

Elisabeta-Cristina Stoica

Die Entwicklung eines
experimentellen Filmhalters für
Meßaufnahmen bei angelegtem
Kofferdamrahmen

Aus der Abteilung für
Zahnerhaltungskunde und Präventive Zahnheilkunde
der Klinik und Poliklinik für Zahn-, Mund und Kieferheilkunde des
Universitätsklinikums Hamburg-Eppendorf
(Abteilungsleiterin: Frau Prof. Dr. med. dent. Ursula Platzer)

Die Entwicklung eines experimentellen Filmhalters für Meßaufnahmen bei angelegtem Kofferdamrahmen

Dissertation
zur
Erlangung der zahnmedizinischen Doktorwürde
am Fachbereich Medizin
der Universität Hamburg

vorgelegt von
Zahnärztin Elisabeta-Cristina Stoica
aus Karlsruhe

Hamburg 2002

Angenommen von dem Fachbereich Medizin der
Universität Hamburg am 13 Januar 2003 .
Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereichs Medizin
der Universität Hamburg.
Dekan : Prof. Dr. C. Wagener
Referent: Prof. Dr. U. Platzer
Koreferent: -----

Meinen Eltern gewidmet

INHALTSVERZEICHNIS

1	Einleitung	5
1.1	Ziel der Arbeit	6
<hr/>		
2	Literaturübersicht	
2.1	Endodontie	7
2.1.1	Entwicklung der Endodontie	7
2.1.2	Aufgaben der Endodontie	8
2.1.3	Pathophysiologie der Reizantwort	8
2.1.4	Ätiologie endodontischer Erkrankungen	10
2.1.5	Therapie endodontischer Erkrankungen	11
2.2	Kofferdam	13
2.3	Radiologie	24
2.4	Filmhaltersysteme	35
2.5	Dimensionen und Angulation der Zähne	58
<hr/>		
3	Material und Methoden	
3.1	Entwicklung eines Filmhalterprototyps	65
3.1.1	Aufbißblock	73
3.1.2	Verbindungsstücke für die Front- und die Seitenzähne	84
3.1.3	Filmklemmen für die Front- und die Seitenzähne	88
3.1.4	Extraorale Positionierungshilfe	89
3.2	In-vitro Studie	92
<hr/>		
4	Ergebnisse	
4.1	Darstellung der Meßergebnisse für jeden einzelnen Zahn	102
4.1.1	Zahn 21	104
4.1.2	Zahn 24	106
4.1.3	Zahn 16	107
4.1.4	Zahn 41	110
4.1.5	Zahn 45	111
4.1.6	Zahn 47	112
4.2	Regressionsanalyse der Meßergebnisse aller durchgeführter Versuchsanordnungen pro Zahn	117
	Zahn 21	119
	Zahn 24	120

	Zahn 16	121
	Zahn 41	124
	Zahn 45	125
	Zahn 47	126
4.3	Regressionsanalyse der Meßergebnisse pro Versuchsreihe	130
	Planparallele Nahprojektion	131
	EndoRay II ohne Kofferdam mit Visierring	132
	EndoRay II mit Kofferdam mit Visierring	133
	Experimenteller Filmhalter	134
	EndoRay II mit Kofferdam ohne Visierring	135
	EndoRay II ohne Kofferdam ohne Visierring	136
4.4	Univariate Varianzanalyse	137
4.4.1	Zahn 21	138
4.4.2	Zahn 24	139
4.4.3	Zahn 16	140
4.4.4	Zahn 41	143
4.4.5	Zahn 45	144
4.4.6	Zahn 47	145
4.5	Aussagekraft der Ergebnisse	148
<hr/>		
5	Diskussion	152
5.1	Literaturübersicht	152
5.2	Material und Methoden	156
5.3	In vitro-Studie	156
5.4	Statistische Auswertung	158
<hr/>		
6	Schlußfolgerungen	162
7	Zusammenfassung	163
8	Literaturverzeichnis	165
9	Anhang	171
10	Danksagung	194
11	Lebenslauf	196

1 EINLEITUNG

Die Endodontie ist ein Teilgebiet der konservierenden Zahnheilkunde. Ziel der Endodontie ist, Pulpaerkrankungen und ihre Auswirkung auf das umgebende Gewebe zu therapieren und somit die Funktionsfähigkeit des Zahnes innerhalb der Zahnreihe zu erhalten. Neben Maßnahmen zum Erhalt der Vitalität umfaßt die Endodontie dabei auch Vorgehen zur Entfernung nicht mehr zu erhaltender oder avitaler Pulpen. Im Rahmen dieser Maßnahmen kommt nach derzeitigem Stand der Längenmessung des Pulpenraums in Form der Bestimmung der jeweiligen endodontischen Arbeitslänge zentrale Bedeutung zu.

Das Augenmerk der vorliegenden Dissertation richtet sich insbesondere auf jene Bestimmung der Arbeitslänge mit Hilfe der Röntgenmeßaufnahme im Rahmen der Wurzelkanalbehandlung.

Alle therapeutischen Maßnahmen sollten im Rahmen der Wurzelkanalaufbereitung aus Gründen der Expositionsprophylaxe und der Asepsis nach Anlegen von Kofferdam stattfinden. Dieser erleichtert zusätzlich die Behandlung und ermöglicht nahezu ideale Bedingungen für die Verarbeitung von Füllungswerkstoffen, erschwert jedoch die radiologische Untersuchung.

Für eine erfolgreiche endodontische Behandlung ist heute die Radiologie unverzichtbar. Die Radiologie spielt in der Diagnostik, bei der Therapie in Form der Bestimmung der Zahnlänge sowie der posttherapeutischen Kontrolle eine wichtige Rolle. In der zahnärztlichen Radiologie sind bis heute drei Projektionsmöglichkeiten zur Darstellung der Zähne und des Zahnhalteapparats bekannt:

1. die Halbwinkeltechnik,
2. die Paralleltechnik und
3. die Rechtwinkeltechnik.

Dabei hat sich die Paralleltechnik aufgrund der detaillierteren Darstellung der Zähne, der einfachen Positionierung des Röntgenfilms mit Hilfe eines Filmhalters und nicht zuletzt wegen der geringen Strahlenbelastung für den Patienten heute durchgesetzt. Wesentlicher Bestandteil dieser Technik ist die Anwendung spezieller Filmhalter für die Positionierung des Zahnfilms parallel zur Zahnängsachse. Die Anwesenheit von Wurzelkanalinstrumenten, Klammern, Spanngummi und Koff-

ferdamrahmen machen jedoch die Positionierung eines Filmhalters wegen Platzmangels problematisch.

Im Laufe der Zeit haben sich viele Zahnmediziner Gedanken über eine Lösung für dieses Problem gemacht. In der Folge wurden unterschiedliche Röntgenfilmhalter entwickelt. Viele von diesen Filmhaltern gingen nicht in Produktion oder sind aus verschiedenen Gründen für die Praxis ungeeignet. Fast allen ist der Nachteil gemeinsam, daß sie entweder erst nach Abnahme des Kofferdamrahmens oder in Verbindung mit einem aufklappbaren Kofferdamrahmen unter großem Aufwand positioniert werden können. Die Abnahme des Kofferdamrahmens widerspricht jedoch den Prinzipien der Ergonomie und der Sicherung von Meßinstrumenten durch den angelegten Kofferdam. Die Folge ist meistens Unbehagen für den Patienten und eine Verlängerung der Behandlungszeit.

1.1 Ziel der Arbeit

Mit der vorliegenden Dissertation wird die Entwicklung eines Filmhalters für die Anfertigung von Meßaufnahmen beschrieben, der die genannten Nachteile ausräumt. Dabei finden hohe Ansprüche an die Aufnahmequalität, den Aufwand für die Positionierung des Filmhalters sowie die niedrige Strahlenbelastung der Patienten besondere Berücksichtigung.

2 LITERATURÜBERSICHT

2.1 Endodontie

2.1.1 Entwicklung der Endodontie

Die Endodontie entwickelte sich parallel zur konservierenden Zahnheilkunde und gewann in den letzten 100 Jahren immer mehr an Bedeutung. Früher bestand die Schmerztherapie in der Abtötung der Pulpa mit dem Brenneisen, was jedoch mit erheblichen Schmerzen verbunden war. Daneben wurde Arsenik in Form von Scherbenkobalt oder Arseniktrioxyd eingesetzt, oder der betroffene Zahn wurde extrahiert (STRÜBIG 1989). Arsen soll schon im zehnten Jh. von MUHAMAD ARASI zur Behandlung von Pulpitis zur Schmerzlinderung angewendet worden sein (SAUERWEIN 1976). Aus dem 19. Jh. gibt es Angaben nach denen WOOD 1833, HAARIS 1835 und SPOONER 1836 arsenige Säure zur Devitalisierung der Pulpa benutzt haben (STRÜBIG 1989). Arsenik galt schon damals als „König der Gifte“. Da die Dosierung so schwierig war, wurde es Anfang des 20. Jhs. durch Paraformaldehyd ersetzt, das heute noch vereinzelt verwendet wird (SAUERWEIN 1976). Aus heutiger Kenntnis haben aldehydhaltige Präparate eine starke neurotoxische sowie zytotoxische Wirkung und sollten in der Praxis keine Anwendung mehr finden (SCHÄFER 1999). Die Extraktion von erkrankten Zähnen hatte damals wie heute zur Folge, daß Lücken innerhalb der Zahnreihen zurückblieben, die Kaufunktion, Phonetik und Ästhetik beeinträchtigten. Mit der fortschreitenden Entwicklung von Füllungsmaterialien und Instrumenten gewannen die Zahnerhaltungskunde und damit auch die Endodontie immer mehr an Bedeutung. Aufgrund einer langsameren technischen Entwicklung konnte sich die Endodontie jedoch nicht so schnell durchsetzen wie die Füllungstherapie. Die ersten Versuche einer Wurzelkanalfüllung gehen auf HUDSON 1809 zurück. Das erste Wurzelkanalinstrument stellte EDWIN 1838 mit Hilfe einer umgearbeiteten Uhrfeder her (STRÜBIG 1989).

Anfang des 20. Jhs. beschränkte sich die Wurzelkanalbehandlung aus zeitlichen und entwicklungstechnischen Gründen noch auf einwurzelige Zähne. Durch Fortschritte bei der Instrumentenentwicklung konnte die endodontische Behandlung schließlich auf das gesamte Gebiß ausgedehnt werden.

2. 1. 2 Aufgaben der Endodontie

Die Endodontie beschäftigt sich mit der Morphologie, Physiologie, Pathologie, Prävention und Behandlung des Pulpa- und periapikalen Gewebes. Sie beginnt bereits bei der Schmelz-Dentin-Grenze, da jede Art von Dentinschaden, seien es Trauma, Karies oder iatrogene Reize, eine Verletzung der Odontoblastenfortsätze bewirkt. Ein Dentinschaden hat zur Folge, daß im Pulpacavum eine Reaktion in Form einer Tertiärdentinbildung, Hyperämie oder Entzündung entsteht (GULDENER u. LANGELAND 1987, HELLWIG et al. 1995, KETTERL et al. 1993, VAN VELZEN et al. 1988, TRONSTAD 1991).

Aus der Definition für die Endodontie läßt sich das Ziel der endodontischen Behandlung ableiten, nämlich die Erhaltung des betroffenen Zahnes. Die Verhütung und Ausheilung von reversiblen Pulpaerkrankungen sollte dabei an erster Stelle stehen, da die Prognosen von konservierenden und prothetischen Behandlungen für einen vitalen Zahn besser sind als für einen avitalen. Weitere zahnerhaltende Maßnahmen sind die Behandlung der irreversiblen Pulpaerkrankungen in Form einer Wurzelkanalbehandlung und die Ausheilung der pathologischen Prozesse in der periapikalen Region, so daß sie keine Auswirkungen auf die Gesundheit des Patienten haben.

Die endodontische Therapie darf nicht als einzelne Maßnahme betrachtet werden, sondern als Bestandteil eines sinnvollen Behandlungsplans, dessen Ziel eine vollständige Sanierung des Gebisses sein soll. Dieses Ziel muß dem Patienten vorgestellt werden, um abzuklären, ob einer Sanierung zugestimmt wird oder nur eine Notfallbehandlung vorgenommen werden soll. In jedem Fall sollte versucht werden, dem Patienten die Bedeutung einer Sanierung bewußt zu machen (SCHROEDER 1981).

2. 1. 3 Pathophysiologie der endodontischen Reizantwort

Das Endodontium wird auch als Pulpa-Dentin-Organ bezeichnet und setzt sich zusammen aus dem Dentin als Produkt der Odontoblasten und dem Pulpagewebe. Das Pulpagewebe läßt sich einteilen in die Odontoblastenschicht, die äußere

zellkernarme Schicht (auch Weil'sche Zone genannt) und die mittlere zellkernreiche Schicht. Das Pulpacavum ist von einem Maschenwerk aus Fasern durchzogen, die von den Pulpozyten gebildet werden. In dem Maschenwerk eingebettet sind Histozyten, die eine Abwehrfunktion haben, Arteriolen, Venolen, Nervenfasern und Odontoblasten. Odontoblastenfortsätze und Nervenfasern, die teilweise mit den Fortsätzen in das Dentin ziehen, nehmen thermische, chemische oder mechanische Reize auf und geben diese weiter, so daß je nach Reizart eine spezifische Antwort erfolgt (SCHUMACHER 1991). Die Reize können in iatrogen und nicht-iatrogen einteilt werden.

Zu den iatrogenen Reizen gehören Infiltrationsanästhesien, die zu einer Zirkulationsstörung führen können, kieferorthopädische Behandlungen, elektrochirurgische Eingriffe, Radiotherapie, Osteotomien und nicht zuletzt Kavitätenpräparationen und -restaurationen (HELLWIG et al. 1995, VAN VELZEN et al. 1988). So ergab eine Untersuchung in der Abteilung für Zahnerhaltungskunde der Universität Bern an 500 endodontisch behandelten Zähnen, daß in 443 Fällen (88,6 %) ehemals gesunde Pulpen nach Überkronung oder Füllungen erkrankten. Bei den restlichen 57 Zähnen (11,4 %) waren Karies, Traumata oder Abrasion die Ursache für die irreversiblen Pulpaerkrankungen (GULDENER u. LANGELAND 1987).

Zu den nicht-iatrogenen Reizen gehören in erster Linie Karies und Parodontopathien, ferner natürliche Prozesse, wie Attrition oder das fortschreitende Altern, sowie Manifestationen von Erb- oder Systemerkrankungen auf die Pulpa, wie z.B. Zahndysplasien, Herpes zoster oder Neoplasmen (VAN VELZEN et al. 1988).

Alle diese Reize können akute oder chronische Entzündungen des Pulpagewebes verursachen. Oft erscheinen beide Entzündungsformen gleichzeitig an verschiedenen Stellen der Pulpa (VAN VELZEN et al. 1988). Sie machen sich bemerkbar durch eine mehr oder weniger starke Schmerzsymptomatik. Die Schmerzursache muß im Rahmen der allgemeinen und speziellen Anamnese, sowie der klinischen und röntgenologischen Untersuchung lokalisiert werden, um zu prüfen, ob eine endodontische Ursache vorliegt.

Zu den endodontischen Behandlungen zählen die direkte und indirekte Überkappung der Pulpa, die Vitalexstirpation (Entfernung der vitalen Pulpa), die Wurzelkanalbehandlung, die Revision einer alten, unvollständigen Wurzelkanalfüllung, die Vitalamputation (Entfernung der Kronenpulpa), die – inzwischen obsolete – Morta-

lamputation, die ebenfalls obsolete Mortalexstirpation sowie chirurgische Eingriffe zur Ausheilung von periapikalen Prozessen, wie z.B. die Wurzelspitzenresektion oder die apikale Kürettage.

Für die vorliegende Dissertation ist nur die Wurzelkanalaufbereitung relevant, die im Rahmen der Vitalexstirpation, der Wurzelkanalbehandlung und der Revision einer alten Wurzelkanalfüllung stattfindet.

2. 1. 4 Ätiologie endodontischer Erkrankungen

Die Pulpitis wird überwiegend durch Stoffwechselprodukte der Bakterien, die den kariös zerstörten Zahn besiedeln, verursacht. Seltener führt ein Trauma zu einer breitflächigen Eröffnung der Pulpa und anschließend zu einer Infektion des Pulpagewebes mit Bakterien aus der Mundhöhle. Zur Zeit sind etwa 700 Bakterienarten bekannt, die die Mundhöhle des Menschen besiedeln. Viele dieser Bakterien wurden erst in den letzten Jahren beschrieben. Nur wenige Arten davon sind für die Entstehung von Pulpitiden und periapikalen Läsionen verantwortlich. Aus technischen Gründen konnten obligat anaerobe Bakterien erst 1976 isoliert und kultiviert werden (GULDENER u. LANGELAND 1987). SUNDQVIST isolierte damals die Bakterien infizierter Wurzelkanäle und bewies als erster, daß 90% davon obligat anaerob waren. 1982 zeigten FABRICIUS et al. an Primaten, bei denen künstlich Wurzelkanalinfektionen erzeugt wurden, daß die Infektion umso länger besteht, je mehr Arten von Anaerobiern im Wurzelkanal dominieren. Die Zahlen schwanken zwischen einer und 12 Arten bzw. zwischen 100 und 10 Mio. Bakterien. Die Anaerobier sind in unterschiedlichem Ausmaß dazu in der Lage, periapikale Läsionen zu verursachen. Eine bestimmte Bakterienkombination kann sogar die Entstehung dieser Läsionen begünstigen (SUNDQVIST 1993). Es wird vermutet, daß zwischen der Anzahl der im Wurzelkanal vorhandenen Bakterien und dem Ausmaß der periapikalen Läsionen eine Korrelation besteht, da bei ausgedehnten Prozessen eine höhere Bakterienanzahl gefunden wurde als bei kleinen Prozessen (SUNDQVIST 1993).

2.1.5 Therapie endodontischer Erkrankungen

Im Rahmen der endodontischen Behandlung soll mit Hilfe von geeigneten Instrumenten eine weitgehende Entfernung dieser Bakterien aus dem Wurzelkanal angestrebt und ihre Verschleppung nach apikal durch eine Überinstrumentierung verhindert werden. Eine Überinstrumentierung kann dadurch verhindert werden, daß auf Basis der Röntgen-Meßaufnahmen eine korrekte Arbeitslänge ermittelt wird. Bereits bei Behandlungsbeginn sollten dabei die *Sicherheitstiefen* beachtet werden. Für den Oberkiefer betragen diese 20 mm, mit Ausnahme der seitlichen Schneidezähne, die eine Sicherheitstiefe von 18 mm erfordern. Für den Unterkiefer betragen sie 18 mm, mit Ausnahme der Eckzähne, die eine Sicherheitstiefe von 20 mm erfordern (GULDENER u. LANGELAND 1987).

Im Rahmen der *Wurzelkanalaufbereitung* finden die mechanische Aufbereitung und Spülungen mit desinfizierenden Lösungen statt. Zusätzlich können Medikamenteneinlagen notwendig sein, die zwischen den Behandlungen in den Wurzelkanal eingebracht werden. Spüllösungen unterstützen die mechanische Reinigung, weil diese als Transportmedium, sowohl für die Dentinspäne, als auch für das infizierte Gewebe dienen. Als *Spüllösungen* werden Kochsalz, Wasserstoffsuperoxyd, Natriumhypochlorid sowie organische Mittel wie Äthylendiamintetraessigsäure (EDTA) benutzt. Das vorzugsweise verwendete Spülmittel Natriumhypochlorid löst organisches Gewebe auf, nekrotisches besser als vitales (GULDENER u. LANGELAND 1987, SUNDQVIST 1993), und schont dabei die Zahnhartsubstanzen, obwohl es zu einer Auflösung der kollagenen Fasern führt. Weiterhin hat es eine gute antibakterielle Wirkung und bleicht in höheren Konzentrationen den Zahn von innen (GULDENER u. LANGELAND 1987). Die gewebslösenden Eigenschaften sind von der Konzentration der Lösung abhängig. Je konzentrierter die Lösung, umso besser wird das Gewebe aufgelöst, umso zytotoxischer ist sie jedoch für den Patienten (SUNDQVIST 1993). Eine genaue Konzentration der Natriumhypochlorid-Lösung ist nicht festgelegt. Es werden heute Konzentrationen zwischen 2,5 und 3,5% empfohlen. In jedem Fall muß eine Berührung des Natriumhypochlorids mit der Mundschleimhaut vermieden werden, da es sonst zu Verätzungen kommen kann. Der Einsatz des Kofferdams dient hier u. a. dem Schutz der Schleimhaut.

Der Einsatz medikamentöser Einlagen soll die Reinfektion des im Laufe einer Sitzung nicht vollständig aufbereiteten Wurzelkanals verhindern. Sie sollten zudem biokompatibel sein und eine antibakterielle Wirkung haben. Kalziumhydroxyd-Präparate erfüllen diese Eigenschaften und finden eine breite Anwendung auf dem Gebiet der Endodontie (BESNER et al. 1994, GULDENER u. LANGELAND 1987, HELLWIG 1995, HÜLSMANN 1993, KETTERL et al. 1993, PECCHIONI 1982, SCHROEDER 1981, VAN VELZEN et al. 1988).

Auch diese sind aufgrund ihres stark alkalischen pH-Wertes ätzend und verlangen bei der Applikation den systematischen Schutz der oralen Weichgewebe durch Kofferdam.

2.2 Kofferdam

Der Kofferdam wurde 1864 von dem amerikanischen Zahnarzt SANFORD CHRISTIE BARNUM entwickelt. Sein Ziel war es, den zu behandelnden Zahn vom Rest der Mundhöhle zu isolieren, um die Verarbeitung der feuchtigkeitsempfindlichen Füllungswerkstoffe (insbesondere Goldfolien) zu erleichtern. Damals versuchte BARNUM mit unzureichenden Saugern und durch das Austamponieren der Mundhöhle mit Schwämmen oder Baumwollstoffen, Blut und Speichel von der Kavität fernzuhalten. Er legte eine Gummiunterlage in den Mund des Patienten, um die absorbierenden Stoffe länger trocken zu halten. Zusätzlich versuchte er durch Anlegen von Gummiringen um den Zahn die Gingiva von der Präparationsgrenze zu verdrängen. Diese Bemühungen waren sehr zeitraubend und wenig erfolgreich, weshalb BARNUM nach einer Möglichkeit suchte, die Ringe mit der Gummiunterlage zu verbinden. Er stanzte ein Loch in ein Gummituch und zog dieses über einen einzelnen Unterkieferfrontzahn. Damit war der Prototyp des Kofferdams entstanden (WINKLER 1991).

Im Laufe der Zeit wurden Klammern für die verschiedenen Zähne entwickelt, um eine optimale Retention des Kofferdamgummis in der Mundhöhle zu gewährleisten. Zusätzlich wurden unterschiedliche Rahmen zum Aufspannen des Gummis entworfen, um das Behandlungsfeld übersichtlicher zu gestalten. Für die Herstellung des Rahmens wurden anfangs Metallegierungen benutzt. Das ermöglichte die grazile und dennoch stabile Gestaltung des Rahmens. Später wurde statt Metall radioluzenter Kunststoff verarbeitet, damit der Kofferdamrahmen während der röntgenologischen Untersuchung nicht mehr abgenommen werden muß. Heute sind mehrere solche Kunststoffrahmen auf dem Markt:

1. der NYGARD OSTBY-Rahmen, auch als „Haifischmaul“ bekannt (SVENSKA DENTAL INSTRUMENTS, UPPLANDS VÄSBY/SCHWEDEN, www.sdirecta.com , Abb. 1),



Abb. 1: Der NYGARD OSTBY-Rahmen.

2. der in Frankreich entwickelte aufklappbare Rahmen nach SAUVEUR, in funktional identischen Versionen hergestellt bzw. vertrieben durch SIGMA DENTAL INSTRUMENTS-ESMADI, JARPLUND-WEDING, www.sigmadental.de, FA. ROEKO, LANGENAU, www.roeko.com und HAGER UND WERKEN, DUISBURG, www.hagerwerken.de (Abb. 2),



Abb. 2: Kofferdamrahmen nach SAUVEUR.

3. der U-förmige HYGIENIC-Rahmen Master 6 bzw. Master 5 (FA. COLTENE WHALEDENT, KONSTANZ, www.coltenewhaledent.de, Abb. 3) und



Abb. 3: HYGIENIC-Kofferdamrahmen.

4. der Safe-T-Frame nach AHLERS (FA. SIGMA DENTAL SYSTEMS-EMASDI GMBH, JARPLUND-WEDING, www.sigmadental.de, Abb. 4).



Abb. 4: Kofferdamrahmen Safe-T-Frame nach AHLERS.

Die meisten Zahnärzte bevorzugen eine dunkle Kofferdamgummi-Farbe, damit die Instrumente gut sichtbar sind und das schnelle Ermüden der Augen verhindert wird. Eine helle Farbe dagegen erleichtert im Rahmen der Füllungstherapie die Farbauswahl und ermöglicht zudem eine genaue Positionierung des Röntgenfilms (GOING u. SAWINSKI 1967, WINKLER 1991, ZEPPENFELD 1985).

Die Anwendung des Kofferdams wird in allen zeitgenössischen Publikationen und Lehrbüchern der Endodontie empfohlen (BESNER et al. 1994, INGLE u. TAINTOR 1976, KETTERL et al. 1993, PECCHIONI 1982, SCHROEDER 1981). Trotz zahlreicher ausführlicher Beschreibungen (WINKLER 1991, ZEPPENFELD 1985, ZEPPENFELD 1990) und Fortbildungsangeboten für den Einsatz des Kofferdams findet dieser erstaunlicherweise unter den niedergelassenen Zahnärzten in Deutschland nur wenige Befürworter.

1988 fand im deutschsprachigen Raum eine Umfrage über die Häufigkeit der Anwendung des Kofferdams statt. Von 706 befragten deutschen Zahnärzten antworteten nur 285 (40,4%). Von diesen benutzten 5% den Kofferdam bei 100% ihrer Wurzelkanalbehandlungen. 10% der Zahnärzte setzten ihn in 90% der Fälle ein, 20% benutzen ihn gelegentlich und 65% benutzen ihn nie (WINKLER 1991). In der Schweiz war die Beteiligung an der Umfrage größer: Von 230 befragten Zahnärzten antworteten 134 (58,3%). Bei Wurzelkanalbehandlungen benutzten 20% von ihnen den Kofferdam immer, 28% bei 9 von 10 Patienten, 22% gelegentlich und 30% benutzten ihn niemals (KAMANN 1998).

Eine vergleichbare Umfrage in den USA aus dem Jahr 1984 ergab, daß Zahnärzte der US Air Force den Kofferdam bei jeder endodontischen Behandlung und bei fast jeder Füllungstherapie benutzen, d.h. bei 97,7% aller Patienten (HAGGE et al. 1984).

Zwei Jahre später ergab eine Umfrage in Schweden, daß bei Wurzelkanalbehandlungen 60% der Zahnärzte den Kofferdam immer benutzen, 30% von ihnen gelegentlich bis oft und 10% niemals (WINKLER 1991).

Der Vergleich der Umfrageergebnisse zeigt, daß der Einsatz des Kofferdams in Deutschland auf besonders großen Widerstand stößt. Die Begründung für diesen Widerstand ist bei Zahnärzten allerdings weltweit dieselbe. So entstand nach einer Umfrage aus dem Jahre 1967 in USA eine Liste mit 42 Gründen für das Nichtbe-

nutzen von Kofferdam (GROSSMAN 1989). Die am häufigsten erwähnten Gründe waren:

- ausreichende Trockenlegung des Behandlungsfeldes durch Watterollen,
- zeitaufwendige, nicht-rentable, schwer zu praktizierende Technik,
- eine unnötige Belastung des Patienten durch Anlegen des Kofferdams,
- keine signifikante Qualitätsverbesserung der Behandlungsmaßnahmen,
- der Zahnarzt hat keine Routine in dem Anlegen des Kofferdams (!) und
- der Zahnarzt ist zu bequem (!).

Diesen Argumenten stehen jedoch deutliche **Vorteile** bei einem Einsatz des Kofferdams gegenüber, die nicht ignoriert werden dürfen:

1) *Der Patient wird vor Verletzungen durch Verschlucken oder Aspiration von Instrumenten, Bohrern oder Füllungsteilen geschützt.* Die Häufigkeit solcher Zwischenfälle ist in der Endodontie relativ hoch (GROSSMAN 1989). 87% der in den Rachen verschwundenen Instrumente gelangen in die Speiseröhre, während 13% davon in die Atemwege gelangen (GROSSMAN 1989). Die Entfernung von verschluckten oder aspirierten Instrumenten erfordert je nach Lokalisation des Fremdkörpers in der Regel eine Laryngo- oder Bronchoskopie. 23% der verschluckten und 3% der aspirierten Instrumente mußten jedoch chirurgisch-invasiv entfernt werden (GROSSMAN 1989). Derartige Vorkommnisse werden nach einem Urteil des Bundesgerichtshofs in Kassel aus dem Jahre 1952 (BGH 27.11.52-VI ZR 25/52) als fahrlässig eingestuft (GABKA u. HARNISCH 1974). Die Folgen für den Zahnarzt sind meistens nicht nur mit rechtlichen Konsequenzen verbunden, sondern können auch für die Reputation von großem Nachteil sein (RIETHE 1985).

2) *Der Patient wird vor Detritus und blutigem oder eitrigem Sekret geschützt* (HERMSEN u. LINLOW 1987, KREMERS u. BRISEÑO 1993, RUETHER 1983, SAMARANAYAKE u. REID 1989, ZEPPENFELD 1990). Ist der Patient HIV-infiziert, muß die Gefahr der Entstehung einer endogenen Infektion durch Keime aus der Mundhöhle möglichst klein gehalten werden. Durch Anlegen eines Kofferdams, Desinfektion des Behandlungsfeldes und Vermeiden von unnötigen Verletzungen der Schleimhaut kann einer solchen Infektion entgegenwirkt werden (KAMANN 1998).

3) *Der Zahnarzt und seine Assistenz werden vor Blut, Eiter, Speichel, Bakterien und Viren (insbesondere Hepatitis und HIV) geschützt* (HERMSEN u. LINLOW 1987, KAMANN 1998, KREMERS u. BRISEÑO 1993, SAMARANAYAKE u. REID 1989, WINKLER 1991). Nach Anlegen des Kofferdams ist hierbei jedoch zusätzlich eine Desinfektion des Behandlungsfeldes (durch Natriumhypochlorid oder Alkohol) und des behandelten Zahnes (vorzugsweise durch Hexetidin) dringend erforderlich, weil gerade beim Einsatz spraygekühlter rotierender Instrumente der Kofferdam als unerwünschter Reflektionsschild wirkt. Diese Reflexion hat zur Folge, daß das Behandlungszimmer in einem Umfeld von bis zu zwei Metern um den Behandlungsstuhl durch Bakterien aus der Mundhöhle des Patienten kontaminiert wird. Dem kann jedoch durch eine der Behandlung vorangehende Desinfektion des Kofferdams und der isolierten Zähne entgegengewirkt werden. Diese Desinfektion bewirkt die Reduktion der Bakterienanzahl im Bereich von einem Meter um den Behandlungsstuhl um 88% und im Bereich von zwei Metern um 72% (SAMARANAYAKE u. REID 1989).

4) *Durch Asepsis des Behandlungsfeldes wird der zu behandelnde Zahn vor Keimen aus der Mundhöhle geschützt* (KREMERS u. BRISEÑO 1993, WINKLER 1991). Gleich zu Anfang der Behandlung müssen zunächst die weichen und harten Zahnbeläge am betroffenen Zahn entfernt werden. Alle kariösen Läsionen sind vor der Trepanation zu exkavieren, damit eine Verschleppung weiterer Keime nach apikal vermieden wird. Alle Behandlungsschritte sind unter aseptischen Bedingungen durchzuführen, um möglichst schnell Keimarmut zu erzielen und eine Reinfektion durch Bakterien aus dem Speichel zu vermeiden.

5) *Ein absolutes Trockenlegen des Behandlungsfeldes durch das Anlegen des Kofferdams gewährleistet den Schutz vor Speichel- oder Blutzutritt sowie vor Feuchtigkeit durch Atemluft* (WINKLER 1991). Dadurch wird die Verarbeitung der Füllungsmaterialien vereinfacht und qualitativ verbessert. Daneben kann eine bessere Prognose über therapeutische Maßnahmen gestellt werden.

6) *Das Weichgewebe wird vor Verätzungen durch Spüllösungen geschützt* (KAMANN 1998, KREMERS u. BRISEÑO 1993, WINKLER 1991). Zusätzlich wirkt die

Spannung des Kofferdamgummis auf die Weichteile (Zunge, Lippe, Wange) retrahierend und erhöht den Abstand zu rotierenden Instrumenten.

7) *Die Übersicht über das Behandlungsfeld wird verbessert* (KAMANN 1998, KREMERS u. BRISEÑO 1993, WINKLER 1991). Das Kofferdamgummi hält die Weichteile vom Zahn fern. Dadurch werden Sicht und Zugang zur Mundhöhle und in den Zahn verbessert und die Behandlung gestaltet sich somit einfacher.

8) *Der Patient wird entlastet*. Während der Behandlung wird das Offenhalten des Mundes durch die Spannung des Gummis auf die Weichteile erleichtert und der Patient kann sich bewegen, ohne das Behandlungsfeld zu beeinträchtigen (KREMERS u. BRISEÑO 1993, WINKLER 1991).

9) *Eine Zeitersparnis kommt dadurch zustande, daß die Verwendung von Watterollen und Parotiskissen, sowie häufiges Spülen, Absaugen oder Gespräche mit dem Patienten entfallen* (WINKLER 1991). Es wird verhindert, daß der Patient den Mund ganz schließt und somit das Behandlungsfeld gefährdet. Die Instrumente bleiben durch das trockene Arbeitsfeld griffig, der Spiegel beschlägt nicht und der Zahnarzt kann in der Regel auf behindernde Handschuhe verzichten, ohne eine Infektion befürchten zu müssen.

10) *Die Akzeptanz des Kofferdams ist insbesondere bei Wurzelkanalbehandlungen sehr hoch, da der Patient nach einem Aufklärungsgespräch fast immer von den Vorteilen überzeugt ist*. Das wird durch eine englische Studie dem Jahr 1989 belegt (GERGELY 1989). Von 42 Patienten mit endodontischen Notfällen bevorzugten 31 (73%) eine Behandlung mit Kofferdam, 3 (7%) lehnten Kofferdam ab und 8 (19%) verhielten sich neutral. Die Akzeptanz von Kofferdam bei Kindern ist dabei genau so hoch wie bei Erwachsenen. Ältere Patienten zeigen eine geringere Akzeptanz gegenüber therapeutischen Maßnahmen: von 10 älteren Patienten bevorzugten 6 (60%) die Behandlung mit Kofferdam, ein Patient bevorzugte die Behandlung ohne Kofferdam und 3 (30%) verhielten sich neutral.

Ein Vorteil für den Zahnarzt ergibt sich auch daraus, daß sein Bemühen um eine hohe Behandlungsqualität vom Patienten wahrgenommen und anerkannt wird.

Den angeführten Vorteilen werden immer wieder **Nachteile** entgegengestellt, die sich jedoch entkräften lassen:

1) *Die Atmung wird eingeschränkt.* Um die Asepsis zu erhalten, empfehlen einige Zahnmediziner, die Nase mit dem Kofferdamgummi zu bedecken (TRONSTAD 1991, WINKLER 1991). Dadurch, daß auch der Mund von dem Kofferdamgummi bedeckt ist, führt dieser Zustand zu einer Einschränkung der Atmung. Dem kann jedoch dadurch begegnet werden, daß eine kleine Perforation im Gummi oberhalb des Behandlungsfeldes angebracht wird (KAMANN 1998). Von dieser Perforation wird jedoch oft abgesehen, um den Patienten vorzugsweise durch die Nase atmen zu lassen. Eine Kontamination des Behandlungsfeldes durch die Nasenatmung ist weniger wahrscheinlich als eine durch die Mundatmung, weil die Bakterienflora der Nasenhöhle weniger virulent ist als die der Mundhöhle. Die Mundatmung führt zudem zu einer problematischen Befeuchtung des Arbeitsfeldes, da sie auch einen höheren Feuchtigkeitsgehalt aufweist.

2) *Die Einschränkung der Atmung kann bei einigen Patienten Angst auslösen* (WINKLER 1991). Ein aufklärendes Gespräch und eine ruhige Vorgehensweise können dem Patienten diese Angst nehmen. In wenigen Fällen ist die Anwendung des Kofferdams jedoch nicht möglich. Hier müssen mit Zahnseide oder Kettchen gesicherte Wurzelkanalinstrumente verwendet werden.

3) *Allergien können auftreten.* Der Kontakt des Spannunggummis mit der Haut kann eine anaphylaktische Reaktion oder ein Kontaktekzem auslösen. Dies kann jedoch durch eine genaue Anamnese verhindert werden. Bei Allergikern kann eine latexfreie Kofferdamfolie verwendet werden (WINKLER 1991).

4) *Schädigungen der Zahnhartsubstanzen können durch nicht passende Klammern oder durch Austrocknen des Dentins hervorgerufen werden.* Eine sorgfältige Auswahl der Klammer und die Isolation des Dentins mit Vaseline oder Watte, getränkt in Kochsalzlösung, verhindern derartige Schädigungen (WINKLER 1991).

5) *Schäden am Weichgewebe können durch eine zu große Spannung des Gummis auf die Schleimhaut und durch die Branchen der Klammern entstehen.* Die Spannung kann zu Ischämie und in der Folge zur Nekrose der Schleimhaut füh-

ren. Durch die Branchen können Zunge, Wange und Gingiva verletzt werden, wenn die Klammer falsch eingesetzt wird. Durch die richtige Technik können derartige Verletzungen vermieden werden (WINKLER 1991).

6) *Daß die Durchführung von Röntgen-Meßaufnahmen durch den Kofferdam erschwert werde, wird zwar von einigen Autoren erwähnt (GULDENER u. LANGELAND 1987, KAHN 1964, KETTERL et al. 1993, MILES et al. 1992, PECCHIONI 1982, SCHROEDER 1981), jedoch werden gleichzeitig auch hierfür Lösungen angeboten. Unter Einsatz bereits zur Verfügung stehender, einfacher Mittel wird wie folgt vorgegangen:*

6a) *Den Kofferdamrahmen abnehmen und die Instrumentengriffe abknipsen, um die Anwendung herkömmlicher Filmhalter zu ermöglichen (SCHROEDER 1981). Der einzige Vorteil dieser Vorgehensweise ist, daß die Rechtwinkeltechnik zur Darstellung der Zähne benutzt werden kann (diese Projektionstechnik wird im Rahmen der Literaturbesprechung über Radiologie erörtert). Nachteile dieser Methode sind jedoch ein erhöhter Bedarf an Wurzelkanalinstrumenten und die Verlängerung der Behandlungszeit durch Abnahme des Kofferdamrahmens. Nach Beenden der radiologischen Untersuchung muß das Kofferdamgummi auf den Rahmen gespannt und erneut desinfiziert werden, um die Asepsis weiterhin zu gewährleisten. Für den Patienten ist die Abnahme des Rahmens meistens mit Unbehagen verbunden, weil entlang der bereits feuchten Gummi-Innenfläche der Speichel aus dem Mund abfließen kann.*

6b) *Den Kofferdamrahmen abnehmen und den Film während der radiologischen Untersuchung mit dem Finger an dem zu untersuchenden Zahn halten (HÜLSMANN 1993, PECCHIONI 1982, VAN VELZEN et al. 1988). Eine manuelle Fixierung des Filmhalters an dem zu untersuchenden Zahn in Verbindung mit einem aufklappbaren Kofferdamrahmen aus Metall wurde ebenfalls von KAHN vorgeschlagen (KAHN 1964). Diese zweite Vorgehensweise ist in den Abbildungen 5 und 6 dargestellt. Eine detaillierte Ansicht des Scharniergelenkes des Kofferdamrahmens nach KAHN liefert die Abbildung 6a und 6b.*

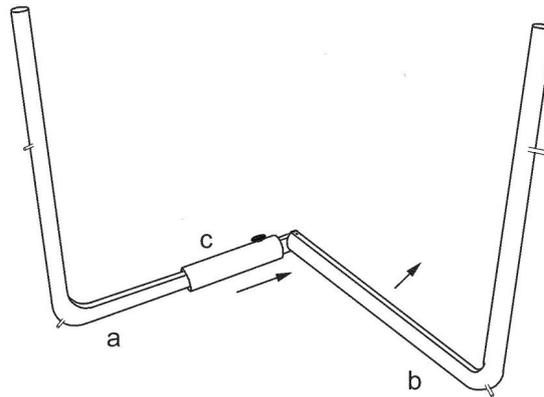


Abb. 5: Umzeichnung des aufklappbaren Kofferdamrahmens nach KAHN. Die zwei Kofferdamrahmen-Hälften a und b sind durch ein Gelenk miteinander verbunden. Dieses Gelenk kann durch einen verschieblichen Riegel c blockiert werden.

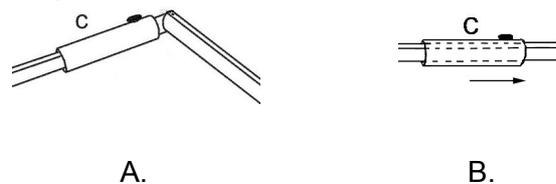


Abb. 6: Scharniergelenk des Kofferdamrahmens nach KAHN
A) geöffnet, B) verriegelt.

Diese Vorgehensweise ist aus mehreren Gründen nicht vertretbar: erstens ist sie mit einer höheren Strahlenbelastung für die Person, die den Film fixiert, verbunden und gilt daher schon als obsolet; zweitens ist die Positionierung und die Fixierung des Röntgenfilms schwierig; und drittens besteht die Gefahr, den Röntgenfilm zu verbiegen. Diese Verbiegung führt immer zu einer verlängerten Projektion des Zahnes, aufgrund derer evtl. eine falsche Arbeitslänge ermittelt wird. Die Ermittlung einer falschen Arbeitslänge kann auch durch Einsatz der Halbwinkeltechnik selbst vorkommen, die in diesem Fall als einzige Projektionstechnik in Frage kommt.

6c) *Den Kofferdamrahmen abnehmen und den EndoRay II-Filmhalter benutzen* (BESNER et al. 1994, Herstellerhinweis DENTSPLY RINN USA 1999). Dies ist ebenfalls ein zeitaufwendiges Vorgehen, hat aber ebenso wie das erste

Vorgehen den Vorteil, daß die Projektion der Zähne mit der Rechtwinkeltechnik stattfindet. Zusätzlich verhindert die korbformige Gestaltung des Filmhalters die Berührung der Wurzelkanalinstrumente. Nachteil dieser Methode ist die Verlängerung der Behandlungszeit durch Entfernung des Kofferdamrahmens oder das Ablösen eines Teils des Kofferdamgummis vom Kofferdamrahmen, um die Positionierung des Filmhalters zu ermöglichen.

6d) *Einen U-förmigen (WINKLER 1991) oder einen aufklappbaren Kofferdamrahmen benutzen, um die Positionierung einer Arterienklemme (BESNER et al. 1994, HÜLSMANN 1993, INGLE u. TAINTOR 1976, VAN VELZEN et al. 1988, WÖRNER 1996, ZEPPENFELD 1985), eines Snap-A-Ray-Filmhalters (BESNER et al. 1994) oder eines Holzspatels mit einem an ihm fixiertem Röntgenfilm (AKEN 1969) unter Sicht zu ermöglichen.* Die intraorale Positionierung dieser drei Hilfsmittel zeigen die Abbildungen 7, 8 und 9.



Abb. 7: Intraorale Positionierung einer Arterienklemme mit Zahnfilm.

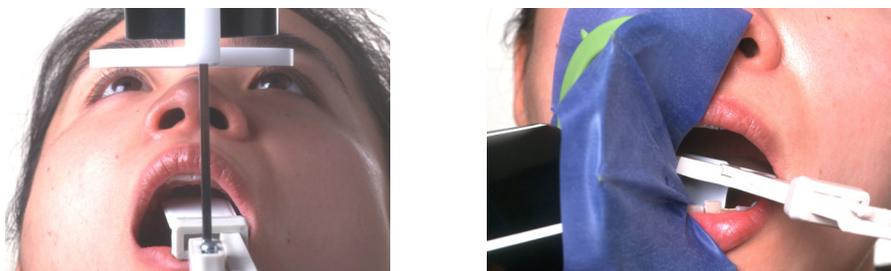


Abb. 8: Positionierung des Snap-A-Ray-Filmhalters: links im Frontzahnbereich ohne Kofferdam-Instrumentarium und rechts im Seitenzahnbereich mit eingesetztem Kofferdamrahmen. Der Aufbau des Snap-A-Ray-Filmhalters für den Frontzahnbereich ermöglicht zwar die Positionierung einer Kofferdamklemme, aber nicht den Einsatz eines Kofferdamrahmens.



Abb. 9: Positionierung des Zahnfilms mit Hilfe eines Holzspattels.

In diesem Fall werden die Arterienklemme, der Snap-A-Ray-Filmhalter und der Holzspatel vom Patienten selbst gehalten. Dies kann allerdings leicht zu Bewegungsunschärfen führen. Je nach Art und Form der Arterienklemme kann auch hier eine Verbiegung der Röntgenfilme stattfinden, wodurch wieder eine Verlängerung der Projektion zu erwarten ist. Hinzu kommt, daß der senkrechte Einfall des Zentralstrahls im Sinne der Paralleltechnik nur dann garantiert ist, wenn eine Zielvorrichtung an der Arterienklemme oder am Filmhalter vorhanden ist.

2.3 Radiologie

Der endodontische Behandlungserfolg basiert auf der genauen Bestimmung, Einstellung und Einhaltung der Arbeitslänge. Bis auf die bestimmte Arbeitslänge wird infiziertes und/oder nekrotisches Pulpagewebe – und entlang der Dentinkanälchen auch infiziertes Dentin – mit Hilfe manueller oder maschineller Aufbereitungshilfen entfernt.

Als *Arbeitslänge* wird der Abstand zwischen dem koronalen Referenzpunkt des zu behandelnden Zahnes (meistens die Höckerspitze) und dem Foramen physiologicum bezeichnet. Anhand des Röntgenbildes kann jedoch nur das Foramen apicale lokalisiert werden. Meistens wird der Abstand zwischen dem Foramen apicale und dem Foramen physiologicum auf 1 mm eingeschätzt (GULDENER u. LANGELAND 1987, HELLWIG et al. 1995, HÜLSMANN 1993, KETTERL et al. 1993, SCHROEDER 1981, VAN VELZEN et al. 1988). Die Bestimmung der Zahn- und Arbeitslänge erfolgen wie in Abbildung 10.

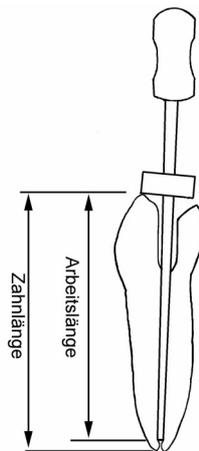


Abb. 10: Radiologische Zahn- und Arbeitslängenbestimmung. Die Zahnlänge wird gemessen zwischen der Höckerspitze und dem Foramen apicale, die Arbeitslänge wird gemessen zwischen der Höckerspitze und dem Foramen physiologicum.

Eine Untersuchung von VAN DE VORDE et al. von 1969 bestätigte dieses Ergebnis. 101 nicht erhaltungswürdige Zähne wurden hierfür untersucht. Die Arbeitslänge wurde *vor* der Extraktion mit Hilfe von Feilen und Röntgen-Meßaufnahmen mit der Paralleltechnik und *nach* der Extraktion mit Hilfe einer Schieblehre bestimmt. Das Ergebnis war eine um 5,4% vergrößerte Darstellung des Zahnes. Anhand der Meßaufnahme wurde der Abstand zwischen dem Foramen apicale und dem Foramen

physiologicum bestimmt. Sein Mittelwert betrug 1,1 mm. Der Mittelwert des tatsächlichen Abstands, gemessen nach der Extraktion, betrug jedoch 0,8 mm. Die Autoren waren der Meinung, daß die daraus resultierende Differenz von 0,3 mm klinisch nicht relevant ist. Sie hielten daher die Arbeitslängenbestimmung mittels Meßaufnahme mit der Paralleltechnik für eine zuverlässige Arbeitsmethode.

Die Arbeitslänge kann sowohl *endometrisch* als auch *radiologisch* bestimmt werden.

1) *Die Endometrie* ermöglicht die Längenbestimmung des Wurzelkanals ohne Strahlenbelastung für den Patienten. Aus diesem Grund ist sie besonders für Kinder empfehlenswert. Während der Schwangerschaft bietet die Endometrie die einzige Möglichkeit zur Arbeitslängenbestimmung. Hinzu kommen weitere Vorteile wie schnelle und nach Bedarf mehrmals wiederholbare Messungen, die auch mit Instrumenten der Stärke ISO 6 durchführbar sind.

Das Prinzip der Endometrie basiert auf der Messung des Widerstandes zwischen der Mundschleimhaut und dem Desmodont und ist in Abbildung 11 wiedergegeben. Sobald das Wurzelkanalinstrument das Desmodont berührt, stellt sich ein bestimmter konstanter Widerstand ein, der an der Apexanzeige ablesbar ist (GULDENER u. LANGELAND 1987, HELLWIG et al. 1995, HÜLSMANN 1993).

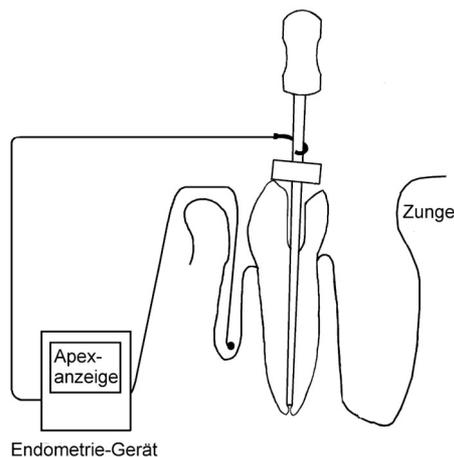


Abb. 11: Endometrische Arbeitslängenbestimmung mit einer am Wurzelkanalinstrument angebrachten Meßsonde, die den Widerstand zwischen Desmodont und der Mundschleimhaut mißt. Dieser Widerstand ist an der Apexanzeige ablesbar.

Nachteilig auf die Ergebnisse der endometrischen Längenbestimmung können sich jedoch ionisierbare Flüssigkeiten im Wurzelkanal (z.B. Blut oder Natrium-

hypochlorid), Obliterationen des Wurzelkanals oder nicht abgeschlossenes Wurzelwachstum auswirken.

Die Literaturangaben über Konstanz und Zuverlässigkeit der Endometrie sind kontrovers. Aus diesem Grund empfehlen einige Autoren die Endometrie als Ergänzung zur Röntgen-Meßaufnahme und in jedem Fall die posttherapeutische radiologische Überprüfung der endodontischen Füllungstherapie (HÜLSMANN 1993, THODEN VAN VELZEN 1988). Selbst Autoren, die die endometrische Arbeitslängenbestimmung der Meßaufnahme vorziehen, empfehlen die Überprüfung der endometrischen Arbeitslängen-Messung durch eine Meßaufnahme (GULDENER u. LANGELAND 1993).

2) *Die Röntgen-Meßaufnahme* ermöglicht die Bestimmung einer zuverlässigen Arbeitslänge und liefert gleichzeitig Informationen über Verlauf und Krümmung der sondierbaren Wurzelkanäle, Obliterationen und Unebenheiten im Wurzelkanal (GULDENER u. LANGELAND 1987, KETTERL et al. 1993, THODEN VAN VELZEN 1988). Dabei lässt sich das Ergebnis durch örtliche Begebenheiten nicht beeinflussen.

Unabhängig von der Art der Arbeitslängenbestimmung sind mindestens noch zwei Röntgenaufnahmen notwendig:

- ein Ausgangszahnfilm, der wichtige Informationen über die Anatomie des Zahnes (Anzahl der Wurzeln und Kanäle, ihre Krümmung in allen drei Richtungen, die Lokalisation des Foramen apicale) und der Umgebung, Wurzelresorptionen oder -frakturen, periapikale oder laterale Läsionen, den parodontalen Zustand des Zahnes, Verbleib von Fremdkörpern z.B. Reste alter Wurzelfüllungen liefert (BRIDGMAN u. CAMPBELL 1995, HÜLSMANN 1993, GULDENER u. LANGELAND 1987, PASLER 1995, Pecchioni 1982, SONNABEND 1989);
- eine Röntgenaufnahmen für die Dokumentation der endodontischen Behandlung und die Durchführung der posttherapeutischen Kontrolle.

Unabhängig von der Röntgenaufnahme-technik ergeben sich immer Verzerrungen bei der Projektion des Zahnes auf den Film. Dies ist meistens durch unterschiedliche Werte der röntgenologischen und der tatsächlich eingestellten Instrumentenlänge feststellbar (Abb. 12).

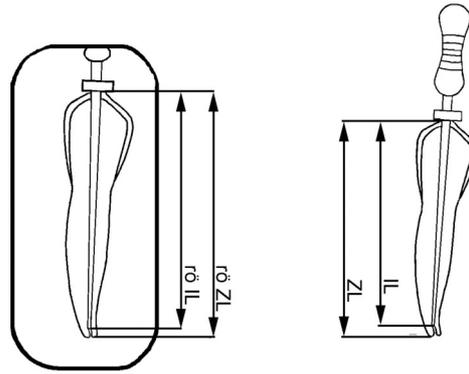


Abb. 12: Links vergrößerte Darstellung des Zahnes und der eingestellten Arbeitslänge auf der Meßaufnahme, rechts tatsächliche Zahn- und eingestellte Arbeitslänge. ZL= tatsächliche Zahnlänge, IL= Instrumentenlänge, rö ZL= röntgenologisch gemessene Zahnlänge, rö IL= röntgenologisch gemessene Instrumentenlänge.

Die tatsächliche Zahnlänge kann trotz der Bildverzerrung nach der folgenden Formel errechnet werden (HICKEL u. VOSS 1986):

$$ZL = \frac{IL \times röZL}{röIL}$$

Formel 1: Bestimmung der tatsächlichen Zahnlänge anhand der Meßaufnahme.

Die Ermittlung einer falschen Arbeitslänge hat negative Konsequenzen auf den Erfolg der Behandlung.

- Wird eine *zu kurze Arbeitslänge* ermittelt, verbleiben Bakterien und ihre Stoffwechselprodukte im Wurzelkanal. Die Folge kann eine akute Exazerbation der chronischen apikalen Parodontitis sein, die für den Patienten mit Schmerzen verbunden ist (GULDENER u. LANGELAND 1987).
- Eine *zu große Arbeitslänge* führt dagegen zu einer Überinstrumentierung. Dabei wird das periapikale Gewebe, das primär eine gute Abwehr gegen Noxen aufweist, verletzt und Bakterien sowie ihre Stoffwechselprodukte nach periapikal verschleppt (GULDENER u. LANGELAND 1987). Zusätzlich können durch die Erweiterung des Foramen physiologicum Spüllösungen, medikamentöse Einlagen oder Wurzelfüllmaterial in das periapikale Gewebe gelangen. Die Folge ist eine Verstärkung der vorhandenen akuten oder ein Wiederaufflammen einer chronischen apikalen Parodontitis.

Für die korrekte Beurteilung der Arbeitslänge ist wiederum eine gute Qualität der Meßaufnahme sehr wichtig. *Filmabhängige* und *filmunabhängige bildgestaltende Faktoren* sind für die Qualität entscheidend.

1) *Filmabhängige Faktoren oder Eigenschaften der Filme sind Empfindlichkeit, Kontrast, Zeichenschärfe und Grundscheier* (BRIDGMAN u. CAMPBELL 1995, GULDENER u. BEISSNER 1970, MILES et al. 1992, PASLER 1995, PECCHIONI 1982, SONNABEND 1989).

a) Je *empfindlicher* ein Film ist, umso niedriger ist die Strahlendosis, die benötigt wird, um eine bestimmte Schwärzung zu erreichen.

b) *Die Zeichenschärfe* wird bestimmt durch die Größe der Silberbromidkristalle. Flache Kristalle haben eine große Oberfläche und sind daher hoch empfindlich gegenüber der Röntgenstrahlung, zeigen aber eine geringere Zeichenschärfe. Kleine Kristalle sind feinzeichnender, aber auch weniger strahlenempfindlich.

c) *Der Kontrast* eines Films verstärkt den Objektkontrast, verursacht durch Absorptionsunterschiede der verschiedenen Gewebearten.

d) *Der Grundscheier* ist die Vorschwärzung des Films, meistens entstanden durch Lagerung des Filmmaterials. Er sollte möglichst gering sein, damit der Kontrast des Films nicht beeinflusst wird.

Eine nach Herstellerangaben optimale Lagerung des Filmmaterials ist Voraussetzung für eine hohe Qualität der Aufnahmen.

2) *Filmunabhängige bildgebende Faktoren sind veränderbare Parameter*. Zu ihnen gehören *die Strahlenqualität und -quantität, die Abstandsverhältnisse Fokus-Objekt-Film, die Lage des Zentralstrahls zur Zahnängsachse, die Ausarbeitung des Filmmaterials und die Röntgentechnik* (GULDENER u. BEISSNER 1970, MILES et al. 1992, PASLER 1995, SONNABEND 1989).

a) *Die Strahlenqualität und -quantität* sind am Röntgengerät einstellbare Parameter und für jede Zahngruppe charakteristisch.

b) *Die Abstandsverhältnisse Fokus-Objekt-Film* spielen eine wichtige Rolle für die maßgetreue Darstellung des Zahnes.

Je größer der *Fokus-Objekt-Abstand* ist, umso kleiner ist die Halbschattenbreite, verursacht durch divergierende Röntgenstrahlen, umso schärfer ist

wiederum das Bild und umso maßgetreuer wird das Objekt projiziert (Abb. 13).

Durch die Langtubus-Methode wird der Objekt-Film-Abstand von 15 cm (kurzer Tubus) auf 40 cm vergrößert. Die Vergrößerung der Projektion im Verhältnis zum Objekt kann dabei meistens unter 10% gehalten werden (GULDENER u. BEISSNER 1970). Voraussetzung für qualitativ gute Röntgenaufnahmen ist hierbei jedoch die Anwendung eines Filmhalters.

Je kleiner der Fokus-Objekt-Abstand ist, umso größer wird das Objekt dargestellt, umso größer ist die Halbschattenbreite¹ und umso weniger scharf werden seine Konturen dargestellt (Abb. 14). Dies erschwert die Lokalisation des Foramen apicale.

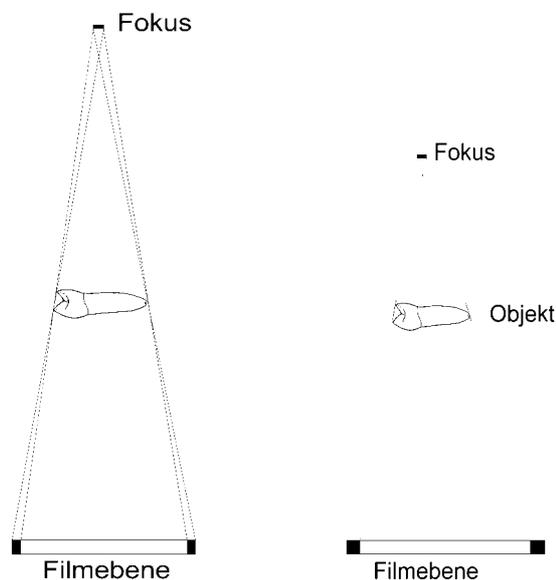


Abb. 13 und 14: Links: ein großer Fokus-Objekt-Abstand führt zu einer geringen Vergrößerung der Projektion und aufgrund einer geringen Halbschattenbreite zu einer optimalen Konturenschärfe. Rechts: ein kleiner Fokus-Objekt-Abstand führt zu einer stark vergrößerten, unscharfen Projektion des Objekts.

