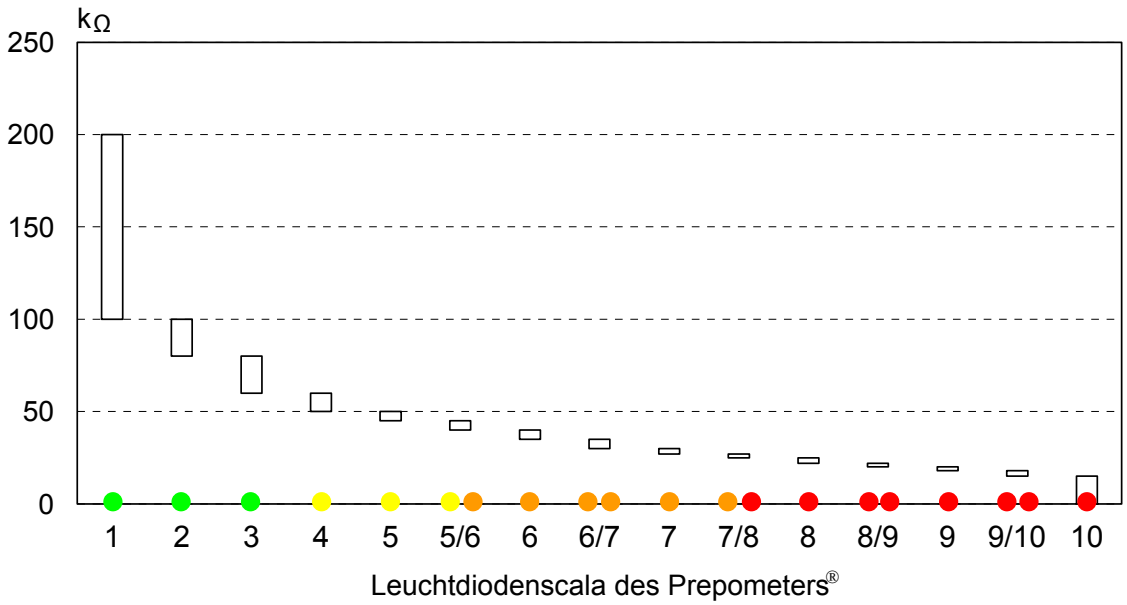



Abb. 5: Zuordnung verschiedener Widerstandsbereiche `Messelektrode-Kronenpulpa` zur Leuchtdiodenskala des Prepometers® (Angaben der zugeordneten Widerstandsbereiche in kΩ) (nach: Gente 1992)

Abbildung 5 zeigt die Zuordnung definierter Widerstandsbereiche zu den farblich codierten Leuchtdioden (Gente 1992).

Bei der Messung mit dem Prepometer® nimmt der Mikroprozessor für die ersten drei grünen Leuchtdioden einen Widerstandswert von 20 kΩ an, der bei jeder Messung vom Widerstand `Messelektrode-Bezugselektrode` subtrahiert wird. Die LED-Anzeige des Prepometers® signalisiert ein konstantes Leuchten der Dioden.

Bei Erreichen der Leuchtdiode 4 (gelb) blinkt diese LED, wenn noch kein Widerstandswert für den Widerstand `Kronenpulpa-Bezugselektrode` gemessen wurde. Durch die Feinjustierung wird dieser Widerstand genau bestimmt und gespeichert. Bei allen Folgemessungen wird der gespeicherte Wert automatisch subtrahiert und der relevante Widerstand `Messelektrode-Kronenpulpa` angezeigt.

# 3. Material und Methode

## 3.1. in-vitro Untersuchungen mit dem Prepometer®

### 3.1.1. Zähne

Die zu untersuchenden Zähne mussten folgende Einschlusskriterien erfüllen, um in die Studie aufgenommen zu werden:

- Die Zähne mussten kariesfrei sein.
- Die Zähne mussten füllungsfrei sein.
- Die Zähne durften nicht vorpräpariert sein.
- Die Sensibilität der Zähne musste vor der Extraktion positiv bestätigt sein.

- Die Zähne mussten am Tag der Untersuchung extrahiert worden sein.
- Nach der Extraktion musste die Wurzelspitze frakturfrei und in ihrer ursprünglichen anatomischen Form erhalten sein.

Die zu untersuchenden Zähne wurden möglichst schonend extrahiert, um traumatisierende Einflüsse auf die Zahnstrukturen so gering wie möglich zu halten. Die Extraktionen wurden durch erfahrene Behandler der chirurgischen Poliklinik (Klinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie am Medizinischen Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde der Philipps-Universität Marburg/Lahn) vorgenommen.

In der Zeit zwischen Extraktion und Präparation wurden die Zähne in einem Hygrophor, einem kleinen Gefäß, das mit Kochsalzlösung getränkte Tupfer enthielt, gelagert. Die Zeit zwischen Extraktion und Präparation mit eigentlicher Untersuchung wurde so kurz wie möglich gehalten. Sie betrug im Maximum vier Stunden. Die Versuchsdurchführende war zur korrekten Anwendung des Prepometers® theoretisch und praktisch geschult worden.

### 3.1.2. Versuchsaufbau

Der Versuchsaufbau bestand aus dem Probenhalter und der darüber befindlichen Messuhr mit geeichter Mikrometerskala (Abb. 6).

Abb. 6: Versuchsaufbau mit Probenhalter und Messuhr

Als Probenhalter wurde ein Hohlzylinder aus $V_2A$-Stahl verwendet. Der mit Gewinde versehene Deckel des Zylinders diente als eigentlicher Probenhalter, in dem der zu präparierende Zahn mittels Kaltpolymerisat (Paladur®, Kulzer) in eine Plexiglasplatte eingebracht und dann in den Zylinder verschraubt wurde. Durch diese starre Fixierung konnte eine Auslenkung des Zahnes während der Präparation verhindert werden. Die Plexiglasplatte wurde mit den Markierungen mesial, distal, bukkal und oral versehen (Abb. 7), um die Orientierung während des Präparierens zu sichern. Das Lumen im unteren Teil des Zylinders wurde mit physiologischer Kochsalzlösung gefüllt, so dass die Wurzel des Zahnes in diese hineinragte. Über diesen Elektrolyten war der Kontakt zur Bezugselektrode hergestellt. Als Bezugselektrode diente das metallische Gehäuse des Zylinders, das über ein Kabel mit dem Prepometer® verbunden wurde (Abb. 8).

Abb. 7: Zahn im Probenhalter fixiert

Abb. 8: Probenhalter und Prepometer®

### 3.1.3. Das Prepometer®

Das Prepometer® (Hager & Werken, Deutschland) entspricht in seinem Aufbau einem AC – Ohmmeter, mit dem man durch Anlegen eines Wechselstromes eine elektrische Widerstandsmessung durchführen kann (Abb. 9).

Abb. 9: Das Prepometer® (Darstellung ohne Bezugs- und Justierelektrode)

Das Prepometer® ist ein Gerät, dessen Größe in etwa der einer elektrischen Zahnbürste entspricht. Am Gehäuse des Prepometers® sind drei verschiedene Elektroden anzuschließen. Die Messelektrode befindet sich an der Gehäusespitze, die Bezugselektrode wird über ein isoliertes leitfähiges Kabel mit dem Ende des Gerätes verbunden. Die Messelektrode hat an ihrem Kontaktende eine Kapillare, die mit einer Silikonmanschette ummantelt ist. Durch die Kapillare, die mit physiologischer Kochsalzlösung als Kontaktflüssigkeit gefüllt wird, kann die elektrisch leitende Verbindung von dem Liquor in den Dentinkanälchen zur Messelektrode hergestellt werden. Isotonische Kochsalzlösung wird verwendet, da diese in ihrer Leitfähigkeit dem Dentinliquor ähnelt und in jeder Zahnarztpraxis verfügbar ist. Die zweite Elektrode, die Bezugselektrode, wird in das bukkale Vestibulum des Patienten eingehängt. Über den Speichel wird der Stromkreis geschlossen und eine Widerstandsmessung möglich.
Die dritte Elektrode des Prepometers®, die Hilfselektrode oder Justierelektrode, muss bei jedem Zahn für die Feinjustierung des Gerätes nur ein Mal angelegt werden. Das Prepometer® enthält einen elektronischen Speicher, der den

Widerstandswert `Kronenpulpa-Bezugselektrode` erfasst. Dieser wird bei jeder weiteren Messung automatisch vom Widerstand `Messelektrode-Bezugselektrode` subtrahiert, so dass ausschließlich der relevante Widerstand `Messelektrode-Kronenpulpa` angezeigt wird. Vor der Feinjustierung ist dieser Speicher herstellerseitig mit einem Mittelwert von 20 kΩ eingestellt.
Im Gehäuse des Prepometers® befinden sich zehn Leuchtdioden (LED), die farblich codiert sind (Dioden 1 bis 3: grün, Dioden 4 und 5: gelb, Dioden 6 und 7: orange, Dioden 8 bis 10: rot). Zu jedem gemessenen spezifischen Widerstand leuchtet die korrespondierende Diode auf.
Der größte messbare Widerstand wird angezeigt durch Diode 1 (grün), der kleinste messbare Widerstand wird durch Diode 10 (rot) angegeben. Die Zuordnung verschiedener Widerstandsbereiche zu den verschiedenen Leuchtdioden des Prepometers® erfolgte nach umfangreichen Voruntersuchungen durch *Gente* (Gente 1992).
Der Benutzer des Prepometers® kann bei jeder Messung den aktuellen Widerstand ´Messelektrode-Kronenpulpa´, übertragen in den Farb-Code der LED-Skala, ablesen. Die Zuordnung dieser Widerstandsbereiche wurde innerhalb der Literaturübersicht in Kapitel 2.3.3. beschrieben (Technik der Widerstandsmessung, Seiten 11-13).

### 3.1.4. Präparation und Messungen mit dem Prepometer®

Die Präparation erfolgte ausschließlich durch Reduktion der okklusalen Zahnfläche mittels eines Feinschliffdiamanten mit 30-50 µm Korngröße. Präpariert wurde mit einem Übertragungswinkelstück bei 120.000 U/Min. bei kontinuierlicher Wasserkühlung durch die am Kopfstück des Winkelstücks herstellerseitig angebrachten drei Wasserausgänge. Die Kühlwassermenge war auf 50 ml pro Minute eingestellt. Die intermittierende Arbeitsweise mit geringem Anpressdruck erlaubte dabei für jeden Arbeitsschritt einen Substanzabtrag um einige 1/10 mm.
Zwischenzeitlich erfolgte nach jedem Präparationsschritt die Prepometer®-Messung. Vor Einsatz des Gerätes war zu überprüfen, ob die erste Leuchtdiode mit einem grünen Blinklicht die Funktion des Gerätes bestätigte. Blinkt nach der

Inbetriebnahme des Prepometers® die letzte rote Diode, muss ein Austausch der Batterie erfolgen. Nach Kontrolle der Gängigkeit der Kapillare des Prepometers® wurde die präparierte Oberfläche mit dem Luftpüster von sichtbaren Flüssigkeitsansammlungen – unter Erhalt einer „feuchten“ Dentinoberfläche - befreit und die Kapillare mit physiologischer Kochsalzlösung gefüllt, um über diesen Elektrolyten den Kontakt zu dem Liquor in den Dentinkanälchen herzustellen. Auf diese Weise konnten an der präparierten Oberfläche unterschiedliche Widerstandswerte gemessen und die Widerstandsminima deutlich von der Umgebung abgegrenzt werden. Notiert wurde zu jedem Leuchtdiodenwert, durch Ablesen von der Messuhr, der bis dahin erfolgte Zahnhartsubstanzabtrag. Ab Leuchtdiode 4 (gelb) signalisiert das Prepometer® durch ein Blinklicht dieser Diode, dass das Gerät feinjustiert werden muss. Hierzu wird zusätzlich zur Messelektrode die Hilfselektrode auf das Dentin des Zahnes aufgesetzt. Die Feinjustierung erfolgt durch einmaliges Drücken der Schaltfläche. Die Bestätigung der erfolgreichen Feinjustierung wird durch ein Lauflicht über alle Dioden angezeigt. Nach diesem Vorgang kann eine tiefreichende Präparation erfolgen. Bei weiteren Messungen erscheint die Leuchtdiodenanzeige wieder als Dauerlicht.

Als Messapparatur für den Substanzabtrag diente eine geeichte Messuhr (Abb. 10) mit einer Mikrometerskala. Der $V_2$A-Zylinder wurde nach jedem Substanzabtrag unter die Messuhr gestellt, um mit deren Stempel den genauen Abtrag zu bestimmen. Dieser Wert wurde, ebenso wie der dazu gehörige Prepometer®-Wert, protokolliert. Auf diese Art und Weise wurde mit jedem Bereich eines Widerstandsminimums verfahren, der entsprechend der Grundidee der Widerstandsmessung im vorliegenden Versuchsaufbau einem korrespondierenden Pulpahorn zuzuordnen ist.

Abb. 10: Messuhr im Versuchsaufbau

Die okklusale Präparation wurde beendet und der Gesamtsubstanzabtrag bestimmt, sobald die Pulpa punktförmig eröffnet war. Der okklusale Gesamtabtrag ergab sich aus der Addition der einzelnen Substanzabträge der vorausgegangenen Messungen.

Mittels dieser Methode konnten 41 Stellen mit minimalstem Widerstand erfasst werden (Pulpahörner).
Bei 20 Zähnen mit 29 Pulpahörnern wurde der Abtrag der Zahnhartsubstanz Dentin bestimmt.
Bei 8 Zähnen mit 12 Pulpahörnern wurde der Gesamtabtrag der Zahnhartsubstanzen Dentin und Schmelz ermittelt, um die Gesamtpräparationstiefe zu erfassen.

## 3.2. in-vivo Untersuchungen mit dem Prepometer®

Die in-vivo-Studie ist eine Pilotstudie, da sie die ersten Ergebnisse aus der Anwendung des Prepometers® durch Kandidaten der Staatsexamensprüfung im Fach „Zahnersatzkunde, Studiengang Zahnmedizin“ repräsentiert. Benutzt wurde das Prepometer® bei Pfeilerpräparationen für Kronen- und Brückenversorgungen. Den Kandidaten war vor der eigenen Benutzung mittels Erläuterung der schriftlichen Bedienungsanleitung und praktischer Demonstration die korrekte Anwendung des Prepometers® erklärt worden.

### 3.2.1. Probanden

In die Studie aufgenommen wurden n = 18 Probanden, die im Rahmen des Staatsexamens eine Kronen- und/oder Brückenversorgung bekommen sollten. Darüber hinaus wurden n = 12 Probanden in die Untersuchung einbezogen, die von einem zahnmedizinisch approbierten Mitarbeiter der Hochschule mit mehrjähriger Berufserfahrung und vier Jahren Erfahrung in der Anwendung des Prepometers® behandelt wurden.

Alle Probanden der Testgruppen (siehe Kapitel 3.2.2.) wurden vor Beginn der Behandlung über die kontrollierte Präparation zur Vermeidung der Zahnmarkschädigung mit Anwendung des Prepometers® und die damit verbundene elektrische Widerstandsmessung informiert und ihre Zustimmung erfragt (Abb. 11).

Abb. 11: Anwendung des Prepometers® am Probanden

### 3.2.2. Zähne

Voraussetzung für die Aufnahme in die Studie war das durch ein Röntgenbild bestätigte abgeschlossene Wurzelwachstum der betroffenen Zähne mit Ausschluss einer röntgenologisch dargestellten Aufhellung im Sinne eines osteolytischen Prozesses in der Apikalregion. Im Ausgangsbefund wurde die positive Sensibilität der Zähne mit Kältespray (orbis° dental) überprüft und pulpitische Beschwerden ausgeschlossen. Das Ziel der Präparation, bei ausreichender Präparationstiefe, war es, durch den Einsatz des Prepometers® pulpitische Beschwerden zu vermeiden und die Sensibilität der Zähne zu erhalten. Die zu untersuchenden Zähne durften nur kleinflächige Füllungen aufweisen. Die Zähne mussten frei von Infrakturen des Dentins sein. Sowohl die Auswahl der Zähne, die entsprechend den Einschlusskriterien in die Studie

aufgenommen wurden, als auch die Verteilung der Zähne zwischen Testgruppe 1 und Kontrollgruppe erfolgte zufällig.

Die Gesamtzahl der Zähne (n = 90) wurde in drei Gruppen unterteilt:

Gruppe 1: Die Präparation erfolgte durch einen Studenten innerhalb seiner Examensprüfung unter Anwendung des Prepometers® (Testgruppe 1).

Gruppe 2: Die Präparation erfolgte durch einen Behandler mit Berufserfahrung und vier Jahren Erfahrung in der Anwendung des Prepometers® (Testgruppe 2).

Gruppe 3: Die Präparation erfolgte durch Studenten innerhalb ihrer Examensprüfung ohne Anwendung des Prepometers®. Diese Gruppe war die Kontrollgruppe.

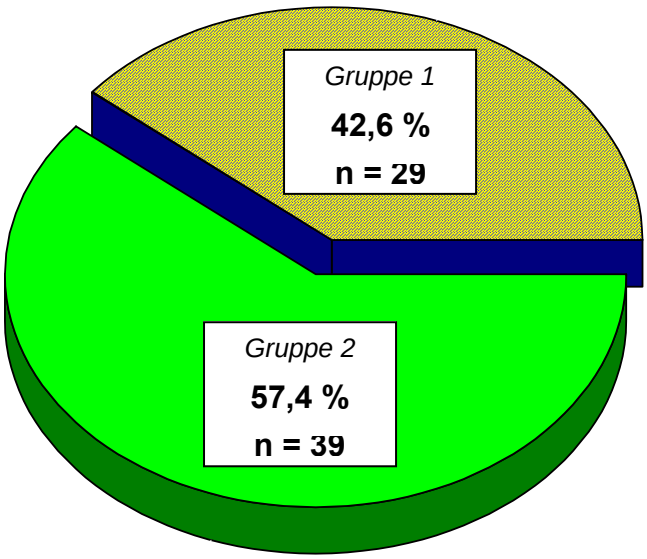



Abb. 12: Verteilung innerhalb der Gruppen 1 und 2 (Testgruppen); Kontrolle der präparierten Zähne mit Anwendung des Prepometers®

Die Gesamtzahl der Zähne innerhalb der Testgruppen (n = 68) wurde unter Kontrolle der Präparationstiefe mit Hilfe des Prepometers® präpariert (Abb. 12). Der schraffierte hellgelbe Anteil (n = 29) zeigt die Zähne der 18 Probanden, die im Rahmen mehrerer Staatsexamina von Prüfungskandidaten präpariert

wurden. Der grüne Anteil stellt die Anzahl (n = 39) der Zähne von 12 Probanden dar, die von einem Behandler mit Berufserfahrung und vier Jahren Erfahrung in der Anwendung des Prepometers® präpariert wurden.
Die Zähne wurden in diese zwei Gruppen unterteilt, um die Ergebnisse der Sensibilitätskontrolle innerhalb der Nachuntersuchung hinsichtlich möglicher Einflüsse verschiedener Anwender vergleichen zu können. Das Ergebnis erlaubt eine Bewertung der Anwendungssicherheit in der Hand des Ungeübten und damit auch eine Aussage hinsichtlich der Empfehlung zur erstmaligen Anwendung des Prepometers® für den Praktiker.

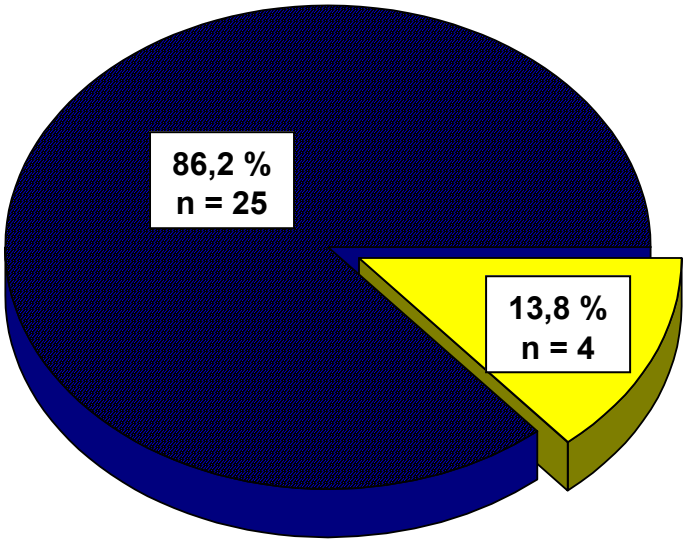



Abb. 13: Ausfallquote (Drop-out) innerhalb der Gruppe 1 (Testgruppe 1)

Nicht alle Zähne der Gruppe 1 (Testgruppe 1) konnten der Sensibilitätskontrolle im Rahmen der Nachuntersuchung unterzogen werden. Aus der Gesamtzahl der präparierten Zähne (n = 29) konnte an vier Zähnen (n = 4) bei zwei Patienten keine Sensibilitätskontrolle erfolgen (Abb. 13). Der Wohnsitz dieser Patienten lag über 150 km von Marburg entfernt. Sie waren aufgrund dieses Umstandes nicht bereit, einen Termin zur Nachuntersuchung wahrzunehmen.

In Gruppe 2 (Testgruppe 2) konnte im Rahmen der Nachuntersuchung der Sensibilitätsbefund aller Zähne, die von dem erfahrenen Behandler präpariert worden waren, erhoben werden. Es gab in dieser Gruppe keine Ausfallquote.

Der Kontrollgruppe wurden 22 Zähne, präpariert an 16 Probanden, zugeordnet. Die Präparation für den erforderlichen Kronen- und Brückenersatz wurde in diesem Kollektiv unter Einsatz der herkömmlichen Verfahren zur Begrenzung der Präparationstiefe wie Präparationsrillen, Silikonschlüsseln, Röntgenbildern und Durchschnittswerten von Hartsubstanzdicken durchgeführt.

