

**Vergleichende Bewertung unterschiedlicher
Diagnostikmethoden zur Detektion der versteckten
Okklusalkaries – Eine In-vitro-Studie**

Dissertation

Zur Erlangung des akademischen Grades
Doctor medicinae dentariae
(Dr. med. dent.)

vorgelegt dem
Rat der Medizinischen Fakultät
der Friedrich-Schiller-Universität Jena

von Zahnarzt Seyed Mohammad Tabatabaie Madani
geboren am 03.12.1972 in Teheran (Iran)

Gutachter

1. Prof. Dr. Heinrich-Weltzien, Jena/Erfurt,
2. Prof. Dr. Hoyer, Jena/Erfurt,
3. Prof Dr. Hetzer, Dresden.

Tag der öffentlichen Verteidigung: 06.01.2004

Abkürzungsverzeichnis

A_z	Fläche unter der ROC-Kurve
CRM	Cariometer CRM 800 (Philipps-Universität Marburg, Deutschland)
ECM	Electronic Caries Monitor (Lode Diagnostics, Groningen, Niederlande)
D0	D ₀ -Läsion - keine Schmelz- und Dentinläsion vorhanden
D1	D ₁ -Läsion - Karies bis in die äußere Schmelzhälfte fortgeschritten
D2	D ₂ -Läsion - Karies bis in die innere Schmelzhälfte fortgeschritten
D3	D ₃ -Läsion - Karies bis in die äußere Dentinhälfte fortgeschritten
D4	D ₄ -Läsion - Karies bis in die innere Dentinhälfte fortgeschritten
IKK _{Lin}	Intra-Klassen-Korrelationskoeffizient nach Lin
κ	Kappa-Wert
KOMB	Kombinierte Okklusalkaries-Diagnostik (visuell-röntgenografische Befundung und elektrische Widerstandsmessung)
ROC	Receiver Operating Characteristics
RÖ	Röntgenografische Okklusalkaries-Diagnostik
SE	Sensitivität
SP	Spezifität
VI	Visuelle Okklusalkaries-Diagnostik
VR	Visuell-röntgenografische Okklusalkaries-Diagnostik

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung.....	1
2	Einleitung.....	3
2.1	Veränderung des klinischen Erscheinungsbildes der Okklusalkaries.....	3
2.2	Traditionelle kariesdiagnostische Untersuchung.....	4
2.3	Okklusalkaries-Diagnostik.....	5
2.4	Röntgenografische Okklusalkaries-Diagnostik.....	10
2.5	Elektrische Widerstandsmessung zur Okklusalkaries-Diagnostik.....	14
3	Zielstellung.....	20
4	Material und Untersuchungsmethoden.....	21
5.1	Histologische Befunde.....	33
5.2	Genauigkeit der visuellen Okklusalkaries-Diagnostik.....	34
5.2.1	Intra- und Inter-Untersucher-Variabilität.....	34
5.2.2	Akkuratheit der visuellen Okklusalkaries-Diagnostik.....	35
5.3	Visuell-röntgenografische Okklusalkaries-Diagnostik.....	37
5.3.1	Intra- und Inter-Untersucher-Variabilität.....	37
5.3.2	Akkuratheit der visuell-röntgenografischen Okklusalkaries-Diagnostik.....	37
5.4	Messung des elektrischen Widerstandes – ECM.....	39
5.4.1	Intra- und Inter-Untersucher-Variabilität.....	39
5.4.2	Akkuratheit der ECM-Messung.....	42
5.5	Messung des elektrischen Widerstands – CRM.....	44
5.5.1	Intra- und Inter-Untersucher-Variabilität.....	44
5.5.2	Akkuratheit der CRM-Messung.....	48
5.6	Kombinierte visuell-röntgenografische Diagnostik und elektrische Widerstandsmessung.....	51
5.6.1	Intra- und Inter-Untersucher-Variabilität.....	51
5.6.2	Akkuratheit der kombinierten Okklusalkaries-Diagnostik.....	51
5.7	Vergleichende Bewertung aller untersuchten Methoden.....	52
5.7.1	Vergleich der Untersucher-Variabilität.....	52
5.7.2	Vergleich zur diagnostischen Akkuratheit.....	53
6	Diskussion.....	56
6.1	Zur Variabilität der Okklusalkaries-Diagnostik.....	58
6.3	Zur diagnostischen Güte der untersuchten Methoden.....	61
6.4	Konsequenzen für die klinische Tätigkeit.....	67
7	Schlussfolgerungen.....	69
8	Literaturverzeichnis.....	I
9	Bisherige Publikationen.....	X
10	Lebenslauf.....	XI
11	Ehrenwörtliche Erklärung.....	XII
12	Danksagung.....	XIII

1 Zusammenfassung

Mit der Veränderung des klinischen Erscheinungsbildes der Okklusalkaries und der zunehmend erschwerten Okklusalkaries-Diagnostik wurde seit Beginn der 90er Jahre des 20. Jahrhunderts die Entwicklung verbesserter Kariesdiagnostikmethoden gefordert. Eine Prävalenz der „versteckten Okklusalkaries“ („hidden caries“) von 10 bis 50% an Molaren und die Begrenzung der konventionellen Diagnostik mit zahnärztlicher Sonde und Spiegel lässt die Okklusalkaries-Diagnostik zu einem vordergründigen Problem in der täglichen Praxis des Zahnarztes werden. Forschungsbedarf besteht vor allem hinsichtlich der frühzeitigen Detektion bzw. Differenzierung zwischen initialen Schmelz- und versteckten Dentinläsionen.

Ziel der vorliegenden In-vitro-Studie war es, eine vergleichende Bewertung der Genauigkeit der visuellen, visuell-röntgenografischen Okklusalkaries-Diagnostik und elektrischen Widerstandsmessung sowie der Kombination dieser Methoden an nicht kavitierten Okklusalflächen vorzunehmen. Dabei sollte geklärt werden, ob Unterschiede im Ausbildungs- sowie Erfahrungsniveau des Untersuchers Einfluss auf die Variabilität und Akkuratheit der Okklusalkaries-Diagnostik haben.

Für die Untersuchung wurden 117 Okklusalflächen extrahierter Weisheitszähne, die keine Füllungen, Fissurenversiegelungen und/oder Kavitationen aufwiesen, herangezogen. Die Befundung der Zähne wurde von acht Universitäts-Zahnärzten, sechs Praxis-Zahnärzten und sechs Zahnmedizinstudenten durchgeführt. Die Untersucher waren gebeten, die Okklusalflächen nach den Kriterien „Gesund“, „Schmelz- oder Dentinkaries“ mit dem jeweiligen Diagnostikverfahren zu beurteilen. Die Durchführung der elektrischen Widerstandsmessung mit dem Electronic Caries Monitor II (ECM; Lode Diagnostics Groningen Niederlande) und Cariometer 800 (CRM-800; Philipps-Universität Marburg, Deutschland) wurde auf der Grundlage der Herstellerempfehlungen vorgenommen. Die Bestimmung der Intra-Untersucher-Variabilität erfolgte durch eine Wiederholungsuntersuchung nach einer Woche. Die Validierung der Diagnostikverfahren wurde nach der Hemisektion und histologischen Beurteilung der Molaren unter einem Stereomikroskop bei 16facher Vergrößerung vorgenommen, wobei zwischen D0-, D1-2-, D3- und D4-Läsionen differenziert wurde. Die Güte der Befund-Reproduzierbarkeit wurde mit dem Kappa-(κ)-Wert, dem Intra-Klassen-Korrelationskoeffizienten nach Lin, mit Streudiagrammen sowie Residuenplots nach Bland und Altman bewertet. Zur Beurteilung der Akkuratheit der einzelnen Diagnostikverfahren wurden Sensitivität (SE), Spezifität (SP), Kappa-Statistik sowie ROC-Kurven herangezogen.

Nach der histologischen Befundung wurde eine Kariesprävalenz von 88% (D1-4-Niveau) bzw. 49% (D3-4-Niveau) ermittelt. Prinzipiell wurde von den Untersuchern mit keinem Diagnostikverfahren - weder auf dem D1-4-Niveau noch auf dem therapeutisch relevanten Dentinkariesniveau - eine exzellente Reproduzierbarkeit erzielt. Dabei zeigten die κ -Werte im Allgemeinen eine bessere Intra-Untersucher-Variabilität im Vergleich zur Inter-Untersucher-Variabilität. Für Universitäts-Zahnärzte und Untersucher mit mehrjährigen Erfahrungen und hohem diagnostischen Trainingslevel wurden tendenziell bessere Werte für die Reproduzierbarkeit ermittelt. In Bezug auf die diagnostische Akkuratheit wurde von keiner Untersuchergruppe eine summarische SE und SP von 100% mit einem der geprüften Diagnostikverfahren ermittelt, welche notwendig wäre, um ein Verfahren für den klinischen Einsatz zu empfehlen. Weiterhin signalisieren die registrierten Az-Werte eine nur mäßige Übereinstimmung mit dem histologischen Befund (Tab.).

Zusammenfassung der Ergebnisse aller Untersucher zur Untersucher-Variabilität und diagnostischen Akkuratheit

	Befund-Reproduzierbarkeit		Akkuratheit					
	Intra (κ)	Inter (κ)	D1-4-Niveau		D3-4-Niveau			
			SE	SP	ROC (Az)	SE	SP	ROC (Az)
VI	0,48-0,57	0,35-0,39	0,49-0,79	0,49-0,89	0,71	0,27-0,49	0,88-0,97	0,73
VR	0,48-0,53	0,34-0,39	0,54-0,76	0,56-0,81	0,72	0,37-0,55	0,86-0,93	0,75
ECM	0,69 ^{IKK}	0,62 ^{IKK}	0,36	0,95	0,72	0,43	0,97	0,74
CRM	0,80 ^{IKK}	0,71 ^{IKK}	0,51	0,84	0,78	0,42	0,94	0,79
KOMB	0,52	0,36	0,75	0,59	0,72	0,57	0,86	0,77

Da die elektrische Widerstandsmessung keinen diagnostischen Zugewinn erbrachte, wird im Ergebnis der vorliegenden In-vitro-Studie eine differenzierte visuelle Diagnostik als Methode der Wahl für die Okklusalkaries-Diagnostik favorisiert. Dabei beugt die hohe SP (~ 90%) zweifelsohne einer Überbehandlung vor. Die geringe SE von ~ 50% könnte durch den Einsatz der Röntgendiagnostik als Methode der zweiten Wahl kompensiert werden. Darüber hinaus untermauern die vorliegenden Ergebnisse die Notwendigkeit eines fundierten visuellen Diagnostiktrainings in der studentischen Ausbildung sowie in der postgradualen Fort- und Weiterbildung der Zahnärzte, um der diagnostischen Herausforderung der versteckten Okklusalkaries gerecht werden zu können.

2 Einleitung

2.1 Veränderung des klinischen Erscheinungsbildes der Okklusalkaries

Parallel zu dem beobachteten „caries decline“ wurden Veränderungen im Kariesbefallsmuster offensichtlich. Dabei konzentriert sich im Kindes- und Jugendalter der Kariesbefall mit 60% bis > 90% mehrheitlich auf die Fissuren und Grübchen der bleibenden Molaren (US Public Health Service 1993, Steiner et al. 1994, Lussi et al. 1995a, Heinrich-Weltzien 1997). Neben dem hohen Anteil kariös betroffener Okklusalflächen änderte sich weiterhin das klinische Erscheinungsbild. So berichteten Anfang der 80er Jahre englische Zahnärzte über zum Teil weit fortgeschrittene Dentinläsionen an *nicht kavitierten* Okklusalflächen, die erst durch die röntgenografische Untersuchung aufgefunden wurden (Stean 1982, Usher 1982, Lavin 1983, Millman 1984, Lewin 1985, Page 1986, Ball 1986). Da diese Dentinläsionen mit der traditionellen klinisch-visuellen/taktilen Diagnostik nicht erfasst werden, wurden Begriffe wie „covert caries“ (gedeckte Karies), „occult caries“ (geheimnisvolle Karies) oder „hidden caries“ (versteckte Karies) geprägt. Letztlich setzte sich der Begriff „hidden caries“ durch. Nach Weerheijm et al. (1992b) ist darunter eine Dentinkaries zu verstehen, die bei der alleinigen klinischen Untersuchung nicht diagnostizierbar ist, während im Röntgenbild eine deutliche umschriebene Radioluzenz unterhalb einer intakten okklusalen Schmelzschicht sichtbar ist.

Ausgehend von diesen empirischen Beobachtungen rückte das Phänomen der „versteckten Karies“ in den Mittelpunkt des wissenschaftlichen Interesses. Epidemiologische Untersuchungen aus verschiedenen europäischen Ländern zeigten, dass bei Jugendlichen zwischen dem 12. und 20. Lebensjahr an bis zu 50% aller Molaren versteckte Okklusalläsionen anhand von Bissflügel-Aufnahmen diagnostiziert werden können (Creanor et al. 1990, Kidd et al. 1992, Weerheijm et al. 1992a, 1992b, 1992c und 1997). Für 15-jährige Jugendliche in der Bundesrepublik wurde die Prävalenz klinisch nicht erfassbarer Dentinläsionen an den Okklusalflächen mit 11% für alle Molaren angegeben (Heinrich-Weltzien et al. 2001a). Die Mehrzahl dieser Läsionen wurde dabei an kreidig oder braun verfärbten Fissuren bzw. unter Versiegelungen registriert.

Aus ätiologischer Sicht ist für die Kariesanfälligkeit okklusaler Fissuren grundsätzlich eine erhöhte PlaqueRetention (Carvalho et al. 1992), die geringe Schmelzdicke im Fissurenfundus (Rohr et al. 1991), die fehlende posteruptive Schmelzreifung und eine begrenzte kariesprotektive Fluoridwirkung in der Fissur anzusehen (Fennis et al. 1998, Pearce et al. 1999). Obwohl bereits Millmann (1984) das Auftreten versteckter

Okklusalläsionen im Zusammenhang mit einer zunehmenden Fluoridanwendung sah und auf die Möglichkeit eines „Fluoridsyndroms“ hinwies, konnte jedoch kein Unterschied in der Prävalenz der versteckten Okklusalkaries zwischen zwei verschiedenen Orten mit und ohne Trinkwasser-Fluoridierung aufgefunden werden (Weerheijm et al. 1997). Nichtsdestotrotz wird ein gestiegenes Mundhygienebewusstsein, die breite Verfügbarkeit und Anwendung fluoridhaltiger Zahnpflege-Produkte, antibakterielle zahnärztliche Maßnahmen und/oder eine häufige medizinisch indizierte Antibiotikagabe (Mandel 1996, Gibbons 1996, Petersson und Bratthall 1996, Bratthall et al. 1996, Splieth und Meyer 1996) ätiologisch für eine verlangsamte Kariesprogression (Hannigan et al. 2000) und das gehäufte Auftreten nicht kavierter Okklusalläsionen diskutiert werden. Mit der gestiegenen Prävalenz klinisch suspekter, nicht kavierter Fissuren und Grübchen erscheinen somit Verbesserungen bezüglich der Okklusalkaries-Diagnostik unerlässlich (Pitts 2001).

2.2 Traditionelle kariesdiagnostische Untersuchung

Die okklusale Kariesdiagnostik wird traditionell mit einer scharfen zahnärztliche Sonde durchgeführt. Das Hängenbleiben einer mit mäßigem Druck in die Fissur eingeführten, spitz auslaufenden Sonde wird seit Black (1914) als kariöse und damit behandlungsbedürftige Läsion definiert (Jackson 1950, Künzel 1979). Die Genauigkeit der taktilen Untersuchungstechnik wurde schon 1954 von Parfitt und 1956 von Miller und Hobson in Frage gestellt. Die Autoren wiesen im Vergleich zur Histologie eine nicht unerhebliche Variabilität der Sondierung nach und schlussfolgerten, dass die Retention der Sonden-spitze auch von anderen Faktoren wie Sondierungsdruck, Morphologie der Fissur, Größe und Schärfe der Sondenspitze und nicht nur vom Vorhandensein einer Karies abhängig ist. Zudem warnten Kidd (1984) bereits davor, dass die taktile Untersuchung irreversible Zahnhartsubstanz-Defekte verursachen kann. In diesem Zusammenhang untersuchten Ekstrand et al. (1987) frisch durchgebrochene 3. Molaren unilateral mit bzw. ohne Sondierung. Die Zähne wurden nach Extraktion histologisch befundet, dabei wurde an den sondierten Zähnen 53% mehr Hartgewebszerstörungen festgestellt als an nicht sondierten. Auch in anderen wissenschaftlichen Untersuchungen wurde gezeigt, dass die Sondierung an gerade durchgebrochenen Zähnen Schädigungen der Zahnoberfläche verursachen kann, welche eine Kavitationsbildung besonders an Initiaalläsionen fördern und somit eine Remineralisation dieses *locus minoris resistentiae* verhindern (van Dorp et al. 1988, Yassin 1995). Ferner erbrachte der Gebrauch der

zahnärztlichen Sonde keinerlei diagnostischen Gewinn im Vergleich zur alleinigen visuellen Befundung (Lussi 1993 und 1996).

Weiterhin wurde darüber diskutiert, ob durch die Untersuchung mit der Sonde kariogene Mikroorganismen innerhalb der Mundhöhle von einem Zahn zum anderen übertragen werden können (Loesche et al. 1979). Hujoel et al. (1995) kamen jedoch zu dem Schluss, dass die Transmission kariogener Keime von infizierten in sterile Fissuren mit der zahnärztlichen Sonde höchst unwahrscheinlich für eine Kariesinitiation verantwortlich gemacht werden kann.

In der Gesamtheit betrachtet wird die taktile Untersuchung heute als „unethisches“ Diagnostikverfahren an Fissuren und Grübchen gewertet (Pitts 2001). Der klinische Einsatz objektiver, nicht invasiver, aber auch kosteneffizienter Diagnostikmethoden steht somit außer Frage (Wenzel et al. 1991a und 1991b, Pine und ten Bosch 1996, Verdonschot et al. 1999a und 1999b). Als alternative Verfahren zur traditionellen taktilen Diagnostik stehen dem Zahnarzt neben der visuellen Inspektion die röntgenografische Untersuchung, die elektrische Widerstandsmessung und lichtoptische Methoden zur Verfügung.

2.3 Okklusalkaries-Diagnostik

Da die visuelle Inspektion routinemäßig von jedem Zahnarzt praktiziert werden kann und keine durch Geräte bedingte Kosten notwendig sind, wandten sich kariologische Arbeitsgruppen verstärkt der Frage nach visuell differenzierbaren Zeichen einer Karies zu. Dabei wurde das Hauptaugenmerk vorrangig auf die Detektion kariös bedingter Verfärbungen und Demineralisationszeichen im Bereich der Fissur gelegt.

An der Okklusalfläche lassen sich als visuelle Zeichen des (initial) kariösen Prozesses im Wesentlichen Braunverfärbungen, kreibige Verfärbungen sowie Mikrokavitäten klinisch differenzieren. Während Mikrokavitäten in der Regel als sicheres Zeichen einer Dentinbeteiligung angesehen werden (Wenzel und Fejerskov 1992), stellen braun verfärbte Fissuren neben einer nicht zu vernachlässigenden Prävalenzrate (bis zu 30%) in der kindlichen und jugendlichen Population (Heinrich-Weltzien et al. 1998 und 2001a) ebenfalls ein nicht unerhebliches diagnostisches Problem dar (Oehme et al. 2001). Als schwierig erweist sich insbesondere die Differenzierung zwischen braun verfärbten „Plaqueresten“ und einer tatsächlichen Braunverfärbung des Fissurenreliefs. Beide Situationen sind hypothetisch als Ergebnis einer Maillard-Reaktion anzusehen. Der Reaktions-Mechanismus beruht dabei auf der biochemischen Hydrolyse von

Proteinen (z. B. bakterielle Plaque, Speisereste) unter Anwesenheit von Kohlenhydraten (Kleter et al. 1998). Obwohl in der klinischen Praxis die vollständige Reinigung tiefer Fissuren nicht immer möglich sein wird, ist dennoch eine professionelle Zahnreinigung vor der diagnostischen Beurteilung die Basis für eine valide Untersuchung.

Kreidige Verfärbungen (Kreideflecken, white spots, Opazitäten) des fissuralen Zahnschmelzes sind aufgrund des (initialen) kariösen Demineralisationsprozesses - und der damit verbundenen Veränderungen der optischen Eigenschaften des Schmelzes - ein sicheres visuelles Zeichen. Im Rahmen der klinischen Diagnostik kreidiger Verfärbungen kommt der Lufttrocknung eine große Bedeutung zu. Da die „poröse“ Schmelzstruktur sowie die in der Regel erodierte Oberflächenstruktur wasserhaltig sind, führt die forcierte Lufttrocknung zur Entfernung des Wasser aus der Läsion. Bedingt durch unterschiedliche Brechungsindizes von trockenem (1,0) und feuchtem Zahnschmelz (1,3 bis 1,6) werden nach der forcierten Lufttrocknung kreidige Läsionen der Okklusalfäche deutlich besser sichtbar (Thylstrup und Fejerskov 1994).

Angesichts der kritischen Wertung der zahnärztlichen Sondierung und der Priorität der klinischen Befundung, entwickelten Ekstrand et al. (1995, 1997 und 1998) differenzierte visuelle Diagnostikkriterien für die Okklusalfäche. Als visuell diagnostizierbare Zeichen einer Schmelzläsion wurden Opazitäten oder Braunverfärbungen, die auf der feuchten Zahnoberfläche kaum, auf dem luftgetrockneten Zahnschmelz hingegen deutlich sichtbar sind, verifiziert. Weiterhin charakterisierten die Autoren lokalisierte Schmelzeinbrüche im opaken bzw. verfärbten Schmelz neben der Kavitation als zuverlässige Kriterien für das Vorliegen einer Dentinkaries.

Grundlegende Voraussetzung für den klinischen Einsatz einer Diagnostikmethode ist u. a. eine exzellente Reproduzierbarkeit des Befundes. Die Übereinstimmung zwischen erster und zweiter Befundung bei dem gleichen Untersucher wird durch die Intra-Untersucher-Variabilität und die Übereinstimmung zwischen verschiedenen Untersuchern durch die Inter-Untersucher-Variabilität wiedergegeben. Als Maß für die Reproduzierbarkeit wird in der Regel der Kappa-Wert herangezogen; bei metrisch skalierten Werten finden Intra-Klassen-Korrelationskoeffizienten Verwendung. Als problematisch in Bezug auf die Vergleichbarkeit von Untersuchungen darf nicht unerwähnt bleiben, dass insbesondere das Untersuchungsmaterial mit der Anzahl einbezogener Prämolaren, Molaren, gesunder und/oder kavierter Okklusalfächen einen

erheblichen Einfluss sowohl auf die Variabilität als auch auf die Validität der jeweiligen Untersuchung hat.

Für die Untersucher-Variabilität bei der visuellen Inspektion zeichnet sich ein sehr heterogenes Bild ab (Tab. 1). Während Ando et al. (2000) und Cortes et al. (2000) eine hohe Übereinstimmung für die Intra- und Inter-Untersucher-Variabilität registrierten, konnten andere Arbeitsgruppen nur eine zufrieden stellende Übereinstimmung ermitteln (Wenzel und Verdonschot 1994, Huysmans et al. 1998a, Knittel et al. 2000, Pereira et al. 2001). Wie Tabelle 2 zu entnehmen ist, bewegen sich die mittleren κ -Werte für die Intra-Untersucher-Variabilität zwischen 0,31 und 0,95 sowie für die Inter-Untersucher-Variabilität zwischen 0,15 und 0,91.

Tab. 1: Literaturübersicht zur Intra- und Inter-Untersucher-Variabilität der visuellen Okklusalkaries-Diagnostik

Visuell Studie	Studienmaterial				Untersucher-Variabilität	
	Mol	PM	Total	Anzahl Patienten	INTRA (K)	INTER (K)
In-vitro-Studien						
Lussi (1993)*	52	11	63	-	Uni: 0,48 Praxis: 0,50 Alle: 0,49	Uni: 0,22 Praxis: 0,15 Alle: 0,18
Wenzel & Verdonschot (1994)*	60	-	60	-	0,31 - 0,49	0,44 - 0,76
Tveit et al. (1994)	94	37	131	-	-	0,72 - 0,76
Lussi (1996)	-	-	37 ^o =100	-	Uni: 0,47 Praxis: 0,53 Alle: 0,51	Uni: 0,65 Praxis: 0,58 Alle: 0,61
Ekstrand et al. (1997)	80	20	100 ^E	-	0,73 - 0,89	0,54 - 0,69
Huysmans et al. (1998a)	-	-	107	-	-	0,27
Ando et al. (2000)	100	-	100	-	0,87- 0,92	0,75
Cortes et al. (2000)*	59	-	59	-	0,75 - 0,95	0,75 - 0,79
Knittel et al. (2000)	224	-	224	-	-	0,39 -0,42
Pereira et al. (2001)	101	-	101	-	0,52/ 0,62	0,43
In-vivo-Studien						
Verdonschot et al. (1992)	19	4	23	13	-	0,91
Hintze et al. (1998)	-	-	338	53	-	0,40 - 0,50

* Studie unter Ausschluss kavierter Läsionen

^o Kavitierte Läsionen

^E Kriterien nach Ekstrand et al. (1997 oder 1998)

Die Schwierigkeit einer exakten Reproduzierbarkeit an nicht kavitierten Okklusalfächen unterstrichen bereits Lussi et al. (1993) in einer In-vitro-Studie; die Intra- bzw. Inter-

Untersucher-Variabilität betrug lediglich 0,49 bzw. 0,18. Durch die Einbeziehung kavierter Läsionen erreichten die Autoren jedoch Werte von 0,51 bzw. 0,61 (Lussi 1996). Zudem konnte in beiden Untersuchungen kein signifikanter Unterschied zwischen Universitäts- und Praxis-Zahnärzten festgestellt werden.

Anhand der Tabelle 1 wird weiterhin offensichtlich, dass für die visuelle Reproduzierbarkeit in Studien, denen die differenzierten Diagnostikkriterien nach Ekstrand et al. (1997 und 1998) zu Grunde lagen, im Vergleich zu anderen bessere Werte erzielt wurden. Ekstrand et al. (1997) ermittelten in eigenen Untersuchungen Intra- und Inter-Untersucher-Variabilitätswerte von 0,73 bis 0,85 und von 0,54 bis 0,69. Die Autoren bewerteten die Ergebnisse als gut und führten dies vorrangig auf die definierten Kriterien sowie das vorherige Training zurück.

Sowohl in klinischen Studien als auch In-vitro-Untersuchungen wurden für die visuelle Okklusalkaries-Diagnostik an nicht kavitierten Läsionen nur unzureichende Güteparameter ermittelt. Lussi (1993) prognostizierte bei einer steigenden Prävalenz nicht kavierter Läsionen eine reduzierte Sensitivität der visuellen Diagnostik.

Werden Sensitivität (SE) und Spezifität (SP) für das Niveau der Dentinkaries (D3-4) betrachtet, so variieren diese in verschiedenen Studien zwischen 7% und 95% sowie 55% und 100% (Tab. 2).

In nahezu allen Studien lagen die Güteparameter SE und SP unter den summarisch geforderten 160% (Hausen 1997). Die einzige Ausnahme stellt hierbei die von Ekstrand et al. (1997) publizierte In-vitro-Untersuchung dar; die Autoren registrierten mit differenzierten Kriterien eine SE von 95% und SP von 90%. Diese hohen Werte konnten durch klinische Untersuchungen von Heinrich-Weltzien et al. (2002) nicht bestätigt werden (SE 41%, SP 71%). Nichtsdestotrotz wurden in Studien, in denen definierte visuelle Kriterien verwandt wurden im Vergleich zu Untersuchungen, welche die persönlichen Erfahrungen und „internen Fähigkeiten“ als Kriterium nutzten, günstigere Ergebnisse erzielt (Ekstrand et al. 1997, Ando et al. 2000, Cortes et al. 2000, Heinrich-Weltzien et al. 2002).