Je kleiner der *Objekt-Film-Abstand* ist, umso geringer ist die Vergrößerung des Objektes und umso genauer kann die Arbeitslänge im Rahmen einer Wurzelkanalbehandlung ermittelt werden (Abb. 15).

¹: Konturverlauf der Projektion verursacht durch die Röntgenstrahlen-Divergenz.

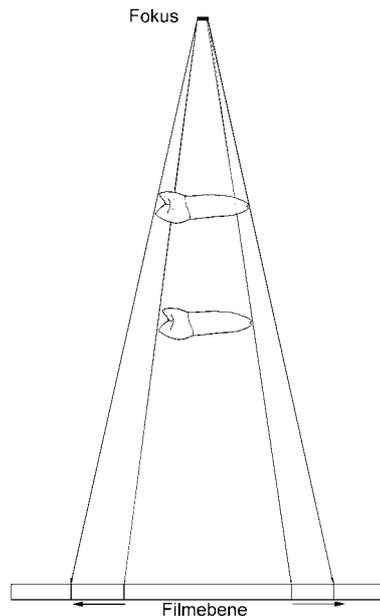


Abb. 15: Mit zunehmendem Objekt-Film-Abstand vergrößert sich die Zahnprojektion.

c) Heute sind drei intraorale Röntgentechniken für die Darstellung der Zähne bekannt: *die Halbwinkeltechnik*, *die Paralleltechnik* und *die Rechtwinkeltchnik*.

- *Die* von CIESZYNSKI 1907 beschriebene *Halbwinkeltechnik*, ist die am längsten angewandte Projektionstechnik (MILES et al. 1992, PASLER 1995, SONNABEND 1989, WÖRNER 1996). Der Film wird meistens mit dem Zeigefinger des Patienten an dem zu untersuchenden Zahn fixiert und liegt mit der incisalwärts gelegenen Seite an der Zahnkrone und mit der apikalwärts gelegenen Seite am Kieferkamm. Dies kann zur Folge haben, daß eine Verbiegung des Films und dadurch bedingt eine vergrößerte Darstellung des Zahnes stattfindet (Abb. 16). Um die Verbiegung des Films zu verhindern, empfehlen einige Autoren das Einlegen einer Watterolle zwischen den Film und die Zahnkrone (Abb. 17). Der Winkel zwischen der Zahnlängsachse und der Filmachse wird somit kleiner und die Bestimmung seiner Winkelhalbierenden erleichtert (BENKEL et al. 1980, BRIDGMAN u. CAMPBELL 1995, IHDEN u. REICHART 1988, PASLER 1995, SONNABEND 1989). Eine gewisse Annäherung der Halbwinkeltechnik an die Paralleltechnik wird dadurch erreicht.

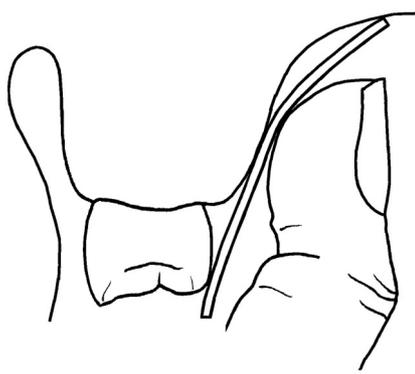


Abb. 16: Verbiegung der Filmebene durch die manuelle Fixierung durch den Patienten. Umzeichnung nach BRIDGMAN und CAMPBELL.

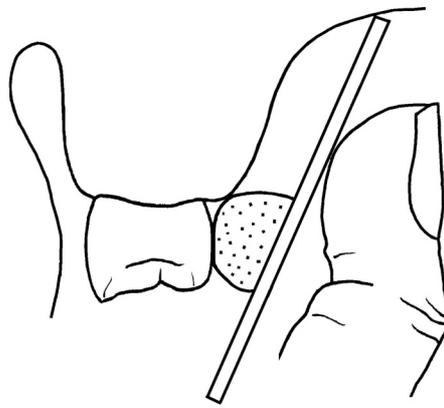


Abb. 17: Einfügen einer Watterolle zur Vermeidung der Verbiegung der Filmebene. Umzeichnung nach BRIDGMAN und CAMPBELL.

Selten werden Filmhalter für die Positionierung und Fixierung des Films bei der Halbwinkeltechnik verwendet, die diese Verbiegung verhindern. Von der FA. DENTSPLY RINN werden zu diesem Zweck der Snap-A-Ray-Filmhalter (Abb. 8) und das BAI-Filmhaltesystem (Abb. 18) angeboten (DENTSPLY RINN USA Herstellerhinweis 1999). Ebenso gut kann auch ein Holzspatel mit einem an ihm fixierten Zahnfilm verwendet werden (BESNER et al. 1994). Die Abbildung 18 zeigt eine seitliche Ansicht auf die BAI-Bißplatten für die Front- und die Seitenzähne, deren Rückschilder einen flachen Winkel mit den Aufbißflächen bilden. Die Abbildung 19 zeigt eine Ansicht auf die BAI-Bißplatten für die Seiten- und die Frontzähne. Diese Bißplatten werden intraoral auf ähnliche Weise wie die Filmhalter aus dem Rinn-Besteck positioniert.



Abb. 18: Seitliche Ansicht auf die BAI-Bißplatte für den Seitenzahnbereich. Das Rückschild bildet einen flachen Winkel mit dem Indikatorstab, an dem ein Visiering für die Positionierung des Röntgentubus anzubringen ist.



Abb. 19: BAI-Bißplatten links für die Seiten- und rechts für die Frontzähne.

Der Zentralstrahl verläuft durch den Apex des Zahnes senkrecht auf die Halbierende des Winkels, gebildet von der Zahn­längsachse und der Film­ebene (Abb. 20). Eine genaue Bestimmung der Winkelhalbierenden ist sehr selten möglich und führt bei steiler Einstellung des Zentralstrahls zu einer vergrößerten und bei einer flachen Einstellung zu einer verkleinerten Zahnprojektion. Dadurch ist die Reproduzierbarkeit von situationsgleichen Aufnahmen mit der Halbwinkeltechnik nur eingeschränkt möglich.

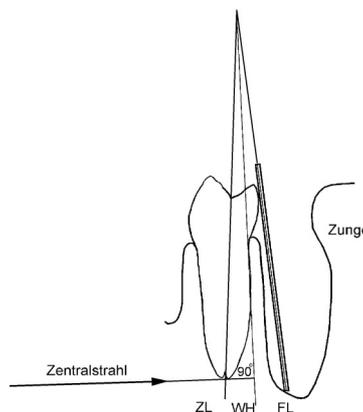


Abb. 20: Verlauf des Zentralstrahls bei der Halbwinkeltechnik. ZL= Zahn­längsachse, FL= Filmachse, WH= Winkelhalbierende des Winkels gebildet von der Zahn­längsachse und der Filmachse.

Da der Zentralstrahl nicht mittig auf den Zahn trifft, findet eine ungleichmäßige Vergrößerung des Zahnes statt.

Empfehlungen über den Einstellwinkel des Zentralstrahls zur Winkelhalbierenden können hilfreich sein (MILES et al. 1992, PECCHIONI 1982, SONNABEND 1989). Dafür sollte die Positionierung der Röntgenröhre mittels Gradeinteilung am Röntgengerät erfolgen.

Voraussetzung dafür ist jedoch die Parallelität der Okklusalebene und der horizontalen Raumebene, was den Einsatz der Halbwinkeltechnik am liegenden Patienten unmöglich macht.

Heute greift man auf diese Methode zurück, wenn die parallele Positionierung des Filmhalters bei der Parallel- oder Rechtwinkeltechnik aufgrund anatomischer Gegebenheiten, wie z. B. flachem Gaumen, kurzen Frenula linguales oder einem stark ausgeprägten Torus palatinus nicht möglich ist.

- Die *Paralleltechnik* wurde zum ersten Mal 1901 von PRICE beschrieben. Befürworter dieser Methode waren MASTER, UPDEGRAVE und FITZGERALD, die durch verschiedene Hilfsmittel, unter anderem auch Filmhalter, versuchten, die Paralleltechnik zu standardisieren (MILES et al. 1992, PASLER 1995, SONNABEND 1989, WÖRNER 1996). Der Film wird hierbei mit Hilfe eines Filmhalters parallel zur Zahnlängsachse positioniert. Eine am Filmhalter fixierte Zentriervorrichtung garantiert den senkrechten Einfall des Zentralstrahls auf die Längsachse und die Mitte des Zahnes (Abb. 21). Dadurch wird der Zahn gleichmäßig vergrößert dargestellt.

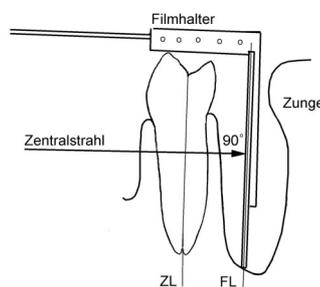


Abb. 21: Verlauf des Zentralstrahls bei der Paralleltechnik. ZA= Zahnlängsachse, FA= Filmachse.

Die Vergrößerung des Zahnes erfolgt aufgrund anatomischer Strukturen, wie z. B. einem stark ausgeprägten Kieferkamm, die die Einhaltung eines kleinen Objekt-Film-Abstandes nicht erlauben.

- Die *Rechtwinkeltechnik* wurde von SJÖGREN, BERGHAGEN, BENKOW und EGGERS beschrieben und später von PASLER modifiziert (PASLER 1995). Per definitionem fällt der Zentralstrahl senkrecht und mittig auf den Film, dessen Positionierung nicht parallel zur Zahnlängsachse erfolgen muß. Dabei ist die Röntgenröhre fest mit der Filmklemme verbunden. Heute werden jedoch die Begriffe Parallel- und Rechtwinkeltechnik synonym benutzt, da sie sich ergänzen: die Filmebene sollte idealerweise parallel zur Zahnlängsachse sein (Paralleltechnik) und der Zentralstrahl sollte mit Hilfe einer Zentriervorrichtung senkrecht und mittig auf die Zahnlängsachse fallen (Rechtwinkeltechnik).

Die Halbwinkel- und die Paralleltechnik waren Gegenstände vieler Untersuchungen mit dem Ziel, die Qualität der durch diese Röntgentechniken entstandenen Aufnahmen miteinander zu vergleichen. Wegen ihren unterschiedlichen Vorgehensweisen werden exemplarisch folgende Studien genannt.

MOURSHED und MCKINNEY verglichen 1972 die Fehlerquote bei der Positionierung der Filmhalter und die Qualität der mit der Paralleltechnik und mit der Halbwinkeltechnik von Studierenden der Zahnmedizin angefertigten Röntgenbilder. Die mit der Paralleltechnik hergestellten Aufnahmen zeigten eine bessere Qualität und eine geringere Fehlerquote bei der Positionierung der Filmhalter als die mit der Halbwinkeltechnik hergestellten Aufnahmen.

In einer Studie von BHAKDINARONK et al. von 1981 wurden die Arbeitslängen von extraktionswürdigen Zähnen sowohl mit der Paralleltechnik als auch mit der Halbwinkeltechnik bestimmt. Die mit der Paralleltechnik bestimmten Arbeitslängen zeigten eine kleinere Abweichung zu den post extractionem bestimmten Arbeitslängen als die Halbwinkeltechnik.

Da im Rahmen einer endodontischen Behandlung die Anfertigung mehrerer Röntgenaufnahmen notwendig ist, wird der Patient einer hohen Strahlenbelastung ausgesetzt. Aus diesem Grund muß der Behandler durch die Anwendung optimaler Aufnahmetechniken und Bemühung um eine hohe Bildqualität, die eine unnötige Wiederholung der Aufnahmen ausschließt, diese Strahlenbelastung auf ein Minimum reduzieren.

2.4 Filmhaltesysteme

Heute finden zunehmend Filmhalter in Verbindung mit der Rechtwinkeltechnik Anwendung.

Filmhalter wurden entwickelt, um das Einbringen, die Positionierung und Fixierung des Bildträgers in die gewünschte Lage – idealerweise parallel zur Zahnlängsachse – zu erleichtern. Dadurch wird die Qualität der Aufnahmen verbessert und ihre Reproduzierbarkeit gesichert. Filmhalter tragen außerdem dazu bei, die Hygiene in der zahnärztlichen Praxis zu verbessern, da bei der intraoralen Positionierung des Zahnfilms nur der Zahnfilmhalter und nicht wie früher der Haltefinger des Patienten kontaminiert wird (HICKEL u. VOß 1986, JENSEN 1978, PITTS 1984, ZEPPENFELD 1990).

Ein Filmhalter setzt sich zusammen aus einer *Filmklemme*, einer *Aufbißplatte* und einer *Zielvorrichtung*.

1) *Die Filmklemme* fixiert den Röntgenfilm in der gewünschten Position. Ein Rückschild sollte die Verbiegung des Films durch Berühren von intraoralen Strukturen (z. B. harter Gaumen) verhindern. Dadurch können Verzerrungen beim Zubeißen vermieden und die Qualität der Aufnahmen gesteigert werden (JENSEN 1999, PITTS 1984). Bei der Formgebung der Filmklemme sollten alle Kanten abgerundet werden, um die Verletzung der Schleimhaut oder die Entstehung von Würgereiz zu vermeiden und eine optimale Anpassung an die Formen der Mundhöhle zu erreichen (JENSEN 1999).

2) *Die Aufbißplatte* sichert durch das Zusammentreffen von antagonistischen Zahngruppen die intraorale Lage des Filmhalters. Die meisten Filmhalter haben eine im Querschnitt rechteckige Aufbißplatte, obwohl bei der Mundöffnung die Kiefer keilförmig auseinanderklaffen. In diesen Fällen ist es meist notwendig, den Aufbiß mit einer Watterolle zu unterlegen, um eine optimale Fixierung des Filmhalters zu erreichen.

3) *Die Zielvorrichtung* besteht aus einem *Indikatorstab* und einem *Zentriersystem für die Röntgenröhre*. Der Sinn dieser Vorrichtung ist:

- a) dem Zahnarzt, nachdem der Patient den Mund geschlossen hat und somit die direkte Einsicht nicht mehr möglich ist, einen Hinweis über die Lage des Zahnfilms zu geben,

- b) die senkrechte Einstellung der Röntgenröhre zur Filmebene sowohl am sitzenden als auch am liegenden Patienten zu ermöglichen und
- c) die Strahlenbelastung für den Patienten durch die gezielte Positionierung der Röntgenröhre und – dadurch bedingt – die Anzahl von Fehlprojektionen (Tubusschatten) zu reduzieren (VAN AKEN 1969, GULDENER u. BEISSNER 1970, JENSEN 1999, PASLER 1995, PITTS 1984).

Einige Filmhaltersysteme verfügen über fokusferne Rechteckblenden, die am Visiering oder am Indikatorstab angebracht sind (IH DEN u. REICHART 1988, JENSEN 1999). Diese Blende grenzt das bestrahlte Gewebeareal auf die Größe eines Zahnfilms ein und reduziert die Strahlenbelastung für den Patienten (JENSEN 1999, PASLER 1995, PITTS 1984). Wenige Filmhaltersysteme (VAN AKEN 1969, JENSEN 1978) verfügen zusätzlich über ein strahlenundurchlässiges Rückschild der Filmklemme, das die Strahlenbelastung für den Patienten auf ein Minimum reduziert. Diese Filmhaltersysteme werden als strahlenleitende Instrumente (beam-guiding instruments) bezeichnet.

Im Rahmen endodontischer Meßaufnahmen ist die Anwendung herkömmlicher Filmhalter in den meisten Fällen nicht möglich. Der Grund dafür ist, daß die Wurzelkanalinstrumente aus dem Zahn herausragen. Ein Aufbißblock sollte daher hoch genug sein, um die Berührung der Instrumentengriffe beim Zubeißen durch die antagonistischen Zähne zu verhindern. Im Laufe der Zeit wurden daher verschiedene Filmhalter für die Anfertigung von Röntgen-Meßaufnahmen entwickelt. Sie werden nachfolgend dargestellt:

1) 1962 entwickelten KRATOCHVIL und LONGTON *ein mit der Röntgenröhre starr fixiertes Filmhaltersystem*. Dadurch konnte der senkrechte Einfall des Zentralstrahls auf den Film gesichert und der Abstand der Röntgenröhre zum Film konstant gehalten werden. Die Röntgenröhre hatte einen rechteckigen Querschnitt von der Größe eines Zahnfilms und bestand aus Aluminium. Dadurch, daß das bestrahlte Gebiet nicht größer als der Zahnfilm war, sank die Strahlenbelastung für den Patienten erheblich. An der Röntgenröhre konnten verschiedene Aufsätze fixiert werden, die die Anfertigung von periapikalen, Bißflügel- und Meßaufnahmen in allen vier Quadranten ermöglichten. Ein Aufbißblock war nicht vorhanden (Abb. 22). Die Position des Kopfes sollte während der Aufnahmen mit Hilfe einer Nackenstütze stabilisiert werden, um die Entstehung von Bewegungsunschärfen zu verhindern.

Laut Autoren konnte der Kofferdamrahmen während der Meßaufnahme belassen werden.

Trotz intensiver Bemühungen scheiterte die Beschaffung eines solchen Filmhalters. Aus diesem Grund wird nachfolgend die Umzeichnung eines Photos aus der Originalpublikation veröffentlicht, um diesen Filmhalter darstellen zu können.

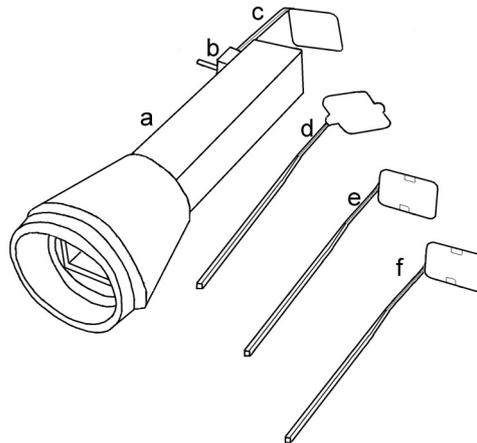
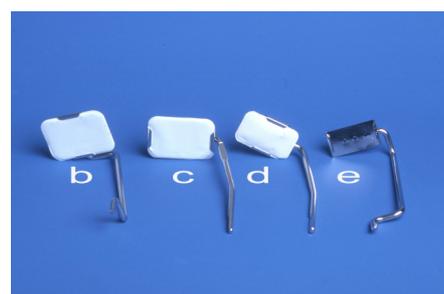


Abb. 22: Filmhaltesystem nach KRATOCHVIL und LONGTON, bestehend aus a= einer rechteckigen Röntgenröhre, b= einer Einrichtung zur Fixierung der verschiedenen Aufsätze und c-f= mehreren an der Röhre fixierten Aufsätzen, mit denen die Anfertigung aller Aufnahmearten möglich ist.

2) Ein ähnliches Filmhaltesystem, das RWS-Recht-Winkel-System, wird heute von der FA. BEYCODENT, HERDORF, www.beycodent.de, angeboten (Abb. 23A und 23B). Dieses Filmhaltesystem wurde 1950 von HILSCHER und MATTHIS erfunden und von PASLER weiterentwickelt (1985).



A.



B.

Abb. 23: Das Rechtwinkel-System der FA. BEYCODENT mit A= zusammengesetztes Filmhaltesystem mit a= Fixiererring zur Aufnahme der Filmhalteinstrumente, a1= innerer Ring für die Fixierung der Halteinstrumente und a2= Haltering für die Röntgenröhre, b= Halteinstrument für Frontzähne und für Aufnahmen im ersten und dritten Quadranten. B= Ansicht auf Halteinstrumente: c= Halteinstrument für Aufbißaufnahmen, d= Halteinstrument für 2x3 Zahnfilme und e= Halteinstrument für den zweiten und vierten Quadranten.

Der Fixierring ist in verschiedenen Ausführungen für alle auf dem Markt erhältlichen Röntgentuben verfügbar. Er setzt sich zusammen aus einem äußeren Ring a1 zur Fixierung der Halteinstrumente und einem inneren Ring a2 zur Fixierung des gesamten Ringes a an einer Röntgenröhre. Beide Ringe a1 und a2 sind beweglich miteinander verbunden.

Das Rückschild der einzelnen Halteinstrumente nimmt nicht die gesamte Fläche eines Zahnfilms ein, sondern nur etwa die mittlere Hälfte. Infolge dessen kann es nicht die gesamte Strahlenmenge absorbieren, die auf den Zahnfilm trifft, und gilt somit nicht als strahlenleitendes Instrument.

3) JENSEN modifizierte 1977 den Precision-Filmhalter, der zum ersten Mal 1964 von MEDWEDEFF et al. beschrieben wurde (JENSEN 1978, JENSEN 1999). Dabei entstanden die *Universal-X-Ray-Filmhaltetypen*: Typ I für Frontzähne und Typ II für Seitenzähne, wobei hier zwei seitengleiche Filmhalter für die rechte und die linke Seite nötig sind (Abb. 24). Es sind zwei unterschiedlich große Ausführungen dieses Filmhaltesystems erhältlich: eine für Erwachsene und eine für Kinder.

Wie beim Vorgänger sind auch hier die Filmklemme, die Fixierungsschiene für den Aufbißblock und die Zielvorrichtung in einem Stück aus Edelstahl konstruiert. Der Filmhalter ist dadurch sehr stabil. Ein weiterer Vorteil seinerzeit war seine Sterilisierbarkeit, da die verfügbaren Kunststoffe damals nicht sterilisierbar waren. Die Anfertigung aus Edelstahl machte den Universal-X-Ray-Filmhalter allerdings schwerer als andere aus Kunststoff hergestellte Filmhalter. Die zwei am Visierring angebrachten Zapfen dienen zur Stabilisierung des Filmhalters durch den Patienten, bei behinderten Patienten zur Fixierung eines Headgears oder zur Behandlung von Patienten in Narkose.

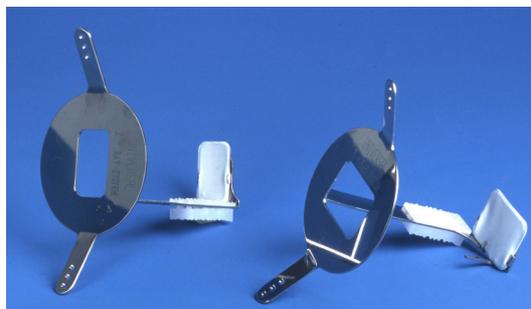


Abb. 24: Universal-X-Ray-Filmhalter, links Typ I für die Frontzähne, rechts Typ II für die Seitenzähne.

Der solchermaßen modifizierte Filmhalter kann durch die unterschiedliche Positionierung des Aufbißblocks für alle Aufnahmen in allen vier Quadranten verwendet werden. Es gibt zwei Schienen für die Fixierung des Aufbißblocks: eine breite für die waagerechte Positionierung des Aufbißblocks, die zugleich als Verbindungsstück zum Zentriersystem dient, und eine schmale, distal gelegene Schiene für die Hochkant-Positionierung des Aufbißblocks (Abb. 25).



Abb. 25: Positionierungsmöglichkeit für den Aufbißblock. Links Positionierung des Aufbißblocks auf der breiten Schiene für Meßaufnahmen. Der Platz zwischen dem fixierten Aufbißblock und dem schmalen Steg soll der Aufnahme von Wurzelkanalinstrumenten dienen. Rechts Positionierung des Aufbißblocks, sowohl auf der schmalen als auch auf der breiten Schiene, für periapikale Aufnahmen.

Der Universal-X-Ray-Filmhalter trägt als strahlenleitendes Instrument zu einer erheblichen Reduktion der Strahlenbelastung für den Patienten bei. Durch die Anfertigung eines zusätzlichen Rückschildes, ebenfalls aus Edelstahl, ist auch die Absorption der Primärstrahlung möglich, die sonst durch die Bleifolie der Filmpackung hindurch verläuft (IH DEN u. REICHART 1988, WÖRNER 1996). Dadurch gestaltet sich der Strahlenschutz für den Patienten optimal.

Tabelle 1 veranschaulicht die Reduktion der Strahlendosis auf der Haut bei Verwendung des Universal-X-Ray-Instrumentes.

Röntgen-Methode	Halbwinkel-technik	Parallel-technik mit Langtubus ohne Abschirmung	Parallel-technik mit Langtubus und Abschirmung	Parallel-technik mit strahlenleitendem Instrument
Körperregion				
1. Philtrum	15,28 (100%)	18,42 (120,5%)	16,95 (111%)	8,16 (55,5%)
2. erster Molar OK	10,07	10,68 (106%)	10,60 (105%)	10,12 (100%)
3. Hornhaut/ Linse	8,645	6,725 (78%)	7,318 (84,7%)	0,246 (2,8%)
4. große Speicheldrüse	0,904	0,888 (98,2%)	0,533 (59%)	0,309 (34,2%)
5. Schilddrüse	0,615	0,301 (49%)	0,123 (20%)	0,057 (9,3%)
6. erster Halswirbel	0,032	0,040 (125%)	0,023 (72%)	0,015 (47%)
7. Gonaden ungeschützt	0,010	0,010 (100%)	0,005 (50%)	0,002 (20%)
8. Gonaden geschützt durch Bleischürze	0,003	0,0005 (16,7%)	0,0003 (10%)	0,0003 (10%)

Tab. 1: Strahlenbelastung auf der Hautoberfläche als Folge eines periapikalen Röntgenstatus [Milligray mGy]. In Klammern sind die prozentualen Angaben in bezug auf die Halbwinkeltechnik angegeben, die als 100%-ige Belastung anzusehen ist. (Mit freundlicher Genehmigung von DR. JENSEN).

Das Rückschild ist großzügig gestaltet und hat abgerundete Formen (Abb. 26).

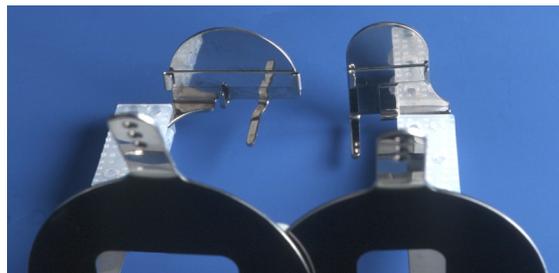


Abb. 26: Rückschilder des Universal-X-Ray-Filmhalters: links breites Rückschild für die waagerechte Positionierung, rechts schmales Rückschild für die senkrechte Positionierung des Zahnfilms.

Die Form und Größe des Rückschildes gewährleisten die kontrollierbare Verbiegung des Filmmaterials nur an den Rändern und zugleich seine Anpassung an die runden Strukturen der Mundhöhle. Da der Universal-X-Ray-Filmhalter aus einem einzigen Stück konstruiert ist, kann eine unkontrollierte Verbiegung des Rückschild-

des nach dem Zubeißen nicht stattfinden. So verändert die Filmebene ihre Position nicht und Verzerrungen werden vermieden (JENSEN 1999).

Um die Schleimhaut durch die scharfen Kanten von 3 x 4 cm großen Zahnfilmen zu schützen und dennoch qualitativ gute Aufnahmen zu erhalten, empfiehlt JENSEN die Anwendung von 2,2 x 3,5 Filmformaten in der Front.

Die optimale Positionierung des Filmhalters kann schließlich durch die individuelle Gestaltung des Aufbißblocks mit Kerr-Masse oder Trim-Kunststoff erreicht werden. Da während einer endodontischen Behandlung die Herstellung mehrerer situationsgleicher Aufnahmen notwendig ist, ist diese individuelle Anpassung durchaus sinnvoll. Sie erfordert jedoch einen zusätzlichen Zeitaufwand.

Die Anwendung des Universal-X-Ray-Filmhalters in der Endodontie sollte aus heutiger Sicht in Verbindung mit einem aufklappbaren Kofferdamrahmen erfolgen, damit die Kontamination der Arbeitsfläche mit Speichel bis zum Abschluß der endodontischen Behandlung vermieden wird (Abb. 27).



Abb. 27: Intraorale Positionierung des Universal-X-Ray-Filmhalters für eine Kontrollaufnahme am Zahn 36 in Verbindung mit einem aufklappbaren Kofferdamrahmen.

Der in der Abbildung 27 dargestellte Aufbißblock ist sehr niedrig und kann in dieser Form nicht für Röntgen-Meßaufnahmen eingesetzt werden, da beim Zubeißen die antagonistischen Zähne die Wurzelkanalinstrumente berühren. Eine mögliche Lösung dieses Problems wurde in der Abbildung 28 von JENSEN selbst vorgeschlagen („persönliche Mitteilung“). So werden zwei Aufbißblöcke der gleichen Größe wie in der Abbildung 28 eingesetzt: der erste wird waagrecht an der breiten Schiene und der zweite senkrecht an der schmalen Schiene fixiert. Für die – allerdings instabile – Fixierung des zweiten senkrecht angebrachten Aufbißblocks ist seine Durchbohrung in Längsrichtung notwendig. Die erwünschte Lage des so veränderten Universal-X-Ray-Filmhalters zu dem behandelten Zahn während der

Meßaufnahme ist aus der Abbildung 28 ersichtlich. Die Positionierung des so veränderten Universal-X-Ray-Filmhalters gestaltete sich jedoch als unmöglich, was DR. JENSEN in einem Telefongespräch im August 2000 bestätigte.

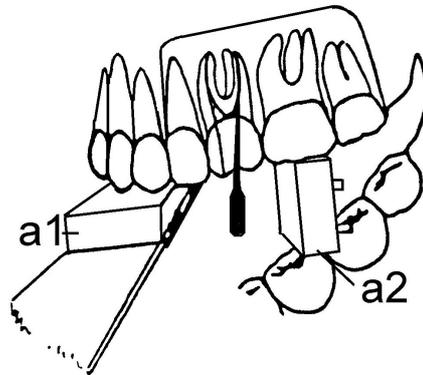


Abb. 28: Originalzeichnung: Vorschlag für die Positionierung des Universal-X-Ray-Filmhalters bei Röntgen-Meßaufnahmen. Der hochkant fixierte Aufbißblock a2 verhindert zwar die Berührung der Wurzelkanalinstrumente, ist aber hinter dem angelegten Kofferdam-Instrumentarium sehr schwer zu positionieren.

Für die Anfertigung von *Meßaufnahmen* mit dem Universal-X-Ray-Filmhaltersystem muß der Patient den Filmhalter folglich in der gewünschten Position manuell fixieren, ohne daß er auf diesen beißt. So hat der Universal-X-Ray-Filmhalter nur mit dem zu behandelnden Zahn und mit seinem mesialen Nachbarzahn Kontakt, nicht jedoch mit dem Antagonisten. Diese einseitige Fixierung kann jedoch zur Entstehung von Bewegungsunschärfen führen.

4) GREENE *modifizierte 1973 den Snap-A-Ray-Filmhalter*. Dieser Filmhalter, früher unter dem Namen EEZEE-GRIP^o bekannt (LERNER 1992), wird aus Kunststoff hergestellt und ist bei der FA. DENTSPLY, KONSTANZ (www.dentsply.com), erhältlich (Abb. 29). Er eignet sich zur Anfertigung von Röntgenaufnahmen in der Halbwinkeltechnik.

Der Filmhalter besteht aus zwei senkrecht zueinander liegenden Aufbißplatten: eine schmale für die Frontzähne und eine 3 x 4 cm große für die Seitenzähne. An der Aufbißfläche für die Frontzähne befindet sich eine Klemmvorrichtung für die Fixierung des Films in der Ebene des Filmhalters. An der Aufbißplatte für die Seitenzähne ist eine zangenähnliche, verriegelbare Klemmvorrichtung angebracht. Sie ermöglicht die Fixierung des Films senkrecht zur Aufbißfläche und zur Ebene des Filmhalters. Für die Frontzähne ist die manuelle Positionierung des Filmhal-

ters in der gewünschten Lage notwendig, während für die Seitenzähne die Positionierung des Filmhalters sowohl durch Aufbiß als auch manuell möglich ist.

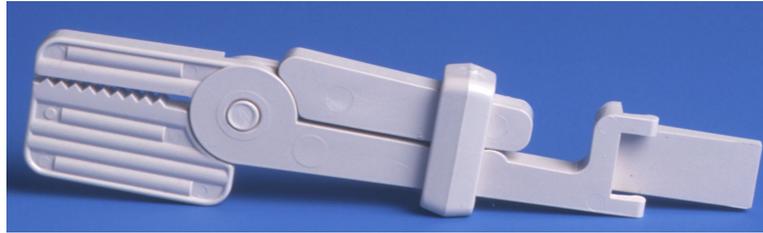


Abb. 29: Snap-A-Ray-Filmhalter. An der linken Seite wird der Zahnfilm für Aufnahmen im Seitenzahnbereich senkrecht zur Aufbißfläche fixiert, an der rechten Seite befindet sich die Klemme zur Fixierung des Zahnfilms bei Aufnahmen im Frontzahnbereich.

Die Modifizierung des Filmhalters nach GREENE bestand darin, aus der Aufbißfläche für die Seitenzähne eine Fläche etwa so groß wie ein Molar herauszuschneiden (Abb. 30). Genaue Angaben über die Maße machte er nicht, sondern überließ sie jedem Behandler selbst. Diese Aussparung sollte genug Platz für die Wurzelkanalinstrumente bieten, die aus dem Zahn herausragen. Auch konnte eine Skelettierung des verriegelbaren Arms vorgenommen werden, um den Filmhalter insgesamt graziler zu gestalten. Der modifizierte Filmhalter konnte nun auf die approximal zum behandelten Zahn gelegenen Zähne abgestützt werden. Fixiert wurde der modifizierte Filmhalter jedoch manuell, so daß auch in diesem Fall jeder Zeit Bewegungsunschärfen entstehen konnten (Abb. 31).

Der modifizierte Filmhalter wurde in Kombination mit einem aufklappbaren Kofferdamrahmen benutzt, um eine erleichterte Positionierung des Röntgenfilms zu ermöglichen (Abb. 32).



Abb. 30: Modifizierter Snap-A-Ray-Filmhalter nach GREENE.



Abb. 31: Positionierung des modifizierten Snap-A-Ray-Filmhalters nach GREENE auf dem zu behandelnden Zahn ohne Kofferdam, um die Lage des Zahnfilms zum Zahn zu verdeutlichen. Der Ausschnitt soll genug Platz für die aus dem Zahn herausragenden Instrumente bieten.



Abb. 32: Positionierung des modifizierten Snap-A-Ray-Filmhalters nach GREENE auf dem zu behandelnden Zahn mit einem aufklappbaren Kofferdamrahmen, aber ohne Zentriervorrichtung.

Die Modifizierung des Filmhalters stellte lediglich eine Anleitung zur Herstellung eines nach Meinung des Autors geeigneten Filmhalters für Röntgen-Meßaufnahmen dar.

5) PAQUETTE et al. unternahmen 1979 eine weitere *Modifikation des Snap-A-Ray II Filmhalters*. Sie beseitigten die Anwinkelung des Indikatorstabes und machten somit die Anwendung der Paralleltechnik möglich. Die Aufbißfläche für die Seitenzähne und die dazugehörigen Branchen (Zangenarme) wurden verschmälert, damit die manuelle Positionierung des Filmhalters bei vorhandenen Wurzelkanalinstrumenten neben dem Zahn ermöglicht wird (Abb. 33).

Mit diesem modifizierten Filmhalter ist die Anfertigung von Meßaufnahmen mit angelegtem, radioluzentem Kofferdamrahmen möglich. Die Positionierung und die Fixierung des Filmhalters erfolgt jedoch immer noch manuell und kann Bewegungsunschärfen verursachen (Abb. 34).

Da dieser modifizierte Filmhalter, genauso wie der Snap-A-Ray-Filmhalter, aus Kunststoff besteht und keine Rechteckblende hat, wird die Strahlenbelastung für den Patienten nicht reduziert.



Abb. 33: Modifizierter Snap-A-Ray-Filmhalter. Zum Vergleich ist der unmodifizierte Snap-A-Ray-Filmhalter rechts daneben dargestellt.



Abb. 34: intraorale Positionierung des Snap-A-Ray-Filmhalters nach PARQUETTE: links *ohne* und rechts *mit* eingesetztem Kofferdam-Instrumentarium.

6) BRIDGMAN u. CAMPBELL *modifizierten 1995 den Snap-A-Ray II-Filmhalter* in ähnlicher Weise wie GREENE.

Sie schnitten aus der Aufbißfläche für die Seitenzähne ein Teil heraus, so daß die Platzierung auf dem zu untersuchenden Zahn ohne Berührung der Wurzelkanalinstrumente möglich war. Vom Aufbißblock für die Seitenzähne blieb nur der mesiale Anteil bestehen (Abb. 35). Eine Änderung in der Höhe des Aufbißblocks wurde nicht vorgenommen. Aus diesem Grund konnte der Filmhalter durch Zubeißen nicht fixiert werden. Zum Fixieren des Filmhalters ließen die Autoren den Patienten auf den Aufbißblock und auf ein Bündel von Watterollen, die mit Zahnseide zusammengehalten wurde, beißen. Sie erhofften sich dadurch eine gute Fixierung des Filmhalters während der Meßaufnahme und das Nichtberühren der Wurzelkanalinstrumente durch die antagonistischen Zähne (Abb. 36). Eine Alternative zu dieser Methode war die manuelle Fixierung des Filmhalters durch den Patienten, die jedoch zu Bewegungsunschärfen führen kann.

Die Positionierung des Filmhalters erfolgte durch das Abspannen eines kleinen Gummianteils vom Kofferdamrahmen auf der entgegengesetzten Seite. Zwischen Kofferdamgummi und -rahmen wurde nun der Filmhalter in den Mund eingebracht und positioniert (BRIDGMAN u. CAMPBELL 1995, COHN 1988).

Am Filmhalter war eine Zentriervorrichtung angebracht, die den senkrechten Einfall des Zentralstrahls auf den Zahnfilm sicherte.

Die FA. DENTSPLY RINN vertreibt diesen modifizierten Filmhalter unter dem Namen Snapex-System.



Abb. 35: Modifizierter Snap-A-Ray-Filmhalter nach BRIDGMAN und CAMPBELL mit Zentriervorrichtung für den Langtubus und die Paralleltechnik.



Abb. 36: Intraorale Positionierung des nach BRIDGMAN und CAMPBELL modifizierten Snap-A-Ray-Filmhalters: links ohne Kofferdam-Instrumentarium, um die Lage des Filmhalters zum Zahn zu verdeutlichen, rechts mit einem aufklappbaren Kofferdamrahmen.

7) FIXOTT entwickelte 1976 einen in der Mitte ausgesparten *Aufbißblock für die Anfertigung von Meßaufnahmen im Frontzahnbereich*. Der Filmhalter wurde auf den betroffenen Zahn gesetzt, so daß die Wurzelkanalinstrumente in der Aussparung Platz fanden. Die Fixierung des Filmhalters erfolgte durch Zubeißen der antagonistischen Zahngruppen, dabei verhinderte seine gerillte Oberfläche das Ab-

rutschen der Zähne. Diese Platte hatte eine Dicke von 15 mm, damit der Patient beim Zusammenbeißen die Instrumente nicht berühren konnte. Die Abbildungen 37A und 37B zeigen eine nach Beschreibung des Autors angefertigte Zeichnung des Filmhalters.

Die Verbiegung des Films wurde durch ein Rückschild verhindert, das aus dem gleichen Material wie der Aufbißblock angefertigt wurde.

Eine Zentriervorrichtung war am Filmhalter nicht vorhanden, daher konnte der senkrechte Einfall des Zentralstrahls nicht genau eingestellt werden. Die Folgen waren demnach eine Verlängerung oder eine Verkürzung der Zahnprojektion.

Dieser Filmhalter konnte ebenfalls nur nach Entfernung des Kofferdamrahmens positioniert werden.

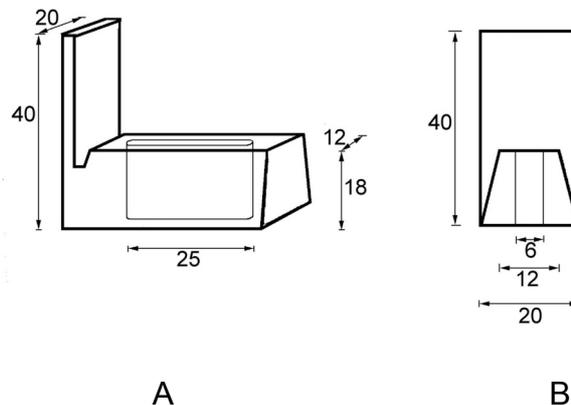


Abb. 37: Skizze des Filmhalters für Meßaufnahmen nach FIXOTT. A= seitliche Ansicht, B= Ansicht von vorne. Alle Maße sind in [mm] angegeben.

Dieser Filmhalter ging niemals in Produktion. Die Publikation stellte ebenfalls nur eine Anleitung für die selbständige Anfertigung eines solchen Aufbißblocks aus einem plastischen Material dar.

8) FUHRMANN entwickelte 1986 *aus dem Rinn-Besteck der Fa. Densply Rinn einen Filmhalter*, der die Anfertigung von Meßaufnahmen ermöglichte (FUHRMANN u. ALBERS 1986). So konnte mit diesem Besteck zum ersten Mal ein Instrument durch Zubeißen fixiert werden, ohne die Wurzelkanalinstrumente zu berühren. Zudem ermöglichte dieser Filmhalter den Einsatz der Paralleltechnik, die eine standardisierte und optimale Qualität der Aufnahmen gewährleistet.

Der Aufbißblock des Rinn-Endofilmhalters wurde hierfür nach mesial verlagert und insgesamt verschmälert, damit nach distal genug Platz für die Wurzelkanalinstrumente vorhanden ist. Der Aufbißblock wurde auf 15 mm erhöht, um die Berührung der Wurzelkanalinstrumente durch die antagonistischen Zähne beim Zubeißen zu vermeiden. Die gerillte Oberfläche des Filmhalters soll das Abrutschen der Zähne beim Zubeißen verhindern. Zur Stabilisierung des Aufbißteils und um die plane Halterung des Zahnfilms in der Filmrinne zu gewährleisten, wurde distal ein schmaler Steg angebracht, der in seinem Ausmaß kleiner gestaltet ist, als der mesiale Aufbißblock (Abb. 38).

Das Rückschild des Rinn-Filmhalters wurde vergrößert, um die Verbiegung des Films durch Berühren von intraoralen Strukturen, z. B. durch den Gaumen zu verhindern. Gleichzeitig wurden dessen Ränder leicht abgerundet, um Schmerzen und Verletzungen beim Kontakt desselben mit den Weichteilen zu vermeiden.

Die Anwendung dieses Filmhalters ist allerdings nur im Seitenzahnbereich (FUHRMANN u. ALBERS 1986) möglich. Die Positionierung dieses Filmhalters kann erst nach Abnahme des Kofferdam-Rahmens erfolgen.

Ein Zentriersystem bestehend aus einem Indikatorstab und einem Visierring ermöglicht den Einsatz der Parallel-/Rechtwinkeltechnik. Die Strahlenbelastung für den Patienten wird zwar durch die senkrechte Positionierung des Tubus zur Projektionsebene klein gehalten, eine Reduktion der gleichen im Sinne eines strahlenleitenden Instrumentes findet jedoch nicht statt.

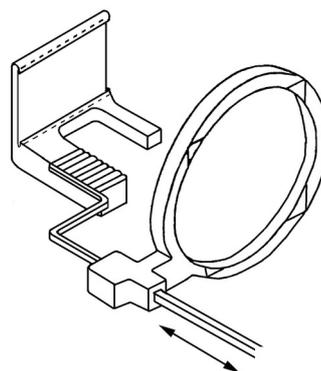


Abb. 38: Umzeichnung des Spezialfilmhalters für Meßaufnahmen im Seitenzahnbereich aus dem Rinn-Besteck.

9) Ein zweiter Filmhalter für Endodontie nach FUHRMANN ist der *EndoRay II-Filmhalter*, erhältlich bei der FA. DENTSPLY Rinn (DENTSPLY RINN USA Herstellerhinweis 1999, www.dentsply.com).

Dessen Aufbißteil setzt sich zusammen aus zwei Aufbißbügel, auf die der Patient aufbeißt, und einer Filmklemme. Diese skelettierte Form des Aufbißteils ermöglicht den ständigen Sichtkontakt zu den Wurzelkanalinstrumenten während der Filmhalter-Positionierung, was bei anderen Filmhaltersystemen nicht möglich ist. Der Aufbißteil hat weiterhin eine Höhe von 15 mm, die das Berühren von Instrumenten beim Zubeißen meistens verhindert (Abb. 39).

Die Führungsstange der Zentriervorrichtung ist auf beiden Seiten des Aufbißteils einsetzbar und ermöglicht so den Einsatz des Filmhalters in allen vier Quadranten.

Die Führungsstange hat eine längs gerillte Oberfläche, um den Zielring rotations-sicher zu fixieren. Der Zielring ermöglicht den Einsatz der Parallel-/ Rechtwinkel-technik, besitzt aber weder eine Rechteckblende noch ein strahlenundurchlässiges Rückschild im Sinne eines strahlenleitenden Instrumentes. Dadurch erfolgt keine Reduktion der Strahlenbelastung für den Patienten.



Abb. 39: EndoRay II-Filmhalter.

Die Positionierung des EndoRay II-Filmhalters bei aufgespanntem Kofferdamrahmen erfolgt laut Herstellerhinweis durch die Ablösung der oberen oder der unteren Hälfte des Kofferdamgummis vom nicht aufklappbaren Rahmen. Aufgrund der Gummispannung kann sich das Kofferdamgummi jedoch zusammenziehen und somit die Befeuchtung des Behandlungsareals oder seine vollständige Ablösung vom Kofferdamrahmen verursachen (Abb. 40). Zudem kann die Positionierung des Zahnfilms hinter dem Kofferdamgummi ohne direkten Sichtkontakt erschwert werden.



Abb. 40: Die intraorale Positionierung des EndoRay II-Filmhalters bei Meßaufnahmen im Oberkiefer-Frontzahnbereich erfolgt nach Ablösung der unteren Hälfte des Kofferdamgummis vom –rahmen.

10) IHDEN U. REICHART entwickelten 1988 den *Rechtwinkel-Technik-Filmhalter (RWT-Filmhalter) für Endo-Aufnahmen*, erhältlich bei der FA.KENTZLER-KASCHNER DENTAL, ELLWANGEN/JAGST (www.kkd-kentzler.de).

Dieser Filmhalter unterscheidet sich von dem ersten Filmhalter nach FUHRMANN durch das Fehlen des distalen Stegs am Aufbißteil und durch die nicht-skelettierte Gestaltung des Aufbißblocks. Die Rückschilder des RTW-Filmhalters bestehen aus Kunststoff und erlauben sowohl die waagerechte als auch die senkrechte Positionierung des Films und somit die Anwendung im Ober- und Unterkiefer (Abb. 41).

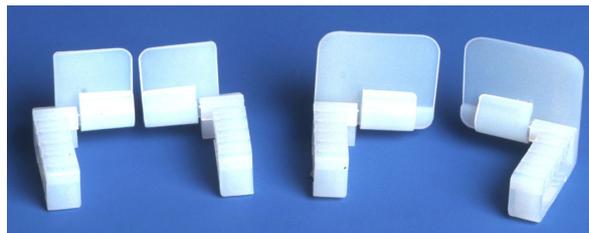


Abb. 41: Endo-Bißplatten aus Kunststoff: links für die Frontzähne, rechts für die Seitenzähne.

An der Zielvorrichtung kann sowohl ein Visierring angebracht werden, der die starre Fixierung der Röntgenröhre mit dem Filmhalter ermöglicht, als auch eine strahlenundurchlässige Rechteckblende. Die zusätzliche Fixierung des Filmhalters durch Aufbiß in Verbindung mit dem Visierring schließt die Möglichkeit der Entstehung von Bewegungsunschärfen aus. Der Visierring und Rechteckblende sind

getrennt einsetzbar und ermöglichen die senkrechte Ausrichtung des Zentralstrahls auf die Zahnfilmebene.

Den RTW-Filmhalter für Meßaufnahmen mit eingesetzter Rechteckblende zeigt Abbildung 42. Der Einsatz der Rechteckblende ist durch die seitengleichen Steckvorrichtungen sowohl für die rechte als auch für die linke Seite möglich und bewirkt eine erhebliche Reduktion der Strahlenbelastung.

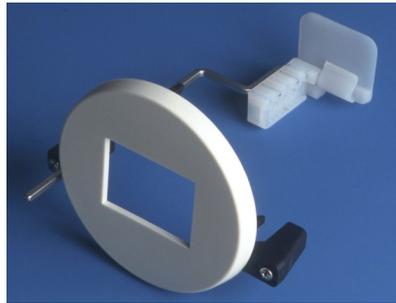


Abb. 42: RTW-Filmhalter für Meßaufnahmen im zweiten und im vierten Quadranten mit Rechteckblende.

Nach Herstellerangaben ist die Positionierung des Filmhalters in Verbindung mit einem aufklappbaren Kofferdamrahmen möglich (Abb. 43).

Die Höhe des Aufbißblocks beträgt 16 mm und kann manchmal zu einer Berührung der Wurzelkanalinstrumente beim Zubeißen führen. Die Hersteller schlagen als Lösungsmöglichkeit das Anbringen von Watterollen zwischen dem Zahn und dem Aufbißblock vor (Abb. 43), um den Filmhalter besser zu stabilisieren und die Berührung der Wurzelkanalinstrumente durch die antagonistischen Zähne zu vermeiden (BECKER 1995, KENTZLER-KASCHNER DENTAL GMBH Herstellerhinweis 1997).



Abb. 43: Intraorale Positionierung des RTW-Filmhalters bei Meßaufnahmen im Oberkiefer-Frontzahnbereich in Verbindung mit einem aufklappbaren Kofferdamrahmen. Um die Berührung der Wurzelkanalinstrumente durch die Antagonisten zu vermeiden, wurde die Aufbißblockhöhe durch eine Watterolle verändert.

11) CHEE u. NEO modifizierten 1990 den *Unibite Universal Dental X-Ray Filmhalter*, erhältlich bei der FA. DENTSPLY RINN, der unmodifiziert in Abbildung 44 dargestellt ist.

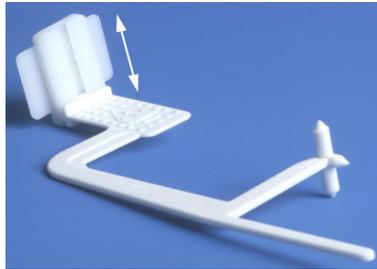


Abb. 44: Unibite Universal Dental X-Ray Filmhalter der FA. DENTSPLY RINN. Die Filmklemme läßt sich am Aufbissblock entlang der Führungsrille verschieben, so daß der Einsatz des Filmhalters in allen vier Quadranten möglich ist.

CHEE schnitt in der Mitte des Aufbissblocks ein Loch für die Aufnahme von Wurzelkanalinstrumenten. Als Ausgleich für die Instrumente, die aus dem Zahn herausragen, formte er aus einem Stück Kunststoff ein Dreieck. Die Basis des Dreiecks wies eine genauso große Aussparung wie die Aufbissplatte auf (Abb. 45). So konnte dieses Dreieck über den auf dem Zahn positionierten Filmhalter aufgesetzt werden, damit der Patient beim Zubeißen die Instrumente nicht berührt (Abb. 46). Da der Aufbissblock sich auf den mesialen und distalen Nachbarzähnen abstützt, ist seine ohnehin schwere Positionierung erst nach Abnahme des Kofferdamrahmens möglich (Abb. 46).

Eine Zentriervorrichtung für die Röntgenröhre ermöglicht die Anwendung der Paralleltechnik.



Abb. 45: Modifizierter Unibite Universal Dental X-Ray Filmhalter nach CHEE und NEO mit perforiertem Aufbissblock. Der dreieckförmige Ausgleich-Bißblock hat eine zur Filmhalter-Aufbissfläche passende Aussparung.



Abb. 46: Intraorale Positionierung des modifizierten Filmhalters für eine Meßaufnahme am Zahn 46. Links ohne, rechts mit Ausgleichsblock.

Auch bei diesem modifiziertem Filmhalter findet keine nennenswerte Strahlenreduktion statt, da der gesamte Filmhalter aus einem radioluzenten Kunststoff besteht.

12) Die FA. HAWE NEOS DENTAL, BIOGGIO/SCHWEIZ, (www.hawe.ch), bietet zwei Filmhalter für die Anfertigung von Meßaufnahmen in Front- und Seitenzahnbereich an (HAWE NEOS Herstellerhinweis 2000): *die Hawe Endo-Bite Filmhalter* (Abb. 47).

Der Filmhalter für *Meßaufnahmen im Frontzahnbereich* hat einen schmalen, in der Mitte ausgesparten Aufbißblock für die Aufnahme von Wurzelkanalinstrumenten während des Röntgens. Die Fläche dieses Aufbißblocks ist gerillt und ermöglicht eine gute Fixierung desselben beim Zubeißen (Abb. 47). Der Aufbißblock des Filmhalters für die Seitenzähne befindet sich in der Mitte der Filmklemme und erschwert somit die Positionierung des Filmhalters, wenn Wurzelkanalinstrumente aus dem Zahn herausragen (Abb. 47). Beide Filmhalter haben einen hohen Aufbißblock, auf den der Patient während der Meßaufnahme aufbeißen kann, ohne die Wurzelkanalinstrumente dabei zu berühren.

Die Filmklemmen beider Filmhalter sind mittels eines Drehgelenks mit dem Aufbißblock verbunden. Auf dieser Weise lassen sie sich um 180° drehen und in der gewünschten Position einrasten. So ermöglichen sie den Einsatz der Filmhalter sowohl für die linke als auch für die rechte Seite.

Zum Zentriersystem gehören verschiedene Positionierschablonen aus Karton für die senkrechte Ausrichtung verschiedener Tubus-Typen auf die Filmebene (Abb. 48). Eine Rechteckblende oder ein strahlenundurchlässiges Rückschild an der Filmklemme sind nicht vorhanden.



Abb. 47: Hawe Endo-Bite Filmhalter: links der Endo-Bite anterior für Meßaufnahmen an den Frontzähnen, rechts der Endo-Bite posterior für Meßaufnahmen an den Seitenzähnen. Neben den Filmhaltern befinden sich zwei Positionierungsschablonen für unterschiedliche Tubus-Typen.



Abb. 48: Eingesetzte Positionierschablonen in den beiden Visierringen für die genaue Positionierung verschiedener Tubus-Typen.

Die intraorale Positionierung beider Filmhalter ist nach Angaben des Herstellers in Verbindung mit einem aufklappbaren Kofferdamrahmen möglich. Die Positionierung der Endo-Bite Filmhalter bei vorhandenem aufklappbarem Kofferdamrahmen erwies sich jedoch im Seitenzahnbereich als schwierig (Abb. 50b) und im Frontzahnbereich als unmöglich (Abb. 49). Aus diesem Grund wurden der Kofferdamrahmen abgenommen, bevor der Endo-Bite anterior positioniert wurde (Abb. 49 und 50a).



Abb. 49: Intraorale Positionierung des Endo-Bite anterior Filmhalters ohne Kofferdam-Instrumentarium.



Abb. 50: Intraorale Positionierung des Endo-Bite anterior Filmhalters für eine Meßaufnahme am Zahn 21 ohne Kofferdamrahmen (a) und des Endo-Bite posterior Filmhalters für eine Meßaufnahme am Zahn 35 bei eingesetztem klappbaren Kofferdamrahmen (b).

13) WILLIS entwickelte für die Anfertigung von Meßaufnahmen das *EndoPro-Filmhalterset*, bestehend aus drei Filmhaltern: einer für die Front- und zwei spiegelgleiche für die Seitenzähne (1998), erhältlich bei der FA. OP-D-OP, Roseville/CA. USA (E-mail info@opdop.com).

Der Filmhalter für die Frontzähne hat einen hohen Aufbißblock, der in der Mitte ausgespart ist. Die Aussparung erlaubt die Aufnahme der Wurzelkanalinstrumente, die aus dem Zahn herausragen (Abb. 51).



Abb. 51: EndoPro-Filmhalter für die Frontzähne mit einem skelettierten Aufbißblock und einer Zentriervorrichtung für die Halbwinkeltechnik.

Der Filmhalter für die Seitenzähne hat eine korbformige, nicht skelettierte Form und ist *keilförmig* gestaltet (Abb. 52). Er paßt sich somit der Mundöffnung an. Auch hier kann der Patient zubeißen, ohne die Wurzelkanalinstrumente zu berühren. An der lingualen Aufbißblockfläche befindet sich eine Klemmvorrichtung für die Fixierung des Films. Darin kann der Film sowohl waagrecht als auch senkrecht fixiert werden, so daß der Filmhalter für Ober- und Unterkiefer einsetzbar ist. Die Klemmvorrichtung für den Zahnfilm besitzt allerdings keine Zahnfilmrille, die eine

Verschiebung dessen nach apikal verhindert. Aus diesem Grund kann es während der intraoralen Positionierung der EndoPro-Filmhalter zu einer Verschiebung des Zahnfilms kommen, die letztendlich zu einer fehlerhaften Aufnahme führen kann.



Abb. 52: EndoPro-Filmhalter für die Seitenzähne: links für den ersten und dritten Quadranten und rechts für den zweiten und vierten Quadranten. Beide Filmhalter haben einen skelettierten Aufbißblock und eine Zentriervorrichtung für die Paralleltechnik.

Beide Filmhalterttypen haben Zielvorrichtungen für den Einsatz der Paralleltechnik (Abb. 53) und der Halbwinkeltechnik (Abb. 51), die am Indikatorstab anzubringen sind.



Abb. 53: Zentriervorrichtung für das EndoPro Filmhalterset für den Einsatz der Paralleltechnik: links Filmhalter für die Frontzahnaufnahmen, rechts Filmhalter für die Seitenzahnaufnahmen.

Nach Herstellerangaben ist die Positionierung aller drei Filmhalter für Endo-Aufnahmen erst nach Abnahme des Kofferdamrahmens möglich (OP-D-OP INC. Herstellerhinweis 2000). Die Abstützung ihrer Aufbißteile findet aufgrund ihrer skelettierten Form sowohl auf den mesialen als auch auf den distalen Nachbarzähnen statt. Das kann jedoch nicht bei aufgespanntem Kofferdamgummi geschehen, ohne dessen Verletzung oder die Verschiebung der Wurzelkanalinstrumente zu verursachen (Abb. 54 und 55).



Abb. 54: Intraorale Positionierung des EndoPro-Filmhalters für die Frontzähne: links mit Zentriervorrichtung für die Paralleltechnik, rechts mit Zentriervorrichtung für die Halbwinkeltechnik.



Abb. 55: Intraorale Positionierung des EndoPro-Filmhalters für die Anfertigung von Meßaufnahmen nach Abnahme des Kofferdamrahmens, links für Meßaufnahmen im zweiten Quadranten und rechts für Meßaufnahmen im dritten Quadranten.

2.5 Dimensionen und Angulation der Zähne

Für die erfolgreiche endodontische Behandlung sind Kenntnisse über die Anatomie der Zähne Voraussetzung. Die Zahnlänge, die Anzahl und der Verlauf der Wurzeln und -kanäle spielen eine genauso wichtige Rolle wie die Neigung der Zahnlängsachsen zur Okklusionsebene und die Dimensionen der Zähne. Zudem sind diese Angaben sehr hilfreich für die Gestaltung von neuen Filmhaltern für die Anfertigung von periapikalen oder Meßaufnahmen.

Untersuchungen von Zahnängen in verschiedenen Bevölkerungsgruppen sind wichtig für die Bestimmung der Aufbißblockhöhe der Filmhalter für Meßaufnahmen. Die im Zahn fixierten Instrumente dürfen beim Zubeißen nicht von den Antagonisten berührt werden, da sonst eine Verschiebung dieser Instrumente erfolgt, die die Meßaufnahme unnütz macht. Die mesio-linguale Breite der Zähne ist maßgeblich für die Breite des Aufbißblocks, da seine sichere intraorale Fixierung in allen Regionen der Mundhöhle gewährleistet werden muß. Schließlich ist der Winkel aller Zahnängsachsen zur Okklusionsebene wichtig für die Neigung der Zahnfilmklemme zum Aufbißblock.

