

**Aus dem Medizinischen Zentrum für Zahn-, Mund- und
Kieferheilkunde**

(Geschäftsführender Direktor: Prof. Dr. Dr. A. Neff)

des Fachbereichs Medizin der Philipps-Universität Marburg
in Zusammenarbeit mit dem Universitätsklinikum Gießen und Marburg GmbH
Standort Marburg

**Korrelation des visuellen Diagnosesystems ICDAS-II für die
okklusale Karies mit drei verschiedenen Verfahren der
Fluoreszenzmessung – eine In-vitro-Studie**

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades der Zahnmedizin

dem Fachbereich Medizin
der Philipps-Universität Marburg
vorgelegt

von
Simon Martin Rosen
aus Wabrzezno

Marburg, 2010

Angenommen vom Fachbereich Medizin der Philipps-Universität

Marburg am: 14.09.2010

Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereichs.

Dekan: Prof. Dr. M. Rothmund

Referent: PD Dr. A. Jablonski-Momeni

Korreferent: Prof. Dr. R. Frankenberger

Meinen Eltern gewidmet

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	1
2 Literaturübersicht	2
2.1 Ätiologie der Zahnkaries	2
2.1.1 Schmelzkaries	4
2.1.2 Dentinkaries	5
2.1.3 Entstehung der Okklusalkaries	6
2.2 Epidemiologie der Okklusalkaries	6
2.3 Verfahren zur Diagnose der Okklusalkaries	8
2.3.1 Visuelle und taktile Kariesdiagnostik	8
2.3.2 Kariesdiagnostik mittels Fluoreszenz	13
2.3.2.1 Physikalische Grundlagen der Fluoreszenz	13
2.3.2.2 Porphyrine	16
2.3.2.3 Quantitative lichtinduzierte Fluoreszenz	17
2.3.2.4 Laserfluoreszenzmessungen mittels Diagnodent	19
2.3.2.5 Laserfluoreszenzmessungen mittels Diagnodent Pen	22
2.3.2.6 Intraorale Fluoreszenzkamera VistaProof	23
2.3.3 Faseroptische Transillumination	25
2.3.4 Messung des elektrischen Widerstandes	26
2.3.5 Röntgenografische Kariesdiagnose	27
2.3.6 Histologische Untersuchung von Zahnhartschnitten	28
3 Zielsetzung und Fragestellung	30
4 Material und Methode	32
4.1 Versuchsdesign	32
4.2 Material	33
4.2.1 Auswahl und Vorbereitung des Untersuchungsmaterials	33
4.2.2 Kodierung der Prü fzähne	34
4.2.3 Auswahl der Messpunkte	34
4.3 Methode	34
4.3.1 Untersucher	34
4.3.2 Visuelle Untersuchung	35

4.3.3 Laserfluoreszenzmessungen mit Diagnodent und Diagnodent Pen	37
4.3.4 Fluoreszenzmessung mit VistaProof	40
4.3.5 Radiologische Untersuchung	43
4.3.5.1 Digitale Röntgenaufnahmen	43
4.3.5.2 Befundung	44
4.3.6. Statistische Auswertung	44
5 Ergebnisse	47
5.1 Reproduzierbarkeit des visuellen Kariesdiagnosesystems	47
5.2 Reproduzierbarkeit der Fluoreszenzmessungen	47
5.1.2 Bland-Altman-Plots zur Bestimmung der Intra-Untersucher- Reproduzierbarkeit	48
5.3 Korrelation zwischen den einzelnen Fluoreszenzverfahren	50
5.4 Korrelation zwischen den verschiedenen Kariesdiagnoseverfahren und den röntgenologischen Befunden für die Versuchsreihen der Untersucher A und B	51
5.5 Kreuztabellierung der Diagnosen für die einzelnen Kariesdiagnose- verfahren	53
6 Diskussion	60
6.1 Diskussion der Problemstellung	60
6.2 Diskussion von Material und Methode	61
6.2.1 Auswahl und Lagerung der Zähne	61
6.2.2 Visuelle Untersuchung	62
6.2.3 Laserfluoreszenzmessung mit Diagnodent und Diagnodent Pen	63
6.2.4 Fluoreszenzmessung mit Fluoreszenzkamera VistaProof	66
6.2.5 Radiologische Auswertung	67
6.2.6 Studiendesign	69
6.3 Diskussion der Ergebnisse	70
6.3.1 Reproduzierbarkeit des visuellen Kariesdiagnosesystems ICDAS-II	70
6.3.2 Reproduzierbarkeit der Fluoreszenzmessungen	72
6.3.3 Korrelation zwischen den verschiedenen Kariesdiagnoseverfahren und den röntgenologischen Befunden für die Versuchsreihen der Untersucher A und B	76

6.3.4 Kreuztabellierung der Ergebnisse für die Kariesdiagnoseverfahren	78
6.4 Schlussfolgerung	80
6.5 Klinische Relevanz	81
7 Zusammenfassung	83
7.1 Zusammenfassung	83
7.2 Zusammenfassung englisch	87
7.3 Zusammenfassung für die Marburger Bibliographie	89
8 Literaturverzeichnis	91
9 Anhang	105
10 Abkürzungsverzeichnis	110
11 Materialliste	112
12 Verzeichnis akademischer Lehrer	114
13 Danksagung	115

1 Einleitung

Die moderne Zahnmedizin bietet eine Vielzahl an Therapiemöglichkeiten von kariösen Zähnen. Ideal ist die Anwendung von präventiven oder minimalinvasiven Verfahren, um die Zahnhartsubstanzen so weit wie möglich zu erhalten. Dies setzt voraus, dass ein Zahnarzt kariöse Läsionen möglichst früh diagnostizieren kann.