Tab. 2: Literaturübersicht zur Validität der visuellen Kariesdiagnostik

Visuell	Studienmaterial				Validität				
	Studie	Mol	PM	Total	Anzahl Patienten	D1-4-Niveau		D3-4-Niveau	
						SE	SP	SE	SP
In-vitro-Studien									
Kay et al. (1988)	-	-	57	-	-	-	57	67	
Wenzel et al. (1990)	-	-	45	-	-	-	80	87	
Wenzel et al. (1991a)	81	-	81	-	-	-	20	97	
Wenzel et al. (1992)*	81	-	81	-	-	-	34	97	
Wenzel & Fejerskov (1992)*	78	-	78	-	-	-	54	81	
Verdonschot et al. (1993b)*	81	-	81	-	-	-	48	89	
Lussi (1993)*	52	11	63	-	-	-	Uni: 17 Praxis: 9 Alle: 12	Uni: 88 Praxis: 97 Alle: 93	
Ricketts et al. (1995b)	48	-	48	-	-	-	49	90	
Lussi (1996)	-	-	$\frac{37}{100}$	-	-	-	Uni: 70 Praxis: 57 Alle: 62	Uni: - Praxis: - Alle: -	
Gray & Paterson (1997)*	35	-	35	-	-	-	Uni: 82 Praxis: 86	Uni: 75 Praxis: 77	
Ekstrand et al. (1997) ^E	80	20	100	-	-	-	95	90	
Ashley et al. (1998)	103	-	103	-	60	73	24	97	
Huysmans et al. (1998a)	-	-	107	-	-	-	27	100	
Ando et al. (2000) ^E	100	-	100	-	89	61	90	55	
Cortes et al. (2000) ^E	59	-	59	-	95	53	42	98	
Knittel et al. (2000)	224	-	224	-	60	79	32	94	
Pereira et al. (2001)	101	-	101	-	-	-	17/7	97/99	
Cortes et al. (2003) ^E	111	-	111	-	98	38	55	90	
In-vivo-Studien									
Verdonschot et al. (1992)	19	4	23	13	-	-	13	94	
Hintze et al. (1998)	338	-	338	53	-	-	34	98	
Klinke et al. (2001)	34	-	34	22	-	-	69	62	
Heinrich-Weltzien et al. (2002) ^E	248	-	248	92	-	-	41	71	

* Studie unter Ausschluss kavittierter Läsionen

° Kavitierte Läsionen

^E Kriterien nach Ekstrand et al. (1997 oder 1998)

Da auch die Erfahrungen und der Ausbildungsstand des Zahnarztes die Genauigkeit seiner Diagnostik beeinflussen, untersuchte Lussi (1993 und 1996) die Akkuratheit der visuellen Okklusalkaries-Diagnostik von Universitäts- und Praxis-Zahnärzten. Für erstere betrug die SE 17% und die SP 88%; für letztere registrierten die Autoren eine SE von 9% und SP von 97%. Gray und Paterson (1997) fanden ebenfalls keine signifikanten Unterschiede zwischen der diagnostischen Güte von Universitäts- und Praxis-Zahnärzten. Jedoch ermittelten die Autoren für Universitäts-Zahnärzte eine SE von 82%

und SP von 75%, für Praxis-Zahnärzte betrug die SE 86% und SP 77%. Aufgrund dieser widersprüchlichen Angaben insbesondere zur SE der visuellen Kariesdiagnostik erscheinen weitere Untersuchungen hinsichtlich des Ausbildungsstandes angezeigt.

Werden die Untersuchungen zur Reproduzierbarkeit und Akkuratheit der visuellen Diagnostik zusammengefasst, so muss konstatiert werden, dass visuelle Verfahren häufig zu subjektiv, damit nur ungenügend reproduzierbar und letztendlich zu wenig sensitiv sind. Da eine hohe SE und SP jedoch eine wesentliche Voraussetzung für einen vorbehaltlosen klinischen Einsatz zur Karies- und Kariesverlaufs-Diagnostik sind, wurde die ergänzende Nutzung objektiver Verfahren wiederholt gefordert (Ricketts et al. 1996, Huysmans 2000, Pitts 2001).

2.4 Röntgenografische Okklusalkaries-Diagnostik

Die Kariesdiagnostik mittels Röntgenaufnahmen ist seit den Anfängen der medizinischen Radiologie Bestandteil zahnärztlichen Handelns (Davidsohn 1910). Als universelle Methode zur röntgenografischen Darstellung des kariösen Prozesses hat sich die von Raper (1925) eingeführte Bissflügel-Aufnahme als Diagnostikinstrument zur Okklusal- und Approximalkaries-Diagnostik, Einschätzung der Füllungsqualität, Einschätzung paradontaler Strukturen etc. in der zahnärztlichen Praxis durchgesetzt.

Der diagnostische Nutzen des Röntgenbildes ist für die Approximalkaries-Diagnostik unbestritten (Creanor et al. 1990, Weerheijm et al. 1992c, Kidd et al. 1992, Heinrich-Weltzien et al. 2001b). Im Gegensatz dazu wurde der Wert der Bissflügel-Aufnahme zur Erkennung kariöser Läsionen an den Okklusalflächen bis in die achtziger Jahre des 20. Jahrhunderts verkannt (King und Shaw 1979, Dooland und Smales 1982). Erst zu Beginn der neunziger Jahre zeichnete sich im Zuge des Kariesrückganges, der Konzentration des Kariesbefalls auf die Okklusalflächen und dem verstärkten Auftreten versteckter Okklusalläsionen eine Neubestimmung dieser Position ab. Die röntgenografische Beurteilung der Okklusalflächen an Bissflügel-Aufnahmen wird heute als unverzichtbar angesehen (Mann et al. 1989, de Vries et al. 1990, Kidd und Pitts 1990, Hintze und Wenzel und Verdonschot 1994, Poorterman et al. 2000).

Die röntgenografische Erkennung beginnender Dentinläsionen ist schwierig (Lussi 1996). Vorrangig im Bereich der Schmelz-Dentin-Grenze muss mit einer erhöhten Anzahl falsch positiver Diagnosen gerechnet werden (Tveit et al. 1991, Wenzel et al. 1991a und 1992, Lussi 1993, Espelid et al. 1994, Ricketts et al. 1995b). Neben der Überlagerung des begrenzten kariösen Prozesses durch das umgebende gesunde Zahnhartgewebe muss als

weitere Ursache das Phänomen des Mach-Band-Effektes diskutiert werden (Fiorentini 1972, Berry 1983). Als psychophysiologisches Wahrnehmungsphänomen kann dieser Effekt, als „neuronal“ Kontrastverstärkung zwischen hellen (Schmelz) und dunkleren Flächen (Dentin), dem Untersucher unterhalb der Schmelz-Dentin-Grenze eine Radioluzenz vortäuschen, ohne dass eine solche tatsächlich vorhanden ist. Somit ist der Nutzen der Röntgenaufnahme zur Okklusalkaries-Diagnostik nicht zuletzt von den klinisch-röntgenografischen Erfahrungen des jeweiligen Untersuchers abhängig. Darüber hinaus darf der Röntgenbefund nicht losgelöst vom klinischen Erscheinungsbild interpretiert werden (Nyvad et al. 1999, Machiulskiene et al. 1999).

Tab. 3: Literaturübersicht zur Intra- und Inter-Untersucher-Variabilität der röntgenografischen Okklusalkaries-Diagnostik (konventionelles Röntgen)

Konvent. Röntgen	Studienmaterial				Untersucher-Variabilität		
	Studie	Mol	PM	Total	Anzahl Patienten	INTRA (K)	INTER (K)
In-vitro-Studien							
Lussi (1993)*	52	11	63	-	-	Uni: 0,56 Praxis: 0,54 Alle: 0,55	Uni: 0,46 Praxis: 0,45 Alle: 0,45
Wenzel et al. (1992)*	81	-	81	-	-	0,31 0,49	0,47 0,60
Wenzel & Verdonschot (1994)	60	-	60	-	-		
Lazarchik et al. (1995)	-	-	100	-	-	-	Student 1: 0,24 Student 2: 0,38 Uni: 0,53
Lussi (1996)	52	11	63	-	-	Uni: 0,56 Praxis: 0,54 Alle: 0,55	Uni: 0,46 Praxis: 0,45 Alle: 0,45
	-	-	$\frac{37^{\circ}}{=100}$	-	-		
Ekstrand et al. (1997)*	80	20	100	-	-	0,72 - 0,83	0,52 - 0,62
Huysmans et al. (1998a)	-	-	107	-	-	-	0,57
Cortes et al. (2000)*	59	-	59	-	-	0,75 - 0,92	0,75 - 0,79
Knittel et al. (2000)	224	-	224	-	-	-	0,38
In-vivo-Studien							
Verdonschot et al. (1992)	19	4	23	13	-	-	0,38
Hintze et al. (1998)	338	-	338	57	-	-	0,48 - 0,65
Thomas et al. (2001)	299	-	299	49	-	0,31 - 0,44	-

* Studie unter Ausschluss kavittierter Läsionen

° Kavitierte Läsionen

E Kriterien nach Ekstrand et al. (1997 oder 1998)

Tab. 4: Literaturübersicht zur Validität der röntgenografischen Okklusalkaries-Diagnostik (konventionelles Röntgen)

Konvent. Röntgen	Studienmaterial				Validität				
	Studie	Mol	PM	Total	Anzahl Patienten	D1-4-Niveau		D3-4-Niveau	
						SE	SP	SE	SP
In-vitro-Studien									
Wenzel et al. (1990)	-	-	45	-	-	-	75	90	
Wenzel et al. (1991a)*	81	-	81	-	-	-	40	98	
Wenzel et al. (1991b)	81	-	81	-	-	-	62	85	
Wenzel & Fejerskov (1992)*	78	-	78	-	-	-	48	81	
Wenzel et al. (1992)*	81	-	81	-	-	-	49	94	
Van Amerongen et al. (1992)	-	-	69	-	-	-	84	82	
Nytun et al. (1992)	30	-	30	-	-	-	66	50	
Verdonschot et al. (1993b)	81	-	81	-	-	-	61	79	
Russel & Pitts (1993)	-	-	120	-	-	-	21	99	
Van Amerongen et al. (1993)*	125	-	125	-	-	-	41	91	
Lussi (1993)*	52	11	63	-	-	-	Uni: 45 Praxis:45 Alle: 45	Uni: 84 Praxis:82 Alle: 83	
Espelid et al. (1994)	45	37	82	-	-	-	90	76	
Lussi (1996)	-	-	<u>37°</u> = 100	-	-	-	Uni: 78 Praxis:80 Alle: 79	Uni: - Praxis: - Alle: -	
Ekstrand et al. (1997)	80	20	100	-	-	-	54	100	
Huysmans et al. (1998a)	-	-	107	-	-	-	58	87	
Hintze et al. (1998)	38	-	338	-	-	-	63	92	
Cortes et al. (2000)*	59	-	59	-	-	-	84	83	
Knittel et al. (2000)	224	-	224	-	42-51	78-80	20-24	92-94	
In-vivo-Studien									
Verdonschot et al. (1992)	19	4	23	13	-	-	58	66	
Lussi (1995b)	26	-	26	22	-	-	62	77	
Hintze et al. (1998)	338	-	338	53	-	-	63	92	
Heinrich-Weltzien et al. (2002)*	248	-	248	92	-	-	70	96	

* Studie unter Ausschluss kavierter Läsionen

° Kavitierte Läsionen

Die Reproduzierbarkeit der röntgenografischen Okklusalkaries-Diagnostik wurde in zahlreichen Studien untersucht. Die ermittelten κ -Werte für die Intra- bzw. Inter-Untersucher-Variabilität (D3-4-Niveau) bewegten sich zwischen 0,31 und 0,83 bzw. 0,24 und 0,79 (Tab. 3). Lediglich Cortes et al. (2000) fanden mit Werten von 0,75 bis 0,82 für die Intra-Untersucher-Variabilität und mit Werten von 0,75 bis 0,79 für die Inter-Untersucher-Variabilität eine hohe bis nahezu vollständige Übereinstimmung mit der röntgenografischen Diagnostik. Die Mehrzahl aller Studien ermittelten κ -Werte, welche im Bereich einer marginale Übereinstimmung lagen. Unterschiede zwischen

unterschiedlich ausgebildeten Zahnärzten wurden nicht gefunden (Lussi 1993 und 1996); die κ -Werte lagen mit 0,55 und 0,45 für Universitäts- und Praxis-Zahnärzte im Bereich einer guten Übereinstimmung.

Die Güte der röntgenografischen Untersuchung kann ebenso wie die Variabilität nur auf dem diagnostischen Niveau der Dentinkaries bewertet werden (D3-4), da die Erkennung okklusaler Schmelzläsionen durch die Überlagerung okklusaler Schmelzstrukturen unmöglich ist. Auf dem diagnostischen Niveau einer Dentinkaries (D3-4) variieren SE bzw. SP zwischen 20% und 90% bzw. 50% und 100% (Tab. 4). Damit ist die Genauigkeit der Diagnostik von okklusalen Läsionen deutlich niedriger als von approximalen Läsionen, die nach Pitts (1996) in mehr als 90% aller Fälle röntgenografisch akkurat diagnostiziert werden. Nichtsdestotrotz bewerten verschiedene Autorengruppen die röntgenografische Okklusalkaries-Diagnostik als eine wertvolle Ergänzung des klinischen Vorgehens sowie als „Sicherheitsnetz“ für den Zahnarzt und Patienten (Allan und Naylor 1984, Nyttun et al. 1992, Weerheijm et al. 1992c, Heinrich-Weltzien et al. 2002).

Tab. 5: Literaturübersicht zur Validität der visuell-röntgenografischen Okklusalkaries-Diagnostik

Visuell-Röntgen	Studienmaterial				Validität				
	Studie	Mol	PM	Total	Anzahl Patienten	D1-4-Niveau		D3-4-Niveau	
						SE	SP	SE	SP
In-vitro-Studien									
Lussi (1993)*	52	11	63	-			Uni: 87	Uni: 49	
Lussi (1996)	-		63 37° =100	-			Uni: 90	-	
Gray & Paterson (1997)*	35	-	35	-	-	-	Uni: 75 Praxis:84	Uni: 60 Praxis:79	

* Studie unter Ausschluss kavittierter Läsionen

° Kavitierte Läsionen

In Untersuchungen, die zusätzlich eine klinisch-röntgenografische Befundung vornahmen (Lussi 1993 und 1996), erzielten die untersuchenden Zahnärzte günstigere Ergebnisse als bei einer alleinigen visuellen Befundung (VI: SE 17%, SP 88%; VI-RÖ: SE 87%, SP 49%) (Tab. 5). Demgegenüber ermittelten Gray und Paterson (1997) keine signifikanten Unterschiede der diagnostischen Güte zwischen der alleinigen visuellen Inspektion und der visuell-röntgenografischen Befundung. Der Vergleich zwischen Universitäts- und

Praxis-Zahnärzten ließ ebenfalls keine signifikanten Unterschiede erkennen. Aufgrund der einerseits widersprüchlichen und andererseits begrenzten Informationen erscheinen detailliertere Kenntnisse zu dem kombinierten klinisch-röntgenografischen Verfahren wünschenswert, zumal dieses Vorgehen routinemäßig allen Zahnärzten im Vergleich zu anderen ergänzenden Verfahren (lichtoptische Methoden, elektrische Widerstandsmessung) zur Verfügung steht.

2.5 *Elektrische Widerstandsmessung zur Okklusalkaries-Diagnostik*

Physikalische Grundlage des elektrischen Widerstandes ist das Ohmsche Gesetz, welches den Widerstand R (Maßeinheit Ω) als Verhältnis von der Spannung U zur Stromstärke I definiert. Die Größe des Widerstandes ist darüber hinaus abhängig von der Materialkonstante des jeweiligen Leiters, die durch den spezifischen Widerstand ρ mit der Maßeinheit $\Omega\cdot m$ beschrieben wird.

In der Zahnheilkunde kommen elektrische Untersuchungsmethoden bei der Vitalitätsprüfung (Mumford 1956, Reynolds 1966), im Bereich der Endodontie zur Bestimmung der Wurzelkanallänge (Sunada et al. 1962) oder zur metrischen Einschätzung der Dentinstärke nach Präparation von Zähnen (Gente 1987 und 2002, Gente und Wenz 1991) zur Anwendung. Im Vergleich dazu ist die elektrische Widerstandsmessung als viel versprechende Methode zur Detektion versteckter kariöser Läsionen ein relativ junges Verfahren. Obwohl Magitot bereits 1867 versuchte, Induktionsstrom zur Lokalisierung kariöser Zähne anzuwenden (Dobrenic und Jelinek 1969), wurden fundiertere Untersuchungen zum Verhalten des elektrischen Widerstandes an gesunden bzw. kariösen Läsionen erst von Ehrenfeld (1927) bzw. Mumford (1956) vorgelegt. Messungen von Mumford et al. (1967) erbrachten den Nachweis, dass der mit seiner Versuchsanordnung registrierte Widerstand an kariös veränderter Zahnhartsubstanz erheblich sank und um so kleiner wurde, je profunder die Läsion war. Dobrenic und Jelenik (1969) konnten diesen Zusammenhang in einer In-vivo-Studie an 64 Patienten bestätigen. Unterschiede bezüglich des elektrischen Widerstandes sind nach Godt und von Bredow (1967) vorrangig auf den Wassergehalt des Dentins zurückzuführen; gesundes (= nahezu trockenes) Dentin wird im Vergleich zu kariösem (= feuchtem) Dentin als Isolator mit einem entsprechend höheren Widerstand angesehen. Niedrigere Widerstandswerte können aber auch auf Porositäten und Schmelzsprünge zurückgeführt werden (Scholberg et al. 1982, Dibdin 1993).

Im Ergebnis histologisch validierter Untersuchungen registrierten White et al. (1978 und 1981) mit der elektrischen Widerstandsmessung höhere Güteparameter als mit konventionellen Methoden. Anhand ihrer Erfahrungen verwiesen die Autoren auch auf das Potential für ein mögliches Kariesmonitoring (White et al. 1981). Als Einschränkung für die Verlaufskontrolle verwiesen Schulte und Pieper (1997) sowie Schulte et al. (1999) jedoch auf Effekte bei der posteruptiven Schmelzreifung. Begründet in der Dickenzunahme von Dentin und Schmelz nimmt mit zunehmendem Alter gleichfalls der elektrische Widerstand zu. Ein valides Kariesmonitoring wird dadurch nahezu verhindert.

Bei der praktischen Durchführung der elektrischen Widerstandsmessung wird zwischen einer site- und surface-spezifischen Vorgehensweise unterschieden. Bei der site-spezifischen Messung wird je nach Gerätetyp mit einem integrierten Airflow die Zahnoberfläche getrocknet und alle verdächtigen Punkte auf der Zahnoberfläche einzeln gemessen (Lussi 1995b, Ricketts et al. 1996). Der definierten Lufttrocknung kommt dabei eine zentrale Bedeutung zu (Ricketts et al. 1997a): Einerseits ist die Entfernung von Speichel und Flüssigkeiten von der Zahnkrone notwendig, um einen elektrischen Stromfluss über den Speichelfilm sowie die Gingiva zu vermeiden. Würde darauf verzichtet werden, ist mit einem Anstieg falsch positiver Befunde zu rechnen. Andererseits führt eine forcierte Dehydration des Zahnes zu einer Erhöhung falsch negativer Ergebnisse. Um das Dehydrationsproblem möglichst auszuschließen, wurde die so genannte kumulative Widerstandsmessung entwickelt (Ricketts et al. 1997b). Im Vergleich zur herkömmlichen stabilen Messung, bei welcher nach wenigen Sekunden ein site- oder surface-spezifischer Wert feststeht, werden hierbei alle erfassten Werte aus einem Zeitintervall von einer Sekunde addiert, um einen kumulativen Wert zu erhalten. So ermöglicht dieses Vorgehen, anhand des Austrocknungsprofils Vergleiche zwischen gesunder und kariöser Zahnhartsubstanz zuzulassen. Grundlegende Untersuchungen von Ricketts et al. (1995b) zeigten dazu, dass die Berechnung von kumulativen Widerständen über ein 10-Sekunden-Intervall akzeptabel war und die SE und SP in vergleichbaren Größenordnungen wie bei der stabilen Messung lagen. Bezüglich der Akkuratheit konnten Ricketts et al. (1997b) keine Unterschiede zwischen stabilen und kumulativen Messungen feststellen. Da die Reproduzierbarkeit stabiler Messungen jedoch als besser eingestuft wurde, wird das herkömmliche Vorgehen derzeit weiter favorisiert.

Um das klinische Procedere zu vereinfachen, wurde eine surface-spezifische Methodik vorgeschlagen (Huysmans et al. 1998a). Dabei wird vor der Messung das Fissurenrelief mit einem Kontaktgel bedeckt und der Widerstand für die gesamte Okklusalfäche gemessen. Als nachteilig musste jedoch erkannt werden, dass die Widerstandswerte zwischen unterschiedlich weit fortgeschrittenen Läsionen an einer Okklusalfäche sich ausgleichen können (Ricketts et al. 1997b). Eine exakte Diagnostikentscheidung erscheint damit schwierig, so dass aus dieser Sicht dem site-spezifischen Vorgehen der Vorrang eingeräumt wird.

Zur Detektion der versteckten Okklusalkaries auf der Grundlage der elektrischen Widerstandsmessung wurden folgende Geräte eingesetzt:

1. Electronic Caries Monitor, ECM II (Lode Diagnostics, Groningen, Niederlande)
2. Vanguard Electronic Caries Detector (Massachusetts Manufacturing Corp., Cambridge, Mass., USA)
3. Cariesmeter L (Onuki Dental Co. Ltd., Japan)
4. CRM 800 (Philipps-Universität Marburg, Deutschland)

Während zwischenzeitlich die Produktion der Vanguard Electronic Caries Detectors und des Cariesmeter L eingestellt wurde, ging die Entwicklung des CRM 800 niemals über die Herstellung eines Prototypen hinaus.

Das ECM-Gerät misst den elektrischen Widerstand bei einer niedrigen AC-Frequenz von ~21,3 Hz und einer Stromstärke $<0,3 \mu\text{A}$. Das Gerät ermöglicht den Herstellerangaben zufolge ein sicheres Messen in einem Bereich von $1 \text{ k}\Omega$ bis $> 10 \text{ G}\Omega$.

Das CRM-Gerät arbeitet mit einer Frequenz von 500 Hz und einer Amplitude von ca. $2 \mu\text{A}$ und zeigt den Realanteil der am Zahn anliegenden Impedanz an (Gente 1987, Gente und Wenz 1991, Schulte und Pieper 1997).

Zur Beurteilung der Reproduzierbarkeit von Messwerten zum elektrischen Widerstand wurden verschiedene statistische Verfahren, wie Kappa-Werte, Korrelationskoeffizienten und/oder Residuenplots nach Bland und Altman, herangezogen. Da die Kappa-Statistik für die Einschätzung kontinuierlicher Daten, wie diese bei der elektrischen Widerstandsmessung vorliegen, eine ungeeignete Methode ist, kann damit allenfalls ein orientierender Wert bei einem vorher festgelegten Grenzwert erhalten werden (Huysmans et al. 1998a). Die mittleren κ -Werte für die Reproduzierbarkeit von ECM-Messungen bewegen sich zwischen 0,55 und 0,92 für die Intra- und zwischen 0,48 und 0,93 für die Inter-Untersucher-Variabilität (Tab. 6).

Tab. 6: Literaturübersicht der Intra- und Inter-Untersucher-Variabilität der elektrischen Widerstandsmessung zur Okklusalkaries-Diagnostik

ECM	Studienmaterial				Untersucher-Variabilität	
Studie	Mol	PM	Total	Anzahl Patienten	INTRA (K)	INTER (K)
In-vitro-Studien						
Ekstrand et al. (1997)	80	20	100	-	0,67 - 0,92	0,50 - 0,57
Ricketts et al. (1997b)						
Ricketts et al. (1997c)	16	16	32	-	D1-4: 0,76 D3-4: 0,55	-
Huysmans et al. (1998a)	-	-	107	-	-	0,53/ 0,76 ^{PR}
<i>Huysmans et al. (1998a)</i>	-	-	<i>107</i>	-	-	<i>0,89/0,93^{PR}</i>
<i>Huysmans et al. (1998b)</i>	-	-	<i>68</i>	-	<i>0,82^{PR}</i>	<i>0,85^{PR}</i>
Ashley et al. (1998)*	-	-	103	-	0,63	-
Ando et al. (2000)	100	-	100	-	0,87 - 0,92	0,75
Pereira et al. (2001)	101	-	101	-	0,63/0,86	0,59
<i>Pereira et al. (2001)</i>	<i>101</i>	-	<i>101</i>	-	<i>0,82/0,83</i>	<i>0,48</i>
Shi et al. (2002)	-	77	77	-	0,71	-
In-vivo-Studien						
Verdonschot et al. (1992)	19	4	23	13	-	0,79
Lussi (1995b)	26	-	26	22	0,85	-
Ie et al. (1995)	60	-	60	26	-	0,76
Fennis-Ie et al. (1998)	197	-	197	50	-	0,65 - 0,73

* Nicht kavitierte Läsionen

^{PR} Pearson'scher Rangkorrelationskoeffizient

Surface-spezifische Angaben sind kursiv gedruckt

Für die Analyse kontinuierlicher Daten sind Residuenplots nach Bland und Altman (1986) das geeignetere Verfahren. Anhand der Ober- und Untergrenzen, in denen 95% aller Messwerte liegen, wird ein Wahrscheinlichkeitsintervall angezeigt. Für punkt-spezifische ECM-Messungen fanden Pereira et al. (2001) untersucherabhängig ein Intervall von -6,6 bis 4,3 bzw. -2,5 bis 3,0 für die Intra-Untersucher-Variabilität und von -6,4 bis 9,0 für die Inter-Untersucher-Variabilität. Ekstrand et al. (1997) ermittelten aus site-spezifischen Messungen ähnliche Unter- und Obergrenzen (Intra: -7,2 bis 7,1 und -4,5 bis 4,6; Inter: -6,1 bis 7,9 bzw. -5,4 bis 6,3). Während einzig Pereira et al. (2001) anhand dieser Ergebnisse die site-spezifische elektrische Widerstandsmessung als enttäuschend bewerteten, beurteilten anderen Autoren die Reproduzierbarkeit als sehr gut. Insofern besteht weiterer Forschungsbedarf zur Klärung dieser widersprüchlichen Angaben.

Auf dem diagnostischen Niveau einer Schmelz- und Dentinläsion (D1-4-Niveau) variiert die SE zwischen 43% und 80% und die SP zwischen 71% und 96% für das ECM-Gerät. Werden die Ergebnisse auf dem D3-4-Niveau betrachtet, so wurden SE-Werte zwischen 30% und 94% und SP-Werte zwischen 61% und 100% erzielt (Tab. 7). Die günstigsten Parameter für das ECM-Gerät registrierten Ekstrand et al. (1997) an 80 Molaren und 20 Prämolaren und gaben die SE- und SP-Werten mit 90% und 85% an.