In den letzten 30 Jahren fand in der Endodontie eine beeindruckende technische Entwicklung statt. Dies führte zu einem erneut gesteigerten Interesse der Zahnmediziner an der Anatomie und Morphologie der Zähne. In den 80er Jahren erfolgten daher gleich mehrere Untersuchungen, die sich mit der Untersuchung von extrahierten Zähnen oder von Modellen aus verschiedenen Bevölkerungsgruppen beschäftigten. Tabelle 2 enthält eine Zusammenfassung der Angaben mehrerer Standardwerte.

Für die Tabellen 2 bis 7 werden folgende Abkürzungen verwendet:

OK = Oberkiefer,

UK = Unterkiefer,

I1 = mittlerer Schneidezahn,

I2 = seitlicher Schneidezahn,

C = Eckzahn,

P1 = erster Prämolare,

P2 = zweiter Prämolare,

M1 = erster Molar,

M2 = zweiter Molar,

n = Anzahl der gemessenen Zähne

min. = der kleinste gemessene Wert,

max. = der größte gemessene Wert,

x = der errechnete Mittelwert

w = weiblich

m = männlich

Zahnlängen		I1	I2	C	P1	P2	M1	M2
Autoren								
GULDENER/ LANGELAND 1987	OK	23	23	26	21	21,5	21	21
	UK	21	21	23	21,5	21,5	21	21
KETTERL 1993	OK	23	23	26	21	21	21	22
	UK	21	21	23	21	22	21	22
TRONSTAD 1991	OK	22,5	22	26,5	20,6	21,5	20,8	20
	UK	20,7	29,7	25,6	21,6	21,5	21	20
LEHMANN/ HELLWIG 1993	OK	24	22,5	28	22	21,5	21,3	21,3
	UK	21,5	23,5	26	22	23,2	22	21

Tab. 2: Zusammenfassung verschiedener Zahnlängenangaben [mm] aus aktuellen Lehrbüchern.

Eine umfangreiche Studie mit dem Ziel, verschiedene Parameter an Schneide- und Eckzähnen, Prämolaren und ersten Molaren zu messen, führte LAVELLE 1972 durch. Gemessen wurden die Zähne verschiedener Bevölkerungsgruppen (40 Kaukasier, 40 Negroide und 40 Mongolide). In jeder Gruppe waren genauso viele Frauen wie Männer vertreten. Die untersuchten Zähne wiesen weder anatomische Unregelmäßigkeiten, noch Substanzverlust durch Füllungen auf.

Von den 120 Probanden wurden Alginatabdrücke genommen und ausgegossen. Anhand der so hergestellten Modelle wurden die Zähne aller Quadranten vermessen. Besondere Aufmerksamkeit fanden dabei die mesio-distale und die bukkorale Zahnbreite.

Da in der vorliegenden Untersuchung nur die mesio-distale Zahnbreite relevant ist, enthält die Tabelle 3 nur die entsprechenden Mittelwerte.

Kiefer	Zahn	Kaukasier		Negroide		Mongolide	
		m	w	m	w	m	w
OK	I1	8,79	8,54	9,33	9,21	8,67	8,57
	I2	6,32	6,21	7,61	7,48	6,99	6,85
	C	7,53	7,53	8,32	8,21	8,07	7,94
	P1	6,78	6,59	7,71	7,63	7,19	7,07
	P2	6,54	6,41	7,21	7,18	6,81	6,75
	M1	10,69	10,64	11,32	11,09	9,99	9,84

Kiefer	Zahn	Kaukasier		Negroide		Mongolide	
		m	w	m	w	m	w
UK	I1	5,58	5,56	5,83	5,81	5,52	5,49
	I2	6,2	6,17	6,59	6,49	6,09	5,86
	C	6,96	6,91	7,44	7,41	7,41	7,34
	P1	6,79	6,77	7,45	7,44	7,20	7,11
	P2	6,81	6,78	7,54	7,51	7,25	7,18
	M	11,36	11,21	11,87	11,61	11,28	11,09

Tab. 3: Mesio-distale Zahnbreiten [mm] nach einer Untersuchung von LAVELLE aus dem Jahre 1972.

Eine ähnliche Studie wie die von LAVELLE führten BJORN DAL et al. 1974 durch. Die zu vermessenen Zähne wurden bei dieser Studie aufgrund ihrer Nichterhaltungswürdigkeit 17-21 Jahre alten kaukasischen Männern extrahiert. Von der Messung ausgeschlossen waren die dritten Molaren. Gemessen wurden folgende Parameter: Kronen-, Wurzel- und Gesamtlänge, die mesio-distale und die labio-linguale Zahnbreite.

Nach der Extraktion wurden die Zähne in Formalin eingelegt. Danach wurden sie gereinigt und bis zur Messung in destilliertem Wasser aufbewahrt. Zwei Zahnmediziner führten die Messungen unabhängig voneinander durch. Sobald eine Abweichung zweier Werte entstand, wurde die Messung so oft wiederholt, bis die Diskrepanz beseitigt war.

Die Tabellen 4 und 5 zeigen die Ergebnisse der Zahnlangenmessung und der mesio-distalen Breitenmessung.

Kiefer	Werte	I1	I2	C	P1	P2	M1	M2
OK	n	37	42	51	36	46	46	40
	min.	21,5	19,2	22,3	18,8	16,7	19,6	20,1
	max.	27,3	26	33,3	25,8	26,4	25	25,2
	x	23,7	23,1	27,3	22,3	22,3	22,3	22,2
UK	n	16	16	8	17	18	45	60
	min.	19,4	21	24,6	21,2	19,3	19,3	19
	max.	25,1	25	27,4	24,2	25	25	25,8
	x	21,8	23,3	26	22,9	22,3	22	21,7

Tab. 4: Zahnlangenangaben [mm] nach einer Untersuchung vom BJORN DAL et al. aus dem Jahre 1974.

Kiefer	Werte	I1	I2	C	P1	P2	M1	M2
OK	n	20	21	30	9	15	9	9
	min.	8	5	6,8	6,8	6,5	9,9	8,9
	max.	10,2	8,2	8,2	7,6	8,5	11,9	11,1
	x	9	6,9	7,7	7	7,2	10,9	10,2
UK	n	9	8	6	6	6	25	19
	min.	5,4	5,5	5,9	6,9	6,9	11,1	10
	max.	6,2	6,6	7,1	7,6	8	12,8	13,2
	x	5,7	6	6,7	7,2	7,4	11,8	11,4

Tab. 5: Mesio-distale Zahnbreiten [mm] nach einer Untersuchung von BJORN DAL et al. aus dem Jahre 1974.

VERHOEVEN et al. untersuchten 1979 1400 Zähne, um jeweils die längsten und die kürzesten Zähne einer Gruppe zu ermitteln. Die Ergebnisse der Untersuchung sollten für die Gestaltung eines Filmhalters verwendet werden.

Diese Zähne wurden in Holland in verschiedenen zahnmedizinischen Einrichtungen gesammelt. Die Anzahl 1400 kam folgendermaßen zustande:

$$50 \text{ Zähne einer Zahnart} \times 7 \text{ Zahnarten} \times 2 \text{ Kiefer} \times 2 \text{ Geschlechter} \\ = 1400 \text{ Zähne}$$

Die Kriterien für die Auswahl der Zähne waren:

- 1) Zahnwurzel ist vollständig ausgebildet,
- 2) keine Füllungen an Stellen vorhanden, die die Messungen beeinträchtigen,
- 3) keine oder nur geringe Abrasion der Zahnkronen.

Das Ziel der Untersuchung war, die längsten Zähne einer Zahnart auf einen Röntgenfilm zu projizieren und herauszufinden, ob apikal genug Platz für die Darstellung pathologischer Prozesse vorhanden war. Nach Meinung der Autoren ist für die eindeutige Darstellung des periapikalen Bereiches ein Abstand von mindestens 3 mm zwischen dem röntgenologischen Apex des Zahnes und dem Filmrand notwendig.

Im Hinblick auf die vorliegende Fragestellung wurden nur die maximalen Werte für Zahnängen in Betracht gezogen und in Tabelle 6 zusammengefaßt.

Kiefer	Zahn	m			w		
		min.	max.	x	min.	max.	x
OK	I1	22	28,5	25,2	19,5	26,5	23,8
	I2	17,5	29,5	23,6	18,5	26	22,5
	C	24,5	36	29,1	20	32,5	25,8
	P1	18,5	26,5	22,5	18,5	23	5,5
	P2	18,5	27	22,6	17,5	25	21
	M1	17,5	25	21,9	19	23	21,1
	M2	16	26	21,5	16	23,5	20,8
UK	I1	18,5	25,5	22,6	18,6	25	22,4
	I2	19,5	27,5	24,1	19,5	25	22,4
	C	21	33,5	28,4	20,5	29,5	25,3
	P1	21	27,5	24	17,5	25	22,5
	P2	20,5	28	23,4	16,5	25,5	22,3
	M1	18,5	26,5	22,1	17	27	21,1
	M2	18	25,5	21,8	15,5	26,5	20,5

Tab. 6: Zahnlängenangaben [mm] nach einer Untersuchung von VERHOEVEN et al. aus dem Jahre 1979.

Ein dritter wichtiger Parameter, sowohl für die Wurzelkanalbehandlung als auch für die Gestaltung eines Filmhalters, ist die facio-linguale Neigung der Zähne zur Okklusionsebene. Sowohl bei der Präparation einer Zugangskavität zur Kronenpulpa als auch bei der parallelen Positionierung eines Filmhalters zur Zahnlängsachse sind diese Kenntnisse hilfreich, da während des intraoralen Befunds nur eine grobe Einschätzung dieser Werte möglich ist.

1990 untersuchten ROSS et al. den Zusammenhang zwischen der facio-lingualen Neigung des ersten mittleren Schneidezahns bzw. des ersten Molaren und dem skelettalen vertikalen Wachstum der Kiefer. Einer der Referenzpunkte war die posteriore Okklusalebene. Sie ist definiert als die Ebene, auf der die meisten Höckerspitzen der ersten beiden Molaren und die Höckerspitzen eines oder beider Prämolaren liegen.

An der Untersuchung nahmen 72 Patienten teil. Davon wiesen 21 Patienten eine nach ANDREWS ideale Okklusion auf (= Gruppe 1). Für die erste Gruppe war die Anfertigung von Fernröntgenaufnahmen nicht notwendig, da alle an den Modellen vermessenen Parameter auf eine Klasse 1 und eine neutrale Neigung der Mandibula zur vorderen Schädelbasis hingewiesen haben. 16 Probanden wiesen eine posteriore Neigung der Mandibula mit aufrechten oder retrudierten Zahnlängsachsen auf (= Gruppe 2), 18 einen idealen Winkel für die Neigung der Mandibula

(= Gruppe 3) und 17 eine anteriore Neigung der Mandibula mit protrudierten Zahn-längsachsen (= Gruppe 4).

Die Basis der hergestellten Modelle wurde parallel zur vorher bestimmten posterioren Okklusalebene getrimmt. Die Längsachse der Molaren wurde bestimmt, indem eine Senkrechte zur Verbindungslinie der Höckerspitzen gezogen wurde. Die Abbildung 56 veranschaulicht den Versuchsaufbau.

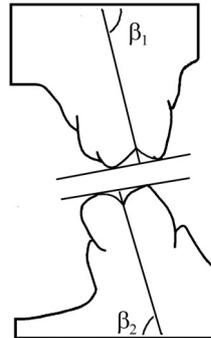


Abb. 56: Umzeichnung nach ROSS. Messung der Neigung der Molarenlängsachsen zur Okklusalebene in einer Untersuchung von ROSS et al. von 1990. Die Basis der Modelle wurde parallel zur posterioren Okklusalebene getrimmt und die Zahn-längsachse wurde als Senkrechte auf die Okklusalebene bestimmt. Die Werte der Winkel β_1 und β_2 stehen für die Neigung der Molarenlängsachse zur Okklusionsebene.

Für die Bestimmung der labio-oralen Neigung der Frontzähne wurde das Fernröntgenbild jedes Probanden der Gruppen 2, 3 und 4 ausgewertet (Abb. 57). Die Ergebnisse sind in der Tabelle 7 veranschaulicht. Daraus ergibt sich eine Neigung fast aller untersuchten Molaren um 8° zur Vertikalen. Die Neigung der untersuchten Frontzähne ebenfalls zur Vertikalen beträgt etwa 20 bis 30° .

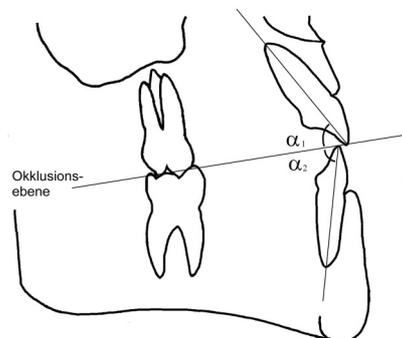


Abb. 57: Umzeichnung nach ROSS. Bestimmung der Neigungswinkel α_1 und α_2 der Oberkiefer- und Unterkieferschneidezähne zur Okklusionsebene anhand eines Fernröntgenbildes in einer Untersuchung von ROSS et al. aus dem Jahre 1990.

Gruppe		Gruppe 1	Gruppe 2	Gruppe 3	Gruppe 4
Kiefer	Zahn				
OK	α_1	-	68,4	63,3	59,5
	β_1	82	83,7	82	81,2
UK	α_2	-	-70	-68	-67,5
	β_2	-82,9	-84,2	-83,5	-85,1

Tab. 7: Mittelwerte für die Neigung der Zähne in bucco-oraler Richtung [°] nach einer Untersuchung von Ross et al. aus dem Jahre 1990. Die Minuswerte ergeben sich durch die Position des gemessenen Winkels zur Okklusionsebene.

Minus-Wert= Winkel liegt unterhalb der Okklusionsebene, Plus-Wert= Winkel liegt oberhalb der Okklusionsebene.

3 MATERIAL UND METHODEN

3.1 Entwicklung eines Filmhalterprototyps

Die *unlösbar* und *nahe* Verbindung zwischen der Filmklemme und dem Aufbißblock ist allen bereits vorgestellten Filmhaltersystemen für Meßaufnahmen gemeinsam. Die Positionierung solcher Filmhaltersysteme an dem zu behandelnden Zahn setzt die Abstützung des Aufbißteils in der unmittelbaren Nachbarschaft dieses Zahnes voraus. Das Vorhandensein der aufgespannten Kofferdamfolie erschwert aber in diesem Zusammenhang die Positionierung des Filmhalters auf dem zu behandelnden Zahn intraoral - es sei denn, der Kofferdamrahmen wird abgenommen und der Filmhalter kann ungeachtet der am Zahn fixierten Kofferdamklammer positioniert werden.

Die Anfertigung von Meßaufnahmen bei *angelegtem* Kofferdamrahmen soll durch die Gestaltung eines experimentellen Filmhalters, der sich in seiner Form von herkömmlichen Filmhaltern unterscheidet, erleichtert werden.

Beim *experimentellen Filmhalter für Meßaufnahmen* ist die Filmklemme nicht am Aufbißblock fixiert, sondern befindet sich an der entgegengesetzten Seite des Aufbißblocks. Dabei werden der Aufbißblock und die Filmklemme durch ein Verbindungsstück miteinander verbunden. Die Fixierung des experimentellen Filmhalters erfolgt nun fern von dem zu röntgenden Zahn und beeinträchtigt nicht das Behandlungsfeld.

Der erste Entwurf des experimentellen Filmhalters ist in der Abbildung 58 zu sehen. Das Verbindungsstück hatte am Anfang einen nach palatinal abgerundeten Verlauf, um die Zungenbewegung während der Meßaufnahme nicht einzuschränken.

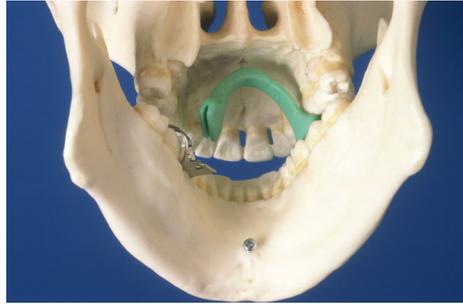


Abb. 58: Ansicht von oral auf den ersten Entwurf des experimentellen Filmhalters hergestellt aus Palavit-Kunststoff in einem Kunststoffschädel positioniert.

Während der Meßaufnahme ragen die Griffe der Wurzelkanalinstrumente aus dem Zahn heraus. Aus diesem Grund muß der Aufbißblock eines Endo-Filmhalters höher gestaltet sein, als der eines Filmhalters für periapikale Aufnahmen. Dabei ist der Abstand zwischen dem Ober- und Unterkiefer automatisch ausreichend groß, um die Zungenbewegungen nicht einzuschränken. Diese Überlegung liegt dem zweiten Entwurf des experimentellen Filmhalters zugrunde, der ein gerades horizontal verlaufendes Verbindungsstück hat. Dieser Filmhalter ist in der Abbildung 59 dargestellt.



Abb. 59: Ansicht von oral auf den zweiten Entwurf des experimentellen Filmhalters, ebenfalls aus Palavit-Kunststoff hergestellt, in einem Kunststoffschädel eingesetzt.

Die Abbildung 60 zeigt beide Entwürfe des experimentellen Filmhalters nebeneinander, um ihre unterschiedlichen Formen hervorzuheben.



Abb. 60: Links erster und rechts zweiter Entwurf des experimentellen Filmhalters.

Der experimentelle Filmhalter sollte sowohl für Front- als auch für Seitenzahaufnahmen verwendet werden. Er weist folgende Bestandteile auf:

1. Einen Aufbißblock (Abb. 61);
2. Zwei Verbindungsstücke für die Anfertigung von Meßaufnahmen in Front- und Seitenzahnbereich, die den Aufbißblock und die Filmklemme miteinander verbinden (Abb. 62);
3. Zwei Filmklemmen für die senkrechte und waagerechte Positionierung des Zahnfilms (Abb. 63);
4. Eine extraorale Zentriervorrichtung für den Langtubus, bestehend aus einem Indikatorstab und einem Visierring (Abb. 64).

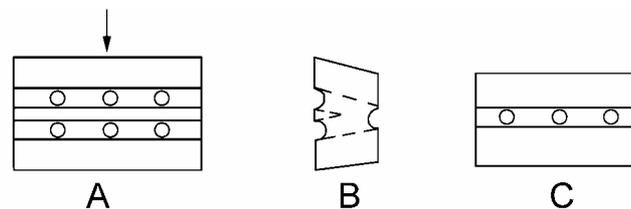


Abb. 61: Erster Entwurf des Aufbißblocks. A: Ansicht auf die rechteckige mesiale Aufbißblockfläche. Der Pfeil markiert die Lage der Schnittebene aus der Abb. 61B. B: trapezförmige Schnittfläche des Aufbißblocks in der Höhe des Pfeils, C: Ansicht auf die distale rechteckige Aufbißblockfläche.

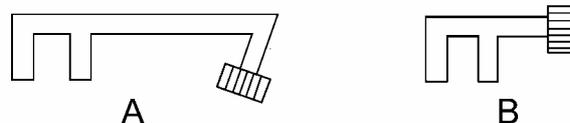


Abb. 62: Ansicht auf die Verbindungsstücke. A: Verbindungsstück für die Seitenzähne, B: Verbindungsstück für die Frontzähne. Beide haben an einem Ende zwei parallel zueinander verlaufende Stäbe für die Fixierung am Aufbißblock und am anderen Ende ein Zahnrad für die Fixierung der beiden Filmklemmen.

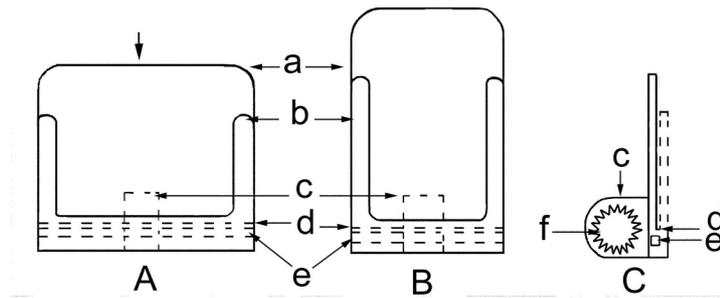


Abb. 63: Ansicht auf die Filmklemmen für die Seiten- und die Frontzähne. A: Filmklemme für die Seitenzähne, B: Filmklemme für die Frontzähne, C: Schnitt durch die Filmklemme A in der Höhe des Pfeils. Die gestrichelten Linien zeigen die Position der beiden seitlichen Zapfen für die Fixierung des Zahnfilms im Verhältnis zum Rückschild.

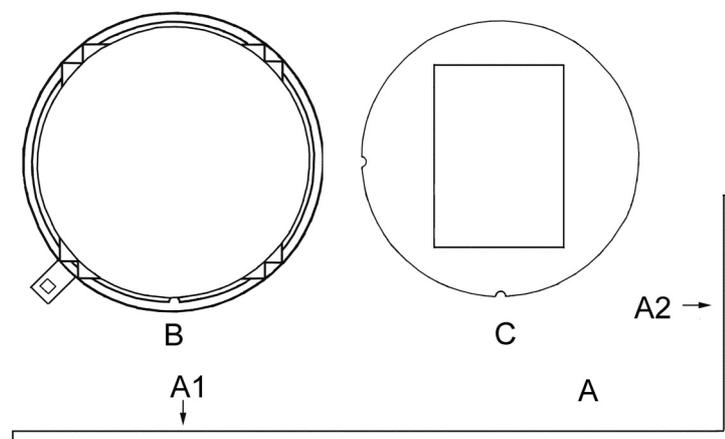


Abb. 64: Ansicht auf die extraorale Positionierungshilfe bestehend aus einem Indikatorstab A mit einem langen Schenkel A1 und einem kurzen A2 sowie einem Zentrierungsring B.

Für die Gestaltung der einzelnen Bestandteile des experimentellen Filmhalters wurden 115 Gipsmodelle vermessen. Für die Modellherstellung im Rahmen einer vorangegangenen Dissertation haben sich Studenten aus der prothetischen Abteilung der Zahn-, Mund- und Kieferklinik Eppendorf zur Verfügung gestellt. Freundlicherweise durften diese Modelle auch für die Gestaltung des experimentellen Filmhalters verwendet werden¹. Das praktische Vorgehen für die Modellherstellung, Kieferrelationsbestimmung und Artikulation der Modelle erfolgte nach der von AHLERS 1998 beschriebenen Technik und wurde in der prothetischen Abteilung der Klinik durchgeführt. Abgeformt wurden sowohl der Ober- als auch

¹ Ein herzliches Dankeschön an Frau Dr. Ulrike Gössel und an die Mitarbeiter/innen der prothetischen Abteilung der Zahn-, Mund- und Kieferklinik für die Leihgabe dieser Modelle.

der Unterkiefer mit Kromopan 2000-Alginat der FA. WEIL DENTAL, ROSSBACH (www.weil-dental.de). Ausgegossen wurden die Abformungen mit Welmix Stone Gips der FA. KERR, KARLSRUHE (www.kerrdental.de). Anschließend wurde die Relation des Oberkiefers zu den Kondylen mit Hilfe des Rotofix-Gesichtsbogens bestimmt und über den Übertragungstisch auf den Artex-Artikulator Typ AP, einen Arcon-Artikulator, übertragen (Gesichtsbogen, Übertragungstisch und Artex-Artikulator: FA. GIRRBACH DENTAL, PFORZHEIM, www.girrbach.de). Die auf diese Weise hergestellten und einartikulierten Modelle wurden u. a. auch für die praktische Gestaltung der Bestandteile des experimentellen Filmhalters verwendet.

Das Einstellen der Gipsmodelle in den Artikulator ist für die Gestaltung des Aufbißblocks erforderlich. Auf diese Weise kann die Öffnungsbewegung des Oberkiefers zum Unterkiefer nachgeahmt werden und der Mundöffnungswinkel bei einer bestimmten Bißsperrung gemessen werden. Die Bißsperrung ist bei Meßaufnahmen wichtig, um zu verhindern, daß der Patient auf die Instrumentengriffe aufbeißt.

Anhand der 115 Modelle wurden folgende Parameter gemessen:

1. die anteriore Zahnbogenbreite (= aZ) ist wichtig, um die schmalste Breite eines vorhandenen Modells zu bestimmen.
2. die posteriore Zahnbogenbreite (= pZ) ist wichtig, um den breitesten Kiefer zu ermitteln. Hierbei wurde nicht der Abstand zwischen den ersten, sondern zwischen den zweiten Molaren beachtet (= pZ'). Die anteriore und die posteriore Zahnbogenbreite sind erstens maßgeblich bei der Gestaltung des Verbindungsstückes zwischen dem Aufbißblock und den beiden Filmklemmen und zweitens für die Gestaltung des Aufbißblocks. Das Verbindungsstück und der Aufbißblock müssen durch ihre gemeinsame Steckverbindung derart variabel sein, daß sie sowohl für einen schmalen, als auch für einen breiten Kiefer einsetzbar sind.
3. der Öffnungswinkel α der einartikulierten Modellpaare ergibt sich als Differenz zwischen einer Ausgangs- und einer Endposition. Die Ausgangsposition ist definiert durch eine Bißsperrung mit einem Blech, die Endposition ist definiert durch eine Bißsperrung mit einem Blech und einem Kunststoffblock. Beide Winkel wurden anhand einer am Kondylus angebrachten Meßskala gemessen. Der Öffnungswinkel ist wichtig für die Bestimmung der Aufbißblockhöhe bei einer vorher bestimmten Bißsperrung.

4. der Winkel β wird von einer Tangente an den lingualen Flächen der Unterkieferseitenzähne und einer Verbindungslinie zwischen den approximalen Kontaktpunkten beider Prämolaren gebildet. Dieser Wert ist wichtig für die Formgebung des Verbindungsstückes zwischen dem Aufbißblock und der Filmklemme.
5. der Abstand (= X) zwischen dem Kondylenmittelpunkt des Artikulators und der palatinalen Höckerspitze des ersten Molaren ist wichtig für die Berechnung der mesialen Aufbißblockhöhe bei einer errechneten Bißsperrung im Bereich der zweiten Molaren.

Die Bedeutung der gemessenen Werte für die Bestimmung der Filmhalter-Dimensionen wird in den folgenden Kapiteln näher erläutert.

Die gemessenen Werte sowohl für die rechte als auch für die linke Seite sind in Tabelle 8 dargestellt.

Modellnummer	aZ [mm]	pZ` [mm]	α re [°]	α li [°]	β re [°]	β li [°]	X 6-er re [mm]	X 6-er li [mm]
1.	35	54	20	18	105	107	60,7	69,5
2.	35,5	51,5	21	21	106	107	70	70
3.	29	49	18	21	103	108	68	70
4.	35,5	48	16	16	104	103	78	78
5.	29	47	20	20	105	105	69	66
6.	36	50,5	17	20	107	106	76,5	67,5
7.	36	49,5	18	18	110	106	71	70
8.	37	54,5	19	20	105	108	68	67
9.	38,5	55,5	19	17	111	104	73,5	71
10.	39,5	53	19	21	104	100	71	72
11.	38	50	16	17	102	103	78	76
12.	31,5	48	19	18	105	100	70,5	69
13.	33,5	53,5	18	18	103	102	71	74
14.	38,5	55	16	16	103	104	77	76,5
15.	34,5	48,5	18	17	105	98	70	70,5
16.	35,5	49	19	19	104	103	70	69
17.	34,5	52,5	16	17	120	125	76	75
18.	36,5	50	19	19	115	102	69	69
19.	35	49,5	18	19	101	95	71,5	71
20.	32	46	18	18	100	102	74	72,5
21.	35,5	49	18	17	103	100	75	73
22.	34	49,5	18	19	109	104	67	67,5
23.	33	49	20	19	109	105	70,5	76
24.	36	55,5	15	16	105	110	80	77
25.	37	55	20	20	106	109	70	68,5
26.	38	55	15	16	102	100	84	82,5
27.	31,5	48	18	17	101	104	76	73
28.	36	55	17	17	103	103	75	76
29.	35,5	48,5	20	18	103	101	69,5	69

Modell- nummer	aZ [mm]	pZ' [mm]	α re [°]	α li [°]	β re [°]	β li [°]	X 6-er re [mm]	X 6-er li [mm]
30.	33	51,5	15	16	109	109	77	84
31.	33,5	47	19	21	102	104	65	65
32.	34,5	55,5	15	16	106	108	75	74
33.	36,5	54	15	15	105	104	85,5	83
34.	34,5	50	19	20	105	110	68,5	68
35.	35	53,5	19	18	102	105	75,5	77,5
36.	37	52,5	15	15	109	105	84	88
37.	35,5	49	18	18	105	108	73	75,5
38.	34,5	50	20	21	105	100	67	68
39.	32,5	52,5	21	20	105	106	65	65,5
40.	35	50	20	20	107	104	63	67
41.	36	50,5	17	19	104	106	71	71,5
42.	34,5	48	20	19	103	111	69	67
43.	33	47	17	16	100	105	59	57
44.	34,5	46,5	19	19	106	107	74	74
45.	34	51	15	16	104	110	76	73
46.	33,5	50	20	21	108	104	68	62
47.	37	50,5	16	16	106	109	81,5	79
48.	33	45,5	18	18	102	102	71,5	72
49.	34,5	51,5	18	19	112	108	68,5	67
50.	37	52	17	17	101	104	73	77
51.	37,5	49	17	17	100	102	73	76
52.	33,5	51	19	20	101	104	73,5	73
53.	36	53,5	16	16	100	97	78	74
54.	37	52	16	16	110	115	73,5	76,5
55.	35	52	15	15	105	110	80,5	72
56.	37	48	18	18	104	107	72,5	72,5
57.	35	52	20	20	104	103	70	69
58.	33	52	18	19	102	98	72,5	70,5
59.	33,5	48	20	20	101	104	67,5	69
60.	35,5	54	18	18	98	104	74,5	79
61.	36	54,5	16	17	103	110	77	74
62.	37	56	15	17	104	107	77	78
63.	34,5	51	23	24	109	106	61,5	61,5
64.	32	50	19	21	108	106	72,5	68,5
65.	32,5	43,5	19	21	100	102	71,5	70
66.	32,5	47	20	20	103	108	74	73,5
67.	34	50	20	21	108	108	70	67
68.	33	50	19	20	104	104	72	72
69.	33,5	52	17	17	109	105	79	75
70.	39,5	52	16	17	97	101	71	77
71.	36	54,5	18	18	102	101	71	72,5
72.	31,5	46,5	16	16	102	101	84	81
73.	34	53,5	17	17	103	110	75	75,5
74.	33,5	46	16	16	95	98	78	74,5
75.	32,5	49,5	17	18	98	96	76	77,5
76.	35,5	48	17	17	93,5	102	81	77,5
77.	34	49,5	20	20	103	100	70	68,5

Modell- nummer	aZ [mm]	pZ' [mm]	α re [°]	α li [°]	β re [°]	β li [°]	X 6-er re [mm]	X 6-er li [mm]
78.	34	54	21	21	107	109	76	73
79.	38,5	54,5	17	18	100	105	73	71
80.	35	45	20	22	107	104	69	68
81.	37,5	54	20	18	101	101	78	78
82.	41,5	54	14	15	103	110	83,5	76,5
83.	37,5	53	21	20	104	103	76	74
84.	36	50	22	19	101	103	70,5	71,5
85.	38,5	57,5	15	16	105	107	74	75
86.	34,5	52	17	17	108	111	74	72
87.	38,5	56	18	18	107	105	77	77
88.	32,5	51,5	17	17	105	104	71	74
89.	38,5	51	17	18	113	91	75,5	78
90.	35,5	51,5	18	20	109	105	76,5	74
91.	34	52	19	19	102	109	71	69
92.	35,5	52	18	15	103	106	77,5	80
93.	28,5	48	19	18	110	107	73,5	77
94.	35,5	52,5	18	22	103	100	68	70
95.	38,5	48	17	17	103	110	79	77
96.	40,5	57	19	18	100	103	70,5	79
97.	38,5	53,5	18	20	106	107	72,5	73,5
98.	37	53,5	16	15	102	103	80	81
99.	33,5	44	19	18	109	106	80	82
100.	37	55,5	21	20	98	105	73	72
101.	36	54,5	15	14	106	108	84	83,5
102.	38,5	55	17	18	105	104	76	76
103.	34	48	20	19	98	108	72	71,5
104.	37	52	17	17	100	105	75	75
105.	35,5	53	19	17	104	105	67,5	68
106.	37,5	52,5	19	19	103	104	69	65,5
107.	33	50	15	16	108	103	82,5	78
108.	31,5	50,5	18	18	106	108	71	71
109.	42	60,5	18	17	105	102	76,5	76
110.	38,5	51,5	20	22	98	104	66,5	72,5
111.	34,5	50	19	18	101	105	70	70,5
112.	35	52	18	20	104	102	70,5	69,5
113.	34	59	16	16	106	103	78	72,5
114.	36	47,5	17	19	103	108	76	71
115.	34,5	49	20	21	106	105	69	70

Tabelle 8: Darstellung aller Meßergebnisse für 115 Modelle, anhand derer die Dimensionen des experimentellen Filmhalters errechnet wurden.

3.1.1 Der Aufbißblock

Die Form und die Dimensionen des Aufbißblocks hängen zum einen von der Öffnungsbewegung des Unterkiefers und zum anderen von der Länge der Wurzelkanalinstrumente und der Zähne ab.

Um die Form des Aufbißblocks zu bestimmen, wurden am Anfang der experimentellen Phase an einem einzigen Modellpaar zwei Aufbißblöcke hergestellt: je einer für die rechte und die linke Seite. Dafür wurden die Modelle in den Artikulator eingesetzt und der Biß in einer Höhe von 15 mm gesperrt. Diese Bißsperrung weisen die meisten Filmhalter für Meßaufnahmen auf. In dieser Position wurde Ostron-Kunststoff (FA. GC CORPORATION, Heverlee/Belgien, www.gceurope.com) zwischen den Zahnreihen angebracht. Nach Aushärten des Kunststoffes wurden die Aufbißblöcke entfernt und die Abdrücke der Höckerspitzen im Kunststoff mit Bleistift markiert. Die obere und untere Seite der so entstandenen Aufbißblöcke wurden soweit zurückgeschliffen, daß annähernd plane Flächen entstanden. Dabei wurden so viele Bleistiftmarkierungen wie möglich beibehalten (Abb. 65).



Abb. 65: Ansicht von distal auf die Aufbißblöcke für die rechte und die linke Seite, hergestellt aus Ostron-Kunststoff. Die Höckerimpressionen auf der oberen Aufbißblockfläche sind mit Bleistift markiert.

Beide Aufbißblöcke weisen von vestibulär und oral sowie von mesial und distal betrachtet trapezförmige Querschnitte auf. Aufgrund der keilförmigen Bewegungsöffnung des Mundes sind die mesialen Aufbißblockflächen größer als die distalen. Weiterhin sind die vestibulären Aufbißblockflächen größer als die oralen Flächen. Diese Beobachtung entspricht den Messungen von Ross et al. (1990), die den Winkel, gebildet von der Verbindungslinie der Höckerspitzen der Unterkiefer- und Oberkiefer-Seitenzähne in transversaler Richtung gemessen und einen Wert von 8° ermittelt hatten (Abb.66).

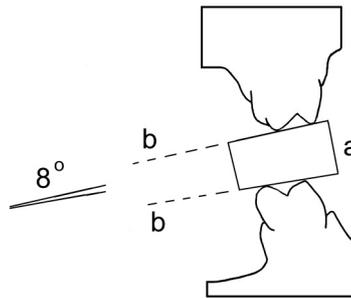


Abb. 66: Entstehung eines individuellen Aufbißblocks a, dessen nach oral verlängerte untere und obere Flächen b einen spitzen Winkel bilden. Nach Messungen von ROSS et al. sollte dieser Winkel 8° betragen.

Der so entstandene linke und rechte Kunststoffblock war jeweils spiegelverkehrt und konnte nur für die entsprechende Kieferseite eingesetzt werden.

Eine möglichst einfache Gestaltung des Filmhalters ist jedoch für dessen praktischen Einsatz vorzuziehen. Aus diesem Grund ist es erstrebenswert, daß der Aufbißblock des neuen Filmhalters sowohl für die linke als auch für die rechte Seite einsetzbar ist. Folglich wurde der experimentelle Aufbißblock so gestaltet, daß die vestibulären und oralen Flächen *trapezförmig* und *gleich groß* sind und die distalen und mesialen Flächen rechteckig statt trapezförmig. Dabei ist die distale Fläche kleiner als die mesiale.

Für die *distale Höhe des Aufbißblocks* wurden 18 mm errechnet. Dieser Abstand ergibt sich aus der Länge des kleinsten Wurzelkanalinstruments abzüglich der mittleren Länge der Seitenzähne (Molaren und Prämolaren) nach Angaben aus der Literatur. Die Länge des kleinsten Standard-Wurzelkanalinstruments beträgt 25 mm zuzüglich der Griffhöhe von 12 mm. Insgesamt ergibt sich also eine Instrumentenlänge von etwa 37 mm. In die Rechnung wurde die kleinste mittlere Seitenzahnlänge einbezogen (BJORNDAL et al. 1995, VERHOEVEN et al. 1979), die 20 mm beträgt, weil bei kurzen Zähnen die Wurzelkanalinstrumente mehr aus dem Zahn herausragen als bei langen Zähnen. Von der Instrumentenlänge wurde die Zahnlänge abgezogen, um die Instrumentenlänge zu ermitteln, die aus dem Zahn hinausragt. Die Rechnung ergibt eine Differenz von 17 mm. Da jedoch die Wurzelkanalinstrumente nur bis zum Foramen physiologicum, das ca. 1 mm oberhalb des Foramen apicale liegt, in den Zahn eingeführt werden, beträgt die Differenz 18 mm. Die Frontzahnlänge ist für die Rechnung nicht relevant, weil durch die keilförmige Mundöffnungsbewegung bei einer Bißsperrung von 18 mm im Seiten-

zahnbereich der Abstand zwischen den Inzisalkanten der Frontzähne genug Platz für die aus dem Zahn herausragenden Instrumente bietet.

Die *mesiale Höhe des Aufbißblocks* wurde ermittelt, indem die Modelle einzeln in den Artikulator eingesetzt wurden und der Biß im Molarenbereich durch einen Kunststoffblock mit einer Höhe von 18 mm gesperrt wurde. Mit Hilfe einer an den Kondylen angebrachten Gradeinteilung wurde der Öffnungswinkel der Kiefer bei den 115 eingesetzten Modellpaaren zwischen einer Ausgangs- und einer Endposition gemessen.

Das praktische Vorgehen war dabei folgendes:

In der **Ausgangsposition** wurde zunächst der Biß durch ein dünnes Metallblech gesperrt, das auf die Kauflächen der zweiten Molaren beider Seiten gelegt wurde, so daß eine Verzahnung der Seitenzähne nicht stattfinden konnte. Auf der an den Kondylen angebrachten Gradeinteilung konnte nun ein kleiner Ausgangswinkel abgelesen und notiert werden (Abb. 67). Der Winkel wurde abgelesen zwischen der Nullachse, die parallel zur Frankfurter Horizontale - als Bezugsebene - verläuft und dem gesperrten Biß, definiert durch die weiß markierte Unterkante des Kondylargehäuses.

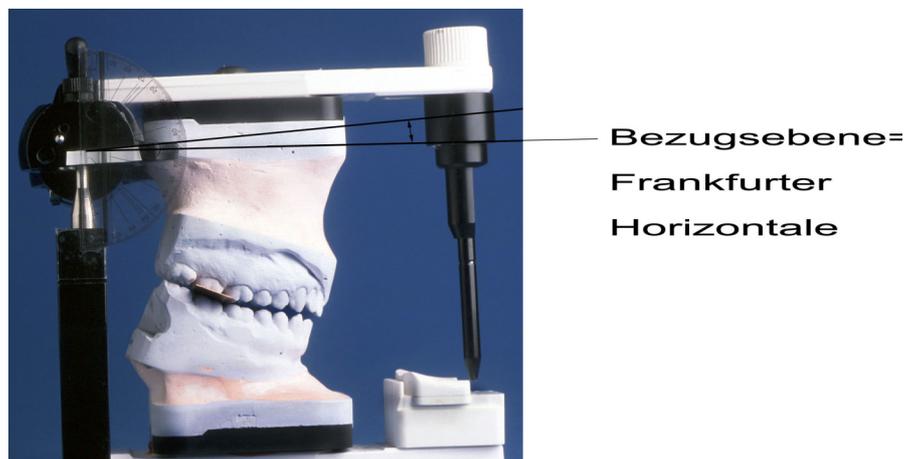


Abb. 67: Ausgangsposition der einartikulierten Modelle bei der Bestimmung der mesialen Aufbißblockhöhe des experimentellen Filmhalters. Der Biß ist hier durch ein Blech gesperrt, das auf die zweiten Molaren aufgesetzt wurde. Die Bezugsebene ist die Frankfurter Horizontale, die parallel zur Nullachse verläuft.

Mit diesem Vorgehen konnte eine gemeinsame Ausgangssituation aller 115 Modelle erreicht werden.

Die Ausgangsposition wurde in der beschriebenen Weise ausgesucht, damit die Blockhöhe und die gerade Flächengestaltung des Aufbißblocks jedem Modell und jedem Kauflächenrelief angepaßt werden kann.

Die Alternative zu dieser Vorgehensweise wäre die individuelle Gestaltung des Aufbißblocks gewesen, die zeitraubender und materialaufwendiger wäre, ohne qualitative Vorteile zu erreichen.

Die **Endposition** wurde durch die weitere Sperrung des Bisses mit Hilfe des 18 mm hohen Kunststoffblocks erreicht. Der Kunststoffblock wurde hierfür auf das Metallblech aufgesetzt, um eine Verfälschung der Ergebnisse durch die Dicke des Blechs zu verhindern (Abb. 68).



Abb. 68. Endposition der einartikulierten Modelle bei der Bestimmung der mesialen Aufbißblockhöhe des experimentellen Filmhalters. Der Biß ist durch die gleiche Metallplatte wie in Abb. 67 sowie zusätzlich durch einen Kunststoffblock mit einer Höhe von 18 mm gesperrt. Es ergibt sich ein eindeutig größerer Öffnungswinkel als in Abbildung 67.

Die Differenz der Winkel in der End- und Ausgangsposition ergibt den Öffnungswinkel bei einer Bißsperrung von 18 mm, der für die weitere Rechnung relevant ist. Zusätzlich wurde der Abstand der palatinalen Höckerspitze der ersten Molaren zur Kondylenachse gemessen und in die Rechnung einbezogen (Abb. 69).

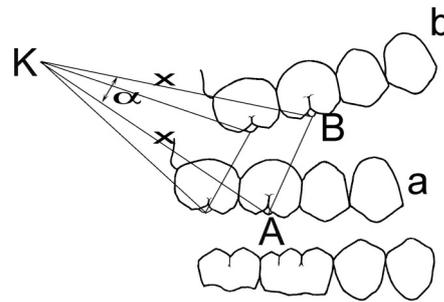


Abb. 69: Versuchsaufbau für die Berechnung der mesialen Höhe des Aufbißblocks. K= Mittelpunkt der Kondylen, a: Ausgangsposition des Oberkiefers bei einer Bißsperrung durch ein Metallblech mit A= palatinale Höckerspitze des ersten Molaren in der Ausgangsposition; b: Endposition des Oberkiefers bei einer Bißsperrung durch ein dünnes Metallblech und einem Aufbißblock von 18 mm Höhe mit B= palatinale Höckerspitze des ersten Molaren in der Endposition; x= Abstand zwischen dem Mittelpunkt der Kondylen und der palatinalen Höckerspitze der ersten Molaren, α = Winkel zwischen der Ausgangs- und der Endposition des einartikulierten Oberkiefers.

Der Mittelwert aller Öffnungswinkel, gemessen auf der rechten und der linken Seite, betrug $18,1^\circ$. Der mittlere Abstand zwischen der Höckerspitze des ersten Molaren und dem Kondylenmittelpunkt, ebenfalls für die rechte und die linke Seite, betrug 73,11 mm.

Die vordere Höhe des Aufbißblocks, die für eine gleichmäßige Abstützung der Zahnreihen über die gesamte Länge des Aufbißblocks notwendig wäre, wurde nun nach der folgenden Formel ausgerechnet:

$$\text{mesiale Aufbißblockhöhe} = 2 * x * \sin \frac{\alpha}{2}$$

Formel 2: Bestimmung der mesialen Aufbißblockhöhe.

Dabei bedeuten:

x= den Abstand zwischen dem Kondylenmittelpunkt und der Höckerspitze des ersten Molaren,

α = $\angle BKA$ ist der Öffnungswinkel, abzulesen an der angebrachten Skala.

Für ein besseres Verständnis der Rechnung ist in der Abbildung 70 eine vereinfachte Darstellung des Versuchsaufbaus skizziert.

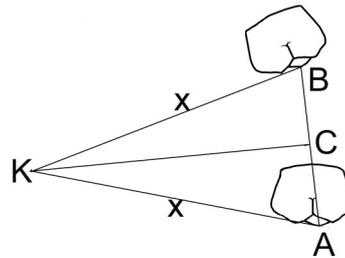


Abb. 70 Vereinfachte Darstellung des Versuchsaufbaus: K=Mittelpunkt der Kondylen, A= Ausgangsposition der Höckerspitze des ersten Molaren, B= Endposition der Höckerspitze bei einer Bißsperrung von 18 mm, x= Abstand zwischen Kondylenmittelpunkt und Höckerspitze, C= Mittelpunkt der Strecke AB.

Die Auswertung aller 115 untersuchten Probanden bzw. Modelle ergab eine mittlere *mesiale Aufbißblockhöhe in der Höhe des ersten Molaren von 27 mm.*

Die *Breite des Aufbißblocks* wurde anfangs auf die doppelte mesio-distale minimale Breite eines Molaren festgelegt. Unter Berücksichtigung der Angaben von BJORN DAL et al. (1995) betrug diese Breite 20 mm und ermöglichte theoretisch eine optimale Positionierung des Filmhalters durch den Aufbiß sowohl bei Patienten mit schmalen, als auch bei Patienten mit breiten Zähnen. Bei dieser Breite erstreckte sich der Aufbißblock vom zweiten Molaren bis zum zweiten Prämolaren. Die Positionierung eines solch breiten Aufbißblocks in den Kunststoffschädel gestaltete sich jedoch als umständlich und seine mesio-distale Verschiebung als fast unmöglich. Aus diesem Grund wurde die Aufbißblockbreite auf die Hälfte reduziert, wobei die mesiale Hälfte des Aufbißblocks abgetragen wurde, so daß im distalen Bereich die Bißsperrung von 18 mm beibehalten wurde (Abb. 71). Somit beträgt die endgültige Breite des Aufbißblocks 10 mm.

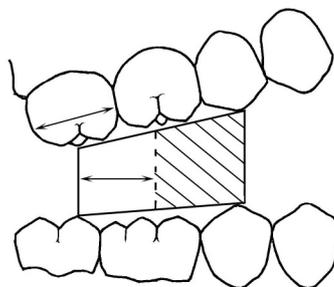


Abb. 71: Seitliche Ansicht auf den Aufbißblock, dessen Breite in der Höhe der gestrichelten Linie auf die Hälfte reduziert wurde. Der Aufbißblock entspricht nun in seiner Breite der minimalen mesio-distalen Breite des zweiten Molaren.

Um die *Länge des Filmhalters* und des Verbindungsstückes aus Metall zu bestimmen, wurden bei allen zur Verfügung stehenden Modellen die transversale anteriore und posteriore Zahnbogenbreite gemessen (Abb. 72).

Die *anteriore Zahnbogenbreite* im Unterkiefer ist durch den Abstand zwischen den approximalen Kontaktpunkten der beiden Prämolaren der rechten und linken Seite definiert (KAHL-NIEKE 1995).

Die *posteriore Zahnbogenbreite* im Unterkiefer ist definiert durch den Abstand zwischen den Spitzen der zentro-bukkalen Höcker der ersten Molaren (KAHL-NIEKE 1995). Für die Messung der posterioren Zahnbogenbreite wurden nicht definitionsgemäß die ersten Molaren in die Untersuchung einbezogen, sondern die zweiten Molaren, weil der Filmhalter für Aufnahmen im gesamten Gebiß zu verwenden ist. Die posteriore Zahnbogenbreite, bezogen auf die dritten Molaren, wurde nicht berücksichtigt, weil endodontische Maßnahmen an diesen Zähnen aus technischen und anatomischen Gründen selten erfolgen.

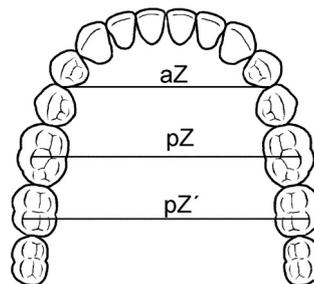


Abb. 72: Messung der anterioren (aZ) und der posterioren Zahnbogenbreite; letztere bezogen sowohl auf die ersten (pZ) als auch die zweiten Molaren (pZ') anhand eines Unterkiefer-Modells. Darstellung nach Vorgaben von KAHL-NIEKE .

Da der Filmhalter sowohl für schmale als auch für breite Kiefer eingesetzt werden soll, muß seine Längenveränderung zwischen der anterioren Zahnbogenbreite eines schmalen Kiefers und der posterioren Zahnbogenbreite eines breiten Kiefers möglich sein. Dabei beträgt die kleinste anteriore Zahnbogenbreite 29 mm und die größte gemessene posteriore Zahnbogenbreite 60,5 mm. Die Anpassung des Aufbißblocks an die Kieferbreite kann sowohl durch das Umstecken des Verbindungsstückes im Aufbißblock, als auch durch die Verschiebung des aneinander fixierten Aufbißblock-Verbindungsstück-Komplexes nach vestibulär oder oral erfolgen. Aus dieser Überlegung heraus wurde anfangs die Breite des Aufbißblocks

auf 30 mm und die Länge des Verbindungsstückes für die Seitenzähne auf 40 mm festgelegt.

Zur Fixierung des Verbindungsstückes im Aufbißblock wurden runde Perforationen angebracht, die von einer gemeinsamen distal gelegenen Öffnung nach mesial parallel zur unteren und zur oberen Fläche verlaufen.

Die horizontal und parallel zur unteren Fläche des Aufbißblocks angeordneten Perforationen sind zur Fixierung des Verbindungsstückes bei Meßaufnahmen der Unterkieferzähne zu verwenden, weil sie parallel zur Höckerverbindungslinie dieser Zähne verlaufen (Abb. 73). Ebenfalls parallel zur Höckerverbindungslinie verlaufen in dieser Fixierung die unteren und oberen Zahnfilmränder des Zahnfilms, der in einer Filmklemme für Seitenzahnaufnahmen fixiert ist. Diese Anordnung verhindert die unvollständige Projektion des Zahnes auf den Zahnfilm.

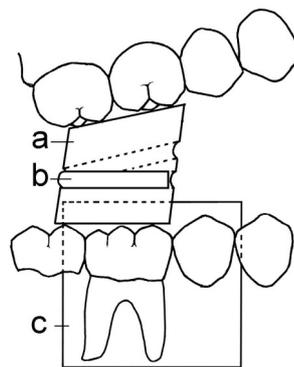


Abb. 73: Fixierung des Verbindungsstückes b im Aufbißblock a bei Meßaufnahmen im Unterkiefer. Von bukkal betrachtet verlaufen die unteren und die oberen Zahnfilmränder annähernd parallel zur Höckerverbindungslinie der Unterkiefer-Seitenzähne und die seitlichen Zahnfilmränder annähernd parallel zu den Zahnlängsachsen.

Die schräg und parallel zur oberen Fläche des Aufbißblocks angeordneten Perforationen sollen für Meßaufnahmen der Oberkieferzähne verwendet werden, weil sie bei geöffnetem Mund parallel zur Höckerverbindungslinie der Oberkieferzähne verlaufen (Abb. 74). Auch hier verlaufen - von bukkal betrachtet - die seitlichen Zahnfilmränder parallel zu den Zahnlängsachsen.

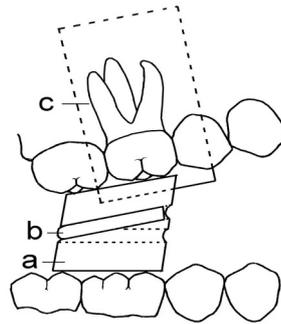


Abb. 74: Lage des Verbindungsstückes b im Aufbißblock a bei Meßaufnahmen im Oberkiefer. Von bukkal betrachtet verlaufen die seitlichen Ränder des Zahnfilms c annähernd parallel zur Zahnängsachse und die unteren sowie oberen Ränder annähernd parallel zur Höckerverbindungsline der Oberkieferzähne.

Am Anfang wurden drei solche runden, parallel zueinander verlaufenden Perforationen in den Aufbißblock angebracht, die von der gemeinsamen distalen Öffnung parallel zur oberen und zur unteren Aufbißblockseite verliefen (Abb. 61).

Diese erlaubten jedoch das Umstecken des Verbindungsstückes nur zwischen zwei Positionen und somit eine Umstellung des Filmhalters zwischen zwei Längen. Läßt man jedoch mehrere runde Perforationen ineinander übergehen, ist die Fixierung des Verbindungsstückes im Aufbißblock in mehreren Positionen möglich und erlaubt eine noch genauere Anpassung der Filmhalterbreite an die Kieferbreite. So konnten entsprechend der Aufbißblockbreite von 30 mm in den Aufbißblock sieben Perforationen angebracht werden, die ebenfalls von einer gemeinsamen distalen Öffnung parallel zur oberen und zur unteren Aufbißblockseite verlaufen (Abb. 75). Die runden Perforationen haben einen Durchmesser von 3 mm. Um eine ausreichende Stabilität des Aufbißblocks zu gewährleisten, wurde die laterale Dicke der Aufbißblockwand auf 5 mm festgelegt. So beträgt die *Aufbißblockbreite* nun $(3 \text{ mm} \times 7 \text{ Perforationen}) + (5 \text{ mm} \times 2) = 31 \text{ mm}$ statt anfangs 30 mm.

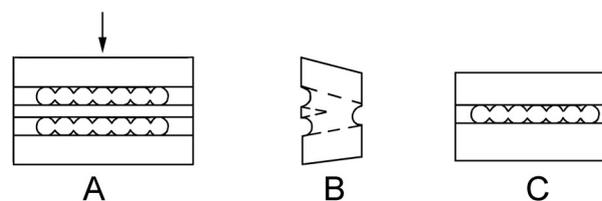


Abb. 75: Zweiter Entwurf des Aufbißblocks. A: Ansicht auf die mesiale rechteckige Aufbißblockfläche, B: Trapezförmige Schnittfläche des Aufbißblocks in der Höhe des Pfeils aus A, C: Ansicht auf die distale ebenfalls rechteckige Aufbißblockfläche.

Die unterschiedlichen Formen der beiden Aufbißblöcke werden in der Abbildung 76 deutlich.

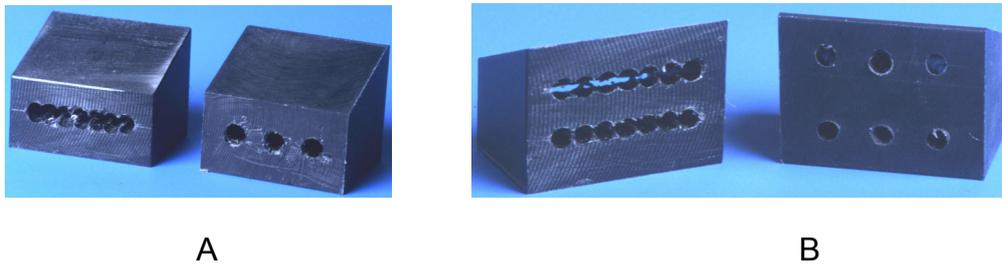


Abb. 76: Aufbißblöcke vor und nach der Änderung: A= Ansicht auf die distalen Flächen, B= Ansicht auf die mesialen Flächen. Rechts der Aufbißblock vor der Änderung mit drei Perforationen, links der Aufbißblock nach der Änderung mit sieben ineinander übergehenden Perforationen.

Anfangs war der Aufbißblock – von der Seite betrachtet – trapezförmig und die untere Fläche bildete mit den mesialen und distalen Flächen jeweils einen rechten Winkel (Abb. 77).

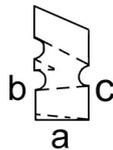


Abb. 77: Schnitt durch den Aufbißblock vor der Änderung. Die untere Aufbißblockfläche a bildete mit der mesialen b und der distalen c Aufbißblockfläche einen rechteckigen Winkel.

Der so gestaltete Aufbißblock wurde nun an den einartikulierten Modellen ausprobiert. Dabei wurde beobachtet, daß beim Zusammenbeißen der Modelle auf den Block die untere Fläche nur im mesialen Anteil Kontakt mit den Unterkiefer-Seitenzähnen hatte. Aus diesem Grund wurde die untere Fläche nur im mesialen Bereich soweit eingeschliffen, bis die gesamte untere Fläche Kontakt mit den Unterkiefer-Seitenzähne hatte. Die mesiale Fläche hatte somit eine Höhe von nur 25 statt der eingangs genannten 27 mm (Abb. 78).

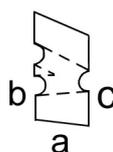


Abb. 78: Schnitt durch den Aufbißblock nach der Änderung. Die untere Fläche a bildet mit der mesialen Fläche b einen flachen Winkel und mit der distalen Fläche c einen spitzen Winkel.

Eine gute und sichere Fixierung des Aufbißblocks zwischen den Zahnreihen kann durch das Anbringen von Rillen auf der oberen und der unteren Aufbißblockseite erzielt werden, die parallel zur mesialen/distalen Fläche verlaufen. Zusätzlich kann der gesamte Aufbißblock aus einem weichbleibenden Kunststoff hergestellt werden, um eine bessere Anpassung durch Aufbiß und eine bessere Haftung zu ermöglichen.

3.1.2 Das Verbindungsstück

Das Verbindungsstück verbindet mittels zweier Steckhalterungen an einem Ende den Aufbißblock und mittels eines Zahnrads am anderen Ende die Filmklemme.

Um den Einsatz des Filmhalters im Seiten- und Frontzahnbereich zu ermöglichen, sind zwei unterschiedliche Verbindungsstücke notwendig: je eines für die Seiten- und die Frontzähne. Diese Verbindungsstücke wurden zuerst aus Wachs modelliert und anschließend aus Phantom-Metall (FA. DEGUSSA, DÜSSELDORF, www.degussa.de) gegossen.

Das **Verbindungsstück für die Seitenzähne** sollte die in Abbildung 79 dargestellte Form aufweisen.

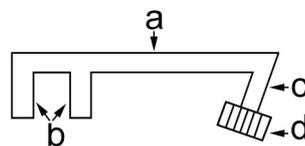


Abb. 79: Verbindungsstück für die Seitenzähne bestehend aus einem Hauptstück a, zwei zum Hauptstück senkrecht verlaufenden Stäben b, einem Nebenstück c und einem Zahnrad d.

Es besteht aus einem *Hauptstück* und einem *Nebenstück*. Beide haben ein rundes Profil mit einem Durchmesser von 3 mm.

Das *Hauptstück* hat an einem Ende zwei zueinander parallel und zum Hauptstück senkrecht verlaufende Stäbe, die die rotationssichere Fixierung des Verbindungsstücks im Aufbißblock gewährleisten. Die Länge der beiden Stäbe entspricht der Breite des Aufbißblocks. Der Abstand zwischen ihnen beträgt 3 mm und entspricht einer einzelnen runden Perforation im Aufbißblock. Bei sieben ineinander übergehenden Perforationen des Aufbißblocks (siehe Abb. 73) ermöglichen diese eine Fixierung des Verbindungsstücks in fünf verschiedenen Positionen. Das Verbindungsstück für die Seitenzähne wird grundsätzlich in die distalen Öffnungen des Aufbißblocks je nach Kiefer parallel zur oberen oder zur unteren Fläche desselben eingeführt (Abb. 73 und Abb. 74).

Das Nebenstück befindet sich am anderen Ende des Hauptstückes, d. h. den beiden Stäben entgegengesetzt, ist kürzer als das Hauptstück und ist in einem spitzen Winkel an diesem angebracht. Dieser Winkel soll die optimale Positionierung der Filmebene zum zu behandelnden Zahn ermöglichen. Dabei sollte die Filmebe-

ne parallel zum Nebenstück c und zu einer gedachten Tangente an den oralen Flächen der Zähne möglichst nah am Zahn erfolgen.