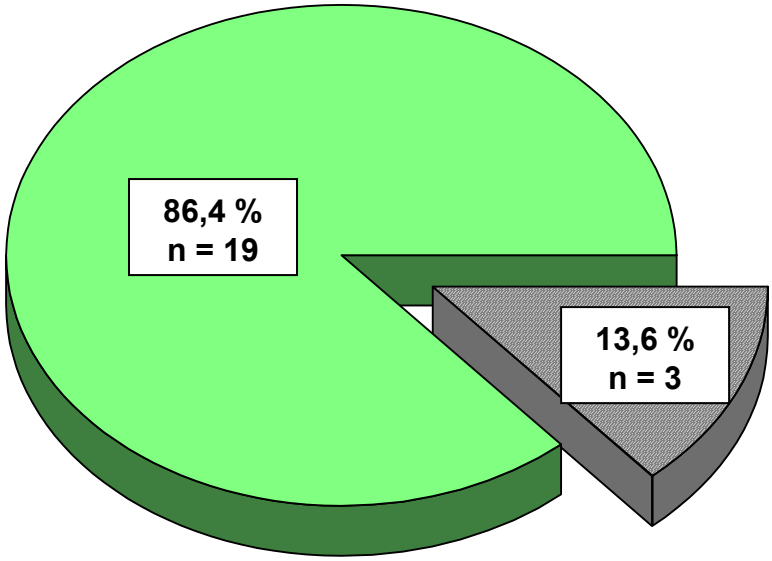



Abb. 14: Ausfallquote (Drop-out) innerhalb der Gruppe 3 (Kontrollgruppe)

Auch in Gruppe 3 (Kontrollgruppe) konnten nicht alle Zähne der Sensibilitätskontrolle im Rahmen der Nachuntersuchung unterzogen werden. Aus der Gesamtzahl der präparierten Zähne (n = 22) konnte an drei Zähnen (n = 3) bei zwei Patienten keine Sensibilitätskontrolle erfolgen (Abb. 14). Der Wohnsitz dieser Patienten lag über 150 km von Marburg entfernt. Sie waren aufgrund dieses Umstandes nicht bereit, einen Termin zur Nachuntersuchung wahrzunehmen.

### 3.2.3. Präparation und Messungen mit dem Prepometer®

Geringe Unterschiede in der Präparationsform ergaben sich durch den geplanten späteren Zahnersatz (Vollgusskronen, Keramikverblendkronen, Doppelkronen). Die Art der Präparationsform entsprach den in der Literatur

angegebenen Präparationsleitlinien für den geplanten Zahnersatz (Strub et al. 1994), angepasst an die individuellen anatomischen Gegebenheiten. Die Prepometer®- Messung erfolgte phasenweise innerhalb des Arbeitsganges `Präparation`.

Zur Präparation wurde analog der in-vitro Studie ein Feinschliffdiamant mit 30-50 µm Korngröße verwendet, der mit einer maximalen Umdrehungszahl von 120000 U/ Min. und einer Wasserkühlung von 50 ml/ Min. betrieben wurde.

Hierbei wurde die Schmelzschicht der Zahnkrone abgetragen, bis die oberste Dentinschicht sichtbar war. Auf dieser Oberfläche erfolgte die erste Messung mit dem Prepometer®.

Nach dem Anschalten des Gerätes war zu überprüfen, ob die erste Leuchtdiode in dem herstellerseitig eingestellten Kontrollintervall blinkte (grün), um eine eventuelle Batterieermüdung auszuschließen.

Analog der in-vitro Studie wurde die Kapillare der Messelektrode mit physiologischer Kochsalzlösung gefüllt, um den Kontakt zu dem Liquor in den Dentinkanälchen herzustellen.

Den Patienten wurde vor der Messung die Bezugselektrode, deren Ende in U-Form gebogen ist, in das bukkale Vestibulum eingehängt. Die präparierte Dentinfläche wurde mit einem kurzen Luftstoß „getrocknet“, bevor die Oberfläche mit der Messelektrode abgetastet wurde. Hierbei wurde darauf geachtet, dass die Silikonmanschette, die die Messelektrode ummantelt, diese gegen die Umgebung luftdicht abschloss.

Gemessen wurde im Gegensatz zur in-vitro Studie nicht nur an der Okklusalfläche sondern an allen Flächen des Zahnes, die einer Dentinpräparation unterlagen. So konnten nicht nur die Pulpahornspitzen im okklusalen Anteil sondern die Gesamtausdehnung der Kronenpulpa in der Widerstandsmessung erfasst werden.

Die Messungen erfolgten zwischen den einzelnen Präparationsschritten, um, optisch dargestellt durch die verschiedenfarbigen Leuchtdioden, einen ausreichenden Abstand zur Pulpa einzuhalten. Zur sicheren Vermeidung eines Pulpatraumas durfte nicht weiter als bis zur letzten orangefarbenen Leuchtdiode (Diode 7) präpariert werden.

Die Kontrolluntersuchung zum Sensibilitätsbefund aller Zähne erfolgte mittels Kältespray (orbis° dental) im Abstand von 2-5 Jahren nach der Präparation.

In der Gruppe 1 (Testgruppe 1) wurde nach abgeschlossener Präparation des Zahnes von allen Behandlern (Examenskandidaten) eine provisorische Krone in der direkten Technik hergestellt. Hierzu wurde die vor der Präparation über den Zahn und benachbarte anatomische Bereiche genommene Silikonteilabformung auf den Pfeiler zurückgesetzt und die Hohlform mittels Kunststoff zur Fertigung von Provisorien ergänzt. Diese Technik - korrekt angewandt - gewährleistet, dass die provisorische Krone exakt der ehemaligen natürlichen Ausgangszahnform entspricht. Mittels eines Tasterzirkels konnte die Dicke des Provisoriums vermessen werden (Abb. 15). Damit war nach Präparation auch in der in-vivo Studie eine Beurteilung des erfolgten Substanzabtrages möglich. Protokolliert wurde die Dicke eines Provisoriums über der Präparationsfläche mit geringstem Widerstandswert.

Abb. 15: Messung der Dicke eines Provisoriums mit dem Tasterzirkel

# 4. Ergebnisse

Die erhaltenen Messdaten werden im folgenden in Tabellen geordnet und in graphischen Darstellungen illustriert.

## 4.1. Ergebnisse der in-vitro Untersuchungen

Die mit dem Prepometer® durchgeführte Widerstandsmessung an der Zahnoberfläche ist nur möglich an der Zahnhartsubstanz Dentin. Sie beruht auf der Leitfähigkeit der in den Dentinkanälchen vorhandenen Gewebsflüssigkeit. Das ermittelte Widerstandsminimum in Abhängigkeit von der bei der Präparation entstandenen Wundfläche kennzeichnet den Bereich der geringsten Dentindicke über der Pulpa. Als Wundfläche wird dabei die Gesamtoberfläche der angeschnittenen Dentinkanälchen beschrieben (Schroeder 1992).
Die Dentinwunde ist jedoch dem Behandler nicht sichtbar und innerhalb seiner klinischen Tätigkeit auch nicht einschätzbar oder gar bestimmbar. Darüber hinaus wurde in der Vergangenheit weniger die Größe der Wundfläche im präparierten Dentin für die Erhaltung der Sensibilität und Vitalität eines Zahnes diskutiert als vielmehr die Restdentinstärke über der Pulpa. Da diese wiederum in-vivo nicht messbar ist, lag das Hauptaugenmerk des Behandlers eher bei dem für den späteren Zahnersatz erforderlichen Substanzabtrag bei gleichzeitig größtmöglicher Schonung der Pulpagewebe.

Um zu veranschaulichen, wie groß die verbleibende Hartsubstanzstärke über der Pulpa nach einem okklusalen Abtrag von 2 mm ist, der für die Versorgung eines Zahnes mit einer künstlichen Krone gefordert wird (Lehmann und Hellwig 2002), ist in Tabelle 1 und in den Abbildungen 16 und 18 (in Abb. 18: Kurven beginnend mit Abszissenwert `0`) die Gesamthartsubstanzdicke von Schmelz und Dentin angegeben. Es wird nochmals betont, dass eine Messung mit dem Prepometer® erst auf der Dentinoberfläche durchführbar ist.

| Messpunkte | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Hartsubstanzdicke (in mm) | 6,1 | 5,44 | 5,85 | 6,88 | 6,91 | 4,74 | 3,72 | 4,78 | 5,01 | 6,76 | 6,76 | 6,08 |
| Hartsubstanzdicke (in mm) nach standardisiertem Abtrag von 2 mm | 4,1 | 3,44 | 3,85 | 4,88 | **4,91** | 2,74 | **1,72** | 2,78 | 3,01 | 4,76 | 4,76 | 4,08 |

Tab. 1: Darstellung der Gesamthartsubstanzdicke (Schmelz und Dentin) oberhalb der Pulpa vor und nach standardisiertem Substanzabtrag von 2 mm an 8 Zähnen mit n = 12 Messpunkten

Tabelle 1 beschreibt die unterschiedliche okklusale Hartsubstanzdicke von Schmelz und Dentin über den später ermittelten Widerstandsminima an 12 Messpunkten. Gefunden wurden Werte zwischen einem Minimum von 3,72 mm und einem Maximum von 6,91 mm. Untersucht wurden dabei 8 Zähne mit 12 Messpunkten. Subtrahiert man die in Lehrbüchern empfohlene Substanzstärke von 2 mm okklusalem Abtrag für eine spätere Krone (Lehmann und Hellwig 2002), ergeben sich die dargestellten Werte. Deutlich wird dabei die große Streubreite innerhalb der Werte für die verbliebene Substanzstärke, die im Minimum 1,72 mm beträgt. Farblich hervorgehoben sind die Werte mit der jeweils größten (grün) und geringsten (rot) verbleibenden Zahnhartsubstanz-dicke.

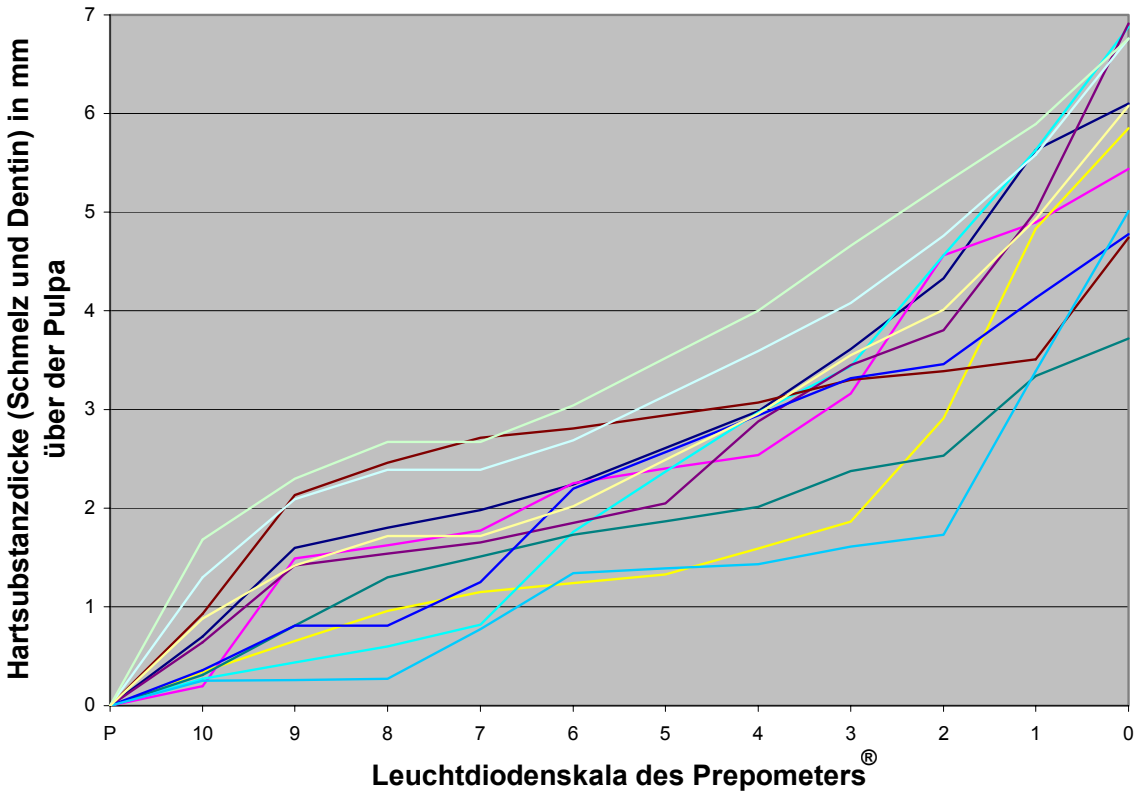



Abb. 16: Korrelation von Zahnhartsubstanzdicke (Schmelz und Dentin) und Widerstand, dargestellt durch die Leuchtdioden des Prepometers®, bei zunehmender Präparationstiefe

Abszisse: Hartsubstanzdicke vor Präparation (0), Leuchtdioden des Prepometers® (1-10) bis Pulpaeröffnung (P)

Ordinate: Zahnhartsubstanzdicke (Schmelz und Dentin) in Richtung der Zahnachse (in mm)

Die Werte der Abbildung 16 wurden nach der in Abschnitt 3.1.4. angegebenen Methode erfasst und als Kurven dargestellt (n = 12). Die Ordinatenwerte über dem Abszissenwert `0` erfassen die gesamte Zahnhartsubstanzdicke vor der Entfernung des Zahnschmelzes. Zwischen den Abszissenwerten `0` und `1` wurde keine Widerstandsmessung durchgeführt. Den Beginn der Anwendung des Prepometers® kennzeichnet der Abszissenwert `1`, korrespondierend zum konstanten Aufleuchten der 1. Leuchtdiode.

Mit dem Kurvenverlauf zwischen den Abszissenwerten `0`und `1`, dem rechten Anteil der Abbildung, soll veranschaulicht werden, wie viel Zahnschmelz abgetragen werden kann, bevor die Dentinschicht erreicht ist und eine Prepometer®- Messung erfolgen kann. Die Werte der Zahnschmelzdicken liegen zwischen 0,38 mm und 1,90 mm.

Betrachtet man die Werte der Widerstandsmessung des Prepometers® nach Abtrag von 2 mm Zahnhartsubstanz, wie es im Rahmen einer prothetischen Behandlung erforderlich sein kann, befindet man sich bei 9 von 12 Messpunkten im Widerstandsbereich der grünen Dioden. Bei 3 Messpunkten wurde der orangefarbene Diodenbereich erreicht. Bei 2 mm Präparationstiefe wurde in keinem Fall der Widerstandsbereich der 3 roten Leuchtdioden des Prepometers® erreicht.

Bei allen Zähnen konnte bei einem Abtrag von 2 mm Zahnhartsubstanz (Schmelz und Dentin) die geforderte Restdentinstärke von 0,7 mm für Zähne von Erwachsenen und 1,4 mm für Zähne von Jugendlichen (Jüde et al. 1997) eingehalten werden.

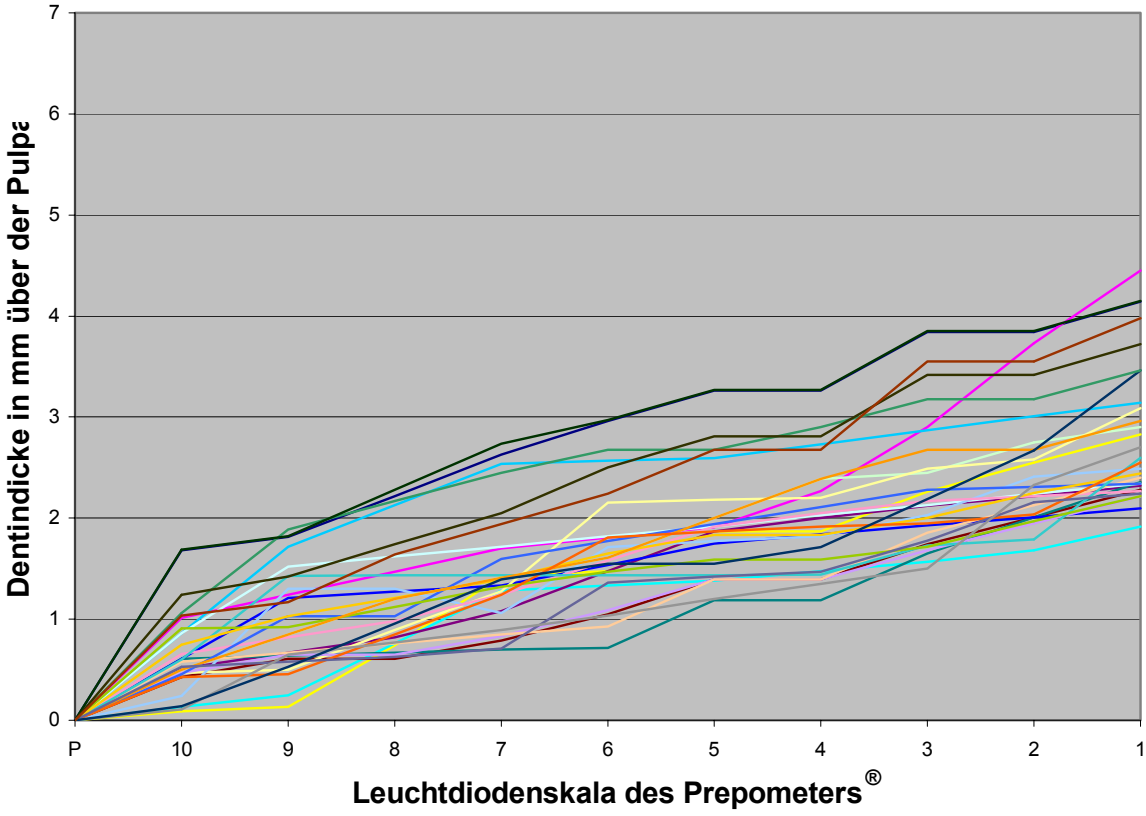



Abb. 17: Korrelation von Dentindicke über der Pulpa und Widerstand, dargestellt durch die Leuchtdioden des Prepometers®, bei zunehmender Präparationstiefe
Abszisse: Leuchtdioden des Prepometers® (1-10) bis Pulpaeröffnung (P)
Ordinate: Dentindicke in Richtung der Zahnachse (in mm)

Die Werte der Abbildung 17 wurden mit der in Abschnitt 3.1.4. angegebenen Methode ermittelt. An der Präparationsoberfläche wurden die Stellen minimalsten Widerstandes mit Hilfe der Messung geortet. Als Kurven (n = 29) dargestellt sind die abnehmenden Dentindicken, die bei Aufleuchten der Dioden 1 – 10 bis hin zur Pulpaeröffnung gemessen wurden. Hierbei wurden ausschließlich die Stellen minimalsten Widerstandes, in der in-vitro Untersuchung die Stellen oberhalb der Pulpahörner, in die Messung und damit in die Abbildung einbezogen.

Die Ordinate über dem Abszissenwert `1` (erste grüne Leuchtdiode des Prepometers®) kennzeichnet die erstmögliche Widerstandsmessung über einem späteren Messpunkt mit Widerstandsminimum oberhalb eines Pulpahornes. Sie gibt damit, bezogen auf den jeweiligen Messpunkt, die maximale Dentindicke über dem Pulpahorn an. Da in der Abbildung die Dicke der Zahnhartsubstanz „Zahnschmelz“ nicht berücksichtigt ist, wird der

Abszissenwert `0` nicht angegeben. Je geringer die verbleibende Dentinstärke oberhalb der Pulpa ist, desto kleiner ist die Abweichung der Kurven untereinander. Die Steigung der Kurven verdeutlicht graphisch, dass an Messpunkten mit geringer Anfangsdentindicke schon bei geringem Substanzabtrag weitere Dioden aufleuchten.

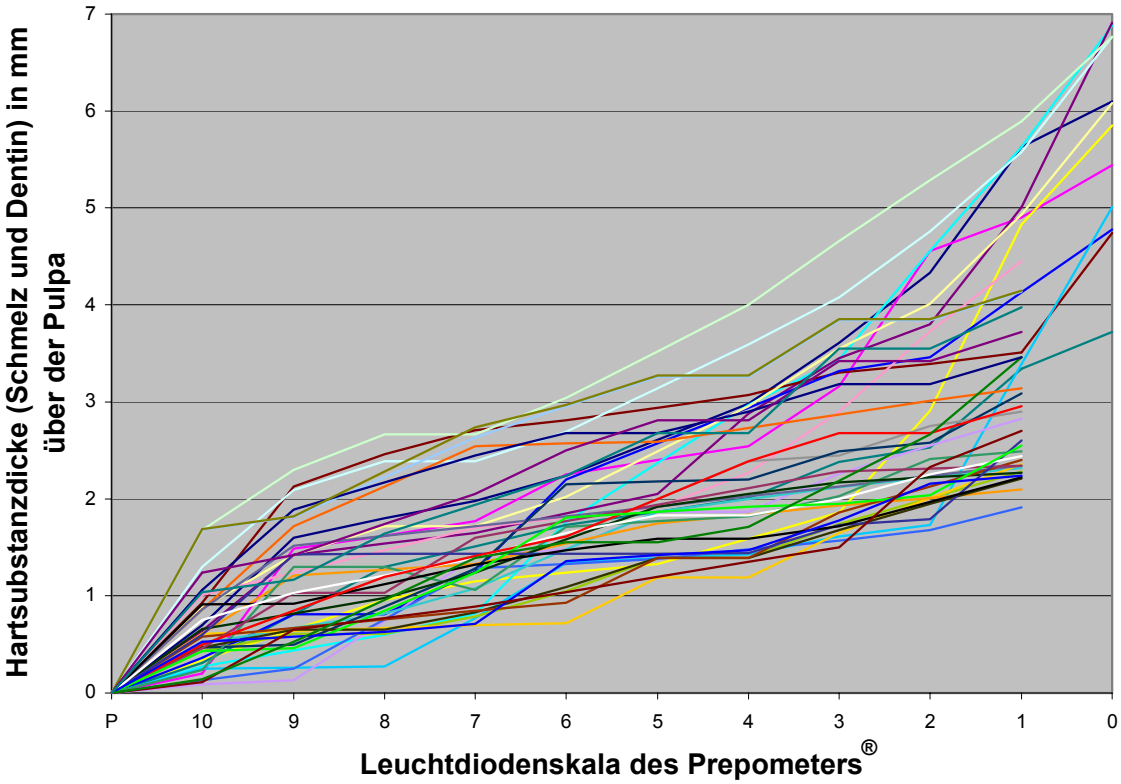



Abb. 18: Darstellung aller Messkurven zur Korrelation von Zahnhartsubstanzdicke (Schmelz und Dentin/ Dentin) und Widerstand, dargestellt durch die Leuchtdioden des Prepometers®, bei zunehmender Präparationstiefe

Abszisse: Hartsubstanzdicke vor Präparation (0), Leuchtdioden des Prepometers® (1-10) bis Pulpaeröffnung (P)

Ordinate: Zahnhartsubstanzdicke („Schmelz und Dentin“) in Richtung der Zahnachse (in mm)

In Abbildung 18 sind alle Messkurven dargestellt (n = 41).