Tab. 7: Literaturübersicht der Validität der elektrischen Widerstandsmessung zur Okklusalkaries-Diagnostik

ECM	Studienmaterial				Validität					
	Studie	Mol	PM	Total	Anzahl Patienten	D1-4-Niveau		D3-4-Niveau		
						SE	SP	SE	SP	A _z
In-vitro-Studien										
Verdonschot et al. (1993b)*	81	-	81	-	-	-	67	82	0,82	
Lussi et al. (1995b)	41	-	41	-	-	-	93	77	-	
Ricketts et al. (1996)	10	-	10	-	-	-	92	100	-	
Ricketts et al. (1997b)*	32	-	32	-	61	96	92	87	0,89	
Ekstrand et al. (1997)	80	20	100	-	-	-	90	85	-	
<i>Ricketts et al. (1997c)</i>	<i>48</i>	<i>48</i>	<i>96</i>	-	<i>61</i>	<i>86</i>	<i>76</i>	<i>76</i>	-	
Huysmans et al. (1998a)	-	-	107	-	-	-	58	94	0,82	
<i>Huysmans et al. (1998a)</i>	-	-	<i>107</i>	-	-	-	<i>76</i>	<i>90</i>	<i>0,89</i>	
<i>Huysmans et al. (1998b)</i>	<i>177</i>	<i>148</i>	<i>325</i>	-	-	-	-	-	<i>0,90</i>	
<i>Ashley et al. (1998)*</i>	<i>35</i>	<i>68</i>	<i>103</i>	-	<i>65</i>	<i>73</i>	<i>78</i>	<i>80</i>	-	
Lussi et al. (1999)*	-	-	105	-	-	-	92	78	-	
<i>Pereira et al. (1999)</i>	<i>49</i>	-	<i>49</i>	-	-	-	<i>68</i>	<i>70</i>	-	
Pereira et al. (1999)	108	-	108	-	70	79	39	85	-	
Ando et al. (2000)	100	-	100	-	43	94	56	92	0,83	
Pereira et al. (2001)	101	-	101	-	-	-	30/46	89/79	0,76/ 0,73	
<i>Pereira et al. (2001)</i>	<i>101</i>	-	<i>101</i>	-	-	-	<i>75/72</i>	<i>61/73</i>	<i>0,80/ 0,77</i>	
Bamzahim et al. (2002)*	-	77	77	-	-	-	75	88	-	
Cortes et al. (2003)	111	-	111	-	80	71	68	90	0,84	
In-vivo-Studien										
Lussi et al. (1995b)	26	-	26	22	-	-	93	77	-	
Ie et al. (1995)	60	-	60	27	-	-	77	62	0,76	
Klinke et al. (2001)	34	-	34	22	-	-	94 85 ^{CRM}	62 47 ^{CRM}	0,75 0,70 ^{CRM}	

* Nicht kavitierte Läsionen

Surface-spezifische Angaben sind kursiv gedruckt

Um die Akkuratheit der elektrischen Widerstandsmessung bei der Erfassung versteckter Okklusalläsionen zu beurteilen, wird als zusätzliches Maß die Fläche unter der ROC-Kurve (A_z) herangezogen. Die Konstruktion von ROC-Kurven wie sie von Beck und Schulz (1986) sowie Campbell und Machin (1990) für kontinuierliche Daten empfohlen wurde, hat den Vorteil, dass dieses Vorgehen unabhängig von einem definierten Grenzwert ist. Je größer die Fläche unter der ROC-Kurve und damit der A_z -Wert, umso genauer ist die verwendete Methode. In einer vergleichenden In-vitro-Studie von 107 Zähnen ermittelten Huysmans et al. (1998a) A_z -Werte von 0,82 (ECM, site-spezifisch) und 0,89 (ECM, surface-spezifisch). Anhand dieser Daten wird die Validität der elektrischen Widerstandsmessung in der Mehrzahl aller Untersuchungen als gut bzw. sehr gut bewertet.

Da für das CRM-Gerät gegenwärtig nur begrenzte Genauigkeitsangaben durch Klinke et al. (2001) vorliegen (SE 85%, SP 94%), besteht auch weiterer Forschungsbedarf zur Evaluierung der Akkuratheit der Methode.

3 Zielstellung

Die exakte Reproduzierbarkeit und hohe Akkuratheit von Kariesdiagnostik-Verfahren sind Voraussetzung für den klinischen Einsatz einer jeden Diagnostikmethode (Pitts 2001). Auf der Grundlage des aktuellen Schrifttums konnte herausgearbeitet werden, dass die Diagnostik okklusaler, nicht kavierter Läsionen ein erhebliches klinisches Problem darstellt, wenn die Sondierung die Methode der Wahl ist.

Da die zahnärztliche Sonde nach wie vor als *das* Standardinstrument zur Kariesdiagnostik in der Mehrzahl der zahnärztlichen Praxen eingesetzt wird, stellt sich die Frage nach der Genauigkeit der visuellen und röntgenografischen Okklusalkaries-Diagnostik mit und ohne Verwendung von Geräten zur elektrischen Widerstandsmessung in Abhängigkeit vom Ausbildungs- und Erfahrungsniveau des zahnärztlichen Untersuchers.

Mit einer verstärkten Hinwendung zu präventiv orientierten Betreuungskonzepten wurde jedoch auch die „Kariesfrüherkennung“ und das „Kariesmonitoring“ in den Fokus der Zahnärzteschaft gerückt. In der vorliegenden Arbeit sollen folgende Fragen beantwortet werden:

1. Gibt es Unterschiede in der diagnostischen Güte der visuellen und röntgenografischen Okklusalkaries-Diagnostik zwischen zahnärztlichen Untersuchern, die aufgrund ihrer Tätigkeit als Universitäts- bzw. Praxis-Zahnärzte sowie Zahnmedizin-Studenten über ein unterschiedliches Ausbildungs- und Erfahrungs- und diagnostisches Trainingsniveau verfügen?
2. Kann die elektrische Widerstandsmessung der Zahnhartsubstanz mit dem Electronic Caries Monitor (ECM; Lode Diagnostics, Groningen, Niederlande) das diagnostische Niveau der Okklusalkaries-Diagnostik verbessern?
3. Steht mit dem Cariometer CRM 800 (Philipps-Universität Marburg, Deutschland) zur Okklusalkaries-Diagnostik ein von der diagnostischen Güte gleichwertiges Gerät zum kostenintensiven Electronic Caries Monitor (ECM) zur Verfügung?
4. Kann mit der visuellen und röntgenografischen Okklusalkaries-Diagnostik in Kombination mit der elektrischen Widerstandsmessung ein diagnostischer Zugewinn bei der Okklusalkaries-Diagnostik erzielt werden?

4 Material und Untersuchungsmethoden

Für die In-vitro-Untersuchung wurden 117 gesunde und nicht kavitierte Weisheitszähne ausgewählt. Die Extraktion der Zähne erfolgte aus kieferchirurgischen bzw. kieferorthopädischen Gründen. In die Untersuchung wurden nur Molaren einbezogen, die keine Versiegelungen, keine Füllungen, keine approximalen und/oder bukkalen kariösen Läsionen sowie keine okklusalen Kavitationen aufwiesen. Das Wurzelwachstum bei den einbezogenen Zähne war abgeschlossen. Zur Vermeidung von Fäulnisprozessen wurden die Zähne in einer 0,02%igen natriumacidhaltigen physiologischen Kochsalzlösung (pH 7,68) gelagert. In regelmäßigen Abständen wurde die Lösung ausgetauscht.

Alle Proben wurden sorgsam von organischen Auflagerungen befreit und anschließend mit einem Pulverstrahlgerät (Air Flow, EMS, Schweiz) und rotierenden Bürstchen gereinigt. Die Proben wurden anschließend ab dem Wurzelabgang in Kallocryl CPGM (Speiko, Münster, Deutschland) eingebettet und jeder Zahn fortlaufend nummeriert. Die abschließende feuchte Aufbewahrung jeder einzelnen Probe erfolgte in einer mit 0,02%iger natriumacidhaltiger physiologischer Kochsalzlösung (pH 7,68) gefüllten Filmdose; die Lösung wurde regelmäßig erneuert. Vor Untersuchungsbeginn wurden alle Okklusalfächen fotodokumentiert, so dass das klinische Erscheinungsbild für die spätere histologische Aufarbeitung verfügbar war. Für die röntgenografische Beurteilung wurde von jedem Zahn ein Röntgenbild angefertigt; ein Weichgewebsäquivalent wurde nicht verwandt. Der Zentralstrahl wurde koronal in vestibulo-oraler Richtung und mittig auf den Zahnfilm (3x4; Kodak Ektaspeed Plus EP 21 P, Kodak, Deutschland) positioniert (Abb. 1).

Abb. 1: Vorrichtung zur standardisierten Anfertigung von Röntgenbildern in vitro.



Die Belichtung erfolgte bei 65 kV und 7,5 mA für 0,38 Sekunden mit dem Röntgengerät Trophy 70X (Deuker & Neubauer Dental, Deutschland) mit der Filmempfindlichkeitsstufe 4. Die Entwicklung der Röntgenbilder wurde unter standardisierten Bedingungen mit einer frisch angesetzten Entwickler- und Fixierlösung vorgenommen. In die In-vitro-Studie wurden 22 Untersucher einbezogen. Zehn Zahnärzte waren an Universitäten, in den Abteilungen Zahnerhaltung und Kinderzahnheilkunde tätig. Sechs Zahnärzte waren in eigenen Praxen, ausschließlich in Hessen, niedergelassen. Weiterhin nahmen sechs Studenten des zehnten Semesters, vorrangig studierend an der Justus-Liebig-Universität Gießen, teil.

Entsprechend der Zielstellung wurden alle Untersucher gebeten, anhand ihrer eigenen Erfahrungen und „internen Standards“, die sie zur Diagnostik der Okklusalkaries in der täglichen klinischen Praxis verwenden, eine Diagnose für Okklusalflächen der Molaren mit der (den) jeweils zur Verfügung stehenden Diagnostikmethode(n) zu stellen. Ein Audit wurde nicht vorgenommen. Diagnostisch sollte zwischen

- Fissurensystem gesund (D0)
- Schmelzkaries (D1-2) und
- Dentinkaries (D3-4) differenziert werden.

Jede diagnostische Untersuchungsreihe wurde im wöchentlichen Abstand durchgeführt, so dass eine Erinnerung an bereits erhobene Befunde weitestgehend ausgeschlossen werden konnte und damit die Unabhängigkeit der Entscheidungen gewährleistet war. Zur Erfassung der Intra-Untersucher-Variabilität wurden alle Untersuchungen von jedem Examinator wiederholt. Die Befunddokumentation erfolgte immer durch einen Assistenten, so dass sich der Untersucher ausschließlich auf das diagnostische Vorgehen konzentrieren konnte und Fehler bei der Erfassung der Befunde ausgeschlossen wurden. Um eine Austrocknung der Proben während der Untersuchung zu vermeiden, wurden diese in Wasserschalen gelagert und nur für die kurze Zeit der Untersuchung entnommen. Folgende Methoden zur Okklusalkaries-Diagnostik wurden in der vorliegenden Untersuchung berücksichtigt:

- Visuelle Untersuchung (VI)
- Visuell-röntgenografische Untersuchung (VR)
- Elektrische Widerstandsmessung – Electronic Caries Monitor (ECM)
- Elektrische Widerstandsmessung – Cariometer (CRM)
- Kombinierte visuell-röntgenografische Diagnostik und elektrische Widerstandsmessung (KOMB)

Der Tabelle 8 kann die Verteilung der Universitäts-Zahnärzte, Praktiker und Zahnmedizin-Studenten in Abhängigkeit von den jeweils durchgeführten Untersuchungen entnommen werden. Für alle in die Studie eingeschlossenen Untersucher lagen alle vollständigen Befunde aus der Erst- und Wiederholungsuntersuchung vor.

Tab. 8: Übersicht aller durchgeführten Untersuchungen in Abhängigkeit vom Tätigkeitsbereich der Untersucher

Untersucher	VI	VR	ECM	CRM	KOMB
Universitäts-Zahnärzte	4	8	4	6	4
Praxis-Zahnärzte	5	6	-	-	-
Studenten	5	6	-	-	-
Gesamt	14	20	4	6	4

Visuelle Untersuchung

Die visuelle Befundung wurde von 14 Untersuchern durchgeführt. Von denen waren vier Universitäts-Zahnärzte, fünf Praxis-Zahnärzte und fünf Studenten. Bei der visuellen Untersuchung der Okklusalflächen hatten alle Zahnärzte die Möglichkeit, eine Lufttrocknung vorzunehmen. Auch konnten sämtliche Proben bei standardisierter Beleuchtung durch die zahnärztliche Operationsleuchte sowie mit einer Vergrößerungslupe (2x) untersucht werden. Die Benutzung der zahnärztlichen Sonde war untersagt. Die Untersucher hatten zu entscheiden, ob die Okklusalfläche gesund war bzw. eine Schmelz- oder Dentinkaries vorlag.

Visuell-röntgenografische Untersuchung

In einem weiteren Untersuchungsabschnitt stand nach der visuellen Befundung das jeweilige Röntgenbild allen Untersuchern, von denen acht Universitäts-Zahnärzte, sechs Praxis-Zahnärzte und sechs Studenten waren, zur Verfügung. Die visuell-röntgenografische Bewertung erfolgte analog dem visuellen Vorgehen. Die Beurteilung der Röntgenbilder fand unter Nutzung einer Vergrößerungslupe (zweifach) ohne Fremdlichtabschirmung am Lichtkasten statt. Die röntgenografische Beurteilung sollte

seitens aller Examinatoren auf die Detektion okklusaler Dentinradioluzenzen fokussieren.

Elektrische Widerstandsmessung mit dem Electronic Caries Monitor (ECM)

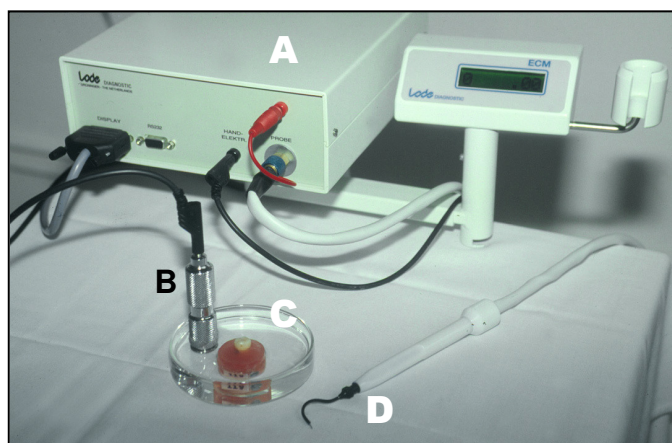
Die Messungen wurden von 4 Untersuchern mit dem Electronic Caries Monitor II (Lode Diagnostics, Groningen, Niederlande) site-spezifisch durchgeführt. Sämtliche Messungen wurde entsprechend den Herstellerangaben mit einer voreingestellten Stromstärke von $<0,3\text{mA}$ und einer Frequenz von 21,3Hz, die sowohl in vivo als auch in vitro ungefährlich ist, vorgenommen. Die Funktionsweise des Gerätes wurde den Untersuchern in einem theoretischen und praktischen Training vorab erläutert.

Dem Messprinzip der elektrischen Widerstandsmessung folgend, musste an allen Proben ein Stromfluss zwischen der Zahnwurzel und Zahnkrone ermöglicht werden. Der erforderliche Stromfluss zwischen Wurzel und Krone wurde über ein Loch bis zur Zahnwurzel im Kunststoffsockel gesichert. Da der Kunststoffsockel den Wurzelabgang dicht umschloss, konnte damit ein elektrischer Kurzschluss verhindert werden.

Der Versuchsaufbau (Abb. 2) gestaltete sich wie folgt: Die Probe wurde in einer mit physiologischer Kochsalzlösung gefüllten Petrischale so positioniert, dass der Kunststoffsockel noch aus der Lösung herausragte. Nachfolgend wurde die Bezugselektrode, die normalerweise der zu untersuchende Patient in der Hand hält, in der Petrischale platziert. Im Anschluss an die Positionierung der Messsonde auf der Okklusalfäche schaltete sich automatisch der im ECM-Gerät integrierte Luftstrom (7,5 Liter pro Minute) ein, um einen definierten Trocknungsgrad zu gewährleisten. Nach etwa 5 bis 10 Sekunden konnte der jeweilige ECM-Wert am Gerät abgelesen werden. Jeder Untersucher war ausdrücklich dazu aufgefordert nach 30 Sekunden bzw. vor der 3. Messung die Zahnoberfläche wieder zu befeuchten (Re-Wetting) und seine Messung beim Verdacht auf mehrere kariöse Läsionen sowie bei Mess-Unsicherheiten zu wiederholen. Der Messvorgang wurde erst nach Erreichen eines stabilen Wertes abgeschlossen. Aufgrund eines internen Bezuges ist eine Kalibrierung laut Hersteller nicht notwendig.

Für jede Probe wurde der niedrigste Wert registriert. Für die Beurteilung der ECM-Werte im Zusammenhang mit der Diagnosefindung lagen die Empfehlungen des Herstellers zu Grunde (Tab. 9).

Abb. 2: Versuchsaufbau zur ECM-Messung.
 A) ECM-Gerät
 B) Bezugsselektrode
 C) Petrischale mit Probe
 D) Messsonde



Tab. 9: ECM-Werte-Skala zur Okklusalkaries-Diagnostik mit dem ECM-Gerät

ECM-Werte	Diagnose
99,99	Gesunder Schmelz
< 17,00	Initialkaries
< 6,00	Schmelzkaries
< 2,00	Karies hat Schmelz-Dentin-Grenze überschritten
< 1,50	Profunde Dentinkaries

Elektrische Widerstandsmessung mit dem Cariometer (CRM)

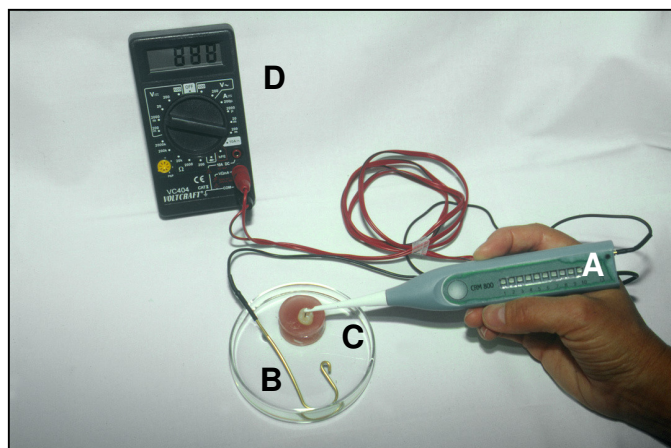
Die Untersuchungen zur elektrischen Widerstandsmessung mit dem Cariometer CRM 800 (Philipps-Universität Marburg, Deutschland) wurden von 6 Examinatoren durchgeführt. Dabei wurde nach den gleichen Prinzipien wie bei den Messungen mit dem ECM vorgegangen.

Nach dem Anschalten des Gerätes und dem Platzieren der Bezugsselektrode in der Petrischale wurden die zu untersuchenden Zähne mit einem Luftbläser getrocknet. Mit der Messelektrode, die aus einer sterilisierbaren zahnärztlichen „Sonde“ (Papillare) besteht, wurde das gesamte Fissurenareal abgetastet. Registriert wurde der Widerstand zwischen der Messsonde (Messelektrode), die den Kontakt zum Zahn herstellt und der Bezugsselektrode (Abb. 3). Die Messwerte korrespondieren in Abhängigkeit vom elektrischen Widerstand mit einer zehnstufigen Leuchtdioden-Anzeige. Die drei grün leuchtenden Dioden (1-3) werden mit einer gesunden Zahnhartsubstanz assoziiert. Die

Leuchtdioden 4, 5 und 6 haben die Farben gelb und orange und signalisieren das Vorliegen einer Schmelzkaries. Eine Dentinkaries wird durch die Dioden 7, 8, 9 und 10, von oranger und roter Farbe, angezeigt (Abb. 3). Jeder Untersucher war aufgefordert, den höchsten Wert seiner Messung zu erfassen. Die Einschätzung der CRM-Werte erfolgte nach den Empfehlungen von Gente (Philipps-Universität Marburg, Deutschland), dem Inaugurator des Gerätes (Tab. 10).

Abb. 3: Versuchsaufbau zur CRM-Messung.

- A) CRM-Gerät mit Messsonde und LED-Anzeige.
- B) Bezugselektrode
- C) Petrischale mit Probe
- D) Multimeter



Tab. 10: CRM-Werte-Skala zur Okklusalkaries-Diagnostik mit dem CRM-Gerät nach Empfehlung von Gente (Philipps-Universität Marburg, Deutschland)

CRM-Werte (LED)	Diagnose	Ein- und Ausschaltwert (kOhm)
1, 2, 3	Gesunder Schmelz (D0)	Unendlich bis 1142
4, 5, 6	Schmelzkaries (D1-2)	1142 – 486
7, 8	Karies hat Schmelz-Dentin-Grenze überschritten (D3)	486 – 207
9, 10	Profunde Dentinkaries (D4)	207 - 0

Kombiniertes diagnostisches Vorgehen

Beim kombinierten diagnostischen Vorgehen wurde neben der visuell-röntgenografischen Befundung die elektrische Widerstandsmessung unter Nutzung des ECM- und CRM-Gerätes herangezogen. Eine Gesamtdiagnose wurde von jedem Untersucher unter Berücksichtigung der zuvor beschriebenen diagnostischen Kriterien

getroffen. Vier Zahnärzte aus dem universitären Bereich wurden in diesen Untersuchungsansatz einbezogen.

Histologische Validierung

Die Validierung der Diagnostikverfahren wurde nach Abschluss des diagnostischen Procedere durch die histologische Beurteilung der Läsionsausdehnung vorgenommen (Tab. 11). Das Vorgehen basiert auf den Empfehlungen von Hintze et al. (1995), die nach der vergleichenden Beurteilung stereomikroskopischer, mikroradiografischer, röntgenografischer und visueller Validierungsverfahren für die stereomikroskopische Untersuchung nach Hemisektion der Zähne sowohl auf dem D1 als auch auf dem D3-Niveau die sichersten Ergebnisse bei einem vergleichsweise geringen Aufwand ermittelten.

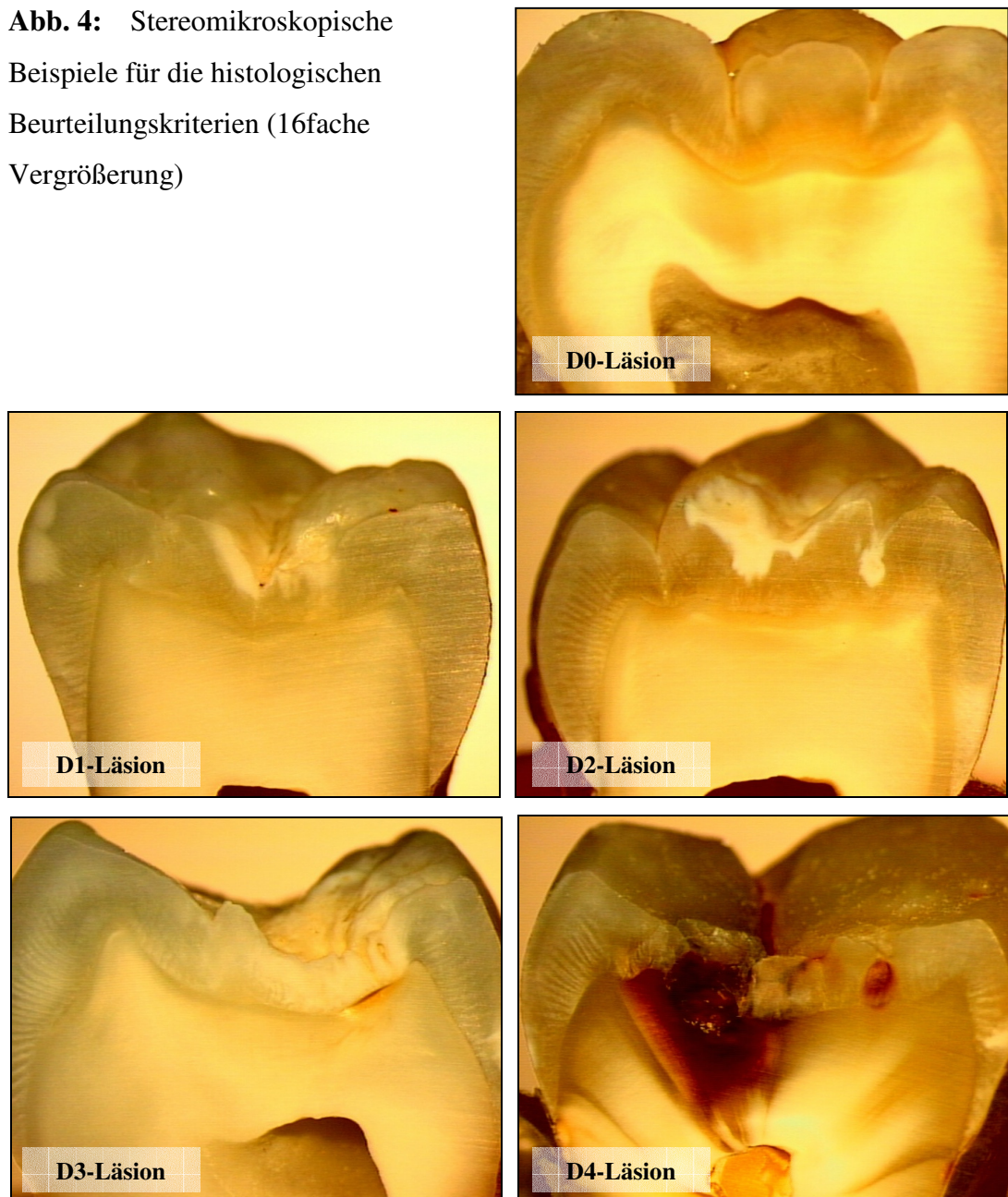
Tab. 11: Kriterien zur histologischen Validierung der Kariesdiagnostik-Methoden

Grad	Diagnose
D0	Keine Demineralisation im Schmelz und/oder Dentin
D1-2	Demineralisation auf den Schmelz begrenzt
D3	Demineralisation bis in die äußere Dentinhälfte
D4	Demineralisation über mittlere Dentinhälfte hinaus

Die Schnittebene zur Hemisektion der Zahnkrone wurde auf den Fotos der Okklusalfächen festgelegt. Dabei wurde das Hauptaugenmerk auf Fissurenbereiche mit visuell sichtbaren Veränderungen in Form von Verfärbungen, Opazitäten, Demineralisationen und Mikroavitationen gelegt. Nach der Hemisektion der Zähne mit der Nasstrennmaschine MIKROTRENN MT 1557 (Hofer, Schweiz) in mesio-distaler Richtung wurde überprüft, ob der Punkt mit der größten Läsionsausdehnung pulpawärts erfasst wurde. Von Zähnen, deren Okklusalfäche an mehreren Stellen den Verdacht einer kariösen Läsion aufwies, wurden mehrere Schnitte angefertigt. Für die Herstellung der Schnitte wurde eine diamantierte Scheibe mit einer Stärke von 200 µm verwendet.

Alle Schnittflächen wurden unter einem Stereomikroskop (Stemi SV11, Zeiss, Oberkochen, Deutschland) bei 16facher Vergrößerung nach den in Tabelle 11 definierten Kriterien beurteilt. Es wurde jeweils die tiefste Ausdehnung der kariösen Läsion registriert. Die Läsionsausdehnung an den Schnittflächen wurde abschließend fotodokumentiert (Abb. 4).

Abb. 4: Stereomikroskopische Beispiele für die histologischen Beurteilungskriterien (16fache Vergrößerung)



Kalibration des Untersuchers

Um eine exakte histologische Befundung des Untersuchers zu sichern und die Validität seiner Befunde zu gewährleisten, wurde im Vorfeld der histologischen Untersuchung eine Kalibration durchgeführt. Die Vermittlung der theoretischen Grundlagen und das praktische Training der Kalibration wurde von einer trainierten und klinisch versierten Zahnärztin (H.-W.) überwacht. Dabei wurden 20 beliebig ausgewählte Präparate, die nicht zu dem vorliegenden Studienmaterial gehörten, von vier Zahnärzten unabhängig voneinander beurteilt. Zur Bestimmung der Befundreproduzierbarkeit wurde eine Woche später eine Wiederholungsuntersuchung durchgeführt.

Der Goldstandard wurde für alle untersuchten Zähne nach der histologischen Befundung und der gemeinsamen Diskussion durch den kalibrierenden Zahnarzt (H.-W.) festgelegt. Die Qualität der Intra- und Inter-Untersucher-Variabilität bzw. der Reproduzierbarkeit der Befunde wurde mit der κ -Statistik berechnet.

Für den zu kalibrierenden Zahnarzt (M.T.) wurde eine exzellente Übereinstimmung mit den eigenen Befunden und denen der kalibrierenden Zahnärztin (R.H.-W.) registriert; die Intra- bzw. Inter-Untersucher-Variabilität betrug 0,63 bzw. 0,78. Der κ -Wert (M.T.) als Maß für die Genauigkeit der stereomikroskopischen Untersuchung betrug nach der gemeinsamen Diskussion und Festlegung des Goldstandards 0,87 und reflektiert damit eine nahezu vollständige Übereinstimmung.