Um diesen Winkel β zu ermitteln, wurden an den zur Verfügung stehenden Modellen die Winkel zwischen einer Tangente an den lingualen Flächen der Unterkieferseitenzähne beider Seiten und der Verbindungslinie durch die approximalen Kontaktpunkte der Prämolaren gemessen (Abb. 80).

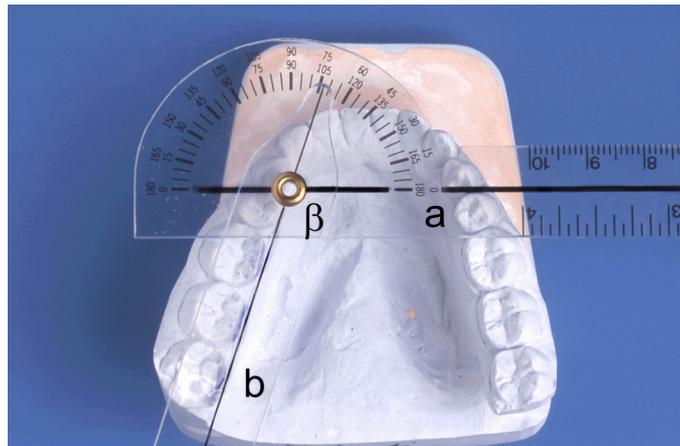


Abb. 80: Ermittlung des Winkels β zwischen der Verbindungslinie a durch die approximalen Kontaktpunkte der ersten Prämolaren und einer an den lingualen Flächen der Unterkieferseitenzähne verlaufenden Tangente b.

Die gemessenen Werte für die Winkel β der rechten und der linken Seite sind in Tabelle 8 dargestellt. Ihr Medianwert beträgt sowohl für die rechte als auch für die linke Seite 104° und wurde für die Gestaltung des Verbindungsstücks für die Seitenzähne verwendet. Da es sich jedoch um einen spitzen Winkel zwischen dem Haupt- und dem Nebenstück handelt, beträgt dieser $180^\circ - \beta = 76^\circ$.

Die optimale Darstellung des Zahnes setzt den Einsatz der Paralleltechnik voraus. Bei herkömmlichen Filmhaltern wurde die Parallelität zwischen der Zahnlongsachse und der Filmachse durch die Fixierung des Filmhalters per Aufbiß angestrebt, da hier eine starre Verbindung zwischen der Filmklemme und dem Aufbißblock bestand. Eine gelenkige Verbindung zwischen der Filmklemme und dem Verbindungsstück ermöglicht jedoch die individuelle parallele Positionierung der Filmebene zur Zahnlongsachse, unabhängig von den Okklusionsverhältnissen des betroffenen Zahnes. Dafür ist eine entsprechende Einrichtung notwendig. Eine solche Einrichtung kann ein Zahnrad sein. An diesem Zahnrad müssen möglichst viele Zähne vorhanden sein, damit die Filmebene durch Umstecken um einen kleinen Winkel – idealerweise 8° (Ross et al. 1990) – verstellbar ist. Ein solches

Zahnrad muß zusätzlich einen kleinen Durchmesser haben, damit es für den Patienten nicht bedrohlich wirkt und eine einfache intraorale Positionierung ermöglicht. Ein solches Zahnrad sollte daher maximal einen Durchmesser von 9 mm haben. Um die Filmebene um 8° verstellen zu können, müßten an einem Zahnrad mit einem Durchmesser von 9 mm über 40 Zähne angebracht sein. Solche Zahnräder werden nur von Uhrmachern verwendet und können hier keinen Einsatz finden, weil ihre kleinen Zähne im Kunststoff keine Retention finden. Aus ausführungstechnischen Gründen wurde ein Zahnrad mit einem Durchmesser von 9 mm und mit einem Modul von 0,4 und somit 20 Zahnrädern verwendet. Dieses Zahnrad war das kleinste, das im Modellbau fertig erhältlich war und zugleich eine gute Retention im verwendeten Ostron-Kunststoff aufwies. Es erlaubt die Variation der Filmebene um nur 20° .

Das **Verbindungsstück für die Frontzähne** hat einen geradlinigen Verlauf und den gleichen Durchmesser wie das Verbindungsstück für die Seitenzähne. Sein Hauptstück ist allerdings kürzer als das Verbindungsstück für die Seitenzähne. Es hat an einem Ende ebenfalls zwei runde parallel zueinander verlaufende Stäbe, die senkrecht zum Hauptstück angebracht sind und 3 mm auseinander liegen (Abb. 81). Diese Stäbe gewährleisten die rotationssichere Fixierung des Verbindungsstückes im Aufbißblock. Ein Nebenstück ist hier nicht vorhanden.

Am anderen Ende des Verbindungsstückes für die Frontzähne ist ein Zahnrad mit dem gleichen Modul wie das Zahnrad des Verbindungsstückes für die Seitenzähne angebracht.

Im Gegensatz zum Verbindungsstück für die Seitenzähne wird das Verbindungsstück für die Frontzähne in die mesialen Perforationen des Aufbißblocks eingeführt. Bei Meßaufnahmen im Oberkiefer werden die zwei Stäbe in den oberen und bei Meßaufnahmen im Unterkiefer in den unteren Perforationen fixiert.

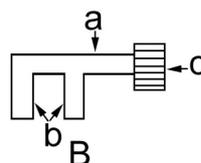


Abb. 81: Verbindungsstück für die Frontzähne mit einem Hauptstück a, zwei senkrecht auf dem Hauptstück angebrachten Stäben b und einem Zahnrad c mit dem gleichen Modul wie das Zahnrad des Verbindungsstückes für die Seitenzähne.

Trotz der annähernden Parallelität zwischen Filmachse und Zahnlängsachse verhindert die Kofferdamklammer das Einhalten eines kleinen Objekt-Film-Abstandes (Abb. 86). Das kann zu einer vergrößerten Projektion des Zahnes führen. Damit ist zwangsläufig die Bestimmung einer zur tatsächlichen Arbeitslänge verlängerten Arbeitslänge verbunden. Der Vergrößerungsgrad ist am besten anhand der eingestellten Länge des Instrumentes auszurechnen und muß bei der Arbeitslängenbestimmung beachtet werden.

3.3 Die Filmklemme

Die Filmklemme fixiert den Zahnfilm während der Meßaufnahme in der gewünschten Position und soll die Verbiegung des Filmes beim Kontakt mit Strukturen der Mundhöhle verhindern.

Einen optimalen Schutz des Zahnfilms gegen Verbiegung ist durch die Herstellung *zweier Filmklemmen* gewährleistet. Diese sollen sowohl die senkrechte als auch die waagerechte Positionierung des Zahnfilms ermöglichen. Durch die abgerundete und grazile Form beider Filmklemmen soll eine gute Anpassung an Strukturen der Mundhöhle erreicht und die Mundschleimhaut vor Verletzungen geschützt werden. Die Fixierung des Zahnfilmes erfolgt in einem Schlitz zwischen dem Rückschild nach oral und zwei seitlichen Zapfen nach vestibulär. Diese Gestaltung der Filmklemme umgeht die Problematik der Radioopazität des für die Prototypen verwendeten Ostron-Kunststoffes.

Unterhalb des Schlitzes für den Zahnfilm befindet sich eine rechteckige Führungsöffnung für die Aufnahme des Indikatorstabes und hinter dem Rückschild eine Steckhalterung für die Aufnahme des Zahnrades (Abb. 82).

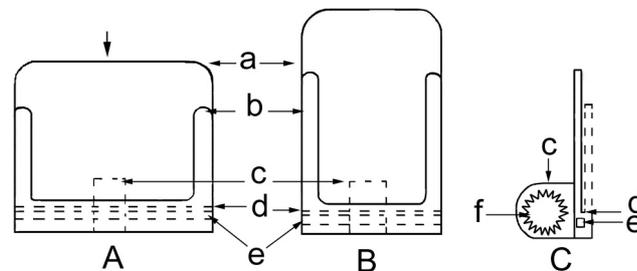


Abb. 82: Filmklemmen: A Filmklemme für die Seitenzähne und B: Filmklemme für die Frontzähne. C: Schnitt durch die Filmklemme A in der Höhe des Pfeils. Beide Filmklemmen haben die gleichen Bestandteile: a: Rückschild, b: zwei seitliche Zapfen zum Zahn hin, c: Steckhalterung für das Zahnrad, d: Filmauflagefläche zwischen dem Rückschild und den beiden Zapfen, e: Steckhalterung für die extraorale Positionierungshilfe, f: Steckhalterung für die Aufnahme des Zahnrades.

Das Zahnrad ermöglicht die Einstellung unterschiedlicher Neigungswinkel der Filmklemme zur Zahnängsachse. Markierungen an der Filmklemme und am Zahnrad könnten als Empfehlung für die Fixierung der Filmklemme bei Meßaufnahmen im Seiten- und Frontzahnbereich angebracht werden.

Durch die Herstellung der Filmklemme aus einem strahlenundurchlässigen Material kann die Primärstrahlung, die sonst durch die Bleifolie hindurch auf die andere Mundseite fällt, absorbiert und somit die Strahlenbelastung für den Patienten stark reduziert werden.

3. 1. 4 Extraorale Positionierungshilfe

Die extraorale Positionierungseinrichtung sollte den senkrechten Einfall des Zentralstrahls auf die Filmebene gewährleisten. Zugleich sollte die Positionierung einer solchen extraoralen Zentriervorrichtung bei eingesetztem Kofferdam-Instrumentarium möglich sein.

Die extraorale Zentriereinrichtung setzt sich zusammen aus einem I-förmigen Indikatorstab, einem Visierring und einer Rechteckblende (Abb. 83).

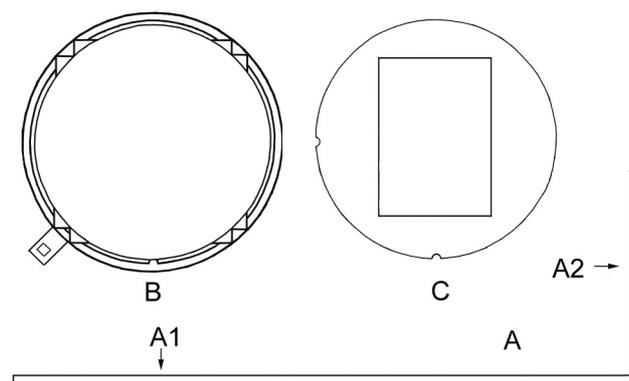


Abb. 83: Extraorale Positionierungshilfe bestehend aus einem Indikatorstab A, einem Visierring B und einer Rechteckblende C.

Der *Indikatorstab* sollte ein rechteckiges Profil aufweisen, um eine rotationssichere Fixierung in der Filmklemme zu ermöglichen. Für den experimentellen Filmhalter stand ein rechteckiger Aluminium-Draht mit den Maßen 2x3 mm zur Verfügung.

Der Indikatorstab verläuft von intraoral an der Kofferdamgummi-Innenseite entlang nach extraoral und knickt dank des rechtwinkligen Winkels um den Kofferdamrahmen nach extraoral ab. Der extraorale Anteil des Indikatorstabs dient als Führungsfläche für den Visierring, der je nach Objekt-Film-Abstand näher oder weiter weg von der Wange positioniert werden kann.

Da die Entwicklung eines Visierringes und einer strahlenundurchlässigen Rechteckblende zu kosten- und zeitintensiv gewesen wäre, wurde für die Durchführung der Aufnahmen am Schädel der Visierring des Endo-Pro-Filmhalters nach WILLIS am neuen Filmhalter angepaßt und verwendet.

Die Fixierung einer Rechteckblende am Visierring ist sowohl für die Filmklemme der Seitenzähne, als auch für die Filmklemme der Frontzähne anhand von Markierungen am Visierring möglich.

Insgesamt weist der experimentelle Filmhalter, dessen Bestandteile nun einzeln dargestellt wurden, die in der Abbildung 84 dargestellte Form auf.

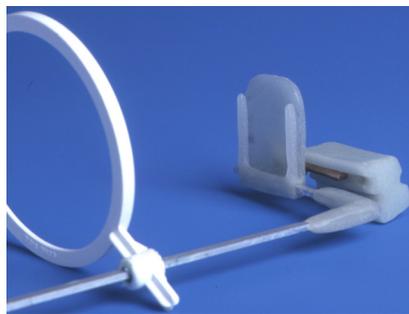


Abb. 84: Experimenteller Filmhalter zusammengesetzt für Meßaufnahmen in Frontzahnbereich.

Die intraorale Positionierung des experimentellen Filmhalters für den Seiten- und Frontzahnbereich zeigen die Abbildungen 85 und 86. Um die Lage des experimentellen Filmhalters zum zu behandelnden Zahn zu verdeutlichen wurde nur die Kofferdamklammer eingesetzt, auf Kofferdamrahmen und -gummi wurde verzichtet. Der kurze Schenkel A2 des Indikatorstabes A (Abb. 83) bietet genug Platz für die Positionierung eines nicht aufklappbaren wie auch eines aufklappbaren Kofferdamrahmens.

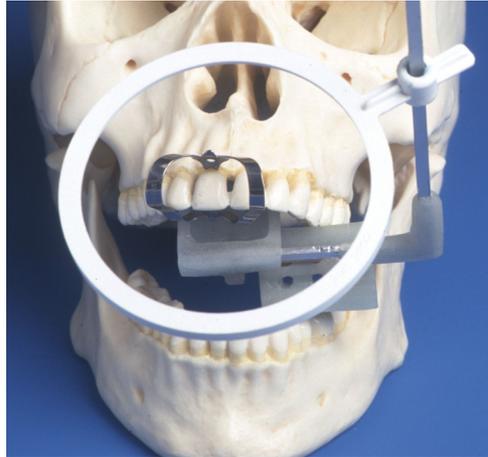


Abb. 85: Experimenteller Filmhalter zusammengesetzt für Meßaufnahmen im Frontzahnbereich. Das Verbindungsstück für Meßaufnahmen im Frontzahnbereich wird von der mesialen Fläche des Aufbißblocks in diesem fixiert.

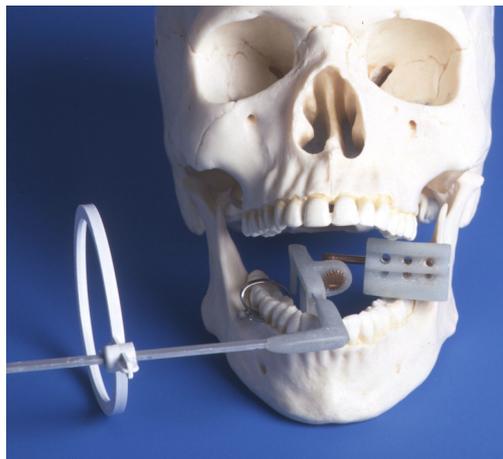


Abb. 86: Experimenteller Filmhalter zusammengesetzt für Meßaufnahmen im Seitenzahnbereich. Das Verbindungsstück für Aufnahmen im Seitenzahnbereich wird von der distalen Fläche in diesem fixiert.

3.2 In-vitro Studie

Nach der Fertigstellung des Filmhalter-Prototyps sollte dieser anhand eines Homo-Schädels ausprobiert werden.

Während der in-vitro Studie wurden Meßaufnahmen an jeweils drei ausgewählten Ober- und Unterkieferzähnen mit dem experimentellen Filmhalter und dem Endo-Ray II-Filmhalter (Fa. DENTSPLY RINN CORPORATION, Konstanz, www.dentsply.com) angefertigt. Der EndoRay II-Filmhalter wird für Meßaufnahmen seit mehreren Jahren in der Abteilung für Zahnerhaltungskunde der Zahn-, Mund- und Kieferklinik der Universität Hamburg eingesetzt.

Die ausgesuchten Zähne waren jeweils ein Frontzahn, ein Prämolare und ein Molar, so daß der Einsatz der beiden Filmhalter und die Qualität der so entstandenen Bilder in verschiedenen Regionen der Mundhöhle miteinander verglichen werden konnten.

Herkömmliche radiologische Untersuchungen, welche die Aussagekraft von Filmhaltern bei der Bestimmung der Arbeitslänge unter Beweis stellen sollen, wurden an Zähnen durchgeführt, die vor der Extraktion aufbereitet wurden (BHAKDINARONK u. MANSON-HINK 1981, LANGLAND u. SIPPY 1966, VANDE VOORDE et al. 1969). Anhand den durchgeführten Meßaufnahmen wurden die röntgenologischen Zahn- und Arbeitslängen der behandelten Zähne bestimmt. Anschließend erfolgte die Extraktion jener Zähne und die Bestimmung ihrer Länge mit einer Schieblehre. Auf diese Weise ergibt sich ein Vergrößerungsfaktor für die Zahn- und die Arbeitslänge, der eine Aussage über die Zuverlässigkeit der mit dem jeweiligen Filmhalter angefertigten Meßaufnahme erlaubt.

Im Rahmen der hier durchgeführten in-vitro Studie hingegen wurde *erst* die tatsächliche Zahn- und Instrumentenlänge mit einer Schieblehre gemessen. Anschließend wurden die Zähne in die schon vorhandenen leeren Alveolen eingesetzt. Zur Verfügung stand ein Homo-Schädel, der nur teilweise bezahnt war, so daß gezielt Zähne ausgesucht wurden, die eine möglichst gute Passung in den leeren Alveolen aufwiesen. Durch punktuellen Beschleifen der Alveolenwände wurde die Passung dieser Zähne optimiert.

Ausgesucht wurden jeweils ein oberer und unterer Schneidezahn (Zahn 11 und Zahn 41), ein oberer und unterer Prämolare (Zahn 24 und Zahn 45) und ein oberer und unterer Molar (Zahn 16 und Zahn 47) (Abb. 87).



Abb.87: Übersicht aller in der in-vitro Studie verwendeten Zähne. Von links nach rechts: 24, 45, 41, 11, 47, 16.

Die Länge der ausgesuchten Zähne wurde zwischen der Inzisalkante bzw. Höckerspitze und dem Foramen apicale mit Hilfe einer Schieblehre gemessen, wobei nur der geradlinige Verlauf der Wurzeln beachtet wurde (Abb. 88).



Abb.88: Ausmessen der Zahnlänge zwischen dem Foramen apicale und der Inzisalkante links bzw. Höckerspitze rechts mit einer Schieblehre.

Anhand der gemessenen Zahnängen wurde die Arbeitslänge festgelegt, die ca. 1 mm kürzer als die Zahnlänge ist (GULDENER u. LANGELAND 1987, HELLWIG et al. 1995, HÜLSMANN 1993, KETTERL et al. 1993, SCHROEDER A. 1981, TRONSTAD 1991). Für die Darstellung der Zähne wurde eine Röntgenröhre DER FA. SIEMENS, MÜNCHEN (www.siemens.de) verwendet. Die Abbildung der Zähne erfolgte bei jeder Meßreihe sowohl auf dem in der Abteilung verwendeten dosisreduzierten Zahnfilm Kodak Ektaspeed Plus (FA. KODAK, STUTTGART, www.kodak.com), als auch auf digitalen Speicherfolien der Größe 30x40 mm bzw. 21x30 mm des Digora-Systems (FA. GENDEX, HAMBURG, www.gendex.de).

Die digitale Radiographie hat gegenüber herkömmlichen Meßaufnahmen auf dem Zahnfilm den Vorteil einer erheblichen Dosisreduzierung, die im Rahmen einer röntgenstrahlenintensiven Therapie wie der Endodontie eine sehr wichtige Rolle spielt. Zudem bietet sie die Möglichkeit der Bildverarbeitung mit dem Programm Digora für Windows, Version 1.0., die bei herkömmlichen Aufnahmen nicht ohne weiteres möglich ist (SCHROEDER TH. et al. 1995).

Um die Vergrößerung der projizierten Zähne zu ermitteln, wurden in der *ersten Meßreihe* die Zähne zuerst auf dem Tisch in einem senkrechten Winkel geröntgt. Diese Projektionsweise führt(e) zur kleinstmöglichen Vergrößerung der Zähne, da hierbei die Versuchsbedingungen ideal und keine Störfaktoren vorhanden sind. Dafür lag der Zahn auf dem Zahnfilm und seine Längsachse verlief parallel zur Tischebene (Abb. 89). Mehrwurzelige Zähne, die aufgrund ihrer Form keine stabile parallele Lage zur Projektionsebene hatten, wurden mit Wachs in dieser Position fixiert. Der Fokus-Objekt-Abstand betrug 10 cm. Dieser Abstand wurde ausgewählt, da bei einem 3 bis 10 cm Fokus-Objekt-Abstand die beste Detaillierbarkeit erreicht wird (SCHMAGE et al. 1996). Diese Projektionsweise wird im weiteren Verlauf als *planparallele Nahprojektion* aufgeführt.



Abb. 89: Versuchsanordnung für die planparallele Nahprojektion der Zähne.

Die *zweite Meßreihe* wurde mit dem EndoRay II-Filmhalter durchgeführt, wobei Kofferdamklammer und –rahmen bewußt keinen Einsatz fanden. Das Weglassen des Kofferdam-Instrumentariums führt zu einer erleichterten und genaueren Positionierung des Filmhalters (Abb. 90).



Abb. 90: Versuchsanordnung für die zweite Meßreihe mit eingesetztem EndoRay II-Filmhalter ohne Kofferdam-Instrumentarium.

Die *dritte Meßreihe* wurde mit dem EndoRay II-Filmhalter bei angelegtem Kofferdam durchgeführt. Laut Herstellerhinweis ist für die Positionierung des EndoRay II-Filmhalters die Abnahme der oberen oder der unteren Kofferdamfolienhälfte ausreichend (DENTSPLY RINN USA Herstellerhinweis 1999). Die teilweise Ablösung der Kofferdamfolie kann jedoch zu einer Befeuchtung der Arbeitsfläche und somit zu einer Kontamination dieser Fläche mit Speichel und den darin enthaltenen Bakterien führen. Hinzu besteht die Gefahr einer vollständigen Ablösung des Kofferdamgummis vom –rahmen, die noch leichter zu einer Befeuchtung des Arbeitsfeldes führt. Dies erfordert zumindest eine erneute Desinfektion des Arbeitsfeldes, die zeitraubend und umständlich ist. Vor dem Hintergrund dieses Risikos wurde bei dieser Versuchsanordnung der Kofferdamrahmen von vornherein ganz abgenommen, was zudem eine bessere Sicht für die Positionierung des Filmhalters bietet (Abb. 91).

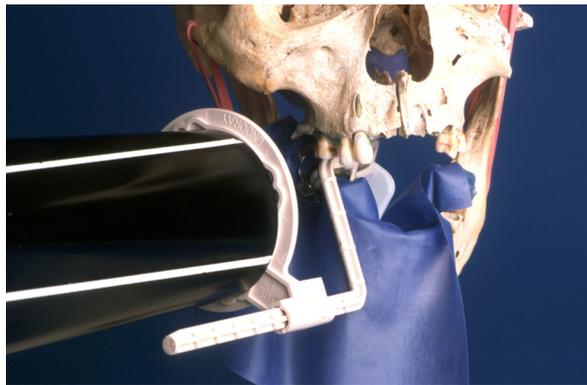


Abb. 91: Versuchsanordnung für die dritte Meßreihe mit eingesetztem Endo-Ray II-Filmhalter und abgenommenem Kofferdamrahmen.

Die *vierte Meßreihe* wurde mit dem experimentellen Filmhalter bei angelegtem Kofferdamrahmen aus radioluzentem Kunststoff durchgeführt. Einsatz fand hier der Kofferdamrahmen Safe-T-Frame nach AHLERS (Abb. 92). Im Gegensatz zu herkömmlichen Kofferdamrahmen, auf denen das Kofferdamgummi aufgespannt wird, ist beim Safe-T-Rahmen die je nach Bedarf lockere Fixierung des Gummis zwischen zwei ineinander greifende und durch ein Rotationsgelenk miteinander verbundene Komponenten möglich. Bei diesem Vorgehen wird auf die im Mund eingesetzte Kofferdamklammer kein oder vergleichsweise wenig Zug ausgeübt, was zum einen die potentiell schmerzhafteste Verschiebung der Klammer verhindert und zum anderen die Voraussetzung für die erleichterte seitliche Verschiebung

des Kofferdamrahmens zum Zweck der Filmhalterpositionierung schafft (AHLERS 2000).



Abb. 92: Versuchsanordnung für die vierte Meßreihe mit dem experimentellen Filmhalter und eingesetztem Kofferdamrahmen Safe-T-Frame nach AHLERS. Auf der rechten Seite des Kofferdamgummis sind der Aufbißblock, das Zahnrad und die Vorrichtung an der Filmklemme zur Fixierung am Zahnrad zu sehen.

Insgesamt konnten diese vier Einstellungen an den Zähnen 21, 24, 16, 41 und 45 und teilweise am 47 durchgeführt werden, wobei mit jeder Versuchsanordnung jeweils 10 *auswertbare* Meßaufnahmen entstanden. Vergleichbar mit dem klinischen Vorgehen wurde jede einzelne Aufnahme unmittelbar nach ihrer Erstellung auf ihre Auswertbarkeit in Hinblick auf Aufnahmefehler überprüft. Im Falle von offensichtlichen Fehlern wurden die Aufnahmen verworfen und wiederholt, bis 10 fehlerfreie Aufnahmen desselben Zahnes entstanden. Die Häufigkeit derartiger Wiederholungen betrug bei einwurzeligen Zähnen null bis eine pro Serie. Die Ausnahme bildete der Zahn 47 mit vier Wiederholungen bei der Einstellung „experimenteller Filmhalter mit Kofferdam und ohne Visierring“ aufgrund der schwierigen mesial-exzentrischen Projektion seiner vier (!) Wurzelkanäle.

Die Tabelle 9 bietet eine Übersicht über die Anzahl der wiederholten Meßaufnahmen und die Gründe, die diese Wiederholungen notwendig machten.

Meßreihe —— Zahn	E+K+V	E-K+V	E+K-V	E-K-V	exp. FH
41	0	0	-	-	3 ¹
45	0	2 ²	-	-	0
47	2 ³	0	0	0	2 ⁴
14	0	0	-	-	0
21	0	2 ⁵	-	-	0
16	0	0	-	-	1 ⁶

Tabelle 9: Anzahl der wiederholten Meßaufnahmen bei Projektionen auf dem Zahnfilm.

Für die Tabellen 9 und 10 werden folgende Abkürzungen verwendet:

planp.Nahprojektion = planparallele Nahprojektion,

K = Kofferdam

exp. FH = experimenteller Filmhalter,

V = Visierring

E = EndoRay II-Filmhalter

D = Digora-Speicherfolien

ZF = Zahnfilm

sec = Sekunden

Bei Projektionen auf Digora-Speicherfolien war die Anzahl der wiederholten Aufnahmen vernachlässigbar gering im Vergleich zu den Projektionen auf Zahnfilme. Dies kann dadurch erklärt werden, daß die Meßaufnahmen auf Zahnfilme vor denen auf Digora-Speicherfolien angefertigt wurden und somit Einstellungsfehler bei digitalen Aufnahmen vermieden werden konnten.

Alle Aufnahmen wurden bei einer Spannung von 60 kV durchgeführt, wobei die Belichtungszeit und somit die Dosis bei digitalen Aufnahmen meist die Hälfte der Dosis herkömmlicher Aufnahmen betrug.

Die Tabelle 10 gibt Aufschluß über die Belichtungszeiten bei herkömmlichen und digitalen Aufnahmen.

¹ : Da die Zentriervorrichtung des experimentellen Filmhalters aus technischen Gründen nicht mittig auf den Zahnfilm eingestellt werden konnte, wurde dieser nur teilweise bestrahlt und der Zahn somit unvollständig abgebildet.

² : Der Zahn 45 konnte aufgrund seiner Länge nicht vollständig auf dem intraoral waagrecht positionierten Zahnfilm abgebildet werden.

³ : Der 2,5 mm breite Stabilisierungsrahmen der Digora-Speicherfolie führte zu einer unvollständigen Projektion des Zahnes.

⁴ : Die vollständige mesial-exzentrische Darstellung aller vier Wurzelkanäle konnte aufgrund der Positionierungseinschränkungen des experimentellen Filmhalters nicht auf Anhieb erfolgen.

⁵ : Durch die fehlerhafte Positionierung des EndoRay II-Filmhalters fand die unvollständige Projektion des Zahnes auf dem Zahnfilm statt.

⁶ : Hier fand die Positionierung des experimentellen Filmhalters zu weit nach mesial statt. Dadurch wurde die disto-bukkalen Wurzelspitze nicht abgebildet.

Meßreihe Zahn	planp. Nahprojektion		exp. Filmhalter		E+K+V		E-K+V		E+K-V		E-K-V	
	ZF	D	ZF	D	ZF	D	ZF	D	ZF	D	ZF	D
41	0,10	0,05	0,16	0,06	0,16	0,07	0,18	0,08				
45	0,14	0,07	0,14	0,06	0,14	0,06	0,14	0,07				
47	0,14	0,09	0,16	0,07	0,16	0,09	0,16	0,09	0,16	0,09	0,16	0,07
21	0,15	0,09	0,09	0,04	0,09	0,04	0,09	0,04				
14	0,14	0,09	0,14	0,06	0,14	0,06	0,14	0,06				
16	0,14	0,09	0,14	0,05	0,14	0,06	0,13	0,06				

Tabelle 10: Belichtungszeiten der sechs Meßreihen bei herkömmlichen und digitalen Aufnahmen [sec].

Die Belichtungszeiten bei der planparallelen Nahprojektion sind geringer als bei den anderen Meßreihen, da die Röntgenstrahlung weder Knochen noch Weichgewebe durchdringen muß, sondern direkt auf den Zahn fällt.

Für den Zahn 21 wurden Meßaufnahmen bei Bestrahlungszeiten von 0,09 sec bzw. 0,04 sec angefertigt. Diese geringe Strahlenexposition war aufgrund der sehr dünnen labialen Knochenlamelle möglich, die trotz vorsichtiger Behandlung teilweise abgebrochen war.

Die Meßaufnahmen mit der Paralleltechnik am Zahn 21 konnten nur mit einem 23x35 Zahnfilm bzw. einer 21x30 Speicherfolie durchgeführt werden, weil der flache Gaumen des Homo-Schädels die parallele Positionierung von Filmformaten für Erwachsene verhinderte. Die Meßaufnahmen mit der Paralleltechnik an allen anderen Zähnen konnten auf Filmformaten für Erwachsene angefertigt werden. Für die mehrwurzeligen Zähne erfolgte die Einstellung der Röntgenröhre mesial-exzentrisch, um die Überlagerung der Wurzelkanäle zu vermeiden und eine eindeutige Längenbestimmung dieser Kanäle zu ermöglichen.

Die mesial-exzentrische Positionierung des experimentellen Filmhalters am Zahn 47 war nicht in gewünschtem Ausmaß möglich. Die Ursache dafür war der geradlinige Verlauf des experimentellen Filmhalters, der bei einer disto-lingualen Drehung des Aufbißblocks zu einer Berührung des aufsteigenden Astes auf der Gegenseite des zu untersuchenden Zahnes führte (Abb. 93).

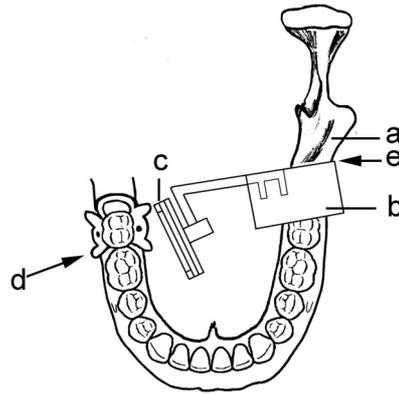


Abb. 93: Versuch der disto-lingualen Positionierung des experimentellen Filmhalters am Zahn 47. a= aufsteigender Ast, b= Aufbißblock, c= mesial-exzentrische Positionierung der Filmklemme, d= Strahlengang bei der mesial-exzentrischen Positionierung, e= Platzmangel bei der mesial-exzentrischen Positionierung des Filmhalters.

Aus diesem Grund wurde der experimentelle Filmhalter am Zahn 47 orthoradial ohne Einsatz des Zentrierringes positioniert. Der Strahlengang wurde jedoch mesial-exzentrisch auf den Zahn 47 eingestellt (Abb. 94). Mit dieser Versuchsanordnung wurde *am Zahn 47 die vierte Meßreihe* durchgeführt.

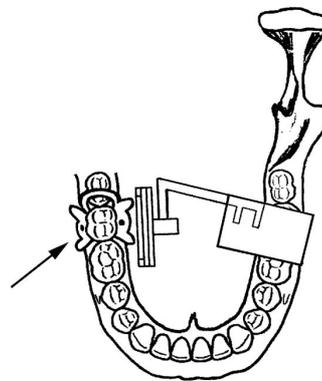


Abb. 94: Mesial-exzentrische Einstellung des Strahlenganges am Zahn 47 bei orthoradialer Positionierung des experimentellen Filmhalters während der vierten Meßreihe.

Da die mesial-exzentrische Positionierung des experimentellen Filmhalters nicht auf übliche Weise stattfinden konnte, wurde die mesial-exzentrische Positionierung des EndoRay II-Filmhalters auf die gleiche Art und Weise vorgenommen, um ähnliche Versuchsbedingungen für beide Filmhalter zu schaffen. So entstand die *fünfte Meßreihe am Zahn 47*.

Die *sechste Versuchsreihe am Zahn 47* entstand durch die mesial-exzentrische Positionierung des EndoRay II-Filmhalters (Abb. 95). Dabei befand sich der Auf-

bißblock disto-lingual und der Zentralstrahl verlief aufgrund des Visierringes senkrecht von mesial kommend auf den Zahnfilm.

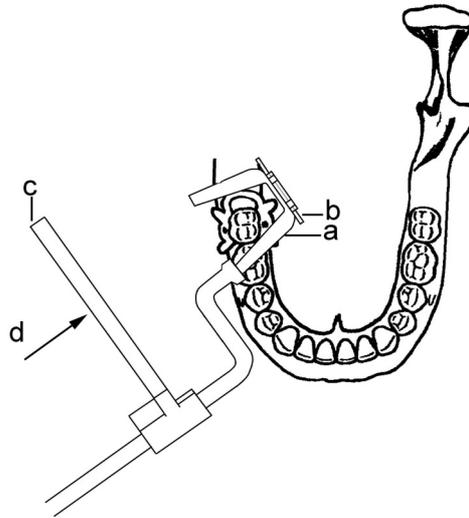


Abb. 95: Mesial-exzentrische Positionierung des EndoRay II-Filmhalters am Zahn 47. a= EndoRay II-Filmhalter, b= Zahnfilm, c= Visierring, d= mesial-exzentrischer Strahlengang senkrecht auf die Zahnfilmebene.

Die Qualität aller 1040 entstandenen Aufnahmen wurde von einem zweiten in der Abteilung für Zahnerhaltungskunde der Zahn-, Mund- und Kieferklinik des Universitätskrankenhauses Eppendorf tätigen Zahnarzt überprüft und für gut empfunden. Diese Beurteilung erfolgte in Hinblick auf folgende Parameter: Kontrast, Zeichenschärfe, Grundschleier und Informationsgehalt.

Auswertung

Anhand der *Meßaufnahmen*, die auf Zahnfilmen angefertigt wurden, erfolgte anschließend die Messung der Zahn- und Arbeitslänge.

- Auf dem Zahnfilm wurde die *Zahnlänge* zwischen der Inzisalkante bzw. Höckerspitze und dem Foramen apicale - auf gleiche Weise wie die native Zahnlänge - mit einer Meßlehre gemessen, wobei auch jetzt nur der geradlinige Verlauf der Zahnwurzel beachtet wurde.
- Die *Arbeitslänge* wurde mit Hilfe einer Headström-Feile der Größe 20 gemessen, die entsprechend der jeweiligen Meßaufnahme so vorgebogen wurde, daß sie deckungsgleich mit dem auf dem Zahnfilm abgebildeten Instrument war. Zur Einstellung der richtigen Arbeitslänge wurde auch hier

ein Silikon-Stopper verwendet. Anschließend wurde die Feile wieder gerade gebogen und die so eingestellte Arbeitslänge mit einer Schieblehre gemessen.

Für die *digitalen Aufnahmen* wurden die Zahn- und die Arbeitslänge mit Hilfe des Softwareprogramms Digora® für Windows bestimmt.

- Bei der Messung der *Zahnlänge* wurden dieselben zwei Referenzpunkte wie für die herkömmlichen Aufnahmen ausgesucht, nämlich die Höckerspitze bzw. die Schneidekante und das Foramen apicale, wobei auch hier nur der gerade Verlauf der Zahnwurzel beachtet wurde.
- Für die Messung der *Arbeitslänge* wurde, ähnlich wie bei den Meßaufnahmen auf dem Zahnfilm der gebogene Verlauf des Instrumentes im Wurzelkanal beachtet. Da hier das Vorbiegen einer H-Feile und das deckungsgleiche Aufliegen derselben auf der digitalen Aufnahme nicht möglich ist, erfolgte die Aufteilung der tlw. gebogenen zu messenden Strecke in mehreren kleinen geraden Stücken. So kann der gebogene Verlauf des Kanals und somit seine tatsächliche Länge korrekt ausgemessen werden.

4 ERGEBNISSE

Die statistische Auswertung der Meßergebnisse verfolgt mehrere Ziele: erstens einen Vergleich der einzelnen Versuchsreihen und somit der Ergebnisse mit den beiden Filmhaltern, zum anderen die Überprüfung aller Meßergebnisse auf ihre Zuverlässigkeit.

Aus diesem Grund findet die statistische Auswertung auf vier verschiedene Weisen statt. Dabei werden die Daten für die Zahnprojektionen auf dem Zahnfilm und mit dem Digora-Verfahren getrennt dargestellt.

4.1 Darstellung der Meßergebnisse für jeden einzelnen Zahn

Im ersten Teil erfolgt die Darstellung der Meßwerte einzelner Versuchsreihen für jeden einzelnen Zahn. Hierbei werden die Werte für die Zahn- und Arbeitslänge nebeneinander eingetragen, um die Differenz zwischen ihnen zu verdeutlichen. Die Auswertung der Meßergebnisse erfolgte mit dem Programm Harvard Graphics 98 (FA. VIZACOM INC., www.vizacom.com).

Zur Datenbeschreibung wurden gruppenspezifische Mittelwerte und die dazugehörigen 95%-igen Konfidenzintervalle¹ nach der Formel 4 berechnet.

$$\text{Konfidenzgrenzen} = x \pm \alpha \times \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

Formel 4: Berechnung des Konfidenzintervalls.

Dabei bedeuten:

n= Stichprobenumfang,

x= arithmetisches Mittel der n Einzelwerte,

α = Irrtumswahrscheinlichkeit, beträgt 1,96 bei einer Wahrscheinlichkeit von 95%,

σ = Standardabweichung.

Das arithmetische Mittel – auch als Mittelwert bekannt – läßt sich nach der folgenden Formel ausrechnen:

¹ : Ein 95%-iges Konfidenzintervall ist ein Intervall, das mit einer Sicherheitswahrscheinlichkeit von 95% den wahren, aber unbekanntem Erwartungswert überdeckt

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n}$$

Formel 5: Berechnung des arithmetischen Mittels

Die Standardabweichung läßt sich nach der folgenden Formel ausrechnen:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$$

Formel 6: Berechnung der Standardabweichung

Je kleiner ein Konfidenzintervall ist, desto genauer ist die Aussage über den wahren aber unbekanntem Wert.

Die Darstellung der einzelnen Versuchsanordnungen in den Abbildungen 96 bis 106 erfolgt in einer bestimmten Reihenfolge. Diese Reihenfolge ist dadurch begründet, daß der native Meßwert der wahre, mit einer Schieblehre gemessene Wert, sowohl für die Zahnlänge, als auch für die Arbeitslänge ist. Dieser Wert dient als Vergleichsparameter für alle anderen und ist der kleinste unter ihnen. Aus diesem Grund wird er als erster aufgeführt.

Die planparallele Nahprojektion, als zweite Versuchsanordnung aufgeführt, ist die einzige radiologische Projektionsweise, bei der die geringste Vergrößerung des Zahnes stattfindet. Ihr folgen die Versuchsanordnungen mit dem experimentellen Filmhalter und dem Endo Ray II-Filmhalter mit und ohne Kofferdam.

Nachfolgend werden die Meßergebnisse aller Versuchsreihen pro Zahn dargestellt. Dabei wurde für alle Zähne die gleiche Skala verwendet, um die Längendifferenzen der einzelnen Zähne und die Zusammenhänge zwischen den Ergebnissen der einzelnen Meßreihen besser beurteilen zu können. Die Arbeitslängen sind mit rot, die Zahnlänge mit blau dargestellt.

4.1.1 Zahn 21

Sowohl für den Zahn 21 als auch für alle anderen Zähne sind die Zahnprojektionen mit dem Digora-Verfahren größer als die Zahnprojektionen auf dem Zahnfilm, obwohl die Versuchsanordnung für beide Projektionsmedien gleich ist (Abb. 89). Die Differenz der Mittelwerte einzelner Versuchsanordnungen zum nativen Meßwert ist für die Meßaufnahmen mit dem Digora-Verfahren größer als die Meßaufnahmen auf dem Zahnfilm.

Sowohl für die Projektionen des Zahnes 21 auf dem Zahnfilm als auch auf der Speicherfolie besteht ein linearer Zusammenhang der Meßergebnisse (Abb. 96). Die Differenz zwischen der Zahn- und der Arbeitslänge beträgt jedoch bei fast allen Versuchsanordnungen etwa 1 mm.

Bei genauerem Betrachten der Meßergebnisse des Zahnes 21 fällt auf, daß der Einsatz des experimentellen Filmhalters sowohl bei Projektionen auf dem Zahnfilm als auch auf Digora-Speicherplatten zu einer geringeren Vergrößerung des Zahnes und somit der Arbeitslänge führt als bei allen anderen klinisch relevanten Versuchsanordnungen.

Weiterhin führt offensichtlich das Weglassen des Kofferdam-Instrumentariums bei der Versuchsreihe „EndoRay II – Kofferdam + Visierring“ zu einer Verschlechterung der Meßergebnisse, da beim Einsatz der Digora-Speicherplatten die stärkste Vergrößerung des Zahnes und die größte Differenz zwischen Zahn- und Arbeitslänge entstanden ist.

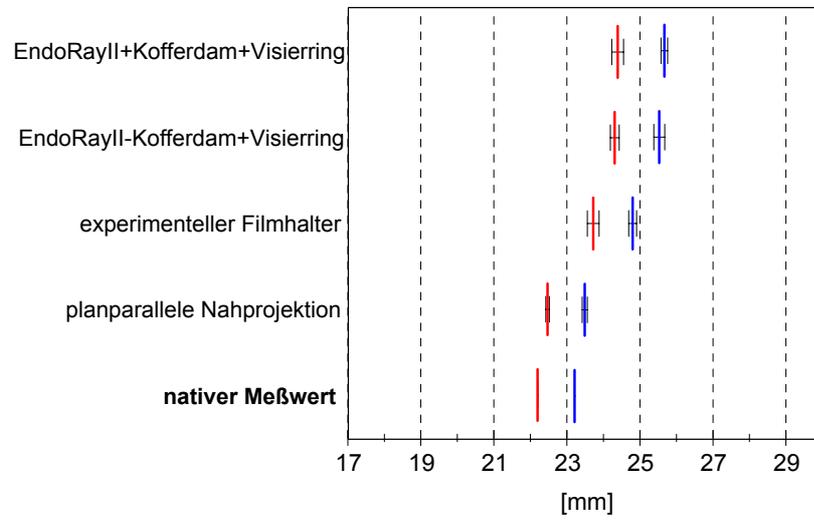


a.

Zahn 21

Zahnfilm

b.



Zahn 21

Digora

c.

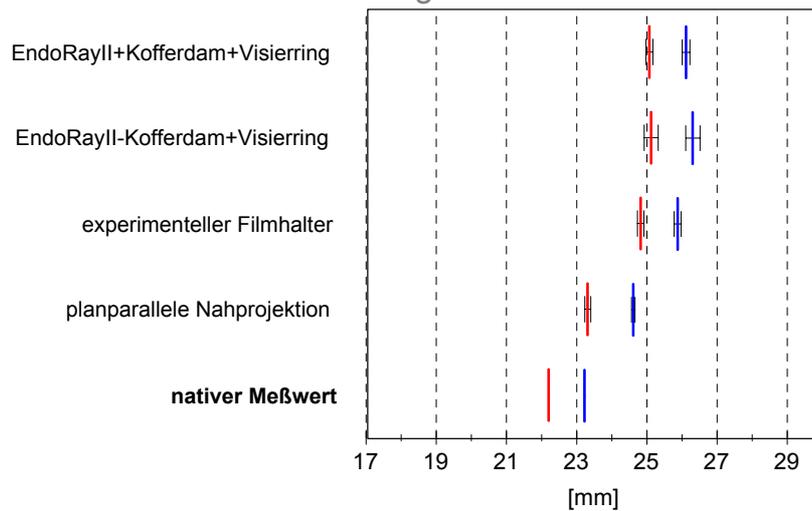


Abb. 96: Graphische Darstellung der Meßergebnisse aller Versuchsreihen für den Zahn 21 (a = Zahn 21, b = Projektionen auf dem Zahnfilm und c = Projektionen mit dem Digora-Verfahren, rot = Arbeitslänge, blau = Zahnlänge).

4.1.2 Zahn 24

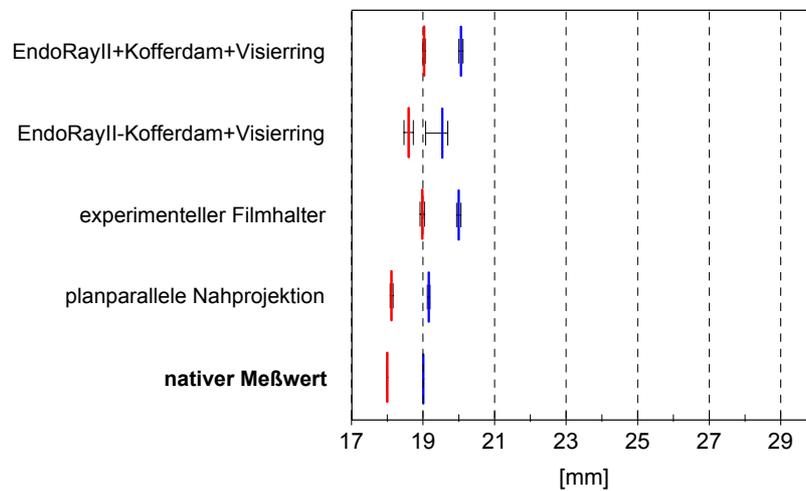
Die Meßergebnisse für den Zahn 24 entsprechen den Beobachtungen am Zahn 21, wobei auch hier das Weglassen des Kofferdam-Instrumentariums beim Einsatz der Digora-Speicherplatten zu einer starken Vergrößerung des Zahnes führt (Abb. 97). Auch hier findet unter Einsatz des experimentellen Filmhalters eine geringere Vergrößerung des Zahnes als bei den anderen Versuchsanordnungen statt.



a.

Zahn 24

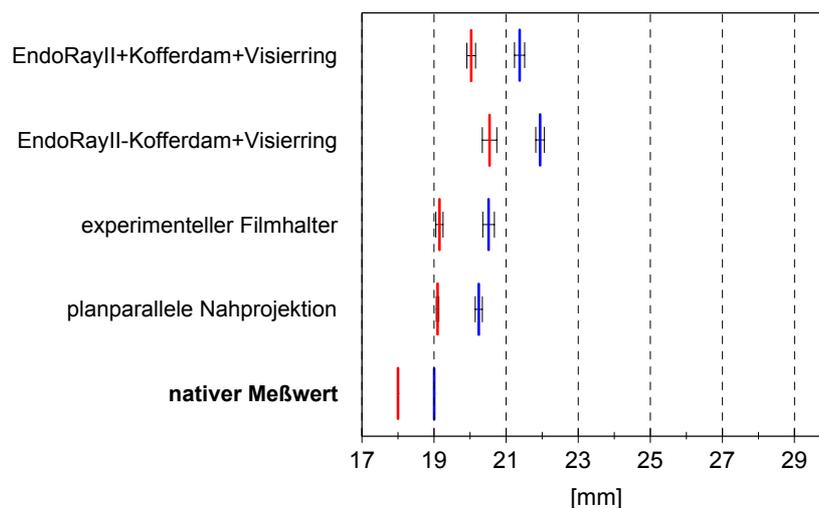
Zahnfilm



b.

Zahn 24

Digora



c.

Abb. 97: Graphische Darstellung der Meßergebnisse aller Versuchsreihen für den Zahn 24 (a = Zahn 24, b = Zahnprojektionen auf dem Zahnfilm und c = Projektionen mit dem Digora-Verfahren, rot = Arbeitslänge, blau = Zahnlänge).

4.1.3 Zahn 16

Für den Zahn 16 findet die Auswertung der Meßergebnisse für jeden Wurzelkanal einzeln statt.

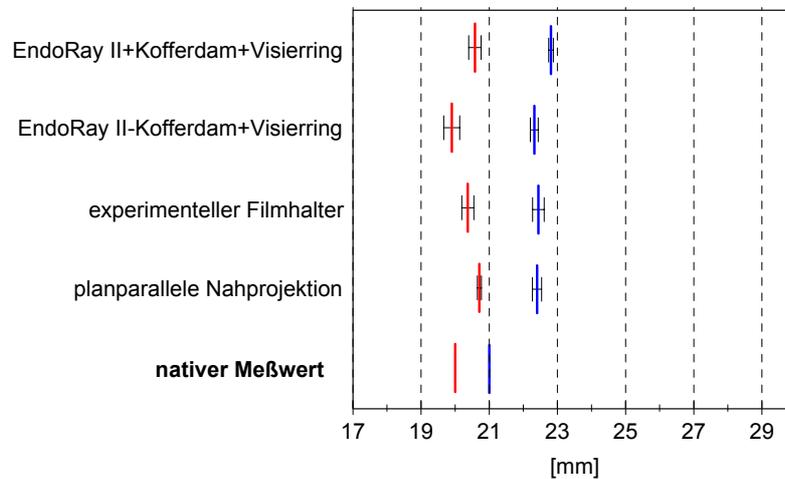
Für den mesio-bukkalen Wurzelkanal des Zahnes 16 kann man grundsätzlich die Beobachtungen der vorherigen einwurzeligen Zähne bestätigen. Mit dem experimentellen Filmhalter läßt sich eine geringere Projektionsvergrößerung des Zahnes als bei der planparallelen Nahprojektion erkennen (Abb. 98).



a.

Zahn 16 mesio-bukkaler WK

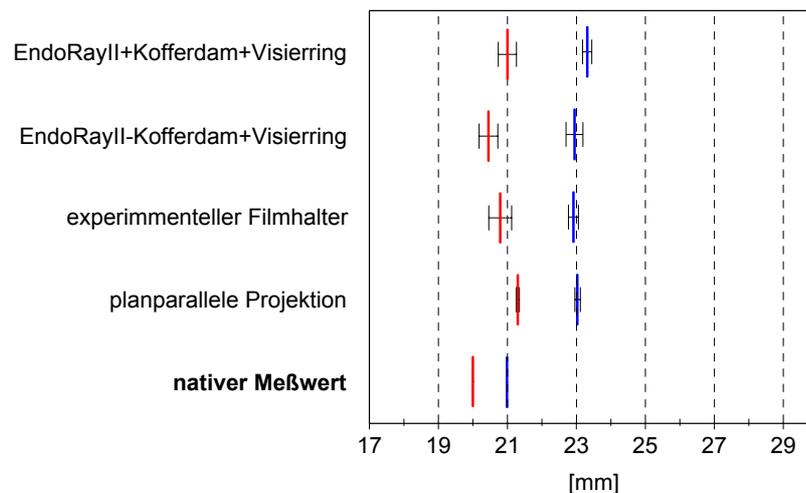
Zahnfilm



b.

Zahn 16 mesio-bukkaler WK

Digora



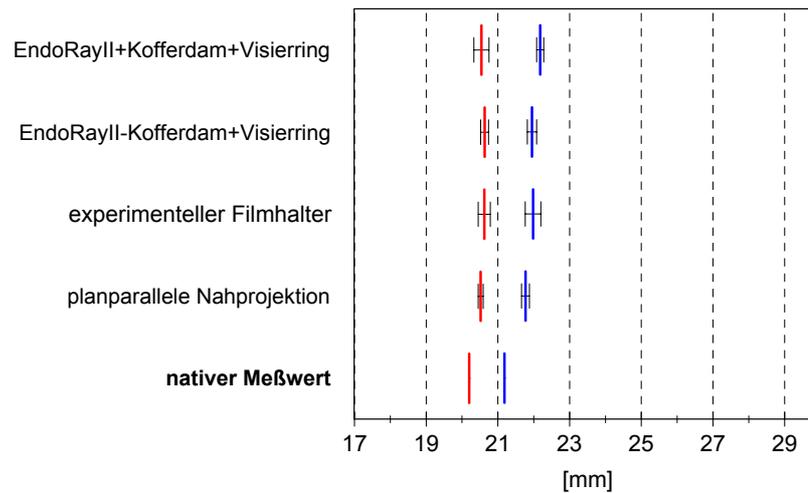
c.

Abb. 98: Graphische Darstellung der Meßergebnisse aller Versuchsreihen für den mesio-bukkalen Wurzelkanal des Zahnes 16 (a = palatinale Ansicht auf den Zahn 16, b = graphische Darstellung der Zahnprojektionen auf dem Zahnfilm, c = graphische Darstellung der Zahnprojektionen mit dem Digora-Verfahren, rot = Arbeitslänge, blau = Zahnlänge).

Auch für den disto-bukkalen Wurzelkanal des Zahnes 16 gelten die gleichen Beobachtungen wie bisher, wobei mit der Versuchsreihe "EndoRay II + Kofferdam + Visierring" auf dem Zahnfilm die größte Differenz zwischen der Zahn- und Arbeitslänge gemessen wurde (Abb. 99). Im Rahmen der Arbeitslängenbestimmung nach der Formel 1 würde dies eine verkürzte Arbeitslänge zur Folge haben.

Zahn 16 bukko-distaler WK

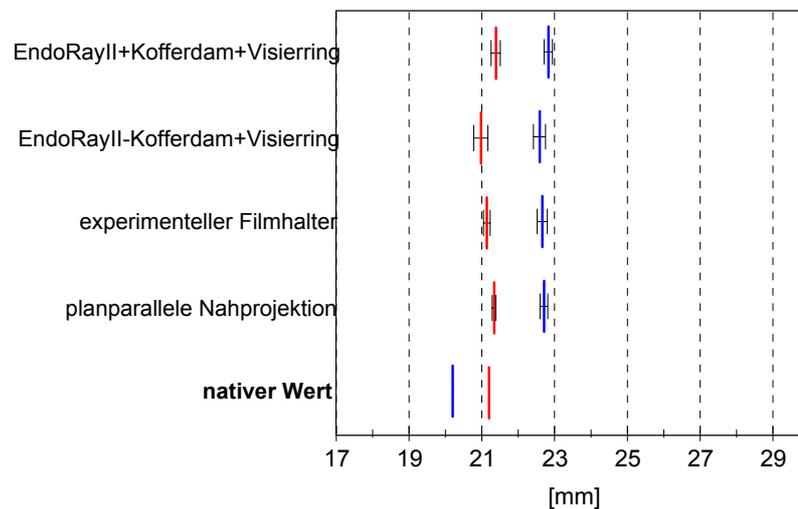
Zahnfilm



a.

Zahn 16 bukko-distaler WK

Digora



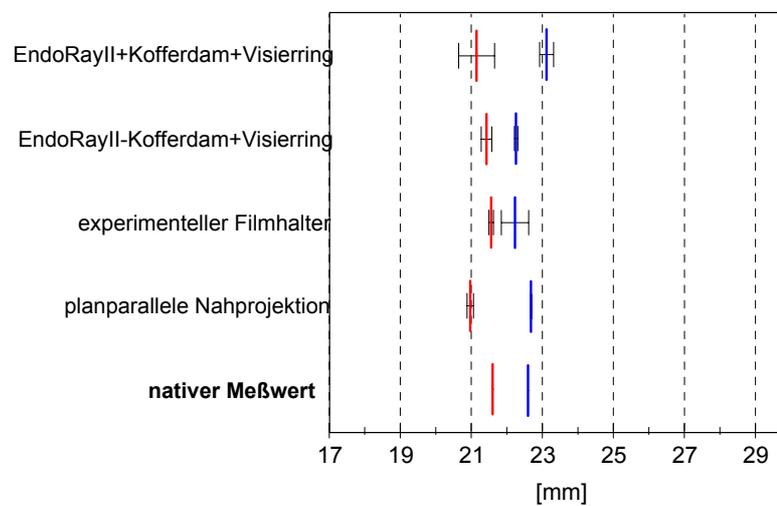
b.

Abb. 99: Graphische Darstellung der Meßergebnisse aller Meßreihen für den bukko-distalen Wurzelkanal des Zahnes 16 (a = graphische Darstellung der Zahnprojektionen auf dem Zahnfilm und b = graphische Darstellung der Zahnprojektionen mit dem Digora-Verfahren, rot = Arbeitslänge, blau = Zahnlänge).

Für die palatinale Wurzel des Zahnes 16 findet bei der Projektion auf Digora-Speicherplatten eine lineare Steigung der Meßergebnisse statt, wobei sowohl die Zahn- als auch die Arbeitslänge um den gleichen Betrag vergrößert dargestellt sind (Abb. 100).

Für die Projektionen auf dem Zahnfilm ist die Differenz zwischen der Zahn- und der Arbeitslänge bei der planparallelen Nahprojektion und der Versuchsreihe „EndoRay II + Kofferdam + Visierring“ recht groß.

a. **Zahn 16 palatinaler WK**
Zahnfilm



Zahn 16 palatinaler WK
Digora

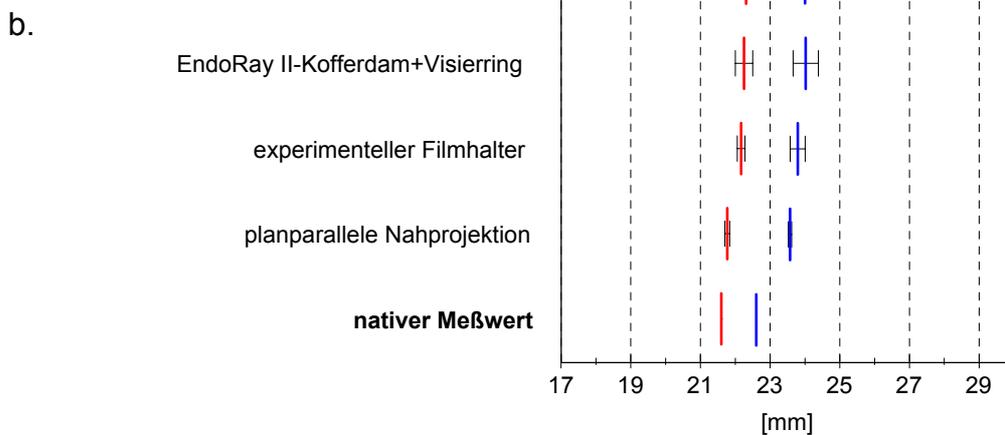


Abb. 100: Graphische Darstellung der Meßergebnisse aller Meßreihen für den palatinalen Wurzelkanal des Zahnes 16 (a = graphische Darstellung der Zahnprojektionen auf dem Zahnfilm und b = graphische Darstellung der Zahnprojektionen mit dem Digora-Verfahren, rot = Arbeitslänge, blau = Zahnlänge).