Es ist eine Abhängigkeit zwischen der Dentindicke und der Leuchtdiodenanzeige des Prepometers® zu erkennen. Mit abnehmender Dentindicke verändert sich die Diodenanzeige von 1 (grün) bis 10 (rot) auf der

Prepometer®skala. Die Steigungen der Kurven und auch deren Anfangs-Ordinatenwerte über Abszissenwert `1` sind unterschiedlich. Auch oberhalb der einzelnen Abszissenwerte `2`-`10`, die weitere Leuchtdioden kennzeichnen, streuen die Ordinatenwerte. Für Diode 2 ist die Streuung dieser Werte maximal, sie beträgt 2,56 mm. Es lässt sich demnach keiner der Leuchtdioden des Prepometers® eine konstante Dentindicke zuordnen.

Je geringer die Dentindicke oberhalb der Pulpa ist, desto kleiner ist die Abweichung der Kurven untereinander. Die Abbildung verdeutlicht das durch die eng beieinander liegenden Kurven vergleichbarer Steigung.

Dem Behandler wird durch die Farben der Leuchtdioden innerhalb des Prepometers® optisch verdeutlicht, wenn er eine Messung im Bereich eines Widerstandsminimums vornimmt. Vonseiten des Herstellers ist eine Präparation bis zum Aufleuchten der letzten orangefarbenen Diode (Diode 7) empfohlen. Entsprechend allgemein gültiger Farbcodes warnen die roten Dioden vor einer „Gefahrenquelle“. Die Präparation ist nach Herstellerangaben daher möglichst vor Aufleuchten der ersten rote Diode zu beenden. Die erste rote Leuchtdiode ist die achte der Leuchtdioden 1-10.
Betrachtet man die Dentindicke aller Kurven über der letzten orangefarbenen Diode (Diode 7), so ist auch in der untersten Kurve mit einem Wert von 0,7 mm der geforderte Betrag (Jüde et al. 1997) an Restdentinstärke oberhalb der Pulpa (für Erwachsene) gerade eingehalten.

Mit fortschreitender Präparationstiefe bis zum Aufleuchten der letzten roten Diode 10 wurde in den in-vitro Untersuchungen bei keinem Zahn die Pulpa eröffnet. Dabei liegen 36 von 41 Werten unterhalb von 1,04 Millimetern mit einem Minimum von 0,09 Millimetern Restdentindicke. Nur 5 Werte an drei Zähnen liegen darüber mit einem Maximum von 1,69 Millimetern. Die Differenz der korrespondierenden Dentindicken für die aufleuchtende Diode 10 beträgt damit zwischen Maximum und Minimum 1,6 mm. Es ist kein konstanter Wert.

| Messpunkte über der Pulpa | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Dentindicke (in mm) an Diode 7 | 1,98 | 1,77 | 1,15 | 0,82 | 1,65 | 2,71 | 1,51 | 1,25 | 0,77 | 2,39 | 2,67 | 1,72 |

| Messpunkte über der Pulpa | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Dentindicke (in mm) an Diode 7 | 2,63 | 1,7 | 1,42 | 1,29 | 1,08 | 0,79 | 0,7 | 1,33 | 2,54 | 1,72 | 1,41 | 1,28 |

| Messpunkte über der Pulpa | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Dentindicke (in mm) an Diode 7 | 1,06 | 1,24 | 0,83 | 0,85 | 1,6 | 1,44 | 1,32 | 1,39 | 1,41 | 1,24 | 0,71 | 0,89 |

| Messpunkte über der Pulpa | 37 | 38 | 39 | 40 | 41 |
|---|---|---|---|---|---|
| Dentindicke (in mm) an Diode 7 | 1,39 | 2,45 | 2,74 | 2,05 | 1,94 |

Tab. 2: Dentindicke (in mm) oberhalb der Widerstandminima von Zähnen bei Aufleuchten der „Diode 7“ des Prepometers®

Das Funktionsprinzip des Prepometers® basiert auf der Annahme, dass nicht die nach Präparation verbliebene Dentindicke über der Pulpa eine mögliche Pulpaschädigung verhindert, sondern vielmehr der ausreichende hohe

Widerstand der Dentinschicht. Je größer der Flächenanteil der angeschnittenen Dentinkanälchen ist, desto geringer ist der Dentinwiderstand. Dadurch wächst die Gefahr eines schädlichen Einflusses möglicher Noxen. Tabelle 2 zeigt die unterschiedlichen Dentindicken (in mm), die nach Messung mit dem Prepometer® oberhalb der Pulpa bestehen bleiben müssen, um die Sensibilität der Zähne nicht zu gefährden. Berücksichtigt ist hierbei der korrespondierende Wert der Dentindicke bei Aufleuchten der letzten orangefarbenen Leuchtdiode (Diode 7). Dieser Punkt wird vom Hersteller als empfohlener Endpunkt für die Begrenzung der Präparationstiefe angegeben. Grün hervorgehoben sind die drei niedrigsten Werte zwischen 0,7 mm und 0,77 mm, die damit der Forderung von 0,7 mm Restdentin oberhalb der Pulpa nach Präparation (Jüde et al. 1997), postuliert auch in der wissenschaftlichen Stellungnahme der Deutschen Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde (DGZMK) (Hellwig et al. 1999), gerade entsprechen.

Von weitaus größerer Bedeutung ist allerdings, dass 38 Werte, zum Teil deutlich, über dieser Grenze liegen. Der größte gemessene Wert ist eine nach Anwendung des Prepometers® und Aufleuchten der Diode 7 verbliebenene Dentinschichtstärke von 2,74 mm für den Zahn mit Messpunkt 39.

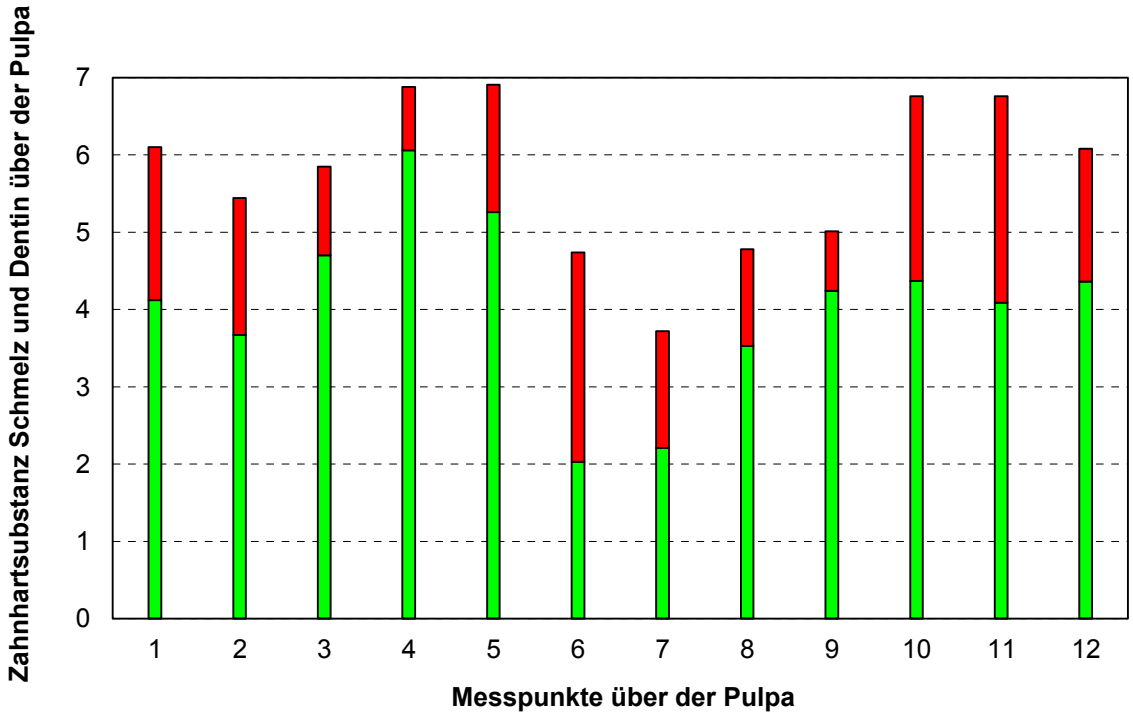



Abb. 19: Darstellung der Zahnhartsubstanzdicke (Schmelz und Dentin) (in mm) über den Widerstandsminima
Grün: Schmelzdicke und Dentindicke bis Aufleuchten der Diode 7 (orange)
Rot: Dentindicke bei Aufleuchten der Dioden 8-10 (rot) bis Pulpaeröffnung

In Abbildung 19 werden die Substanzstärken von Schmelz und Dentin verschiedener Zähne oberhalb der Messpunkte mit minimalstem Widerstand (n = 12) als Balkengraphik dargestellt.

Die Ordinate beschreibt den zunehmenden Abtrag von Zahnhartsubstanz für die zweifarbig gestalteten Balken. Der untere grüne Anteil der Balken zeigt den Bereich der Zahnhartsubstanz, der nach Angaben des Herstellers des Prepometers® entfernt werden kann, ohne die Sensibilität der Zähne zu gefährden. Dies entspricht einer schonenden Präparation bis zum Aufleuchten der letzten orangefarbenen Diode. Es ist die siebte Diode der Dioden 1-10. Der darüber liegende rote Anteil der Balken markiert den möglichen weiteren Substanzabtrag bei Aufleuchten der roten Dioden bis hin zur letzten, der zehnten Leuchtdiode. Das obere Ende der roten Balken markiert die Pulpaeröffnung.

Weder den Dentindicken für den Diodenbereich 1-7 („grün“ bis „orange“) noch den Dentindicken für den Diodenbereich 8-10 (3 mal „rot“) ist eine konstante

Hartsubstanzstärke zuzuordnen. Daraus kann abgeleitet werden, dass bei Kenntnis der Gesamtschichtstärke an Zahnhartsubstanz über der Pulpa, keine Rückschlüsse auf den Betrag gezogen werden können, der von der Zahnhartsubstanz Dentin abgetragen werden könnte, ohne die Sensibilität des Zahnes zu gefährden.
Berechnet man das Verhältnis von unterem grünen Balkenanteil zu oberem roten Balkenanteil für den Messpunkt eines Zahnes mit geringer Zahnhartsubstanzdicke, z. B. Messpunkt 7 und das Verhältnis dieser Anteile für den Messpunkt eines Zahnes mit größerer Zahnhartsubstanzdicke, z. B. Messpunkt 11, so ist die prozentuale Verteilung der grünen und roten Abschnitte annähernd gleich. Bei Messpunkt 7 ist das Verhältnis grüner Bereich 59,41% zu roter Bereich 40,59 %. Bei Messpunkt 11 beträgt das Verhältnis grüner Bereich 60,50% zu roter Bereich 39,50%. Vergleicht man hingegen Messpunkt 7 mit Messpunkt 4 (Gesamtabtrag 6,88 mm), der einen annähernd gleichen Gesamtsubstanzabtrag hatte wie Messpunkt 11 (6,76 mm), so wird deutlich, dass auch das Verhältnis der beschriebenen Bereiche nicht konstant ist. Bei Messpunkt 4 beträgt das Verhältnis grüner Bereich 88,08 % zu roter Bereich 11,92 %.

Anschaulich bedeutet das, dass bei Zähnen mit großer Gesamthartsubstanzstärke bei Aufleuchten der letzten orangefarbenen Diode (Diode 7) der Abstand zur Pulpa sehr unterschiedlich sein kann und der Behandler nicht davon ausgehen kann, dass bei jedem Zahn eine noch weitere ausgedehnte Präparation möglich ist.

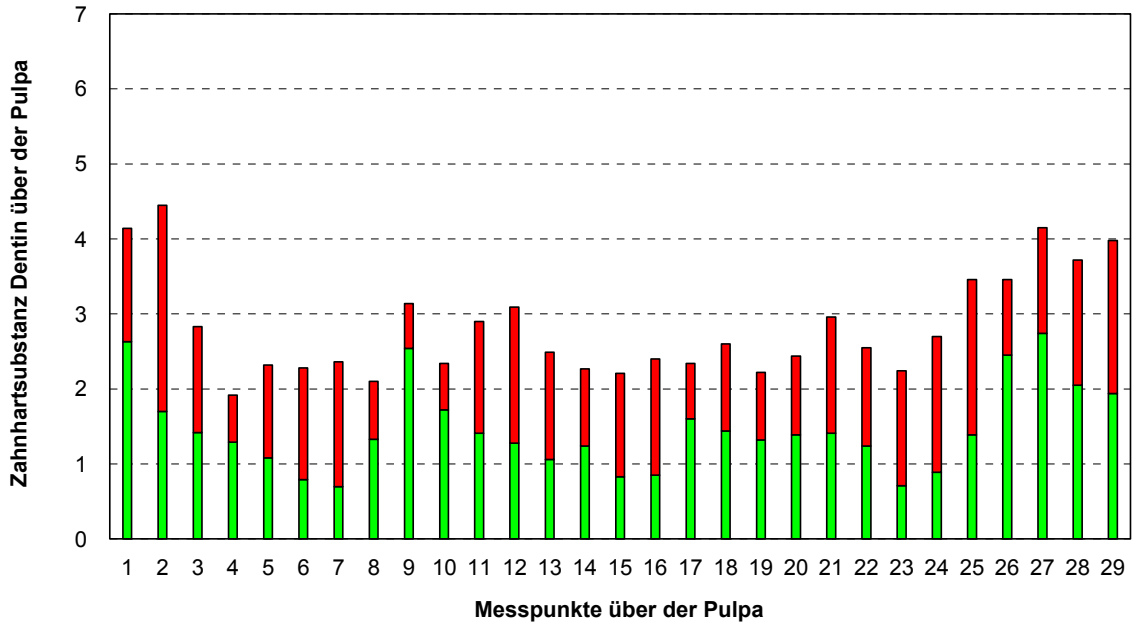



Abb. 20: Darstellung der Dentindicke (in mm) über den Widerstandsminima
Grün: Dentindicke bei Aufleuchten Diode 1 bis Aufleuchten Diode 7 (orange)
Rot: Dentindicke bei Aufleuchten der Dioden 8-10 (rot) bis Pulpaeröffnung

Abbildung 20 zeigt die Dentindicke verschiedener Zähne oberhalb der Messpunkte mit minimalstem Widerstand (n = 29) als Balkengraphik.
Entsprechend Abbildung 19 stellt der untere grüne Anteil der Balken den Bereich der Zahnhartsubstanz dar, der nach Angaben des Herstellers des Prepometers® entfernt werden kann, ohne die Sensibilität der Zähne zu gefährden. Dies entspricht einer schonenden Präparation bis zum Aufleuchten der letzten orangefarbenen Diode (Diode 7). Der darüber liegende rote Anteil der Balken markiert den möglichen weiteren Substanzabtrag bei Aufleuchten der roten Dioden bis hin zur letzten, der zehnten Leuchtdiode. Das obere Ende der roten Balken markiert die Pulpaeröffnung.
Auch in dieser Graphik ist weder eine Abhängigkeit zwischen der Gesamtdentindicke und dem Substanzabtrag bis Leuchtdiode 7 noch ein konstantes Verhältnis von grünen und roten Balkenanteilen zu erkennen. Es wird bestätigt, dass auch die Einschätzung oder Berechnung der Gesamtdentindicke (z.B. anhand von Röntgenbildern) keine Rückschlüsse auf den Betrag zulässt, der abgetragen werden kann, ohne die Sensibilität des Zahnes zu gefährden.

Die Ergebnisse zeigen, dass nach Entfernung der Dentinschicht bis auf das bisher als Referenz angegebene Minimum von 0,7 mm Restdentinstärke für Zähne von Erwachsenen (Jüde et al. 1997) in 92,68 % der untersuchten Messpunkte der orangefarbene Leuchtdiodenbereich des Prepometers® überschritten wurde.

## 4.2. Ergebnisse der in-vivo Untersuchungen

Die in-vivo Untersuchungen wurde als Nachuntersuchungen der beiden Testgruppen und der Kontrollgruppe vorgenommen. Erhoben wurde dabei der Sensibilitätsbefund der Zähne unter Anwendung von Kältespray (orbis° dental). Alle Nachuntersuchungen wurden von dem selben Behandler vorgenommen. Der Zeitraum der Nachuntersuchung lag zwischen 2 und 5 Jahren nach Präparation und Überkronung.

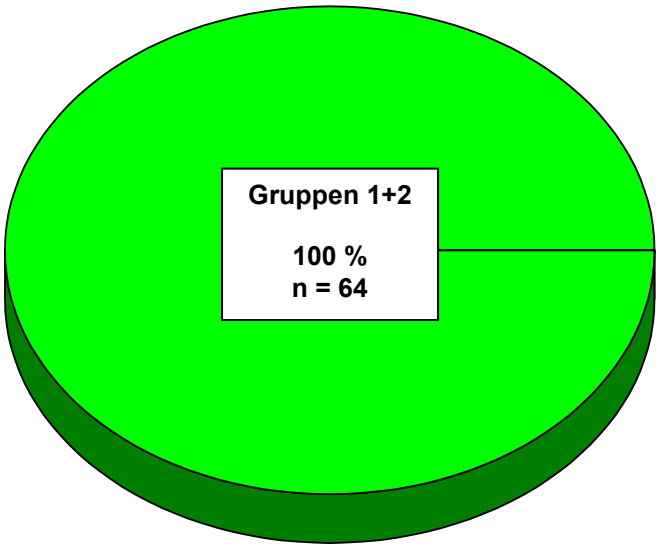



Abb. 21: Kreisdiagramm zur Sensibilitätskontrolle der präparierten Zähnen unter Anwendung des Prepometers®

Abbildung 21 zeigt das Ergebnis der Sensibilitätsüberprüfung (Kältespray, orbis° dental) der Testgruppen (n = 64) nach 2 – 5 Jahren. Alle Zähne

reagierten positiv auf die Sensibilitätskontrolle. Daher wurde das Ergebnis der Nachuntersuchung von Gruppe 1 (n = 25) und die Nachuntersuchung zur Sensibilität innerhalb der Gruppe 2 (n = 39) in der Abbildung zusammengefasst. Alle Zähne wurden im Verlauf der Präparation mit dem Prepometer® kontrolliert. An den Zähnen wurden im Gegensatz zur in-vitro Untersuchung alle für eine spätere Überkronung notwendigen Flächen präpariert und mit dem Prepometer® untersucht. Es wurde maximal bis zum Aufleuchten der letzten orangefarbenen Diode (Diode 7) präpariert.

Nach Angaben der Patienten zeigten die Zähne in dem Zeitraum nach der Präparation und Überkronung keine Überempfindlichkeiten auf thermische Reize oder Perkussion. Es gab keine Hinweise auf eine pulpitische Reaktion.

In der Gruppe 1 (Testgruppe 1) wurde nach der abgeschlossenen Präparation des Zahnes von allen Behandlern eine provisorische Krone in der direkten Technik hergestellt. Hierzu wurde die vor der Präparation über den Zahn und benachbarte anatomische Bereiche genommene Silikonteilabformung auf den Pfeiler zurückgesetzt und die Hohlform mittels Kunststoff zur Fertigung von Provisorien ergänzt. Diese korrekt angewandte Technik gewährleistet, dass die provisorische Krone exakt der ehemaligen natürlichen Ausgangszahnform entspricht. Mittels eines Tasterzirkels konnte die Dicke der Provisorien vermessen werden. Damit war nach Präparation auch in der in-vivo Studie eine Beurteilung des erfolgten Substanzabtrages über den Widerstandsminima möglich.
Die Präparationstiefen waren unterschiedlich. Die größte Präparationstiefe an einem Punkt mit geringstem Widerstandswert betrug an einer Okklusalfläche 4 mm, an einer Labialfläche 2,4 mm.

Bei 13 Präparationen einer gewünschten maximalen Präparationstiefe wurde bis zu den orangefarbenen Leuchtdioden (Dioden 6 und 7) präpariert. Der Substanzabtrag an zwölf Zähnen lag im Bereich von 0,6 mm – 2,5 mm, jeweils dem Wert, der für die geplante Restauration erforderlich war und angestrebt wurde. Die korrespondierenden Prepometer®werte lagen alle im grünen Diodenbereich (LED 1 – 3) (Abb. 22).

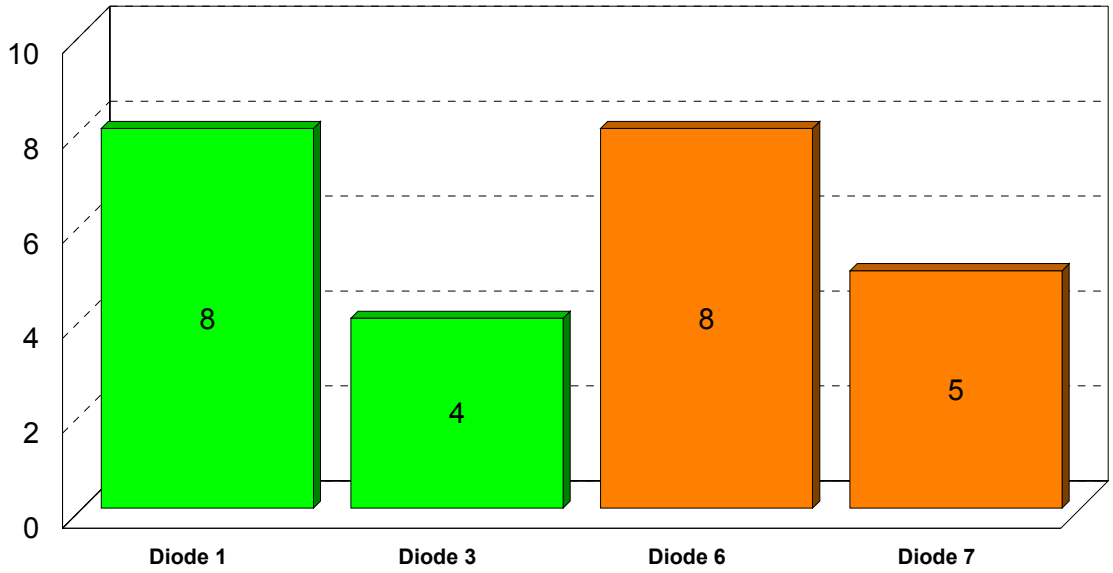



Abb. 22: Verteilung der gemessenen maximalen Prepometer®werte an n=16 Probanden mit n=25 Zähnen/Messpunkten
Abszisse: maximaler Prepometer®wert
Ordinate: Verteilungshäufigkeit

Abbildung 23 zeigt das Ergebnis der Sensibilitätsüberprüfung (Kältespray, orbis° dental) in der Kontrollgruppe (n = 19) nach 2 – 5 Jahren.