Statistische Methoden

Die statistische Auswertung erfolgte im Hochschulrechenzentrum der Universität Gießen mit dem PC-Programm SPSS (Version 10.0) nach Beratung durch einen erfahrenen Statistiker.

Mit der κ -Statistik wurde die Reproduzierbarkeit der Befunde, die Intra- und Inter-Untersucher-Variabilität und einzelne Aspekte zur Genauigkeit der Diagnostikverfahren beurteilt. Der Kappa-Wert (κ) bestimmt dabei das durchschnittliche Niveau der Übereinstimmung zwischen Examinatoren bzw. zwischen unterschiedlichen Messreihen eines Untersuchers unter Ausschluss des Zufallsfaktors (Fleiss 1981). Die κ -Werte wurden durchgehend zweirangig bestimmt. Ein κ -Wert von 1 steht für eine perfekte Übereinstimmung, $\kappa < 0,40$ reflektiert, dass die beobachtete Übereinstimmung schlechter

als eine zufällig beobachtete ist (Fleiss 1981). Die Wertigkeit einzelner κ -Werte nach (Fleiss 1981) kann Tabelle 12 entnommen werden.

Tab. 12: Wertigkeit von κ -Werten in Bezug auf die Güte der Übereinstimmung (Fleiss 1981)

Kappa-Wert (κ)	Güte der Übereinstimmung
0,00 - 0,40	Marginal
0,41 - 0,75	Gut
0,76 - 1,00	Exzellent

Die Reproduzierbarkeit der Messwerte der elektrischen Widerstandsmessung (ECM, CRM) wurde mit der *linearen Regressionsanalyse* geprüft. Im Idealfall sollten alle Messwerte auf bzw. möglichst nahe an der Winkelhalbierenden liegen.

Der *Korrelationskoeffizient* nach *Pearson* (r_{Pear}) wurde zur Bewertung der Reproduzierbarkeit der ECM- und CRM-Daten herangezogen. Der Pearson'sche Korrelationskoeffizient (r_{Pear}) stellt ein normiertes Maß zur Quantifizierung eines linearen Zusammenhanges dar, die Werte können sich zwischen -1 und +1 bewegen. Ein positives Vorzeichen steht für einen gleichsinnigen und ein negatives Vorzeichen für einen gegensinnigen Zusammenhang. Je näher der Betrag an 1 liegt, desto stärker ist der Zusammenhang ausgeprägt.

Der *Intra-Klassen-Korrelationskoeffizient nach Lin* (IKK_{Lin}), der für die Beurteilung der Reproduzierbarkeit von Messwertreihen (ECM- und CRM-Daten) herangezogen wurde, diente als Maß der zufallskorrigierten Übereinstimmung (Lin 1989). Die Bewertung des IKK_{Lin} erfolgte in Anlehnung an die Empfehlung von Bühl und Zöfel (1996) und kann der Tabelle 13 entnommen werden. Neben der Angabe des IKK_{Lin} wurden *Residuenplots* nach Bland und Altman (1986) angefertigt, um die zu erwartende Inkonsistenz in einem Wahrscheinlichkeitsintervall von 95% zu veranschaulichen. Die Plots erlauben, die Wiederholbarkeit (Verlässlichkeit) des Messverfahrens einzuschätzen, Ausreißer zu erkennen und zudem kann abgelesen werden, ob Ergebnisse, etwa des ersten Untersuchers systematisch von denen des zweiten Untersuchers abweichen (Axmann et al. 2002).

Tab. 13: Wertigkeit von Korrelationskoeffizienten (Bühl und Zöfel 1996)

Korrelationskoeffizient	Bewertung
< 0,20	Sehr geringe Korrelation
< 0,50	Geringe Korrelation
< 0,70	Mittlere Korrelation
< 0,90	Hohe Korrelation
> 0,90	Sehr hohe Korrelation

Die Genauigkeit der einzelnen Diagnostikverfahren wurde anhand des histologischen Befundes, der als „Goldstandard“ diente, bestimmt. Als Gütekriterien für die diagnostische Akkuratheit einer Methode wurden die SE und SP bestimmt (Tab. 14).

Die *Sensitivität (SE)* beschreibt den Anteil der tatsächlich kariösen Okklusalfächen (Schmelz- und Dentinkaries), die mit den einzelnen Diagnostikverfahren korrekt als kariös erkannt wurden, wobei die Ausdehnung der Läsion auf den Schmelz bzw. in das Dentin mit dem jeweiligen histologischen Befund – also dem Validitätskriterium – übereinstimmt.

Die *Spezifität (SP)* beschreibt den Anteil der tatsächlich gesunden Okklusalfächen, die mit den einzelnen Diagnostikverfahren korrekt als gesund erkannt wurden. Ein diagnostischer Test kann erst dann als gut bewertet werden, wenn SE und SP summarisch 160% übersteigen (Hausen 1997).

Tab. 14: Kreuzklassifikation zur Berechnung der Güteparameter SE und SP

		Histologie		
		Karies - Ja	Karies - Nein	
Diagnostik- Methode	Karies - Ja	A	B	SE = A / A+C
	Karies - Nein	C	D	SP = D / D+B

Die *ROC-Kurve* (Receiver Operating Characteristic) ist geeignet, um die Genauigkeit eines diagnostischen Tests zu analysieren. Mit der ROC-Kurve wird die SE gegen den Komplementärwert der SP zu 1 aufgetragen. Ein diagnostischer Wert ohne jede Vorhersagekraft ergäbe hier eine 45-Grad-Linie (Diagonale). Je bauchiger die ROC-Kurve ist, desto größer ist die Vorhersagekraft des Tests. Ein Maß für die

Vorhersagekraft des Tests ist die Fläche unter der ROC-Kurve (A_z), die bei einem Test ohne jede Vorhersagekraft bei 0,5 und im Maximalfall bei 1 liegt (Bühl und Zöfel 1996).

Um statistisch korrekte Aussagen treffen zu können, wurden datenrelevante Signifikanztests durchgeführt. Ein Signifikanztest ist ein Verfahren zur Messung der Übereinstimmung oder Verträglichkeit von Daten aus einer Zufallsstichprobe mit einer Nullhypothese.

Der *Tukey-Test* diente zur Darstellung der Unterschiede zwischen Gruppen-Mittelwerten. Als Voraussetzung für den Tukey-Test muss eine Normalverteilung und eine Varianzhomogenität vorliegen, die mit dem Kolmogorov-Smirnov- und dem Shapiro-Wilk-Test gesichert wurde.

Mit Hilfe des *T-Tests* für abhängige Stichproben wurden metrische Variablen von einem Untersucher dahingehend geprüft, ob sich diese Maße signifikant unterscheiden. Dieser Test wurde zur Feststellung von Signifikanzunterschieden für die ECM- und- CRM-Werte benutzt.

5 Ergebnisse

5.1 Histologische Befunde

Für die Bewertung der diagnostischen Güte der einzelnen Kariesdiagnostik-Verfahren wurde der histologische Befund als Goldstandard herangezogen. Nach der stereomikroskopischen Auswertung wiesen 13 Zähne (11%) keinerlei Veränderungen der Zahnhartsubstanz auf (Tab. 15). Demineralisationen im Schmelzbereich wurden an 47 Zähne (40%) aufgefunden. Bei 36 Zähnen (31%) war der Demineralisationsprozess auf die äußere Dentinhälfte begrenzt, und bei 21 Zähnen (18%) war dieser über die mittlere Dentinhälfte hinaus fortgeschritten. Aufgrund der histologischen Befunde wurde für das vorliegende Studienmaterial eine Prävalenz von 88% für das D1-4-Niveau berechnet, die Prävalenz der versteckten Okklusalkaries auf dem Dentinniveau (D3-4) betrug 49%.

Die Beurteilung der Genauigkeit der einzelnen Diagnostikmethoden wurde auf dem Schmelz- und Dentinkaries-Niveau vorgenommen. Für das Schmelz-/Dentinkaries-Niveau wurden die Diagnosen „Fissurensystem gesund“ bzw. „Schmelz- und/oder Dentinkaries“ mit den histologischen Befunden D0 bzw. D1-4 kreuzklassifiziert. Für die Genauigkeit auf Dentinkaries-Niveau, wurden die Diagnosen „Fissurensystem gesund“/„Schmelzkaries“ und „Dentinkaries“ den histologischen Befunden D0-2 und D3-4 gegenübergestellt.

Tab. 15: Histologische Befunde der untersuchten Zähne (Goldstandard)

Histologischer Befund	Anzahl	Prozent (%)
Keine Demineralisation im Schmelz und/oder Dentin (D0)	13	11
Demineralisation auf den Schmelz begrenzt (D1-2)	47	40
Demineralisation bis zur äußeren Dentinhälfte (D3)	36	31
Demineralisation über mittlere Dentinhälfte hinaus (D4)	21	18
Gesamt	117	100

5.2 Genauigkeit der visuellen Okklusalkaries-Diagnostik

5.2.1 Intra- und Inter-Untersucher-Variabilität

Die visuelle Untersuchung der Zähne wurde von 14 Untersuchern, vier Universitäts-Zahnärzten, fünf Praxis-Zahnärzten und fünf Studenten zweimal durchgeführt.

Die in der Tabelle 16 dargestellte *Intra-Untersucher-Variabilität* wies als Maß für die Reproduzierbarkeit der Befunde zwischen der Erst- und Zweituntersuchung bei den Universitäts-Zahnärzten mit 0,57 den höchsten κ -Wert und die geringste Streuung ($\kappa_{\text{Max}} = 0,60$; $\kappa_{\text{Min}} = 0,53$) auf. Insgesamt lag bei allen drei Gruppen von Untersuchern eine gute Übereinstimmung zwischen Erst- und Zweituntersuchung vor. Lediglich in der Gruppe der Studenten fanden sich einzelne Untersucher, welche nur eine marginale Reproduzierbarkeit aufwiesen.

Die *Inter-Untersucher-Variabilität*, Maß für die Reproduzierbarkeit der Befunde zwischen einzelnen Untersuchern, war bei den Universitäts-Zahnärzten mit einem κ -Wert von 0,39 im Vergleich zu den Praxis-Zahnärzten ($\kappa = 0,35$) und Studenten ($\kappa = 0,37$) geringfügig besser. Die mittleren κ -Werte signalisieren insgesamt nur eine schwache Übereinstimmung zwischen den Examinatoren. Auffällig war, dass es in allen Untersuchergruppen Untersucher gab, deren Befunde gut übereinstimmten (siehe κ_{Max}), aber auch praktisch keinerlei Übereinstimmung zeigten (siehe κ_{Min}).

Tab. 16: Intra- und Inter-Untersucher-Variabilität (κ -Werte) der visuellen Okklusalkaries-Diagnostik

Visuelle Untersuchung	Untersucher-Variabilität						
	N	κ_x	INTRA		INTER		
			κ_{Max}	κ_{Min}	κ_x	κ_{Max}	κ_{Min}
Universitäts- Zahnärzte	4	0,57	0,60	0,53	0,39	0,58	0,14
Praxis-Zahnärzte	5	0,51	0,56	0,48	0,35	0,60	0,16
Studenten (10. Semester)	5	0,48	0,57	0,33	0,37	0,55	0,09

5.2.2 Akkuratheit der visuellen Okklusalkaries-Diagnostik

Die Genauigkeit der visuellen Diagnostik wurde anhand der Parameter SE, SP und κ -Werte für den diagnostischen Schwellenwert einer Schmelz-/Dentinkaries (D1-4-Niveau) und einer Dentinkaries (D3-4-Niveau) berechnet.

Für die Universitäts-Zahnärzte wurden sowohl auf dem D1-4- als auch D3-4-Niveau die höchsten SE-Werte ermittelt (Tab. 17 und 18); im Vergleich dazu erzielten Praxis-Zahnärzte und Studenten signifikant niedrigere Werte. Die Tatsache einer höheren Akkuratheit wird auch durch die günstigeren Maximum- und Minimum-Werte unterstrichen. Die an der Untersuchung beteiligten Universitäts-Zahnärzte diagnostizierten damit signifikant besser eine Schmelz-/Dentinkaries (D1-4) sowie eine Dentinkaries (D3-4).

Tab. 17: Diagnostische Güte der visuellen Okklusalkaries-Diagnostik – Schmelz-/Dentinkaries-Niveau (D1-4)

Visuelle Untersuchung	Schmelz- und Dentinkaries-Niveau (D1-4)			
	SE	SP	κ_x	Signifikanzen
Universitäts-Zahnärzte				
x	0,79	0,49	0,20	SE* SP* SE* SP*
Max	0,93	0,84	0,39	
Min	0,51	0,23	0,08	
Praxis-Zahnärzte				
x	0,49	0,89	0,14	SE ⁻ SP ⁻
Max	0,66	1,00	0,21	
Min	0,26	0,77	0,08	
Zahnmedizin-Studenten (10. Semester)				
x	0,55	0,73	0,13	
Max	0,69	0,92	0,22	
Min	0,39	0,54	0,05	

* Signifikanz-Niveau $p < 0,05$; signifikanter Unterschied (Tukey-Test)

⁻ Signifikanz-Niveau $p > 0,05$; kein signifikanter Unterschied (Tukey-Test)

Tab. 18: Diagnostische Güte der visuellen Okklusalkaries-Diagnostik – Dentinkaries-Niveau (D3-4)

Visuelle Untersuchung	Dentinkaries-Niveau (D3-4)			
	SE	SP	κ_x	Signifikanzen
Universitäts-Zahnärzte				
x	0,49	0,88	0,36	} SE* } SP* } SE* } SP*
Max	0,65	0,93	0,54	
Min	0,26	0,80	0,17	
Praxis-Zahnärzte				
x	0,33	0,94	0,27	} SE ⁻ } SP ⁻
Max	0,56	1,00	0,39	
Min	0,12	0,80	0,11	
Zahnmedizin-Studenten (10. Semester)				
x	0,27	0,97	0,23	
Max	0,42	0,98	0,36	
Min	0,17	0,93	0,16	

* Signifikanz-Niveau $p \leq 0,05$; signifikanter Unterschied (Tukey-Test)

⁻ Signifikanz-Niveau $p > 0,05$; kein signifikanter Unterschied (Tukey-Test)

Bei der Betrachtung der SP wurde auf dem Schmelz-/Dentinkaries-Niveau (Tab. 17) folgende Reihenfolge zwischen den Untersuchergruppen vorgefunden: Praxis-Zahnärzte (0,89) > Studenten (0,73) > Universitäts-Zahnärzte (0,49). Auf Dentinkaries-Niveau (Tab. 18) war die Hierarchie wie folgt: Studenten (0,97) > Praxis-Zahnärzte (0,94) > Universitäts-Zahnärzte (0,88). Praxis-Zahnärzte und Studenten erkannten auf dem D1-4- und D3-4-Niveau signifikant häufiger gesunde Okklusalfächen bzw. Schmelzläsionen als die Universitäts-Zahnärzte.

Die κ -Werte für die Untersucher-Gruppen ließen nach Ausschluss von Zufallsbefunden eine nur marginale Übereinstimmung der visuellen Diagnostik mit dem histologischen Goldstandard erkennen. Auffällig war, dass bei allen Untersuchergruppen die Diagnosegenauigkeit vom D1-4- zum D3-4-Niveau anstieg.

5.3 Visuell-röntgenografische Okklusalkaries-Diagnostik

5.3.1 Intra- und Inter-Untersucher-Variabilität

Die visuell-röntgenografische Untersuchung der Zähne wurden von 20 Examinatoren, acht Universitäts-Zahnärzten, sechs Praxis-Zahnärzten und sechs Studenten durchgeführt (Tab. 19). Bei der *Intra-Untersucher-Variabilität* wiesen die Universitäts-Zahnärzte im Vergleich zu den Praxis-Zahnärzten und Studenten eine geringfügig bessere Reproduzierbarkeit zwischen Erst- und Wiederholungsuntersuchung auf. Auch offenbarten die niedrigsten und höchsten κ -Werte keine wesentlichen Abweichungen zwischen den Untersuchergruppen. Die *Inter-Untersucher-Variabilität* ließ demgegenüber in allen Untersuchergruppen nur eine marginale Übereinstimmung der Befunde erkennen. Insbesondere verdeutlicht die Spannweite der Maximum- und Minimum-Werte eine hohe Variabilität der visuell-röntgenografischen Diagnostik zwischen den Untersuchern.

Tab. 19: Intra- und Inter-Untersucher-Variabilität (κ -Werte) der visuell-röntgenografischen Okklusalkaries-Diagnostik

Visuell-röntgen. Untersuchung	Untersucher-Variabilität						
	N	κ_x	INTRA		INTER		
			κ_{Max}	κ_{Min}	κ_x	κ_{Max}	κ_{Min}
Universitäts-Zahnärzte	8	0,53	0,64	0,36	0,39	0,58	0,08
Praxis-Zahnärzte	6	0,51	0,58	0,44	0,34	0,60	0,15
Studenten (10. Semester)	6	0,48	0,57	0,33	0,32	0,54	0,08

5.3.2 Akkuratheit der visuell-röntgenografischen Okklusalkaries-Diagnostik

Die diagnostischen Güteparameter der visuell-röntgenografischen Diagnostik auf dem D1-4- und D3-4-Niveau wurden in den Tabellen 20 und 21 zusammengestellt. Bei der Betrachtung der SE wurde deutlich, dass auf beiden Diagnostikniveaus Universitäts-Zahnärzte mit Werten von 0,76 und 0,55 im Vergleich zu Praxis-Zahnärzten (0,54 und 0,37) und Studenten (0,64 und 0,40) die besten Werte aufwiesen. Die SP der visuell-röntgenografischen Befundung betrug auf dem D1-4-Niveau 0,56 und auf dem D3-4-Niveau 0,86 für die Universitäts-Zahnärzte, Werte von 0,81/0,93 wurden für die

Praxis-Zahnärzte und von 0,60/0,92 für die Studenten ermittelt (Tab. 20 und 21). Für die SP waren keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen auf dem D3-4-Niveau feststellbar. Im Vergleich zu der niedrigen SP auf dem D1-4-Niveau wurden auf dem D3-4-Niveau gesunde Okklusalflächen bzw. Schmelzläsionen mit etwa 90% deutlich häufiger korrekt diagnostiziert.

Tab. 20: Diagnostische Güte der visuell-röntgenografischen Okklusalkaries-Diagnostik – Schmelz-/Dentinkaries-Niveau

Visuell-röntgen. Untersuchung	Schmelz- und Dentinkaries-Niveau (D1-4)				Signifikanzen
	SE	SP	κ_x		
Universitäts-Zahnärzte					
x	0,76	0,56	0,21	SE* SP*	SE* SP*
Max	0,94	0,92	0,42		
Min	0,51	0,23	0,08		
Praxis-Zahnärzte					
x	0,54	0,81	0,15	SE ⁻ SP ⁻	
Max	0,77	1,00	0,24		
Min	0,27	0,54	0,05		
Zahnmedizin-Studenten (10. Semester)					
x	0,64	0,60	0,12		
Max	0,97	0,92	0,20		
Min	0,32	0,15	0,07		

* Signifikanz-Niveau $p \leq 0,05$; signifikanter Unterschied (Tukey-Test)

⁻ Signifikanz-Niveau $p > 0,05$; kein signifikanter Unterschied (Tukey-Test)

Wird die visuell-röntgenografische Untersuchung auf D1-4-Niveau mit der κ -Statistik bewertet, so reflektieren Werte von 0,21 für die Universitäts-Zahnärzte, von 0,15 für Praxis-Zahnärzte sowie von 0,12 für die Studenten lediglich eine marginale Übereinstimmung (Tab. 20). Ebenso belegen die aufgefundenen κ -Werte auf dem D3-4-Niveau nur eine unbefriedigende diagnostische Sicherheit, obwohl die Werte mit 0,29 bis 0,40 über denen des D1-4-Niveaus liegen. Die diagnostische Akkuratheit des visuell-röntgenografischen Vorgehens war für Universitäts-Zahnärzte am höchsten.

Tab. 21: Diagnostische Güte der visuell-röntgenografischen Okklusalkaries-Diagnostik – Dentinkaries-Niveau

Visuell-röntgen. Untersuchung	Dentinkaries-Niveau (D3-4)				Signifikanzen
	SE	SP	κ_x		
Universitäts-Zahnärzte					
x	0,55	0,86	0,40	SE* SP ⁻	SE* SP ⁻
Max	0,86	0,97	0,64		
Min	0,25	0,68	0,22		
Praxis-Zahnärzte					
x	0,37	0,93	0,29	SE ⁻ SP ⁻	
Max	0,54	1,00	0,38		
Min	0,16	0,78	0,14		
Zahnmedizin-Studenten (10. Semester)					
x	0,40	0,92	0,32		
Max	0,58	1,00	0,43		
Min	0,25	0,82	0,25		

* Signifikanz-Niveau $p \leq 0,05$; signifikanter Unterschied (Tukey-Test)

⁻ Signifikanz-Niveau $p > 0,05$; kein signifikanter Unterschied (Tukey-Test)

5.4 Messung des elektrischen Widerstandes – ECM

5.4.1 Intra- und Inter-Untersucher-Variabilität

Die ECM-Untersuchungen wurden von vier Universitäts-Zahnärzten durchgeführt. Aus der Abbildung 5 kann die Übereinstimmung der ersten und zweiten Messreihe als Streudiagramm für jeden Untersucher entnommen werden. Im Idealfall sollten beide ECM-Werte gleich sein und damit auf der Winkelhalbierenden liegen.

Die Regressionslinie zeigt für alle Untersucher vorerst nur geringfügige Abweichungen. Jedoch veranschaulichen die Diagramme auch eine hohe Anzahl von Randwerten um einen ECM-Wert von 99,9. Auch in der Punktwolke von ECM-Messwerten unter 10 sind „Ausreißer“ mit Werten von 99,9 erkennbar. Da Streuungen der Messwerte in der ersten und zweiten Untersuchungsreihe etwa gleich häufig auftraten, stimmt die Regressionslinie in etwa mit der Winkelhalbierenden überein, obwohl nicht wenige „Ausreißer“ Probleme bei der Reproduzierbarkeit signalisieren.

Da die Regressionslinie von den Untersuchern 2, 3 und 4 unter der Winkelhalbierenden liegt, kann davon ausgegangen werden, dass bei der ersten Messung niedrigere Werte gemessen wurden. Um Messwertstreuungen besser zu berücksichtigen, wurde weiterhin der Pearson'sche Rangkorrelationskoeffizient (r_{pear}) sowie der IKK_{Lin} berechnet (Tab. 22). Da r_{pear} für die Intra- bzw. Inter-Untersucher-Variabilität einen Mittelwert von 0,70 bzw. 0,72 aufwies, konnte damit grundsätzlich eine positive Übereinstimmung sicher gestellt werden. Wird weiterführend das Augenmerk auf den IKK_{Lin} gelegt, so konnte eine durchschnittliche Intra- und Inter-Untersucher-Variabilität von 0,69 und 0,62 bestimmt werden. Die Werte lagen damit in der Größenordnung einer mittleren Korrelation.

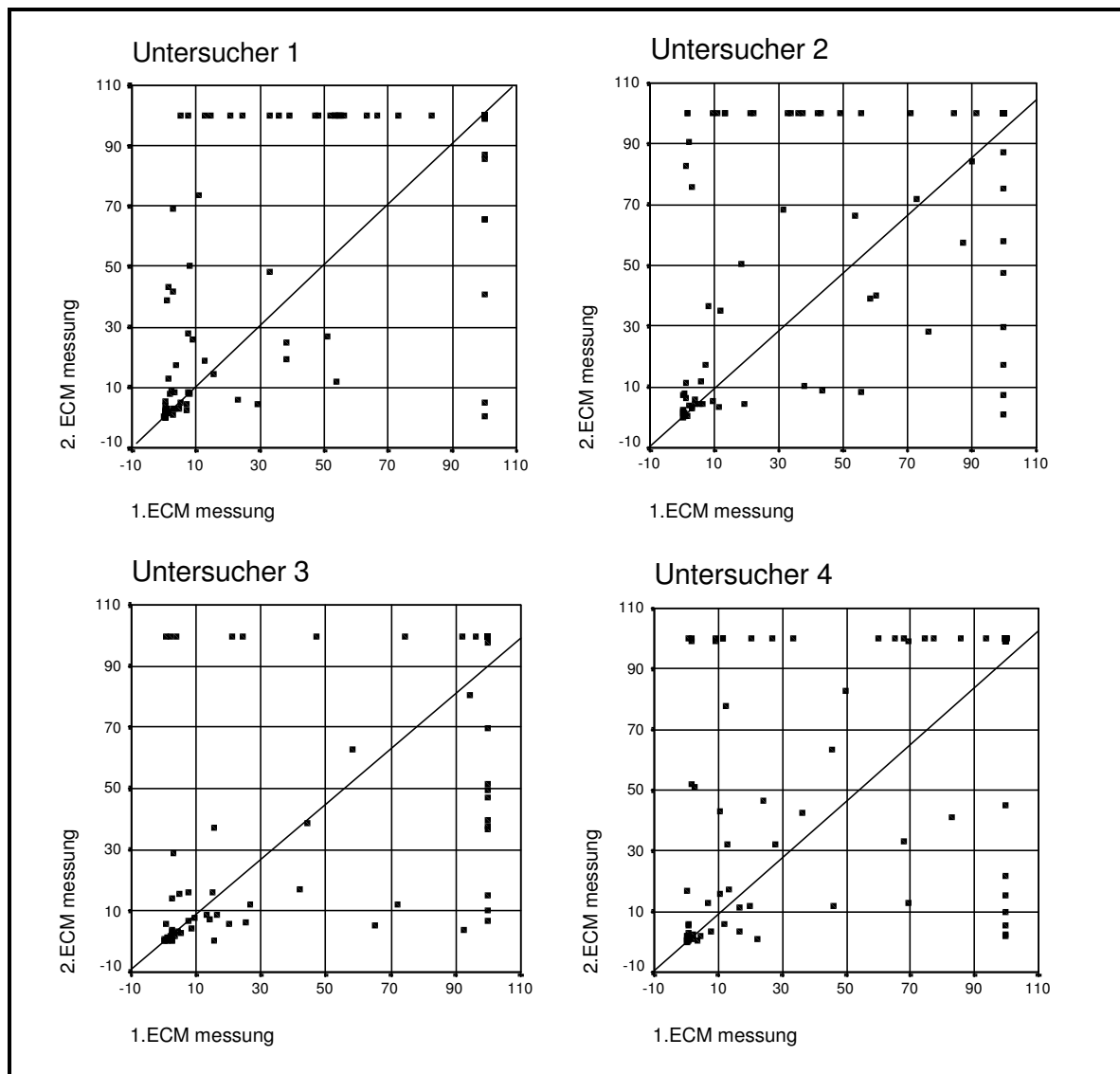


Abb. 5: Streudiagramme der ECM-Messung für die Erst- und Zweitmessung von vier Universitäts-Zahnärzten (Intra-Untersucher-Variabilität); Diagonale: angepasste Regressionslinie

Tab. 22: Intra- und Inter-Untersucher-Variabilität der ECM-Messungen zwischen den Universitäts-Zahnärzten

ECM (site-spezif.)	Untersucher-Variabilität					
	INTRA			INTER		
	r_{Pear}	IKK _{Lin}	r_{Pear}	IKK _{Lin}	r_{Pear}	IKK _{Lin}
	x	x	Min	Max	Min	Max
Zahnarzt 1	0,74	0,72	0,67	0,82	0,14	0,75
Zahnarzt 2	0,65	0,65	0,61	0,79	0,13	0,75
Zahnarzt 3	0,76	0,75	0,63	0,82	0,37	0,86
Zahnarzt 4	0,65	0,64	0,61	0,82	0,33	0,79
Gesamt	0,70	0,69	0,72		0,62	

Um die Reproduzierbarkeit der ECM-Messungen des einzelnen Untersuchers und zwischen den Untersuchern grafisch zu veranschaulichen, wurden Residuenplots nach Bland und Altman angefertigt (Abb. 6). Während schon die Residuenplots ein weites 95%-Konfidenzintervall veranschaulichen, dokumentiert die Tabelle 23 die oberen und unteren Grenzen ($M \pm 2SD$) der Messwert-Reproduzierbarkeit. Im Idealfall sollte das 95%-Konfidenzintervall ± 0 betragen; am ungünstigen wäre für die Reproduzierbarkeit der ECM-Messungen ein Intervall von $\pm 99,9$. Für die Intra-Untersucher-Variabilität wurde ein durchschnittliches Konfidenzintervall von -72,2 und 62,2 auf der ECM-Skala ermittelt; das Intervall für die Reproduzierbarkeit zwischen den Untersuchern betrug -65,9 und 62,4 (Tab. 23).