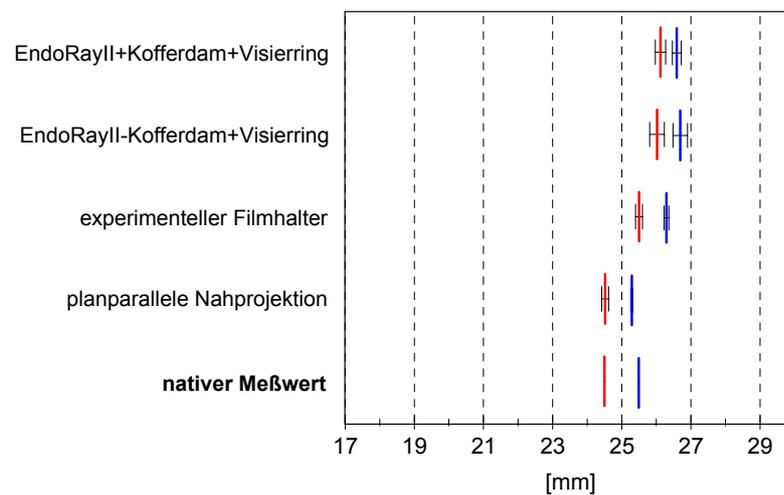
4.1.4 Zahn 41

Die Meßergebnisse aller am Zahn 41 durchgeführten Versuchsreihen zeigen die gleiche Tendenz wie die Meßergebnisse des Zahnes 21. Auch hier hat erstaunlicherweise das Nichteinsetzen des Kofferdam-Instrumentariums einen negativen Einfluß auf die Meßergebnisse, begründet durch das Auftreten vergrößerter Zahnprojektionen. Weiterhin findet unter Einsatz des experimentellen Filmhalters eine geringere Vergrößerung des Zahnes statt als bei der Anwendung des EndoRay II-Filmhalters sowohl bei herkömmlichen als auch bei digitalen Meßaufnahmen (Abb. 101).



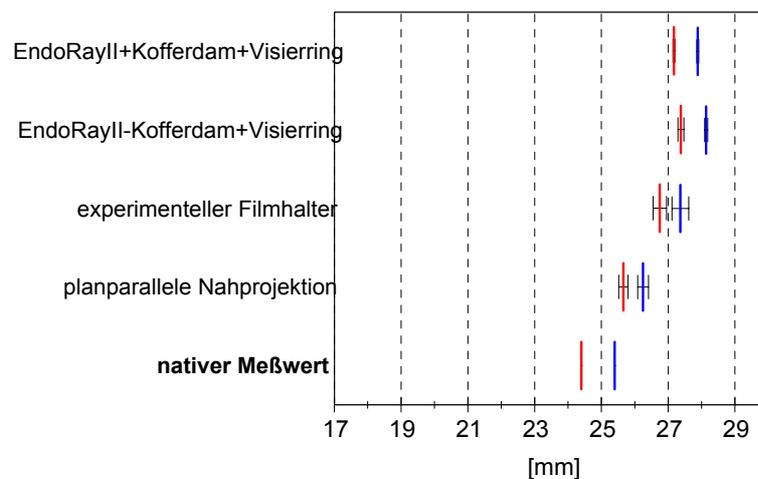
a.

Zahn 41 Zahnfilm



b.

Zahn 41 Digora



c.

Abb. 101: Graphische Darstellung der Meßergebnisse aller Meßreihen für den Zahn 41 (a = vestibuläre Ansicht des Zahnes 41, b = Zahnprojektionen auf dem Zahnfilm und c = Zahnprojektionen mit dem Digora-Verfahren, rot = Arbeitslänge, blau = Zahnlänge).

4.1.5 Zahn 45

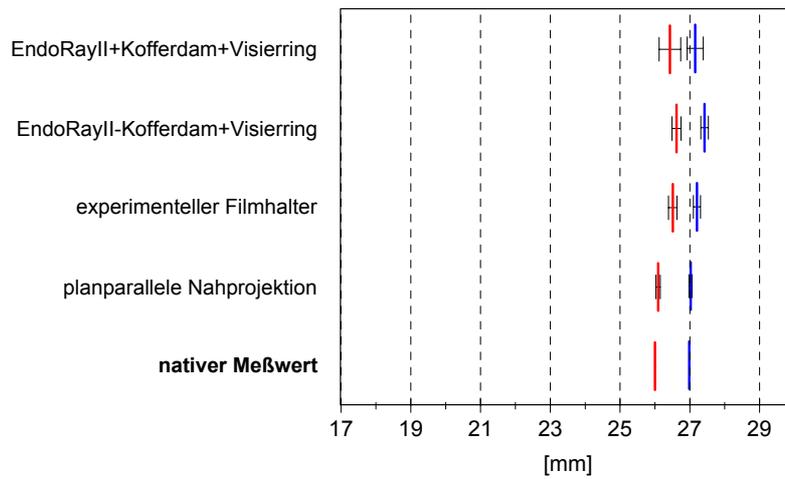
Auch für den Zahn 45 konnten aus den graphischen Darstellungen der Meßergebnisse die gleichen Rückschlüsse gezogen werden wie für die Zähne 41 und 21 (Abb. 102).



a.

Zahn 45

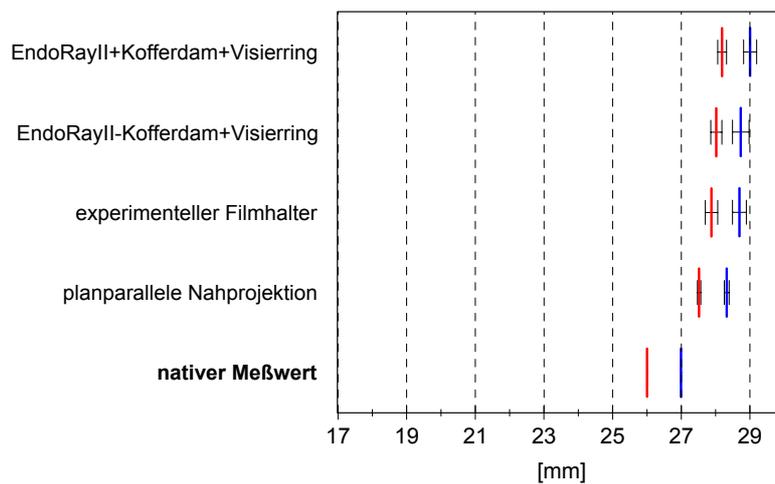
Zahnfilm



b.

Zahn 45

Digora



c.

Abb. 102: Graphische Darstellung der Meßergebnisse aller Meßreihen für den Zahn 45 (a = vestibuläre Ansicht auf den Zahn 45, b = Zahnprojektionen auf dem Zahnfilm und c = Zahnprojektionen mit dem Digora-Verfahren, rot = Arbeitslänge, blau = Zahnlänge).

4.1.6 Zahn 47

Wie schon in der in-vitro Studie erwähnt, sind für den Zahn 47 zwei Versuchsanordnungen hinzugekommen, da die mesial-exzentrische Positionierung des experimentellen Filmhalters an diesem Zahn nicht möglich war. Wie schon am Zahn 16 erfolgt auch am Zahn 47 die Auswertung der Meßergebnisse für jeden einzelnen Wurzelkanal.

Für den mesio-bukkalen Wurzelkanal stellen sich die Meßergebnisse mit kleinen Ausnahmen in einem linearen Zusammenhang dar. Es fällt auf, daß die nicht klinisch relevanten Versuchsanordnungen, die entweder ohne Einsatz des Kofferdams oder des Visierringes stattgefunden haben, bei Projektionen auf dem Zahnfilm zu großen Differenzen zwischen der Zahn- und der Arbeitslänge führen.

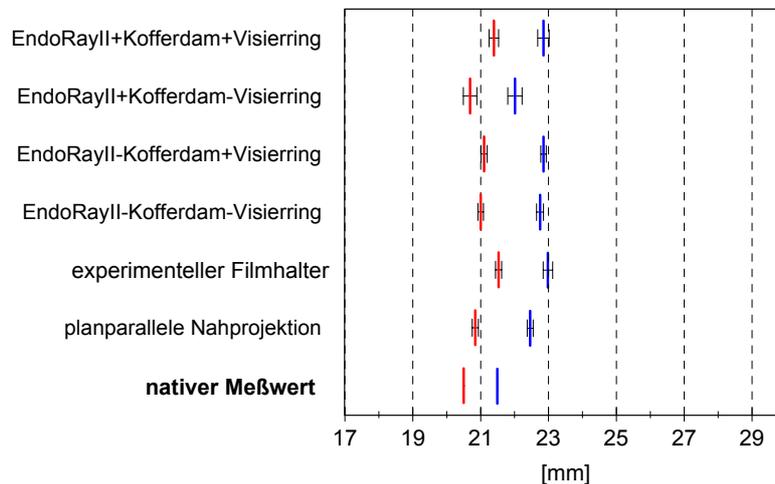
Bei der Auswertung der Meßergebnisse für den experimentellen Filmhalter fällt eine im Vergleich zum EndoRay II Filmhalter starke Zahnvergrößerung auf (Abb. 103).



a.

Zahn 47 mesio-bukkaler WK

Zahnfilm



b.

Zahn 47 mesio-bukkaler WK

Digora

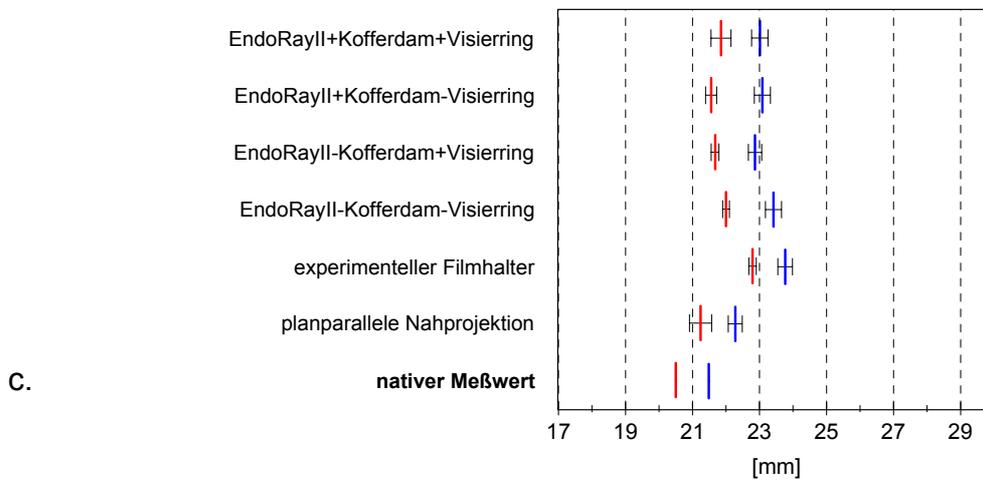
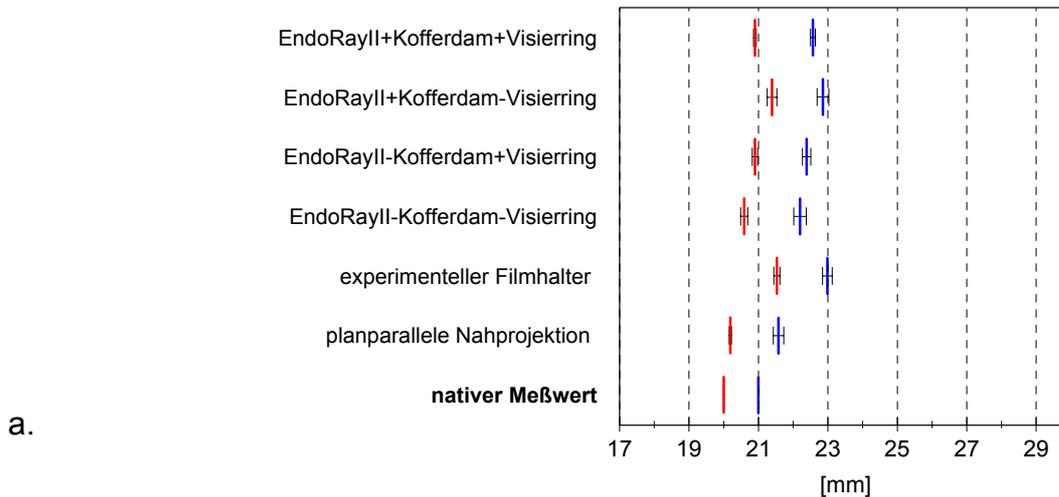


Abb. 103: Graphische Darstellung der Meßergebnisse aller Meßreihen für den mesio-bukkalen Wurzelkanal des Zahnes 47 (a = vestibuläre Ansicht auf den Zahn 47, b = Zahnprojektionen auf dem Zahnfilm und c = Zahnprojektionen mit dem Digora-Verfahren, rot = Arbeitslänge, blau = Zahnlänge).

Die Auswertung der Meßergebnisse für den mesio-lingualen Wurzelkanal des Zahnes 47 führt zu denselben Beobachtungen wie für den mesio-bukkalen Wurzelkanal (Abb. 104).

Zahn 47 mesio-lingualer WK

Zahnfilm



Zahn 47 mesio-lingualer WK

Digora

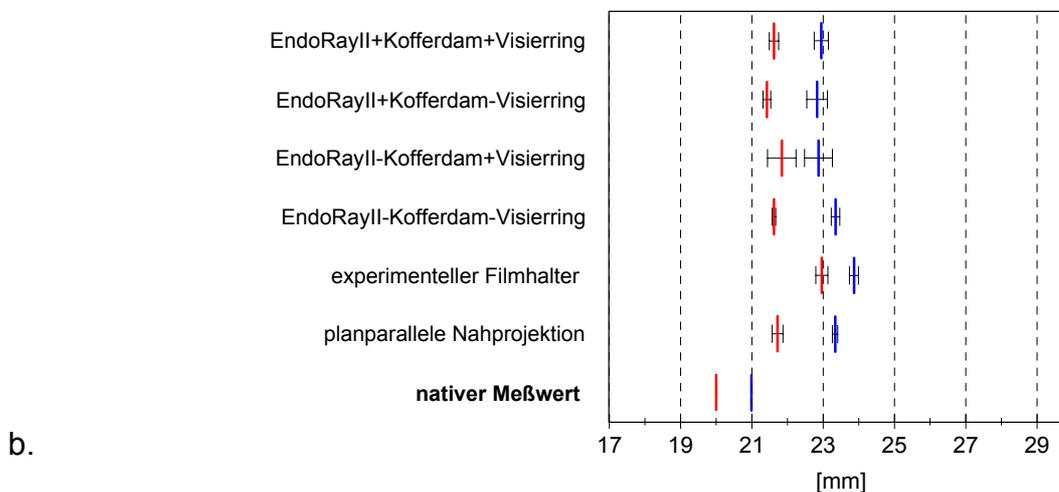


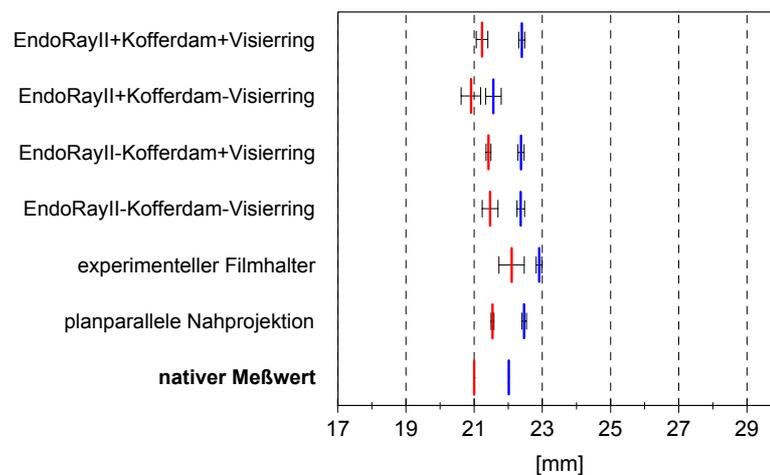
Abb. 104: Graphische Darstellung der Meßergebnisse aller Meßreihen für den mesio-lingualen Wurzelkanal des Zahnes 47 (a = Zahnprojektionen auf dem Zahnfilm und b = Zahnprojektionen mit dem Digora-Verfahren, rot = Arbeitslänge, blau = Zahnlänge).

Die Meßergebnisse für den disto-bukkalen Wurzelkanal des Zahnes 47 liegen nah beieinander. Offensichtlich führt auch bei diesem Wurzelkanal das Nichteinsetzen des Kofferdam-Instrumentariums zu einer leichten Vergrößerung der Zahnprojektion in Vergleich zur Versuchsanordnung „EndoRay II + Kofferdam + Visierring“.

Beim Einsatz des experimentellen Filmhalters mit dem Zahnfilm bilden die gemessenen Werte ein vergleichsweise großes Konfidenzintervall, das jedoch immer noch kleiner als die Differenz zum nativen Meßwert ist (Abb. 105).

Zahn 47 disto-bukkaler WK

Zahnfilm



Zahn 47 disto-bukkaler WK

Digora

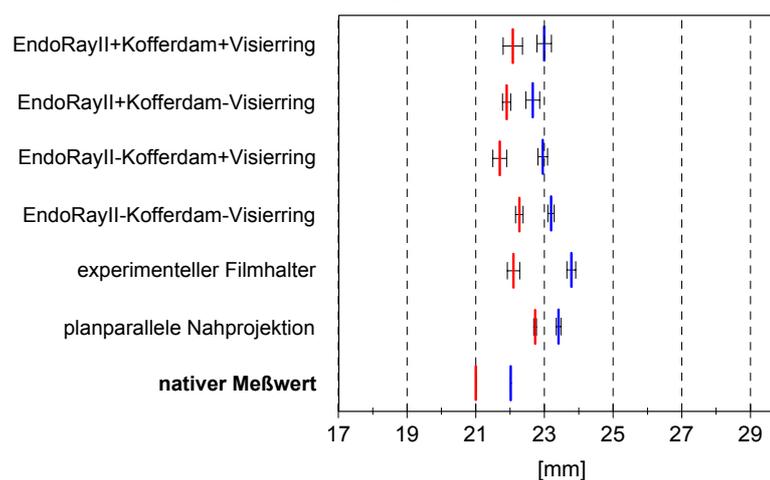
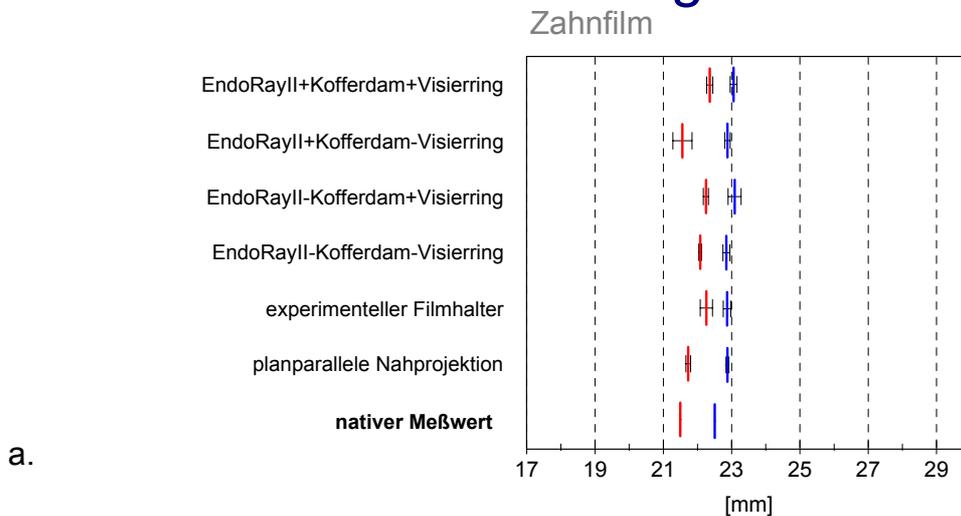


Abb. 105: Graphische Darstellung der Meßergebnisse aller Meßreihen für den disto-bukkalen Wurzelkanal des Zahnes 47 (a = Zahnprojektionen auf dem Zahnfilm und b = Zahnprojektionen mit dem Digora-Verfahren, rot = Arbeitslänge, blau = Zahnlänge).

Für den disto-lingualen Wurzelkanal des Zahnes 47 verlaufen die Meßergebnisse fast im gleichen linearen Zusammenhang wie bei den einwurzeligen Zähnen. Bei den Projektionen auf den Zahnfilm bildet die Versuchsreihe „EndoRay II + Kofferdam - Visierring“ den einzigen Ausreißer.

Bei Projektionen ohne Kofferdam und mit dem Digora-Verfahren ergeben sich auch hier sowohl starke Zahnvergrößerungen als auch große Konfidenzintervalle. Der Einsatz des experimentellen Filmhalters mit dem Digora-Verfahren hat eine geringere Vergrößerung als die ursprünglich kleinste planparallele Darstellung zur Folge (Abb. 106).

Zahn 47 disto-lingualer WK



Zahn 47 disto-lingualer WK

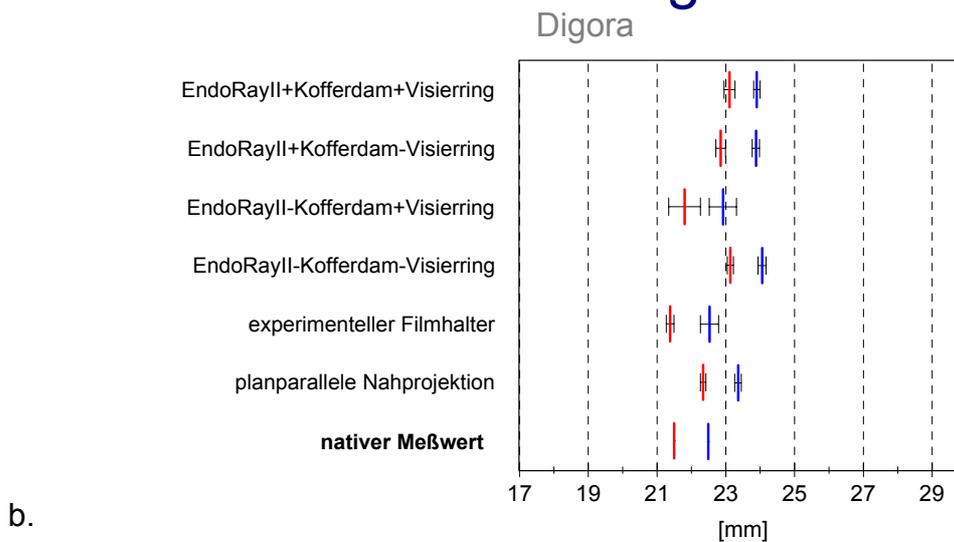


Abb. 106: Graphische Darstellung der Meßergebnisse aller Meßreihen für den disto-lingualen Wurzelkanal des Zahnes 47 (a = Zahnprojektionen auf dem Zahnfilm und b = Zahnprojektionen mit dem Digora-Verfahren, rot = Arbeitslänge, blau = Zahnlänge).

4.2 Regressionsanalyse der Meßergebnisse aller durchgeführten Versuchsanordnungen pro Zahn

In diesem zweiten Abschnitt erfolgt ähnlich wie im ersten Abschnitt die Darstellung der Meßergebnisse der Versuchsreihen für jeden einzelnen Zahn. Diesmal werden jedoch die gemessenen mittleren Zahn­längen (auf der x-Achse) gegen die Arbeits­längen (auf der y-Achse) der einzelnen Versuchsreihen aufgezeichnet. Auf diese Weise entstehen Streuungsdiagramme und die dazugehörige Trendlinie. Definitionsgemäß hat jede Trendlinie – auch Regressionsgerade genannt – einen möglichst kleinen vertikalen Abstand zu allen in dem Streuungsdiagramm dargestellten Punkten. Für die vorliegenden Daten ist eine lineare Trendlinie erstrebenswert.

Für jedes Diagramm wurden *zwei Geraden* gebildet: eine „*reale Regressionsgerade*“, die definitionsgemäß einen möglichst kleinen vertikalen Abstand zu allen in dem Streuungsdiagramm dargestellten Punkten hat, und eine „*ideale Regressionsgerade*“, definiert durch zwei in den Diagrammen dargestellten Punkte.

Für die *erste „reale Regressionsgerade“* wurden die Meßergebnisse der Versuchsreihen ausgesucht, bei denen die Projektion der Zähne mit Hilfe von Zahnfilmhaltern erfolgte. Sie ist rot gezeichnet. Für diese Gerade wurde ein *mittlerer Steigungsfaktor* errechnet, der unterhalb derselben angegeben ist.

Die *zweite „reale Regressionsgerade“* ist eigentlich keine Regressionsgerade, weil sie nur durch zwei Punkte verläuft: durch den nativen Meßwert und die planparallele Nahprojektion. Die reale Regressionsgerade hat einen *idealen Steigungsfaktor* sowohl für die Zahn- als auch für die Arbeitslänge. Dies ist begründet durch ihren Verlauf durch den wahren Meßwert der Zähne bzw. Arbeitslänge (= nativer Meßwert) und durch den Meßwert der idealen Zahnprojektion ohne Störfaktoren (= planparallele Nahprojektion). Die reale Regressionsgerade ist schwarz gezeichnet.

Die Gleichung beider Regressionsgeraden lautet:

$$y=a+bx$$

Formel 7: algebraische Gleichung einer Regressionsgerade

Hier bedeutet:

a = den Schnittpunkt der Regressionsgerade mit der x-Achse,

b = den Steigungskoeffizienten der Regressionsgerade.

Erstrebenswert sind möglich nah aneinander liegende Werte für die Steigung b der realen und der Steigung b^* der idealen Regressionsgerade eines einzelnen Zahnes, weil somit eine annähernd ideale Vergrößerung des Zahnes mit den verschiedenen Projektionsanordnungen und Zahnfilmhaltern stattfindet. Der Wert a ist für die Beurteilung der Ergebnisse nicht wichtig.

Zusätzlich zu der Regressionsgeradengleichung wird in den Diagrammen das Bestimmtheitsmaß r^2 der einzelnen Regressionsgeraden angegeben. Das Bestimmtheitsmaß r^2 vergleicht die tatsächlichen Meßwerte, die in den Diagrammen durch verschiedene Symbole dargestellt sind, mit den berechneten Werten der realen bzw. idealen Regressionsgerade. R^2 kann somit einen Wert zwischen 0 und 1 annehmen. Nimmt es den Wert 1 an, besteht zwischen dem errechneten und dem tatsächlichen Wert eine vollkommen Korrelation, d.h. die Werte stimmen überein. Nimmt es dagegen den Wert 0 an, ist die Regressionsgerade nicht geeignet, einen Wert vorauszusagen. Für die ideale Regressionsgerade beträgt $r^2 = 1$, da die errechneten und die tatsächlichen Werte übereinstimmen.

In den Diagrammen sind die Regressionsgeraden und das Bestimmtheitsmaß angegeben: die ideale Regressionsgerade hat die Formel $y = ax + b$ und das Bestimmtheitsmaß r^2 , die reale Regressionsgerade hat die Formel $y^* = a^*x^* + b^*$ und das Bestimmtheitsmaß r^{*2} . Ebenfalls unterhalb der Diagramme sind die x - und die y -Werte der Meßreihen in einer Tabelle zusammengefaßt.

Bei fast allen Wurzelkanälen verlaufen die Regressionsgeraden durch die meisten in den Diagrammen dargestellten Punkte. D.h., daß für diese Ergebnisse ein deutlicher linearer Zusammenhang besteht.

Für alle Diagramme und Tabellen werden folgende Abkürzungen verwendet:

K = Kofferdamrahmen,

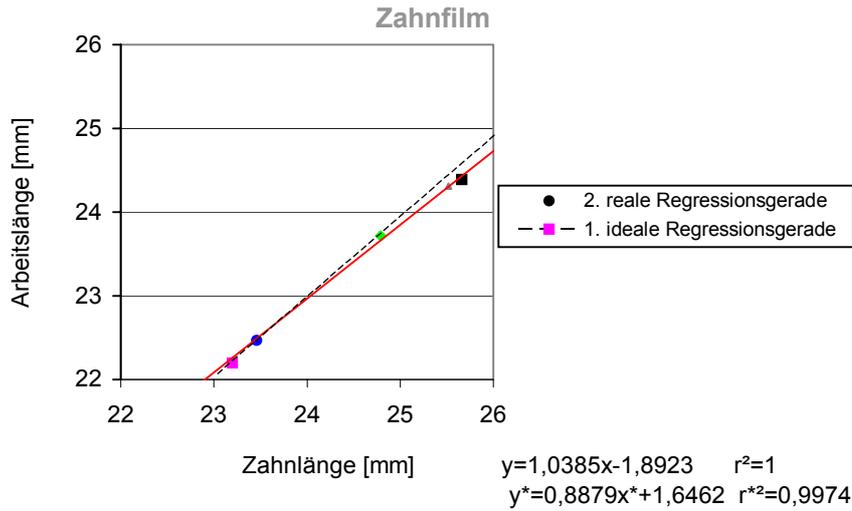
V = Visierring,

mm = Millimeter,

WK = Wurzelkanal.

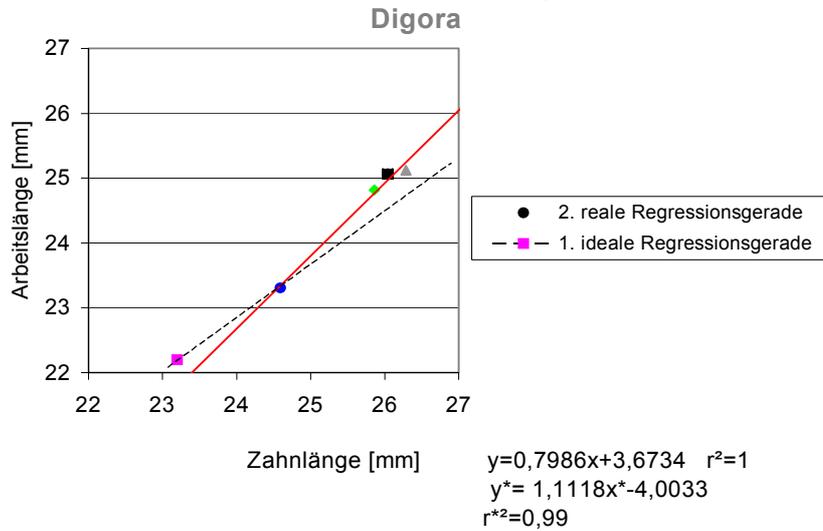
exp. Filmhalter = experimenteller Filmhalter,

Zahn 21-Versuchsreihen pro Zahn



Zahn 21 Zahnfilm	nativer Meßwert	planparallele Nahprojektion	EndoRay II -K+V	EndoRay II +K+V	exp. Filmhal- ter
	■	■	▲	■	◆
Zahnlänge	23,2	23,48	25,52	25,66	24,79
Arbeitslänge	22,2	22,47	24,31	24,39	23,72

Zahn 21-Versuchsreihen pro Zahn

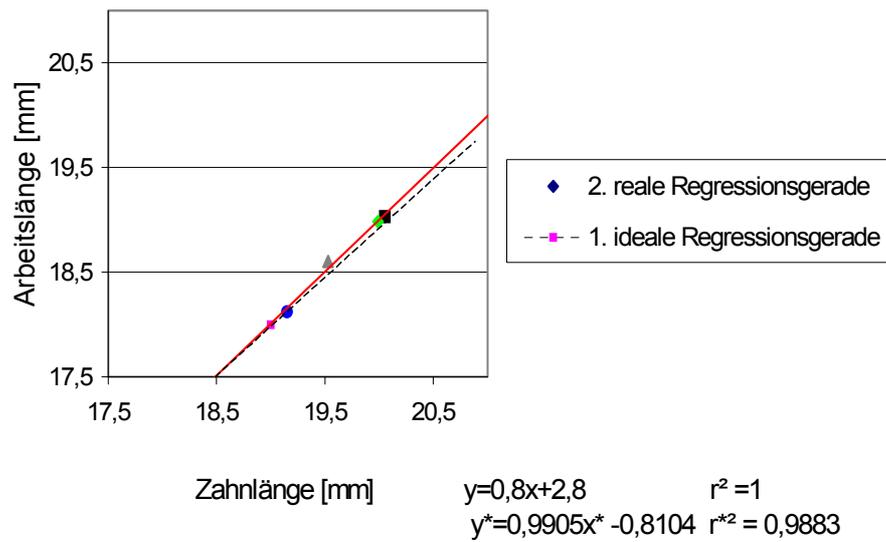


Zahn 21 Digora	nativer Meßwert	planparallele Nahprojektion	EndoRay II -K+V	EndoRay II +K+V	exp. Filmhal- ter
	■	■	▲	■	◆
Zahnlänge	23,2	24,59	26,29	26,1	25,86
Arbeitslänge	22,2	23,31	25,12	25,07	24,82

Abb. 107: Darstellung der Meßergebnisse aller Versuchsanordnungen für den Zahn 21, oben für die Meßaufnahmen auf dem Zahnfilm, unten für die Meßaufnahmen mit dem Digora-Verfahren [mm].

Zahn 24-Versuchsreihen pro Zahn

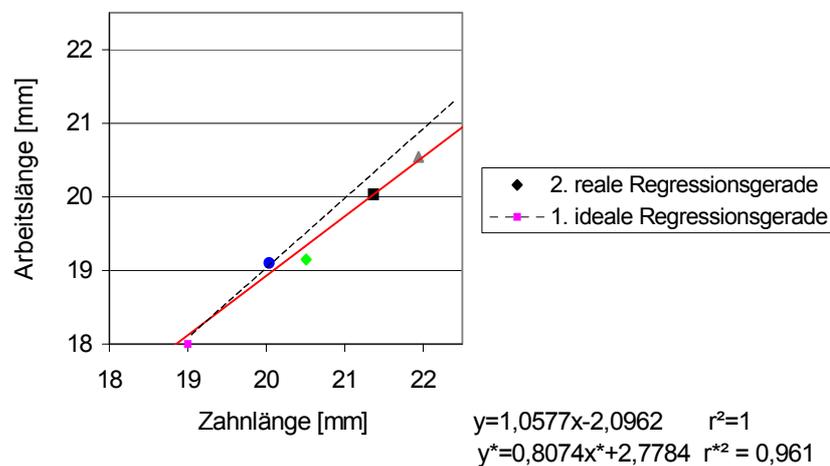
Zahnfilm



Zahn 24 Zahnfilm	nativer Meßwert	planparallele Nahprojektion	EndoRay II -K+V	EndoRay II +K+V	exp. Filmhal- ter
	■	■	▲	■	◆
Zahnlänge	19	19,15	19,53	20,05	19,99
Arbeitslänge	18	18,12	18,6	19,03	18,98

Zahn 24-Versuchsreihen pro Zahn

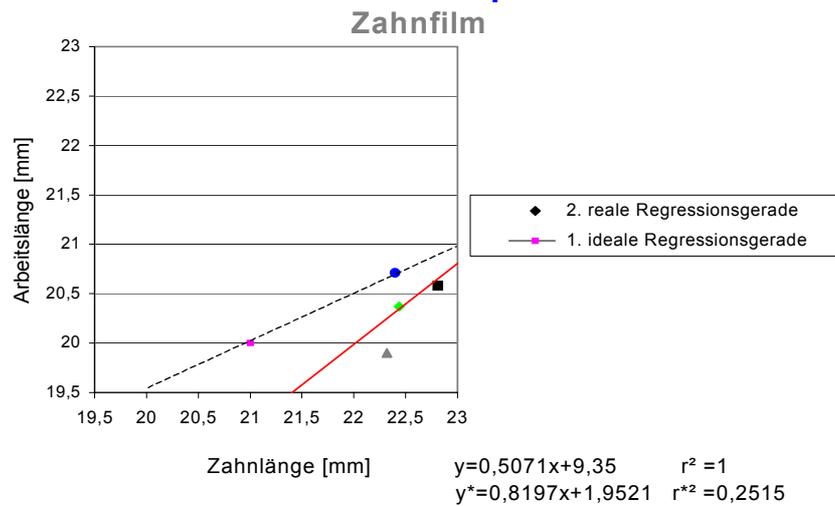
Digora



Zahn 24 Digora	nativer Meßwert	planparallele Nahprojektion	EndoRay II -K+V	EndoRay II +K+V	exp. Filmhal- ter
	■	■	▲	■	◆
Zahnlänge	19	20,04	21,94	21,37	20,51
Arbeitslänge	18	19,1	20,54	20,03	19,15

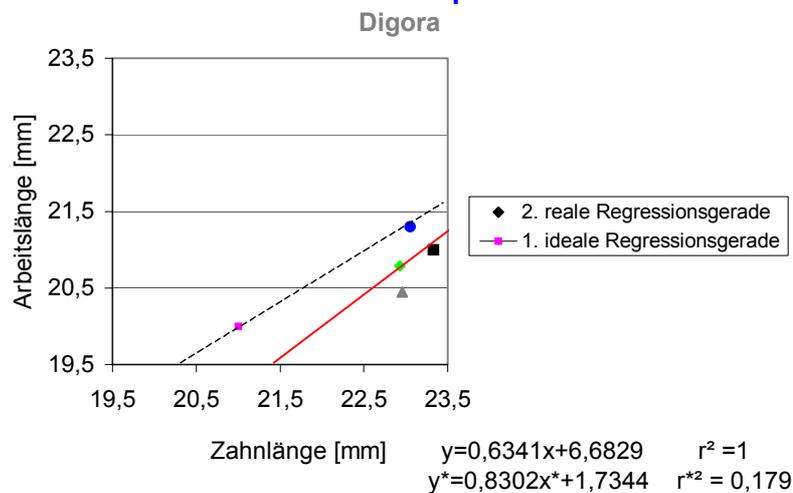
Abb. 108: Darstellung der Meßergebnisse aller Versuchsanordnungen für den Zahn 24, oben für die Meßaufnahmen auf dem Zahnfilm, unten für die Meßaufnahmen mit dem Digora-Verfahren [mm].

Zahn 16 mesio-bukkaler WK Versuchsreihen pro Zahn



Zahn 16 m-b WK Zahnfilm	nativer Meßwert	planparallele Nahprojektion	EndoRay II -K+V	EndoRay II +K+V	exp. Filmhal- ter
	■	■	▲	■	◆
Zahnlänge	21	22,4	22,32	22,81	22,44
Arbeitslänge	20	20,71	19,9	20,58	20,37

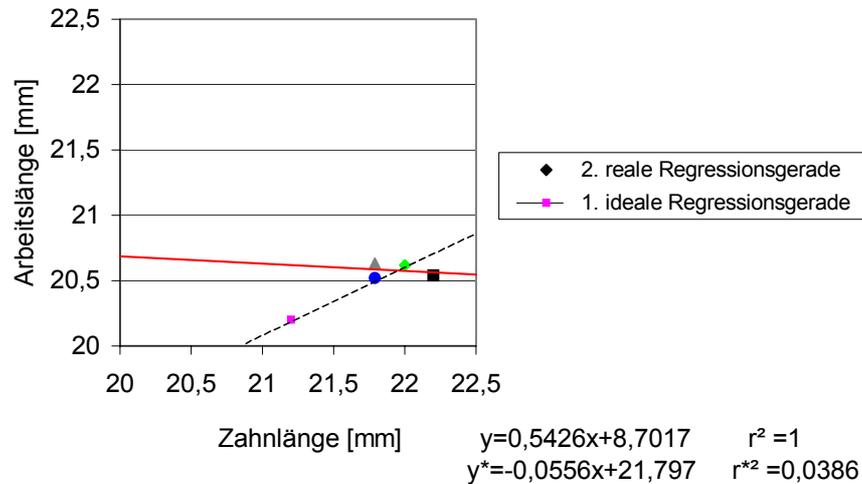
Zahn 16 mesio-bukkaler WK Versuchsreihen pro Zahn



Zahn 16 m-b WK Digora	nativer Meßwert	planparallele Nahprojektion	EndoRay II -K+V	EndoRay II +K+V	exp. Filmhal- ter
	■	■	▲	■	◆
Zahnlänge	21	23,05	22,96	23,33	22,93
Arbeitslänge	20	21,3	20,45	21	20,79

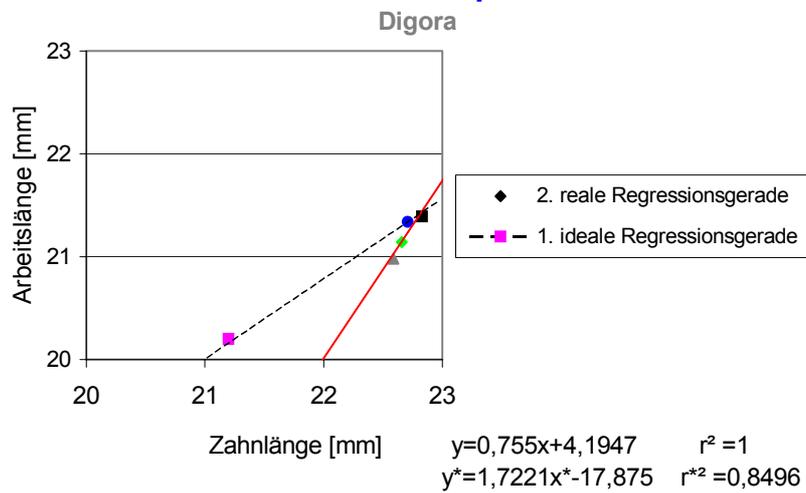
Abb. 109: Darstellung der Meßergebnisse aller Versuchsanordnungen für den mesio-bukkalen Wurzelkanal des Zahnes 16, oben für die Meßaufnahmen auf dem Zahnfilm, unten für die Meßaufnahmen mit dem Digora-Verfahren [mm].

Zahn 16 bucco-distaler WK Versuchsreihen pro Zahn Zahnfilm



Zahn 16 b-d WK Zahnfilm	nativer Meßwert	planparallele Nahprojektion	EndoRay II -K+V	EndoRay II +K+V	exp. Filmhal- ter
	■	■	▲	■	◆
Zahnlänge	21,2	21,79	21,79	22,2	22
Arbeitslänge	20,2	20,52	20,63	20,54	20,62

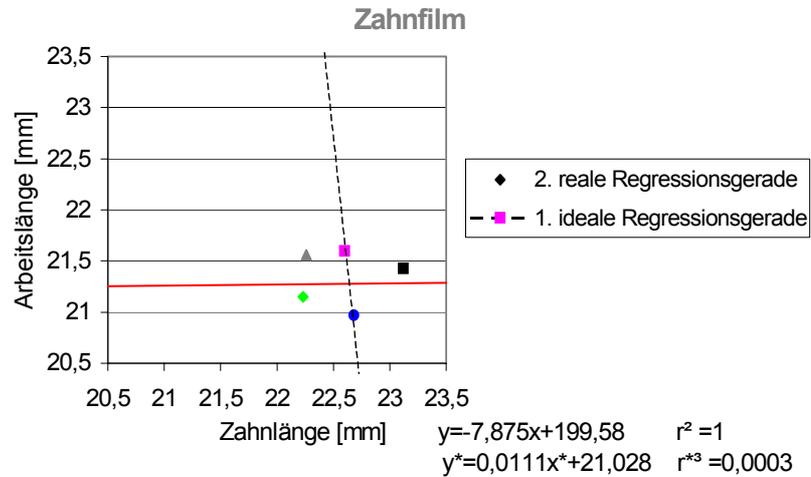
Zahn 16 bucco-distaler WK Versuchsreihen pro Zahn Digora



Zahn 16 b-d WK Digora	nativer Meßwert	planparallele Nahprojektion	EndoRay II -K+V	EndoRay II +K+V	Exp. Filmhal- ter
		■	▲	■	◆
Zahnlänge	21,2	22,71	22,59	22,84	22,66
Arbeitslänge	20,2	21,34	20,98	21,39	21,14

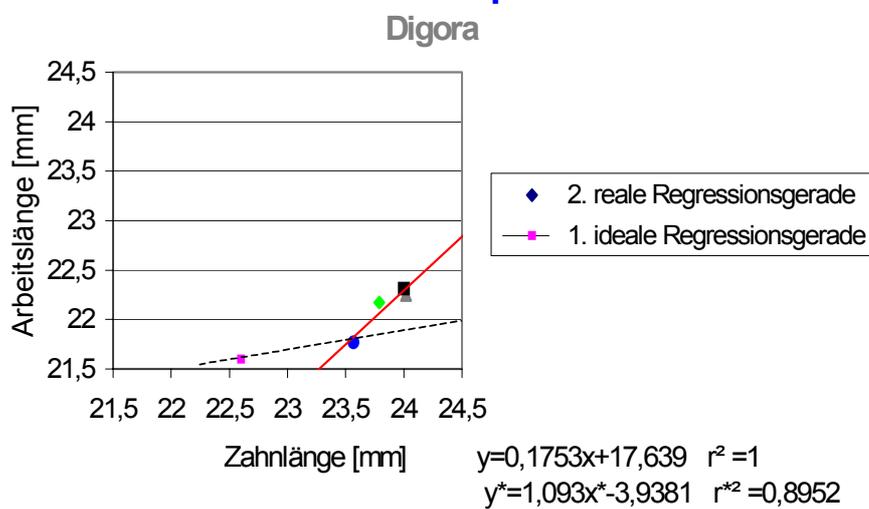
Abb. 110: Darstellung der Meßergebnisse aller Versuchsanordnungen für den bucco-distalen Wurzelkanal des Zahnes 16, oben für die Meßaufnahmen auf dem Zahnfilm, unten für die Meßaufnahmen mit dem Digora-Verfahren [mm].

Zahn 16 palatinaler WK Versuchsreihen pro Zahn



Zahn 16 p WK Zahnfilm	nativer Meßwert	planparallele Nahprojektion	EndoRay II -K+V	EndoRay II +K+V	exp. Filmhal- ter
	■	■	▲	■	◆
Zahnlänge	21,6	22,68	22,26	23,12	22,23
Arbeitslänge	20,6	20,97	21,56	21,43	21,15

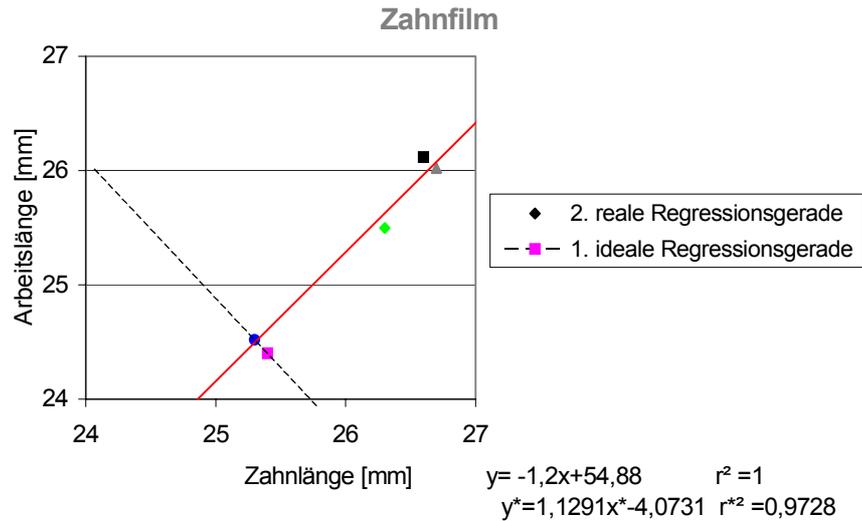
Zahn 16 palatinaler WK Versuchsreihen pro Zahn



Zahn 16 p WK Digora	nativer Meßwert	planparallele Nahprojektion	EndoRay II -K+V	EndoRay II +K+V	exp. Filmhal- ter
	■	■	▲	■	◆
Zahnlänge	22,6	23,57	24,02	24	23,79
Arbeitslänge	21,6	21,77	22,25	22,31	22,17

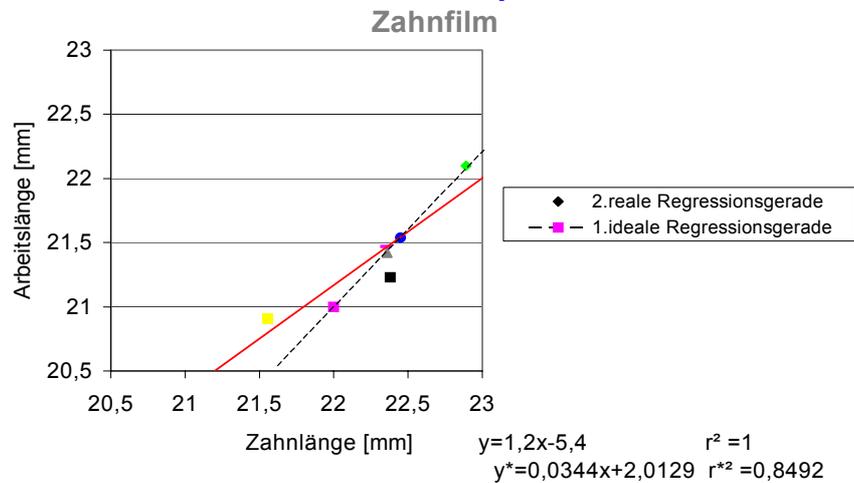
Abb. 111: Darstellung der Meßergebnisse aller Versuchsanordnungen für den palatinalen Wurzelkanal des Zahnes 16, oben für die Meßaufnahmen auf dem Zahnfilm, unten für die Meßaufnahmen mit dem Digora-Verfahren [mm].

Zahn 41-Versuchsreihen pro Zahn



Zahn 41 Zahnfilm	nativer Meßwert	planparallele Nahprojektion	EndoRay II -K+V	EndoRay II +K+V	exp. Filmhal- ter
	■	■	▲	■	◆
Zahnlänge	25,4	25,3	26,7	26,6	26,3
Arbeitslänge	24,4	24,52	26,02	26,12	25,5

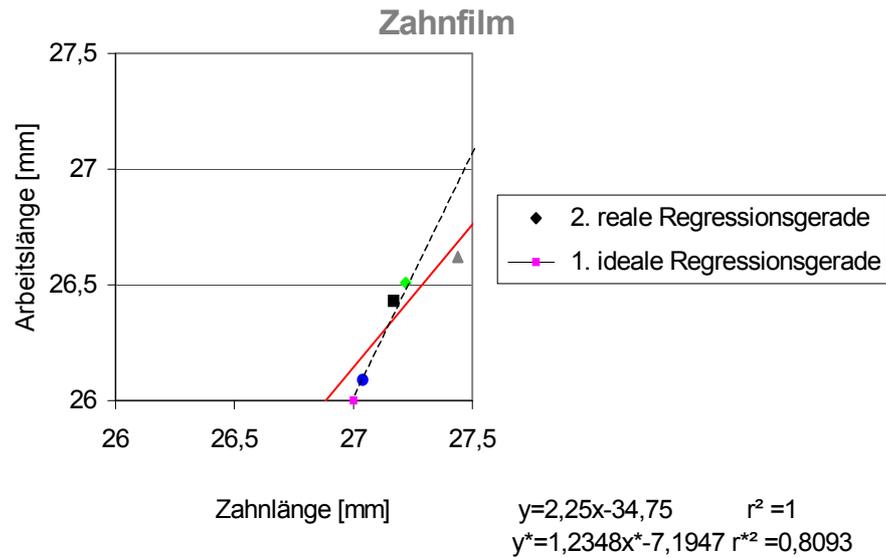
Zahn 47 disto-bukkaler WK Versuchsreihen pro Zahn



Zahn 41 Digora	nativer Meßwert	planparallele Nahprojektion	EndoRay II -K+V	EndoRay II +K+V	exp. Filmhal- ter
	■	■	▲	■	◆
Zahnlänge	25,4	26,25	28,14	27,89	27,37
Arbeitslänge	24,4	25,66	27,38	27,17	26,75

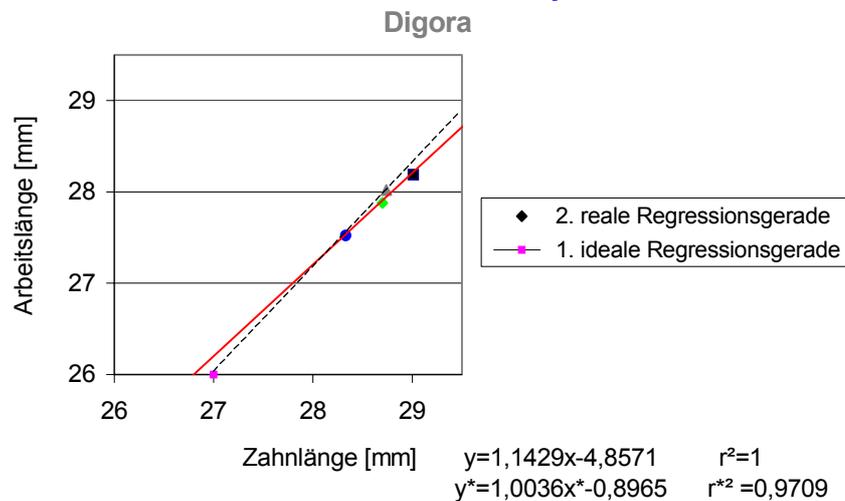
Abb. 112: Darstellung der Meßergebnisse aller Versuchsanordnungen für den Zahn 41, oben für die Meßaufnahmen auf dem Zahnfilm, unten für die Meßaufnahmen mit dem Digora-Verfahren [mm].

Zahn 45-Versuchsreihen pro Zahn



Zahn 45 Zahnfilm	nativer Meßwert	planparallele Nahprojektion	EndoRay II -K+V	EndoRay II +K+V	exp. Filmhalter
	■	■	▲	■	◆
Zahnlänge	27	27,04	27,44	27,17	27,22
Arbeitslänge	26	26,09	26,62	26,43	26,51

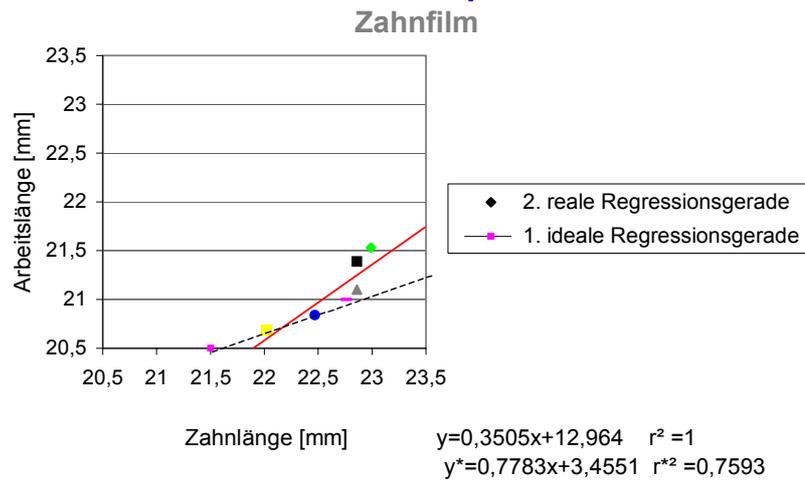
Zahn 45-Versuchsreihen pro Zahn



Zahn 45 Digora	nativer Meßwert	planparallele Nahprojektion	EndoRay II -K+V	EndoRay II +K+V	exp. Filmhalter
	■	■	▲	■	◆
Zahnlänge	27	28,33	28,74	29,01	28,7
Arbeitslänge	26	27,52	28,02	28,19	27,88

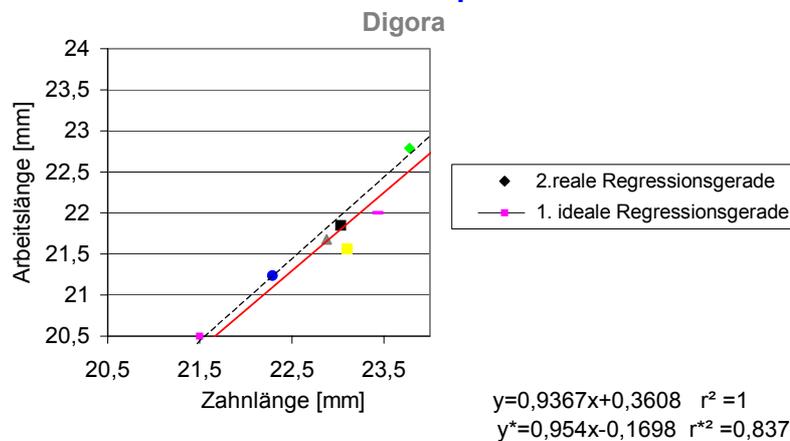
Abb. 113: Darstellung der Meßergebnisse aller Versuchsanordnungen für den Zahn 45, oben für die Meßaufnahmen auf dem Zahnfilm, unten für die Meßaufnahmen mit dem Digora-Verfahren [mm].

Zahn 47 mesio-bukkaler WK Versuchsreihe pro Zahn



Zahn 47 m-b WK ZF	nativer Meßwert	planp. Nahprojektion	Endo Ray II -K+V	Endo Ray II +K+V	Endo Ray II -K-V	Endo Ray II +K-V	exp. Filmhalter
	■	■	▲	■	—	■	◆
Zahnlänge	21,5	22,47	22,86	22,86	22,76	22,02	22,99
Arbeitslänge	20,5	20,84	21,1	21,39	21	20,69	21,53

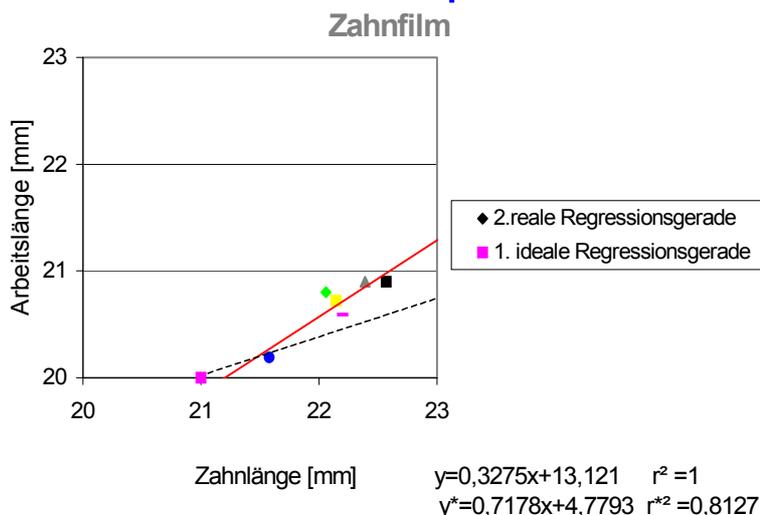
Zahn 47 mesio-bukkaler WK Versuchsreihen pro Zahn



Zahn 47 m-b WK Digora	nativer Meßwert	planp. Nahprojektion	Endo Ray II -K+V	Endo Ray II +K+V	Endo Ray II -K-V	Endo Ray II +K-V	exp. Filmhalter
	■	■	▲	■	—	■	◆
Zahnlänge	21,5	22,29	22,88	23,03	23,43	23,1	23,78
Arbeitslänge	20,5	21,24	21,68	21,85	22	21,56	22,79

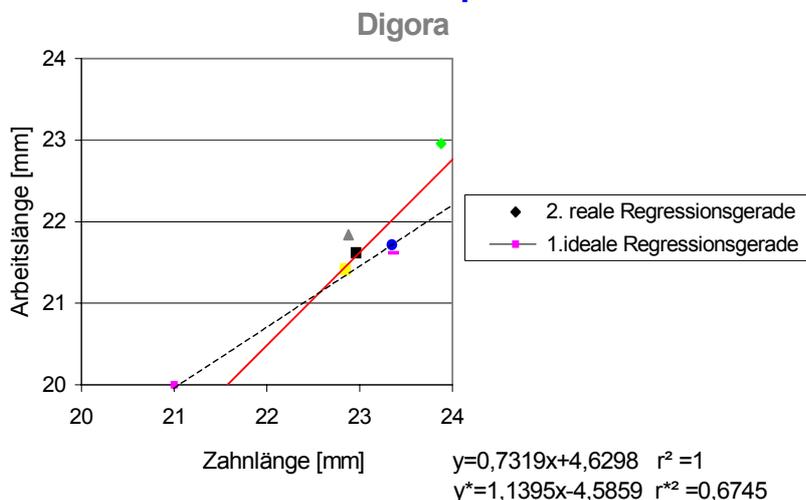
Abb. 114: Darstellung der Meßergebnisse aller Versuchsanordnungen für den mesio-bukkalen Wurzelkanal des Zahnes 47, oben für die Meßaufnahmen auf dem Zahnfilm, unten für die Meßaufnahmen mit dem Digora-Verfahren [mm].