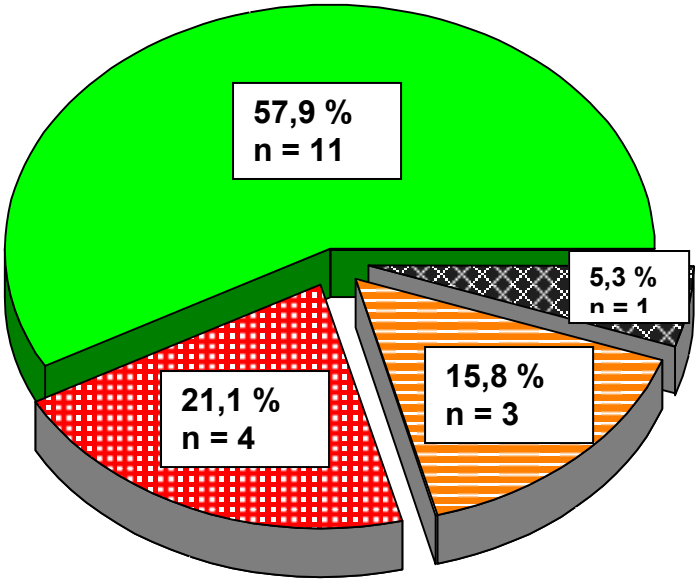



Abb. 23: Kreisdiagramm zur Sensibilitätskontrolle (und Nebenbefunden) der präparierten Zähne ohne Anwendung des Prepometers®

Die Zähne wurden alle präpariert ohne Kontrolle der Präparationstiefe mit Hilfe des Prepometers®. Der Substanzabtrag orientierte sich an der vonseiten der Zahntechnik geforderten späteren Restaurationsdicke. Ein erhöhtes Risiko für ein Präparationstrauma wurde auch in der Kontrollgruppe durch schonende Arbeitsweise vermieden.

Der grüne Anteil des Kreisdiagramms zeigt mit 57,9 % den prozentualen Anteil der Zähne mit positiver Sensibilitätskontrolle.

Der zweitgrößte Anteil (rot) mit 21,1 % entspricht vier Zähnen, die nicht sensibel auf den Kältetest reagierten.

Die orangefarbene gestreifte Fläche zeigt mit 15,8 % Anteil an den nachuntersuchten Zähnen der Kontrollgruppe die drei Zähne, die in dem Zeitraum nach der Präparation pulpitische Beschwerden aufwiesen. Die Zähne waren hypersensibel auf thermische Reize und aufbissempfindlich. Die Beschwerden waren nach Angaben der Patienten bis zu einem Zeitraum von einem halben Jahr nach der Präparation vorhanden. In einem Fall dieser Gruppe musste nach der Präparation eine lokale Kortikoidbehandlung (Ledermix®, Lederle Arzneimittel) an der präparierten Dentinoberfläche durchgeführt werden, die zur Schmerzlinderung führte. Zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung reagierten die 3 Zähne normal positiv auf den Kältetest. Die Beschwerden werden daher im Sinne einer reversiblen Pulpitis gedeutet.

An einem Zahn, entsprechend 5,3 % aller nachuntersuchten Zähne der Kontrollgruppe, wurde bei der Präparation die Pulpa eröffnet. Die direkte Überkappung (Life, Kerr) der kleinflächig eröffneten Pulpa war erfolgreich, der Zahn war in der Folge beschwerdefrei. Zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung reagierte der Zahn verzögert positiv auf den Kältetest.

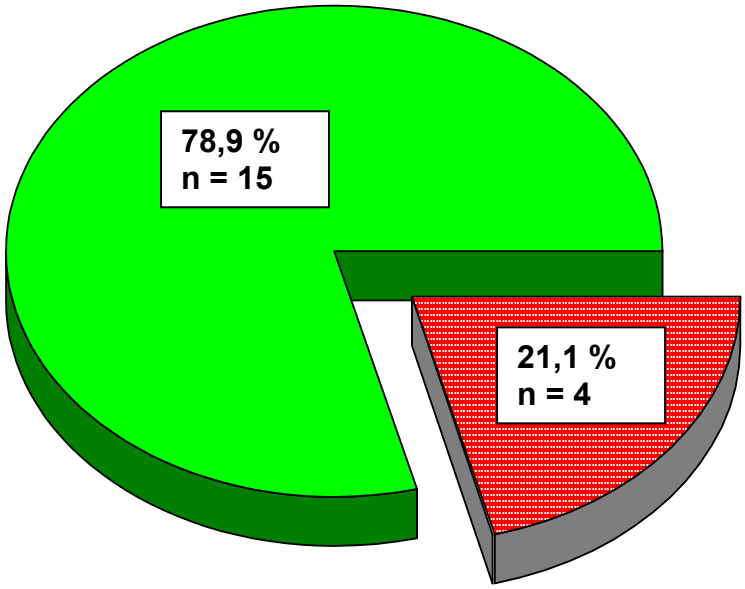



Abb. 24: Kreisdiagramm zur Sensibilitätskontrolle der präparierten Zähne ohne Anwendung des Prepometers®

Abschließend wird nochmals betonend festgehalten, dass zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung nur 78,9 % der Zähne der Kontrollgruppe positiv auf den Kältetest reagierten. Mit 21,1 % reagierten über ein Fünftel der mittels einer Überkronung behandelten Zähne bereits nach 2 – 5 Jahren negativ auf diesen Test (Abb. 24).

## 4.3. Statistische Auswertung

Der Kolmogoroff-Smirnoff-Test ist ein verteilungsunabhängiger Test, der sich auf die Stichproben anwenden lässt.
Angewandt auf die Testgruppe 1 (n = 25) und die Kontrollgruppe (n = 19) ergibt sich die gemeinsame Summe der Stichproben n = 44.
In der Kontrollgruppe traten 8 unerwünschte Ereignisse auf. 4 Zähne waren desensibel geworden, 3 Zähne wiesen zwischenzeitlich pulpitische Beschwerden auf, bei einem Zahn wurde während der Präparation die Pulpa eröffnet. Als Ergebnis der statistischen Auswertung nach dem Kolmogoroff-Smirnoff-Test erhält man für die 8 unerwünschten Ereignisse die Wahrscheinlichkeit, dass die Verteilungen mit einer Irrtums - Wahrscheinlichkeit von 0,1 % nicht identisch sind.

# 5. Diskussion

Die Präparation von Zähnen für die Aufnahme einer Krone darf als eine Tätigkeit betrachtet werden, die ein praktizierender Zahnarzt fast täglich durchführt. *Vogelsang* schreibt in einer frühen Abhandlung mit dem Titel ` Die Reaktion der Pulpa auf plötzlichen Schmelzmangel`: „In der Praxis haben sich, was die Vorbehandlung von Zähnen als Stützpfeiler für Brücken anbetrifft, zwei verschiedene Schulen gebildet. Die eine verlangt die Devitalisation der Pulpen solcher Zähne und begründet diese Forderung damit, dass durch das Zuschleifen und das Überkappen eines Zahnes die Lebensfähigkeit der Pulpa so stark bedroht werde, daß sie wegen der meist erfolgenden Nekrose eine große Gefahr für die Dauerhaftigkeit der ganzen Brückenarbeit wird. Die andere Schule hingegen sucht die Pulpa, wenn irgend möglich, zu erhalten.“ (Vogelsang 1922). In einem Lehrbuch der aktuellen Literatur zur zahnärztlichen Prothetik schreibt *Weber* im Kapitel ` Präparation und temporäre Versorgung `: „Eine Änderung der Präparations- bzw. Konstruktionsform kann notwendig werden, um einerseits einen genügend großen Abstand zur Pulpa einzuhalten, andererseits ästhetische Gesichtspunkte berücksichtigen zu können. [...] muß unter dem Aspekt des Präparationstraumas und den daraus erwachsenden ungewissen Schwierigkeiten eine Vitalextirpation ernsthaft erwogen werden.“ (Weber 1987).

Dass durch die Präparation eine Wunde auf der verbleibenden Dentinoberfläche geschaffen wird, ist seit langem bekannt (Ketterl 1961). Über sechzig Jahre Weiterentwicklung in allen Bereichen der prothetischen Zahnheilkunde, hochmoderne Technik wie auch neue Werkstoffe, haben an der grundsätzlichen Problematik des Präparationstraumas nichts geändert. *Christensen* (Christensen 1994) gibt die Empfehlung, die Patienten darüber aufzuklären, dass ein Vitalitätsverlust nach der Überkronung möglich sein könne und dann eine endodontische Therapie notwendig wäre.

Verschiedene Ansätze, das Präparationstrauma so gering wie möglich zu halten und eine irreversible Schädigung der Pulpa zu vermeiden, werden in der Folge diskutiert. Da zu der in der vorliegenden Arbeit angewandten Methode der Widerstandsmessung mit dem Prepometer® noch keine weiteren klinischen

Studien vorliegen, wird auch auf alternative Verfahren eingegangen, die den dauerhaften Erhalt von Sensibilität und Vitalität eines Zahnes nach der Überkronung sichern sollen.

Zur Schonung der dentalen Gewebe wird eine schonende Arbeitsweise während der Präparation gefordert. Dem entspricht eine intermittierende Berührung der Präparationsoberfläche bei gleichzeitig geringem Anpressdruck des Instrumentes. Im vergangenen Jahrhundert war es durch den technischen Fortschritt möglich, dass elektronisch betriebene Mikromotoren in Einheit mit Übertragungsstücken entwickelt wurden, die eine gleichmäßige interferenzfreie und gleichzeitig sehr hochtourige Umdrehungszahl der Präparationsinstrumente ermöglichte. Immer wieder waren Untersuchungen zur Temperaturentwicklung bei derartig hochtouriger Präparation, erreicht werden können heute über 350.000 U/Min., Gegenstand von wissenschaftlichen Studien (Hofmann 1961, Langeland und Langeland 1965, Klötzer 1971, Klötzer 1984, Wenz 2000). Hierbei wurden sowohl die entstehenden Temperaturen an der Präparationsoberfläche als auch die Temperaturen innerhalb der Pulpagewebe bei der Präparation erforscht (Hofmann 1961). Histologisch konnte nachgewiesen werden, dass thermische Reize während der Präparation Einfluss auf die pulpalen Gewebe nehmen (Langeland und Langeland 1965, Schuchard und Watkins 1965, Klötzer 1971). Aus diesem Grund wurde schon frühzeitig eine präparationsbegleitende Wasserkühlung an der Zahnoberfläche gefordert, wobei auffällig ist, dass ein großer Teil der Untersuchungen zu diesem Thema bereits vor über 40 Jahren mit Einführung und Verbreitung der hochtourigen Instrumente durchgeführt wurde (Seltzer und Bender 1959, Swerdlow und Stanley 1959, Brännström 1968). Im Rahmen der Weiterentwicklung der Übertragungsstücke wurden bis zu drei Wasser-ausführungsgänge in die Geräte integriert (Klaiber et al. 1985). Einige Autoren betonen bis heute, dass eine zusätzliche externe Wasserkühlung vonseiten der zahnärztlichen Assistenz gerade in für die Wasserkühlung des Winkelstückes schwer zugänglichen Bereichen zu empfehlen ist (Wenz 2001). Erstaunlich sind die Ergebnisse einer aktuellen retrospektiven Studie aus den Vereinigten Staaten von Amerika, in der 1847 überkronte Zähne nachuntersucht wurden, die in den Jahren 1970-1989 bei lediglich luftgekühlter hochtouriger Präparation

versorgt worden waren (Lockard 2002). Diese Arbeitsweise ist in den USA durchaus verbreitet und entspricht gleichzeitig nicht der herrschenden Lehrmeinung in Europa. Trotz ausschließlicher Luftkühlung wurde in lediglich 2,19 % (n=638, Zeitraum: 1970-1979) und 0,66 % (n=1209, 1980-1989) eine Nekrose der Pulpa nach 15 Jahren beobachtet. Diese Zahlen liegen signifikant unter den Werten vieler anderer Studien, die in der Folge noch diskutiert werden. Auch eine ältere Studie der Universität von Kalifornien an 37.000 präparierten Zähnen kommt zu dem Ergebnis, dass bei Gebrauch eines lediglich luftgekühlten hochtourigen Übertragungsstückes keine Zunahme pathologischer Befunde der Pulpa auftraten (Schuchard und Watkins 1965). *Lockard* weist zu Recht darauf hin, dass die Reduktion der entstehenden Temperaturen jedoch nur ein Aspekt ist, der hinsichtlich größtmöglicher Schonung eines zu präparierenden und zu überkronenden Zahnes Beachtung finden muss (Lockard 2002).

Die Forderung nach Erhalt von ausreichenden Restdentinstärken nach der Präparation zur Schonung der pulpalen Gewebe folgt der grundsätzlichen Überlegung, dass das vitale Pulpagewebe von einer breiteren Dentinschicht besser vor Noxen, wie etwa den Zementen zur Befestigung von Kronen, geschützt ist, als von einer dünnen permeableren Dentinschicht. Die Permeabilität basiert dabei auf der mikroskopischen Struktur des Dentins, den Dentinkanälchen, durch die die Noxen die pulpalen Gewebe erreichen. Die Permeabilität nimmt mit steigender Anzahl, wachsender Gesamtquerschnittsfläche und abnehmender Länge der angeschnittenen Dentinkanälchen zu. Eine große Präparationstiefe mit resultierender großer Dentinwunde, thermische Reize während der Präparation und chemische Noxen auf der Dentinwundfläche sind wichtige Faktoren, die die Sensibilität der behandelten Zähne gefährden (Langeland und Langeland 1965, Neuerburg 1994). *Klötzer* kommt nach umfangreichen Untersuchungen zu der Feststellung, dass die nach Präparation verbleibende Dentindicke derjenige Einzelfaktor sei, der das Ausmaß der Pulpaschädigung am stärksten bestimme. Bei „restlichen Dentindicken von 2 mm und mehr finde man auch nach traumatischer Präparation kaum Pulpareaktionen“ (Klötzer 1984). In Deutschland sind diesbezüglich Werte allgemein anerkannt, die von *Jüde* und Mitarbeitern

publiziert wurden (Jüde et al. 1997). Gefordert werden Restdentindicken von 0,7 mm für Zähne Erwachsener und 1,4 mm für Zähne Jugendlicher. Die Differenz der Werte zeigt, dass die histologisch nachgewiesene unterschiedliche Dentinstruktur in verschiedenen Altersklassen berücksichtigt wird.

Eine histologische Untersuchung präparierter Zähne ist verständlicherweise innerhalb der klinischen Tätigkeit nicht möglich. Leitsymptome einer erfolgreichen Behandlung sind daher die dauerhafte Beschwerdefreiheit und der Erhalt der Sensibilität des Zahnes. In der speziellen Anamnese sind dabei Fragen zu lokalen zahnbezogenen Schmerzempfindungen sowie zu Temperaturempfindlichkeit und Aufbissempfindlichkeit von Bedeutung. In der klinischen Untersuchung stehen die Kontrolle einer möglichen Perkussions-empfindlichkeit und vor allem die Überprüfung der erhaltenen Sensibilität des Zahnes im Vordergrund. Richtiggestellt werden muss, dass die sogenannte „Vitalitätsprobe“, die mittels Kälteapplikation an der Zahnoberfläche vorgenommen wird, eine „Sensibilitätsprobe“ ist. Die Überprüfung der Vitalität eines Zahnes und damit der physiologischen Funktion der blutführenden Gefäße innerhalb der Pulpa war bis vor kurzem nicht möglich. Erste Untersuchungen auf dem Gebiet der sogenannten „laser Doppler flowmetry“ werden nach Aussage der Entwickler noch viele Jahre bis zum Einsatz in der Routinebehandlung brauchen (Hartmann et al. 1996, Evans et al. 1999). Es ist von Bedeutung, richtigzustellen, dass aufgrund falsch angewandter Nomenklatur, in vielen klinischen Studien falsch von „Vitalitätsprobe“ und „Erhalt der Vitalität“ gesprochen wird. Diese Studien untersuchen, wie die vorliegende in-vivo Untersuchung auch, den Erhalt der Zahnsensibilität.

Sprachlich korrekt ist wiederum die Forderung nach Erhalt der Zahnvitalität im Rahmen der zahnärztlichen Behandlung, wie von *Weber* postuliert (Weber 1987). Diese Forderung folgt der im Rahmen einer Wurzelkanalbehandlung klinisch zu bestätigenden Tatsache, dass dem Verlust der Sensibilität eines Zahnes in der Regel der Verlust der Vitalität durch Nekrose oder Gangrän der Markorgans folgt.

Die entscheidende und gleichzeitig bedenklich stimmende Erkenntis aus vielen klinischen Nachuntersuchungen zum Erhalt der Sensibilität von Zähnen nach der Überkronung ist, dass trotz technischem Fortschritt und klaren Leitlinien zum Vorgehen bei der Kronenpräparation, seit Jahrzehnten der Anteil desensibler/„devitaler“ Zähne nach Überkronung unverändert hoch bleibt. Die Literatur der letzten zwanzig Jahre dokumentiert Prozentzahlen zwischen 0,66% und 25% (Meeuwissen und Eschen 1985, Randow et al. 1986, Kerschbaum und Leempoel 1989, Foster 1990, Jackson et al. 1992, Jokstad und Mjor 1996, Valderhaug et al. 1997, Lockard 2002). In der Deutschen Primärliteratur werden Werte zum Vitalitätsverlust von *Kerschbaum* und *Voß* angegeben. Sie finden innerhalb eines Zeitraums von 5 Jahren nach Überkronung in 8-10% der untersuchten Zähne einen Vitalitätsverlust (Kerschbaum und Voß 1979, Kerschbaum und Voß 1981). *Kerschbaum* publizierte zwei Jahre später weitere Daten mit ca. 15 % Vitalitätsverlust der überkronten Zähne nach 10 Jahren (Kerschbaum 1983).

Zur Lösung dieses Problems stehen alle themenbezogenen Teilgebiete der Zahnersatzkunde auf dem Prüfstein. Diese reichen von der Weiterentwicklung der Instrumente bis hin zur Entwicklung neuer Restaurationsmaterialien, die eine zahnhartsubstanzschonende Präparation bei gleichzeitig dauerhaft gesicherter mechanischer Belastbarkeit, langfristigem Erhalt der Restaurationsrandpassung und gesicherter Biokompatibilität des Zahnersatzes gewährleisten.

Die vorliegende Arbeit konzentriert sich auf die Frage, ob der Einsatz des Prepometers® bereits bei der Präparation des Zahnes, die Chancen langfristiger Beschwerdefreiheit und nachweisbaren Sensibilitätserhaltes erhöht.
Gleichzeitig soll erörtert werden, ob etablierte Werte zu verbleibenden Dentinstärken über der Pulpa nach Präparation neu hinterfragt werden müssen.

## 5.1. Bewertung der Methode

Die Untersuchungen gliedern sich in den in-vitro und in den in-vivo Teil, deren Methodik getrennt betrachtet werden muss.

### 5.1.1. Bewertung der Methode der in-vitro-Untersuchungen

Das Ziel der in-vitro Untersuchungen bestand darin, den maximal möglichen Substanzabtrag einer ausschließlich okklusalen Präparation von Zähnen zu bestimmen, der unter Kontrolle des Prepometers® bis zur vom Hersteller empfohlenen Präparationstiefe vorgenommen werden konnte. Zur Begrenzung der Präparationstiefe empfiehlt der Hersteller, die Präparation bei Erreichen der Leuchtdiode 7 (orange) zu beenden. Des Weiteren sollte anhand der Widerstandsmessung ermittelt werden, welche Dentindicke bei diesem Vorgehen über der Pulpa erhalten worden war. Dazu war nach Erreichen der empfohlenen Präparationstiefe die Möglichkeit gegeben, die verbliebene Schichtdicke des Dentins über der Pulpa zu entfernen und zu quantifizieren. Gemäß der Grundidee der Widerstandsmessung ist nur bei Einhaltung dieses Abstandes zur Pulpa, bezogen auf die entstandene Dentinwundfläche, in-vivo eine langfristige Erhaltung der Sensibilität der Zähne zu erwarten. Die zu verbleibende Restdentindicke korreliert mit den drei roten Leuchtdioden 8/9/10 des Prepometers®. Durch Präparation bis zur schlussendlichen Eröffnung der Pulpa war es möglich, zu überprüfen, in welchen Bereich der Widerstands-messung respektive der Anzeige der Leuchtdioden der Untersucher bei einer Präparation bis 0,7 mm oder 1,4 mm Restdentindicke vorgedrungen war.

Die Einschlusskriterien für Zähne, die in die in-vitro Untersuchung aufgenommen wurden, waren bewusst so eng gewählt, dass eine Beeinflussung der erhaltenen Ergebnisse durch Zähne, die nur eine eingeschränkte oder keine reguläre Widerstandsmessung ermöglicht hätten, ausgeschlossen war. Gleichzeitig sollte über eine möglichst schonende Extraktion durch erfahrene Behandler der chirurgischen Poliklinik (Klinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie am Medizinischen Zentrum für Zahn-,

Mund- und Kieferheilkunde der Philipps-Universität Marburg/Lahn) das Risiko einer Traumatisierung der Zahnstrukturen auf ein Minimum reduziert werden.
Ähnlich der Situation nach traumatischen Zahnverlust und angestrebter Replantation, wurde der zu untersuchende Zahn in maximal möglichen „physiologischen“ Verhältnissen aufbewahrt. Durch den kurzen Zeitraum zwischen Extraktion und Untersuchung, die Aufbewahrung im Hygrophor und die kurze Zeitdauer der Untersuchung war ausgeschlossen, dass durch eine Austrocknung der dentalen Gewebe ein negativer Einfluss auf die Möglichkeit der Widerstandsmessung und damit auf die Ergebnisse entstehen konnte. Der einfache Versuchsaufbau hatte sich in Voruntersuchungen bewährt (Netsch 1995). Der zu untersuchende Zahn konnte in kurzer Zeit fixiert werden. In allen Phasen der Versuchsvorbereitung war der Zahn in Kontakt mit physiologischer Kochsalzlösung, in die der Zahn dann bei Beginn der Präparation mit seiner Wurzelspitze innerhalb des $V_2$A-Stahlzylinders hineinragte. In der in-vitro Studie stellte der metallische Zylinder über eine einfache Steckverbindung zum Prepometer® die „Bezugselektrode“ dar. Die senkrecht über dem Probenhalter angebrachte Messuhr mit geeichter Mikrometerskala ermöglichte eine präzise Messung. Die Einfachheit dieses Anteils der Versuchsapparatur bei gleichzeitig optimaler Nutzbarkeit für die vorliegende Studie lässt eine Diskussion alternativer Möglichkeiten kaum zu.