Tab. 23: Ober- und Untergrenzen des 95%-Konfidenzintervalls für die Reproduzierbarkeit der ECM-Messungen durch die Universitäts-Zahnärzte

ECM (site-spezif.)	Konfidenzintervall (95%)					
	INTRA			INTER		
	M-2SD	M+2SD	M-2SD	M-2SD	M+2SD	M+2SD
	x	x	Max	Min	Min	Max
Zahnarzt 1	-72,6	52,9	-58,3	-74,1	47,2	61,6
Zahnarzt 2	-80,4	64,7	-60,8	-87,1	52,8	67,2
Zahnarzt 3	-57,2	63,4	-58,3	-83,7	47,2	66,2
Zahnarzt 4	-77,9	67,8	-65,6	-87,1	48,7	67,2
Gesamt	-72,0	62,2	-65,9		62,4	

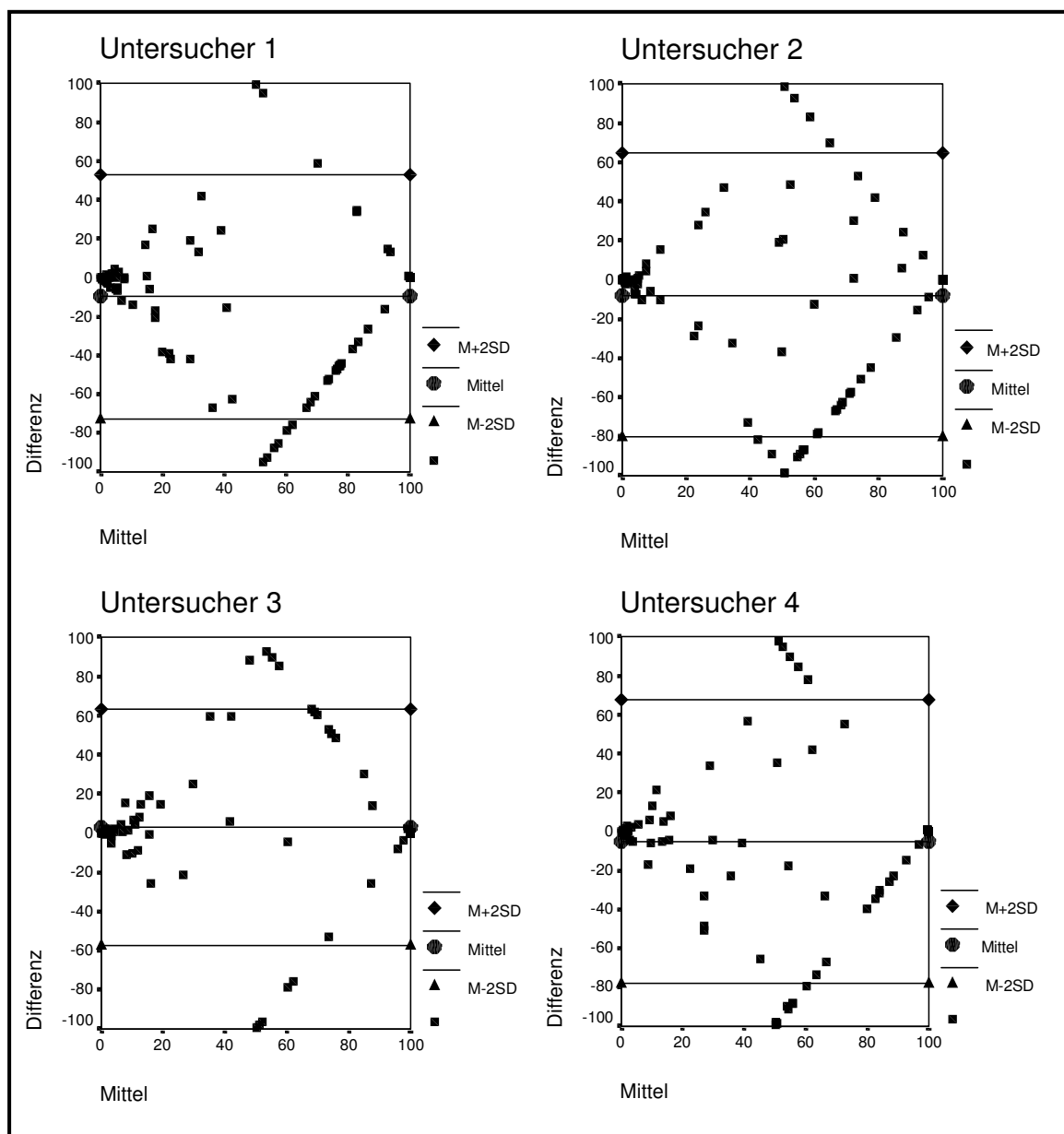


Abb. 6: Residuenplots nach Bland und Altman (1986) zur Darstellung von Messwertdifferenzen zwischen der Erst- und Zweituntersuchung der vier Universitäts-Zahnärzte

5.4.2 Akkuratheit der ECM-Messung

Die diagnostischen Güteparameter der elektrischen Widerstandsmessung (ECM) wurden auf dem D1-4- und D3-4-Niveau in den Tabellen 24 und 25 zusammengestellt. Als Schwellenwerte wurden dabei die Empfehlungen des Herstellers zu Grunde gelegt.

Tab. 24: Diagnostische Güte der elektrischen Widerstandsmessung (ECM) – Schmelz-/Dentinkaries-Niveau

ECM (site-spezif.)	Schmelz- und Dentinkaries-Niveau (D1-4)		
	SE	SP	κ
Zahnarzt 1	0,43	0,92	0,15
Zahnarzt 2	0,38	1,00	0,10
Zahnarzt 3	0,32	1,00	0,09
Zahnarzt 4	0,36	1,00	0,11
Gesamt	0,36	0,95	0,11

Tab. 25: Diagnostische Güte der elektrischen Widerstandsmessung (ECM) – Dentinkaries-Niveau

ECM (site-spezif.)	Dentinkaries-Niveau (D3-4)		
	SE	SP	κ
Zahnarzt 1	0,53	0,97	0,50
Zahnarzt 2	0,46	0,97	0,39
Zahnarzt 3	0,39	1,00	0,34
Zahnarzt 4	0,44	0,98	0,39
Gesamt	0,43	0,97	0,40

Die SE der ECM-Messung betrug auf dem D1-4- bzw. D3-4-Niveau 0,36 bzw. 0,43; die SP lag bei 0,95 bzw. 0,97. Anhand der SP-Werte wurde deutlich, dass mit dem ECM-Gerät gesunde Zahnflächen mit nahezu 100%iger Sicherheit aufgefunden werden. Im Vergleich dazu zeigten die SE-Werte nur eine geringe Wahrscheinlichkeit, erkrankte Zahnflächen richtig einzuschätzen. Die κ -Werte signalisierten für beide Diagnostikniveaus (mit Ausnahme des Zahnarztes 1 auf dem D3-4-Niveau) lediglich eine marginale Übereinstimmung.

Die Abbildung 7 zeigt die ROC-Kurven für das D1-4- und D3-4-Niveau. Die Fläche unter der ROC-Kurve (A_z) kann für die einzelnen Zahnärzte aus der Tabelle 26 entnommen werden. Im Wesentlichen wurden keine nennenswerten Unterschiede zwischen den vier Zahnärzten registriert. Werden alle Untersucher zusammengefasst, wurde für das Schmelz-/Dentinkaries-Niveau ein A_z -Wert von 0,72 und für das Dentinkaries-Niveau von ein A_z -Wert von 0,74 errechnet.

Tab. 26: A_z -Werte der ROC-Kurven für die elektrische Widerstandsmessung (ECM) der Universitäts-Zahnärzte

ECM (site-spezif.)	D1-4-Niveau		D3-4-Niveau	
	1.Messung	2.Messung	1.Messung	2.Messung
Zahnarzt 1	0,76	0,75	0,74	0,76
Zahnarzt 2	0,71	0,72	0,75	0,74
Zahnarzt 3	0,71	0,72	0,74	0,76
Zahnarzt 4	0,70	0,70	0,73	0,70
Gesamt	0,72		0,74	

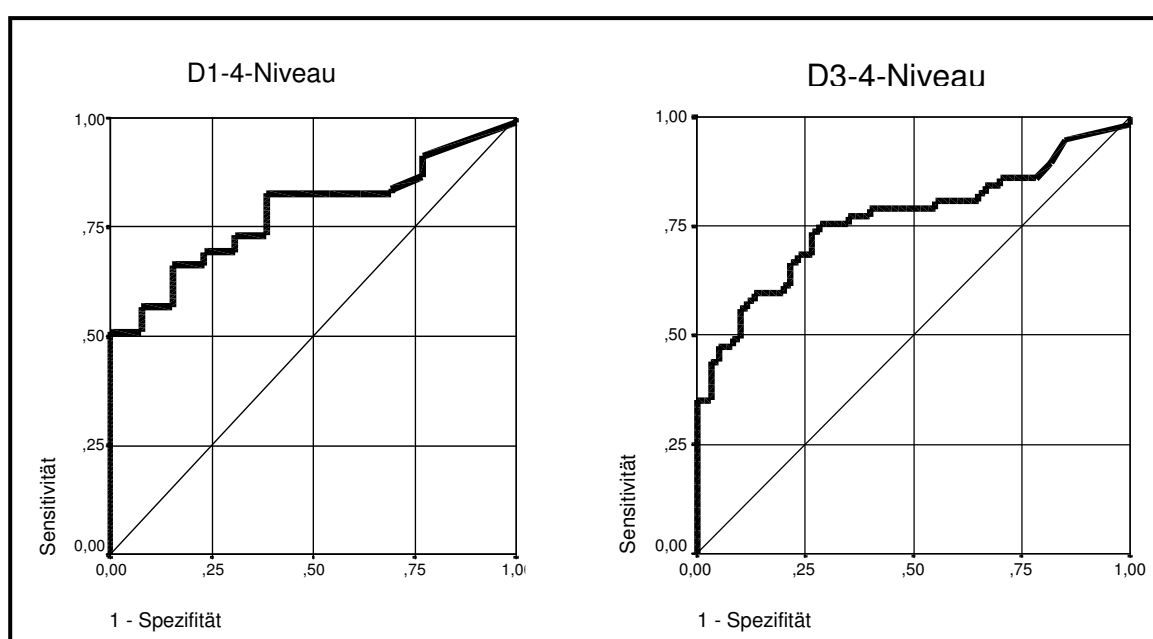


Abb. 7: ROC-Kurven der ECM-Messung für das D1-4- und D3-4-Niveau

5.5 Messung des elektrischen Widerstands – CRM

5.5.1 Intra- und Inter-Untersucher-Variabilität

Die CRM-Untersuchungen wurden von sechs Universitäts-Zahnärzten durchgeführt. Die Abbildung 8 verdeutlicht dabei die Übereinstimmung der ersten und zweiten Messreihe als Streudiagramm für jeden Untersucher. Die Punktverteilung des Untersuchers 2 zeigt die günstigste Reproduzierbarkeit, die Werte liegen nahe der Regressionslinie. Bei den Untersuchern 4 bis 6 zeigten das Streuungsmuster und die Regressionsgraden teilweise erhebliche Abweichungen von der Winkelhalbierenden. Zusätzlich lassen die in Abbildung 9 erfassten Residuenplots nicht unerhebliche Abweichungen erkennen.

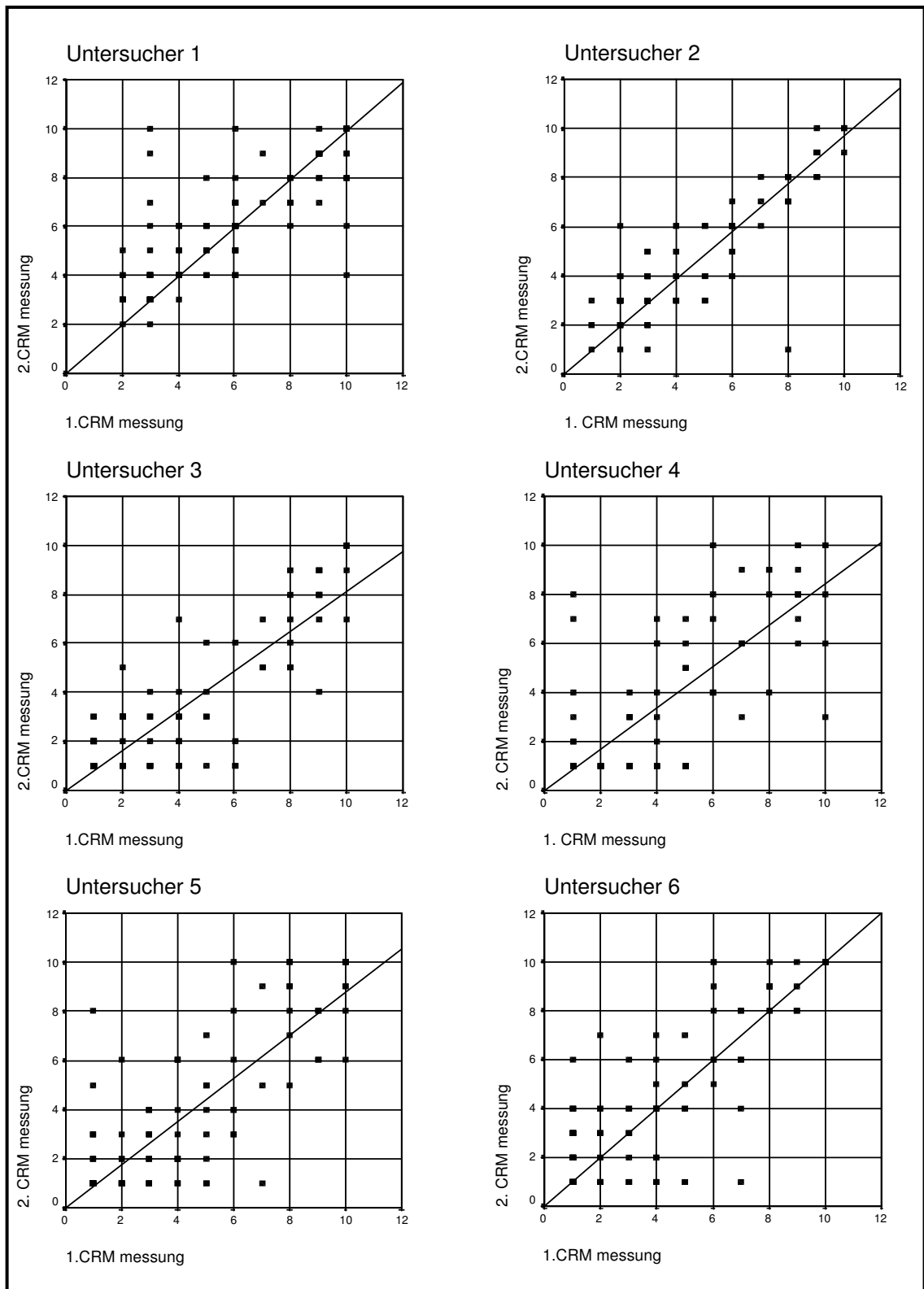


Abb. 8: Streudiagramme der CRM-Messung für die Erst- und Zweitmessung aller Universitäts-Zahnärzte (Intra-Untersucher-Variabilität; Diagonale: angepasste Regressionslinie)

Da für die genannten Untersucher ein systematischer Fehler bei der ersten Messung nicht ausgeschlossen werden konnte, wurden die entsprechenden Messwertreihen von weiteren Berechnungen ausgeschlossen.

Der gemittelte IKK_{Lin} -Wert für die Intra-Untersucher-Variabilität betrug 0,79. Zur besseren Berücksichtigung von Messwertstreuungen zeigt die Tabelle 27 die Ergebnisse für den Pearson'schen Rangkorrelationskoeffizient sowie den IKK_{Lin} . Die Inter-Untersucher-Variabilität mit einem IKK_{Lin} -Wert von 0,71 reflektierte eine mittlere Reproduzierbarkeit der Messwerte. Jedoch ist weiterhin zu berücksichtigen, dass zwischen allen Untersuchern erhebliche Unterschiede aufgefunden wurden; für die Inter-Untersucher-Variabilität wurden Minimal- bzw. Maximalwerte von 0,36 bzw. 0,89 entdeckt.

Tab. 27: Intra- und Inter-Untersucher-Variabilität der CRM-Messungen der Universitäts-Zahnärzte

CRM	Untersucher-Variabilität					
	INTRA			INTER		
	r_{Pear}	IKK_{Lin}	r_{Pear}	IKK_{Lin}	r_{Pear}	IKK_{Lin}
	Mittel	Mittel	Min	Max	Min	Max
Zahnarzt 1	0,85	0,83	0,68	0,84	0,36	0,76
Zahnarzt 2	0,85	0,80	0,75	0,85	0,59	0,80
Zahnarzt 3	0,84	0,73	0,68	0,87	0,36	0,86
Zahnarzt 4	-	-	0,70	0,87	0,41	0,86
Zahnarzt 5	-	-	0,75	0,89	0,48	0,88
Zahnarzt 6	-	-	0,76	0,89	0,46	0,88
Gesamt	0,84	0,79	0,80		0,71	

Die Residuenplots nach Bland und Altman zeigen die Reproduzierbarkeit der CRM-Messungen für jeden Untersucher (Abb. 9); die Betrachtung der Residuenplots für die Untersucher 4, 5 und 6 zeigte auch hier eine atypische Form, welche als Indiz für systematische Abweichungen anzusehen ist. Die oberen und unteren Grenzen der 95%-Konfidenzintervalle können der Tabelle 28 entnommen werden. Am günstigsten wäre hierbei ein Intervall von ± 0 zu bewerten; Ausdruck keiner Übereinstimmung wäre ein CRM-Intervall von ± 10 . Die Messwert-Reproduzierbarkeit der einzelnen Untersucher lag im Mittel zwischen -3,06 und 2,44 Skaleneinheiten.

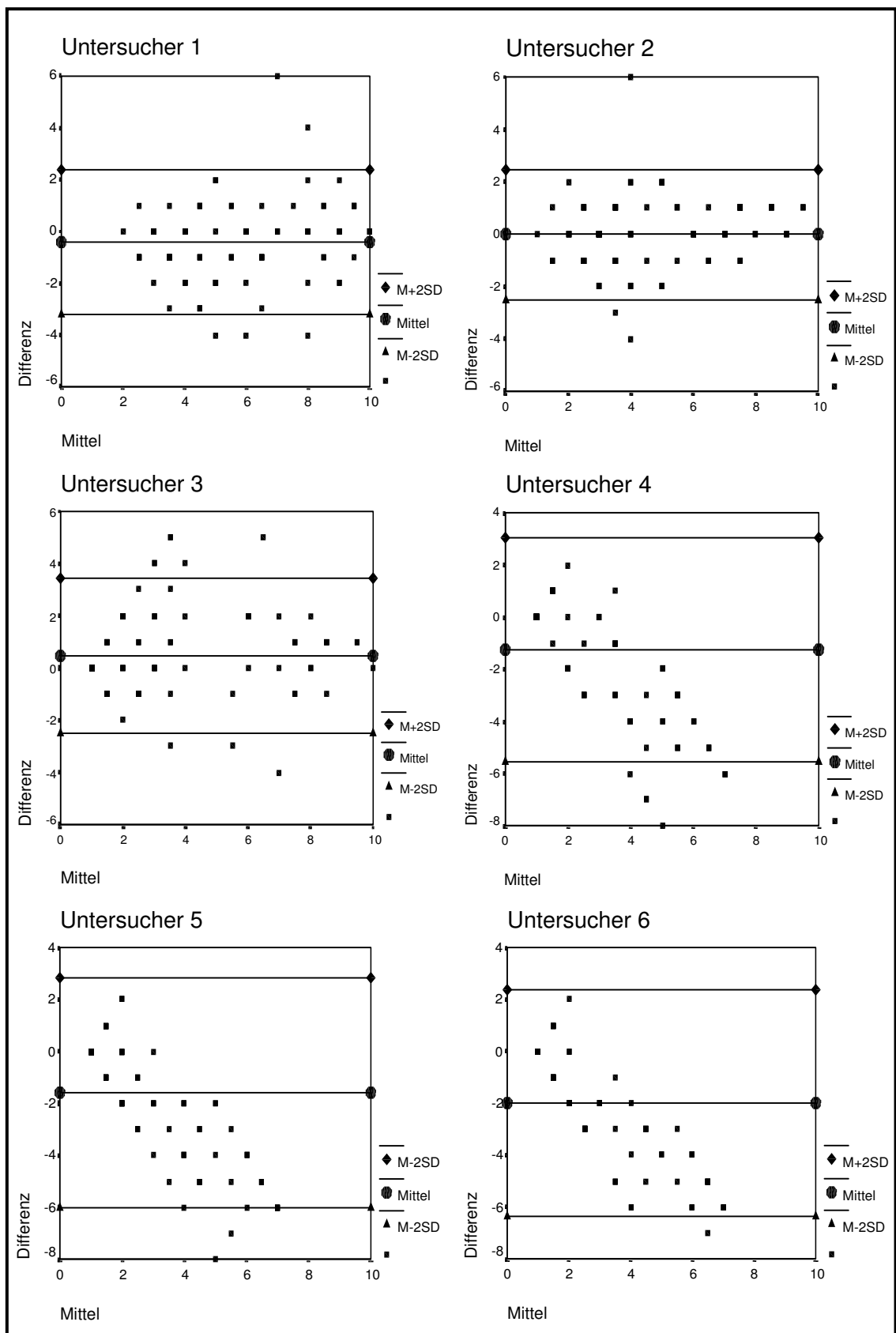


Abb. 9: Residuenplot nach Bland und Altman zur Darstellung von Messwertdifferenzen zwischen der Erst- und Zweitmessung (CRM) aller Universitäts-Zahnärzte

Tab. 28: Ober- und Untergrenzen des 95%-Konfidenzintervalls für die Reproduzierbarkeit der CRM-Messungen durch die Universitäts-Zahnärzte

CRM	Konfidenzintervall (95%)					
	INTRA		INTER			
	M-2SD	M+2SD	M-2SD		M+2SD	
	x	x	Max	Min	Min	Max
Zahnarzt 1	-3,22	2,38	-1,76	-2,20	4,09	7,08
Zahnarzt 2	-2,52	2,46	-1,76	-2,97	3,83	4,85
Zahnarzt 3	-3,46	2,49	-1,60	-2,26	2,98	7,08
Zahnarzt 4	-	-	-0,65	-3,25	0,72	5,58
Zahnarzt 5	-	-	-0,76	-3,25	0,84	5,58
Zahnarzt 6	-	-	-0,65	-2,46	0,72	6,34
Gesamt	-3,06	2,44	-1,85		4,30	

Das gemittelte Intervall für die Inter-Untersucher-Variabilität betrug für alle Untersucher -1,85 und 4,3 (Tab. 28). Auch für die Vergleiche zwischen den Untersuchern wurden erhebliche Schwankungen offensichtlich. Das Intervall der unteren Grenze lag zwischen -0,65 und -3,25 und das der oberen zwischen 0,72 bis 7,08.

5.5.2 Akkuratheit der CRM-Messung

Die diagnostischen Güteparameter der elektrischen Widerstandsmessung (CRM) wurden auf dem D1-4- und D3-4-Niveau in den Tabellen 29 und Tabelle 30 zusammengestellt. Als Schwellenwerte wurden dabei die Empfehlungen des Herstellers zu Grunde gelegt. Die SE der elektrischen Widerstandsmessung mit dem CRM-Gerätes betrug 0,51 auf D1-4- und 0,42 auf dem D3-4-Niveau; demgegenüber lag die SP bei 0,84 bzw. 0,94. Anhand der SP-Werte wurde deutlich, dass mit dem CRM-Gerät gesunde Zahnflächen mit nahezu 100%iger Sicherheit aufgefunden werden. Im Vergleich dazu zeigten die SE-Werte nur eine geringe Wahrscheinlichkeit, dass erkrankte Zahnflächen richtig befundet werden. Die κ -Werte signalisierten für beide Diagnostikniveaus (D1-4: 0,16 und D3-4: 0,36) eine nur marginale Übereinstimmung. Davon ausgenommen war lediglich der Zahnarzt 1, dem eine gute Übereinstimmung seiner Diagnostik mit dem histologischen Befund attestiert werden könnte.

Tab. 29: Diagnostische Güte der elektrischen Widerstandsmessung (CRM) zur Okklusalkaries-Diagnostik – Schmelz-/Dentinkaries-Niveau

CRM	Schmelz- und Dentinkaries-Niveau (D1-4)		
	SE	SP	κ
Zahnarzt 1	0,88	0,61	0,40
Zahnarzt 2	0,59	0,77	0,15
Zahnarzt 3	0,39	1,00	0,12
Zahnarzt 4	0,33	0,85	0,05
Zahnarzt 5	0,38	0,92	0,10
Zahnarzt 6	0,46	0,85	0,11
Gesamt	0,51	0,84	0,16

Tab. 30: Diagnostische Güte der elektrischen Widerstandsmessung (CRM) zur Okklusalkaries-Diagnostik – Dentinkaries-Niveau

CRM	Dentinkaries-Niveau (D3-4)		
	SE	SP	κ
Zahnarzt 1	0,63	0,83	0,47
Zahnarzt 2	0,40	0,95	0,36
Zahnarzt 3	0,37	0,98	0,35
Zahnarzt 4	0,33	0,97	0,29
Zahnarzt 5	0,37	0,98	0,35
Zahnarzt 6	0,39	0,95	0,34
Gesamt	0,42	0,94	0,36

Die Abbildung 10 zeigt die ROC-Kurven für das D1-4- und D3-4-Niveau. Die Fläche unter der ROC-Kurve (A_z) kann für die einzelnen Zahnärzte aus der Tabelle 31 entnommen werden. Werden alle Untersucher zusammengefasst, so wurde für das Schmelz-/Dentinkaries-Niveau ein A_z -Wert von 0,78 und für das Dentinkaries-Niveau von 0,79 errechnet.