Zahn 47 mesio-lingualer WK Versuchsreihen pro Zahn



Zahn 47 m-l WK Zahnfilm	nativer Meßwert	planp. Nahprojektion	Endo Ray II -K+V	Endo Ray II +K+V	Endo Ray II -K-V	Endo Ray II +K-V	exp. Filmhalter
Zahnlänge	21	21,58	22,39	22,57	22,2	22,14	22,06
Arbeitslänge	20	20,19	20,9	20,9	20,59	20,72	20,8

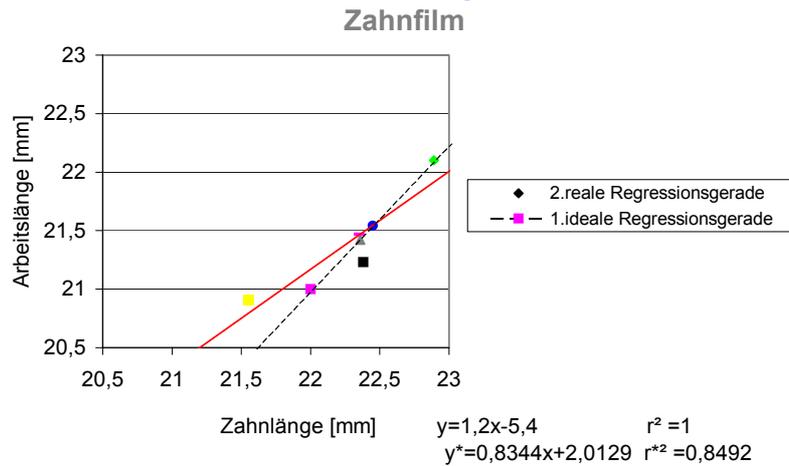
Zahn 47 mesio-lingualer WK Versuchsreihen pro Zahn



Zahn 47 m-l WK Digora	nativer Meßwert	planp. Nahprojektion	Endo Ray II -K+V	Endo Ray II +K+V	Endo Ray II -K-V	Endo Ray II +K-V	exp. Filmhalter
Zahnlänge	21	23,35	22,88	22,96	23,36	22,84	23,88
Arbeitslänge	20	21,72	21,84	21,62	21,62	21,42	22,96

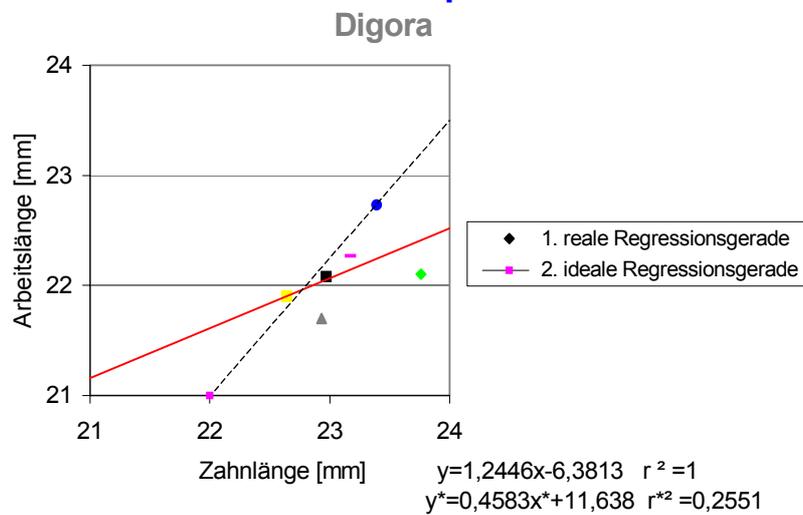
Abb. 115: Darstellung der Meßergebnisse aller Versuchsanordnungen für den mesio-lingualen Wurzelkanal des Zahnes 47, oben für die Meßaufnahmen auf dem Zahnfilm, unten für die Meßaufnahmen mit dem Digora-Verfahren [mm].

**Zahn 47 disto-bukkaler WK
Versuchsreihen pro Zahn**



Zahn 47 d-b WK Zahnfilm	nativer Meßwert	planp. Nahprojektion	Endo Ray II -K+V	Endo Ray II +K+V	Endo Ray II -K-V	Endo Ray II +K-V	exp. Filmhalter
	■	■	▲	■	-	■	◆
Zahnlänge	22	22,45	22,36	22,38	22,35	21,55	22,89
Arbeitslänge	21	21,54	21,42	21,23	21,47	20,91	22,1

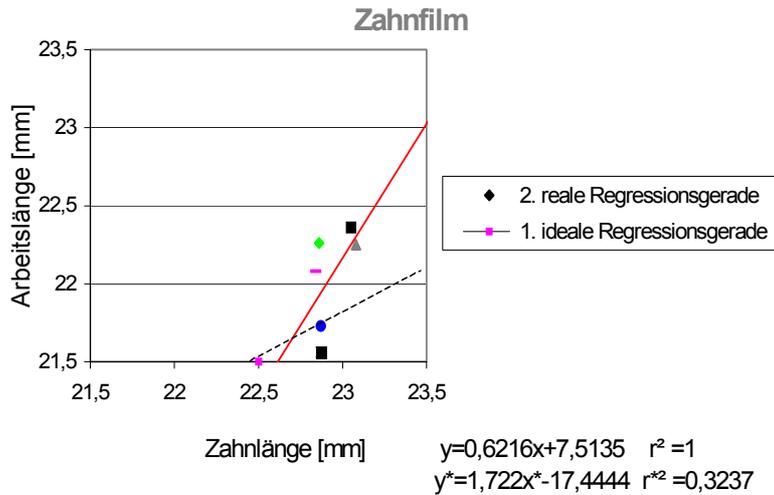
**Zahn 47 disto-bukkaler WK
Versuchsreihen pro Zahn**



Zahn 47 d-b WK Digora	nativer Meßwert	planp. Nahprojektion	Endo Ray II -K+V	Endo Ray II +K+V	Endo Ray II -K-V	Endo Ray II +K-V	exp. Filmhalter
	■	■	▲	■	-	■	◆
Zahnlänge	22	23,39	22,93	22,97	23,17	22,64	23,76
Arbeitslänge	21	22,73	21,7	22,08	22,27	21,9	22,1

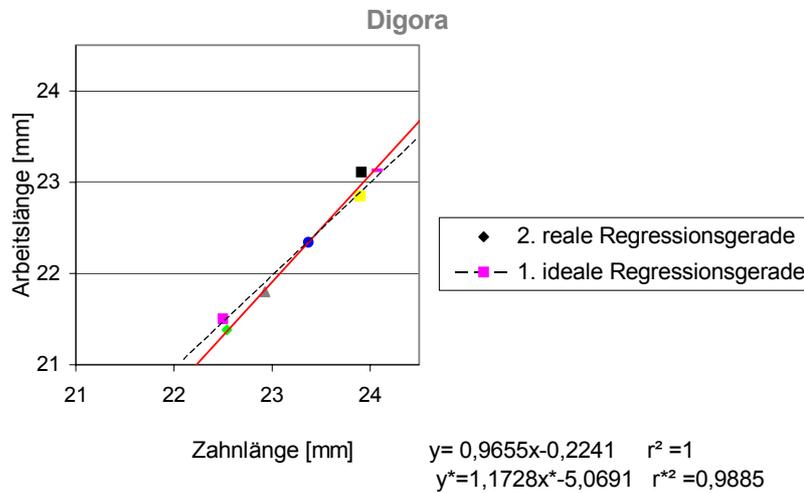
Abb.116: Darstellung der Meßergebnisse aller Versuchsanordnungen für den disto-bukkalen Wurzelkanal des Zahnes 47, oben für die Meßaufnahmen auf dem Zahnfilm, unten für die Meßaufnahmen mit dem Digora-Verfahren [mm].

Zahn 47 disto-lingualer WK
Versuchsreihen pro Zahn



Zahn 47 d-l WK Zahnfilm	nativer Meßwert	planp. Nahprojektion	Endo Ray II -K+V	Endo Ray II +K+V	Endo Ray II -K-V	Endo Ray II +K-V	exp. Filmhalter
	■	■	▲	■	-	■	◆
Zahnlänge	22,5	22,87	23,08	23,05	22,84	22,87	22,86
Arbeitslänge	21,5	21,73	22,25	22,36	22,08	21,56	22,26

Zahn 47 disto-lingualer WK
Versuchsreihen pro Zahn



Zahn 47 d-l WK Digora	nativer Meßwert	planp. Nahprojektion	Endo Ray II -K+V	Endo Ray II +K+V	Endo Ray II -K-V	Endo Ray II +K-V	exp. Filmhalter
	■	■	▲	■	-	■	◆
Zahnlänge	22,5	23,37	22,93	23,91	24,07	23,89	22,54
Arbeitslänge	21,5	22,34	21,8	23,11	23,13	22,85	21,38

Abb. 117: Darstellung der Meßergebnisse aller Versuchsanordnungen für den disto-lingualen Wurzelkanal des Zahnes 47, oben für die Meßaufnahmen auf dem Zahnfilm, unten für die Meßaufnahmen mit dem Digora-Verfahren [mm].

4.3 Regressionsanalyse der Meßergebnisse pro Versuchsreihe

Um eine Aussage über die Zusammenhänge der Meßergebnisse aller sechs untersuchten Zähne bzw. aller insgesamt 11 vorhandenen Wurzelkanäle treffen zu können, wurden die Meßdaten nicht nach Zähnen bzw. Wurzelkanälen ausgewertet, sondern nach einzelnen Versuchsanordnungen. Ähnlich wie im vorherigen Abschnitt entstanden auch hier Streudiagramme und die dazugehörigen Trendlinien.

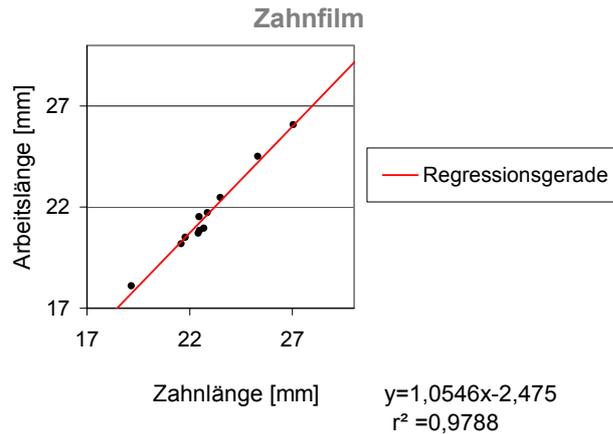
Die mittlere Zahnlänge (x-Achse) ist gegen die mittlere Arbeitslänge (y-Achse) dargestellt, wobei auch hier die Zahnprojektionen auf dem Zahnfilm und die Projektionen mit dem Digora-Verfahren getrennt ausgewertet werden. Unterhalb der Diagramme werden die dazugehörigen Regressionsgeraden $y = a + bx$, sowie das Bestimmtheitsmaß r^2 angegeben (Abb. 118-123).

Die in den Diagrammen abgebildeten Werte zeigen einen positiven linearen Zusammenhang, der durch die Regressionsgeraden bestätigt wird.

Es fällt auf, daß für die Versuchsanordnungen „planparallele Nahprojektion“, „EndoRay II – Kofferdam + Visierring“, „EndoRay II + Kofferdam + Visierring“ und „experimenteller Filmhalter“ die dargestellten Werte sehr nah an oder auf den Regressionsgeraden liegen. Dies wird zusätzlich durch das Bestimmtheitsmaß r^2 bestätigt, das für diese Diagramme einen Wert von mehr als 0,95 beträgt. Dies bedeutet, daß der gemeinsame errechnete Trend aller Versuchsanordnungen und der tatsächliche Wert sehr nah beieinander liegen.

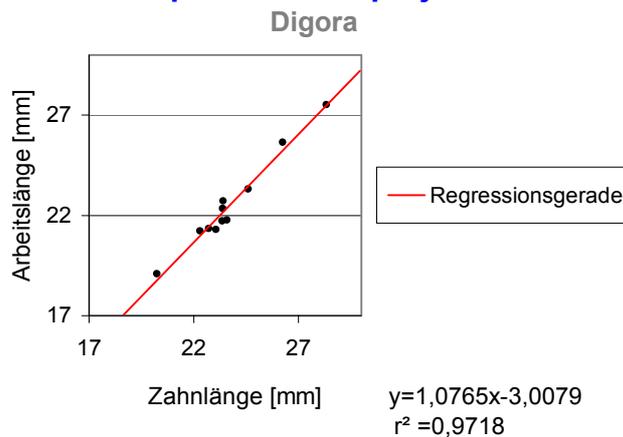
Die Versuchsanordnungen „EndoRay II + Kofferdam - Visierring“ und „EndoRay II - Kofferdam - Visierring“ werden als *klinisch nicht relevant* betrachtet, weil sie nicht dem Herstellerhinweis entsprechen. Für sie ist das Bestimmtheitsmaß auffällig gering, d. h. der gemeinsame Trend dieser Werte kann nicht so genau wie für die anderen *klinisch relevanten* Meßreihen vorausgesagt werden.

Planparallele Nahprojektion



Planparallele Nahprojektion Zahnfilm	Zahn 21	Zahn 24	Zahn 16 m-b WK	Zahn 16 b-d WK	Zahn 16 p WK	Zahn 41	Zahn 45	Zahn 47 m-b WK	Zahn 47 m-l WK	Zahn 47 d-b WK	Zahn 47 d-l WK
Zahnlänge	23,48	19,15	22,4	21,79	22,68	25,3	27,04	22,47	21,58	22,45	22,87
Arbeitslänge	22,47	18,12	20,71	20,52	20,97	24,52	26,09	20,84	20,19	21,54	21,73

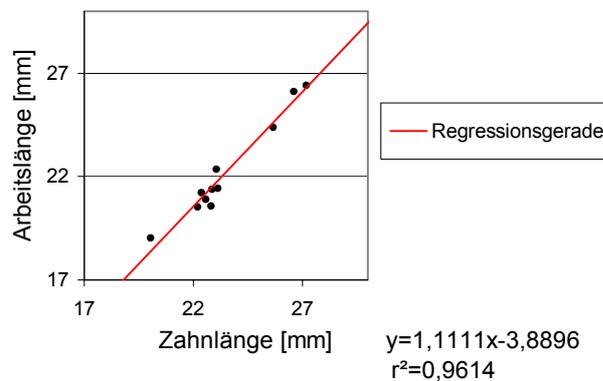
Planparallele Nahprojektion



Planparallele Nahprojektion Digora	Zahn 21	Zahn 24	Zahn 16 m-b WK	Zahn 16 b-d WK	Zahn 16 p WK	Zahn 41	Zahn 45	Zahn 47 m-b WK	Zahn 47 m-l WK	Zahn 47 d-b WK	Zahn 47 d-l WK
Zahnlänge	24,59	20,24	23,05	22,71	23,57	26,25	28,33	22,29	23,35	23,39	23,37
Arbeitslänge	23,31	19,1	21,3	21,34	21,77	25,66	27,52	21,24	21,72	22,73	22,34

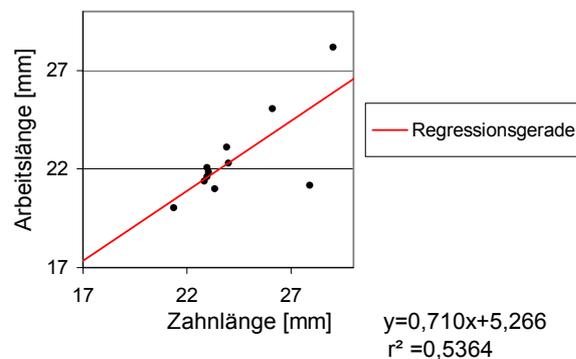
Abb. 118: Darstellung der errechneten mittleren Zahn- und Arbeitslänge aller Zähne bzw. aller 11 Wurzelkanäle für die Versuchsreihe „planparallele Nahprojektion“, oben für die herkömmlichen, unten für die digitalen Meßaufnahmen [mm].

EndoRay II mit Kofferdam mit Visierring
Zahnfilm



EndoRayII +K+V	Zahn 21	Zahn 24	Zahn 16	Zahn 16	Zahn 16	Zahn 41	Zahn 45	Zahn 47	Zahn 47	Zahn 47	Zahn 47
Zahnfilm			m-b WK	b-d WK	p WK			m-b WK	m-l WK	d-b WK	d-l WK
Zahnlänge	25,66	20,05	22,81	22,2	23,12	26,6	27,17	22,86	22,57	22,38	23,05
Arbeitslänge	24,39	19,03	20,58	20,54	21,43	26,12	26,43	21,39	20,9	21,23	22,36

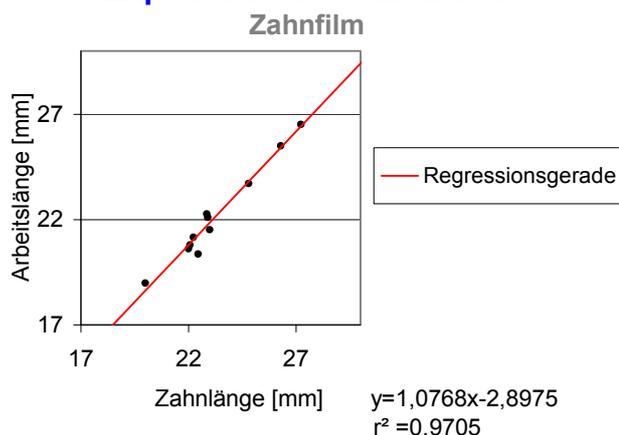
EndoRay II mit Kofferdam mit Visierring
Digora



EndoRayII +K+V	Zahn 21	Zahn 24	Zahn 16	Zahn 16	Zahn 16	Zahn 41	Zahn 45	Zahn 47	Zahn 47	Zahn 47	Zahn 47
Digora			m-b WK	b-d WK	p WK			m-b WK	m-l WK	d-b WK	d-l WK
Zahnlänge	26,1	21,37	23,33	22,83	24	27,89	29,01	23,03	22,96	22,97	23,91
Arbeitslänge	25,07	20,03	21	21,39	22,31	21,17	28,19	21,85	21,62	22,08	23,11

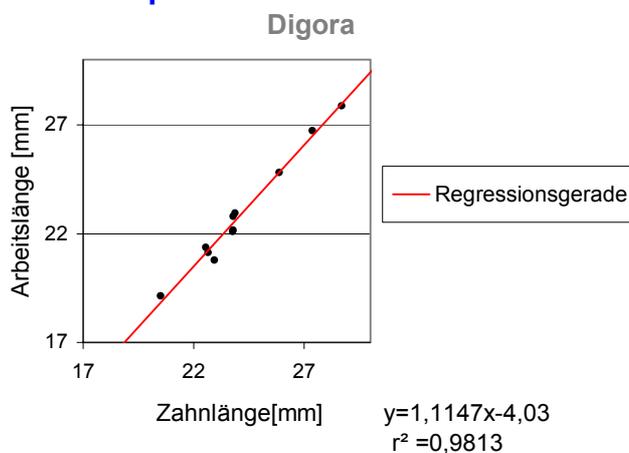
Abb. 119: Darstellung der errechneten mittleren Zahn- und Arbeitslänge aller Zähne bzw. aller 11 Wurzelkanäle für die Versuchsreihe „EndoRay II mit Kofferdam mit Visierring“, oben für die herkömmlichen, unten für die digitalen Meßaufnahmen [mm].

Experimenteller Filmhalter



exp. Filmhalter	Zahn 21	Zahn 24	Zahn 16	Zahn 16	Zahn 16	Zahn 41	Zahn 45	Zahn 47	Zahn 47	Zahn 47	Zahn 47
Zahnfilm			m-b WK	b-d WK	p WK			m-b WK	m-l WK	d-b WK	d-l WK
Zahnlänge	24,79	19,99	22,44	22	22,23	26,3	27,22	22,99	22,06	22,89	22,86
Arbeitslänge	23,72	18,98	20,37	20,62	21,15	25,5	26,51	21,53	20,8	22,1	22,26

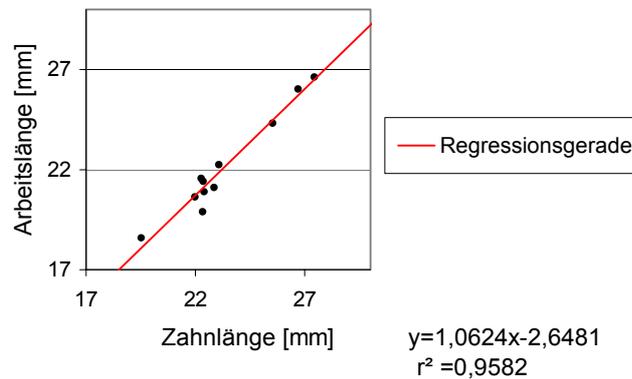
Experimenteller Filmhalter



exp. Filmhalter	Zahn 21	Zahn 24	Zahn 16	Zahn 16	Zahn 16	Zahn 41	Zahn 45	Zahn 47	Zahn 47	Zahn 47	Zahn 47
Digora			m-b WK	b-d WK	p WK			m-b WK	m-l WK	d-b WK	d-l WK
Zahnlänge	25,86	20,51	22,93	22,66	23,79	27,37	28,7	23,78	23,88	23,76	22,54
Arbeitslänge	24,82	19,15	20,79	21,14	22,17	26,75	27,88	22,79	22,96	22,1	21,38

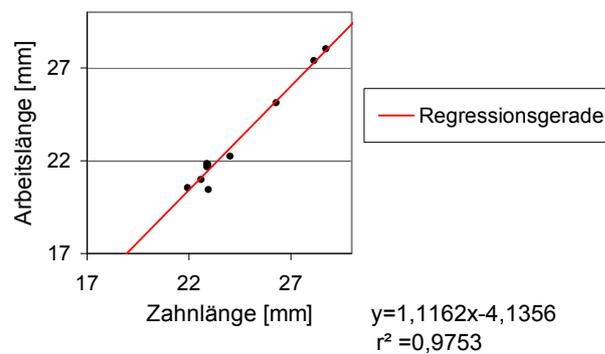
Abb. 120: Darstellung der mittleren Zahn- und Arbeitslänge aller Zähne bzw. 11 Wurzelkanäle für die Versuchsreihe „experimenteller Filmhalter“, oben für die herkömmlichen, unten für die digitalen Meßaufnahmen [mm].

EndoRay II ohne Kofferdam mit Visierring
Zahnfilm



EndoRayII -K+V	Zahn 21	Zahn 24	Zahn 16	Zahn 16	Zahn 16	Zahn 41	Zahn 45	Zahn 47	Zahn 47	Zahn 47	Zahn 47
Zahnfilm			m-b WK	b-d WK	p WK			m-b WK	m-l WK	d-b WK	d-l WK
Zahnlänge	25,52	19,53	22,32	21,97	22,26	26,7	27,44	22,86	22,39	22,36	23,08
Arbeitslänge	24,31	18,6	19,9	20,63	21,56	26,02	26,62	21,1	20,9	21,42	22,25

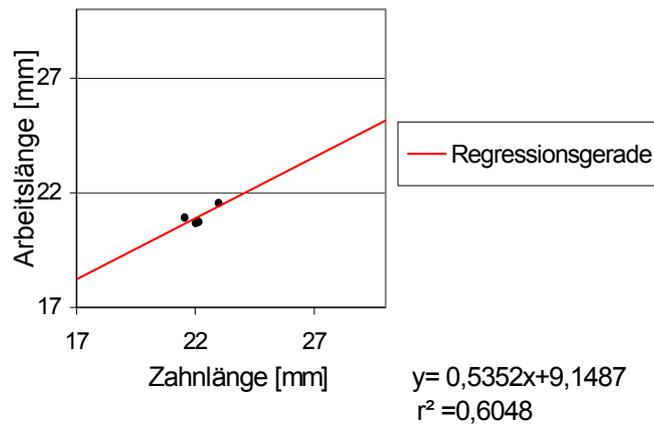
EndoRay II ohne Kofferdam mit Visierring
Digora



EndoRayII -K+V	Zahn 21	Zahn 24	Zahn 16	Zahn 16	Zahn 16	Zahn 41	Zahn 45	Zahn 47	Zahn 47	Zahn 47	Zahn 47
Digora			m-b WK	b-d WK	p WK			m-b WK	m-l WK	d-b WK	d-l WK
Zahnlänge	26,29	21,94	22,96	22,59	24,02	28,14	28,74	22,88	22,88	22,93	22,93
Arbeitslänge	25,12	20,54	20,45	20,98	22,25	27,38	28,02	21,68	21,84	21,7	21,8

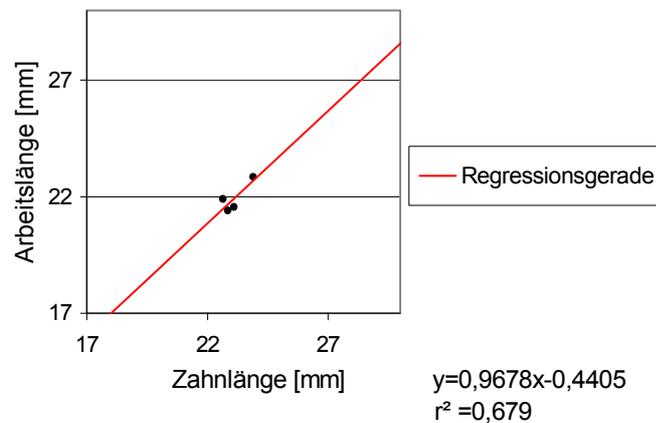
Abb. 121: Darstellung der errechneten mittleren Zahn- und Arbeitslänge aller Zähne bzw. aller 11 Wurzelkanäle für die Versuchsreihe „EndoRay II ohne Kofferdam mit Visierring“, oben für die herkömmlichen, unten für die digitalen Meßaufnahmen [mm].

EndoRay II mit Kofferdam ohne Visierring Zahnfilm



EndoRayII +K-V Zahnfilm	Zahn47 m-b WK	Zahn 47 m-l WK	Zahn 47 d-b WK	Zahn 47 d-l WK
Zahnlänge	22,02	22,14	21,55	22,97
Arbeitslänge	20,69	20,72	20,91	21,56

EndoRay II mit Kofferdam ohne Visierring Digora

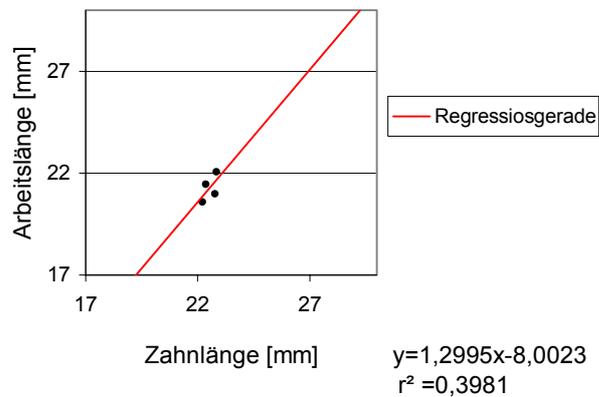


EndoRayII +K-V Digora	Zahn47 m-b WK	Zahn47 m-l WK	Zahn47 d-b WK	Zahn 47 d-l WK
Zahnlänge	23,1	22,84	22,64	23,89
Arbeitslänge	21,56	21,42	21,9	22,85

Abb. 122: Darstellung der errechneten mittleren Zahn- und Arbeitslänge aller Zähne bzw. 11 Wurzelkanäle für die Versuchsreihe „EndoRay II mit Kofferdam ohne Visierring“, oben für die herkömmlichen, unten für die digitalen Meßaufnahmen [mm].

**EndoRay II ohne Kofferdam
ohne Visiering**

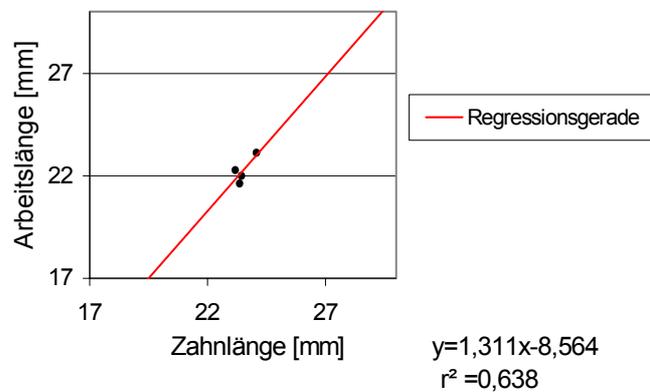
Zahnfilm



EndoRayII -K-V Zahnfilm	Zahn 47 m-b WK	Zahn 47 m-l WK	Zahn 47 d-b WK	Zahn 47 d-l WK
Zahnlänge	22,76	22,2	22,35	22,84
Arbeitslänge	21	20,59	21,47	22,08

**EndoRay II ohne Kofferdam
ohne Visiering**

Digora



EndoRayII -K-V Digora	Zahn 47 m-b WK	Zahn 47 m-l WK	Zahn 47 d-b WK	Zahn 47 d-l WK
Zahnlänge	23,43	23,36	23,17	24,07
Arbeitslänge	22	21,62	22,27	23,13

Abb. 123: Darstellung der errechneten mittleren Zahn- und Arbeitslänge aller Zähne bzw. 11 Wurzelkanäle für die Versuchsreihe „EndoRay II ohne Kofferdam ohne Visiering“, oben für die herkömmlichen, unten für die digitalen Messaufnahmen [mm].

4.4 Univariate Varianzanalyse

Im letzten Teil der statistischen Ergebnisauswertung wurde die Signifikanz aller Meßdaten anhand einer Varianzanalyse überprüft.

Die Varianzanalyse ermöglicht eine Aussage über die signifikante – übereinstimmende oder abweichende – Veränderung einer Zielvariablen während der verschiedenen Versuchsanordnungen. Für die Auswertung der Meßergebnisse kommen zwei Zielvariablen in Frage: Zahnlänge und Arbeitslänge.

Da die Auswertung der Mittelwerte paarweise erfolgte, spricht man von einem **Post-Hoc-Test**. Für alle Versuchsanordnungen wurden gruppenspezifische Mittelwerte und die dazugehörigen 95%-igen Konfidenzintervalle dargestellt und mit dem Tukey-Verfahren berechnet. *Die Bestimmung der Konfidenzintervalle der einzelnen Versuchsanordnungen erfolgte auf der Basis der Versuchsreihe „planparallele Nahprojektion“*, weil mit dieser Versuchsanordnung die geringste vergrößerte röntgenologische Darstellung der Zähne stattfand. So wurden die Ober- und Untergrenze der einzelnen Konfidenzintervalle als Differenz zwischen den Konfidenzgrenzen der planparallelen Nahprojektion und den Konfidenzwerten der einzelnen Versuchsreihen bestimmt. Die Nullgrenze ist durch den Mittelwert der Versuchsreihe „planparallele Nahprojektion“ definiert.

Als nicht signifikant abweichend vom Referenzwert gelten allgemein die Versuchsanordnungen, deren Konfidenzintervalle die Nullachse schneiden.

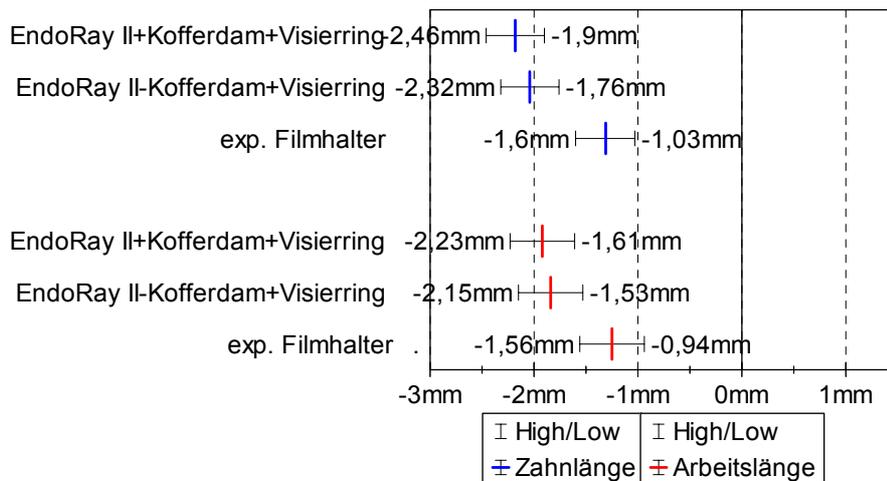
Die Darstellung der Konfidenzintervalle für die Zahn- und die Arbeitslänge erfolgt diesmal untereinander, da ihre Konfidenzintervalle meistens den gleichen Wert haben. Nichtsdestotrotz sollten sie zusammen ausgewertet werden. Nur in wenigen Ausnahmen weicht die Konfidenzaussage der Zahnlänge von der dazugehörigen Arbeitslänge ab (Abb. 124-133).

4.4.1 Zahn 21

Für den Zahn 21 sind alle dargestellten Konfidenzintervalle und die dazugehörigen Mittelwerte für die Zahn- und Arbeitslänge nach links verschoben und unterscheiden sich signifikant vom Referenzwert (Abb. 124).

Zahn 21

Zahnfilm



Zahn 21

Digora

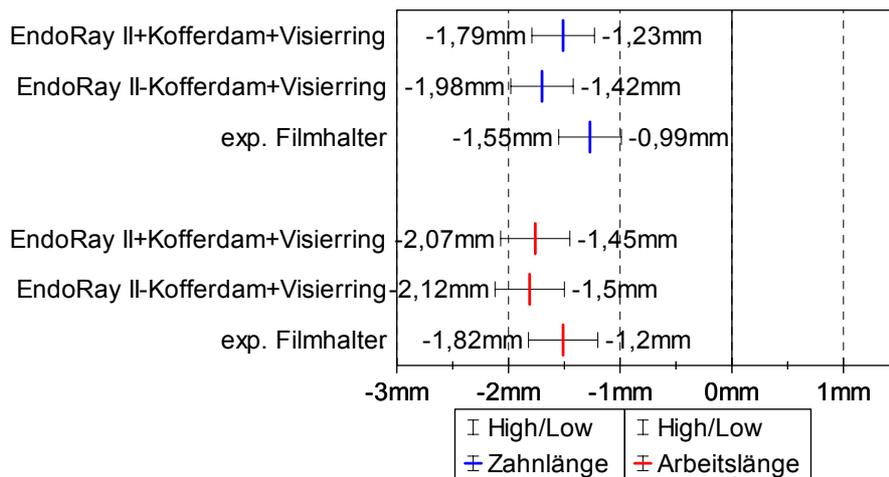


Abb. 124: Univariate Varianzanalyse für den Zahn 21, oben für Meßaufnahmen auf dem Zahnfilm, unten für die Meßaufnahmen mit dem Digora-Verfahren.

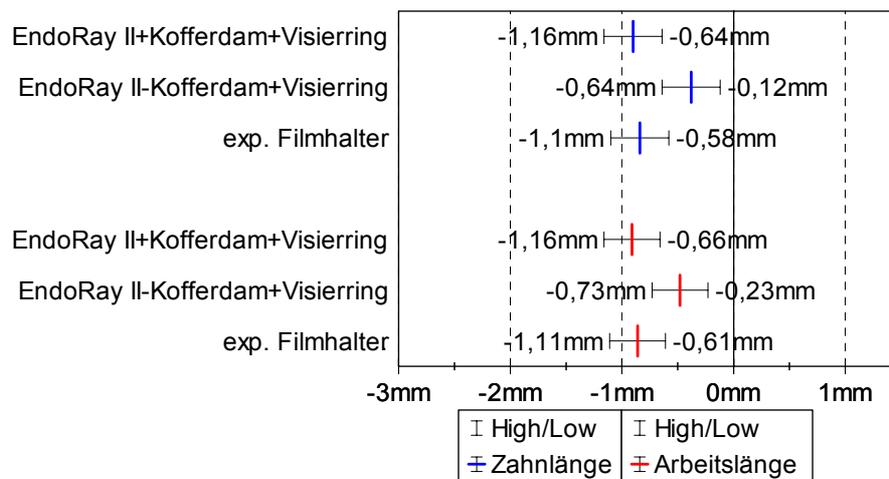
4.4.2 Zahn 24

Auch für den Zahn 24 findet eine Linksverschiebung der Konfidenzintervalle für die Zahn- und Arbeitslänge statt.

Für die Projektion des Zahnes 24 auf Digora-Speicherfolie sind die Meßergebnisse mit dem experimentellen Filmhalter die einzigen, die nicht signifikant vom Referenzwert abweichen (Abb. 125).

Zahn 24

Zahnfilm



Zahn 24

Digora

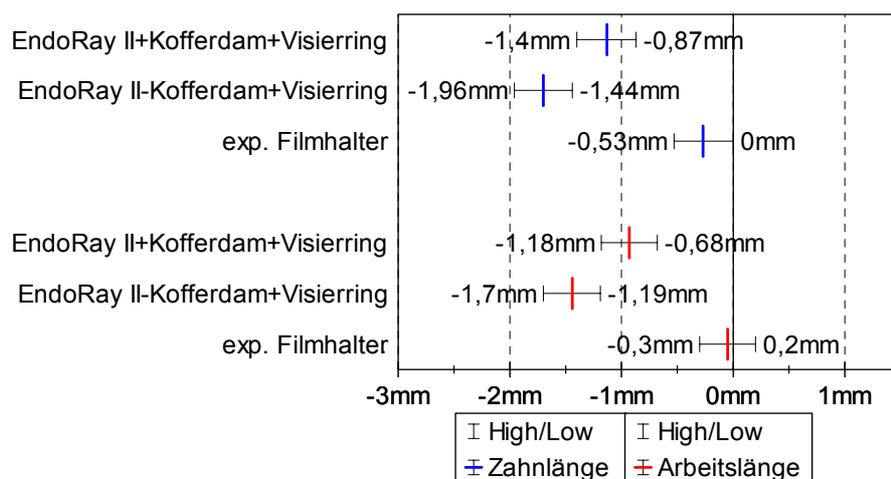


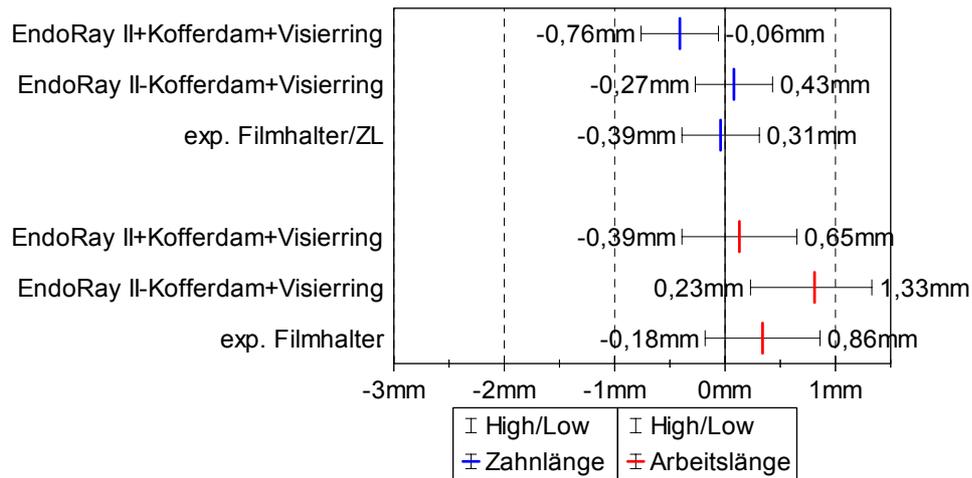
Abb. 125: Univariate Varianzanalyse für den Zahn 24, oben für Meßaufnahmen auf dem Zahnfilm, unten für die Meßaufnahmen mit dem Digora-Verfahren.

4.4.3 Zahn 16

Die Meßergebnisse des Zahnes 16 stimmen in den meisten Fällen mit dem Referenzwert signifikant überein. Ausnahmen bilden hier fast nur die Versuchsanordnungen, bei denen der Kofferdam keinen Einsatz fand (Abb. 126-128).

Zahn 16 mesio-bukkaler WK

Zahnfilm



Zahn 16 mesio-bukkaler WK

Digora

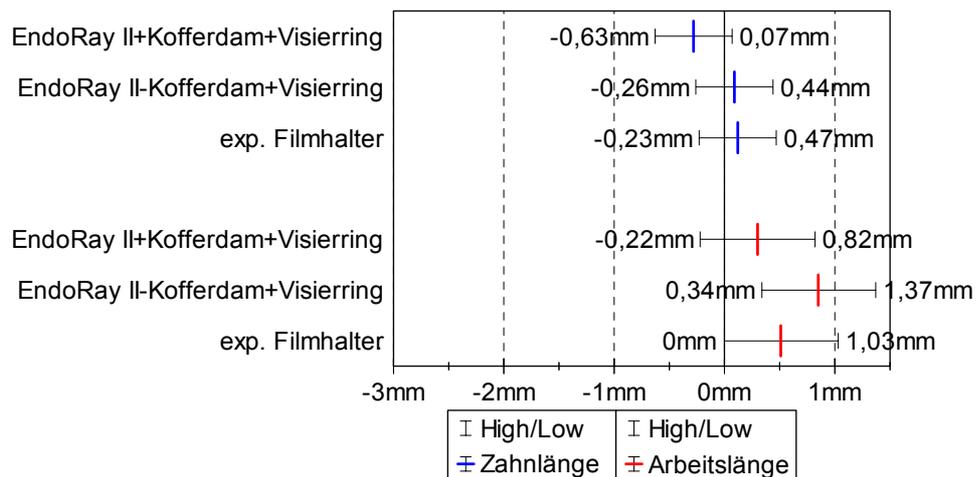
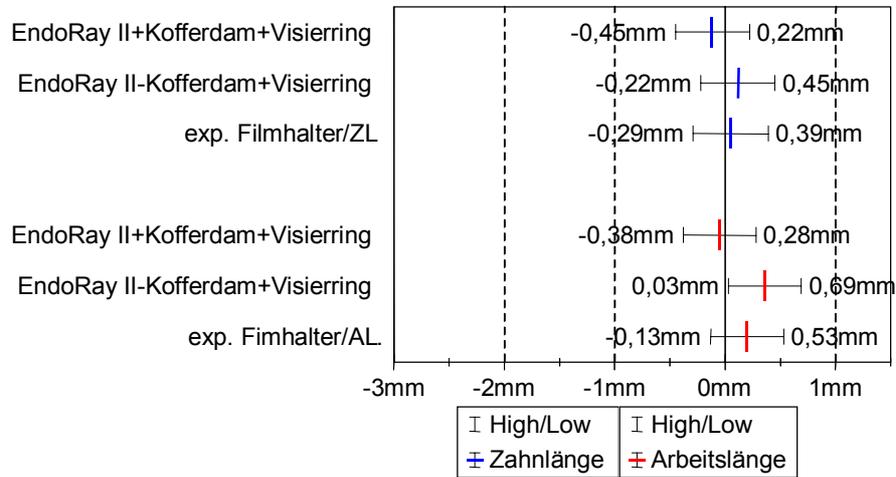


Abb. 126: Univariate Varianzanalyse für den mesio-bukkalen Wurzelkanal des Zahnes 16, oben für Meßaufnahmen auf dem Zahnfilm, unten für die Meßaufnahmen mit dem Digora-Verfahren.

Zahn 16 disto-bukaler WK

Zahnfilm



Zahn 16 disto-bukaler WK

Digora

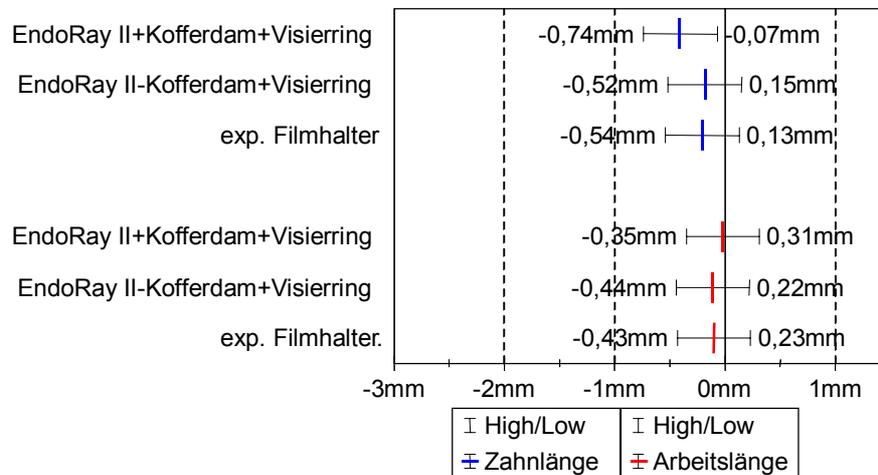
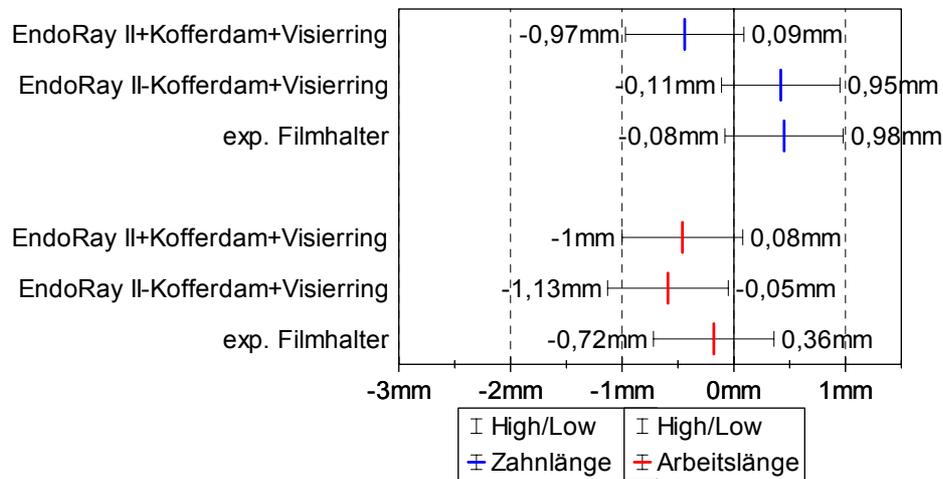


Abb. 127: Univariate Varianzanalyse für den bucco-distalen Wurzelkanal des Zahnes 16, oben für Meßaufnahmen auf dem Zahnfilm, unten für die Meßaufnahmen mit dem Digora-Verfahren.

Zahn 16 palatinaler WK

Zahnfilm



Zahn 16 palatinaler WK

Digora

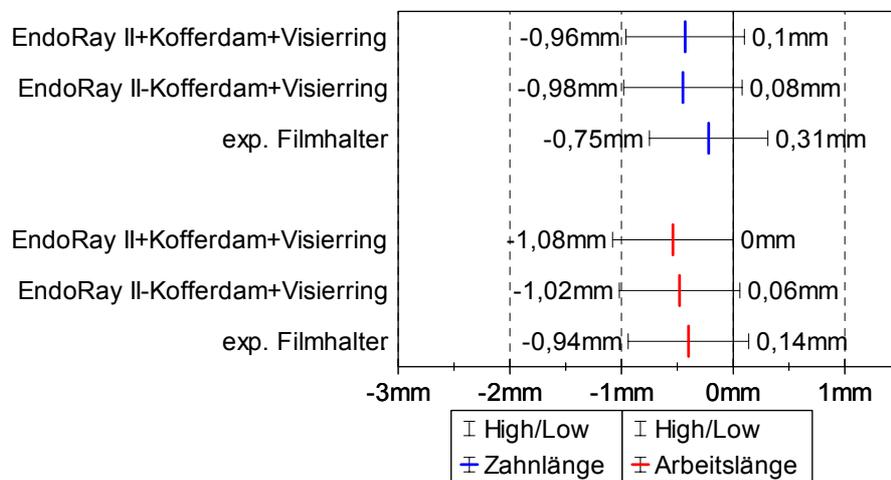


Abb. 128: Univariate Varianzanalyse für den palatinalen Wurzelkanal des Zahnes 16, oben für Meßaufnahmen auf dem Zahnfilm, unten für die Meßaufnahmen mit dem Digora-Verfahren.

4.4.4 Zahn 41

Für den Zahn 41 findet ebenfalls eine Linksverschiebung aller Konfidenzintervalle statt, wobei die Meßergebnisse mit dem experimentellen Filmhalter näher am Null-Wert liegen als die Ergebnisse anderer Versuchsanordnungen (Abb. 129).

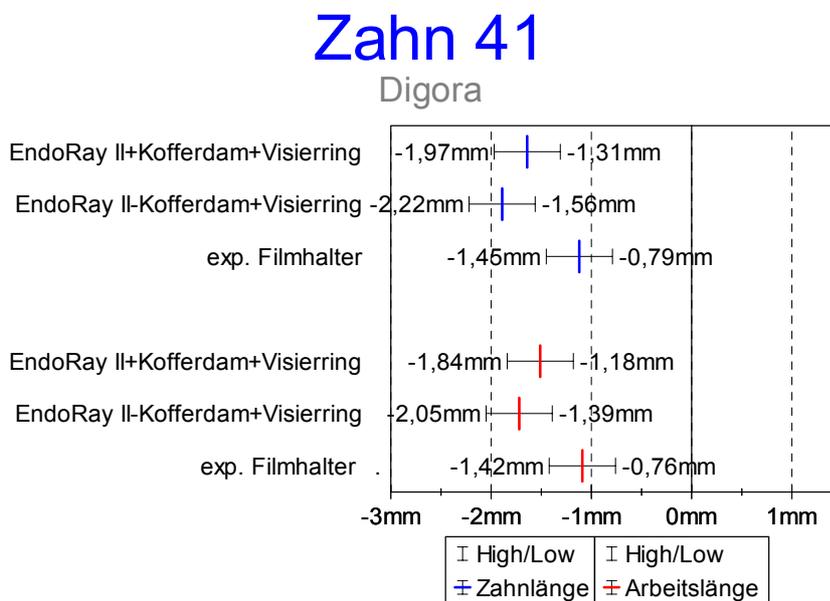
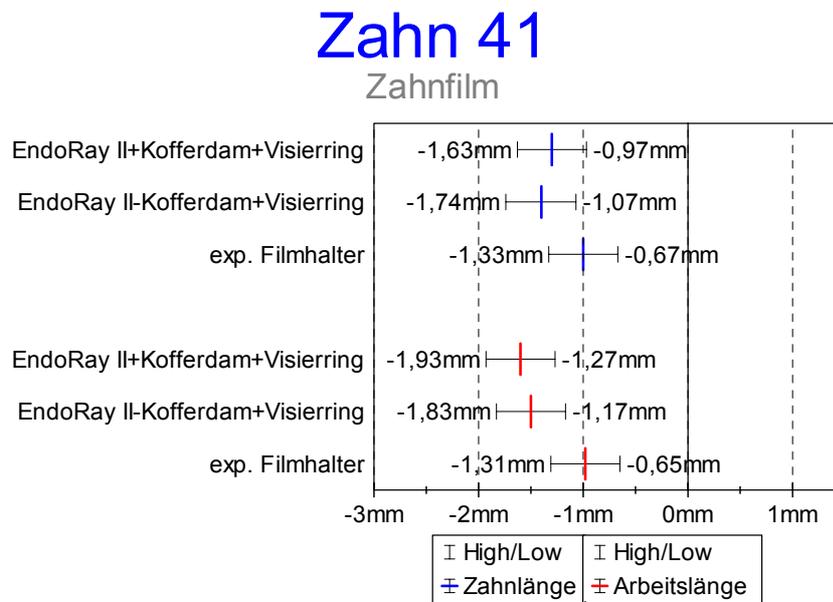


Abb. 129: Univariate Varianzanalyse für den Zahn 41, oben für Meßaufnahmen auf dem Zahnfilm, unten für die Meßaufnahmen mit dem Digora-Verfahren.

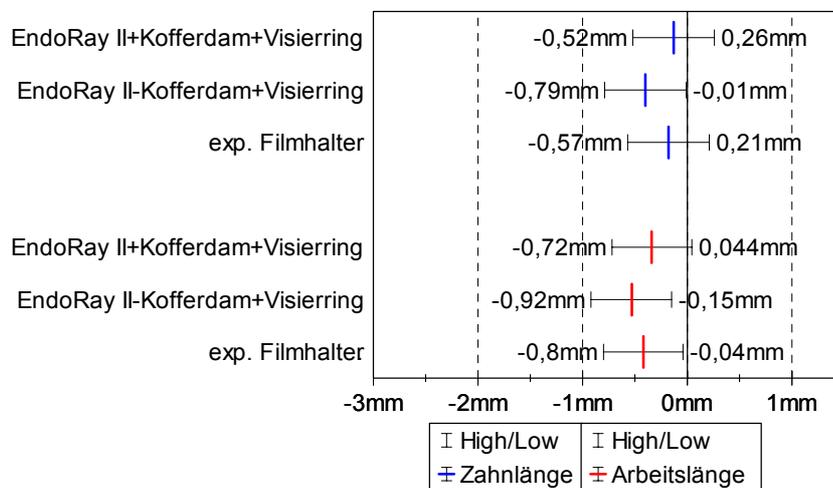
4.4.5 Zahn 45

Hier fällt auf, daß die meisten Versuchsanordnungen, bei denen kein Kofferdam eingesetzt wurde, Ergebnisse zur Folge haben, die signifikant von Referenzwert abweichen.

In Vergleich zum EndoRay II-Filmhalter liefert der experimentelle Filmhalter konstantere Ergebnisse, die sich nicht signifikant vom Referenzwert unterscheiden (Abb. 130).

Zahn 45

Zahnfilm



Zahn45

Digora

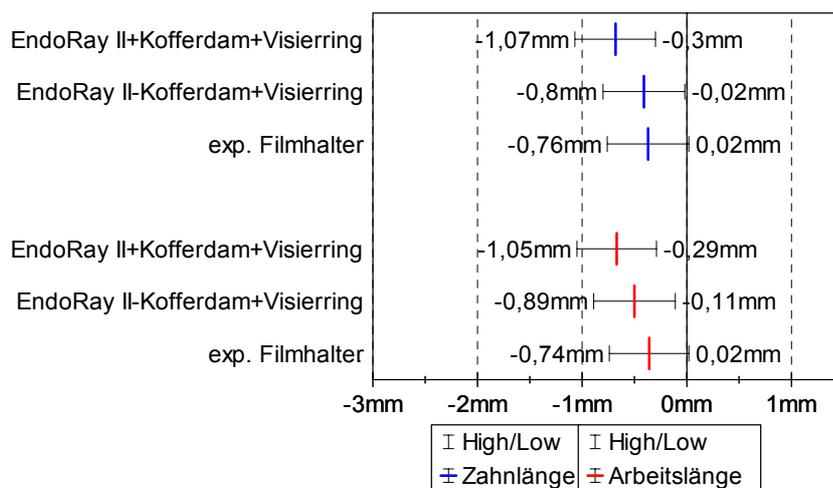


Abb. 130: Univariate Varianzanalyse für den Zahn 45, oben für Meßaufnahmen auf dem Zahnfilm, unten für die Meßaufnahmen mit dem Digora-Verfahren.

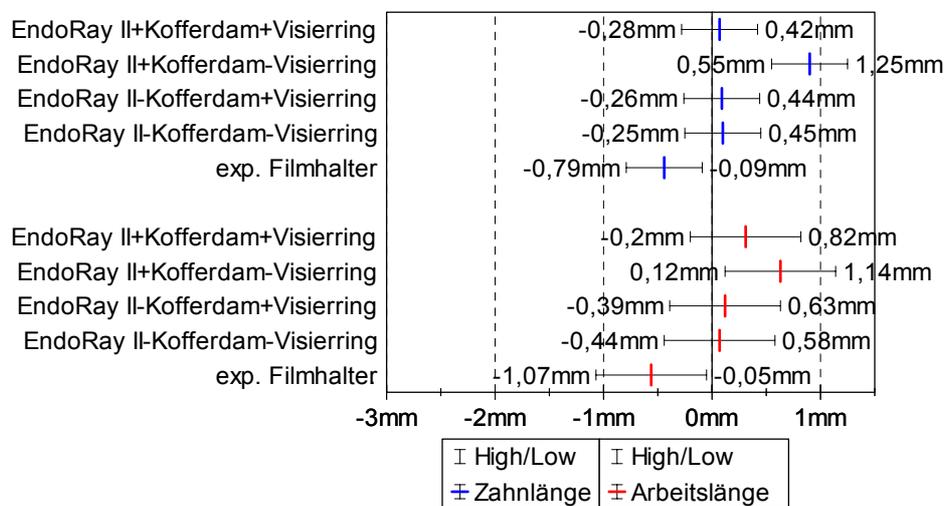
4.4.6 Zahn 47

Der Einsatz des experimentellen Filmhalters für den Zahn 47 bekräftigt die klinische Problematik seiner mesial-exzentrischen Positionierung, weil die Meßergebnisse recht häufig vom Referenzwert signifikant abweichen.

Auch bei der Projektion des Zahnes auf Digora-Speicherfolie finden sich einige Werte – meistens bei Versuchsanordnungen ohne Kofferdameinsatz – die sich ebenfalls signifikant vom Referenzwert unterscheiden (Abb. 130-133).

Zahn 47 disto-bukkaler WK

Zahnfilm



Zahn 47 disto-bukkaler WK

Digora

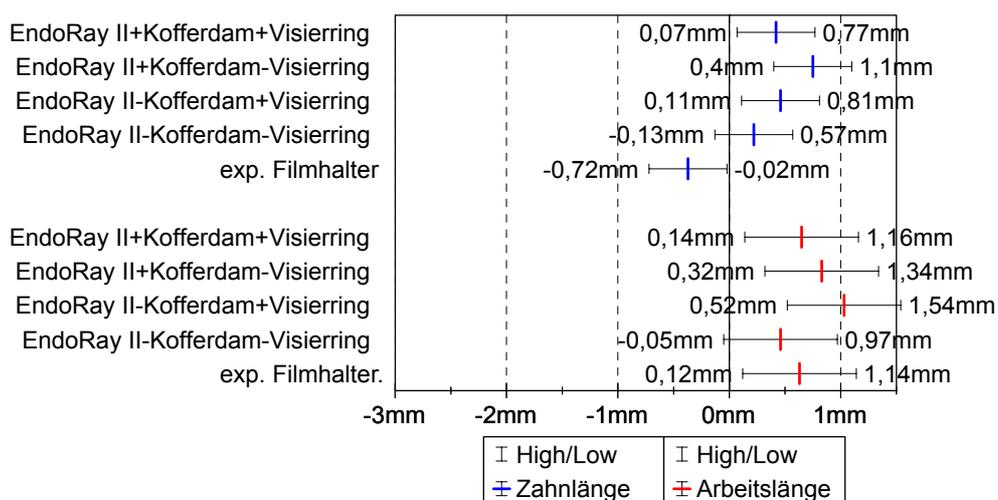
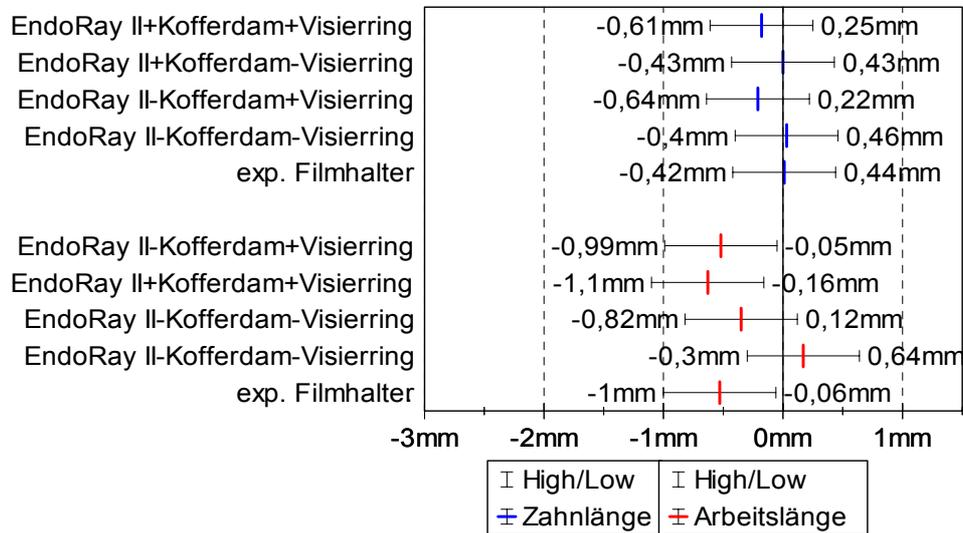


Abb. 130: Univariate Varianzanalyse für den disto-bukkalen Wurzelkanal des Zahnes 47, oben für Meßaufnahmen auf dem Zahnfilm, unten für die Meßaufnahmen mit dem Digora-Verfahren.