Das Prepometer® selbst konnte durch die herstellerseitig eingebaute Testfunktion jederzeit überprüft werden. Von Bedeutung war die bei jeder Untersuchung erfolgte Kontrolle der Durchlässigkeit der Kapillare an der Messelektrode wie auch die korrekte Benetzung der Kapillare mit physiologischer Kochsalzlösung vor der Messung. Das Arbeiten extraoral an einem sauberen Laborarbeitsplatz ermöglichte die optimale Vorbereitung der Präparationsoberfläche vor jeder Messung. Schwierigkeiten einer möglichen Kontamination der Präparationsoberfläche, die bei der intraoralen Anwendung diskutiert werden, waren ausgeschlossen.

Das Prepometer® (Hager & Werken, Deutschland) ist das einzige auf dem Markt befindliche Gerät für eine Widerstandsmessung auf der anpräparierten Dentinoberfläche.

### 5.1.2. Bewertung der Methode der in-vivo-Untersuchungen

Die Methode der in-vivo Messung mit dem Prepometer® ist bislang die einzige Messmethode in situ, die erlaubt während einer Präparation von Zähnen eine qualitative Kontrolle der Permeabilität der belassenen Dentinschicht zu haben. Es wird betont, dass unter Kontrolle der verbleibenden Dentinschicht nicht eine bestimmte Schichtdicke in Millimetern verstanden werden darf, sondern vielmehr eine qualitative Beurteilung der geschaffenen Dentinwunde, die abhängig ist von der Anzahl, dem Querschnitt und der Länge der Dentinkanälchen. Durch das Abtasten der anpräparierten Dentinoberfläche mit dem Prepometer® wird über die Widerstandsmessung eine Einschätzung der geschaffenen Dentinwunde möglich. Mit dem Einsatz des Prepometers® kann nach Angaben der Entwickler und Vertreiber ermittelt werden, wann eine Präparation beendet werden sollte oder an welchen Flächen eines Zahnes bei Bedarf die Präparation noch tiefer erfolgen könnte.

Vor dem Hintergrund bekannt hoher Prozentzahlen zur Desensibilität nach Überkronung, auf die in der Diskussion der eigenen Ergebnisse nochmals detailliert eingegangen werden wird, ist verständlich, dass auch in der Vergangenheit bereits Arbeitsmethoden zum Schutz der dentalen Gewebe bei der Präparation und der späteren Überkronung entwickelt wurden. Bisher stand dabei in der Literatur jedoch eindeutig die Forderung nach Belassen einer gewissen Mindestdentinschichtdicke über der Pulpa im Vordergrund (Jüde et al. 1997, Murray et al. 2003). Gleichzeitig ist es jedoch eine Tatsache, dass die Dicke der verbleibenden Dentindicke wie auch die histologische Struktur dieser Dentinschicht während der klinischen Arbeit nicht zu beurteilen ist. Erst wenn das Gewebe der Pulpa mit den Gefäßen als „roter Punkt“ durch eine letzte dünne Schicht Dentin „schimmert“, ist die Restdicke kalkulierbar. In diesem Fall ist jedoch das Risiko einer irreversiblen Schädigung der Pulpa hoch. Schutzfunktion soll eine ausreichend dicke Schicht Dentin über der Pulpa haben. Die immer wieder in der Literatur zitierten Referenzwerte von 0,7 mm für Zähne Erwachsener und 1,4 mm für Zähne Jugendlicher (Jüde et al. 1997) berücksichtigen die unterschiedliche Dentinstruktur der Zähne in verschiedenen Altersstufen. Verschiedene Untersuchungen belegen allerdings, dass die Struktur des Dentins auch innerhalb einer Altersklasse interindividuell,

intraindividuell sowie an verschiedenen Zahnflächen eines Zahnes sehr unterschiedlich sein kann (Zilberman und Smith 2001, Murray et al. 2002). Auch *Hugel* (Hugel 1970) findet in seinen Untersuchungen keinen statistisch gesicherten Zusammenhang zwischen Patientenalter und Hartsubstanzdicke. Seine Ergebnisse bestätigen die große Variabilität der Zahnanatomie sowohl hinsichtlich der Dicke der Zahnhartsubstanzen als auch bezüglich der Ausdehnung der Pulpa. Vergegenwärtigt man sich nochmals die mehrfach genannten nur zwei Referenzwerte, so kann man davon ausgehen, dass der Tatsache, dass Zahnhart~ und ~weichgewebe zeitlebens Alternsveränderungen unterliegen (Schroeder 1993), zu wenig Beachtung geschenkt wird.

Ungeachtet dieser Bedenken, ist eine standardisierte Präparation vorgegebenen Substanzabtrages, deren Legitimation sich aus den Bestimmungen der Hartsubstanzdicke verschiedener Zahngruppen aus historischen Reihenuntersuchungen extrahierter Zähne ableitet, auch heute noch weit verbreitet in der täglichen klinischen Arbeit. Durchschnittswerte der Zahnhartsubstanzdicken, die unter anderem in den Arbeiten von *Hugel* und *Schaaf* ermittelt wurden (Hugel 1970, Schaaf 1971), sollen bei einer „systematischen Kronenpräparation“ beachtet werden (Nentwig und Eifinger 1981).
Da, wie bereits ausgeführt wurde, innerhalb der klinischen Tätigkeit keine Möglichkeit besteht, die verbleibende Dentinschicht über der Pulpa zu vermessen, orientiert sich der Behandler in der Regel an der Dicke der bereits abgetragenen Zahnhartsubstanz. Eine Möglichkeit zur Kontrolle der Präparationstiefe besteht im Anlegen von Orientierungsrillen an der Zahnoberfläche zu Beginn der Präparation. Die Dentalindustrie fertigt spezielle Rillenschleifkörper mit limitierter Eindringtiefe. Die Anwendung dieser Schleifkörper wird von verschiedenen Autoren empfohlen (Kerschbaum und Voß 1979, Marxkors 1991). Auch in der aktuell im Internet publizierten wissenschaftlichen Stellungnahme der Deutschen Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde mit dem Titel „Das Risiko des Vitalitätsverlustes nach einer Überkronung“ wird der Einsatz von Rillenschleifern zur Erleichterung und besseren Orientierung bei der Präparation angeraten (Kerschbaum 2003b). Gerade in jüngerer Zeit werden derartige „Normbohrer“ von Seiten der Industrie

wieder vermehrt beworben, da für moderne vollkeramische Restaurationswerkstoffe definierte Wandstärken auch und vor allem im zervikalen Randbereich gefordert werden. Nur die Einhaltung dieser Wandstärken sichert eine dauerhafte „mechanische Festigkeit“ dieser vollkeramischen Materialien (Weber 1987).
Eine experimentelle Studie an 121 extrahierten menschlichen Molaren und Prämolaren zeigte nach standardisierter zirkulärer Stufenpräparation von 1,2 mm Breite und gerundeter Innenkante, dass im Bereich der geringsten verbliebenen Dentinschicht nur bei 50 % der Oberkiefermolaren eine Restdentinstärke von mehr als 0,7 mm vorhanden war (Polansky et al. 1998).

Eine weitere Methode, dem Behandler die visuelle Kontrolle über den erfolgten Substanzabtrag zu erhalten, wird mittels Herstellung eines „Silikonschlüssels“ gelehrt und ist weit verbreitet (Strub et al. 1994). Der Silikonschlüssel wird vor der Präparation angefertigt. Dazu wird eine Teilabformung über den zu präparierenden Zahn genommen, der dann in der Längs- und der Querachse der dargestellten Zahnimpression durchgeschnitten werden kann. Eine Kontrolle über den erfolgten Substanzabtrag am Pfeiler kann durch Zurücksetzen des Schlüssels auf den Kieferkamm und benachbarte, nicht präparierte Zähne erfolgen.

Zur Bestimmung der Dentindicke können auch Ultraschallmessungen nach dem „Echolotprinzip“ durchgeführt werden. Diese berücksichtigen jedoch nicht den Durchmesser der Dentinkanälchen, so dass die tatsächlich verursachte Dentinwunde nicht kalkulierbar ist. Darüber hinaus ist der technische Aufwand wegen der ungünstigen akustischen Eigenschaften des Dentins so groß, dass die Methode nur für Forschungszwecke, nicht aber in der Routinebehandlung eingesetzt worden ist (Morozumi 1985, Morozumi et al. 1987).

Für die drei genannten Alternativmethoden kann festgestellt werden, dass der im Vordergrund stehende Gedanke zum Erhalt einer gewissen Restdentindicke die eigentlich entscheidende Frage nach der Größe der iatrogen geschaffenen Dentinwunde nicht ausreichend berücksichtigt. Diese Vermutung wird in der Diskussion der Ergebnisse der eigenen in-vivo Studie bestätigt werden.

Röntgenbilder erlauben eine grobe Einschätzung der Lokalisation der Pulpa und ihrer Ausdehnung in mesio-distaler Richtung. Aufgrund der zweidimensionalen Darstellung und der multiplen Einstellungsmöglichkeiten des Strahlenganges ist eine genauere Beurteilung nicht möglich. Die Pulpakammer wird häufig zu klein dargestellt und grazile Ausläufer der pulpalen Gewebe entgehen der Darstellung (Jung 1984). In Kenntnis dieser Ungenauigkeiten wurde bereits der Versuch gemacht, Messfehler mittels eines Korrekturkoeffizienten mathematisch zu beheben (Scotti et al. 1989). Keine Informationen erhält man zur Ausdehnung der Pulpa in vestibulo-oraler Richtung. Die Auswertung von Röntgenbildern für die Planung einer Präparationsform hat daher nur sehr eingeschränkten Nutzen.

Das Erfolgsereignis der eigenen in-vivo Untersuchung war definiert durch die langfristige Beschwerdefreiheit und gleichzeitig positive Sensibilität des überkronten Zahnes. Die Beschwerdefreiheit konnte anamnestisch erfragt werden. Die klinische Überprüfung der vorhandenen Sensibilität wurde mittels Kältespray (orbis° dental) vorgenommen.
Verschiedene Autoren führen die erhebliche Streuung der Angaben zu Sensibilitätsverlusten und „Vitalitätsverlusten“ auf die unterschiedliche Methodik der Nachuntersuchung zurück (Kerschbaum und Voß 1981, Kerschbaum und Leempoel 1989). Verbreitet ist die Nachuntersuchung mittels einer Sensibilitätskontrolle, wobei in der Literatur oftmals die Termini „Vitalitätsprobe, Vitalitätsverlust“ gebraucht werden (Kerschbaum und Voß 1979, Kerschbaum und Voß 1981). Einige Untersuchungen berücksichtigen röntgenologisch dargestellte Veränderungen in der Apikalregion überkronter Zähne (Foster 1990). Wurde sowohl der klinische Sensibilitätsbefund als auch der periapikale Röntgenbefund erhoben, liegen die Prozentzahlen der Zähne mit „apikaler Aufhellung“ immer unter den Prozentzahlen der Zähne mit negativem Sensibilitätsbefund (Kerschbaum und Voß 1979, Kerschbaum und Voß 1981, Valderhaug et al. 1997). Es wird zu Recht darauf hingewiesen, dass „die Methode der Vitalitätsprüfung selbst unzuverlässig sei, d.h. eine beträchtliche Anzahl falsch-positiver und falsch-negativer Diagnosen zulasse“ (Kerschbaum und Leempoel 1989). Das Problem der schwer kalkulierbaren Sensitivität und Spezifität der Methodik wird in der täglichen klinischen Anwendung der

Sensibilitätsüberprüfung bestätigt. Gleichzeitig wäre heute jedoch die Methodik einer routinemässigen Röntgenuntersuchung mit der damit verbundenen Strahlenbelastung der Probanden, vorrangig für wissenschaftliche Zwecke, vor dem Hintergrund der gültigen Röntgenverordnung kaum zu vertreten. Auf diese Problematik wird auf der offiziellen Internetseite der Deutschen Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde (DGZMK) in der Rubrik „Mitteilungen/Fragen“ ausführlich von *Al-Nawas* eingegangen (Al-Nawas 2002). Retrospektive Karteikartenstudien weisen die endodontische Folgebehandlung nach einer Überkronung für die Beurteilung eines Behandlungs“misserfolges“ aus (Meeuwissen und Eschen 1985, Randow et al. 1986, Lockard 2002).

*Kerschbaum* und *Leempoel* unterscheiden zwischen „aktiven“ Verfahren (Röntgenuntersuchung, „Vitalitätsprobe“) und „passiven“ Verfahren (endodontische Folgebehandlung, anamnestische Angaben zu Beschwerden) einer Nachuntersuchung. In der eigenen Studie wurden in Anwendung dieses Nomenklaturvorschlages aktive und passive Methodik der Nachuntersuchung kombiniert.

Einzelne Untersuchungen berücksichtigen im Studiendesign die Behandlung durch niedergelassene Zahnärzte (Foster 1990, Lockard 2002) oder Studenten. Durch das entsprechende Studiendesign soll der Einfluss einer die Pulpa eventuell stärker traumatisierenden Präparation durch einen unerfahrenen Behandler ausgeschlossen werden. Unstrittig ist, dass ein Student wenig Erfahrung besitzt, da er noch wenige Zähne präpariert hat. Auf der Gegenseite kann für die eigene Studie (Testgruppe 1) herausgestellt werden, dass gerade der Student in seiner Abschlussprüfung besondere Sorgfalt bei der Präparation übt, so dass die Provokation eines Präparationstraumas aufgrund insuffizienter Präparationstechnik nahezu ausgeschlossen werden kann. *Klötzer* weist darauf hin, dass Traumata der Pulpagewebe auch durch niedergelassene Zahnärzte provoziert werden könnten, die „Präparationen in immer kürzeren Rekordzeiten durchzuführen“ versuchten. Er kommt zu der Feststellung, dass „vermutlich wenige Minuten zusätzlicher Präparationszeit pro Zahn manche Wurzelbehandlung ersparen könnten“ (Klötzer 1984).

In der eigenen Studie wurden die Probanden einerseits durch „unerfahrene“ Kandidaten der Examensprüfung behandelt und andererseits durch einen zahnmedizinisch approbierten Mitarbeiter der Hochschule mit mehrjähriger Berufserfahrung. Die Testgruppen wurden entsprechend unterteilt.

## 5.2. Bewertung der Ergebnisse

### 5.2.1. Bewertung der Ergebnisse der in-vitro-Untersuchungen

Erstmals wurde das aus einem von *Gente* entwickelten experimentellen AC-Ohmmeter später für den kommerziellen Vertrieb gefertigte Prepometer® in einer in-vitro Studie benutzt. In den eigenen Untersuchungen wurden zu den Widerstandsbereichen der Leuchtdioden folgende minimalen und maximalen Dentindicken gemessen:

| | | |
|---|---|---|
| Dioden 8 und 9: | 18 – 25 kΩ: | 0,13 – 2,67 mm |
| Diode 7: | 27 – 30 kΩ: | 0,70 – 2,74 mm |
| Diode 6 : | 35 – 40 kΩ: | 0,72 – 3,04 mm |
| Diode 5 : | 45 – 50 kΩ: | 1,19 – 3,52 mm |
| Diode 3: | 60 – 100 kΩ: | 1,50 – 4,66 mm |

*Netsch* findet in seiner in-vitro Untersuchung (n=9 Proben) bei Messungen mit dem experimentellen AC-Ohmmeter für verschiedene vergleichbare Widerstandsbereiche (in kΩ) folgende Dentindicken:

| | |
|---|---|
| 16 – 25 kΩ: | 0,42 – 1,46 mm |
| 26 – 35 kΩ: | 0,44 – 1,66 mm |
| 36 – 45 kΩ: | 1,01 – 1,87 mm |
| 46 – 55 kΩ: | 1,09 – 2,21 mm |
| 56 – 72 kΩ: | 1,35 – 2,44 mm |

Deutlich wird in beiden Arbeiten und in weiteren in-vitro Studien mit dem experimentellen AC-Ohmmeter (Feige 1989, Wenz 1990, Gente 1992, Netsch

1995), dass die Werte im Minimum und Maximum stark streuen, die Mittelwerte der Widerstandsprofile sich jedoch zum Widerstandsminimum hin bündeln. Die von *Gente* (Gente 1992, Gente 1995) und *Netsch* (Netsch 1995) dokumentierten graphischen Darstellungen zur Abhängigkeit von Widerstandswerten und Restdentindicke entsprechen der graphischen Darstellung der eigenen Ergebnisse (Abb. 16-18, Seiten 28-31). Die Arbeiten von *Feige* und *Wenz* (Feige 1989, Wenz 1990) konzentrieren sich hauptsächlich auf die Bestimmung der Dentindicke in unmittelbarer Umgebung eines Widerstandsminimums, wobei in der jüngeren Studie eine weiterentwickelte Messtechnik zur Anwendung kam. Dabei stand die Frage im Vordergrund, welcher Widerstandswert nicht unterschritten werden sollte, um einen Mindestabstand von 0,7 mm zur Pulpa einzuhalten. Dieser Wert wurde, wie bereits mehrfach erläutert, bisher zur Begrenzung der Präparationstiefe bei Zähnen Erwachsener zur Vermeidung einer Schädigung der Pulpa postuliert (Jüde et al. 1997). *Feige* hat noch eine Messtechnik verwendet, bei der der Widerstand `Kronenpulpa-Bezugselektrode` nicht gemessen werden konnte. Er gibt deswegen einen Wert von 42 kΩ an, um den Mindestabstand von 0,7 mm zur Pulpa einzuhalten. Nach *Wenz* kann dieser Wert bei Berücksichtigung des Widerstandes `Kronenpulpa-Bezugselektrode` auf 25 kΩ gesenkt werden (Feige 1989, Wenz 1990).

Diese Voruntersuchungen führten bei der Herstellung des Prepometers® für die Anwendung am Patienten zu der Zuordnung des Widerstandsintervalles 27 kΩ - 30 kΩ für die Leuchtdiode 7 (orange), bis zu der herstellerseitig die maximale Präparation empfohlen wird. Die Richtigkeit dieser Zuordnung wird in der eigenen in-vitro Untersuchung (n= 41 Messpunkte) bestätigt, denn der minimal gemessene Wert für Diode 7 entspricht exakt einer Restdentindicke von 0,7 mm. Mit 0,71 und 0,77 mm existieren zwei weitere Werte in Grenznähe, nach oben schwanken die gemessenen Werte allerdings mit einem Mittelwert von 1,53 mm bis zum Maximum von 2,74 mm. Diese Schwankungen nach oben werden für 30 kΩ bei *Wenz* und *Feige* mit einem Maximum von 1,6 mm und 2,8 mm entsprechend gefunden (Feige 1989, Wenz 1990).

Tierexperimentelle Voruntersuchungen von *Haude* zeigten qualitativ ähnliche Werteverteilungen und Widerstandsprofile bei Untersuchungen am Schwein

(Haude 1994). Nach seinen Angaben lassen sich, in Kenntnis von Übereinstimmungen und Differenzen der histologischen Strukturen von Zähnen des Menschen und Zähnen des Schweines, Teile der Beobachtungen aus der tierexperimentellen Studie auf den Menschen übertragen.

Aus den gewonnenen eigenen Ergebnissen kann abgeleitet werden, dass im Prepometer® die Zuordnung der Widerstandsintervalle zu den Leuchtdioden optimal gewählt wurde. Bei Beendigung der Präparation bei Aufleuchten der Diode 7 wurde in keinem Fall die bisher als Referenz angegebene Restdentindicke von 0,7 mm unterschritten. Bei weiterer Präparation bis zum Aufleuchten der letzten roten Diode 10 wurde bei keinem Zahn die Pulpa eröffnet. Dabei liegen 36 von 41 Werten unterhalb von 1,04 Millimetern mit einem Minimum von 0,09 Millimetern Restdentindicke. Auch diese Ergebnisse stützen die Daten, die der Zuordnung verschiedener Widerstandsbereiche zu den Leuchtdioden zugrunde liegen, denn bei korrekter Anwendung des Prepometers® ist eine iatrogene Eröffnung der Pulpa nach den in dieser Studie gefundenen Werten gerade ausgeschlossen.

Besonders interessant erscheint jedoch die Betrachtung und Bewertung der Ergebnisse aus einer anderen Richtung. *Netsch* betont richtigerweise, dass sich ein Widerstandsminimum auf einem Wundflächenmaximum erfassen lässt (Netsch 1995). Er schlussfolgert, dass hinsichtlich Erhalt der Zahnsensibilität nach Präparation nicht nur die Dicke der verbleibenden Dentinschicht (Länge der Dentinkanälchen) beachtet werden müsse, sondern vor allem auch die Dichte und der Querschnitt der eröffneten Dentinkanälchen. Nach *Schroeder* (Schroeder 1992) wird bei einer Kronenpräparation eines Molaren bei einem jugendlichen Menschen eine Dentinwunde von 10-12 $mm^2$, bezogen auf die Querschnittsfläche der angeschnittenen Dentinkanälchen, geschaffen. Je tiefer die Präparation erfolgt, desto größer ist die Dentinwunde.

Abhängig von den Parametern Anzahl, Länge und Querschnittsfläche der angeschnittenen Dentinkanälchen ist die Permeabilität der Dentinschicht für pulpaschädigende Noxen.

Das 1. Ficksche Gesetz beschreibt:

$$s * dA = D * \frac{dc}{dx} * dA$$

Der durch die Fläche dA in Richtung x senkrecht zu Fläche diffundierende Molekülstrom s*dA ist proportional dem Konzentrationsgefälle dc/dx (c Molekülzahl im Volumen 1). Der Proportionalitätsfaktor D heißt Diffusionskoeffizient. Er hängt vom Medium und von den äußeren Bedingungen ab (Franke 1969).
In Anwendung der Formel auf dentale Gewebe fände die Permeabilität der Dentinschicht für pulpaschädigende Noxen Berücksichtigung. Der Einfluss derartiger Substanzen auf das Gewebe der Pulpa ist wissenschaftlich anhand histologischer Untersuchungen nachgewiesen (Langeland und Langeland 1965, Klötzer 1971, Neuerburg 1994). *Neuerburg* findet in seiner tierexperimentellen Studie, bei der auch die Widerstandsmessung angewandt wurde, eine Zunahme verlagerter Odontoblasten und eine Zunahme neutrophiler Granulozyten mit abnehmender Dentindicke und abnehmendem Widerstand.