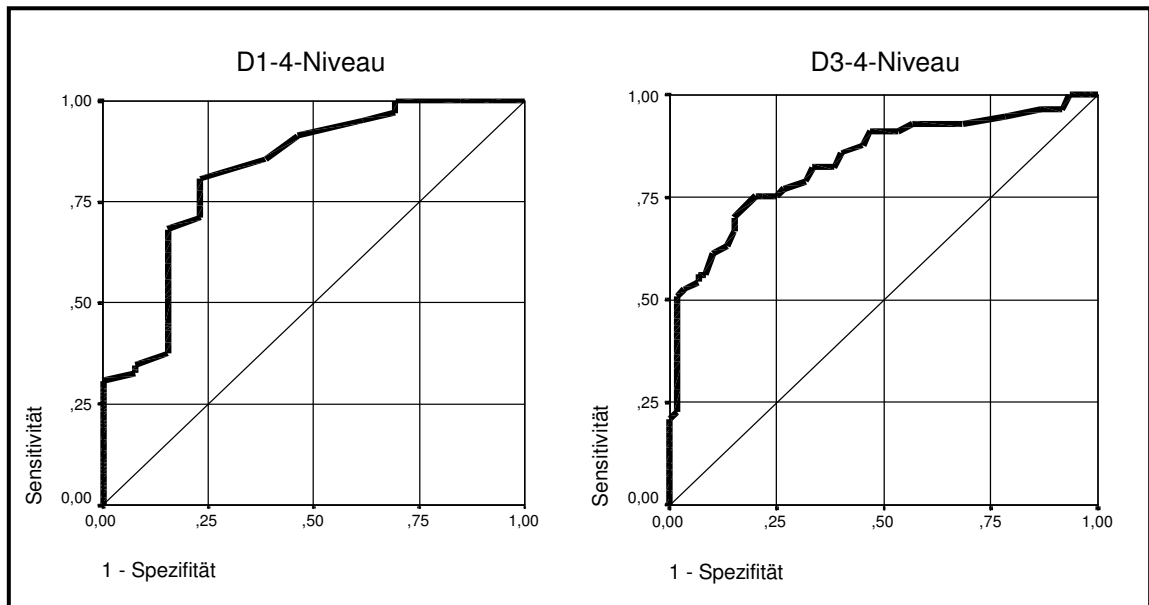


Abb. 10: ROC-Kurven der CRM-Messung für das D1-4- und D3-4-Niveau

Tab. 31: A_z -Werte der ROC-Kurven für alle Universitäts-Zahnärzte

CRM	D1-4-Niveau		D3-4-Niveau	
	1.Messung	2.Messung	1.Messung	2.Messung
Zahnarzt 1	0,79	0,83	0,80	0,80
Zahnarzt 2	0,80	0,79	0,80	0,79
Zahnarzt 3	0,81	0,76	0,76	0,76
Zahnarzt 4	-	0,78	-	0,78
Zahnarzt 5	-	0,75	-	0,83
Zahnarzt 6	-	0,74	-	0,83
Gesamt	0,78		0,79	

5.6 Kombinierte visuell-röntgenografische Diagnostik und elektrische

Widerstandsmessung

5.6.1 Intra- und Inter-Untersucher-Variabilität

Die kombinierte Untersuchung wurde von vier Universitäts-Zahnärzten durchgeführt. Während für die Intra-Untersucher-Variabilität mit einem κ -Wert von 0,52 eine gute Übereinstimmung ermittelt wurde, lag die Inter-Untersucher-Variabilität mit 0,36 im Bereich einer marginalen Übereinstimmung (Tab. 32).

Tab. 32: Intra- und Inter-Untersucher-Variabilität (κ -Werte) für das kombinierte diagnostische Vorgehen

KOMB	Untersucher-Variabilität						
	N	κ_x	INTRA		INTER		
			κ_{Max}	κ_{Min}	κ_x	κ_{Max}	κ_{Min}
Universitäts-Zahnärzte	4	0,52	0,61	0,31	0,36	0,57	0,24

5.6.2 Akkuratheit der kombinierten Okklusalkaries-Diagnostik

Die diagnostischen Güteparameter für das kombinierte diagnostische Vorgehen können für das D1-4- und D3-4-Niveau den Tabellen 33 und Tabelle 34 entnommen werden. Nach Berechnung der diagnostischen Güteparameter SE und SP auf D1-4-Niveau (0,75 und 0,59) bzw. auf D3-4-Niveau (0,57 und 0,86) signalisierten die κ -Werte eine marginale (D1-4: 0,21) bzw. gute Übereinstimmung (D3-4: 0,43) der kombinierten Okklusalkaries-Diagnostik.

Tab. 33: Diagnostische Güte für das kombinierte diagnostische Vorgehen – Schmelz-/Dentinkaries-Niveau

KOMB	Schmelz- und Dentinkaries-Niveau (D1-4)		
	SE	SP	κ
Zahnarzt 1	0,86	0,46	0,35
Zahnarzt 2	0,88	0,54	0,25
Zahnarzt 3	0,62	0,92	0,12
Zahnarzt 4	0,90	0,38	0,27
Gesamt	0,75	0,59	0,21

Tab. 34: Diagnostische Güte für das kombinierte diagnostische Vorgehen – Dentinkaries-Niveau

KOMB	Dentinkaries-Niveau (D3-4)		
	SE	SP	κ
Zahnarzt 1	0,72	0,77	0,49
Zahnarzt 2	0,68	0,82	0,50
Zahnarzt 3	0,51	0,95	0,36
Zahnarzt 4	0,63	0,77	0,32
Gesamt	0,57	0,86	0,43

5.7 Vergleichende Bewertung aller untersuchten Methoden

5.7.1 Vergleich der Untersucher-Variabilität

Der Vergleich aller fünf Untersuchungsmethoden beruht auf den Befunden der einbezogenen Universitäts-Zahnärzte. Da mit den Verfahren der elektrischen Widerstandsmessung kontinuierliche Daten erhoben wurden und die Kappa-Statistik in diesem Fall kein geeignetes Maß für den Ausschluss zufallsbedingter Abweichungen ist (Ricketts et al. 1997b, Huysmans et al. 1998a), wurde die Variabilität für das ECM- und CRM-Gerät mit Hilfe des IKK_{Lin} berechnet. Für die Variabilität der VI, VR und KOMB wurde die κ -Statistik durchgeführt.

Tab. 35: Zusammenfassung der Untersucher-Variabilität bei den eingesetzten diagnostischen Methoden (Universitäts-Zahnärzte)

	Untersucher-Variabilität			
	INTRA		INTER	
	κ	IKK _{Lin}	κ	IKK _{Lin}
VI	0,57 (0,53 – 0,60)	-	0,39 (0,14 – 0,58)	-
VR	0,53 (0,36 – 0,64)	-	0,39 (0,08 – 0,58)	-
ECM	-	0,69 (0,64 – 0,75)	-	0,62 (0,13 – 0,86)
CRM	-	0,79 (0,73 – 0,83)	-	0,71 (0,36 – 0,88)
KOMB	0,52 (0,31 – 0,61)	-	0,36 (0,24 – 0,57)	-

Die Variabilität der einzelnen Diagnostikverfahren wird aus der Tabelle 35 ersichtlich. Die mittleren κ -Werte für die Intra-Untersucher-Variabilität lagen mit 0,57, 0,53 und 0,52 für VI, VR und KOMB im Bereich einer guten Übereinstimmung. Für die Inter-Untersucher-Variabilität der VI, VR und KOMB wurde mit durchschnittlichen Werten von 0,39, 0,39 und 0,36 nur eine marginale Übereinstimmung ermittelt.

Der Vergleich zur Messwert-Reproduzierbarkeit der beiden Geräte zur elektrischen Widerstandsmessung zeigte erhebliche Streuungen auf. Für die Intra-Untersucher-Variabilität wurden als IKK_{Lin} Werte von 0,69 (ECM) und 0,79 (CRM) registriert. Im Vergleich zum ECM-Gerät (0,64-0,75) wurde mit dem CRM-Gerät (0,73-0,83) eine etwas bessere Intra-Untersucher-Variabilität festgestellt. Die Inter-Untersucher-Variabilität lag für ECM bei 0,62 und für CRM bei 0,71; beide Geräte zeigten eine große Streuung für (ECM: 0,14-0,75; CRM: 0,36-0,88).

5.7.2 Vergleich zur diagnostischen Akkuratheit

Die Genauigkeit der einzelnen Diagnostikverfahren wurde anhand der Parameter SE, SP, κ - und A_z -Werte bei Verwendung des diagnostischen Schwellenwertes einer Schmelz-/Dentinkaries (Tab. 36) bzw. Dentinkaries (Tab. 37) zusammengestellt.

Auf dem D1-4-Niveau (Tab. 36) wiesen die Verfahren zur elektrischen Widerstandsmessung die höchsten SP- und die niedrigsten SE-Werte auf (ECM: SE 36%, SP 99%; CRM: SE 45%, SP 97%). Obwohl damit fast alle gesunden Zähne richtig

erkannt wurden, zeigen die SE-Werte nur ein unzureichendes Vermögen auch Schmelz-/Dentinläsionen zu erfassen. Die κ -Werte von 0,11 (ECM) und 0,16 (CRM) reflektieren jedoch nur eine schwache Übereinstimmung mit dem histologischen Goldstandard. Werden die Verfahren entsprechend dem D1-4-Niveau und ihrer diagnostischen Güte geordnet, wurde folgende Reihenfolge beobachtet: VR = KOMB = VI > CRM > ECM. Obwohl die Vergleiche zur SE bzw. SP auf dem D1-4-Niveau signifikante Unterschiede zwischen den untersuchten Methoden (T-Test) erbrachten, signalisieren die A_z -Werte eine etwa gleiche diagnostische Aussagekraft (Tab. 36).

Vergleichend zu den Verfahren der elektrischen Widerstandsmessung ist das höhere SE-Niveau der VI, VR und KOMB mit Werten von 79%, 76% und 75% Ausdruck einer deutlich geringeren Häufigkeit falsch positiver Diagnosen. Die SP-Werte von 49% für VI, 56% für VR und 59% für KOMB sind jedoch deutlich niedriger als bei den Verfahren der elektrischen Widerstandsmessung. Obwohl die κ -Werte mit etwa 0,2 für diese drei Methoden höher als bei den Verfahren der elektrischen Widerstandsmessung waren, liegen diese dennoch nur im Bereich einer marginalen Übereinstimmung.

Tab. 36: Zusammenfassung der Akkuratheit für das D1-4-Niveau aller verwandten Diagnostikmethoden (Universitäts-Zahnärzte); *signifikanter Unterschied, $p < 0,05$ (T-Test)

Schmelz- und Dentinkaries-Niveau (D1-4)								
	SE	T-Test		SP	T-Test		κ	A_z
VI	0,79			0,49			0,20	0,71
VR	0,76			0,56			0,21	0,72
ECM	0,36			0,95			0,11	0,72
CRM	0,51			0,84			0,16	0,78
KOMB	0,75			0,59			0,21	0,72

Die Ergebnisse für die SE und SP auf dem diagnostischen D3-4-Niveau (Tab. 37) lagen für alle Methoden in etwa der gleichen Größenordnung. Während sich die SE-Werte zwischen 42% und 57% bewegten, betragen die SP-Werte 86% bis 97%. Analog dem D1-4-Niveau wurden die günstigsten SP für ECM und CRM aufgefunden; demgegenüber wies die SE bei KOMB, VR und VI die höchsten Werte auf. Werden die Verfahren (D3-4-Niveau) entsprechend ihrer diagnostischen Güte (κ) sortiert, so wurde folgende Reihung ersichtlich: KOMB > VR = ECM > VI = CRM. Nur für die

kombinierte Diagnostik wurde eine gute Übereinstimmung mit dem histologischen Goldstandard erfasst; die κ -Werte entsprechen für VI, VR, ECM und CRM lediglich einer marginalen Übereinstimmung.

Tab. 37: Zusammenfassung der Akkuratheit für das D3-4-Niveau aller verwandten Diagnostikmethoden (Universitäts-Zahnärzte); *signifikanter Unterschied, $p < 0,05$ (T-Test)

Dentinkaries-Niveau (D3-4)								
	SE	T-Test		SP	T-Test		κ	A_z
VI	0,49	} } } } }	} } } } }	0,88	} } } } }	} } } } }	0,36	0,73
VR	0,55			0,86			0,40	0,75
ECM	0,43			0,97			0,40	0,74
CRM	0,42			0,94			0,36	0,79
KOMB	0,57			0,86			0,43	0,77

6 Diskussion

Im Zusammenhang mit der Veränderung des klinischen Erscheinungsbildes der Okklusalkaries und der damit erschwerten Okklusalkaries-Diagnostik wurde Anfang der neunziger Jahre des 20. Jahrhunderts die Entwicklung verbesserter Diagnostikmethoden wiederholt gefordert (Wenzel et al. 1991a und 1991b, Verdonschot et al. 1993a, Pine und ten Bosch 1996, Pitts 2001). Vor dem Hintergrund jüngster epidemiologischer Untersuchungen zur Häufigkeit initial kariöser Okklusalflächen (Heinrich-Weltzien et al. 2001a und 2001b) scheint diese Forderung auch in der Bundesrepublik verstärkt an Bedeutung zu gewinnen. Aus der Sicht des praktisch tätigen Zahnarztes sind die grundsätzlichen Anforderungen an eine Diagnostikmethode 1. die hohe diagnostische Güte sowie 2. ihre einfache und kostengünstige Durchführbarkeit. Um das kariesdiagnostische Vorgehen zukünftig unter evidenz-basierten Anforderungen zu verbessern, sieht Pitts (2001) Forschungsbedarf bezüglich der

- Erfassung und Früherkennung von Schmelzläsionen
- Erfassung von versteckten Dentinläsionen - der hidden caries (D3-4-Niveau)
- Verbesserung der Sensitivität bisheriger Diagnostikverfahren
- Studien zur Kombination ergänzender Diagnostikmethoden
- Anwendung probater statistischer Verfahren.

Unabhängig von diesen Forderungen muss das vorliegende Studiendesign im Kontext der allgemeinen Überlegungen zu einem optimalen Design von Diagnostikstudien diskutiert werden. In Anlehnung an Pitts (2001) sollte sich letzteres in einen ersten klinisch-diagnostischen Teil (in vivo) und einen zweiten histologischen Teil (in vitro) unterteilen. Die grundsätzlichen Schwierigkeiten bei diesem Vorgehen bestehen vor allem in einem erheblichen organisatorischen Aufwand der Patientenrekrutierung und -auswahl. Des Weiteren ist aus ethischer Sicht zu hinterfragen, unter welchen Umständen es erlaubt ist, Molaren nach ihrer diagnostischen Untersuchung zu extrahieren, um diese histologisch zu validieren. Daher wurde das klassische Design einer Laborstudie, in der der diagnostische und histologische Teil in vitro durchgeführt wurde, gewählt. In diesem Zusammenhang ist weiterhin zu berücksichtigen, dass in die vorliegende Untersuchung ausschließlich Weisheitszähne einbezogen wurden. Die wesentlich variabler gestaltete Okklusalfäche von dritten Molaren im Vergleich zu ersten und zweiten Molaren ist dabei nachteilig (Verdonschot et al. 1999b, Pitts und Stamm 2002, Heinrich-Weltzien et al. 2002). Deshalb sollten diagnostische Verfahren, bevor sie für den praktischen Einsatz

empfohlen werden, auch einer Validierung in vivo unterzogen werden (Pitts und Stamm 2002).

Weiterhin war das vorliegende Studienmaterial aus diagnostischer Sicht schwierig, da wie von Pitts und Stamm (2002) gefordert, keine kavitierten Läsionen einbezogen wurden. Dies könnte eine wesentliche Ursache für die erzielten, zum Teil unbefriedigenden Ergebnisse sein. In Anbetracht der Häufigkeit von bis zu 27% initial kariöser Okklusalfächen der Molaren bei deutschen Kindern und Jugendlichen (Kühnisch 1998, Heinrich-Weltzien et al. 2001a) sollte jedoch auf diese schwierig zu beurteilenden Läsionen fokussiert werden, da der Zahnarzt verstärkt mit dieser Situation konfrontiert wird.

Im Ergebnis der histologischen Beurteilung wurden insgesamt 89% aller Läsionen auf dem D1-4- sowie 49% auf dem D3-4-Niveau aufgefunden. Da optimaler Weise eine Gleichverteilung aus gesunden und erkrankten Zähnen anzustreben ist, um prävalenzabhängige „Verzerrungen“ bei der Berechnung von SE und SP auszuschließen (Verdonschot et al. 1993a, Ricketts 1996), soll auf die Betrachtung des D1-4-Niveaus weitgehend verzichtet werden.

Grundsätzlich wurde der diagnostische Teil der Laborstudie der klinischen Situation so weit wie möglich angepasst, obwohl wesentliche Faktoren, wie das Alter des Patienten, der orale Gesundheitszustand, das allgemeine Kariesrisiko, der Stand der Mundhygiene oder die Sozialanamnese, welche die Diagnose- und Therapieentscheidung entscheidend mitbeeinflussen (Ekstrand et al. 1997, Knittel et al. 2000), nicht berücksichtigt werden konnten. Da weiterer Untersuchungsbedarf unter Berücksichtigung der Kombination verschiedener Diagnostikmethoden von Pitts (2001) gefordert wurde, erfolgte die Durchführung der visuell-röntgenografischen Befundung in Anlehnung an das klinische Vorgehen für alle Untersuchergruppen. Leider finden sich zu diesem häufig empfohlenen Diagnostikvorgehen nur wenige Untersuchungen (Tab. 5) im Vergleich zur alleinigen visuellen (Tab. 1 und 2) und röntgenografischen Untersuchung (Tab. 3 und 4). Darüber hinaus wurde eine Kombination der visuellen und röntgenografischen Kariesdiagnostik mit der elektrischen Widerstandsmessung (KOMB) vorgenommen. Dieses Vorgehen wurde nur von den Universitäts-Zahnärzten praktiziert.

6.1 Zur Variabilität der Okklusalkaries-Diagnostik

Prinzipiell konnte keiner der in der vorliegenden Studie praktizierten Diagnostikmethoden eine exzellente Reproduzierbarkeit attestiert werden.

Visuelle Befundung. Während für alle Untersuchergruppen (Tab. 16) eine gute Intra-Untersucher-Variabilität (κ : 0,48 – 0,57) vorlag, signalisierten die κ -Werte für die Inter-Untersucher-Variabilität lediglich eine marginale Übereinstimmung (κ : 0,32 – 0,39). Dabei konnte für die Universitäts-Zahnärzte tendenziell eine bessere intra- und inter-individuelle Befundreproduzierbarkeit im Vergleich zu den Praxis-Zahnärzten und Studenten ermittelt werden.

Die vorliegenden Daten der Intra- bzw. Inter-Untersucher-Variabilität finden sich grundsätzlich in Übereinstimmung mit Ergebnissen aus früheren Untersuchungen (Tab. 1) und müssen im Fall der Inter-Untersucher-Variabilität als ungenügend bewertet werden. Registrierte hohe Werte (Verdonschot et al. 1992, Tveit et al. 1994, Ekstrand et al. 1997, Ando et al. 2000, Cortes et al. 2000) sind im Wesentlichen auf den Einschluss von Prämolaren und/oder kavitierten Läsionen, kleinen Fallzahlen sowie der Durchführung eines intensiven Trainings im Vorfeld der eigentlichen Untersuchung begründet.

Visuell-röntgenografische Befundung. Im Vergleich zur alleinigen visuellen Inspektion lagen die κ -Werte für die Reproduzierbarkeit der visuell-röntgenografischen Diagnostik in der gleichen Größenordnung. Anhand dieser Resultate wird eine erhebliche Variabilität der getroffenen Diagnosen zwischen den Zahnärzten offensichtlich. Zwar wurde erneut für die Universitäts-Zahnärzte eine geringfügig bessere Reproduzierbarkeit registriert, jedoch wiesen diese Resultate keine Signifikanz auf. Da das kombinierte visuell-röntgenografische Vorgehen bislang keine Beachtung in Bezug auf die Diagnostikvariabilität erfuhr, können keine direkten Vergleiche zu anderen Untersuchungen gezogen werden. Werden die vorliegenden Angaben in Relation zur Variabilität der alleinigen röntgenografischen Okklusalkaries-Diagnostik (Tab. 4) gesetzt, so zeigte die Mehrzahl aller Studien ähnliche bzw. günstigere Ergebnisse insbesondere bei der Inter-Untersucher-Variabilität (Verdonschot et al. 1992, Lussi 1993, Wenzel und Verdonschot 1994, Lazarchik et al. 1995, Lussi 1996, Knittel et al. 2000).

Elektrische Widerstandsmessung. Die Reproduzierbarkeit der ECM- und CRM-Messungen wies ebenfalls deutliche Schwankungen zwischen der Erst- und Wiederholungsuntersuchung sowie zwischen den einzelnen Untersuchern auf. Aus methodischer Sicht muss einschränkend diskutiert werden, dass die Werte der Erstuntersuchung mit dem CRM-Gerät bei den Untersuchern 4 bis 6 systematische Abweichungen aufwiesen. Kennzeichen dieses systematischen Fehlers sind die Residuenplots der betreffenden Untersucher (Abb. 9), die eine Polarisation der Punktwolke im jeweils linken Diagrammteil offenbarten. Da diese Messwert-Abweichungen erst im Rahmen der Ergebnisauswertung und -interpretation auffällig wurden, wurden die betroffenen Messreihen aus den Berechnungen zur Reproduzierbarkeit und diagnostischen Güte ausgeschlossen.

Während die Streudiagramme (Abb. 5 und 8) nicht wenige „Messwert-Ausreißer“ grafisch veranschaulichen, betragen die 95%-Konfidenzintervalle der Residuenplots für das ECM-Gerät -72,0 bis 62,2 (Intra) und -65,9 bis 62,4 (Inter) (Tab. 23). Diese Intervalle entsprechen mehr als der Hälfte der eigentlichen Messskala von 0 bis 99,9. Für das CRM-Gerät (Tab. 29) betragen gleiche Intervalle -3,1 bis 2,4 (Intra) sowie -1,8 bis 4,3 (Inter) bei einem Messwert-Bereich von 0 bis 10. Die Reproduzierbarkeit ist demzufolge für beide Geräte als mangelhaft einzuschätzen.

Anhand der vorliegenden Resultate zur Reproduzierbarkeit ist weiterhin die Wertigkeit einzelner statistischer Verfahren zu diskutieren. Der Pearson'sche Korrelationskoeffizient (r_{Pear}) wie auch der IKK_{Lin} zeigten grundsätzlich positive Übereinstimmungen für die Intra- und Inter-Untersucher-Variabilität. Der r_{Pear} lag für das ECM-Gerät mit etwa 0,7 (Intra-Untersucher-Variabilität und Inter-Untersucher-Variabilität) im Bereich einer mittleren und für das CRM-Gerät mit 0,84 und 0,80 (Intra-Untersucher-Variabilität und Inter-Untersucher-Variabilität) im Bereich einer hohen Übereinstimmung. Die IKK_{Lin} (ECM: 0,69 für Intra-Untersucher-Variabilität und 0,62 Inter-Untersucher-Variabilität; CRM: 0,79 für Intra-Untersucher-Variabilität und 0,69 für Inter-Untersucher-Variabilität) signalisierten nur eine mittlere Wertigkeit. Obwohl sich in der Literatur Hinweise auf die begrenzte Aussagekraft des Pearson'schen Rangkorrelationskoeffizienten für kontinuierliche Daten finden (Guggenmoos-Holzmann und Wernecke 1996, Axmann et al. 2002), wurde dennoch die Reproduzierbarkeit gelegentlich damit beurteilt (Huysmans et al. 1998a und 1998b). Ebenso muss die κ -Statistik, die in den meisten früheren Studien für die Bewertung der Untersucher-Variabilität gewählt wurde, als ungeeignetes Maß für kontinuierliche Daten gewertet werden (Sachs 2002, Ricketts et al. 1997a und 1997b). Da

jedoch mehrere Autorengruppen κ -Werte für die Beurteilung der Reproduzierbarkeit heranzogen (Tab. 7), und daran sogar die Tauglichkeit des Verfahrens für ein Kariesmonitoring ableiteten (Verdonschot et al. 1992, Lussi 1995b, Ie et al. 1995, Ekstrand et al. 1997, Fennis-Ie et al. 1998, Ashley et al. 1998, Ando et al. 2000), bedürfen diese Schlussfolgerungen einer kritischen Wertung nicht zuletzt auch im Zusammenhang mit den vorgefundenen Ergebnissen zur diagnostischen Güte.

Grundsätzlich erfassen der IKK_{Lin} sowie Residuenplots wesentlich sensibler die zum Teil gravierenden Messwert-Schwankungen und sollten deshalb für kontinuierliche Daten Verwendung finden (Ricketts et al. 1997a und 1997b, Ekstrand et al. 1997, Pereira et al. 2001). Im Vergleich zu diesen Studien ist in der vorliegenden Arbeit ein wesentlich größeres 95%-Konfidenzintervall registriert worden. Da Pereira et al. (2001) schon 95%-Konfidenzintervalle von -6,6 bis 4,3 bzw. -2,5 bis 3,0 für die Intra-Untersucher-Variabilität und von -6,4 bis 9,0 für die Inter-Untersucher-Variabilität des ECM-Gerätes als mangelhaft bewerteten, können die vorliegenden Ergebnisse nicht anders eingeschätzt werden. Da keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden verwandten Geräten aufgefunden wurden, bestehen bezüglich der Befundreproduzierbarkeit auch keine Vorteile für eines der beiden Systeme.

Aufgrund der mangelnden Befundreproduzierbarkeit muss klar konstatiert werden, dass ein klinischer Einsatz der elektrischen Widerstandsmessung nur unter Vorbehalt und allenfalls als diagnostische Ergänzung empfohlen werden kann. Ein Kariesmonitoring an nicht kavitierten Läsionen scheint ebenfalls nur schwer möglich, wenn bereits erhebliche Unterschiede zwischen Messungen eines einzelnen bzw. zwischen verschiedenen Untersuchern evident sind (Huysmans et al. 1998b, Huysmans 2000). Unter In-vivo-Bedingungen ist weiterhin zu bedenken, dass signifikante Veränderungen der Widerstandswerte durch Fluoridapplikationen und posteruptive Schmelzreifungsprozesse verursacht werden können und demzufolge nicht alleine für einen kariösen Prozess sprechen (Ie et al. 1995, Schulte und Pieper 1997, Schulte et al. 1999).

Kombinierte visuelle und röntgenografische Diagnostik sowie elektrische Widerstandsmessung. Die intra- und inter-individuelle Reproduzierbarkeit der von den Universitäts-Zahnärzten durchgeführten kombinierten Diagnostik lag in der gleichen Größenordnung wie beim alleinigen visuellen bzw. röntgenografischen Vorgehen. Interessanter Weise zeigten die Werte der visuellen Diagnostik doch gewisse Vorzüge gegenüber dem kombinierten Vorgehen.

6.3 Zur diagnostischen Güte der untersuchten Methoden

Die diagnostische Güte aller in die Untersuchung einbezogenen Methoden bzw. Methodenkombinationen war nicht zufrieden stellend. Kein Verfahren erreichte den geforderten Schwellenwert einer summarischen SE und SP von 160% (Hausen 1997), der erforderlich ist, um eine Methode für den klinischen Einsatz zu empfehlen. Daher muss geschlussfolgert werden, dass die Okklusalkaries-Diagnostik an nicht kavitierten Läsionen nach wie vor schwierig für den Zahnarzt ist (Wenzel und Fejerskov 1992, Lussi 1993 und 1996, Cortes et al. 2000, Pereira et al. 2001). Auch scheint die Hinzuziehung von diagnostischen Verfahren zur elektrischen Widerstandsmessung, nur einen begrenzten Nutzen zu haben. Vor diesem Hintergrund bedürfen die ermittelten Parameter einer weiteren Diskussion.

Bei der Bewertung der diagnostischen Güteparameter ist zunächst zu klären, welcher Stellenwert einer hohen SE bzw. SP zukommen soll. Unter Berücksichtigung eines rückläufigen Kariesbefalls und einer verlangsamten Kariesprogression (Hannigan et al. 2000) sollte der Schwerpunkt bei der Okklusalkaries-Diagnostik auf eine hohe SP gelegt werden (Huysmans et al. 1998a). Dieser Ansatz wird jedoch zwangsläufig mit einer niedrigeren SE und damit einem höheren Anteil falsch negativer Diagnosen verbunden sein. Da für den Fall einer falsch negativen Diagnostikentscheidung, die mit dem tatsächlichen Vorliegen einer versteckten Dentinkaries verbunden ist, allenfalls eine Progression und Kavitation eintreten kann, die bei späteren Wiederholungsuntersuchungen diagnostiziert werden könnte, sind keine lebensbedrohlichen Folgen aus einem solchen Vorgehen zu erwarten. Nichtsdestotrotz könnte jedoch in diesen Fällen, eine Fissurenversiegelung die Progression von Läsionen, die unter Umständen zu einer Pulpabeteiligung führen, vorgebeugt werden. Mit der höheren Bewertung der SP im Vergleich zur SE, wird eine durch falsch positive Diagnosen verursachte Überbehandlung verringert. Da der damit verbundene, nicht zu rechtfertigende Zahnhartsubstanzverlust einschließlich unausweichlicher Folgetherapien an vorerst gesunden Zähnen schwerwiegender wiegt als die Versiegelung einer nicht diagnostizierbaren versteckten okklusalen Dentinkaries, wäre dieses Vorgehen in Populationen mit einem niedrigen Kariesbefall zu favorisieren. Die Fissurenversiegelung einer diagnostizierbaren „hidden caries“ kann damit keinesfalls empfohlen werden (Ricketts et al. 1995a, 1997a und 1997b).