Zahn 47 disto-lingualer WK

Zahnfilm



Zahn 47 disto-lingualer WK

Digora

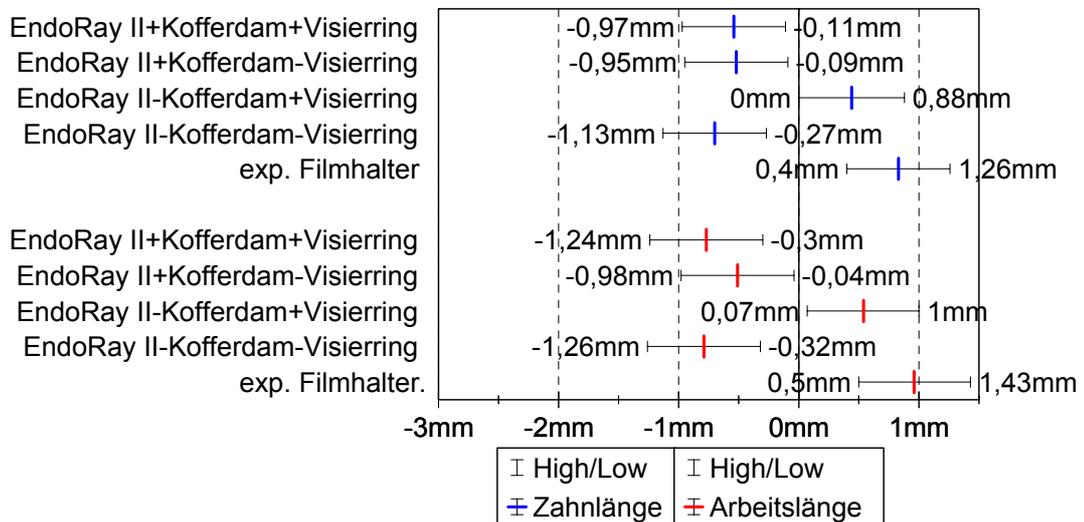
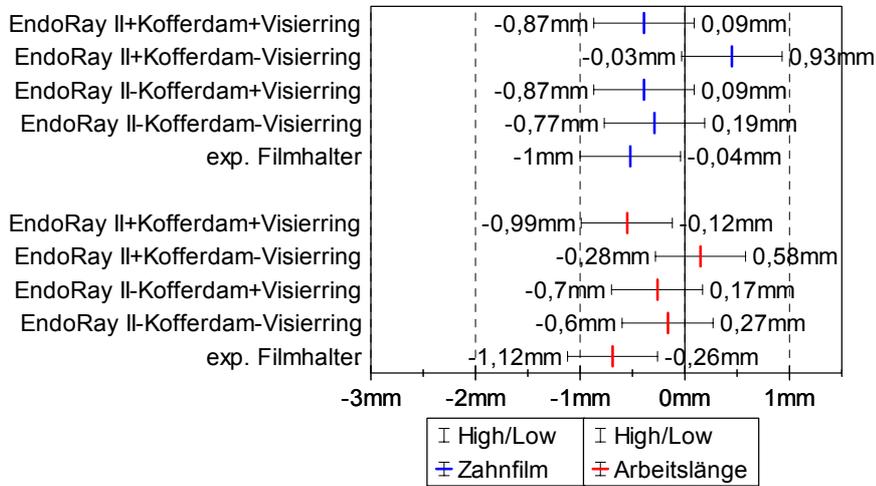


Abb. 131: Univariate Varianzanalyse für den disto-lingualen Wurzelkanal des Zahnes 47, oben für Meßaufnahmen auf dem Zahnfilm, unten für die Meßaufnahmen mit dem Digora-Verfahren.

Zahn 47 mesio-bukkaler WK

Zahnfilm



Zahn 47 mesio-bukkaler WK

Digora

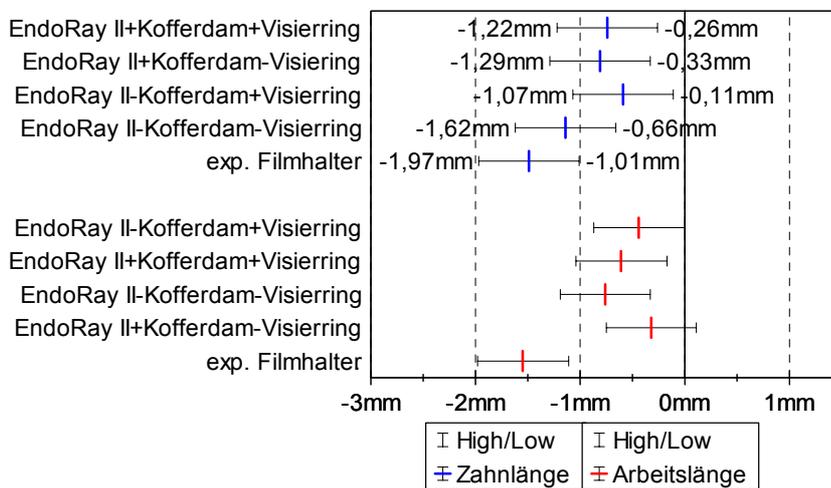
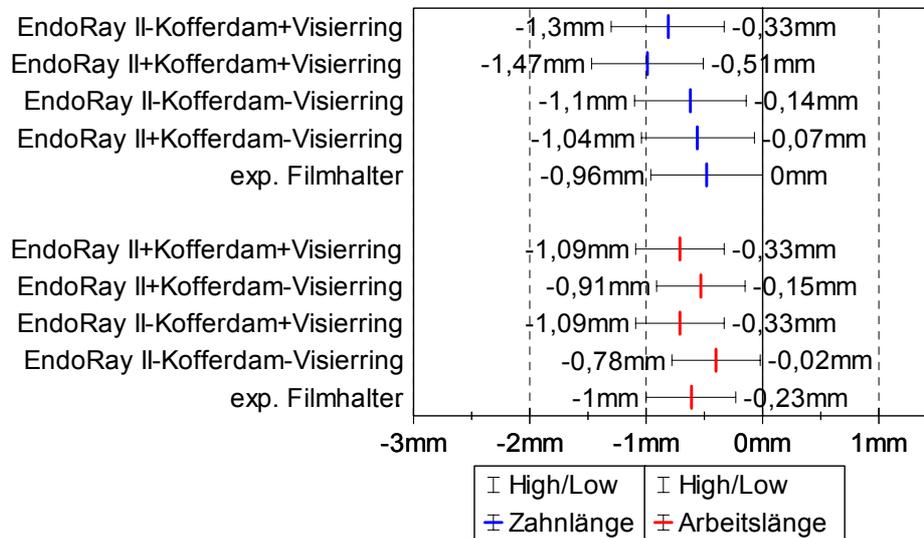


Abb. 132: Univariate Varianzanalyse für den mesio-bukkalen Wurzelkanal des Zahnes 47, oben für Meßaufnahmen auf dem Zahnfilm, unten für die Meßaufnahmen mit dem Digora-Verfahren.

Zahn 47 mesio-lingualer WK

Zahnfilm



Zahn 47 mesio-lingualer WK

Digora

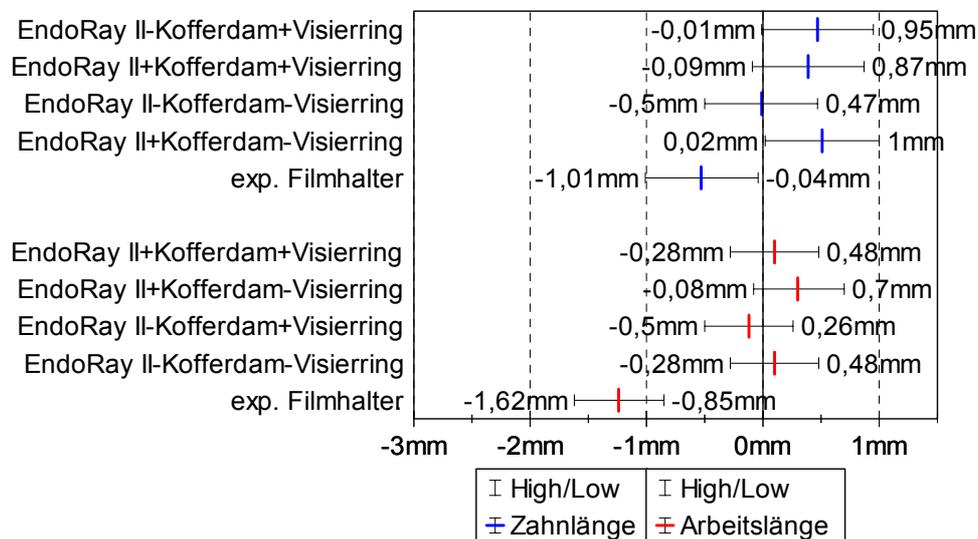


Abb. 133: Univariate Varianzanalyse für den mesio-lingualen Wurzelkanal des Zahnes 47, oben für Meßaufnahmen auf dem Zahnfilm, unten für die Meßaufnahmen mit dem Digora-Verfahren.

4.5 Aussagekraft der Ergebnisse

Die statistische Auswertung der Messergebnisse in der in-vitro-Studie wurde nach zwei Kriterien geordnet:

- die beschreibende Statistik, die für die Sammlung und Beschreibung der Daten in den ersten drei Abschnitten verantwortlich ist, und
- die schließende Statistik, die die anfallenden Ergebnisse auf ihre Zuverlässigkeit im vierten Abschnitt überprüft.

Im ersten Abschnitt werden die Meßergebnisse einzelner Zähne bzw. Wurzelkanäle dargestellt. Während die Mittelwerte und die dazu gehörigen Konfidenzintervalle einzelner Versuchsanordnungen untereinander abgebildet sind, befinden sich die Werte der Zahn- und Arbeitslänge nebeneinander. Dadurch wird erstens die unterschiedlich starke Vergrößerung sowohl der Zahnlänge als auch der Arbeitslänge mit den beiden Zahnfilmhaltern deutlich. Zweitens ist die Differenz „Zahnlänge – Arbeitslänge“ bei unterschiedlich starker Vergrößerung der Zähne deutlich sichtbar und im Verhältnis zur Zahnlänge auch schnell überprüfbar.

Die Aufzeichnung der Meßergebnisse mit dem Zahnfilm und den Digora-Speicherplatten erfolgt in verschiedenen Diagrammen und verdeutlicht die stärkere Vergrößerung der Zahnprojektionen auf Digora-Speicherplatten in Vergleich zu den Projektionen auf dem Zahnfilm.

Im zweiten Abschnitt der statistischen Auswertung erfolgt die Darstellung der Meßergebnisse ebenfalls für die einzelnen Zähne, aber in Form von Regressionsgeraden. Da für die zuverlässige Arbeitslängenbestimmung die Vergrößerung der Zahn- und der Arbeitslänge um den gleichen Faktor notwendig ist, wurde in den Diagrammen die Zahnlänge gegen die Arbeitslänge aufgezeichnet. Die aufgezeichneten Punkte sind also Vergrößerungsfaktoren einzelner Meßserien (pro Serie 10 Meßaufnahmen).

Es wurden zwei Regressionsgeraden bestimmt. Die „*ideale Regressionsgerade*“ ist eigentlich keine Regressionsgerade, sondern nur eine Gerade, die durch zwei Punkte verläuft: durch den nativen Messwert und die planparallele Nahprojektion. Da bei der planparallelen Nahprojektion die Versuchsbedingungen ideal sind, findet eine sehr geringe Vergrößerung des Zahnes und des darin fixierten Instru-

ments statt. Somit stellt die Steigung der „idealen Regressionsgerade“ den idealen Vergrößerungsfaktor im Bezug auf den nativen Messwert sowohl für die Zahn- als auch für die Arbeitslänge dar.

Die Auswertung der Meßergebnisse ergab einen linearen Zusammenhang, beschrieben durch eine „reale Regressionsgerade“. Diese verläuft definitionsgemäß in einem möglichst kleinen vertikal gemessenen Abstand zu allen im Diagramm aufgezeichneten Punkten. Die Stärke des Zusammenhangs der einzelnen Ergebnisse drückt das sogenannte Bestimmtheitsmaß r^2 aus. Dieser kann Werte zwischen null und eins annehmen. Liegt r^2 bei Null, so existiert kein Zusammenhang. Eine Vorhersage kann dann nicht getroffen werden. Liegt das Bestimmtheitsmaß bei eins, dann ist der Zusammenhang perfekt bzw. funktional - und nicht mehr stochastisch. Da ein perfekter Zusammenhang praktisch nicht existiert, werden Werte möglichst nah an eins angestrebt, um einen zuverlässigen Trend vorauszusagen.

Durch die Darstellung beider Regressionsgeraden in einem Diagramm sollte ein Vergleich der Steigungskoeffizienten klinisch relevanter Versuchsanordnungen mit den Ergebnissen der planparallelen Nahprojektion stattfinden. Je näher die Steigungskoeffizienten aneinander liegen, umso optimaler ist die Vergrößerung der Zahnlänge zur Arbeitslänge mit den verschiedenen Versuchsanordnungen und umso zuverlässiger kann die Arbeitslänge nach Formel 1 ausgerechnet werden.

Im dritten Abschnitt werden die Meßergebnisse für die einzelnen Versuchsanordnungen aufgezeichnet. Auch hier wurde die Zahnlänge gegen die Arbeitslänge aufgezeichnet, um die Konstanz der Projektionsvergrößerung jeder Versuchsanordnung bzw. der beiden Filmhalter zu überprüfen.

Auf diese Weise entstehen sechs verschiedene Diagramme entsprechend den sechs Versuchsanordnungen, in denen elf bzw. vier Punkte die Meßergebnisse aller insgesamt elf Wurzelkanäle bzw. vier Wurzelkanäle des Zahnes 46 dargestellt sind. Für die Punktwolken konnte jedes Mal einen linearen Trend errechnet werden. Für die Zuverlässigkeit des errechneten Trends dient auch hier das Bestimmtheitsmaß r^2 .

Der vierte Abschnitt dient zur Überprüfung der Signifikanz der Meßergebnisse pro Zahn bzw. Wurzelkanal mit dem Tukey-Verfahren. Dabei soll untersucht werden, ob die Zielvariablen Zahn- und Arbeitslänge verschiedener klinisch relevanter Ver-

suchsanordnungen mit dem jeweiligen Referenzwert übereinstimmen oder nicht. Die entstandenen Konfidenzwerte und die dazu gehörigen Mittelwerte wurden als Differenz zwischen der planparallelen Nahprojektion und den klinisch relevanten Versuchsanordnungen ausgerechnet. Zahn- und Arbeitslänge wurden untereinander aufgezeichnet. Auch hier werden die Projektionen auf Zahnfilm und Digora-Speicherplatten getrennt ausgewertet und dargestellt. Schneiden die Konfidenzintervalle die Null-Grenze, die mit dem Mittelwert der planparallelen Nahprojektion übereinstimmt, spricht man von signifikanten – übereinstimmenden – Ergebnissen. Für die Interpretation der Ergebnisse sind jedoch nicht nur die Diagramme ausschlaggebend, sondern auch die intraoralen anatomischen Strukturen, die Einfluß auf die Versuchsanordnung und somit auf die Vergrößerung der Zahnprojektion nehmen.

5 DISKUSSION

5.1 Literaturübersicht

Die Entwicklung eines neuen experimentellen Filmhalters ergab sich aus dem Bestreben heraus, die Vorzüge des Kofferdameinsatzes auch während der Meßaufnahmen beizubehalten.

Einige der bereits auf dem Markt eingeführten Filmhalter für Endodontie eignen sich gut für die Anfertigung von Meßaufnahmen, jedoch *erst nach Abnahme des Kofferdamrahmens*. Wird der Kofferdamrahmen belassen, ist ihre Positionierbarkeit schwierig, in manchen Fällen gar unmöglich. Andere Filmhalter wiederum ermöglichen keine Bißsperrung während der Meßaufnahmen.

Aus diesen Gründen war die genaue Beurteilung der bereits vorgestellten Filmhalter notwendig. Dabei wurden mehrere Kriterien beachtet:

1. Die *intraorale Positionierung* des Filmhalters während der Meßaufnahmen mittels eines Aufbißblocks spielt eine besonders wichtige Rolle für seine stabile Positionierung. Auf diese Weise werden Bewegungsunschärfen, die Verbiegung des Projektionsmediums oder die Bestrahlung der Finger bei der manuellen Fixierung desselben vermieden. Zudem sollte der Aufbißblock beim Zubeißen die Berührung der Wurzelkanalinstrumente durch die Antagonisten verhindern.
2. Die Projektionstechnik ist ebenfalls sehr wichtig. Die bevorzugte Technik ist die *Rechtwinkel-Technik*, die nur mit Hilfe einer Zentriervorrichtung für den Röntgentubus durchführbar ist.
3. Da der Kofferdameinsatz aus medizinischen und forensischen Gründen in der Endodontie unverzichtbar ist, sollte die *Positionierung der Filmhalter für Meßaufnahmen bei angelegtem Kofferdaminstrumentarium* möglich sein.
4. Jedes Filmhaltersystem sollte derart beschaffen sein, daß es *für Meßaufnahmen an allen Zähnen einsetzbar* ist.
5. Um Überlagerungen der Filmhalterbestandteile auf dem Film zu vermeiden und somit die Aufnahmequalität nicht zu beeinträchtigen, sollten die Filmhalter aus einem *radioluzenten, d.h. röntgenstrahlendurchlässigen Material* beschaffen sein.

6. *Das Rückschild* vermeidet die Verbiegung des Projektionsmediums bei der Berührung intraoraler Strukturen und ist unverzichtbar in der intraoralen Radiologie.
7. *Die Rechteckblende* schränkt das bestrahlte Feld auf die Größe eines herkömmlichen Zahnfilms ein und reduziert somit die Strahlenbelastung für den Patienten erheblich.
8. *Strahlenleitende Instrumente* verfügen nicht nur über eine Rechteckblende, sondern auch über ein strahlenabsorbierendes Rückschild der Filmklemme und reduzieren somit die Strahlenbelastung für den Patienten auf ein Minimum.
9. Aus hygienischen Gründen sollte die Beschaffenheit der Werkstoffe auf jeden Fall ihre *Desinfektion* ermöglichen. Wünschenswert ist die Sterilisierbarkeit der Filmhalter, die jedoch nur in wenigen Fällen gleichzeitig mit der erwünschten Radioluzenz derselben realisierbar ist.

Diese Kriterien können nicht von allen Filmhaltern erfüllt werden, da z.B. die Anforderung nach einem radioluzenten Filmhalter nicht mit der nach einem strahlenleitenden Instrument vereinbar ist. Sowohl strahlenleitende Instrumente als auch radioluzente Filmhalter mit Rechteckblenden eignen sich hervorragend für die Anfertigung von intraoralen Aufnahmen bei geringer Strahlenbelastung für den Patienten. Viel wichtiger sind in diesem Zusammenhang die Forderungen nach der intraoralen Fixierung mittels Aufbißblock, das Vorhandensein einer Zentriervorrichtung für den Röntgentubus und die Positionierbarkeit des Filmhalters bei angelegtem Kofferdarmrahmen.

Die Tabelle 10 zeigt die zusammenfassende Beurteilung der bereits vorgestellten Filmhalter nach den genannten Kriterien.

Legende für die Tabelle 10:

+: geeignet

-: ungeeignet

°: nur teilweise einsetzbar

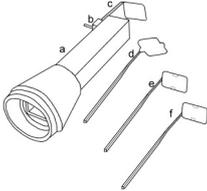
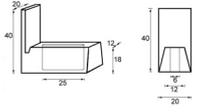
Fa.: Firma.

FH: Filmhalter

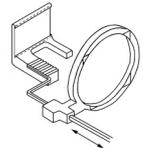
intr. Posit: intraorale Positionierung

Desinf.: Desinfizierbarkeit

Aufbißb.: Aufbißblock

Eigenschaften Filmhaltersysteme	intr. Posit. per Aufbiß block	RWT	Kompatibilität mit Koffer- damrahmen	Positio- nierung in der ge- samten Mund- höhle	Radio- luzenz	Rück- schild	Rechteck blende	Strah- lenlei- tende Instru- mente	Desinf.
FH nach KRATOCHVIL und LONGTON 	-	+	-	+	-	+	+	+	+
RWS-FH FA. BEYCODENT 	-	+	-	+	-	+	+	-	+
Snap-A-Ray-FH FA. DENTSPLY RINN 	-	-	o ¹	-	+	o ¹	-	-	+
FH nach FIXOTT 	o	-	-	-	? ²	+	-	-	? ²
FH nach PAQUETTE 	-	-	o ¹	-	+	o ¹	-	-	+
FH nach CHEE und NEO 	-	+	-	- ³	+	+	-	-	+
EndoRay II-FH FA. DENTSPLY RINN 	+	+	-	- ⁴	+	+	-	-	+

¹: Der Filmhalter ist zwar in Kombination mit dem Kofferdamrahmen einsetzbar, aufgrund seiner intraoralen manuellen Fixierung ist er jedoch für Meßaufnahmen ungeeignet.
²: Da die Anfertigung eines solchen Filmhalters aus einem plastischen Material erfolgt und jedem Zahnmediziner selbst überlassen ist, sind dessen Radioluzenz und Desinfizierbarkeit nicht beurteilbar.
³: Dieser Filmhalter eignet sich nicht für Meßaufnahmen.
⁴: Die Positionierbarkeit bei angelegtem Kofferdamrahmen ist zeitraubend und selten möglich.

Eigenschaften	intr. Posit. per Aufbiß block	RWT	Kompatibilität mit Kofferdamrahmen	Positionierung in der gesamten Mundhöhle	Radio-luzenz	Rück-schild	Rechteck blende	Strah-lenlei-tende Instru-mente	Desinf.
FH nach GREENE 	-	-	o ¹	-	+	o ¹	-	-	+
FH nach FUHRMANN und ALBERS 	+	+	-	- ⁵	+	+	-	-	+
Universal-X-Ray-FH nach JENSEN 	-	+	-	+	-	+	+	+	+
Hawe Endo-Bite-FH FA. HAWE NEOS 	+	+	-	+	+	+	-	-	+
EndoPro-FH FA. OP-D-OP 	+	+	-	+	+	-	-	-	+
RWT-FH FA. KENZLER-KASCHNER DENTAL 	+	+	-	+	+	+	+	-	+
Snapex-FH FA. DENTSPLY RINN 	-	+	o ¹	-	+	o ¹	-	-	+

Tab. 10. Zusammenfassende Beurteilung aller Filmhaltersysteme.

Wie bereits in der Tabelle 10 ersichtlich, eignen sich die meisten Filmhalter zwar zur Anfertigung von Messaufnahmen, jedoch nicht bei gleichzeitigem Einsatz des Kofferdamgummis und des an ihm fixiertem Kofferdamrahmen. Der Einsatz des experimentellen Kofferdamrahmens sollte anhand der Meßaufnahmen erfolgen, die in der in-Vitro-Studie angefertigt wurden.

5.2 Material und Methoden

Bei der Formgestaltung der Bestandteile des experimentellen Filmhalters wurde u.a. der Versuch unternommen, die obere und untere Fläche des Aufbißblocks kalottenförmig zu gestalten, um dessen Anpassung an die Spee'sche Kurve zu erreichen und eine optimale Fixierung des Aufbißblocks durch die Zahnreihen zu ermöglichen. Da sich jedoch der tiefste Punkt der 16 cm-Kalotte in der Mitte der oberen bzw. unteren Aufbißblockfläche befinden würde, wäre die optimale Fixierung des Aufbißblocks durch den Aufbiß nur in der Mitte des Aufbißblocks möglich. Eine Verschiebung des Aufbißblocks in transversaler Richtung – nach oral oder vestibulär – würde jedoch zu einer Kippung/Verschiebung der Filmebene nach unten oder oben und somit zu einer fehlerhaften Positionierung der Filmebene zur Zahnängsachse führen. Die Folge könnte eine unvollständige Darstellung des zu untersuchenden Zahnes auf dem Zahnfilm sein. Aus diesem Grund wurden die obere und untere Fläche des Aufbißblocks letztendlich plan gestaltet.

5.3 In vitro-Studie

Bei der Durchführung der verschiedenen Meßreihen konnten die Einsatzmöglichkeiten beider Filmhalter in den verschiedenen Regionen der Mundhöhle geprüft werden. Auf diese Weise ließen sich für beide Filmhaltersysteme sowohl Vor- als auch Nachteile erkennen, die nachfolgend erläutert werden.

Für den **EndoRay II-Filmhalter** ergaben sich folgende Nachteile:

⁵: Dieser Filmhalter eignet sich nur für Meßaufnahmen im Seitenzahnbereich.

- Seine Positionierung an Zähnen, an denen eine Kofferdamklammer fixiert ist, kann problematisch sein. Sowohl der distale Aufbißbügel bei Kofferdamklammern mit Flügeln, als auch der mesiale Aufbißbügel bei doppelbügeligen Kofferdamklammern erschweren okklusal das Aufliegen des Korbes.
- Ebenfalls problematisch kann die Anfertigung von Meßaufnahmen mit dem EndoRay II-Filmhalter an endständigen Zähnen sein, da hier das Aufliegen des Korbes auf dem distalen Nachbarzahn nicht möglich ist. Eine Positionierung des Filmhalters auf dem zu untersuchenden Zahn ist aufgrund der aus dem Zahn herausragenden Instrumenten und des distalen Bügels oft ebenfalls nicht möglich. Die Folgen solcher Hindernisse können u.a. eine instabile Lage des Zahnfilms während der Meßaufnahmen sein, die zu Bewegungsunschärfen führen kann. Dadurch sind die Qualität und die Reproduzierbarkeit der Meßaufnahmen gefährdet.
- Bei der Anfertigung von Meßaufnahmen mit Speicherfolie muß der Schlitz zur Aufnahme der Folie bei beiden Filmhaltern verbreitert werden, weil diese dicker als ein Zahnfilm ist.
- Der 2,5 mm breite Stabilisierungsrahmen der Speicherfolie kann zu einer unvollständigen Projektion des Zahnes auf dieser führen, deren Folge die Wiederholung der Meßaufnahme ist. Aus diesem Grund kann manchmal eine Bißerhöhung direkt auf dem Zahn notwendig sein, auf der der EndoRay II-Filmhalter positioniert werden kann.

Im Vergleich dazu zeigt der **experimentelle Filmhalter** auch einige Nachteile, die jedoch im Laufe seiner Entwicklung beseitigt werden können:

- So ist die Anfertigung von mesial-exzentrischen Aufnahmen an endständigen Zähnen durch die Rotation des gesamten Filmhalters nach distal noch nicht möglich. Dieses ist jedoch ein Problem, welches die meisten Filmhalter aufweisen.
- Um den Arbeits- und Zeitaufwand gering zu halten, kann die relativ einfache Positionierung des Filmhalters bei angelegtem Kofferdamrahmen durch eine Formänderung des gesamten Filmhalters ebenfalls optimiert werden.

- Aufgrund der zur Verfügung stehenden Materialien war die Anfertigung relativ großer Bestandteile notwendig, um ihre Stabilität während der Versuchsreihen zu gewährleisten. Durch die professionelle Anfertigung dieser Bestandteile und beim Einsatz von härteren/stabileren Materialien können diese jedoch graziler gestaltet werden. Dies würde die Positionierung erleichtern und den Komfort für den Patienten erhöhen.

Der Einsatz neuer Bestandteile des experimentellen Filmhalters kann die Strahlenbelastung für den Patienten senken:

1. Das Vorhandensein einer Rechteckblende würde dazu führen, daß nur ein Feld von der Größe eines Zahnfilms bestrahlt wird.
2. Die Positionierung der Rechteckblende im Visierring würde dabei eine Übereinstimmung des Blendenfensters mit der Filmlage sicherstellen. Dies ist ohne das Risiko einer Bewegungsunschärfe möglich, weil der experimentelle Filmhalter vom Patienten im Aufbiß sicher gehalten wird.
3. Das Anfertigen des Rückschildes der Filmklemmen aus einem radioopaken Material würde ebenfalls zu einer zusätzlichen Senkung der Röntgenstrahlenbelastung für den Patienten führen. Auf dieser Weise wären ähnlich kleine Bestrahlungswerte erreichbar wie bei strahlenleitenden Instrumenten.

5.4 Statistische Auswertung

Das Ziel der statistischen Auswertung ist

1. die Meßergebnisse beider Filmhalter in Bezug auf die nativen Meßwerte miteinander zu vergleichen und
2. die Zuverlässigkeit der Ergebnisse in Bezug auf die planparallele Nahprojektion zu überprüfen.

Auf diese Weise sollte die Beurteilung des experimentellen Zahnfilmhalters bei in-vitro Versuchen ermöglicht werden.

Der Vergrößerungsgrad der einzelnen Zähne während den verschiedenen Versuchsanordnungen und auf unterschiedlichen Projektionsmedien ist für die Arbeitslängenbestimmung von entscheidender Bedeutung. Die tatsächliche Arbeitslänge läßt sich zwar nach Formel 1 ausrechnen, die Qualität der Aufnahmen wird

jedoch mit zunehmender Projektionslänge schlechter, da die Halbschattenbreite größer wird und somit die Zahnkonturen undeutlicher werden. In diesem Fall läßt sich die genaue Zahn- und die Arbeitslänge auf dem Zahnfilm schlechter bestimmen. Aus diesen Gründen sollte die Vergrößerung der Zähne auf dem Zahnfilm möglichst klein gehalten werden.

Das Digora-Verfahren führt grundsätzlich zur Entstehung einer längeren Zahnprojektion als die Projektion auf einen Zahnfilm, unabhängig vom eingesetzten Filmhalter. Hierfür konnten wir leider keine Erklärung finden. Möglicherweise hängt die Vergrößerung des Zahnes mit dem Abstand Zahnfilmebene – Objekt zusammen. Aufgrund der Speicherfoliendicke mußte der Schlitz zur Aufnahme des Zahnfilms verbreitert werden. Da der Rahmen der Speicherfolie breiter ist als ein Zahnfilm, kann der Abstand Objekt – Folie größer sein, als der Abstand Objekt – Zahnfilmebene. Bei einem konstanten Fokus – Objekt – Abstand führt dies jedoch zu einer Vergrößerung der Zahnprojektion.

Bei der Darstellung der Meßergebnisse für jeden Zahn mit Hilfe von Konfidenzintervallen wurde die planparallele Nahprojektion an zweiter Stelle nach dem nativen Meßwert angesetzt, da es sich um eine optimale Versuchsanordnung von Fokus, Objekt und Projektionsmedium ohne Störfaktoren handelt. Die Meßergebnisse bestätigen dies, weil mit keiner anderen Versuchsanordnung eine im Vergleich mit dem nativen Messwert so geringe Vergrößerung der Zähne und somit der eingestellten Wurzelkanalinstrumente erfolgte.

Weiterhin zeigte ein schneller Vergleich aller Ergebnisse, daß mit dem experimentellen Filmhalter fast immer eine geringere Vergrößerung der Zähne erfolgte als mit dem Endo Ray II-Filmhalter. Aus diesem Grund wurden die Meßergebnisse mit dem experimentellen Filmhalter an dritter Stelle nach der planparallelen Nahprojektion aufgeführt. Diese geringe Projektionsvergrößerung kann durch eine individuell auf die Zahnneigung einstellbare Filmklemmen-Neigung erklärt werden. Die individuelle Filmklemmen-Neigung ermöglicht eine fast parallele Positionierung der Filmebene zur Zahnlängsachse und somit eine gleichmäßigere und wenig vergrößerte Projektion des Zahnes auf dem Zahnfilm. Abweichende Werte sind bei Zähnen bzw. Wurzelkanälen anzutreffen, bei denen die Positionierung des Filmhalters aufgrund noch vorhandener technischer Mängel oder anatomischer Gegebenheiten nicht optimal stattfinden konnte. Ein solcher Zahn ist der Zahn 47. Mit Aus-

nahme des disto-lingualen Wurzelkanals findet hier mit dem experimentellen Filmhalter eine stärkere Vergrößerung der Wurzelkanäle statt als mit dem EndoRay II-Filmhalter *mit* Kofferdam.

Die stärkste Vergrößerung der Zähne insgesamt findet jedoch bei Versuchsanordnungen mit dem EndoRay II-Filmhalter *ohne* Kofferdam statt. Da parallel dazu die Versuchsanordnungen *mit* Kofferdam stattgefunden haben, deren Ergebnis eine kleinere Zahnprojektion war, bestätigen sie aus radiologischer Sicht die Notwendigkeit des Kofferdameinsatzes in der Endodontie.

Unabhängig von der Größe der Zahnprojektion ergab sich für fast alle untersuchten Zähne und durchgeführten Versuchsreihen ein eindeutig linearer und zuverlässiger Trend ihrer Vergrößerungsfaktoren, dargestellt mit Hilfe von *realen* Regressionsgeraden. Die dazugehörigen Bestimmtheitsmaße r^2 tendieren gegen eins und bestätigen die Zuverlässigkeit der ausgerechneten Trendlinien.

Für die einzelnen Zähne bzw. Wurzelkanäle wurde der Verlauf der *realen* Regressionsgeraden mit dem Verlauf der *idealen* Regressionsgeraden verglichen. Für die meisten Wurzelkanäle sind die Steigungs- bzw. Vergrößerungskoeffizienten der Zahn- und Arbeitslänge mit der planparallelen Nahprojektion und mit den beiden Filmhaltern annähernd gleich groß. Dies ermöglicht die Ermittlung einer korrekten Arbeitslänge. Die erste Ausnahme bilden die klinisch nicht relevanten Versuchsanordnungen, bei denen der EndoRay II-Filmhalter ohne Visierring positioniert wurde. Dies unterstützt den Einsatz des Visierringes bei Verwendung des EndoRay II-Filmhalters. Die zweite Ausnahme bildet der Zahn 16 mit seinen auseinander divergierenden Wurzeln. Das Bestimmtheitsmaß r^2 der realen Regressionsgeraden ist für den bucco-distalen und den palatinalen Wurzelkanal annähernd Null, d.h. die Regressionsgerade kann den Trend nicht zuverlässig beschreiben. Dieser unzuverlässige Trend wird zusätzlich durch die stark voneinander abweichenden Steigungen der realen und der idealen Regressionsgeraden verdeutlicht.

Die Konstanz der Meßergebnisse einzelner Versuchsanordnungen wurde ebenfalls anhand von Regressionsgeraden überprüft. Mit Ausnahme von klinisch nicht relevanten Versuchsanordnungen und der Anordnung „EndoRay II mit Kofferdam mit Visierring auf Digora“ wiesen alle Versuchsanordnungen einen zuverlässigen linearen Trend, dargestellt ebenfalls mit Hilfe von Regressionsgeraden, was für die

Konstanz der beiden Zahnfilmhalter in verschiedenen Regionen der Mundhöhle spricht.

Um eine Aussage über einen gemeinsamen Trend *aller* Regressionsgeraden treffen zu können, wurde anschließend der Mittelwert aller Bestimmtheitsmaße und die dazugehörige Standardabweichung ausgerechnet. Die Standardabweichung dient in der Statistik als Maß für die Variabilität einer Meßgröße. Werden die klinisch nicht relevanten Versuchsanordnungen in die Rechnung einbezogen, beträgt der *Mittelwert für Projektionen auf dem Zahnfilm 0,8119* bei einer *Standardabweichung von 0,2493* und der *Mittelwert für Projektionen auf Digora-Speicherplatten 0,7969* bei einer *Standardabweichung von 0,2017*. Werden jedoch die klinisch nicht relevanten Versuchsanordnungen nicht in die Rechnung einbezogen, beträgt der *Mittelwert der Bestimmtheitsmaße aller Projektionen auf dem Zahnfilm 0,9672* bei einer *Standardabweichung von 0,0093* und der *Mittelwert aller Projektionen auf der Digora-Speicherplatten 0,8662* bei einer *Standardabweichung von 0,2199*.

Bei der Berechnung der Signifikanz für die Zähne 21, 24 und 41 sind alle dargestellten Konfidenzintervalle und die dazu gehörigen Mittelwerte für die Zahn- und die Arbeitslänge nach links verschoben und unterscheiden sich signifikant vom Referenzwert. Dies kann durch einen großen Projektionsmedium-Objekt-Abstand verursacht sein, bedingt durch den schmalen Gaumen des Homo-Schädels oder den schmalen Unterkieferzahnbogen. Die Folge ist ein vergrößerter Zahnfilm - Objekt - Abstand, was wiederum eine stark vergrößerten Projektion des Zahnes auf dem Zahnfilm oder auf der Digora-Speicherfolie bewirkt. Da die Konfidenzintervalle als Differenz zwischen der planparallelen Nahprojektion und der einzelnen Versuchsreihen errechnet wurden, ist diese Differenz kleiner als Null und somit nach links verschoben.

Die erschwerte mesial-exzentrische Positionierung des experimentellen Filmhalters am Zahn 47 wurde auch hier von den Ergebnissen der Varianzanalyse bestätigt, da sich alle signifikant vom Referenzwert unterscheiden. Diese Beobachtungen machen Veränderungen an der Form des experimentellen Filmhalters notwendig, da er sonst nur eingeschränkt intraoral positionierbar ist.

Die signifikanten Ergebnisse der mit dem EndoRay II-Filmhalter und Kofferdam durchgeführten Versuchsreihen unterstreichen die Korrektheit seiner Gebrauchsin-

formation, da bei Verzicht auf den Kofferdam die Meßergebnisse auffällig häufig vom Referenzwert abweichen.

6 Schlußfolgerungen

Thema dieser Dissertation ist die Entwicklung eines experimentellen Zahnfilmhalters für Messaufnahmen und seine in-vitro Erprobung im Vergleich zum EndoRay II-Filmhalter der FA. DENSPLY RINN.

Anhand der 1040 herkömmlich und digital entstandenen Meßaufnahmen konnte festgestellt werden, daß mit dem experimentellen Filmhalter eine geringere Vergrößerung der Zähne und somit auch der im Zahn auf die Arbeitslänge eingestellten Instrumente erfolgt als mit dem EndoRay II-Filmhalter. Dies ist durch die individuelle parallele Einstellung der Filmebene zur Zahnängsachse begründet. Ausnahmen waren hier die mehrwurzeligen Zähne 16 und 47, deren Projektion mit dem EndoRay II-Filmhalter eine geringere Vergrößerung zur Folge hatte. Die Auswertung der Meßaufnahmen mit dem experimentellen Zahnfilmhalter am Zahn 47 bestätigten die klinische Problematik seiner distal-exzentrischen Positionierung, die eine Formänderung notwendig macht.

Bei der *Auswertung der Meßergebnisse pro Zahn mit Hilfe von realen Regressionsgeraden* konnte in den meisten Fällen ein zuverlässiger linearer Trend *aller Ergebnisse* festgestellt werden, bestätigt durch das Bestimmtheitsmaß. Ausnahmen bildeten auch hier die mehrwurzeligen Zähne 16 und 47. Der Vergleich der realen und idealen Regressionsgeraden zeigt in den meisten Fällen annähernd gleiche Werte für ihre Steigungskoeffizienten. Dies deutet auf eine Vergrößerung der Zahn- und Arbeitslänge zum nativen Messwert um fast den gleichen Betrag und ermöglicht eine korrekte Bestimmung der Arbeitslänge nach Formel 1.

Bei der *Auswertung der Meßergebnisse pro Versuchsanordnung mit Hilfe von Regressionsgeraden* konnte auch hier in den meisten Fällen ein linearer Trend der Regressionsgeraden festgestellt werden. Dies bestätigt konstante Vergrößerungsfaktoren für die Zahn- und Arbeitslänge mit den beiden Zahnfilmhaltern unabhängig von der intraoralen Region, in der diese positioniert werden. Der strenge lineare Zusammenhang der Ergebnisse wird auch hier von dem Bestimmtheitsmaß r^2 bestätigt, der in den meisten Fällen Werte nah an eins nimmt. Ausnahmen bildeten die klinisch nicht relevanten Versuchsanordnungen, die entweder ohne Kofferdam und/oder Visierring stattgefunden haben.

7 Zusammenfassung

Die vorliegende Dissertation beschreibt die Entwicklung eines Filmhalters für Messaufnahmen, dessen Besonderheit darin besteht, daß er unabhängig vom eingesetzten Kofferdam-Instrumentarium positioniert werden kann. In Verbindung mit diesem experimentellen Filmhalter kann sowohl ein aufklappbarer als auch ein nicht aufklappbarer Kofferdamrahmen verwendet werden. Die Positionierung des Filmhalters erfolgt ohne Berührung des zu behandelnden Zahnes oder des an diesem Zahn fixierten Kofferdam-Instrumentariums und verhindert eine mögliche Verschiebung der Wurzelkanalinstrumente. Auf diese Weise wird die Abnahme des Kofferdamrahmens umgangen, was sowohl für den Patienten, als auch für den Zahnmediziner angenehm ist und zu einer Zeitersparnis führt.

Um eine Aussage über die Einsetzbarkeit des experimentellen Filmhalters treffen zu können, wurden Meßaufnahmen mit diesem und mit einem seit mehreren Jahren eingesetztem Filmhalter, dem EndoRay II, angefertigt. Um die Handhabung des experimentellen Filmhalters und die Auswertbarkeit der Meßaufnahmen überprüfen zu können, wurden Zähne aus verschiedenen Mundregionen geröntgt und die Messaufnahmen anschließend ausgewertet. Dabei erfolgte die Projektion der Zähne sowohl auf den Ektaspeed Zahnfilm als auch auf Digora-Speicherplatten. Insgesamt entstanden 1040 auswertbare Meßaufnahmen.

Unabhängig vom eingesetzten Filmhalter waren die Zahnprojektionen mit dem Digora-Verfahren länger als die Zahnprojektionen auf dem Zahnfilm. Dafür konnten wir keine Erklärung finden.

Bei der statistischen Auswertung der Ergebnisse fiel auf, daß Zahnprojektionen auf Meßaufnahmen mit dem experimentellen Filmhalter kleiner sind als auf Meßaufnahmen mit dem EndoRay II-Filmhalter. Selten führte sein Einsatz zu kleineren Projektionen als die planparallele Nahprojektion, was offensichtlich aufgrund der individuell einstellbaren Filmklemme geschehen ist, die eine optimale Positionierung des Projektionsmediums zur Zahnlängsachse ermöglicht.

Ingesamt zeigten die Meßergebnisse aller Versuchsreihen einen zuverlässigen linearen Trend, d.h. daß in Bezug auf den nativen Messwert eine lineare Zunahme der vergrößerten Zahnprojektionen stattfindet.

Schließlich erfolgte eine Überprüfung der Ergebnisse mit Hilfe einer Varianzanalyse nach dem Tukey-Verfahren, im Rahmen derer fast alle Daten nichtsignifikante Unterschiede zum Referenzwert zeigten.

Der eingeschränkte Einsatz des experimentellen Filmhalters bei seiner mesial-exzentrischen Positionierung am zweiten Molaren wurde nicht nur klinisch, sondern auch durch die statistische Auswertung der Meßergebnisse belegt. Diese Mängel des experimentellen Filmhalters können nun in der weiteren Entwicklung korrigiert werden, sodaß seine intraorale Positionierung an jedem Zahn uneingeschränkt möglich sein wird.

7 Literaturverzeichnis

1. AHLERS, M. O.: Restaurative Zahnheilkunde mit dem Artex-System. Denta Concept, Hamburg (1998).
2. AHLERS, M. O.: Trockengelegt hält besser. Isolation der Oberkieferfront mit Kofferdam für die Adhäsivtechnik. Kons J 3 (2000).
3. AKEN, J. VAN: Optimum conditions for intraoral roengenograms. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endodod 27 (4), 475 (1969).
4. AKEN, J. VAN, VERHOEVEN, J. W.: Factors influencing the design of aiming devices for intraoral radiography and their practical application. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endodod 47 (4), 378 (1979).
5. BECKER, J.: Verringerung der Strahlenexposition bei der enoralen Röntgendiagnostik durch eine Einblendung des Nutzstrahlungsfeldes. Quintessenz 9, 46 (1995).
6. BENKEL, H. D., FROMMER, H. H., ROSENBERG, P. A., STIEGLITZ, H. T.: Comparison of endodontic measurement controls using a paralleling technique with a grid and an conventional measurement. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endodod 49 (2), 157 (1980).
7. BESNER, E., MICHANOWICZ, A., MICHANOWICZ, J. P.: Practical endodontics. Mosby, St. Louis (1994).
8. BHAKDINARONK, A., MANSON-HING, L. R.: Effect of radiographic technique upon prediction of tooth length in intraoral radiography. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endodod 51 (1), 100 (1981).
9. BJORNDAL, A. M., HENDERSON, W. G., SKIDMORE, A. E., KELLNER, F. H.: Anatomic measurements of human teeth extracted from males between 17 and 21 years. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endodod 38, 791 (1974).
10. BRIDGMAN, J. B., CAMPBELL, D. J.: Radiography in endodontics. N Z Dent J 91 (404), 62 (1995).
11. CHEE, L. F., NEO, J.: A film-holding device to facilitate endodontic radiography. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endodod 70, 780 (1990).
12. CHOSKI, S. K.: Modification designed to improve instruction in intraoral dental radiography. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endodod 59, 653 (1985).

13. COHN, S. A.: Endodontic Radiography: Principles and technical techniques. University of Sydney, Australia (1988).
14. DENTSPLY RINN: Produktkatalog. Endo Ray II – Filmhalter. Herstellerhinweis, USA (1999).
15. EGGEN, S.: Vorgeprägter zahnärztlicher Röntgenfilm für Paralleltechnik. Die Quintessenz 8, 85 (1977).
16. FIXOTT, H. C.: A radiodontic bite block designed for endodontics. Dento Maxillo Facial Radiol 5, 64 (1976).
17. FUHRMANN, A., ALBERS, H. K.: Die Anwendung der Paralleltechnik für Meßaufnahmen in der Endodontie. Die Quintessenz 9, 1565 (1986).
18. GABKA, J., HARNISCH, H.: Komplikationen und Fehler bei der zahnärztlichen Behandlung: Ratschläge und Darstellung dringlicher Eingriffe. Thieme, Stuttgart (1974).
19. GERGELY, E. J.: Rubber dam acceptance. Br Dent J 167, 249 (1989).
20. GOING, R., SAWINSKI, V. J.: Parameters related to the use of rubber dam. J Am Dent Assoc 77, 589 (1967).
21. GOING, R., SAWINSKI, V. J.: Frequency of use the rubber dam: a survey. J Am Dent Assoc 75, 158 (1968).
22. GREENE, H. G.: Modification of an endodontic filmholder. J Am Dent Assoc 87 (11), 1229 (1973).
23. GROSSMAN, L. I.: Prevention in endodontic practice. J Am Dent Assoc 82, 395 (1989).
24. GULDENER, P. H. A., BEISSNER, H.: 5 Jahre Erfahrung mit der Langtubus-Röntgentechnik. Schweiz Monatsschr Zahnmed 80 (2), 139 (1970).
25. GULDENER, P. H., LANGELAND, K.: Endodontie. Diagnostik und Therapie. 2. Aufl. Thieme, Stuttgart (1987).
26. HAGGE, M. S., PIERSON, W. P., MAYHEW, R. B., COWAN, R. D., DUKE, E. S.: Use of rubber dam among general dentists in the united states air force dental service. Oper Dent 9 (4), 122 (1984).
27. HAWE NEOS DENTAL: Hawe X-Ray Film Holder System, Herstellerhinweis, Bioggio/Schweiz (2000).
28. HELLWIG, E., KLIMEK, J., ATTIN, T.: Einführung in die Zahnerhaltung. Urban & Schwarzenberg, München (1995).

29. HERMSEN, K. P., LINLOW, M. O.: Desinfection of rubber dam and tooth surface before endodontic therapy. *Gen Dent* 1, 355 (1987).
30. HICKEL, R., VOß, A.: Die Röntgenmeßaufnahme. Instrumentenstärke und Filmeempfindlichkeit. *Dtsch Zahnärztl Z* 41, 1101 (1986).
31. HÜLSMANN, M.: Endodontie. Thieme, Stuttgart (1993).
32. IHDEN, K., REICHART, P.: Filmhaltersystem für Meßaufnahmen bei Wurzelkanalbehandlungen. *Die Quintessenz* 39, 2135 (1988).
33. INGLE, J. I., TAINTOR, J. F.: Endodontics. 3 Aufl., Lea & Febiger, Philadelphia (1976).
34. JENSEN, T. W.: Beam-guiding instruments for simplified dental radiography with a training device. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endodod* 46 (7), 146 (1978).
35. JENSEN, T. W.: Standardisierte Röntgendiagnostik in der Endodontie mit optimalem Röntgenschutz. *ZMK* 15 (11), 707 (1999).
36. KAHL-NIEKE, B.: Einführung in die Kieferorthopädie. Urban & Schwarzenberg, München (1995).
37. KAHN, H.: Modified rubber-dam holder to simplify taking roentgenograms during endodontic therapy. *J Am Dent Assoc* 695, 695 (1964).
38. KAMANN, W. K.: Kofferdam – Wandel von Indikation und Technik. *Schweiz Monatss Zahnmed* 108(8), 771 (1998).
39. KENTZLER-KASCHNER DENTAL GMBH: Das RWT^o-Röntgensystem. Herstellerhinweis, Ellwangen/Jagst (1997).
40. KETTERL, W., Geurtsen, W., Heidemann, D.: Endodontie – Grundlagen und Therapie. In Ketterl, W., Einwaag, J.: *Zahnerhaltung*. Band 3, 3. Aufl., Urban & Schwarzenberg, München (1993).
41. KLAUSER, R.: Super Bite – Ein neues Filmhaltersystem für periapikale Röntgenaufnahmen. *Die Quintessenz* 43, 485 (1992).
42. KRATOCHVIL, F. J., LONGTON, R. W.: X-Ray filter head and film holder. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endodod* 15 (8), 1001 (1962).
43. KREMERS, L., BRISEÑO, B.: Kofferdam – Hilfe oder Hindernis für eine erfolgreiche Behandlung. In: DGZMK (Herausgeber): *Akademie Praxis und Wissenschaft in der DGZMK: Endodontie. Neue Erkenntnisse aus Praxis und Wissenschaft*. Schriftreihe APW. Hanser, München (1993).

44. LANGLAND, O. E., SIPPY, F. H.: A study of radiographic longitudinal distortion of anterior teeth using the paralleling technique. *Am Acad Oral Roentg* 22 (6), 737 (1966).
45. LAVELLE, C. L. B.: Maxillary and mandibular tooth size in different racial groups and different occlusal categories. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 61, 29 (1972).
46. LEHMANN, K. M., HELLWIG, E.: Einführung in die restaurative Zahnheilkunde. Urban & Schwarzenberg, München (1993).
47. LERNER, C.: Filmhaltersysteme für intraorale Aufnahmetechniken. Med Diss, Berlin (1992).
48. MEDWEDEFF, F. M.: Dental x-ray shield and film holding support having a bite-receiving member. United States Patent 3 304 422 (1964).
49. MILES D. A., VAN DIS M. L., RAZMUS T. F.: Basic Principles of Oral and Maxillofacial Radiography. Saunders, Philadelphia (1992).
50. MOURSHED, F., MCKINNEY, A. L.: A comparison of paralleling and bisecting radiographic techniques as experienced by dental students. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endodod* 33 (11), 284 (1972).
51. OP-D-OP INCORPORATION, Herstellerhinweis, Kalifornien/USA (2000).
52. PAQUETTE, O. E., SEGALL, R. O., RIO DEL, C. L.: Modified film holder for endodontics. *J Endod* 5, 158 (1979).
53. PASLER, F. A.: Die radiologische Darstellung des Alveolarkammes. *Dtsch Zahnärztl Z* 40, 707 (1985).
54. PASLER, F. A.: Zahnärztliche Radiologie. 3. Aufl., Thieme, Stuttgart (1995).
55. PECCHIONI, A.: Die Wurzelkanalbehandlung. Eine praktische Anleitung für Studierende und Praktiker. Quintessenz, Berlin (1982).
56. PITTS, N. B.: Film-holding, beam-aiming and collimating devices as an aid to standardization in intraoral radiology: a review. *J Dent* 12 (1), 36 (1984).
57. RIETHE, P.: Üble Zwischenfälle bei der konservierenden Behandlung. In Schwenzer, N.: Zahn- Mund- und Kieferheilkunde. Band 4, Thieme Stuttgart (1985).
58. ROSS, V. A., ISAACSON, R. J., GERMANE, N., RUBENSTEIN, L. K.: Influence of vertical growth pattern on faciolingual inclinations and treatment mechanics. *Am J Orthod* 98 (5), 422 (1990).

59. RUETHER, J. E.: The isolation of the teeth and the protection of the patient during endodontic treatment. *Int Endodont J* 16, 62 (1983).
60. RUSHTON, V. E., HORNER, K.: The acceptability of five periapical radiographic techniques to dentists and patients. *Br Dent J* 177, 325 (1994).
61. SAMARANAYAKE, L. P., REID, J.: The efficacy of rubber dam isolation in reducing atmospheric bacterial contamination. *J Dent Child* 56, 442 (1989).
62. SAUERWEIN, E.: *Zahnerhaltungskunde. Kariestherapie – Endodontie – Parodontologie. Eine Einführung.* 3. Aufl., Thieme, Stuttgart (1976).
63. SCHÄFER, E.: Aktuelle Konzepte zur Wurzelkanalaufbereitung und zur medikamentösen Versorgung des Wurzelkanals. *ZMK* 15 (11), 694 (1999).
64. SCHMAGE, P., NERGIZ, I., PFEIFFER, P., PLATZER, U.: Bildqualität bei drei digitalen Radiographiegeräten. *Dtsch Zahnärztl Z* 51, 238 (1996).
65. SCHROEDER, A.: *Endodontie. Ein Leitfaden für Studium und Praxis.* 2. Aufl., Quintessenz, Berlin (1981).
66. SCHROEDER, T., PLATZER, U., ROTHER, U.: Die klinische Anwendung des Digo-ra®-Systems in der Endodontie. 5th Eur Congr on Dental and MaxilloFacial Radiol. (1995).
67. SCHUMACHER, G. H.: *Anatomie. Lehrbuch und Atlas.* Johann Ambrosius Barth, Leipzig (1991).
68. SONNABEND, E.: Zum Röntgenbefund im Rahmen der Endodontie. *Dtsch Zahnärztl Z* 30, 313 (1975).
69. SONNABEND, E.: *Das Röntgenbild in der zahnärztlichen Praxis.* Urban & Schwarzenberg, München (1989).
70. STRÜBIG, W.: *Geschichte der Zahnheilkunde.* Deutscher Ärzte-Verlag, Köln (1989).
71. SUNDQVIST, G.: Mikrobiologie in der Endodontie und die Bedeutung der Asepsis. In: *DGZMK: Akademie Praxis und Wissenschaft in der DGZMK: Endodontie. Neue Erkenntnisse aus der Praxis und Wissenschaft.* Schriftreihe APW, Hanser, München (1993).
72. THODEN VAN VELZEN, S. K., GENET, J. M., KERSTEN, H. W., MORER, W. R., WESSELINK, P. R.: *Endodontie.* Deutscher Ärzte-Verlag, Köln (1988).
73. TRONSTAD, L.: *Clinical Endodontics. A Textbook.* Thieme, Stuttgart (1991).

74. VANDE VOORDE, H. E., MOLINE, I., BJORNDAL, A. M.: Estimating endodontic`working length` with paralleling radiographs. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endodod 27 (1), 106 (1969).
75. VERHOEVEN, J. W., VAN AKEN, J., VAN DER WEERDT, G. P.: The lenght of the teeth: A statistical analysis of the difference in lenght of human teeth for radiological purposes, Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endodod 47, 193 (1979).
76. WILLIS, T. G.: Endo-Pro. Endodontic filmholder. Anwendungshinweis, USA (1998).
77. WINKLER, R.: Kofferdam in Theorie und Praxis. Quintessenz, Berlin (1991).
78. WINKLER, R.: Sanford Christie Barnum – Der Erfinder des Kofferdam. Die Quintessenz 3, 483 (1991).
79. WÖRNER, H.: Röntgen beim Zahnarzt. Deutscher Ärzte-Verlag, Köln (1996).
80. ZEPPENFELD, W.: Kofferdamanlegen – praxisgerecht in 30 Sekunden. Quintessenz 36 (9), 1691 (1985).
81. ZEPPENFELD, W.: Praxisgerechte Kofferdamtechnik. Zahnärztl Mitt 80 (13), 1486 (1990).