In der eigenen Testreihe war die durch Widerstandsmessung bestimmte maximale Wundfläche, korrespondierend zu Diode 7, in fast 93% der Messungen bereits deutlich vor der Restdentindicke von 0,7 mm erreicht. Für 41 Proben wurde für das Widerstandsintervall 27 kΩ -30 kΩ der Leuchtdiode 7 ein Mittelwert von 1,53 mm Restdentindicke gefunden. 26 Messwerte sammeln sich in dem Dentindickenbereich zwischen 1 und 2 Millimetern. Sieben Werte liegen über 2 Millimetern mit einem Maximum von 2,74 Millimetern. Acht Messwerte liegen unterhalb von 1 Millimeter Restdentindicke. *Wenz* findet für einen definierten Widerstandswert von 25 kΩ, der damit unterhalb des Intervalles für Diode 7 liegt, in drei unterschiedlichen Altersklassen unterschiedliche korrespondierende Dentindicken. Für die Jahrgangsstufen 1951 – 1959 liegen die Werte zwischen 0,7 und 1,2 mm, für die Jahrgangsstufen 1961 – 1965 liegen die Werte zwischen 0,8 und 1,25 mm, für die Jahrgangsstufen 1967 – 1969 liegen die Werte zwischen 0,9 und 1,45 mm (Wenz 1990). Bezogen auf den Untersuchungszeitpunkt, wurden mit den

Jahrgangsstufen 1967 – 1969 jugendliche Probanden, mit den Jahrgangsstufen 1951 – 1959 erwachsene Probanden untersucht.

Die unterschiedlichen Dentindicken für ein Widerstandsintervall, erkennbar im Aufleuchten einer spezifischen Leuchtdiode, finden sich nicht nur an vergleichbarer Präparationsfläche verschiedener Zähne sondern auch an den unterschiedlichen Präparationsflächen eines Zahnes. Für die klinische Tätigkeit kann daraus abgeleitet werden, dass der Substanzabtrag individuellen biologischen Kriterien anzupassen ist. Die Evaluation der geschaffenen Dentinwunde bestimmt demnach das vertretbare Ausmaß der Präparation und nicht etwa geforderte Mindestschichtstärken der späteren Restauration.

Für die in-vitro Untersuchungen können folgende Aussagen festgehalten werden:

- Die Dentinschichtdicken, die den verschiedenen Leuchtdioden des Prepometers® zugeordnet werden können, sind über jedem gefundenen Widerstandsminimum unterschiedlich groß. Ältere Literaturangaben werden damit bestätigt.

- Bei gleicher Präparationstiefe können an unterschiedlichen Messpunkten an einem Zahn wie auch an verschiedenen Zähnen die korrespondierenden Widerstandswerte sehr unterschiedlich sein. Dies wird visuell durch Aufleuchten verschiedener Leuchtdioden deutlich.

- Die Ergebnisse dieser in-vitro Untersuchungen könnten Grundlage einer kritischen Diskussion der Referenzwerte von 0,7 mm (Erwachsene) und 1,4 mm (Jugendliche) Restdentinschicht nach Präparation sein, wie sie in der Literatur beschrieben und bisher allgemein anerkannt sind (Jüde et al. 1997).

### 5.2.2. Bewertung der Ergebnisse der in-vivo-Untersuchungen

In einem Zeitraum bis maximal fünf Jahre nach Überkronung reagierten in beiden Testgruppen die Zähne positiv auf die Sensibilitätskontrolle. Die Patienten hatten in diesem Zeitraum keinerlei Beschwerden an den überkronten Zähnen. Die Ergebnisse machen deutlich, dass kein Unterschied zwischen dem Erstanwender und einem Behandler, der mehrjährige Erfahrung im Gebrauch des Prepometers® hatte, hinsichtlich der Erfolgsstatistik zu finden ist. Diese ersten Ergebnisse einer in-vivo Untersuchung bescheinigen dem Einsatz des Prepometers® eine sichere Anwendung mit vorhersagbarer Erfolgswahrscheinlichkeit auch in der Hand des im Präparieren Ungeübten. Hierbei ist das Erfolgsereignis definiert durch die langfristige Beschwerdefreiheit und gleichzeitig positive Sensibilität des überkronten Zahnes. Ein möglicher Einfluss der Erfahrung des Behandlers bei der Präparation, der in der Literatur vereinzelt vermutet wurde (Foster 1990), konnte nicht gefunden werden.

In der Kontrollgruppe, in der die Zähne ohne Anwendung des Prepometers® präpariert wurden, reagierten zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung 21,1% (n=4) der überprüften Zähne desensibel. Betroffen waren verschiedene Zahngruppen: ein oberer Prämolar 24, ein unterer Molar 37 sowie die Zähne 25 und 27 an einem Patienten. Zwei der vier desensibel gewordenen Zähne wurden von einem Behandler präpariert. Der mögliche Einfluss einer mangelhaften Präparationstechnik ist nicht auszuschließen.
Weitere 15,8% (n=3, obere und untere Molaren 26, 27, 36) der Zähne waren nach der Überkronung nicht beschwerdefrei. Sie reagierten hypersensibel auf thermische Reize und/oder waren aufbissempfindlich. Zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung reagierten diese Zähne normal positiv auf den Kältetest. Die Beschwerden werden daher im Sinne einer reversiblen Pulpitis gedeutet.
An einem Zahn (oberer Molar 16), entsprechend 5,3 % aller nachuntersuchten Zähne der Kontrollgruppe, wurde bei der Präparation die Pulpa eröffnet. Die direkte Überkappung der kleinflächig eröffneten Pulpa war erfolgreich, der Zahn war in der Folge beschwerdefrei. Zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung reagierte der Zahn verzögert positiv auf den Kältetest.

Die in den eigenen Untersuchungen dokumentierten Werte zur Desensibilität nach Überkronung decken sich mit einem Teil anderer Literaturangaben, wobei die Daten unterschiedlicher Studien sehr stark streuen. Auf die nur eingeschränkte Möglichkeit eines Vergleiches der verschiedenen Publikationen aufgrund unterschiedlicher Studiendesigns wurde bereits hingewiesen. In der Deutschen Primärliteratur werden Werte zum „Vitalitätsverlust“ von *Kerschbaum* und *Voß* angegeben. Sie finden innerhalb eines Zeitraums von 5 Jahren nach Überkronung in fast 8 % der untersuchten Kronen einen „Vitalitätsverlust der Pulpa“ (Kerschbaum und Voß 1981). Die Sichtung von Nachuntersuchungsberichten und statistische Auswertung über Ausgleichsgeraden mündete in eine Einschätzung der zukünftigen Entwicklung dieser Zahlen durch diese Autoren. *Kerschbaum* publizierte zwei Jahre später neue Daten mit 15 % Vitalitätsverlust der überkronten Zähne nach 10 Jahren (Kerschbaum 1983). Auf diesen Angaben beruht auch die aktuelle wissenschaftliche Stellungnahme der Deutschen Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde (DGZMK) mit dem Titel „Das Risiko des Vitalitätsverlustes nach einer Überkronung“, die im elektronischen Medium der offiziellen Internetseite der DGZMK publiziert ist (Kerschbaum 2003b). Die letztmalige Veröffentlichung dieser Daten in einem Printmedium reicht nach persönlicher Mitteilung von *Kerschbaum* zurück in das Jahr 1983 (Kerschbaum 1983, Kerschbaum 2003a). 1989 kommen *Kerschbaum* und *Leempoel* in ihrer aktualisierten Literaturübersicht zu der Erkenntnis, dass ihre 1981 getroffene Schätzung „eher ein wenig nach oben korrigiert werden müsse“ (Kerschbaum und Leempoel 1989).

Die internationale Literatur der letzten zwanzig Jahre dokumentiert Prozentzahlen zwischen 0,66% und 25% (Meeuwissen und Eschen 1985, Randow et al. 1986, Kerschbaum und Leempoel 1989, Foster 1990, Jackson et al. 1992, Jokstad und Mjor 1996, Valderhaug et al. 1997, Lockard 2002). *Lockard* begründet die große Streubreite der Werte zu Recht mit verschiedenen möglichen Einflussfaktoren. An erster Stelle werden unterschiedliche Erfahrung und klinisch-technische Fertigkeiten der Behandler und die unterschiedliche Methodik der Evaluation genannt. Aufgrund der unterschiedlichen Studiendesigns ist ein den Regeln der evidenzbasierten Zahnheilkunde folgender Vergleich der Untersuchungen nicht möglich. Es wird jedoch deutlich,

dass die Problematik weltweit seit mehreren Jahrzehnten unverändert bekannt ist. Nach Aussage von *Christensen* gehen amerikanische Versicherungsgesellschaften schätzungsweise von einer 25%-igen Nekroserate von Zähnen nach Überkronung aus (Lockard 2002).

Da der Einsatz des Prepometers® in der eigenen Studie randomisiert und darüber hinaus in zwei Testgruppen unterschiedlich erfahrener Behandler vorgenommen wurde, kann die positive Bewertung für den Einsatz des Widerstandsmessgerätes, weitgehend unabhängig von der Fingerfertigkeit des Behandlers oder der individuell gegebenen Präparationsform, erfolgen.
Da 100 % Erfolg nach Kriterien der Statistik immer begründet mit Zweifeln hinterfragt werden, müssen vergleichbare Untersuchungen der in-vivo Anwendung des Prepometers® an wesentlich größeren Probandenzahlen durchgeführt werden. Außerdem sollte evaluiert werden, welchen Anteil der Einsatz des Prepometers® am schlussendlichen Erfolg der Behandlung hatte. Zahlreiche Autoren haben darauf hingewiesen, dass bei der Präparation verschiedene Faktoren eine Bedeutung hinsichtlich Sensibilitätserhalt des Zahnes und geringstmöglicher iatrogener Schädigung dentaler und parodontaler Gewebe haben. Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass die im Rahmen der Examensprüfung besonders vorsichtige Vorgehensweise der Studenten bei der Präparation Einfluss auf das spätere Erfolgsereignis hatte. Die Ergebnisse innerhalb der Kontrollgruppe, ebenfalls Studenten in ihrer Examensprüfung, relativieren jedoch die mögliche Bedeutung dieser Variablen.

Eine besonders schwierige Ausgangssituation für die Präparation und spätere Überkronung stellt die natürliche Morphologie unterer Frontzähne da. Untere Schneidezähne werden aufgrund ihrer grazilen Konturen in ihrer grundsätzlichen Eignung zur Überkronung diskutiert (Kühl 1969). Es wird empfohlen, eine Präparation mit geringstmöglichem Substanzabtrag vorzunehmen. Die einzugliedernden Verblendkronen sollten eher „voluminöser“ gestaltet werden, sofern der Gegenbiss dies zulasse. Wird jedoch der Zahnersatz nach diesen Empfehlungen gearbeitet, sind ästhetische Einbußen durch die Überkonturierung über das Aussehen natürlicher Zähne hinaus zu erwarten. Oftmals resultiert auch eine negative Beeinträchtigung der Funktion.

Eine Überkonturierung ist unbedingt zu vermeiden, um die intraorale Selbstreinigung durch den Speichel nicht zu erschweren und gesunde parodontale Strukturen zu erhalten. Trotzdem empfiehlt auch *Weber* für diesen Indikationsbereich eine „Änderung der Präparartionsform", vor allem approximal ein Ausweichen auf die Tangentialpräparation. Unter Umständen müsse „unter dem Aspekt des Präparationstraumas und den daraus erwachsenden ungewissen späteren Schwierigkeiten eine Vitalextirpation ernsthaft erwogen werden" (Weber 1987). In der eigenen in-vivo Studie wurden weder in den Testgruppen noch in der Kontrollgruppe untere Schneidezähne präpariert und überkront, so dass zu der geschilderten besonderen Problematik keine Aussagen gemacht werden können.

Wird der Problembereich auf grazile obere seitliche Schneidezähne und obere sowie untere Prämolaren erweitert, kann festgestellt werden, dass in den Testgruppen 19 Zähne, davon fünf obere seitliche Schneidezähne, im Untersuchungszeitraum sensibel und beschwerdefrei blieben. In der Kontrollgruppe waren zwei der vier desensibel gewordenen Zähne obere Prämolaren. Unter Vorbehalt der nur kleinen Stichprobe, kann vermutend festgehalten werden, dass der Einsatz des Prepometers® für „Problemfälle" schwieriger Zahnmorphologie besonders zu empfehlen ist.

Darüber hinaus ist die Verwendung des Prepometers® zu empfehlen für innengerundete Stufenpräparationen, wie sie für einige vollkeramische Systeme gefordert werden. Bei unkontrollierter zirkulärer Stufenpräparation ist mit einem erhöhten Risiko von Behandlungsmisserfolgen zu rechnen, da die Restdentinstärken zum Teil noch unter 0,7 mm liegen (Polansky et al. 1989). Die kritische Einschätzung entstehender Dentinwundflächen und resultierender Traumata unterstreicht die Vermutung von *Kerschbaum* und *Leempoel*, die in der Annahme vermehrter extensiver Präparationen für vollkeramische Restaurationen „fatale Folgen" für die Vitalität der Pfeilerzähne vorhersagen (Kerschbaum umd Leempoel 1989). Inwiefern neue vollkeramische Systeme mit verbesserten Werkstoffeigenschaften durch eine angepasste substanzschonendere Präparationstechnik dieser Problematik entgegenwirken könnten, bleibt in gespannter Erwartung klinischer Studien, vor allem auch Langzeitstudien, zum jetzigen Zeitpunkt noch unklar.

## 5.3. Vergleich der in-vitro und der in-vivo Untersuchungen

Die untersuchten Zähne der in-vitro und in-vivo Studien wurden auf unterschiedliche Weise präpariert und dabei während des Fortgangs der Präparation mit dem Prepometer® vermessen. In der in-vivo Untersuchung wurden alle für die Versorgung mit einer Krone erforderlichen Zahnflächen präpariert. Der Versuchsaufbau für die in-vitro Untersuchung war konzipiert für die grundsätzliche Beurteilung der Anwendbarkeit des Widerstandsmessgerätes auf der Zahnoberfläche. Gewählt wurde hierzu die okklusale Fläche. Die eigenen Ergebnisse bestätigen erstens die vom Entwickler und Hersteller postulierte Funktion der Messung verschiedener Widerstandswerte auf der Dentinoberfläche. Bestätigt wurde darüber hinaus, dass Messpunkte gleicher Widerstandsbereiche nicht mit definierten Dentinreststärken korrelieren, wie dies auch in anderen Arbeiten gefunden worden war (Feige 1989, Wenz 1990, Gente 1992, Netsch 1995).

Von besonderer Bedeutung ist die Feststellung, dass bei aufeinander folgenden Prepometer®-Messungen an einem Messpunkt bei fortschreitender Präparation aus der Folge der ersten Messungen nicht auf den Fortgang weiterer Messungen geschlossen werden kann. Von Wichtigkeit ist diese Tatsache für den Anwender des Gerätes innerhalb seiner klinischen Tätigkeit, da sie veranschaulicht, dass nach initialer Präparation durch dicke Schmelz- und Dentinschichten bei verzögertem Aufleuchten der ersten Leuchtdioden nicht auf die Möglichkeit einer ebenso substanzfordernden weitereren Präparation geschlossen werden kann. Da das Fortschreiten der Präparation sozusagen nicht streng linear mit dem Aufleuchten weiterer Leuchtdioden korreliert, ist der Behandler gefordert, im Bereich der entscheidenden Leuchtdioden in kurzen Intervallen zu messen. Bei Präparation bis zum Aufleuchten der Leuchtdiode 7 (orange), die vom Hersteller zur Begrenzung der Präparationsgrenze empfohlen wird, wurde in keinem Fall der in-vitro und in-vivo Untersuchungen die Pulpa eröffnet. Kein Zahn innerhalb der Testgruppen der in-vivo-Untersuchungen zeigte eine Beschwerdesymptomatik nach Präparation und Überkronung.

Die Daten der in-vitro Untersuchungen, in denen der Abtrag beider Substanzschichten, Zahnschmelz und Dentin, berücksichtigt wurde (n=12) und die Werte maximalen Substanzabtrages in den in-vivo Untersuchungen, festgehalten nach Vermessung der Provisorien (n=16), lassen sich gegenüberstellen. In beiden Studien leuchteten mit zunehmendem Substanzabtrag weitere Dioden auf. Die Widerstandswerte nahmen ab. Es wird in beiden eigenen Untersuchungen deutlich, dass bestimmten Prepometer®-Dioden kein definierter Substanzabtrag zugeordnet werden kann. Im experimentellen Versuchsaufbau lagen die Abtragsbeträge für Diode 1 (grün) zwischen 0,38 mm und 1,62 mm, für Diode 3 (grün) zwischen 1,34 mm und 3,99 mm, für Diode 6 (orange) zwischen 1,99 mm und 5,12 mm und für Diode 7 (orange) zwischen 2,21 mm und 6,06 mm. In der klinischen Studie lagen die Abtragsraten für Diode 1 (grün) zwischen 0,6 mm und 1,7 mm, für Diode 3 (grün) zwischen 1,8 mm und 2,5 mm, für Diode 6 (orange) zwischen 1,8 mm und 4,00 mm und für Diode 7 (orange) zwischen 1,2 mm und 2,4 mm. Dabei sind Anteile der Schwankungen auch zu erklären durch den bei Beginn der Präparation bereits bestehenden Schmelzverlust durch Abrasion und Attrition.

## 5.4. Grenzen des Einsatzbereiches des Prepometers®

In Kenntnis der hohen Prozentzahlen zur Desensibilität/„Devitalität“ von Zähnen nach der Überkronung könnte man nach den positiven Ergebnissen der vorliegenden in-vitro Studie und in-vivo Studie generell die Anwendung des Prepometers® bei der Präparation fordern.

Das Verfahren der Widerstandsmessung wurde bereits 1999 in einer wissenschaftlichen Stellungnahme der Deutschen Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde (DGZMK) zur Qualitätssicherung empfohlen (Hellwig et al. 1999). Das Prepometer® ist das einzige auf dem Markt befindliche Gerät, das nach dem Prinzip der Widerstandsmessung arbeitet.

Einschränkungen der Anwendung wären möglich durch

- Faktoren, die die physikalischen Gesetzmäßigkeiten beeinflussen, die dem Verfahren zugrunde liegen.
- mangelnde Bereitschaft der Behandler, das Verfahren anzuwenden.
- fehlendes Einverständnis des Patienten, das Verfahren anwenden zu lassen.

Der Erfolg einer richtigen Widerstandsmessung auf der Dentinoberfläche mit dem resultierenden Nutzen in der klinischen Anwendung basiert auf der Voraussetzung, für die Messung einen geschlossenen Stromkreis zu schaffen. Demnach grenzen Faktoren, die diesen geschlossenen Stromkreis unterbrechen oder beeinflussen und damit die gemessenen Werte verfälschen, den Anwendungsbereich ein. Von Seiten des Herstellers wird auf diese Faktoren innerhalb der Bedienungsanleitung des Prepometers® eingegangen. Die Messung auf der Dentinoberfläche beruht auf einem Stromfluss im Elektrolyten innerhalb der Dentinkanälchen. Es ist selbstverständlich, dass die Methode nicht auf Füllungsflächen angewandt werden kann. Im an Füllungen angrenzenden Dentinrandbereich können Messfehler auftreten (Wenz 1990). Das Dentin selbst unterliegt Veränderungen seiner Struktur. Dabei ist auch gesundes Dentin einer Altersveränderung unterworfen (Fromme und Riedel 1970, Schroeder 1993). Nach *Schroeder* wird das Dentin im Alter dicker, das Wurzeldentin sklerosiert von apikal nach koronal. Das sklerosierte Dentin wird härter, brüchiger, wasserärmer, durchsichtig und weniger kariesanfällig. Obliterierte Dentinkanälchen und der Verlust der elektrolytischen Gewebeflüssigkeit würden die korrekte Anwendung der Methode in Frage stellen, da die ungestörte Leitfähigkeit des Dentins bezweifelt werden müsste. Ebenso muss hinterfragt werden, ob Dentinstrukturen, die aufgrund vorausgegangener pathologischer Einflüsse, verändert sind, eine korrekte Messung zulassen. Erste in-vitro Untersuchungen von *Wenz* konnten bestätigen, dass der Einsatz eines Widerstandsmessgerätes auf glasigem Reizdentin nicht möglich, auf strukturverändertem Dentin nur mit schlecht kalkulierbarer Genauigkeit möglich war (Wenz 1990).

Weitere Untersuchungen zu diesen Bereichen müssen der vorliegenden Studie folgen. Darüber hinaus wäre ein Einfluss des zweiten Elektrolyten, des Speichels, in den die Bezugselektrode im Mundvorhof eingehängt wird, bei Mundtrockenheit denkbar und sollte untersucht werden. Da die Messung mit dem Prepometer® in direktem Anschluss an die wassergekühlte Präparation stattfindet, kann allerdings davon ausgegangen werden, dass die vorhandene verbleibende intraorale Feuchtigkeit durch die Wasserkühlung eine exakte Messung auch im ansonsten trockenen Milieu gewährleistet.

Eine wissenschaftliche Untersuchung zur Praktikabilität des Verfahrens, z.B. im Rahmen der Auswertung eines Fragebogens, wurde noch nicht durchgeführt. Alle Behandler, die im Rahmen der vorliegenden Studien das Prepometer® innerhalb ihrer Tätigkeit einsetzten, berichten über eine problemlose Anwendung des Gerätes. Von Seiten des Herstellers und Vertreibers wird erklärt, dass vor allem niedergelassene Zahnärzte, die das Prepometer® nicht benutzen, im Rahmen von Informationsveranstaltungen, Nutzen und Praktikabilität des Gerätes in Frage stellen. Während der Präparation wird die Messung mit dem Prepometer® als möglicher Zeitverzug angesehen, ohne den die Präparation schneller abgeschlossen werden könnte. Eine erstmalige Anwendung des Prepometers® wird als „umständlich“ eingestuft. Viele Zahnärzte sind von der Notwendigkeit und dem Nutzen der Widerstands-messung nicht überzeugt, oftmals in Unkenntnis der in der Literatur dokumentierten Zahlen zu Desensibilität/„Devitalität“ von Zähnen nach der Überkronung. Das Studium der Bedienungsanleitung und die Umsetzung der Vorgaben in der erstmaligen klinischen Anwendung widerlegen diese subjektiven ersten Eindrücke.