Visuelle Befundung. Für die visuelle Diagnostik auf dem Dentinkaries-Niveau erzielten die einzelnen Untersuchergruppen mit etwa 90% ein hohes SP-Niveau, während die SE-Werte mit 27 bis 49% richtig erkannter Dentinläsionen deutliche Defizite aufzeigten. Damit würde an mehr als der Hälfte aller nicht kavitierten Läsionen mit einer Dentinbeteiligung diese nicht erkannt werden und demzufolge eine therapeutische Intervention unterbleiben. Für diese Fälle wäre zu diskutieren, ob die Fissurenversiegelung, die zu einem bakteriendichten Verschluss dieser Läsionen führt (Jeronimus et al. 1975, Handelsmann et al. 1976), das empfehlenswertere Vorgehen wäre. Unter Bezug auf Längsschnitt-Beobachtungen von Mertz-Fairhurst et al. (1992, 1995, 1998), in der selbst bei tiefen Dentinläsionen kariöses Restdentin belassen und über einen zehnjährigen Untersuchungszeitraum keine Progression eintrat, kann unter der Voraussetzung einer qualitativ intakten Versiegelung eine Stagnation des kariösen Prozesses hypothetisch angenommen werden. Jedoch muss unmissverständlich festgestellt werden, dass dieses Vorgehen aus Ermangelung evidenz-basierter histologischer, mikrobiologischer und klinisch-kontrollierter Untersuchungen gegenwärtig nicht empfohlen werden kann. Unter dieser Prämisse sollten okklusale Dentinläsionen als restaurationsbedürftig eingestuft werden (Ricketts et al. 1997b, Tveit et al. 1994).

Unabhängig von den insgesamt nicht zufrieden stellenden Güteparametern sind jedoch die hohen SP-Werte als positiv zu beurteilen, da damit eine Übertherapie weitestgehend minimiert würde. Insgesamt bewegen sich die vorliegenden SE- und SP-Werte in einer vergleichbaren Größenordnung, wie sie aus früheren Untersuchungen bekannt sind (Tab. 2). Identische Werte für SE und SP finden sich bei Wenzel et al. (1991a und 1992), Verdonschot et al. (1993b), Lussi (1993), Ashley et al. (1998), Huysmans et al. (1998a), Cortes et al. (2000) und Pereira et al. (2001). Keine der Untersuchungen konnte die geforderte Summe aus SE und SP von 160% erreichen. Neben der Studie von Wenzel et al. (1990) stellen hierbei die Untersuchungen von Ekstrand et al. (1997), die eine SE von 95% und eine SP von 90% bei einem Prämolarenanteil von 20% registrierten, die einzigen Ausnahmen dar.

Die statistische Prüfung in Bezug auf die einzelnen Untersuchergruppen attestierte den Universitäts-Zahnärzten auf dem D3-4-Niveau signifikant bessere SE-Werte als den Praxis-Zahnärzten und Studenten. Nichtsdestotrotz reflektieren 51% falsch positive Diagnosen einen deutlichen Verbesserungsbedarf. Als bedeutend ist an dieser Stelle anzumerken, dass die Universitäts-Zahnärzte sich vornehmlich aus Zahnärzten

zusammensetzten, die mit den differenzierten visuellen Diagnostikkriterien von Ekstrand et al. (1997 und 1998) vertraut waren. In Ergänzung der Ergebnisdarstellung zur visuellen Diagnostik zeigt die Tabelle 38 eine Zusammenfassung der Untersucher mit den besten Resultaten. Dabei verfügten die Universitäts-Zahnärzte 1 und 2 über spezielle Kenntnisse im Umgang mit den visuellen Kriterien zur Okklusalkaries-Diagnostik nach Ekstrand. Obwohl kein Untersucher summarisch eine SE und SP von 160% erreichte, kann anhand dieser Resultate jedoch ein nicht unerhebliches Trainingspotential durch vormalige Kalibrierungen und entsprechende klinische Erfahrungen im Vergleich zu anderen Untersucher(gruppe)n abgeleitet werden. Vor diesem Hintergrund erscheint es nur richtig, verstärkt differenzierte visuelle Klassifizierungssysteme (Ekstrand et al. 1997 und 1998, Nyvad et al. 1999) in die zahnärztliche Aus- und Weiterbildung aufzunehmen. Die überdurchschnittlich guten Ergebnisse der Arbeitsgruppe um Ekstrand et al. (1997 und 1998) bezüglich der Reproduzierbarkeit und diagnostischen Aussagekraft bestätigen letztlich diesen Ansatz. Auch im Hinblick auf die gegenwärtig noch nicht zufrieden stellende Güte ergänzender diagnostischer Verfahren gewinnt eine differenzierte visuelle Beurteilung der Okklusalfläche an Bedeutung, um unter Praxisbedingungen möglichst einfach, schnell und kostengünstig eine (Verdachts)Diagnose zu stellen.

Tab. 38: Übersicht der diagnostischen Güteparameter für die drei Untersucher mit den besten Werten

		D3-4-Niveau			
		Untersucher	SE	SP	κ
VI	1.	Universitäts-Zahnarzt 1	0,65	0,88	0,54
	2.	Universitäts-Zahnarzt 2	0,61	0,82	0,43
	3.	Praxis-Zahnarzt 3	0,46	0,93	0,39
VR	1.	Universitäts-Zahnarzt 1	0,77	0,87	0,64
	2.	Universitäts-Zahnarzt 7	0,68	0,87	0,55
	3.	Universitäts-Zahnarzt 6	0,63	0,82	0,44

Visuell-röntgenografische Befundung. Die Zuhilfenahme des Röntgenbildes konnte nur geringfügig zur Verbesserung der Diagnosegenauigkeit beitragen. Der diagnostische Nutzen war in der Gruppe der Studenten mit einer Verbesserung der SE von 27% auf 40% am deutlichsten. Nichtsdestotrotz müssen bei einer insgesamt hohen SP die

unzureichenden SE-Werte in Verbindung mit einer hohen Anzahl falsch negativer Diagnosen im gleichen Kontext wie die visuelle Befundung diskutiert werden.

Im Vergleich zu den aus der Literatur dokumentierten SE- und SP-Werten (Tab. 6) liegen die ermittelten SP-Werte mit etwa 90% höher als in den Untersuchungen von Lussi (1993) und Gray und Paterson (1997); demgegenüber waren die registrierten SE-Werte mit 37% bis 55% deutlich niedriger. Grundsätzlich ist jedoch festzustellen, dass für die Kombination von visueller und röntgenografischer Diagnostik nur begrenzte Informationen vorliegen. Ausdruck dessen ist die Gesamtanzahl von lediglich 135 histologisch validierten Zähnen bei der visuell-röntgenografischen Befundung (Tab. 5) im Vergleich zur alleinigen röntgenografischen Untersuchung (Tab. 4). Nachfolgende Untersuchungen zur Okklusalkaries-Diagnostik sollten diesem Aspekt umfassender Rechnung tragen. Als Ursachen für den begrenzten diagnostischen Zugewinn können verschiedene Faktoren in Betracht kommen. Zunächst sei auf generelle Probleme der röntgenografischen Frühdiagnostik verwiesen. So werden aufgrund der zwangsläufigen Überlagerung durch die gesunde Zahnhartsubstanz beginnende Dentinläsionen (D3) vollständig überlagert. Erst wenn es zu einem weiteren Mineralverlust gekommen ist, werden Dentinläsionen röntgenografisch auffällig. Daher werden Läsionen, die gerade die Schmelz-Dentin-Grenze überschritten hatten und histologisch als Dentinläsion eingestuft wurden, im Röntgenbild nicht diagnostizierbar sein. Des Weiteren stand es jedem Untersucher frei, auf einen Röntgenbildbetrachter und/oder eine Lupenbrille zurückzugreifen. Da nur wenige Untersucher von diesen (obligatorischen) Hilfen bei der Röntgenbildauswertung Gebrauch machten, kann der Anteil falscher Diagnosen auch dadurch keinesfalls ausgeschlossen werden. Die Frage, auf welche der beiden Methoden sich die Untersucher mehr verlassen haben, kann nicht eindeutig beantwortet werden. Da aber einerseits die Ergebnisse keine großen Abweichungen zur visuellen Diagnostik offenbarten und andererseits in der Regel der Zahn zuerst visuell befundet wurde, liegt die Vermutung nahe, dass die Untersucher der visuellen Diagnostik - und damit ihrer klinischen Erfahrung - mehr vertrauten.

Elektrische Widerstandsmessung. Verschiedene Studien verwiesen nicht zuletzt aufgrund der summarischen SE und SP von mehr als 160% auf den viel versprechenden Ansatz der elektrischen Widerstandsmessung zur Okklusalkaries-Diagnostik (Pieper et al. 1990, Lussi 1995b, Ricketts et al. 1997b, Huysmans et al. 1995, 1998a und 1998b). Übereinstimmend zeigte die Mehrzahl der vorliegenden Studien eine hohe SP (>80%);

demgegenüber lagen die SE-Werte häufig deutlich niedriger (Tab. 7). Dabei darf nicht unberücksichtigt bleiben, dass die Vergleichbarkeit der Ergebnisse aufgrund unterschiedlicher Studienansätze sehr schwierig ist.

Die aufgefundenen Güteparameter (D3-4-Niveau) bestätigten für das ECM- und CRM-Gerät mit SE-Werten von 43% bzw. 42% und SP-Werten von 97% bzw. 94% den Trend zu einer hoher SP und niedrigen SE. Die registrierten κ -Werte veranschaulichen darüber hinaus ein keinesfalls zufrieden stellendes Diagnostikniveau; für das D1-4-Niveau wurden noch ungünstigere Parameter ermittelt (Tab. 24 und 29), wobei keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Geräten festgestellt wurden.

Im Vergleich zur Berechnung von SE und SP, die immer einen definierten Schwellenwert voraussetzen, erlauben ROC-Kurven die Berechnung der Fläche unter der Kurve (A_z) als Maß der diagnostischen Güte unabhängig von einem definierten Cut-Off-Wert. Dieses statistische Vorgehen sollte insbesondere bei kontinuierlichen Daten Verwendung finden und wurde daher für die elektrische Widerstandsmessung eingesetzt (Verdonschot et al. 1993a, Ricketts et al. 1997b, Huysmans 1998a und 1998b, Pereira et al. 1999). Die in der vorliegenden Untersuchung ermittelten A_z -Werte auf dem D3-4-Niveau von 0,74 (ECM) und von 0,79 (CRM) sind im Vergleich zu vorhergehenden In-vitro-Untersuchungen, die ausnahmslos A_z -Werte größer 0,80 registrierten (Tab. 7), niedriger. Im Vergleich zu den Ergebnissen für VI und VR lassen die Resultate für die elektrische Widerstandsmessung den Schluss zu, dass eine Verbesserung der Okklusalkaries-Diagnostik an nicht kavitierten Läsionen mit der elektrischen Widerstandsmessung nicht erreicht werden konnte.

In Bezug auf das CRM-Gerät liegen bislang nur wenige Erfahrung vor. Lediglich Klinker et al. (2001) publizierten SE- und SP-Werte von 85% und 47% bei einem A_z -Wert von 0,70. Unabhängig von den in der vorliegenden In-vitro-Studie ermittelten Güteparametern (SE 42%, SP 94%, A_z 0,79) und der damit niedrigeren SE und höheren SP liegen alle Summationswerte unter 160%. Aus praktischer Sicht erwies sich insbesondere die nicht definierte Trocknung des Zahnes als problematisch. Nach Angaben des Herstellers sollte die Messung an der leicht befeuchteten Zahnoberfläche punktgenau erfolgen (Gente 1999). Streng genommen liegt unter diesen Voraussetzungen jedoch keine site-, sondern eine surface-spezifische Messung vor. Nach Ricketts et al. (1997b) und Schulte und Pieper (1997) werden die gemessenen Widerstandswerte sehr stark vom Wassergehalt der Zähne beeinflusst. Aus diesem (technischen) Blickwinkel sowie der Möglichkeit, am Multimeter fehlerhafte Einstellungen vorzunehmen (siehe

systematische Fehler der Untersucher 3, 4 und 5), favorisieren diese Gesichtspunkte den Einsatz des ECM-Gerätes.

Werden nunmehr Unterschiede zwischen einzelnen Untersuchern betrachtet (Tab. 25 und 30), so ergaben sich für den Zahnarzt 1 (ECM und CRM) die günstigsten Werte. Selbst in diesen Fällen erreichten SE und SP summarisch nicht den geforderten Wert von 160%. Da für diesen Untersucher eine hohe Vertrautheit mit dem Gerät bestand, zeigt sich erneut, dass die klinische Erfahrung mit einer Methode zu besseren Ergebnissen führt. Inter-individuelle Unterschiede bezüglich der diagnostischen Güte sind in diesem Sinne zu interpretieren.

Als Ursachen für die nicht zufrieden stellende diagnostische Güte der elektrischen Widerstandsmessung an nicht kavitierten Läsionen sind verschiedene Gründe zu diskutieren. Einerseits können bereits minimale physikalische Veränderungen im Zahnschmelz (Mineralgehalt, Lagerungsart, Wassergehalt vor und nach Lufttrocknung, Temperatur etc.) zu teilweise gravierenden Messwertschwankungen führen (Dibdin 1993, Ricketts et al. 1997b, Schulte und Pieper 1997, Schulte et al. 1998, Huysmans 2000, Shellis und Dibdin 2001). Diese Messwertschwankungen dürften hypothetisch umso deutlicher ausfallen, je kleiner die Läsion ist und umso stärker einzelne Störfaktoren die Messungen beeinflussen. Andererseits ist der jeweilige Kontaktpunkt der Messsonde am Zahn als Störgröße zu diskutieren. Erfolgt keine punktgenaue Messung der Läsion, so können die Messwerte - und damit die Akkuratheit und Reproduzierbarkeit der Messung, variieren. Diese Erfahrung wurde im Rahmen der Untersuchung bestätigt, wo an verschiedenen Zähnen trotz mehrfacher Messungen keine stabilen Werte erfasst werden konnten.

Kombinierte visuelle und röntgenografische Diagnostik sowie elektrische Widerstandsmessung. Die von den Universitäts-Zahnärzten durchgeführte kombinierte Diagnostik (KOMB) erbrachte im Wesentlichen nur geringfügige Verbesserungen im Vergleich zur VI und VR (Tab. 37), so dass aus praktischer Sicht dieses zeit- und kostenintensive diagnostische Vorgehen nicht empfohlen werden kann.

6.4 *Konsequenzen für die klinische Tätigkeit*

Anhand der ermittelten Ergebnisse wurde deutlich, dass nur in Einzelfällen die von Hausen (1997) geforderte diagnostische Güte der SE und SP von 160% erreicht wurde. Da die Untersuchung auf die schwierige Beurteilung nicht kavittierter Läsionen fokussierte, ist unter Einbeziehung gesunder Zähne und kavittierter Läsionen hypothetisch eine deutlich bessere Akkuratheit zu erwarten, da diese Zähne in der Regel eindeutig als gesund bzw. erkrankt beurteilt werden (Lussi 1996).

Werden die vorliegenden Ergebnisse im Zusammenhang mit der epidemiologischen Situation zur Zahngesundheit in der Bundesrepublik gewertet, so könnte folgendes Szenario für die Okklusalflächen der bleibenden Molaren angenommen werden: Mit steigendem Alter ist grundsätzlich mit einer Zunahme gefüllter und kavittierter Okklusalflächen, initial kariöser Läsionen, aber auch durch die Fissurenversiegelung geschützter Molaren zu rechnen. Demgegenüber wird der Anteil gesunder Zahnflächen stetig abnehmen. Aus epidemiologischen Studien sind folgende Häufigkeitsangaben aus der Bundesrepublik zu initial kariösen Molaren verfügbar: 19% bei 8-Jährigen (Kühnisch 1998), 24% bei 10-Jährigen (Heinrich-Weltzien et al. 2001a) und 27% bei 15-Jährigen (Heinrich-Weltzien et al. 2001b). Wird von einer Prävalenzrate initial kariöser Läsionen von etwa 20% ausgegangen, so wäre anhand der registrierten SE-Werte (Tab. 37) in etwa 50% dieser Fälle, von einer nicht erkannten Dentinkaries und damit von einer falschen Therapieentscheidung auszugehen. Da jedoch immer wieder auf die schwierige Übertragbarkeit von In-vitro-Ergebnissen auf die In-vivo-Situation aufmerksam gemacht wurde (Verdonschot et al. 1999b), bedürfen die vorliegenden Ergebnisse einer kritischen Wertung auch unter Berücksichtigung einer praktikablen und kostengünstigen Vorgehensweise für den praktisch tätigen Zahnarzt.

Im Hinblick auf die als unzureichend beurteilte Reproduzierbarkeit und Akkuratheit der elektrischen Widerstandsmessung und die ebenfalls kritisch gewertete Reproduzierbarkeit der Laserfluoreszenz-Messung mit dem DIAGNOdent-Gerät (KaVo, Biberach), erscheint die Quantifizierung der Läsionstiefe und ein Kariesmonitoring mit gegenwärtig verfügbaren quantitativen Verfahren zur Okklusalkaries-Diagnostik nur schwer möglich (Kühnisch et al. 2003). Vor diesem Hintergrund sowie den hohen Anschaffungskosten (~6.000€ für das ECM-Gerät, ~2.000€ für das DIAGNOdent-Gerät) muss die differenzierte visuelle Inspektion unter Einbeziehung initial kariöser Veränderungen als Basisdiagnostik bei der zahnärztlichen Routineuntersuchung angesehen werden (Pitts 2001, Heinrich-Weltzien et al. 2002). Dieses Vorgehen wird

neben den Untersuchungen von Ekstrand et al. (1995, 1997 und 1998) ebenfalls durch Untersuchungen von Machiulskiene et al. (1999) bestätigt, wobei die Autoren durch Einbeziehung initial kariöser Läsionen mit Hilfe differenzierter visueller Kriterien eine Häufigkeitsrate versteckter Dentinläsionen von nur 2% aufzeigten.

Aufgrund des hohen diagnostischen Nutzens des Röntgenbildes (Approximal-, Okklusal- und Sekundärkaries-Diagnostik, Beurteilung bisheriger Füllungen, Beurteilung des Paradontalzustandes etc.) sollte die Anfertigung von Bissflügel-Aufnahmen auch im Rahmen der Okklusalkaries-Diagnostik als „Sicherheitsnetz“ für den Patienten favorisiert werden (Ricketts et al. 1995b, Oehme et al. 2001). Obwohl davon auszugehen ist, dass mit diesem Vorgehen kleinste Läsionen im Bereich der Schmelz-Dentin-Grenze nicht erfasst werden können, ist die Detektion superfizieller Dentinläsionen möglich. Da röntgenografisch erfassbare Dentinläsionen über eine 10.000fach höhere mikrobielle Besiedlung im Vergleich zum gesunden Dentin verfügen (Ricketts et al. 1995b), ist die invasive Intervention das therapeutische Vorgehen der Wahl. Nichtsdestotrotz sollten röntgenografische Befunde grundsätzlich im Zusammenhang mit dem visuellen Erscheinungsbild der betreffenden Okklusalfläche gewertet werden. Liegen nach der visuellen und röntgenografischen Okklusalkaries-Diagnostik keine Anzeichen für eine Dentinbeteiligung (keine Braunverfärbung und Opazität, keine (Mikro)Kavität, keine Radioluzenz) vor, so wäre die Fissurenversiegelung das Vorgehen der Wahl. Deuten jedoch die visuellen Befunde (Braunverfärbung, Opazität, Mikrokavität) selbst bei einem negativen Röntgenbefund auf eine mögliche Dentinbeteiligung hin, sollten bei Kindern und Jugendlichen diese Läsionen punktuell - im Sinne der erweiterten oder therapeutischen Fissurenversiegelung - minimal invasiv restauriert werden.

Anhand der vorliegenden Ergebnisse und kritischen Wertung des Schrifttums stellt die visuelle Inspektion durch den indikationsgerechten Einsatz der Bissflügel-Aufnahme das Vorgehen der Wahl bei der (Okklusal)Kariesdiagnostik dar. Da mit Hilfe der elektrischen Widerstandsmessung weder ein Kariesmonitoring, eine Frühdiagnostik noch eine Quantifizierung des kariösen Prozesses möglich ist, kann das Verfahren für den klinischen Einsatz gegenwärtig nicht empfohlen werden.

7 Schlussfolgerungen

Im Ergebnis der vorliegenden In-vitro-Untersuchung zur vergleichenden Bewertung der visuellen, visuell-röntgenografischen Diagnostik und der elektrischen Widerstandsmessung an nicht kavitierten Okklusalläsionen können folgende Schlussfolgerungen gezogen werden:

1. Aus klinischer Sicht wurde die visuelle, die visuell-röntgenografische, die elektrische Widerstandsmessung und die visuell-röntgenografische Diagnostik kombiniert mit der elektrischen Widerstandsmessung von den Universitäts- und Praxis-Zahnärzten sowie Zahnmedizin-Studenten unzureichend reproduziert.
2. Während auf dem Dentinkaries-Niveau die SP-Werte für alle Diagnostikverfahren ausnahmslos hoch waren (etwa 90%), und damit die Möglichkeit einer Überbehandlung minimiert ist, reflektieren SE-Werte mit etwa 50% einen hohen Anteil falsch negativer Befunde. Die zu fordernde Summation aus SE und SP von 160%, welche für den klinischen Einsatz von Diagnostikverfahren Voraussetzung ist, erfüllte keine der Untersucherguppen.
3. Universitäts-Zahnärzte erzielten tendenziell eine bessere Intra- und Inter-Untersucher-Variabilität bei den einzelnen Diagnostikverfahren als Praxis-Zahnärzte und Studenten.
4. Für Untersucher mit speziellen Kenntnissen und einem hohen Erfahrungsniveau bei einer Diagnostikmethode wurde eine bessere Intra- und Inter-Untersucher-Variabilität ermittelt als für weniger trainierte Kollegen.
5. Da der Einsatz der elektrischen Widerstandsmessung keine Vorteile bezüglich der Diagnosegenauigkeit brachte, sollte eine differenzierte visuelle Inspektion als Basisdiagnostik in der studentischen Ausbildung sowie postgradualen Fortbildung favorisiert und trainiert werden.
6. Die Nutzung der Röntgenaufnahme beim visuell-röntgenografischen Vorgehen führte zu einer geringfügigen Verbesserung der Diagnosegenauigkeit, wobei die Studenten im Vergleich zu Universitäts- und Praxis-Zahnärzten stärker vom Gebrauch des Röntgenbildes profitierten.
7. Mit dem ECM- und CRM-Gerät zur elektrischen Widerstandsmessung wurde eine unzureichende Reproduzierbarkeit und Akkuratheit bei der Okklusalkaries-Diagnostik ermittelt. Zwischen beiden Geräten wurden keine Unterschiede registriert. Damit ergeben sich keine signifikanten Vorteile für eines der beiden Verfahren.

8. Die visuell-röntgenografische Diagnostik in Kombination mit der elektrischen Widerstandsmessung führte nur zu einer unwesentlichen Verbesserung der Intra- und Inter-Untersucher-Variabilität sowie Akkuratheit, so dass dieses Vorgehen nicht für einen klinischen Einsatz empfohlen werden kann.

8 Literaturverzeichnis

1. Ando M, Eggertsson H, Isaacs R, Analoui M and Stookey GK: Comparative studies of several methods for the early detection of fissure lesions. In: Stookey GK (ed): Early Detection of Dental Caries II: Proceedings of the 4th Annual Indiana Conference. Indiana University, Indianapolis, (2000) S. 279-301.
2. Allan CD and Naylor MN (1984) Radiographs in the identification of occlusal caries. *J Dent Res* 63:504.
3. Ashley PF, Blinkhorn AS and Davies RM (1998) Occlusal caries diagnosis: an in vitro histological study of Electronic Caries Monitor (ECM) and other methods. *J Dent* 26:83-88.
4. Axmann D, Gomez G und Gorten M (2002) Der Bland und Altman Plot – eine einfache graphische Methode zur Einschätzung der Verlässlichkeit von Messverfahren. *Dtsch Zahnärztl Z* 57:613-616.
5. Ball IA (1986) The "fluoride syndrome": occult caries? (letter). *Br Dent J* 160:75-76.
6. Bamzahim M, Shi XQ and Angamar-Mansson B (2002) In vitro Comparison of DIAGNOdent und Electronic Caries Monitor for Detection and Quantification of Occlusal Caries. *Caries Res* 36:189.
7. Beck JR and Schultz EK (1986) The use of relative operating characteristic (ROC) curves in test performance evaluation. *Arch Pathol Lab Med* 110:13-20.
8. Berry HMJ (1983) Cervical burnout and Mach band: two shadows of doubt in radiologic interpretation of carious lesions. *J Am Dent Assoc* 106:622-625.
9. Black GV: Konservierende Zahnheilkunde. Meusser, Berlin (1914).
10. Bland JM and Altman DG (1986) Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet* 11:307-310.
11. Bratthall D, Hänsel-Petersson G and Sundberg H (1996) Reasons for the caries decline: What do the experts believe? *Eur J Oral Sci* 104:416-422.
12. Bühl A und Zöfel P: SPSS für Windows Version 6.1. Addison-Wesley, Bonn (1996).
13. Campbell MJ and Machin D *Medical Statistics: A Common Sense Approach*. Wiley and Sons, Chichester (1990) S. 36-39.
14. Carvalho JC, Thylstrup A and Ekstrand KR (1992) Results after 3 years of non-operative occlusal caries treatment of erupting permanent first molars. *Community Dent Oral Epidemiol* 20:187-192.
15. Cortes DF, Ekstrand KR, Elias-Boneta AR and Ellwood RP (2000) An in vitro comparison of the ability of fibre-optic transillumination, visual inspection and radiographs to detect occlusal caries and evaluate lesion depth. *Caries Res* 34:443-447.
16. Cortes DF, Ellwood RP, Ekstrand KR (2003) An in vivo comparison of a combined FOTI/Visual examination of occlusal caries with other diagnostic methods and the effect of stain on their diagnostic performace. *Caries Res* 37:8-16.
17. Creanor SL, Russell JI, Strang DM, Stephen KW and Burchell CK (1990) The prevalence of clinically undetected occlusal dentine caries in Scottish adolescents. *Br Dent J* 169:126-129.