8 ANHANG

Tabelle 11: Darstellung der Meßergebnisse für alle Versuchsreihen und alle Zähne für die Projektionen auf dem Zahnfilm und mit dem Digora-Verfahren

Zahn	Projektion, Aufnahmezahl	Zahnlänge [mm]	Arbeits- länge [mm]
Zahn 21	Planparallele Nahprojektion+Zahnfilm 1	23,3	22,4
	Planparallele Nahprojektion+Zahnfilm 2	23,3	22,3
	Planparallele Nahprojektion+Zahnfilm 3	23,5	22,5
	Planparallele Nahprojektion+Zahnfilm 4	23,5	22,5
	Planparallele Nahprojektion+Zahnfilm 5	23,5	22,5
	Planparallele Nahprojektion+Zahnfilm 6	23,5	22,5
	Planparallele Nahprojektion+Zahnfilm 7	23,7	22,6
	Planparallele Nahprojektion+Zahnfilm 8	23,5	22,5
	Planparallele Nahprojektion+Zahnfilm 9	23,5	22,4
	Planparallele Nahprojektion+Zahnfilm 10	23,5	22,5
	Planparallele Nahprojektion+Digora 1	24,7	23,4
	Planparallele Nahprojektion+Digora 2	24,6	23,2
	Planparallele Nahprojektion+Digora 3	24,4	23,4
	Planparallele Nahprojektion+Digora 4	24,7	23,2
	Planparallele Nahprojektion+Digora 5	24,6	23,4
	Planparallele Nahprojektion+Digora 6	24,6	23,1
	Planparallele Nahprojektion+Digora 7	24,6	23,3
	Planparallele Nahprojektion+Digora 8	24,6	23,3
	Planparallele Nahprojektion+Digora 9	24,5	23,2
	Planparallele Nahprojektion+Digora 10	24,6	23,6
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 1	25,5	24,3
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 2	25,2	24,6
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 3	25,3	24,2
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 4	25,6	24,5
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 5	25,5	24,1
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 6	25,4	24,2
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 7	25,4	24,1
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 8	25,4	24,1
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 9	26	24,6
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 10	25,9	24,4
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Digora 1	26,5	25,4
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Digora 2	26,4	25,2
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Digora 3	25,8	24,5
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Digora 4	25,9	24,7
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Digora 5	26,5	25,2
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Digora 6	25,9	24,9
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Digora 7	26,1	25
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Digora 8	26,4	25,4
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Digora 9	26,6	25,4
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Digora 10	26,8	25,5
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 1	25,7	24,5
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 2	25,7	24,2
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 3	25,5	24,2

Zahn	Projektion, Aufnahmezahl	Zahnlänge [mm]	Arbeits- länge [mm]	
Zahn 21	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 4	25,8	24,7	
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 5	25,7	24,7	
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 6	25,8	24,7	
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 7	25,8	24,6	
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 8	25,7	24,1	
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 9	25,6	24,2	
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 10	25,3	24	
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Digora 1	26,3	25	
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Digora 2	26,2	25	
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Digora 3	25,9	25	
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Digora 4	26,1	25,1	
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Digora 5	26,5	25,5	
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Digora 6	26	25	
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Digora 7	25,9	25	
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Digora 8	26,1	25,1	
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Digora 9	26,1	25,1	
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Digora 10	25,9	24,9	
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 1	24,6	24,2	
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 2	24,9	23,8	
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 3	24,7	23,7	
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 4	24,6	23,6	
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 5	24,9	23,8	
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 6	24,8	23,7	
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 7	25,1	24,1	
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 8	24,5	23,3	
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 9	24,8	23,6	
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 10	25	23,4	
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Digora 1	26	25	
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Digora 2	25,7	24,7	
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Digora 3	26,1	24,7	
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Digora 4	25,7	24,8	
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Digora 5	25,6	24,6	
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Digora 6	25,8	24,8	
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Digora 7	25,9	24,9	
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Digora 8	25,8	24,7	
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Digora 9	25,9	25	
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Digora 10	26,1	25	
	Zahn 24	Planparallele Nahprojektion+Zahnfilm 1	19,1	18,1
		Planparallele Nahprojektion+Zahnfilm 2	19,2	18,2
		Planparallele Nahprojektion+Zahnfilm 3	19,1	18,2
Planparallele Nahprojektion+Zahnfilm 4		19,1	18,2	
Planparallele Nahprojektion+Zahnfilm 5		19,2	18,1	
Planparallele Nahprojektion+Zahnfilm 6		19	18,1	
Planparallele Nahprojektion+Zahnfilm 7		19,2	18,1	
Planparallele Nahprojektion+Zahnfilm 8		19,2	18	
Planparallele Nahprojektion+Zahnfilm 9		19,2	18,1	
Planparallele Nahprojektion+Zahnfilm 10		19,2	18,1	

Zahn	Projektion, Aufnahmezahl	Zahnlänge [mm]	Arbeits- länge [mm]
Zahn 24	Planparallele Nahprojektion+Digora 1	20,7	19,2
	Planparallele Nahprojektion+Digora 2	20,2	19,1
	Planparallele Nahprojektion+Digora 3	20,2	19,1
	Planparallele Nahprojektion+Digora 4	20,2	19,2
	Planparallele Nahprojektion+Digora 5	20,1	19
	Planparallele Nahprojektion+Digora 6	20,2	19,1
	Planparallele Nahprojektion+Digora 7	20,2	19
	Planparallele Nahprojektion+Digora 8	20,2	19,1
	Planparallele Nahprojektion+Digora 9	20,2	19,1
	Planparallele Nahprojektion+Digora 10	20,2	19,1
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 1	19,3	18,3
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 2	19,5	18,8
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 3	20	18,9
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 4	19,8	18,5
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 5	19,1	18,2
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 6	19,5	18,6
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 7	19,5	18,7
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 8	19,6	18,7
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 9	19,6	18,8
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 10	19,4	18,5
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Digora 1	22,1	20,6
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Digora 2	22,1	20,8
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Digora 3	21,8	20,7
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Digora 4	21,6	20,3
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Digora 5	21,6	19,7
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Digora 6	22,1	20,7
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Digora 7	21,9	20,6
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Digora 8	22,1	20,9
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Digora 9	22	20,6
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Digora 10	22,1	20,5
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 1	20,1	19
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 2	20	19
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 3	20,1	19,1
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 4	20,2	19,1
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 5	20	19
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 6	20,2	19
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 7	20	19
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 8	20	19
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 9	20	19,1
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 10	19,9	19
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Digora 1	21	19,8
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Digora 2	21	19,6
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Digora 3	21,6	20,1
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Digora 4	21,5	19,9
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Digora 5	21,4	20,1
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Digora 6	21,6	20,3

Zahn	Projektion, Aufnahmezahl	Zahnlänge [mm]	Arbeits- länge [mm]	
Zahn 24	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Digora 7	21,6	20,2	
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Digora 8	21,5	20,1	
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Digora 9	21,2	20,2	
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Digora 10	21,3	20	
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 1	20	19	
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 2	20,2	19,2	
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 3	20	19	
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 4	20	19	
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 5	20	19	
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 6	19,8	18,9	
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 7	19,9	18,9	
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 8	20	19	
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 9	20	19	
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 10	20	18,8	
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Digora 1	19,9	18,9	
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Digora 2	20,9	19,3	
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Digora 3	20,7	19,2	
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Digora 4	20,7	19,4	
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Digora 5	20,5	19,2	
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Digora 6	20,4	18,9	
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Digora 7	20,6	19,3	
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Digora 8	20,3	19	
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Digora 9	20,5	19,1	
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Digora 10	20,6	19,2	
	Zahn 16 m-b WK	Planparallele Nahprojektion+Zahnfilm 1	22,1	20,7
		Planparallele Nahprojektion+Zahnfilm 2	22	20,7
		Planparallele Nahprojektion+Zahnfilm 3	22,3	20,8
		Planparallele Nahprojektion+Zahnfilm 4	22,3	20,5
		Planparallele Nahprojektion+Zahnfilm 5	22,5	20,7
		Planparallele Nahprojektion+Zahnfilm 6	22,7	20,6
Planparallele Nahprojektion+Zahnfilm 7		22,5	20,7	
Planparallele Nahprojektion+Zahnfilm 8		22,4	20,8	
Planparallele Nahprojektion+Zahnfilm 9		22,6	20,8	
Planparallele Nahprojektion+Zahnfilm 10		22,6	20,8	
Planparallele Nahprojektion+Digora 1		23,1	21,3	
Planparallele Nahprojektion+Digora 2		23,1	21,3	
Planparallele Nahprojektion+Digora 3		23,2	21,2	
Planparallele Nahprojektion+Digora 4		22,9	21,2	
Planparallele Nahprojektion+Digora 5		22,9	21,3	
Planparallele Nahprojektion+Digora 6		22,8	21,2	
Planparallele Nahprojektion+Digora 7		23,2	21,4	
Planparallele Nahprojektion+Digora 8		23,1	21,4	
Planparallele Nahprojektion+Digora 9		23,1	21,3	
Planparallele Nahprojektion+Digora 10		23,1	21,4	
EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 1		22,4	20,5	
EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 2		22,5	20,5	

Zahn	Projektion, Aufnahmezahl	Zahnlänge [mm]	Arbeits- länge [mm]
Zahn 16 m-b WK	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 3	22,3	20,2
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 4	22,5	20,1
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 5	22	19,4
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 6	22	19,6
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 7	22,3	19,7
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 8	22,6	19,6
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 9	22,3	19,8
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 10	22,3	19,6
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Digora 1	22,3	20,1
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Digora 2	23,1	21,2
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Digora 3	22,5	20,2
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Digora 4	22,9	20,4
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Digora 5	23,3	20,4
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Digora 6	22,5	19,5
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Digora 7	23,2	20,7
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Digora 8	22,9	20,6
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Digora 9	23,3	20,8
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Digora 10	23,6	20,6
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 1	22,6	20,4
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 2	22,8	20,7
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 3	22,8	20,7
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 4	22,7	20,6
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 5	22,7	20,6
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 6	22,9	20,9
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 7	23	20,9
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 8	22,9	20,6
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 9	22,9	20,6
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 10	22,8	19,8
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Digora 1	23,7	20,9
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Digora 2	23,2	20,5
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Digora 3	23,7	22,1
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Digora 4	23,3	20,7
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Digora 5	23	20,6
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Digora 6	23,2	21
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Digora 7	23,2	20,9
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Digora 8	23,4	20,9
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Digora 9	23,2	21,2
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Digora 10	23,4	21,2
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 1	21,8	20,7
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 2	22,8	20,8
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 3	22,7	20
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 4	22,6	20,6
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 5	22,6	20,5
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 6	22,3	20
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 7	22,3	20,1
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 8	22,4	20,2

Zahn	Projektion, Aufnahmezahl	Zahnlänge [mm]	Arbeits- länge [mm]
Zahn 16 m-b WK	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 9	22,3	20,2
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 10	22,6	20,6
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Digora 1	22,6	20
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Digora 2	22,9	20,8
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Digora 3	23	22
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Digora 4	22,6	21,1
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Digora 5	23,1	20,9
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Digora 6	22,6	20,1
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Digora 7	23,2	21
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Digora 8	23	20,4
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Digora 9	23,2	20,8
Zahn 16 b-d WK	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Digora 10	23,1	20,8
	Planparallele Nahprojektion+Zahnfilm 1	21,8	20,6
	Planparallele Nahprojektion+Zahnfilm 2	22,3	20,8
	Planparallele Nahprojektion+Zahnfilm 3	21,8	20,5
	Planparallele Nahprojektion+Zahnfilm 4	21,8	20,5
	Planparallele Nahprojektion+Zahnfilm 5	21,7	20,5
	Planparallele Nahprojektion+Zahnfilm 6	21,7	20,5
	Planparallele Nahprojektion+Zahnfilm 7	21,7	20,5
	Planparallele Nahprojektion+Zahnfilm 8	21,7	20,4
	Planparallele Nahprojektion+Zahnfilm 9	21,7	20,5
	Planparallele Nahprojektion+Zahnfilm 10	21,7	20,4
	Planparallele Nahprojektion+Digora 1	22,7	21,5
	Planparallele Nahprojektion+Digora 2	23,2	21,2
	Planparallele Nahprojektion+Digora 3	22,7	21,4
	Planparallele Nahprojektion+Digora 4	22,5	21,3
	Planparallele Nahprojektion+Digora 5	22,7	21,3
	Planparallele Nahprojektion+Digora 6	22,6	21,4
	Planparallele Nahprojektion+Digora 7	22,7	21,3
	Planparallele Nahprojektion+Digora 8	22,7	21,4
	Planparallele Nahprojektion+Digora 9	22,7	21,3
	Planparallele Nahprojektion+Digora 10	22,6	21,3
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 1	22,3	20,8
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 2	22,3	21
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 3	22	20,6
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 4	22,1	20,5
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 5	21,7	20,3
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 6	21,8	20,8
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 7	21,7	20,5
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 8	22	20,6
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 9	21,8	20,6
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 10	22	20,6
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Digora 1	22,2	20,7
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Digora 2	22,8	21,3
EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Digora 3	22,1	20,6	

Zahn	Projektion, Aufnahmezahl	Zahnlänge [mm]	Arbeits- länge [mm]
Zahn 16 b-d WK	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Digora 4	22,7	20,9
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Digora 5	22,7	21,1
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Digora 6	22,5	20,5
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Digora 7	22,7	21,1
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Digora 8	22,5	20,9
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Digora 9	23	21,6
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Digora 10	22,7	21,1
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 1	22,4	20
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 2	22,4	20
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 3	22,3	20,1
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 4	22,1	20,7
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 5	22,2	20,7
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 6	22,4	20,7
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 7	22,1	20,7
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 8	22	20,8
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 9	22,1	20,9
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 10	22	20,8
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Digora 1	23,1	21,6
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Digora 2	22,8	21,1
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Digora 3	23	21,6
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Digora 4	22,8	21,3
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Digora 5	22,6	221,4
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Digora 6	22,7	21,4
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Digora 7	22,7	21,4
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Digora 8	23,1	21,5
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Digora 9	22,6	21
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Digora 10	22,9	21,6
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 1	21	20,1
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 2	22,2	21,1
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 3	21,9	20,7
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 4	22,1	20,8
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 5	22	20,4
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 6	22	20,5
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 7	22,3	20,4
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 8	22,3	20,6
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 9	22	20,7
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 10	22,2	20,9
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Digora 1	22,2	20,9
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Digora 2	22,7	21,1
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Digora 3	22,7	21,1
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Digora 4	22,4	21
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Digora 5	22,8	21,4
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Digora 6	22,6	21
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Digora 7	22,8	21,2
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Digora 8	22,7	21,2
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Digora 9	23,1	21,3
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Digora 10	22,6	21,2

Zahn	Projektion, Aufnahmezahl	Zahnlänge [mm]	Arbeits- länge [mm]
Zahn 16 p WK	Planparallele Nahprojektion+Zahnfilm 1	22,7	21,1
	Planparallele Nahprojektion+Zahnfilm 2	22,7	21,1
	Planparallele Nahprojektion+Zahnfilm 3	22,7	21,1
	Planparallele Nahprojektion+Zahnfilm 4	22,6	21
	Planparallele Nahprojektion+Zahnfilm 5	22,6	20,8
	Planparallele Nahprojektion+Zahnfilm 6	22,7	20,8
	Planparallele Nahprojektion+Zahnfilm 7	22,7	20,8
	Planparallele Nahprojektion+Zahnfilm 8	22,7	21,2
	Planparallele Nahprojektion+Zahnfilm 9	22,7	20,8
	Planparallele Nahprojektion+Zahnfilm 10	22,7	21
	Planparallele Nahprojektion+Digora 1	23,7	22
	Planparallele Nahprojektion+Digora 2	23,6	21,8
	Planparallele Nahprojektion+Digora 3	23,5	21,8
	Planparallele Nahprojektion+Digora 4	23,6	21,6
	Planparallele Nahprojektion+Digora 5	23,6	21,6
	Planparallele Nahprojektion+Digora 6	23,6	21,7
	Planparallele Nahprojektion+Digora 7	23,6	21,8
	Planparallele Nahprojektion+Digora 8	23,6	21,8
	Planparallele Nahprojektion+Digora 9	23,4	21,8
	Planparallele Nahprojektion+Digora 10	23,5	21,8
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 1	22,1	21,5
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 2	22,3	21,6
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 3	22,2	21,6
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 4	22,3	21,5
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 5	22,2	21,6
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 6	22,3	21,6
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 7	22,2	21,7
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 8	22,4	21,7
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 9	22,3	21,4
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 10	22,3	21,4
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Digora 1	25,4	22,4
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Digora 2	24,2	22,4
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Digora 3	23,2	21,8
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Digora 4	23,5	22,5
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Digora 5	24,2	22,3
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Digora 6	23,9	22,3
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Digora 7	23,6	22,3
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Digora 8	23,6	21,4
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Digora 9	24,3	23
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Digora 10	24,3	22,1
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 1	22,3	21,2
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 2	23,4	21,3
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 3	23,3	21,2
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 4	23,5	21,4

Zahn	Projektion, Aufnahmezahl	Zahnlänge [mm]	Arbeits- länge [mm]
Zahn 16 p WK	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 5	23,2	21,3
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 6	23,2	21,8
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 7	23	21,8
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 8	23	21,6
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 9	23,3	21,1
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 10	23	21,6
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Digora 1	24,2	22,8
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Digora 2	24	22,5
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Digora 3	24,1	22,4
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Digora 4	24,4	22,8
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Digora 5	23,9	22,2
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Digora 6	23,9	22,4
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Digora 7	23,5	22
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Digora 8	24,3	22,4
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Digora 9	23,8	21,8
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Digora 10	23,9	21,8
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 1	21,3	19
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 2	22,9	21,1
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 3	23	21,6
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 4	22,6	20,8
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 5	22,4	21,8
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 6	21,8	21,7
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 7	21,8	21,6
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 8	22,2	21,6
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 9	23	21,7
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 10	21,3	20,6
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Digora 1	23,9	22,2
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Digora 2	22,9	22,2
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Digora 3	24,3	22,4
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Digora 4	23,8	22,3
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Digora 5	23,6	21,9
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Digora 6	23,8	22,3
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Digora 7	23,9	22
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Digora 8	24	22,4
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Digora 9	24	22,1
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Digora 10	23,7	21,9
Zahn 41	Planparallele Nahprojektion+Zahnfilm 1	25,2	24,5
	Planparallele Nahprojektion+Zahnfilm 2	25,3	24,5
	Planparallele Nahprojektion+Zahnfilm 3	25,3	24,8
	Planparallele Nahprojektion+Zahnfilm 4	25,3	24,7
	Planparallele Nahprojektion+Zahnfilm 5	25,3	24,6
	Planparallele Nahprojektion+Zahnfilm 6	25,3	24,6
	Planparallele Nahprojektion+Zahnfilm 7	25,4	24,6
	Planparallele Nahprojektion+Zahnfilm 8	25,3	24,3
	Planparallele Nahprojektion+Zahnfilm 9	25,3	24,3
	Planparallele Nahprojektion+Zahnfilm 10	25,3	24,3

Zahn	Projektion, Aufnahmezahl	Zahnlänge [mm]	Arbeits- länge [mm]
Zahn 41	Planparallele Nahprojektion+Digora 1	25,5	26,3
	Planparallele Nahprojektion+Digora 2	26,3	25,6
	Planparallele Nahprojektion+Digora 3	26,3	25,6
	Planparallele Nahprojektion+Digora 4	26,3	25,6
	Planparallele Nahprojektion+Digora 5	26,3	25,7
	Planparallele Nahprojektion+Digora 6	26,4	25,6
	Planparallele Nahprojektion+Digora 7	26,4	25,6
	Planparallele Nahprojektion+Digora 8	26,3	25,5
	Planparallele Nahprojektion+Digora 9	26,5	25,6
	Planparallele Nahprojektion+Digora 10	26,2	25,5
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 1	26,3	25,5
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 2	26,4	25,6
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 3	26,5	25,9
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 4	26,4	25,8
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 5	27,2	26,6
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 6	27	26,1
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 7	27,2	26,4
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 8	26,4	25,8
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 9	26,9	26,4
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 10	26,7	26,1
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Digora 1	28,1	27,4
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Digora 2	28,1	27,4
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Digora 3	28,1	27,4
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Digora 4	28,3	27,7
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Digora 5	28,2	27,2
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Digora 6	28,1	27,4
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Digora 7	28	27,2
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Digora 8	28,2	27,4
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Digora 9	28,1	27,2
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Digora 10	28,2	27,5
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 1	26,6	26,1
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 2	26,5	26
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 3	26,6	26
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 4	27	26,6
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 5	26,7	26,3
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 6	26,2	26,1
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 7	26,7	26,2
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 8	26,4	25,6
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 9	26,8	26,2
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 10	26,5	26,1
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Digora 1	27,9	27,2
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Digora 2	27,9	27,1
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Digora 3	27,9	27,2
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Digora 4	28	27,2
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Digora 5	27,9	27,1
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Digora 6	27,9	27,2
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Digora 7	27,9	27,1
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Digora 8	27,8	27,2
EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Digora 9	27,8	27,2	

Zahn	Projektion, Aufnahmezahl	Zahnlänge [mm]	Arbeits- länge [mm]	
Zahn 41	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Digora 10	27,9	27,2	
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 1	26,4	25,5	
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 2	26,5	25,7	
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 3	26,4	25,4	
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 4	26,3	25,4	
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 5	26,1	25,1	
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 6	26,2	25,6	
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 7	26,3	25,5	
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 8	26,3	25,6	
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 9	26,3	25,7	
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 10	26,2	25,5	
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Digora 1	27,7	27	
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Digora 2	27,6	26,9	
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Digora 3	26,9	26,4	
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Digora 4	27,6	26,9	
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Digora 5	27,9	27,2	
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Digora 6	27,8	27,2	
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Digora 7	27,4	26,7	
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Digora 8	27,2	26,5	
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Digora 9	26,9	26,4	
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Digora 10	26,7	26,3	
	Zahn 45	Planparallele Nahprojektion+Zahnfilm 1	27	26,1
		Planparallele Nahprojektion+Zahnfilm 2	27,1	26,2
Planparallele Nahprojektion+Zahnfilm 3		27	26,1	
Planparallele Nahprojektion+Zahnfilm 4		27	26	
Planparallele Nahprojektion+Zahnfilm 5		27,1	26,1	
Planparallele Nahprojektion+Zahnfilm 6		27	26	
Planparallele Nahprojektion+Zahnfilm 7		27	26	
Planparallele Nahprojektion+Zahnfilm 8		27	26	
Planparallele Nahprojektion+Zahnfilm 9		27,2	26,3	
Planparallele Nahprojektion+Zahnfilm 10		27	26,1	
Planparallele Nahprojektion+Digora 1		28,6	27,6	
Planparallele Nahprojektion+Digora 2		28,2	27,5	
Planparallele Nahprojektion+Digora 3		28,2	27,6	
Planparallele Nahprojektion+Digora 4		28,2	27,6	
Planparallele Nahprojektion+Digora 5		28,3	27,5	
Planparallele Nahprojektion+Digora 6		28,3	27,5	
Planparallele Nahprojektion+Digora 7		28,4	27,4	
Planparallele Nahprojektion+Digora 8		28,4	27,5	
Planparallele Nahprojektion+Digora 9		28,3	27,4	
Planparallele Nahprojektion+Digora 10		28,4	27,6	
EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 1		27,5	26,4	
EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 2		27,4	26,5	
EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 3		27	26,1	
EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 4	27,4	26,7		
EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 5	27,7	26,8		
EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 6	27,4	26,7		
EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 7	27,4	26,7		
EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 8	27,4	26,7		

Zahn	Projektion, Aufnahmezahl	Zahnlänge [mm]	Arbeits- länge [mm]
Zahn 45	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 9	27,6	26,8
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 10	27,6	26,8
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Digora 1	28,6	28
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Digora 2	29	28,1
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Digora 3	28,1	27,5
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Digora 4	28	27,6
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Digora 5	28,9	28,1
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Digora 6	28,9	28,2
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Digora 7	29,2	28,4
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Digora 8	28,6	28
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Digora 9	29	28,1
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Digora 10	29,1	28,2
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 1	27	26,6
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 2	28	27,5
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 3	27,1	26,4
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 4	26,9	26
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 5	27,4	26,5
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 6	27,2	26,2
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 7	27	26,2
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 8	26,6	25,6
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 9	27	26,3
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 10	27,5	27
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Digora 1	29,3	28,4
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Digora 2	28,7	28,1
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Digora 3	28,5	27,8
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Digora 4	28,9	28,1
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Digora 5	28,7	28,1
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Digora 6	29,1	28,4
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Digora 7	29,3	28,3
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Digora 8	28,9	28
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Digora 9	29,2	28,2
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Digora 10	29,5	28,5
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 1	27,5	26,7
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 2	27,5	27
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 3	27,3	26,4
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 4	27,1	26,4
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 5	27,2	26,6
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 6	27,1	26,4
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 7	27,1	26,4
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 8	27,3	26,5
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 9	27	26,4
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 10	27,1	26,3
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Digora 1	28,3	27,7
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Digora 2	28,8	28
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Digora 3	28,3	27,6
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Digora 4	28,4	27,6
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Digora 5	29,2	28,5
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Digora 6	29	28
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Digora 7	29	28,1

Zahn	Projektion, Aufnahmezahl	Zahnlänge [mm]	Arbeits- länge [mm]
Zahn 45	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Digora 8	29	28,1
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Digora 9	28,5	27,5
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Digora 10	28,5	27,7
Zahn 47 m-b	Planparallele Nahprojektion+Zahnfilm 1	22,5	20,8
	Planparallele Nahprojektion+Zahnfilm 2	22,3	20,9
	Planparallele Nahprojektion+Zahnfilm 3	22,4	21
	Planparallele Nahprojektion+Zahnfilm 4	22,3	20,9
	Planparallele Nahprojektion+Zahnfilm 5	22,3	21
	Planparallele Nahprojektion+Zahnfilm 6	22,6	21
	Planparallele Nahprojektion+Zahnfilm 7	22,4	20,6
	Planparallele Nahprojektion+Zahnfilm 8	22,5	20,6
	Planparallele Nahprojektion+Zahnfilm 9	22,7	20,8
	Planparallele Nahprojektion+Zahnfilm 10	22,7	20,8
	Planparallele Nahprojektion+Digora 1	21,5	20,9
	Planparallele Nahprojektion+Digora 2	21,8	21,1
	Planparallele Nahprojektion+Digora 3	22,7	21
	Planparallele Nahprojektion+Digora 4	22,5	21
	Planparallele Nahprojektion+Digora 5	22,5	21
	Planparallele Nahprojektion+Digora 6	22,3	20,8
	Planparallele Nahprojektion+Digora 7	22,5	21,1
	Planparallele Nahprojektion+Digora 8	22,4	21,9
	Planparallele Nahprojektion+Digora 9	22,3	21
	Planparallele Nahprojektion+Digora 10	22,4	22,6
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 1	22,7	21,1
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 2	23	21,2
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 3	23	21,2
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 4	22,8	21
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 5	22,9	21
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 6	22,8	20,8
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 7	23	21
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 8	22,7	21,2
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 9	23	21,3
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 10	22,7	21,2
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Digora 1	23,6	21,8
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Digora 2	23,1	21,4
EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Digora 3	23,2	21,5	
EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Digora 4	22,8	21,5	
EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Digora 5	22,6	21,6	
EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Digora 6	22,7	21,8	
EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Digora 7	22,5	21,6	
EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Digora 8	22,9	22	
EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Digora 9	22,9	21,9	
EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Digora 10	22,5	21,7	
EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 1	23,3	21,8	
EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 2	23,2	21,8	
EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 3	22,8	21,2	
EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 4	22,8	21,2	
EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 5	22,3	21,3	

Zahn	Projektion, Aufnahmezahl	Zahnlänge [mm]	Arbeits- länge [mm]
Zahn 47 m-b WK	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 6	22,8	21,2
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 7	23	21,2
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 8	22,6	21,4
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 9	23	21,4
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 1	22,8	21,4
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Digora 1	23,4	21,9
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Digora 2	23	21,8
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Digora 3	22,6	21
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Digora 4	23,3	22,9
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Digora 5	22,6	21,9
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Digora 6	23	22,3
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Digora 7	23,5	22
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Digora 8	23,5	21,7
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Digora 9	23,1	21,4
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Digora 10	22,3	21,6
	EndoRay II-Kofferdam-Visierring+Zahnfilm 1	22,6	20,8
	EndoRay II-Kofferdam-Visierring+Zahnfilm 2	22,8	20,9
	EndoRay II-Kofferdam-Visierring+Zahnfilm 3	22,7	20,9
	EndoRay II-Kofferdam-Visierring+Zahnfilm 4	22,7	21,1
	EndoRay II-Kofferdam-Visierring+Zahnfilm 5	22,7	21,1
	EndoRay II-Kofferdam-Visierring+Zahnfilm 6	23,2	21,2
	EndoRay II-Kofferdam-Visierring+Zahnfilm 7	22,7	21
	EndoRay II-Kofferdam-Visierring+Zahnfilm 8	22,8	20,8
	EndoRay II-Kofferdam-Visierring+Zahnfilm 9	22,7	21,1
	EndoRay II-Kofferdam-Visierring+Zahnfilm 10	22,7	21,1
	EndoRay II-Kofferdam-Visierring+Digora 1	23,8	22
	EndoRay II-Kofferdam-Visierring+Digora 2	23,5	21,9
	EndoRay II-Kofferdam-Visierring+Digora 3	23,6	22,2
	EndoRay II-Kofferdam-Visierring+Digora 4	22,6	221,9
	EndoRay II-Kofferdam-Visierring+Digora 5	23,5	21,9
	EndoRay II-Kofferdam-Visierring+Digora 6	23,1	22,2
	EndoRay II-Kofferdam-Visierring+Digora 7	24	22,2
	EndoRay II-Kofferdam-Visierring+Digora 8	23,7	22
	EndoRay II-Kofferdam-Visierring+Digora 9	23,4	22
EndoRay II-Kofferdam-Visierring+Digora 10	23,1	21,7	
EndoRay II+Kofferdam-Visierring+Zahnfilm 1	21,7	20,6	
EndoRay II+Kofferdam-Visierring+Zahnfilm 2	21,6	20,1	
EndoRay II+Kofferdam-Visierring+Zahnfilm 3	22	20,6	
EndoRay II+Kofferdam-Visierring+Zahnfilm 4	21,9	20,6	
Zahn 47 m-b WK	EndoRay II+Kofferdam-Visierring+Zahnfilm 5	21,8	20,6
	EndoRay II+Kofferdam-Visierring+Zahnfilm 6	21,8	20,4
	EndoRay II+Kofferdam-Visierring+Zahnfilm 7	22	20,6
	EndoRay II+Kofferdam-Visierring+Zahnfilm 8	22,6	21,1
	EndoRay II+Kofferdam-Visierring+Zahnfilm 9	22,6	21,2
	EndoRay II+Kofferdam-Visierring+Zahnfilm 10	22,2	21,1

Zahn	Projektion, Aufnahmezahl	Zahnlänge [mm]	Arbeits- länge [mm]	
Zahn 47 m-b WK	EndoRay II+Kofferdam-Visierring+Digora 1	23,3	21,8	
	EndoRay II+Kofferdam-Visierring+Digora 2	22,9	21,6	
	EndoRay II+Kofferdam-Visierring+Digora 3	23	21,6	
	EndoRay II+Kofferdam-Visierring+Digora 4	23,3	21,6	
	EndoRay II+Kofferdam-Visierring+Digora 5	22,3	20,9	
	EndoRay II+Kofferdam-Visierring+Digora 6	23,2	21,9	
	EndoRay II+Kofferdam-Visierring+Digora 7	23,1	21,6	
	EndoRay II+Kofferdam-Visierring+Digora 8	23,1	21,3	
	EndoRay II+Kofferdam-Visierring+Digora 9	23,9	21,7	
	EndoRay II+Kofferdam-Visierring+Digora 10	22,9	21,6	
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 1	22,8	21,8	
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 2	22,7	21,8	
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 3	23,5	21,5	
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 4	23	21,5	
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 5	22,8	21,5	
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 6	23	21,4	
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 7	23,1	21,4	
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 8	22,9	21,5	
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 9	23,2	21,5	
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 10	22,9	21,4	
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Digora 1	23,4	23	
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Digora 2	23,4	22,6	
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Digora 3	23,9	22,7	
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Digora 4	23,8	22,7	
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Digora 5	23,7	22,9	
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Digora 6	23,3	22,4	
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Digora 7	23,6	22,9	
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Digora 8	24,5	22,9	
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Digora 9	24,1	22,9	
	Exp. FH+Kofferdam+Visierring+Digora 10	24,1	22,9	
	Zahn 47 m-l	Planparallele Nahprojektion+Zahnfilm 1	21,8	20,2
		Planparallele Nahprojektion+Zahnfilm 2	21,5	20,3
		Planparallele Nahprojektion+Zahnfilm 3	21,5	20,2
Planparallele Nahprojektion+Zahnfilm 4		21,5	20,2	
Planparallele Nahprojektion+Zahnfilm 5		21,8	20,2	
Planparallele Nahprojektion+Zahnfilm 6		21,8	20,2	
Planparallele Nahprojektion+Zahnfilm 7		21	20,2	
Planparallele Nahprojektion+Zahnfilm 8		21,8	20,2	
Planparallele Nahprojektion+Zahnfilm 9		21,5	20,1	
Planparallele Nahprojektion+Zahnfilm 10		21,6	20,1	
Planparallele Nahprojektion+Digora 1		23,2	21,9	
Planparallele Nahprojektion+Digora 2		23,4	21,8	
Planparallele Nahprojektion+Digora 3		23,2	21,8	
Planparallele Nahprojektion+Digora 4		23,3	21,9	
Planparallele Nahprojektion+Digora 5		23,5	21,8	
Planparallele Nahprojektion+Digora 6	23,6	21,8		

Zahn	Projektion, Aufnahmezahl	Zahnlänge [mm]	Arbeits- länge [mm]
Zahn 47 m-I WK	Planparallele Nahprojektion+Digora 7	23,3	21,8
	Planparallele Nahprojektion+Digora 8	23,3	21
	Planparallele Nahprojektion+Digora 9	23,3	21,7
	Planparallele Nahprojektion+Digora 10	23,4	21,7
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 1	22,4	20,9
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 2	22,3	20,9
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 3	22,5	20,9
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 4	22,6	20,9
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 5	22,5	20,8
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 6	22,7	20,7
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 7	22,3	20,7
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 8	22,3	21,1
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 9	22,3	21,1
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 10	22	21
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Digora 1	22,5	21,4
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Digora 2	22,3	21,3
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Digora 3	22,9	21,1
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Digora 4	22,4	21
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Digora 5	21,6	21,2
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Digora 6	23,4	22,5
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Digora 7	23,4	22,4
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Digora 8	23,2	22,5
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Digora 9	23,6	22,5
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Digora 10	23,5	22,5
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 1	22,5	21
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 2	22,5	21
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 3	22,5	20,9
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 4	22,7	20,9
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 5	22,5	20,8
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 6	22,7	20,9
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 7	22,7	20,9
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 8	22,4	20,9
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 9	22,7	20,9
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 10	22,5	20,8
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Digora 1	23,3	21,5
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Digora 2	23,1	21,5
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Digora 3	22,4	21,2
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Digora 4	23	21,9
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Digora 5	23	21,4
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Digora 6	23,1	21,9
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Digora 7	22,9	21,7
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Digora 8	23,2	21,8
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Digora 9	23,3	21,7
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Digora 10	22,3	21,6
	EndoRay II-Kofferdam-Visierring+Zahnfilm 1	22,5	20,6
	EndoRay II-Kofferdam-Visierring+Zahnfilm 2	22,5	20,6
	EndoRay II-Kofferdam-Visierring+Zahnfilm 3	22,3	20,6
EndoRay II-Kofferdam-Visierring+Zahnfilm 4	21,6	20,2	

Zahn	Projektion, Aufnahmezahl	Zahnlänge [mm]	Arbeits- länge [mm]
Zahn 47 m-I WK	EndoRay II-Kofferdam-Visierring+Zahnfilm 5	22	20,4
	EndoRay II-Kofferdam-Visierring+Zahnfilm 6	22	20,7
	EndoRay II-Kofferdam-Visierring+Zahnfilm 7	22,1	20,7
	EndoRay II-Kofferdam-Visierring+Zahnfilm 8	22,2	20,7
	EndoRay II-Kofferdam-Visierring+Zahnfilm 9	22,2	20,7
	EndoRay II-Kofferdam-Visierring+Zahnfilm 10	22,6	20,7
	EndoRay II-Kofferdam-Visierring+Digora 1	23,1	21,6
	EndoRay II-Kofferdam-Visierring+Digora 2	23,4	21,5
	EndoRay II-Kofferdam-Visierring+Digora 3	23,6	21,7
	EndoRay II-Kofferdam-Visierring+Digora 4	23,3	21,5
	EndoRay II-Kofferdam-Visierring+Digora 5	23,5	21,6
	EndoRay II-Kofferdam-Visierring+Digora 6	23,4	21,7
	EndoRay II-Kofferdam-Visierring+Digora 7	23,6	21,8
	EndoRay II-Kofferdam-Visierring+Digora 8	23,5	21,6
	EndoRay II-Kofferdam-Visierring+Digora 9	23,1	21,6
	EndoRay II-Kofferdam-Visierring+Digora 10	23,1	21,6
	EndoRay II+Kofferdam-Visierring+Zahnfilm 1	21,9	20,8
	EndoRay II+Kofferdam-Visierring+Zahnfilm 2	21,8	20,5
	EndoRay II+Kofferdam-Visierring+Zahnfilm 3	21,9	20,5
	EndoRay II+Kofferdam-Visierring+Zahnfilm 4	21,9	20,8
	EndoRay II+Kofferdam-Visierring+Zahnfilm 5	22,1	20,6
	EndoRay II+Kofferdam-Visierring+Zahnfilm 6	22,3	20,8
	EndoRay II+Kofferdam-Visierring+Zahnfilm 7	22,3	20,8
	EndoRay II+Kofferdam-Visierring+Zahnfilm 8	22,5	20,8
	EndoRay II+Kofferdam-Visierring+Zahnfilm 9	22,3	20,8
	EndoRay II+Kofferdam-Visierring+Zahnfilm 10	22,4	20,8
	EndoRay II+Kofferdam-Visierring+Digora 1	22,2	21,5
	EndoRay II+Kofferdam-Visierring+Digora 2	23,6	21,5
	EndoRay II+Kofferdam-Visierring+Digora 3	23,2	21,3
	EndoRay II+Kofferdam-Visierring+Digora 4	22,9	21,6
	EndoRay II+Kofferdam-Visierring+Digora 5	21,9	21
	EndoRay II+Kofferdam-Visierring+Digora 6	22,9	21,6
	EndoRay II+Kofferdam-Visierring+Digora 7	22,9	21,4
	EndoRay II+Kofferdam-Visierring+Digora 8	23,2	21,3
	EndoRay II+Kofferdam-Visierring+Digora 9	22,9	21,4
	EndoRay II+Kofferdam-Visierring+Digora 10	22,7	21,6
	Exp. FH+Kofferdam-Visierring+Zahnfilm 2	22,3	20,9
	Exp. FH+Kofferdam-Visierring+Zahnfilm 3	22,3	20,9
	Exp. FH+Kofferdam-Visierring+Zahnfilm 4	22,2	20,9
	Exp. FH+Kofferdam-Visierring+Zahnfilm 5	21,9	20,7
	Exp. FH+Kofferdam-Visierring+Zahnfilm 6	22,2	20,7
	Exp. FH+Kofferdam-Visierring+Zahnfilm 7	22,2	20,7
	Exp. FH+Kofferdam-Visierring+Zahnfilm 8	21,8	20,7
	Exp. FH+Kofferdam-Visierring+Zahnfilm 9	22,2	20,8
	Exp. FH+Kofferdam-Visierring+Zahnfilm 10	22,2	20,8
	Exp. FH+Kofferdam-Visierring+Digora 1	24	22,3
	Exp. FH+Kofferdam-Visierring+Zahnfilm 1	21,3	20,9
	Exp. FH+Kofferdam-Visierring+Digora 2	23,7	23

Zahn	Projektion, Aufnahmezahl	Zahnlänge [mm]	Arbeits- länge [mm]	
Zahn 47 m-l WK	Exp. FH+Kofferdam-Visierring+Digora 3	23,9	22,7	
	Exp. FH+Kofferdam-Visierring+Digora 4	23,8	23,2	
	Exp. FH+Kofferdam-Visierring+Digora 5	23,7	23	
	Exp. FH+Kofferdam-Visierring+Digora 6	23,6	22,9	
	Exp. FH+Kofferdam-Visierring+Digora 7	23,9	23,1	
	Exp. FH+Kofferdam-Visierring+Digora 8	24,4	23,3	
	Exp. FH+Kofferdam-Visierring+Digora 9	23,9	23,2	
	Exp. FH+Kofferdam-Visierring+Digora 10	23,9	22,9	
	Zahn 47 d-b WK	Planparallele Nahprojektion+Zahnfilm 1	22,6	21,5
		Planparallele Nahprojektion+Zahnfilm 2	22,6	21,5
Planparallele Nahprojektion+Zahnfilm 3		22,4	21,5	
Planparallele Nahprojektion+Zahnfilm 4		22,5	21,5	
Planparallele Nahprojektion+Zahnfilm 5		22,4	21,5	
Planparallele Nahprojektion+Zahnfilm 6		22,3	21,5	
Planparallele Nahprojektion+Zahnfilm 7		22,3	21,5	
Planparallele Nahprojektion+Zahnfilm 8		22,4	21,6	
Planparallele Nahprojektion+Zahnfilm 9		22,4	21,6	
Planparallele Nahprojektion+Zahnfilm 10		22,6	21,7	
Planparallele Nahprojektion+Digora 1		23,4	22,8	
Planparallele Nahprojektion+Digora 2		23,5	22,7	
Planparallele Nahprojektion+Digora 3		23,3	22,7	
Planparallele Nahprojektion+Digora 4		23,6	22,8	
Planparallele Nahprojektion+Digora 5		23,3	22,7	
Planparallele Nahprojektion+Digora 6		23,5	22,8	
Planparallele Nahprojektion+Digora 7		23,4	22,7	
Planparallele Nahprojektion+Digora 8		23,4	22,8	
Planparallele Nahprojektion+Digora 9		23,2	22,7	
Planparallele Nahprojektion+Digora 10		23,3	22,6	
EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 1		22,4	21,4	
EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 2		22,6	21,4	
EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 3		22,4	21,4	
EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 4		22,4	21,4	
EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 5		22,4	21,4	
EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 6		22,1	21,2	
EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 7		22,5	21,6	
EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 8		22,4	21,6	
EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 9		22,2	21,4	
EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 10		22,2	21,4	
EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Digora 1		23	22,3	
EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Digora 2		23,1	21,8	
EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Digora 3	22,7	21,7		
EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Digora 4	22,5	21,9		
EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Digora 5	22,6	22,1		
EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Digora 6	23	21,5		
EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Digora 7	23	21,3		
EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Digora 8	23	21,6		
EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Digora 9	23,2	21,6		

Zahn	Projektion, Aufnahmezahl	Zahnlänge [mm]	Arbeits- länge [mm]
Zahn 47 d-b WK	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Digora 10	23,2	21,2
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 1	22,6	20,7
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 2	22,5	20,7
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 3	22,2	21,3
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 4	22,4	21,3
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 5	22,5	21,5
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 6	22,2	21,2
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 7	22,2	21,3
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 8	22,5	21,5
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 9	22,4	21,4
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 10	22,3	21,4
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Digora 1	23,1	22,4
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Digora 2	22,9	22
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Digora 3	22,3	21,2
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Digora 4	23,1	22,2
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Digora 5	23	22,3
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Digora 6	223,5	22,8
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Digora 7	23,2	22,5
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Digora 8	23,3	22,1
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Digora 9	22,6	21,8
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Digora 10	22,7	21,5
	EndoRay II-Kofferdam-Visierring+Zahnfilm 1	22	21,3
	EndoRay II-Kofferdam-Visierring+Zahnfilm 2	22,2	21,3
	EndoRay II-Kofferdam-Visierring+Zahnfilm 3	22,5	21,4
	EndoRay II-Kofferdam-Visierring+Zahnfilm 4	22,3	22,2
	EndoRay II-Kofferdam-Visierring+Zahnfilm 5	22,6	22,2
	EndoRay II-Kofferdam-Visierring+Zahnfilm 6	22,6	21,5
	EndoRay II-Kofferdam-Visierring+Zahnfilm 7	22,3	21,2
	EndoRay II-Kofferdam-Visierring+Zahnfilm 8	22,4	21,2
	EndoRay II-Kofferdam-Visierring+Zahnfilm 9	22,4	21,2
	EndoRay II-Kofferdam-Visierring+Zahnfilm 10	22,2	21,2
	EndoRay II-Kofferdam-Visierring+Digora 1	23,1	22,2
	EndoRay II-Kofferdam-Visierring+Digora 2	23,2	22,3
	EndoRay II-Kofferdam-Visierring+Digora 3	23,3	22,5
	EndoRay II-Kofferdam-Visierring+Digora 4	23	22,2
	EndoRay II-Kofferdam-Visierring+Digora 5	23,2	22,1
	EndoRay II-Kofferdam-Visierring+Digora 6	23	22,2
	EndoRay II-Kofferdam-Visierring+Digora 7	23,5	22,5
	EndoRay II-Kofferdam-Visierring+Digora 8	23,1	22,4
	EndoRay II-Kofferdam-Visierring+Digora 9	23,2	22,4
	EndoRay II-Kofferdam-Visierring+Digora 10	23,1	21,9
	EndoRay II+Kofferdam-Visierring+Zahnfilm 1	22,2	20,9
	EndoRay II+Kofferdam-Visierring+Zahnfilm 2	20,9	20,2
	EndoRay II+Kofferdam-Visierring+Zahnfilm 3	21,4	20,7
	EndoRay II+Kofferdam-Visierring+Zahnfilm 4	21,3	20,9
	EndoRay II+Kofferdam-Visierring+Zahnfilm 5	21,3	20,2
	EndoRay II+Kofferdam-Visierring+Zahnfilm 6	21,2	20,9
	EndoRay II+Kofferdam-Visierring+Zahnfilm 7	21,7	20,8

Zahn	Projektion, Aufnahmezahl	Zahnlänge [mm]	Arbeits- länge [mm]	
Zahn 47 d-b WK	EndoRay II+Kofferdam-Visierring+Zahnfilm 8	21,9	21,5	
	EndoRay II+Kofferdam-Visierring+Zahnfilm 9	21,8	21,5	
	EndoRay II+Kofferdam-Visierring+Zahnfilm 10	21,8	21,5	
	EndoRay II+Kofferdam-Visierring+Digora 1	22,6	22,1	
	EndoRay II+Kofferdam-Visierring+Digora 2	22,8	22	
	EndoRay II+Kofferdam-Visierring+Digora 3	22,8	21,8	
	EndoRay II+Kofferdam-Visierring+Digora 4	22,7	21,9	
	EndoRay II+Kofferdam-Visierring+Digora 5	21,9	21,4	
	EndoRay II+Kofferdam-Visierring+Digora 6	23,1	22,1	
	EndoRay II+Kofferdam-Visierring+Digora 7	22,5	21,9	
	EndoRay II+Kofferdam-Visierring+Digora 8	22,6	21,9	
	EndoRay II+Kofferdam-Visierring+Digora 9	22,4	21,8	
	EndoRay II+Kofferdam-Visierring+Digora 10	23	22,1	
	Exp. FH+Kofferdam-Visierring+Zahnfilm 1	22,9	22,6	
	Exp. FH+Kofferdam-Visierring+Zahnfilm 2	22,8	22,2	
	Exp. FH+Kofferdam-Visierring+Zahnfilm 3	22,8	22,2	
	Exp. FH+Kofferdam-Visierring+Zahnfilm 4	22,8	22,2	
	Exp. FH+Kofferdam-Visierring+Zahnfilm 5	22,8	21,9	
	Exp. FH+Kofferdam-Visierring+Zahnfilm 6	23,1	22,3	
	Exp. FH+Kofferdam-Visierring+Zahnfilm 7	23,2	22,6	
	Exp. FH+Kofferdam-Visierring+Zahnfilm 8	22,8	22,3	
	Exp. FH+Kofferdam-Visierring+Zahnfilm 9	22,9	20,4	
	Exp. FH+Kofferdam-Visierring+Zahnfilm 10	22,8	22,3	
	Exp. FH+Kofferdam-Visierring+Digora 1	24	21,8	
	Exp. FH+Kofferdam-Visierring+Digora 2	23,5	21,9	
	Exp. FH+Kofferdam-Visierring+Digora 3	23,5	21,9	
	Exp. FH+Kofferdam-Visierring+Digora 4	24,1	22,1	
	Exp. FH+Kofferdam-Visierring+Digora 5	23,6	22	
	Exp. FH+Kofferdam-Visierring+Digora 6	23,5	21,9	
	Exp. FH+Kofferdam-Visierring+Digora 7	23,9	22,2	
	Exp. FH+Kofferdam-Visierring+Digora 8	23,8	22,2	
	Zahn 47 d-b WK	Exp. FH+Kofferdam-Visierring+Digora 9	23,8	22,1
		Exp. FH+Kofferdam-Visierring+Digora 10	23,9	22,9
Planparallele Nahprojektion+Zahnfilm 1		22,8	21,6	
Planparallele Nahprojektion+Zahnfilm 2		22,8	21,6	
Planparallele Nahprojektion+Zahnfilm 3		22,9	21,6	
Planparallele Nahprojektion+Zahnfilm 4		22,9	21,6	
Planparallele Nahprojektion+Zahnfilm 5		22,9	21,8	
Planparallele Nahprojektion+Zahnfilm 6		22,9	21,8	
Planparallele Nahprojektion+Zahnfilm 7		22,9	21,8	
Planparallele Nahprojektion+Zahnfilm 8		22,8	21,8	
Planparallele Nahprojektion+Zahnfilm 9		22,8	21,8	
Planparallele Nahprojektion+Zahnfilm 10		23	21,9	
Planparallele Nahprojektion+Digora 1		23,6	22,6	
Planparallele Nahprojektion+Digora 2		23,7	22,5	
Planparallele Nahprojektion+Digora 3		23,3	22,3	
Planparallele Nahprojektion+Digora 4		23,3	22,3	

Zahn	Projektion, Aufnahmezahl	Zahnlänge [mm]	Arbeits- länge [mm]	
Zahn 47 d-I WK	Planparallele Nahprojektion+Digora 5	23,4	22,2	
	Planparallele Nahprojektion+Digora 6	23,3	22,3	
	Planparallele Nahprojektion+Digora 7	23,2	22,4	
	Planparallele Nahprojektion+Digora 8	23,3	22,4	
	Planparallele Nahprojektion+Digora 9	23,3	22,2	
	Planparallele Nahprojektion+Digora 10	23,3	22,2	
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 1		22,8	22
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 2		22,8	22,1
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 3		23,9	22,3
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 4		23	22,3
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 5		23,2	22,4
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 6		23,2	22,3
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 7		22,8	22,3
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 8		23	22,2
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 9		23	22,4
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 10		23,1	22,2
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Digora 1		23,5	22,8
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Digora 2		23,5	22,4
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Digora 3		23,8	22,6
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Digora 4		23,3	22,3
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Digora 5		23,6	22,4
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Digora 6		22,2	21
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Digora 7		22,4	21
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Digora 8		22	20,8
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Digora 9		22,6	21,6
	EndoRay II-Kofferdam+Visierring+Digora 10		22,4	21,1
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 1		23	22,4
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 2		22,8	22,4
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 3		23	22,4
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 4		22,8	22,2
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 5		23,2	22,2
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 6		23,2	22,2
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 7		23	22,2
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 8		23,3	22,6
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 9		23,2	22,5
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Zahnfilm 10		23	22,5
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Digora 1		23,9	23,3
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Digora 2		23,9	23
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Digora 3		23,8	23
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Digora 4		23,7	23,4
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Digora 5		23,7	23,4
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Digora 6		23,9	23,4
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Digora 7		24	23,1
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Digora 8		24,1	23,1
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Digora 9		23,9	22,7
	EndoRay II+Kofferdam+Visierring+Digora 10		24,2	22,7
	EndoRay II-Kofferdam-Visierring+Zahnfilm 1		22,9	22
	EndoRay II-Kofferdam-Visierring+Zahnfilm 2		23	22

Zahn	Projektion, Aufnahmezahl	Zahnlänge [mm]	Arbeits- länge [mm]
Zahn 47 d-I WK	EndoRay II-Kofferdam-Visierring+Zahnfilm 3	22,8	22
	EndoRay II-Kofferdam-Visierring+Zahnfilm 4	22,4	22,1
	EndoRay II-Kofferdam-Visierring+Zahnfilm 5	22,9	22,1
	EndoRay II-Kofferdam-Visierring+Zahnfilm 6	22,8	22,1
	EndoRay II-Kofferdam-Visierring+Zahnfilm 7	22,8	22,1
	EndoRay II-Kofferdam-Visierring+Zahnfilm 8	22,9	22,1
	EndoRay II-Kofferdam-Visierring+Zahnfilm 9	23	22,1
	EndoRay II-Kofferdam-Visierring+Zahnfilm 10	22,9	22,2
	EndoRay II-Kofferdam-Visierring+Digora 1	23,9	23
	EndoRay II-Kofferdam-Visierring+Digora 2	24,1	23,1
	EndoRay II-Kofferdam-Visierring+Digora 3	23,8	23,4
	EndoRay II-Kofferdam-Visierring+Digora 4	24,1	23
	EndoRay II-Kofferdam-Visierring+Digora 5	24,1	23
	EndoRay II-Kofferdam-Visierring+Digora 6	24,1	23,1
	EndoRay II-Kofferdam-Visierring+Digora 7	24,5	23,4
	EndoRay II-Kofferdam-Visierring+Digora 8	23,9	23
	EndoRay II-Kofferdam-Visierring+Digora 9	24,2	23,2
	EndoRay II-Kofferdam-Visierring+Digora 10	24	23,1
	EndoRay II+Kofferdam-Visierring+Zahnfilm 1	22,6	21,9
	EndoRay II+Kofferdam-Visierring+Zahnfilm 2	22,9	21,3
	EndoRay II+Kofferdam-Visierring+Zahnfilm 3	22,8	21,9
	EndoRay II+Kofferdam-Visierring+Zahnfilm 4	22,9	21,9
	EndoRay II+Kofferdam-Visierring+Zahnfilm 5	22,9	21,9
	EndoRay II+Kofferdam-Visierring+Zahnfilm 6	22,8	21,9
	EndoRay II+Kofferdam-Visierring+Zahnfilm 7	22,8	21,9
	EndoRay II+Kofferdam-Visierring+Zahnfilm 8	22,9	20,8
	EndoRay II+Kofferdam-Visierring+Zahnfilm 9	23,1	21,3
	EndoRay II+Kofferdam-Visierring+Zahnfilm 10	23	20,8
	EndoRay II+Kofferdam-Visierring+Digora 1	23,9	22,9
	EndoRay II+Kofferdam-Visierring+Digora 2	24	22,9
	EndoRay II+Kofferdam-Visierring+Digora 3	23,8	22,9
	EndoRay II+Kofferdam-Visierring+Digora 4	23,9	23
	EndoRay II+Kofferdam-Visierring+Digora 5	23,5	22,2
	EndoRay II+Kofferdam-Visierring+Digora 6	24,2	23
	EndoRay II+Kofferdam-Visierring+Digora 7	24	22,9
	EndoRay II+Kofferdam-Visierring+Digora 8	23,9	22,8
	EndoRay II+Kofferdam-Visierring+Digora 9	23,8	22,9
	EndoRay II+Kofferdam-Visierring+Digora 10	23,9	23
	Exp. FH+Kofferdam-Visierring+Zahnfilm 1	23	22,1
	Exp. FH+Kofferdam-Visierring+Zahnfilm 2	22,8	22,1
	Exp. FH+Kofferdam-Visierring+Zahnfilm 3	22,6	22,1
	Exp. FH+Kofferdam-Visierring+Zahnfilm 4	22,6	21,8
	Exp. FH+Kofferdam-Visierring+Zahnfilm 5	22,8	22,3
	Exp. FH+Kofferdam-Visierring+Zahnfilm 6	23,1	22,8
	Exp. FH+Kofferdam-Visierring+Zahnfilm 7	23,2	22,8
	Exp. FH+Kofferdam-Visierring+Zahnfilm 8	22,8	22,2
	Exp. FH+Kofferdam-Visierring+Zahnfilm 9	22,9	22,2
Exp. FH+Kofferdam-Visierring+Zahnfilm 10	22,8	22,2	

Zahn	Projektion, Aufnahmezahl	Zahnlänge [mm]	Arbeits- länge [mm]
Zahn 47 d-I WK	Exp. FH+Kofferdam-Visierring+Digora 1	22,2	21,4
	Exp. FH+Kofferdam-Visierring+Digora 2	21,9	21
	Exp. FH+Kofferdam-Visierring+Digora 3	22,6	21,3
	Exp. FH+Kofferdam-Visierring+Digora 4	23,1	21,4
	Exp. FH+Kofferdam-Visierring+Digora 5	22,5	21,3
	Exp. FH+Kofferdam-Visierring+Digora 6	22	21,2
	Exp. FH+Kofferdam-Visierring+Digora 7	22,3	21,6
	Exp. FH+Kofferdam-Visierring+Digora 8	23,2	21,6
	Exp. FH+Kofferdam-Visierring+Digora 9	23	21,6
	Exp. FH+Kofferdam-Visierring+Digora 10	22,6	21,4

Danksagung

Mein besonderer Dank gilt *Frau Prof. Dr. Ursula Platzer*, Direktorin der Abteilung für Zahnerhaltungskunde und Präventive Zahnheilkunde der Klinik und Poliklinik für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde Eppendorf. Sie ermöglichte die Entfaltung einer einfachen Idee zu einer Dissertation und unterstützte mich stets sehr freundlich und hilfsbereit sowohl bei der nicht immer einfachen Beschaffung der benötigten Materialien für die Literaturrecherche, als auch bei der detaillierten Gestaltung der gesamten Arbeit.

Die Entstehung dieser Dissertation wäre ohne *Herrn Dr. Oliver Ahlers*, Oberarzt dieser Abteilung, nicht möglich gewesen. Ihm verdanke ich den Anstoß, über die Problematik der Anfertigung von Meßaufnahmen bei angelegtem Kofferdamrahmen nachzudenken. Erst dieser Anstoß brachte einen Vorschlag meinerseits hervor, dessen Weiterentwicklung Dr. Ahlers in jeder Hinsicht unterstützt und gefördert hat. Die kritische Begleitung der Dissertation seinerseits erstreckte sich nicht nur auf wissenschaftliche, sondern auf sprachliche, berufliche und sicherlich auch auf menschliche Aspekte.

Die hochwertigen Aufnahmen dieser Dissertation verdanke ich der Professionalität und unendlichen Geduld von *Frau Dipl. Phot. Dagmar Claußen*. Mit ihrer Freundlichkeit, Kompetenz und hilfsbereiten Art erleichterte sie viele Arbeitsgänge, auch wenn die meisten klinischen Einstellungen am Patienten viel Vorarbeit und nicht zuletzt Zeit erforderten.

Ohne die zuvorkommende und fachlich kompetente Unterstützung von *Herrn Werner Schmidt*, *Zahntechniker in der Abteilung für Zahnerhaltungskunde* und *Herrn Horst Wegner*, *technischer Mitarbeiter der Klinik und Poliklinik für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde* bei der Suche nach geeigneten Materialien und der Gestaltung des Filmhalters, wäre diese Entwicklung in so kurzer Zeit nicht möglich gewesen.

Die langwierige Betreuung bei der Auswahl und Durchführung der statistischen Auswertung der Meßergebnisse verdanke ich *Herrn Dr. Uwe Pichlmeier* und *Herrn Michael Supplith*, wissenschaftliche Mitarbeiter des Instituts für Mathematik und Datenverarbeitung in der Medizin der Universität Hamburg.

Eine stoische Geduld bewies meine Patientin *Frau Pui-King Ziemer* bei der Einstellung und Anfertigung der verschiedenen klinischen Aufnahmen, obwohl die intraorale Positionierung einzelner Filmhaltersysteme nicht immer einfach war.

Das freundliche Überlassen der Gipsmodelle verdanke ich Herrn Prof. Dr. Hans Dieter Jüde, Leiter der prothetischen Abteilung und Frau Dr. Ulrike Gössel, Zahnärztin in dieser Abteilung.

Ohne die entgegenkommende kollegiale Unterstützung einiger Firmen wäre die Darstellung meiner Literaturrecherche niemals in diesem Ausmaß möglich gewesen. Viele von ihnen überließen oder stellten mir ihre Filmhaltersysteme zur Verfügung. Danke schön an: *Herrn Bayer* von der Fa. Beycodent in Neunkirchen, *Frau Rottmann* und *Herrn Demeester* von der Fa. DentsplyRinn in Illinois/USA, *Herrn Kaschner* von der Fa. Kentzler-Kaschner Dental GmbH in Ellwangen/Jagst, *Herrn Dr. Jensen* in Tegernsee, *Frau Büchli* von der Fa. Hawe-Neos Dental in Bioggio/Schweiz, *Herrn Dr. Willis* von der Fa. Op-d-op, Roseville/USA.

Die Durchführung der in-vitro Studie wäre niemals ohne geeignete Materialien möglich gewesen. Meiner lieben Freundin Denitza Halkaljeva-Kouzmanova verdanke ich nicht nur die Leihgabe ihres wertvollen Homo-Schädels, sondern auch die Möglichkeit, diesen für meine Dissertation uneingeschränkt zu verändern. In diesem Zusammenhang half mir Frau Dr. Petra Schmage, Zahnärztin in der Abteilung für Zahnerhaltungskunde, bei der Suche nach geeigneten Zähnen.

Nicht zuletzt möchte ich meinem Lebensgefährten Henrik Simon und einem meiner besten Freunde, Joachim Stein meine Anerkennung für die Mühe und Sorgfalt beim Durchlesen des Manuskriptes aussprechen.

Meine Familie und Freunde haben mich begleitet, unterstützt und mir mit wertvollen Tips weitergeholfen. Ihnen gilt mein innigster Dank!

Lebenslauf

Persönliche Daten

Name	Elisabeta-Cristina Stoica
Geburtsdatum	02.06.1972
Geburtsort	Bukarest - Rumänien
Eltern	Marin und Mariana Stoica

Schule

1978-1986	Grundschule in Bukarest
1986-1988	Gymnasium Gheorghe Lazar in Bukarest
1988-1989	Schillerschule in Karlsruhe
1989-1992	Kant-Gymnasium in Karlsruhe
19.05.1992	Abitur
1999-2000	Promotion in der Abteilung für Zahnerhaltungskunde und Parodontologie der Klinik und Poliklinik für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde des Universitätskrankenhauses Hamburg-Eppendorf

Ausbildung

1992-1993	Voluntariat im Dentallabor Ernst Bartsch in Karlsruhe
1993-1999	Studium der Zahnmedizin an der Universität Hamburg
09.07.1999	Approbation als Zahnärztin

Beruf

03.2000-01.2001	Assistenz Zahnärztin in einer niedergelassenen zahnärztlichen Praxis in Hamburg.
seit 03.2001	Assistenz Zahnärztin in einer niedergelassenen kieferchirurgischen Praxis in Karlsruhe.