Mögliche Messfehler entstehen bei der Anwendung, wenn die Messung gestartet wird, noch bevor die Schmelzschicht restlos entfernt ist. Das Kontrolllicht der ersten grünen Leuchtdiode des Prepometers® blinkt. Interpretiert wird dieses Blinken fälschlicherweise als Defekt des Gerätes. Nimmt die Präparationstiefe zu und die Messung wird wiederholt, so kann die korrekte Funktion durch ein dauerhaftes Leuchten einer Diode bestätigt werden. Bei Durchführung der Widerstandsmessung durch die Studenten konnten

vereinzelt Fehler in der Handhabung des Prepometers® beobachtet werden. Dazu zählen die Benetzung der Zahnoberfläche mit einem Speichelfilm oder Blut, was die Messung verfälscht. In einigen Fällen war eine Messung nicht sofort möglich, da die Kapillare an der Messelektrode nicht gängig war. Wahrscheinlich ist hierbei eine mögliche Verstopfung nach der Sterilisation. Es wird daher empfohlen, die Kapillare vor dem erstmaligem Gebrauch vorsichtig mit einer sterilen Endodontienadel auf Gängigkeit zu prüfen. Ebenso muss die Kapillare vor den Messungen mit physiologischer Kochsalzlösung aufgezogen werden. Die Silikonmanschette, die als Abdichtung gegen die umgebende Dentinfläche dient, sollte nach jedem Patienten gewechselt werden. Sind diese Dinge geprüft und wird nach der Bedienungsanleitung verfahren, ist die Widerstandsmessung einfach und schnell durchführbar. Benötigt wird pro Messung ungefähr eine Minute (Gente 1995). Innerhalb der Testgruppen wurde das Prepometer® gern eingesetzt, wenn für die spätere Restauration der maximal mögliche Substanzabtrag gewünscht war. Die Anwendung gibt dem Behandler Sicherheit bei der Behandlung, der Einsatz des Gerätes wird in diesen Fällen als „Notwendigkeit“ beschrieben. Vor dem Hintergrund steigender Zahlen rechtlicher Auseinandersetzungen in Arzthaftungsprozessen kann dem Einsatz des Prepometers® als qualitätssichernde Behandlungsmassnahme ein positiver forensischer Nutzen bescheinigt werden.

Vor Anwendung des Prepometers® sollte der Patient kurz über den Nutzen und die Funktionsweise des Gerätes aufgeklärt werden. Vereinzelt zeigten die Patienten eine gewisse Besorgnis, wenn über eine „elektrische Messung“ an ihren Zähnen gesprochen wurde. Es ist Aufgabe des Behandlers, die Funktion und Unbedenklichkeit des Gerätes verständlich zu erklären. In einigen Fällen wurde nach der Messung vonseiten der Patienten über eine kurze Schmerzsensation bei der Messung berichtet, die mit einem kurzen „Stromschlag“ verglichen wurde. Diese Ereignisse wurden nur bei Patienten beobachtet, bei denen die eigentliche Präparation ohne Anästhesie vorgenommen wurde. Um dem Patienten jegliche unangenehme Reizung zu ersparen, sollte bei Bedarf eine lokale Anästhesie vorgenommen werden. Vor dem Hintergrund einer maximalen Schonung ihrer eigenen Zähne war von den Patienten die Zustimmung zu der qualitätsichernden Widerstandsmessung die Regel.

# 6. Zusammenfassung

Läßt man bewusst neue minimalinvasive Präparationsformen und erst im Anfangsstadium der klinischen Untersuchung befindliche moderne Werkstoffe aus dem Gebiet der adhäsiven Zahnheilkunde unberücksichtigt, konzentriert man sich auf die klassische Kronen-Brücken-Prothetik, so erfordert die Überkronung eines Zahnes immer einen Abtrag von Zahnhartsubstanz, der in der Regel bis in das Dentin reicht. Bei der Präparation entsteht damit an der Dentinoberfläche eine von der Anzahl und dem Gesamtquerschnitt der angeschnittenen Dentinkanälchen abhängige Wundfläche. Neben anderen Parametern, wie beispielsweise dem Einfluss der Temperaturentwicklung an der Präparationsoberfläche und der chemischen Irritation durch Füllungsmaterialien, wurde in der Vergangenheit vor allem der nach Präparation verbleibenden Dentinschicht über der Pulpa große Bedeutung hinsichtlich Erhaltung von Sensibilität und Vitalität eines Zahnes zugesprochen. Es hat sich die Forderung nach einer Mindestdentindicke von 0,7 mm für Zähne Erwachsener und 1,4 mm für Zähne Jugendlicher etabliert (Jüde et al. 1997). Aus diesen unterschiedlichen Dickenangaben wird deutlich, dass auch in der Vergangenheit bereits die unterschiedliche Dentinstruktur und daraus folgend die unterschiedliche Permeabilität für mögliche Noxen Berücksichtigung fand.

Zahlreiche Untersuchungen von *Gente* und verschiedenen Mitarbeitern belegen (Gente 1987, Feige 1989, Wenz 1990, Gente und Wenz 1991, Gente 1992, Becker-Detert 1993, Gente 1995, Netsch 1995), dass für die Begrenzung der Präparationstiefe der Methode der Widerstandsmessung an der Dentinoberfläche der Vorzug zu geben ist gegenüber anderen Verfahren wie beispielsweise der Präparation von Orientierungsrillen oder der Interpretation von Röntgenbildern. Das von *Gente* entwickelte Verfahren wird bereits 1999 in der offiziellen Stellungnahme der Deutschen Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde zur „Präparationstechnik als Grundlage der Qualitätssicherung“ zur Anwendung empfohlen. Allerdings finden sich in dieser Stellungnahme auch wieder die oben angegebenen Werte zur geforderten Mindestdentindicke nach Präparation (Hellwig et al. 1999). Die Ergebnisse der vorliegenden Unter-

suchungen zeigen, dass diese Werte in weiteren klinischen Studien kritisch hinterfragt werden sollten.

Das Gerät zur Begrenzung der Präparationstiefe (Prepometer®, Hager & Werken) verdeutlicht dem Behandler optisch durch das Aufleuchten von 10 aufeinander folgenden Leuchtdioden den Fortschritt des Substanzabtrages. Dabei wird von Seiten des Herstellers eine Präparation maximal bis Aufleuchten der Diode 7 (letzte orangefarbene Diode) empfohlen, um eine Schädigung der Pulpa zu vermeiden.

Die Ergebnisse der vorliegenden in-vitro Untersuchung zeigen, dass nach Entfernung der Dentinschicht bis auf das bisher als Referenz angegebene Minimum von 0,7 mm Restdentinstärke für Zähne von Erwachsenen in fast 93% der untersuchten Messpunkte die empfohlene Begrenzung der Präparationstiefe (Leuchtdiode 7 (orange) des Prepometers®) überschritten wurde. Symptome einer möglichen irreversiblen Schädigung der Pulpagewebe sind jedoch zu diesem Zeitpunkt nur histologisch nachzuweisen. Dem Aufleuchten der verschiedenen Leuchtdioden sind keine konstanten Dentindicken zuzuordnen. Bestätigt werden die Ergebnisse von *Netsch* (Netsch 1995), nach denen weniger die Restdentindicke nach Präparation als vielmehr die Dentinwunde und deren Permeabilität unter dem Aspekt der Vermeidung eines Pulpatraumas Beachtung finden sollte. Die Anwendung des Prepometers® folgt mittels Messung lokaler Widerstandswerte diesem Ansatz.

Die Ergebnisse der in-vivo Nachuntersuchungen bescheinigen der Anwendung des Prepometers® ein positives Zeugnis. Kein unter Anwendung des Prepometers® präparierter Zahn reagierte zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung desensibel. In der Kontrollgruppe fand sich in 21,1% des Gesamtkollektivs eine negative Reaktion auf die Sensibilitätskontrolle. Die Literatur beschreibt vergleichbare Werte mit starker Streuung zwischen 0,06% und 25 % und unterschiedlichen Studiendesigns.

Anhand der vorliegenden Untersuchung muss die vermehrte Anwendung des Prepometers® zur Qualitätssicherung empfohlen werden. Die gewonnenen Daten müssen in einer größeren Testgruppe überprüft werden. Dabei sollte auch der kritischen Einschätzung der Praktikabilität des Verfahrens auf altersverändertem Dentin oder strukturverändertem Dentin (Tertiärdentin) Beachtung geschenkt werden.

# 7. Summary

Concentrating on the classic field of fixed partial dentures a tooth normally has to be prepared through the enamel into the dentine-surface for complete coverage restorations. With preparation there accures a dentine-wound. Its extension depends on the number and total extrusion of injured dentine tubules. Beside other parameters like for example the influence of rising temperature on the preparation-surface and effects of chemical components within dental filling materials, there was discussed intensively the importance of remaining dentine-thickness above the pulp after tooth preparation in order to keep pulp sensitivity and vitality of the tooth.
The postulation to limite preparation at a minimum thickness of dentine of 0,7 mm for teeth of adults and 1,4 mm for teeth of adolescent persons is wellknown and established in Germany (Jüde et al. 1997). These differences show, that even in the past, there was considered the different structure of dentine, which could be responsible for varying permeability for supposable damaging agents.

Various studies from *Gente* and coworkers (Gente 1987, Feige 1989, Wenz 1990, Gente and Wenz 1991, Gente 1992, Becker-Detert 1993, Gente 1995, Netsch 1995) show, that the method of measuring electrical resistance on the tooths surface to limite the depth of preparation is to prefer to other techniques like for example the preparation of depth cuts or the interpretation of x-rays. *Gente* developed a procedure, which was recommended to users already in 1999 by the German Society of Dentistry and Oral Medicine (GSDOM) in their official statement “preparation technique as basis for quality assurance”. But in the same statement the authors again citate the established data for minimum dentin-thickness as described above (Hellwig et al. 1999). The results of the present study clarify, that these specifications have to be questioned critically within further clinical trials.

The used device to limite preparation depth (Prepometer®, Hager & Werken, Germany) shows the dentist by flashing of 10 different coloured light emitting diodes (LEDs) the progress of substance reduction. The manufacturer

recommends a preparation only up to LED Nr. 7 (orange coloured) to avoid pulpal injury.

The results of the present experimental record (in-vitro) demonstrate, that after reducing enamel and dentine to the minimum of 0,7 mm , described as reference data for adults by *Jüde* and coworkers (Jüde at al. 1997), there was exceeded the recommended preparation depth, concerning to orange coloured LED Nr. 7 in nearly 93% of the examined measuring points. At this time possible symptoms of a perhaps irreversible injury of the pulp can only be proven in histology.
There exists no constant data of dentin thickness, related to the different LEDs. The results of *Netsch* (Netsch 1995) are confirmed. He figured out, that the dentist has to pay attention more to the surface area of the dentine wound and its permeability and less to the minimum thickness of dentine to avoid pulpal injury. The functionality of the Prepometer® follows this principle by measuring local electrical resistance.

The results of the present clinical record (in-vivo) attest the application of the Prepometer® positive reference data. All teeth, prepared with control-measurement by the Prepometer®, kept a positive pulpal sensitivity up to the time of 2-5 years. In the control group however 21,1% of the examined teeth had a negative pulp testing. This results are comparable with other wide spreading data between 0,06% - 25% and different study-designs in the dental literature.

Based on the results of the described present studies, we can recommend an extended use of the Prepometer® for quality assurance. The data should be reevaluated in a bigger test-group within further clinical trials. Then there has to be examined also the practicability of the described method on structural alterated dentine, influenced by age or adaptation to pathologic processes.

# 8. LITERATURVERZEICHNIS

**Al-Nawas, B.:**
Röntgenbilder in der klinischen Forschung – zukünftig ein Widerspruch?
Dtsch Zahnärztl Z 57, 327-329 (2002).

**Becker-Detert, D.:**
Untersuchungen zum spezifischen elektrischen Widerstand von Dentinproben menschlicher Zähne.
Med Diss, Marburg (1993).

**Brännström, M.:**
The effect of dentin desiccation and aspirated odontoblasts on the pulp.
J Prosthet Dent 20, 165-171 (1968).

**Christensen, G.J.:**
Tooth preparation and pulp degeneration.
J Am Dent Assoc 128, 353-354 (1997).

**Evans, D., Reid J., Strang, R., Stirrups, D.:**
A comparison of laser Doppler flowmetry with other methods of assessing the vitality of traumatised anterior teeth.
Endod Dent Traumatol 15, 284-290 (1999).

**Feige, G.:**
In vitro Messungen des elektrischen Widerstandes an präparierten menschlichen Zähnen.
Med Diss, Marburg (1989).

**Foster, L.V.:**

Failed conventional bridge work from general dental practice: clinical aspects and treatment needs of 142 cases.
Br Dent J 168, 199-201 (1990).

**Franke, H.:**

Lexikon der Physik.
3. Auflage, Franckh´sche Verlagshandlung, W. Keller & Co., Stuttgart, S. 105 (1969).

**Fromme, H.G., Riedel H.:**

Messungen über die Weite der Dentinkanälchen an nichtentmineralisierten bleibenden Zähnen und Milchzähnen.
Dtsch Zahnärztl Z 25, 401-405 (1970).

**Garberoglio, R., Brännström, M.:**

Scanning electron microscopic investigation of human dentinal tubules.
Arch Oral Biol 21, 355-362 (1976).

**Gente, M.:**

Messungen zur Pulpaausdehnung an präparierten Molaren.
Dtsch Zahnärztl Z 42, 380-382 (1987).

**Gente, M.:**

Untersuchungen zur Begrenzung der Präparationstiefe bei der Kronenpräparation durch elektrische Widerstandsmessungen.
Habilitationsschrift, Marburg (1992).

**Gente, M.:**

Begrenzung der Präparationstiefe durch elektrische Widerstands-messungen.
Dtsch Zahnärztl Z 50, 658-660 (1995).

**Gente, M., Wenz, H.J.:**

Nicht-invasive Methode der Dentinwiderstandsmessung zur Begrenzung der Präparationstiefe.

Dtsch Zahnärztl Z 46, 771-773 (1991).

**Hartmann, A., Azerad, J., Boucher, Y.:**

Environmental effects on laser Doppler pulpal blood-flow measurements in man.

Arch Oral Biol 41, 333-339 (1996).

**Hellwig, E., Kimmel, K., Lehmann, K.M.:**

Präparationstechnik als Grundlage der Qualitätssicherung.

Wissenschaftliche Stellungnahme der Deutschen Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde (DGZMK), der Deutschen Gesellschaft für Zahnerhaltung (DGZ) und der Deutschen Gesellschaft für Prothetik und Werkstoffkunde (DGZPW).

Dtsch Zahnärztl Z 54, 739-740 (1999).

**Hofmann, M.:**

Die Temperaturentwicklung im Pulpenkavum und an der Schnittfläche bei der Präparation der Zahnhartsubstanz unter Verwendung der Turbine.

Dtsch Zahnärzt Z 16, 584-590 (1961).

**Hugel, R.:**

Untersuchungen über die Wandstärken von Schmelz und Dentin an oberen Frontzähnen und Prämolaren.

Med Diss, Würzburg (1970).

**Jackson, C.R., Skidmore, A.E., Rice, R.T.:**

Pulpal evaluation of teeth restored with fixed prostheses.

J Prosthet Dent 67, 323-325 (1992).

**Jokstad, A., Mjor, I.A.:**

Ten years' clinical evaluation of three luting cements.

J Dent 24, 309-315 (1996).

**Jüde, H.D., Kühl, W., Rossbach, A.:**

Einführung in die Zahnärztliche Prothetik.

5. völlig neu bearbeitete Auflage, Deutscher Ärzte-Verlag GmbH, Köln, S. 44-48 und 73-75 (1997).

**Jung, T.:**

Der Wert des Röntgenbildes bei der Präparation von Kronen.

Dtsch Zahnärztl Z 39, 801-806 (1984).

**Kerschbaum, T.:**

Das Risiko des Vitalitätsverlustes nach einer Überkronung.

Mitt Dtsch Ges Zahn Mund Kieferheilk 2 (2), 12 (1983).

**Kerschbaum, T.:**

Re:Fwd: Wiss. Stellungnahme in der DZZ?

(Persönliche Mitteilung als e-mail).

e-mail: T.Kerschbaum@uni-koeln.de (28.07.2003) (2003a).

**Kerschbaum, T.:**

Das Risiko des Vitalitätsverlustes nach einer Überkronung.

Wissenschaftliche Stellungnahme der Deutschen Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde (DGZMK).

URL: http://www.dgzmk.de/stellung/vitalverlustueberkronung.pdf

URL: http://www.dgzmk.de/set5.htm (18.08.2003) (2003b).

**Kerschbaum, T., Voß, R.:**

Zum Risiko durch Überkronung.

Dtsch Zahnärztl Z 34, 740-743 (1979).

**Kerschbaum, T., Voß, R.:**

Die praktische Bewährung von Krone und Inlay.

Dtsch Zahnärztl Z 36, 243-249 (1981).

**Kerschbaum, T., Leempoel, P.J.B.:**

Kronen und Brücken – Konsequenzen aus Langzeitergebnissen.

In: Voß, R., Meiners, H. (Hrsg.): Fortschritte in der Zahnärztlichen Prothetik und Werkstoffkunde (Bd. 4).

Carl Hanser Verlag, München Wien, S. 124-125 (1989).

**Ketterl, W.:**

Studie über das Dentin der permanenten Zähne des Menschen.

Stoma 17, 79-96 und 148-163 (1961).

**Klaiber, T., Voß, R.:**

Der Kühleffekt verschiedener Spraysysteme bei Turbine und Schnellaufwinkelstück.

Dtsch Zahnärztl Z 40, 1194-1197 (1985).

**Klötzer, W.T.:**

Tierexperimentelle Prüfung von Materialien und Methoden der Kronen- und Brückenprothetik.

Habilitationsschrift, Tübingen (1971).

**Klötzer, W.T.:**

Die traumatische Schädigung der Pulpa bei der Überkronung.

Dtsch Zahnärzt Z 39, 791-794 (1984).

**Kühl, W., Tabata, T.:**

Angewandte Morphologie der Zähne.

Hanser, München Wien (1968).

**Kühl, W.:**

Zur Eignung unterer Frontzähne für Kronenersatz.
Dtsch Zahnärztl Z 24, 707-711 (1969).

**Langeland, K., Langeland, L.K.:**

Pulp reactions to crown preparation, impression, temporary crown fixation, and permanent cementation.
J Prosthet Dent 15, 129-143 (1965).

**Lehmann, K.M.:**

Einführung in die Zahnersatzkunde.
6. überarbeitete Auflage, Urban & Schwarzenberg, München, S. 87–89 (1988).

**Lehmann, K.M., Hellwig, E.:**

Zahnärztliche Propädeutik.
9. überarbeitete Auflage, Urban & Fischer, München Jena, S. 169-172 (2002).

**Lockard, M.W.:**

A retrospective study of pulpal response in vital adult teeth prepared for complete coverage restorations at ultrahigh speed using only air coolant.
J Prosthet Dent 88, 473-478 (2002).

**Marxkors, R.:**

Lehrbuch der zahnärztlichen Prothetik.
Carl Hanser Verlag, München Wien, S. 19–22 und 26-40 (1991).

**Meeuwissen, R., Eschen, S.:**

Prosthodontic treatment and retreatment of 845 servicemen.
J Prosthet Dent 53, 425-47 (1985).

**Morozumi, M.:**

Measurement of the Dentin Thickness with an Ultrasonic Pulse-Echo Technique.

Journal of the Japan Prosthodontic Society 29, 15-29 (1985).

**Morozumi, M., Shiotawa, I., Tabata, T.:**

The Developement of Ultrasonic Diagnostic Equipment for Dental Use.

Journal of the Japan Prosthodontic Society 31, 381-388 (1987).

**Murray, P.E., Stanley, H.R., Matthews, J.B., Sloan, A.J., Smith, A.J.:**

Age-related odontometric changes of human teeth.

Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 93, 474-482 (2002).

**Murray, P.E., Smith, A.J., Windsor, L.J., Mjor, I.A.:**

Remaining dentine thickness and human pulp responses.

Int Endod J 36, 33-43 (2003).

**Nentwig, G., Eifinger, F.:**

Beitrag zur systematischen Kronenpräparation (I).

Quintessenz 32, 277-284 (1981).

**Netsch, D.:**

Untersuchungen zur Korrelation der Länge, der Dichte und des Querschnittes der Dentinkanälchen mit dem elektrischen Widerstand.

Med Diss, Marburg (1995).

**Neuerburg, B.:**

Die Reaktion der Pulpa auf mit Phosphatzement gefüllte Kavitäten in Abhängigkeit von der Dentindicke und vom Dentinwiderstand, - Eine an Praemolaren des Deutschen Hausschweines durchgeführte in-vivo-Studie -.

Med Diss, Marburg (1994).

**Polansky, R., Reichhold, Ch., Lorenzoni, M., Haas, M., Arnetzl, G., Bratschko, R.O.:**

Die Topographie der Pulpa im Seitenzahnbereich nach Stufenpräparation für vollkeramische Kronen. Eine experimentelle Untersuchung.
Dtsch Zahnärzt Z 53, 643-647 (1998).

**Randow, K., Glantz, P.O., Zoger, B.:**

Technical failures and some related clinical complications in extensive fixed prosthodontics. An epidemiological study of long-term clinical quality.
Acta Odontol Scand 44, 241-255 (1986).

**Schaaf, R.:**

Untersuchungen über die Ausmaße von Schmelz und Dentin an unteren Frontzähnen und Prämolaren.
Med Diss, Würzburg (1971).

**Schroeder, H.E.:**

Alternsveränderungen an Zahnhart- und –weichgeweben des Menschen.
Dtsch Zahnärzt Z 48, 607-610 (1993).

**Schroeder, H.E.:**

Orale Strukturbiologie.
4., überarbeitete Auflage, Georg Thieme Verlag, Stuttgart New York, S. 85-123 (1992).

**Schuchard, A, Watkins, C. E.:**

Thermal and histologic response to high-speed and ultrahigh-speed cutting In tooth structure.
J Am Dent Assoc 71, 1451-1458 (1965).

**Scotti, R., Villa, L., Carossa, S.:**

A radiologic method for determining the thickness of the hard crown tissues.
J Prosthet Dent 62, 633-637 (1989).

**Seltzer, S., Bender I. B.:**

Early human pulp reactions to full crown preparations.

J Am Dent Assoc 59, 915-930 (1959).

**Stambaugh, R.V., Wittrock, M.A.:**

The relationship of the pulp chamber to the external surface of the tooth.

J Prosthet Dent 37, 537-546 (1977).

**Strub, J.R., Türp, J.C., Witkowski, S., Hürzeler, M.B., Kern, M.:**

Curriculum Prothetik.

Band II, Quintessenz Verlags-GmbH, Berlin, S. 585-596 (1994).

**Swerdlow, H., Stanley, H.Jr.:**

Reaction of human dental pulp to cavity preparation. 2. at 150.000 rpm with air-water spray.

J Prosthet Dent 9, 121-131 (1959).

**Suzuki, K.:**

Experimental Studies on Iontophoresis.

Journal of the Japanese Stomatologic Society 16, 1–19 (1941).

**Valderhaug, J., Jokstad, A., Ambjornsen, E., Norheim, P.W.:**

Assessment of the periapical and clinical status of crowned teeth over 25 years.

J Dent 25, 97-105 (1997).

**Vogelsang:**

Die Reaktion der Pulpa auf plötzlichen Schmelzmangel.