18. Davidsohn F (1910) Roentgenstrahlen und Zahnheilkunde. *Zahnärztl Rundschau* 19:479-480.
19. de Vries HC, Ruiken HM, Koenig KG and van 't Hof MA (1990) Radiographic versus clinical diagnosis of approximal carious lesions. *Caries Res* 24:364-370.
20. Dibdin gh (1993) The water in human dental enamel and its diffusional exchange measured by clearance of tritiated water from enamel slabs of varying thickness. *Caries Res* 27:81-86.
21. Dobrenic M und Jelenik E (1969) Versuch der Entdeckung präkariöser Läsionen durch Messung des elektrischen Widerstands der Zahnhartgewebe. *Dtsch Zahnärztl Z* 24:16-21.
22. Dooland M and Smales R (1982) The diagnosis of fissure caries in permanent molar teeth. *J Dent Child* 49:181-185.
23. Ehrenfeld H (1927) Beitrag zur Frage der elektrischen Zahnuntersuchung. *Z Stomatol* 11:1039-1047.
24. Ekstrand KR, Qvist V and Thylstrup A (1987) Light microscope study of the effect of probing in occlusal surfaces. *Caries Res* 21:368-374.
25. Ekstrand KR, Kuzmina I, Bjorndal L and Thylstrup A (1995) Relationship between external and histologic features of progressive stage of caries in the occlusal fossa. *Caries Res* 29:243-250.
26. Ekstrand KR, Ricketts DNJ and Kidd EAM (1997) Reproducibility and accuracy of three methods for assessment of demineralization depth of the occlusal surface: an in vitro examination. *Caries Res* 31:224-231.
27. Ekstrand KR, Ricketts DNJ, Kidd EAM, Qvist V and Schou S (1998) Detection, diagnosis, monitoring and logical treatment of occlusal caries in relation to lesion activity and severity: an in vivo examination with histological validation. *Caries Res* 32:247-254.
28. Espelid I, Tveit AB and Fjelltveit A (1994) Variations among dentists in radiographic detection of occlusal caries. *Caries Res* 28:169-175.
29. Fennis-Ie YL, Verdonschot EH and van 't Hof MA (1998) Performance of some diagnostic systems in the prediction of occlusal caries in permanent molars in 6- and 11-year-old children. *J Dent* 26:403-408.
30. Fiorentini A: Mach band phenomena. In: Jameson D and Hurvich LM (eds): *Visual Psychophysics. Handbook of Sensory Physiology*. Springer Verlag, Berlin (1972) S. 188-201.
31. Fleiss IL: *Statistical methods for rates and proportions*. Wiley, New York (1981).
32. Gente M (1987) Messungen zur Pulpaausdehnung an präparierten Molaren. *Dtsch Zahnärztl Z* 42:380-382.
33. Gente M: *Vorläufige Bedienungsanleitung für das Cariometer CRM 800* (1999).
34. Gente M (2002) Einsatz eines Prepometers bei besonders tiefreichenden Kronenpräparationen. *Zahn Mund Kieferheilkd* 18:670-674.
35. Gente M und Wenz HJ (1991) Nicht-invasive Methode der Dentinwiderstandsmessung zur Begrenzung der Präparationstiefe. *Dtsch Zahnärztl Z* 46:771-773.
36. Gibbons R (1996) The caries decline. A comment. *Eur J Oral Sci* 104:424-425.

37. Godt H und von Bredow B (1967) Untersuchungen über den elektrischen Widerstand in den Zahnhartgeweben. *Dtsch Zahn Mund Kieferheilkd* 48:363-370.
38. Gray GB and Paterson RC (1997) Fissure caries diagnosis and resulting treatment decisions by clinical community dental officers and general dental practitioners. *Eur J Prosthodont Restor Dent* 5:23-29.
39. Guggenmoos-Holzmann I und Wernecke KD: *Medizinische Statistik*. Blackwell Wissenschaft, Berlin (1996).
40. Handelman SL, Washburn F and Wopperer P (1976) Two-year report of sealant effects on bacteria in dental caries. *J Am Dent Assoc* 93:967-970.
41. Hannigan A, O'Mullane DM, Barry D, Schäfer F and Roberts AJ (2000) A caries susceptibility classification of tooth surfaces by survival time. *Caries Res* 34:103-108.
42. Hausen H (1997): Caries prediction - state of the art. *Community Dent Oral Epidemiol* 25:87-96.
43. Heinrich-Weltzien R (1997) Möglichkeiten der gruppenprophylaktischen Betreuung von Kindern mit einem erhöhten Kariesrisiko. *Thür Zahnärztebl* 7:11-15.
44. Heinrich-Weltzien R, Schumann V und Stöber L: Wie sicher ist die klinische Kariesvorhersage des Zahnarztes? In: Stöber L (Hrsg): *Kariesdynamik und Kariesrisiko*. Quintessenz Verlag, Berlin (1998) S. 194-200.
45. Heinrich-Weltzien R, Kühnisch J und Senkel H (2001a): Zahngesundheit 14-jähriger in Beziehung zu ihrer Schulbildung. *Stomatologie* 98:1-8.
46. Heinrich-Weltzien R, Kühnisch J, Weerheijm KL und Stöber L (2001b) Diagnostik der versteckten Okklusalkaries mit Bissflügel-Aufnahmen. *Dtsch Zahnärztl Z* 56:476-480.
47. Heinrich-Weltzien R, Weerheijm K, Kühnisch J, Oehme T and Stöber L (2002) Clinical evaluation of visual, radiographic and laser fluorescence methods for detection of occlusal caries. *ASDC J Dent Child* 69:127-132.
48. Hintze H and Wenzel A (1994) Clinically undetected dental caries assessed by bitewing screening in children with little caries experience. *Dento-Maxillo-Facial Radiology* 23:19-23.
49. Hintze H, Wenzel A and Larsen MJ (1995) Stereomicroscopy, film radiography, microradiography and naked-eye inspection of tooth sections as validation for occlusal caries diagnosis. *Caries Res* 29:359-363.
50. Hintze H, Wenzel A, Danielsen B and Nyvad B (1998) Reliability of visual examination, fibre-optic transillumination, and bite-wing radiography, and reproducibility of direct visual examination following tooth separation for the identification of cavitated carious lesions in contacting approximal surfaces. *Caries Res* 32:204-209.
51. Hujoel P, Mäkinen K, Bennett CB, Isokangas PJ, Isotupa KP, Pape JRH, Lamonat RJ, Derouen TA and Davis S (1995) Do caries explorers transmit infections with persons? An evaluation of second molar caries onsets. *Caries Res* 29:461-466.
52. Huysmans MCD: Electrical measurements for early caries detection. In: Stookey GK (ed): *Early Detection of Dental Caries II: Proceedings of the 4th Annual Indiana Conference*. Indiana University, Indianapolis (2000) S. 123-143.

53. Huysmans MC, Verdonschot EH and Rondel P (1995) Electrical conductance and electrode area on sound smooth enamel in extracted teeth. *Caries Res* 29:88-93.
54. Huysmans MC, Longbottom C and Pitts NB (1998a) Electrical methods in occlusal caries diagnosis: An in vitro comparison with visual inspection and bite-wing radiography. *Caries Res* 32:324-329.
55. Huysmans MC, Longbottom C, Hintze H and Verdonschot EH (1998b) Surface-specific electrical occlusal caries diagnosis: reproducibility, correlation with histological lesion depth, and tooth type dependence. *Caries Res* 32:330-336.
56. Ie YL, Verdonschot EH, Schaeken MJ and van't Hof MA (1995) Electrical conductance of fissure enamel in recently erupted molar teeth as related to caries status. *Caries Res* 29:94-99.
57. Jackson D (1950) The clinical diagnosis of dental caries. *Br Dent J* 88:207-213.
58. Jeronimus DJ, Till MJ and Sveen OB (1975) Reduced viability of microorganisms under dental sealants. *J Dent Child* 42:275-280.
59. Kay EJ, Watts A, Paterson RC and Blinkhorn AS (1988) Preliminary investigation into the validity of dentist' decisions to restore occlusal surfaces of permanent teeth. *Community Dent Oral Epidemiol* 16:91-94.
60. Kidd EAM (1984) The diagnosis and management of the "early" carious lesion in permanent teeth. *Dent Update* 11:69-81.
61. Kidd EAM and Pitts NB (1990) A re-appraisal of the value of the bitewing radiograph in the diagnosis of posterior approximal caries. *Br Dent J* 169:195-200.
62. Kidd EAM, Naylor MN and Wilson RF (1992) The prevalence of clinically undetected and untreated molar occlusal dentine caries in adolescents on the Isle of Wight. *Caries Res* 26:397-401.
63. King NM and Shaw L (1979) Value of bitewing radiographs in detection of occlusal caries. *Community Dent Oral Epidemiol* 7:218-221.
64. Kleter GA, Damen JJ, Buijs MJ and Ten Cate JM (1998) Modification of amino acid residues in carious dentin matrix. *J Dent Res* 77:488-495.
65. Klinke T, Zraiki S, Klimm W, Hetzer G, Kuhlisch E and Gente M (2001) Evaluation of four methods of occlusal caries detection in discoloured fissures in vivo preliminary data. *Caries Res* 35:281.
66. Knittel B, Klimm W, Koch R and Beurich B (2000) Vergleich von drei Methoden zur Früherkennung der Fissurenkaries in vitro. *Dtsch Zahnärztl Z* 55:168-175.
67. Kühnisch J: Zahngesundheit sowie Häufigkeit und Qualität der Fissurenversiegelung bei 8- und 14jährigen. Diss, Jena (1998).
68. Kühnisch J, Heinrich-Weltzien R, Ziehe A and Stößer L (2003) Occlusal caries detection: How reliable are DIAGNOdent[®] measurements? *J Oral Rehabil* 30:im Druck.
69. Künzel W: Lehrbuch der Kinderstomatologie. Barth Verlag, Leipzig (1979).
70. Lavin AJ (1983) Covert caries detection (letter). *Br Dent J* 155:111.
71. Lazarchik DA, Firestone AR, Heaven TJ, Filler SJ and Lussi A (1995) Radiographic evaluation of occlusal caries: effect of training and experience. *Caries Res* 29:355-358.
72. Lewin DA (1985) Fluoride syndrome (letter). *Br Dent J* 158:39.

73. Lin LIK (1989) A concordance correlation coefficient to evaluate reproducibility. *Biometrics* 45:1038-1042.
74. Loesche WJ, Svanberg ML and Pape HR (1979) Intraoral transmission of *Streptococcus mutans* by the dental explorer. *J Dent Res* 58:1765-1770.
75. Lussi A (1993) Comparison of different methods for the diagnosis of fissure caries without cavitation. *Caries Res* 27:409-416.
76. Lussi A (1996) Impact of including or excluding cavitated lesions when evaluating methods for the diagnosis of occlusal caries. *Caries Res* 30:389-393.
77. Lussi A, Hotz P und Stich H (1995a) Die Fissurenkaries. *Dtsch Zahnärztl Z* 50:629-634.
78. Lussi A, Firestone A, Schoenberg V, Hotz P and Stich H (1995b) In vivo diagnosis of fissure caries using a new electrical resistance monitor. *Caries Res* 29:81-87.
79. Lussi A, Imwinkelried S, Pitts NB, Longbottom C and Reich E (1999) Performance and reproducibility of a laser fluorescence system for detection of occlusal caries in vitro. *Caries Res* 33:261-266.
80. Machiulskiene V, Nyvad B and Baelum V (1999) A comparison of clinical and radiographic caries diagnosis in posterior teeth of 12-year-old Lithuanian children. *Caries Res* 33:340-348.
81. Mandel ID (1996) The caries decline. A comment. *Eur J Oral Sci* 104:423.
82. Mann J, Pettigrew JC, Revach A and Arwas JR (1989) Assessment of the DMF-S index with the use of bitewing radiographs. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 68:661-665.
83. Mertz-Fairhurst EJ, Curtis JW Jr, Ergle JW, Rueggeberg FA and Adair SM (1998) Ultraconservative and cariostatic sealed restorations: results at year 10. *J Am Dent Assoc* 129:55-66.
84. Mertz-Fairhurst EJ, Adair SM, Sams DR, Curtis JW Jr, Ergle JW, Hawkins KI, Mackert JR Jr, O'Dell NL, Richards EE and Rueggeberg F (1995) Cariostatic and ultraconservative sealed restorations: nine-year results among children and adults. *ASDC J Dent Child* 62:97-107.
85. Mertz-Fairhurst EJ, Smith CD, Williams JE, Sherrer JD, Mackert JR Jr, Richards EE, Schuster GS, O'Dell NL, Pierce KL, Kovarik RE and Ergle JW (1992) Cariostatic and ultraconservative sealed restorations: six-year results. *Quintessence Int* 23:827-838.
86. Milman CK (1984) Fluoride syndrome. *Br Dent J* 157:341.
87. Miller J and Hobson P (1956) Determination of the presence of caries in fissures. *Br Dent J* 100:15-18.
88. Mumford JM (1956) Relationship between the electrical resistance of human teeth and the presence and extent of dental caries. *Br Dent J* 100:239-244.
89. Mumford JM (1967) Resistivity of Human Enamel and Dentine. *Arch Oral Biol*: 12:925-927.
90. Nytnun RB, Raadal M and Espelid I (1992) Diagnosis of dentin involvement in occlusal caries based on visual and radiographic examination of the teeth. *Scand J Dent Res* 100:144-148.

91. Nyvad B, Machiulskiene V and Baelum V (1999) Reliability of a new caries diagnostic system differentiating between active and inactive caries lesions. *Caries Res* 33:252-260.
92. Oehme T, Kühnisch J und Heinrich-Weltzien R (2001) Verfärbte Fissur = Pigmentation = Schmelzkaries = Dentinkaries? *Quintessenz* 52:581-589.
93. Page J (1986) The "fluoride syndrome": occult caries? (letter). *Br Dent J* 160:228.
94. Parfitt GI (1954) A standard clinical examination of the teeth. *Br Dent J* 96:296-300.
95. Pearce E, Larsen M and Coote G (1999) Fluoride in enamel lining pits and fissures of the occlusal groove-fossa system in human molar teeth. *Caries Res* 33:196-205.
96. Pereira AC, Verdonschot EH and Huysmans MC (2001) Caries detection methods: Can they aid decision making for invasive sealant treatment? *Caries Res* 35:83-89.
97. Pereira AC, Huysmans MCDNJM and Verdonschot EH (1999) Occlusal caries diagnosis using the DIAGNOdent: in vitro reproducibility and comparison with electrical conductive and visual diagnosis. IADR poster presentation, Vancouver.
98. Petersson GH and Bratthall D (1996) The caries decline: A review of reviews. *Eur J Oral Sci* 104:436-443.
99. Pieper K, Visser H, Hülsmann M und Wahner M (1990) Überprüfung eines elektronischen Verfahrens zur Diagnose der Fissurenkaries. *Dtsch Zahnärztl Z* 45:721.
100. Pine CM and ten Bosch JJ (1996) Dynamics of and diagnostic methods for detecting small carious lesions. *Caries Res* 30:381-388.
101. Pitts NB (1996) The use of bitewing radiographs in the management of dental caries: scientific and practical considerations. *Dento-Maxillo-Facial Radiology* 25:5-16.
102. Pitts NB: Clinical diagnosis of dental caries: a European perspective. NIH Consensus development conference on diagnosis and management of dental caries throughout life. Bethesda (Maryland) 26.-28. März (2001).
103. Pitts NB and Stamm JW (2002) Caries research implications of the international collaborative workshop on caries clinical trials. *Caries Res* 36:208.
104. Poorterman JHG, Weerheijm KL, Groen HJ and Kalsbeek H (2000) Clinical and radiographic judgement of occlusal caries in adolescents. *Eur J Oral Sci* 108:93-98.
105. Raper HR (1925) Practical clinical preventive dentistry based upon periodic Roentgen-ray examination. *J Am Dent Assoc* 12:1084.
106. Reynolds RL (1966) The determination of pulpa vitality by means of thermal and electrical stimuli. *Oral Surg* 22:231.
107. Ricketts DNJ, Kidd EAM and Wilson RF (1997a) The effect of airflow on site-specific electrical conductance measurements used in the diagnosis of pit and fissure caries in vitro. *Caries Res* 31:111-118.
108. Ricketts DNJ, Kidd EAM and Wilson RF (1997b) The electronic diagnosis of caries in pits and fissures: site-specific stable conductance readings or cumulative resistance readings? *Caries Res* 31:119-124.
109. Ricketts DNJ, Kidd EAM and Wilson RF (1997c) Electronic diagnosis of occlusal caries in vitro: adaptation of the technique for epidemiological purposes. *Community Dent Oral Epidemiol* 25:238-241.

110. Ricketts DNJ, Kidd EAM, Liepins PJ and Wilson RF (1996) Histological validation of electrical resistance measurements in the diagnosis of occlusal caries. *Caries Res* 30:148-155.
111. Ricketts DNJ, Kidd EAM and Beighton D (1995a) Operative and microbiological validation of visual, radiographic and electronic diagnosis of occlusal caries in non-cavitated teeth judged to be in need of operative care. *Br Dent J* 179:214-220.
112. Ricketts DNJ, Kidd EAM, Smith BG and Wilson RF (1995b) Clinical and radiographic diagnosis of occlusal caries: a study in vitro. *J Oral Rehabil* 22:15-20.
113. Rohr M, Makinson OF and Burrow MF (1991) Pits and fissures: morphology. *ASDC J Dent Child* 58:97-103.
114. Russell M and Pitts NB (1993) Radiovisiographic diagnosis of dental caries: initial comparison of basic mode videoprints with bitewing radiography. *Caries Res* 27:65-70.
115. Sachs L: *Angewandte Statistik*. Springer-Verlag, Berlin (2002).
116. Scholberg HP, Borggreven JM and Driessens FC (1982) Impedance of dental enamel membranes as a predictor of their permeability. *Med Biol Eng Comput* 20:578-584.
117. Schulte A und Pieper K (1997) Elektrische Widerstandswerte in Fissuren kariesfreier Prämolaren von Erwachsenen und Kindern. *Dtsch Zahnärztl Z* 52:741-744.
118. Schulte A, Gente M and Pieper K (1999) Post-eruptive changes of electrical resistance values in fissure enamel of premolars. *Caries Res* 33:242-247.
119. Schulte A, Gente M, Pieper K and Arends J (1998) The electrical resistance of enamel-dentine cylinders. Influence of NaCa content in storage solutions, *J Dent* 26:113-118.
120. Shellis RP and Dibdin GH (2001) Enamel microporosity and its functional implications. In: Teaford MF, Ferguson MJ, Smith MM (eds): *Teeth: development, evolution and function*. Cambridge: Cambridge University press.
121. Shi XQ, Bamzahim M and Angmar-Månsson B (2002) Reproducibility of DIAGNOdent and Electronic Caries Monitor for in vitro Detection and Quantification of Occlusal Caries. *Caries Res* 36:174-222
122. Splieth C and Meyer G (1996) Factors for changes of caries prevalence among adolescents in Germany. *Eur J Oral Sci* 104:444-451.
123. Stean HS (1982) Is there a change in the carious process? (letter). *Br Dent J* 152 301
124. Steiner M, Menghini G, Marthaler TM und Bandi A (1994) Kariesbefall der Schüler der Stadt Zürich im Zeitraum 1970-1993. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 104:1210-1218.
125. Sunada I (1962) New Method for Measuring the Length of the Root Canal. *J Dent Research* 41:375.
126. Thomas MF, Ricketts DN and Wilson RF (2001) Occlusal caries diagnosis in molar teeth from bitewing and panoramic radiographs. *Prim Dent Care* 8:63-69.
127. Thylstrup A and Fejerskov O: *Textbook of Clinical Cariology*. Munksgaard, Copenhagen (1994).

128. Tveit AB, Espelid I and Fjellveit A (1991) Radiographic diagnosis of occlusal caries. *J Dent Res* 70:494.
129. Tveit AB, Espelid I and Fjellveit A (1994) Clinical diagnosis of occlusal dentin caries. *Caries Res* 28:368-372.
130. U.S. Public Health Service: Toward improving the oral health of Americans: An overview of oral health status, resources, and care delivery. Report of the U.S. Public Health Service Oral Health Coordinating Committee (March 1993).
131. van Amerongen JP, van Amerongen-Pieko A and Penning C (1993) Validity of caries diagnosis in molars with discoloured fissures by radiography. *J Dent Res* 72:344.
132. van Amerongen JP, Penning C, Kidd EAM and ten Cate JM (1992) An in vitro assessment of the extent of caries under small occlusal cavities. *Caries Res* 26:89-93.
133. van Dorp CSE, Exterkate RAM and ten Cate JM (1988) The effect of dental probing on subsequent enamel demineralization. *J Dent Child* 55:343-347.
134. Verdonschot EH, Abdo H and Frankenmolen FWA (1999a) The in vivo performance of a laser fluorescence device compared to visual inspection in occlusal caries diagnosis. *Caries Res* 33:283.
135. Verdonschot EH, Angmar-Månsson B, ten Bosch JJ, Deery CH, Huysmans MC, Pitts NB and Waller E (1999b) Developments in caries diagnosis and their relationship to treatment decisions and quality of care. *Caries Res* 33:32-40.
136. Verdonschot EH, Wenzel A and Bronkhorst EM (1993a) Assessment of diagnostic accuracy in caries detection: an analysis of two methods. *Community Dent Oral Epidemiol* 21:203-208.
137. Verdonschot EH, Wenzel A, Truin GJ and König KG (1993b) Performance of electrical resistance measurements adjunct to visual inspection in the early diagnosis of occlusal caries. *J Dent* 21:332-327.
138. Verdonschot EH, Bronkhorst EM, Burgersdijk RC, König KG, Schaeken MJ, Truin GJ (1992) Performance of some diagnostic systems in examinations for small occlusal carious lesions. *Caries Res* 26:59-64.
139. Weerheijm KL, Gruythuysen RJ and van Amerongen WE (1992a) Prevalence of hidden caries. *ASDC J Dent Child* 59:408-412.
140. Weerheijm KL, de Soet JJ, van Amerongen WE and de Graaff J (1992b) Sealing of occlusal hidden caries lesions: An alternative for curative treatment? *J Dent Child* 59:263-268.
141. Weerheijm KL, Groen HJ, Bast AJ, Kieft JA, Eijkman MA and van Amerongen WE (1992c) Clinically undetected occlusal dentine caries: a radiographic comparison. *Caries Res* 26:305-309.
142. Weerheijm KL, Kidd EAM and Groen HJ (1997) The effect of fluoridation on the occurrence of hidden caries in clinically sound occlusal surfaces. *Caries Res* 31:30-34.
143. Wenzel A and Fejerskov O (1992) Validity of diagnosis of questionable caries lesions in occlusal surfaces of extracted third molars. *Caries Res* 26:188-194.
144. Wenzel A and Verdonschot EH (1994) Some considerations in the evaluation of diagnostic tests in dentistry. *Dentomaxillofac Radiology* 23:179-182.

145. Wenzel A, Larsen MJ and Fejerskov O (1991a) Detection of occlusal caries without cavitation by visual inspection, film radiographs, xeroradiographs, and digitized radiographs. *Caries Res* 25:365-371.
146. Wenzel A, Hintze H, Mikkelsen L and Mouyen F (1991b) Radiographic detection of occlusal caries in noncavitated teeth. A comparison of conventional film radiographs, digitized film radiographs, and RadioVisioGraphy. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 72:621-626.
147. Wenzel A, Verdonschot EH, Truin GJ, König KG (1992) Accuracy of visual inspection, fiber-optic transillumination, and various radiographic image modalities for the detection of occlusal caries in extracted non-cavitated teeth. *J Dent Res* 71:1934-1937.
148. Wenzel A, Fejerskov O, Kidd EAM, Joyston-Bechal S and Groeneveld A (1990) Depth of occlusal caries assessed clinically, by conventional film radiographs, and by digitized, processed radiographs. *Caries Res* 24:327-333.
149. White GE, Tsamtsouris A and Williams DL (1978) Early detection of occlusal caries by measuring the electrical resistance of the tooth. *J Dent Res* 57:195-200.
150. White GE, Tsamtsouris A and Williams DL (1981) a longitudinal study of electronic detection of occlusal caries. *J Pedod* 5:91-101.
151. WHO-Bibliothek: Ziele zur "Gesundheit für alle". Die Gesundheitspolitik für Europa. Europäische Schriftenreihe "Gesundheit für alle" Nr. 4, (1993).
152. Yassin OM (1995) In vitro studies of the effect of a dental explorer on the formation of an artificial carious lesion. *J Dent Child* 62:111-117.

9 Bisherige Publikationen

1. M. Tabatabaie, J. Kühnisch, R. Heinrich-Weltzien, G. Viergutz, S. Zraiki, G. Hetzer, L. Stösser: Zur Untersucher-Variabilität der elektrischen Widerstandsmessung. 9. Jahrestagung der Gesellschaft für Kinderzahnheilkunde und Primärprophylaxe (GKP) in der Deutschen Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde, Stuttgart, 27.09.-28.09.2002.

10 Lebenslauf

Name: Tabatabaie Madani
 Vorname: Seyed Mohammad
 Anschrift: Merowinger Straße 7
 40233 Düsseldorf
 Geburtsdatum: 03.12.1972
 Geburtsort: Teheran/Iran
 Familienstand: ledig
 Staatsangehörigkeit: deutsch

Schulausbildung

1979-1984 Grundschole in Teheran
 1984-1986 Gymnasium in Teheran
 1986-1990 Förderhauptschole Jugenddorf-Christophorusschole
 Vermold (NRW)
 1990-1993 Gymnasium Jugenddorf-Christophorusschole Vermold
Abschluss: Abitur

Studium

1993-1995 Studium der Betriebswirtschaftslehre an der
 Gesamthochschule Essen
 1995-2000 Studium der Zahnheilkunde an der Justus-Liebig-
 Universität Gießen,
Abschluss: Staatsexamen/ Approbation als Zahnarzt

Berufstätigkeit

01/2001-02/2001 Praktikum in der zahnärztlichen Praxis von Dr. Torbati, in
 Teheran
 04/2001-09/2002 Tätigkeit als Assistenz Zahnarzt in der zahnärztlichen Praxis
 von Frau Dr. Schulz in Angelburg (Hessen)
 seit 09/2002 Tätigkeit als Assistenz Zahnarzt in der zahnärztlichen Praxis
 von Herrn Dr. Glindemann (Zahnklinik Medeco) in
 Düsseldorf

Düsseldorf, den 19. Mai 2003

Seyed Mohammad Tabatabaie Madani

11 Ehrenwörtliche Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass mir die Promotionsordnung der Medizinischen Fakultät der Friedrich-Schiller-Universität bekannt ist,

ich die Dissertation selbst angefertigt habe und alle von mir benutzten Hilfsmittel, persönlichen Mitteilungen und Quellen in meiner Arbeit angegeben sind.

Bei der Auswahl und Auswertung des Materials und der Daten sowie bei der Herstellung des Manuskriptes unterstützen mich Herr Dr. Hollenhorst und Frau Prof. Dr. Roswitha Heinrich-Weltzien.

Die Hilfe eines Promotionsberaters habe ich nicht in Anspruch genommen. Dritte haben weder unmittelbar noch mittelbar geldwerte Leistungen von mir für Arbeiten erhalten, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen.

Ich erkläre ebenso, dass ich die Dissertation noch nicht als Prüfungsarbeit für eine staatliche oder andere wissenschaftliche Prüfung eingereicht habe und dass ich die gleiche, eine in wesentlichen Teilen ähnliche oder eine andere Abhandlung nicht bei einer anderen Hochschule als Dissertation eingereicht habe.

Düsseldorf, den 19. Mai 2003

Seyed Mohammad Tabatabaie Madani

12 Danksagung

Mein herzlicher Dank gilt insbesondere Frau Professor Roswitha Heinrich-Weltzien, Poliklinik für Präventive Zahnheilkunde am Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde des Klinikums der Friedrich-Schiller-Universität Jena für die Überlassung des Themas sowie die freundliche und kompetente Unterstützung einschließlich der mir immer gewährten wissenschaftlichen Diskussion.

Für die wissenschaftliche Begleitung meiner experimentellen Arbeiten danke ich Herrn Dr. Jan Kühnisch ebenso wie für die stetigen Hilfestellungen bei der Abfassung meiner Dissertationsschrift.

Herrn Professor Dr. Dr. Lutz Stößer, Direktor der Poliklinik für Präventive Zahnheilkunde am Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde des Klinikums der Friedrich-Schiller-Universität Jena, danke ich für die mir gewährte Hospitation als auch die Nutzungsmöglichkeit aller notwendiger Forschungsmaterialien an der Poliklinik.

Für die Mithilfe bei der Datenanalyse sowie der statistischen Prüfung der Ergebnisse bedanke ich mich bei Herrn Dr. Hollenhorst (Justus-Liebig-Universität Gießen).

Weiterhin bedanke ich mich bei Frau Prof. Gisela Hetzer und Frau Dr. Gabriele Viergutz (Universitätsklinikum Carl-Gustav-Carus der TU Dresden) für die Bereitstellung des ECM- und CRM-Gerätes als auch die wohlwollende Unterstützung der vorliegenden Untersuchung.

Herrn Prof. Gente (Philipps-Universität Marburg) danke ich für die theoretische und praktische Einführung in das Messprinzip des CRM-Gerätes.

Darüber hinaus bin ich allen Zahnärzten und Studenten zu Dank verpflichtet, welche durch Ihre Mitarbeit zum Gelingen der vorliegenden Arbeit beigetragen haben.