Deutsche Monatsschrift für Zahnheilkunde 4, 115-116 (1922).

**Weber, H.:**

Präparation und temporäre Versorgung.
In: Hupfauf, L. (Hrsg.): Praxis der Zahnheilkunde, Band 5 (Festsitzender Zahnersatz), Urban & Schwarzenberg, München, pp 61-67 (1987).

**Wenz, H.-J.:**

Begrenzung der Präparationstiefe durch Messung des elektrischen Widerstandes des Dentins, - Eine in-vitro-Untersuchung -.
Med Diss, Marburg (1990).

**Wenz, H.-J.:**

Experimentelle Studien zur Temperaturentwicklung und histologische Sofortreaktion bei höchsttouriger Präparation in vitro.
Habilitationsschrift, Marburg (2000).

**Wenz, H.-J.:**

Pulpaschonende Kronenpräparation mit rotierenden Instrumenten.
Antrittsvorlesung im Rahmen der Habilitation, Marburg (26.10.2001).

**Wichmann, M.:**

Kronen und Brücken.
Wissenschaftliche Stellungnahme der Deutschen Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde (DGZMK).
Dtsch Zahnärztl Z 54, 469-470 (1999).

**Zilberman, U., Smith, P.:**

Sex- and age-related differences in primary and secondary dentin formation.
Adv Dent Res 15, 42-45 (2001).

# 9. ANHANG

Verzeichnis der Abbildungen:

Abb. 1: Aufbau eines Zahnes (Seite 4)
Abb. 2: Schema des Verlaufes der Odontoblastenfortsätze im Dentin (S. 5)
Abb. 3: Modell zur Annäherung der Form eines Dentinkanals (S. 9)
Abb. 4: Widerstand von Dentinarealen als Funktion der Dentindicke über der Pulpa (S. 10)
Abb. 5: Zuordnung verschiedener Widerstandsbereiche `Messelektrode-Kronenpulpa` zur Leuchtdiodenskala des Prepometers® (S. 13)
Abb. 6: Versuchsaufbau mit Probenhalter und Messuhr (S. 15)
Abb. 7: Zahn im Probenhalter fixiert (S. 15)
Abb. 8: Probenhalter und Prepometer® (S. 15)
Abb. 9: Das Prepometer® (S. 16)
Abb. 10: Messuhr im Versuchsaufbau (S. 18)
Abb. 11: Anwendung des Prepometers® am Probanden (S. 20)
Abb. 12: Verteilung innerhalb der Gruppen 1 und 2 (Testgruppen); Kontrolle der präparierten Zähne mit Anwendung des Prepometers® (S. 21)
Abb. 13: Ausfallquote (Drop-out) innerhalb der Gruppe 1 (Testgr. 1) (S. 22)
Abb. 14: Ausfallquote (Drop-out) innerhalb der Gruppe 3 (Kontr.gr.) (S. 23)
Abb. 15: Messung der Dicke eines Provisoriums mit dem Tasterzirkel (S. 25)
Abb. 16: Korrelation von Zahnhartsubstanzdicke (Schmelz und Dentin) und Widerstand, dargestellt durch die Leuchtdioden des Prepometers®, bei zunehmender Präparationstiefe (S. 28)
Abb. 17: Korrelation von Dentindicke über der Pulpa und Widerstand, dargestellt durch die Leuchtdioden des Prepometers®, bei zunehmender Präparationstiefe (S. 30)

Abb. 18: Darstellung aller Messkurven zur Korrelation von Zahnhartsubstanzdicke (Schmelz und Dentin/ Dentin) und Widerstand, dargestellt durch die Leuchtdioden des Prepometers®, bei zunehmender Präparationstiefe (S. 31)

Abb. 19: Darstellung der Zahnhartsubstanzdicke (Schmelz und Dentin) über den Widerstandsminima (S. 35)

Abb. 20: Darstellung der Dentindicke über den Widerstandsminima (S. 37)

Abb. 21: Kreisdiagramm zur Sensibilitätskontrolle der präparierten Zähnen unter Anwendung des Prepometers® (S. 38)

Abb. 22: Verteilung der gemessenen maximalen Prepometer®werte an n=16 Probanden mit n=25 Zähnen/Messpunkten (S. 40)

Abb. 23: Kreisdiagramm zur Sensibilitätskontrolle (und Nebenbefunden) der präparierten Zähne ohne Anwendung des Prepometers® (S. 40)

Abb. 24: Kreisdiagramm zur Sensibilitätskontrolle der präparierten Zähne ohne Anwendung des Prepometers® (S. 42)

Verzeichnis der Tabellen:

Tab. 1: Darstellung der Gesamthartsubstanzdicke (Schmelz und Dentin) oberhalb der Pulpa vor und nach standardisiertem Substanzabtrag von 2 mm (Seite 27)

Tab. 2: Dentindicke (in mm) oberhalb der Widerstandminima von Zähnen bei Aufleuchten der „Diode 7“ des Prepometers® (S. 33)

# Daten der in-vitro Untersuchungen (Ergebnisauswertung in Kapitel 4.1.):

**Dicke der Zahnhartsubstanz Dentin (in mm) oberhalb der Widerstandsminima von Zähnen (gleiche Zähne alphabetisch geordnet) korrespondierend zur Leuchtdiodenanzeige (LED) des Prepometers®**
**(LED 1 – 10, P = Pulpa):**

| Zahn | 18a | 18a | 18a | 18b | 18b | 18b | 18c | 18c | 18c | 17 | 17 | 17 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Fläche | p | mb | db | p | mb | db | p | mb | db | m | d | p |
| P | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 10 | 0,50 | 0,43 | 0,53 | 0,50 | 0,47 | 0,24 | 0,11 | 0,14 | 1,06 | 0,61 | 0,86 | 0,86 |
| 9 | 0,85 | 0,46 | 0,58 | 0,85 | 0,50 | 1,30 | 0,65 | 0,53 | 1,89 | 1,21 | 1,72 | 1,52 |
| 8 | 1,20 | 0,85 | 0,63 | 1,20 | 0,89 | 1,30 | 0,77 | 0,96 | 2,17 | 1,27 | 2,13 | 1,62 |
| 7 | 1,41 | 1,24 | 0,71 | 1,41 | 1,28 | 1,06 | 0,89 | 1,39 | 2,45 | 1,33 | 2,54 | 1,72 |
| 6 | 1,61 | 1,81 | 1,36 | 1,61 | 2,15 | 1,71 | 1,04 | 1,55 | 2,68 | 1,54 | 2,57 | 1,82 |
| 5 | 2,00 | 1,87 | 1,42 | 2,00 | 2,18 | 1,77 | 1,20 | 1,55 | 2,68 | 1,75 | 2,59 | 1,92 |
| 4 | 2,39 | 1,92 | 1,47 | 2,39 | 2,20 | 1,82 | 1,35 | 1,71 | 2,90 | 1,84 | 2,73 | 2,03 |
| 3 | 2,68 | 1,95 | 1,78 | 2,45 | 2,49 | 2,03 | 1,50 | 2,19 | 3,18 | 1,93 | 2,87 | 2,13 |
| 2 | 2,68 | 2,04 | 2,16 | 2,75 | 2,58 | 2,41 | 2,33 | 2,67 | 3,18 | 2,01 | 3,01 | 2,24 |
| 1 | 2,96 | 2,55 | 2,24 | 2,90 | 3,09 | 2,49 | 2,70 | 3,46 | 3,46 | 2,10 | 3,14 | 2,34 |

| Zahn | 21 | 28a | 28a | 28a | 28b | 28b | 28b |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Fläche | | mb | db | p | mb | db | p |
| P | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 10 | 0,09 | 0,51 | 0,43 | 0,61 | 0,66 | 0,47 | 0,58 |
| 9 | 0,13 | 0,67 | 0,61 | 0,64 | 0,82 | 0,65 | 0,67 |
| 8 | 0,74 | 0,82 | 0,61 | 0,67 | 0,98 | 0,65 | 0,76 |
| 7 | 1,42 | 1,08 | 0,79 | 0,70 | 1,24 | 0,83 | 0,85 |
| 6 | 1,48 | 1,48 | 1,05 | 0,72 | 1,58 | 1,09 | 0,93 |
| 5 | 1,87 | 1,87 | 1,39 | 1,19 | 1,92 | 1,39 | 1,39 |
| 4 | 1,87 | 2,00 | 1,39 | 1,19 | 2,05 | 1,39 | 1,39 |
| 3 | 2,26 | 2,12 | 1,74 | 1,65 | 2,17 | 1,68 | 1,86 |
| 2 | 2,55 | 2,22 | 2,01 | 2,01 | 2,22 | 1,95 | 2,13 |
| 1 | 2,83 | 2,32 | 2,28 | 2,36 | 2,27 | 2,21 | 2,40 |

| Zahn | 33a | 33b | 36 | 36 | 36 | 36 | 37 | 37 | 37 | 43 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Fläche | | | mb | db | ml | dl | m | d | l | |
| P | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 10 | 1,69 | 0,13 | 0,46 | 0,60 | 0,91 | 0,75 | 1,69 | 1,24 | 1,04 | 1,01 |
| 9 | 1,82 | 0,25 | 1,03 | 1,43 | 0,92 | 1,03 | 1,82 | 1,42 | 1,17 | 1,24 |
| 8 | 2,22 | 0,76 | 1,03 | 1,44 | 1,12 | 1,21 | 2,28 | 1,74 | 1,64 | 1,47 |
| 7 | 2,63 | 1,29 | 1,60 | 1,44 | 1,32 | 1,39 | 2,74 | 2,05 | 1,94 | 1,70 |
| 6 | 2,96 | 1,33 | 1,77 | 1,44 | 1,47 | 1,65 | 2,97 | 2,50 | 2,24 | 1,81 |
| 5 | 3,26 | 1,38 | 1,94 | 1,44 | 1,59 | 1,83 | 3,27 | 2,81 | 2,68 | 1,91 |
| 4 | 3,26 | 1,48 | 2,11 | 1,44 | 1,59 | 1,83 | 3,27 | 2,81 | 2,68 | 2,27 |
| 3 | 3,84 | 1,57 | 2,28 | 1,73 | 1,72 | 2,00 | 3,85 | 3,42 | 3,55 | 2,90 |
| 2 | 3,84 | 1,68 | 2,31 | 1,79 | 1,97 | 2,25 | 3,85 | 3,42 | 3,55 | 3,73 |
| 1 | 4,14 | 1,92 | 2,34 | 2,60 | 2,22 | 2,44 | 4,15 | 3,72 | 3,98 | 4,45 |

**Dicke der Zahnhartsubstanzen Schmelz und Dentin (in mm) oberhalb der Widerstandsminima von Zähnen (gleiche Zähne alphabetisch geordnet) korrespondierend zur Leuchtdiodenanzeige (LED) des Prepometers® (LED 1 – 10, P = Pulpa):**

| Zahn | 16 | 16 | 16 | 21 | 24 | 24 | 25 | 25 | 34a | 34b | 35a | 35b |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Fläche | mb | db | p | | b | p | b | p | | | | |
| P | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 10 | 1,30 | 1,68 | 0,88 | 0,25 | 0,34 | 0,27 | 0,70 | 0,20 | 0,36 | 0,93 | 0,64 | 0,31 |
| 9 | 2,09 | 2,30 | 1,42 | 0,26 | 0,65 | 0,44 | 1,60 | 1,49 | 0,81 | 2,13 | 1,42 | 0,81 |
| 8 | 2,39 | 2,67 | 1,72 | 0,27 | 0,96 | 0,60 | 1,80 | 1,62 | 0,81 | 2,46 | 1,54 | 1,30 |
| 7 | 2,39 | 2,67 | 1,72 | 0,77 | 1,15 | 0,82 | 1,98 | 1,77 | 1,25 | 2,71 | 1,65 | 1,51 |
| 6 | 2,69 | 3,04 | 2,02 | 1,34 | 1,24 | 1,76 | 2,24 | 2,25 | 2,20 | 2,81 | 1,85 | 1,73 |
| 5 | 3,14 | 3,52 | 2,49 | 1,39 | 1,33 | 2,37 | 2,61 | 2,40 | 2,57 | 2,94 | 2,05 | 1,87 |
| 4 | 3,59 | 4,00 | 2,96 | 1,43 | 1,59 | 2,97 | 2,98 | 2,54 | 2,94 | 3,07 | 2,88 | 2,01 |
| 3 | 4,08 | 4,66 | 3,55 | 1,61 | 1,86 | 3,44 | 3,61 | 3,16 | 3,32 | 3,30 | 3,45 | 2,38 |
| 2 | 4,76 | 5,29 | 4,01 | 1,73 | 2,91 | 4,56 | 4,33 | 4,56 | 3,46 | 3,39 | 3,80 | 2,53 |
| 1 | 5,58 | 5,89 | 4,93 | 3,39 | 4,83 | 5,63 | 5,63 | 4,90 | 4,13 | 3,51 | 5,01 | 3,34 |
| 0 | 6,76 | 6,76 | 6,08 | 5,01 | 5,85 | 6,88 | 6,10 | 5,44 | 4,78 | 4,74 | 6,91 | 3,72 |

## Daten der in-vivo Untersuchungen (Ergebnisauswertung in Kapitel 4.3.):

**Gruppe 1 (Testgruppe 1): Präparation unter Prepometer®kontrolle**
**Sensibilitätskontrolle im Zeitraum von zwei bis drei Jahren nach der Präparation**

| Name | Zahn / Sensibilität | Zahn / Sensibilität | Zahn / Sensibilität | Datum der Präparation | Dicke des Provisoriums | Prepometer®-wert | Datum der Sensibilitäts-kontrolle |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| O.H. | 12 / + | 15 / + | | 1998 | 1,8 mm 15 lab | 12 / 1 15 / 6 | 2000 |
| A.W. | 44 / + | | | 1998 | 1,5 mm o | 1 | 2000 |
| H.J. | 24 / + | | | 1998 | 1,5 mm o | 1 | 2000 |
| v.H.F. | 33 / + | | | 1998 | 4,0 mm o | 6 | 2000 |
| K.I. | 35 / + | 37 /+ | | 1998 | 1,5 mm 37 o | 35 / 7 37 / 7 | 2000 |
| L.L. | 37 / + | | | 1998 | 1,2 mm b | 7 | 2000 |
| B.M. | 33 / + | 34 / + | 38 / + | 1998 | 1,8 mm 34 o | 33, 34, 38 / 6 | 2000 |
| S.M. | 16 / + | | | 1998 | 1,7mm pal | 1 | 2000 |
| H.E. | 27 / + | | | 1998 | 1,5mm b | 6 | 2000 |
| M.D. | 37 / + | | | 1998 | 1,7mm mes | 7 | 2000 |
| M.O. | 45 / + | | | 1998 | 2,5 mm ling | 3 | 2000 |
| M.S. | 11 / + | 21 / + | | 1998 | 2,4 mm 21 lab | 11 / 6 21 / 7 | 2001 |
| F.M. | 46 / + | 47 / + | | 1998 | 1,7 mm 46 o | 46 / 1 47 / 1 | 2001 |
| B.W. | 24 / + | 26 / + | | 1998 | 1,7 mm 26 b | 24 / 3 26 / 6 | 2001 |
| S.E. | 11 / + | 21 / + | | 1998 | 0,6 mm 11 pal | 11 / 1 21 / 1 | 2001 |
| R.H. | 36 / + | 46 / + | | 1998 | 1,8 mm 46 b | 36 / 3 46 / 3 | 2001 |

**Gruppe 2 (Testgruppe 2): Präparation unter Prepometer®kontrolle**
**Sensibilitätskontrolle im Zeitraum von zwei bis fünf Jahren nach der Präparation**

| Name | Zahn / Sensibilität | Zahn / Sensibilität | Zahn / Sensibilität | Datum der Präparation | Datum der Sensibilitäts -kontrolle |
|---|---|---|---|---|---|
| Z.B. | 43 / + | 44 / + | | 1998 | 2001 |
| L.W. | 11 / + | 21 / + | 22 / + | 1998 | 2001 |
| | 23 / + | | | 1998 | 2001 |
| A.H. | 13 / + | 12 / + | 11 / + | 1995 | 2000 |
| | 21 / + | 22 / + | 23 / + | 1995 | 2000 |
| S.K. | 25 / + | 27 / + | | 1995 | 2000 |
| S.K.-H. | 11 / + | 12 / + | 13 / + | 1998 | 2001 |
| | 24 / + | | | 1998 | 2001 |
| D.E. | 13 / + | 23 / + | | 1998 | 2001 |
| B.B. | 23 / + | | | 2000 | 2001 |
| F.S | 33 / + | | | 2000 | 2002 |
| J.H. | 17 / + | 27 / + | | 1994 | 1996 |
| M.K. | 11 / + | 13 / + | 14 / + | 1999 | 2001 |
| | 15 / + | 21 / + | 23 / + | 1999 | 2001 |
| | 24 / + | | | 1999 | 2001 |
| M.A. | 17 / + | 25 / + | 27 / + | 1997 | 2002 |
| | 23 / + | 16 / + | | 1997 | 2002 |
| P.R. | 13 / + | 14 / + | 15 / + | 1997 | 2001 |

**Gruppe 3 (Kontrollgruppe) : Präparation ohne Prepometer®kontrolle**
**Sensibilitätskontrolle zwei Jahre nach der Präparation**

| Name | Zahn / Sensibilität | Datum der Präparation | Sensibilitäts -kontrolle |
|---|---|---|---|
| B.I. | 13 / + 16 / + | 1999 | 13 / + 16 / + |
| H.E. | 24 / + | 1999 | 24 / - |
| B.K. | 27 / + | 1999 | 27 / + (*) |
| S.E. | 14 / + | 1999 | 14 / + |
| M.B. | 24 / + 26 / + | 1999 | **24 / + 26 / +(**)** |
| S.M. | 35 / + | 1999 | 35 / + |
| G.E. | 27 / + 34 / + | 1999 | 27 / + 24/ + |
| S.E. | 37 / + | 1999 | 37 / - |
| K.K. | 17 / + | 1999 | 17 / + |
| F.P. | 47 / + | 1999 | 47 / + |
| L.E. | 36 / + | 1999 | 36 / + (*) |
| G.W. | 37 / + | 1999 | 37 / + |
| F.B. | 14 / + 16 / + | 1999 | 14 / + 16/+(P!) |
| H.K.-H. | 25 / + 27 / + | 1999 | 25 / - 27 / - |

(*) hypersensibel auf thermische Reize (bis zu einem halben Jahr nach Präparation) und aufbissempfindlich
(**) lokale Schmerzbehandlung mit Kortikoid nach der Präparation
(P!) Pulpaeröffnung während der Präparation

# LEBENSLAUF

| | |
|---|---|
| Geboren am: | 22. April 1974 in Fritzlar |
| Mutter: | Marianne England, geb. Brossmann |
| Vater: | Jonas England |

Schulausbildung:

| | |
|---|---|
| 1980 – 1984 | Grundschule in Jesberg |
| 1984 – 1993 | Gymnasium der Christlichen Jugenddorf Christophorusschule in Oberurff |
| 30.061993 | Abitur |

Ausbildung und Hochschulausbildung:

| | |
|---|---|
| 01.08.1993 | Beginn der Ausbildung zur Zahntechnikerin (Labor Rest & Ruppel, Bad Wildungen) |
| WS 1993/94 - WS 1998/99 | Studium der Zahnmedizin an der Philipps-Universität in Marburg |
| 10.10.1994 | Naturwissenschaftliche Vorprüfung |
| 23.10.1996 | Zahnärztliche Vorprüfung |
| 02.06.1999 | Staatsexamen Zahnmedizin in Marburg |
| 09.06.1999 | Approbation |
| 01.07.1999 - 31.12.1999 | Vorbereitungsassistentin in der Zahnarztpraxis Dr. Peschka, Schwalmstadt/Ziegenhain |
| seit 15.02.2000 | wissenschaftliche Mitarbeiterin in der Abteilung für Zahnersatzkunde des Medizinischen Zentrums für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde der Philipps-Universität Marburg, Direktor: Prof. Dr. Lotzmann. |

Meine akademischen Lehrer in Marburg waren die Damen und Herren:

Aumüller, Austermann, Bruchmann, Coca, Dibbets, Flores de Jacoby, Fruhstorfer, Gente, Gloerfeld, Hochban, Katschinski, Kern, Klötzer, Koolmann, Krause, Lehmann, Lotzmann, Mengel, Mittag, Pieper, Radsak, Ramaswamy, Schumacher, Stachniss, Stelzel, Umstadt, Weihe, Werner, Zelder

DANKSAGUNG

An dieser Stelle möchte ich herzlich Herrn Prof. Dr. K. M. Lehmann für die Aufnahme als Doktorandin in seiner Abteilung für Propädeutik und Kiefer-Gesichts-Prothetik danken.

Herrn Prof. Dr. M. Gente danke ich für die Überlassung des Themas, die freundliche Unterstützung bei der Durchführung der in-vitro Untersuchungen und die Korrektur der Arbeit als Referent.

Außerordentlichen Dank, verbunden mit einer herzlichen Umarmung, sage ich Frau Prof. Dr. L. Flores de Jacoby für Ihre freundliche Unterstützung und die Übernahme des Korreferates.

Herrn Prof. Dr. U. Lotzmann danke ich für seine Bereitschaft zur Durchführung der in-vivo Untersuchungen in seiner Abteilung für Zahnersatzkunde.

Weiterer Dank gilt allen Patienten, die sich im Rahmen der in-vivo Untersuchungen als Probanden zur Verfügung stellten.

Besonderer Dank gilt meinem Mann für die liebevolle Unterstützung und die unzähligen kritischen Bemerkungen und Ratschläge.

ERKLÄRUNG

Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die dem Fachbereich Medizin Marburg zur Promotionsprüfung eingereichte Arbeit mit dem Titel

**In-vitro und in-vivo Untersuchungen zum Prepometer®**

im Medizinischen Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde unter Leitung von Herrn Prof. Dr. K. M. Lehmann mit Unterstützung durch Herrn Prof. Dr. M. Gente ohne sonstige Hilfe selbst durchgeführt und bei der Verfassung der Arbeit keine anderen als die in der Dissertation angeführten Hilfsmittel benutzt habe. Ich habe bisher an keinem in- und ausländischen Medizinischen Fachbereich ein Gesuch um Zulassung zur Promotion eingereicht noch die vorliegende oder eine andere Arbeit als Dissertation vorgelegt.

Teile der vorliegenden Arbeit wurde in folgenden Publikationsorganen veröffentlicht:

Bruchmann, S.:
Einsatz des Prepometers® im klinischen Unterricht.
ZWR 111, 614-620 (2002).

Marburg, den 28. August 2003 Susanne Bruchmann, geb. England