Nach Definition der WHO [1997] liegt eine behandlungsbedürftige Karies (D3-Niveau) dann vor, wenn freiliegendes Dentin sichtbar oder unterminierter Schmelz mit erweichten Schmelzrändern tastbar ist. Die Formen der Karies, bei denen Dentin großflächig freiliegt und die große Kavitationen aufweisen, sind allerdings rückläufig. Zur Erfassung der Initialläsionen werden differenziertere Indizes benötigt. Nur so kann eine valide Basis für ein Karies-Management geschaffen werden, das bereits auf die Remineralisierung von Schmelzläsionen abzielt.

Die Früherkennung der Karies stellt hohe Ansprüche an den Behandler. Die grundlegende Untersuchung der Zähne findet beim Zahnarzt visuell unter Zuhilfenahme einer Lichtquelle, eines Spiegels und einer Multifunktionsspritze (Püster) statt. Dem Zahnarzt steht aber noch eine Vielzahl an weiteren Methoden zur Verfügung, die ihm die Erkennung der Karies erleichtern sollen. Versteckte, mit dem Auge nicht sichtbare Läsionen lassen sich z. B. durch die Laserfluoreszenzmessung diagnostizieren. Auch ist es möglich, Röntgenaufnahmen der zu untersuchenden Zähne anzufertigen, die dann ausgewertet werden können. Die Faseroptische Transillumination ermöglicht das Durchstrahlen der Zähne mit gebündeltem Licht, wobei kariöse Bereiche als dunkler Fleck erscheinen. Die folgende Literaturübersicht stellt gängige Methoden zur Diagnose der okklusalen Karies vor.

2 Literaturübersicht

2.1 Ätiologie der Zahnkaries

Die Zahnkaries ist eine multikausale Erkrankung, die die Zerstörung der Zahnhartsubstanzen zur Folge hat. *Miller* stellte bereits im Jahre 1892 die Theorie auf, dass Karies ein chemisch parasitärer Prozess ist. Er ging von kariogenen Mikroorganismen aus, die die in der Zahnplaque enthaltenen niedermolekularen Kohlenhydrate enzymatisch abbauen und dabei organische Säuren produzieren, welche die Zahnhartsubstanzen demineralisieren [Miller 1892]. Ergänzend erkannte *Keyes* [1962], dass drei ursächliche, obligate Komponenten der Karies zugrunde liegen: Zähne als Wirt, Mikroorganismen und Substrat. Diesen Komponenten reihte *König* [1971] den Faktor Zeit ein, in der die Säuren auf den Zahn einwirken. So lässt sich die Ätiologie der Zahnkaries vereinfacht als vier ineinander greifende Kreise darstellen (Abb. 2.1). Damit eine kariöse Läsion entsteht, ist das Vorhandensein aller vier Faktoren notwendig. Neben den Primärfaktoren spielen zusätzlich sekundäre Einflüsse wie die Eigenschaften des Speichels (Speichelfluss, Speichelzusammensetzung, pH-Wert, Pufferkapazität), die Dauer und Häufigkeit der Substratzufuhr, Zahnfehlstellungen, die Immunabwehr sowie sozioökonomische Komponenten eine Rolle [Hellwig et al. 2009].

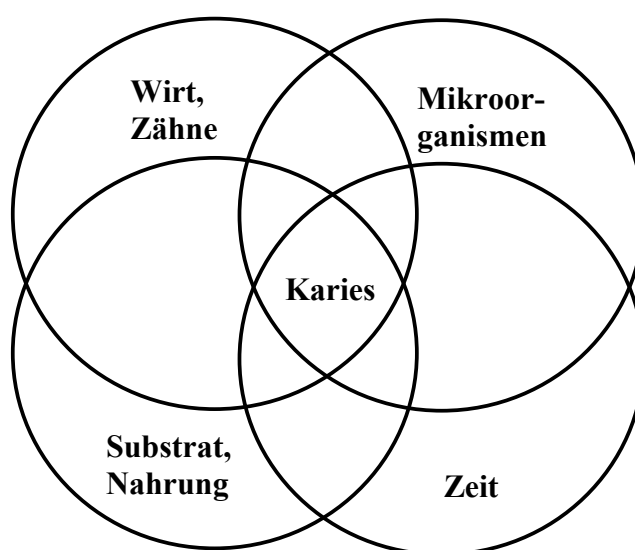


Abb. 2.1: Kariesschema nach *König* [1971]

Die Beteiligung von Mikroorganismen bei der Kariesentstehung ist heute unbestritten. *Black* [1914] stellte fest, dass nicht die frei in der Mundhöhle vorhandenen Bakterien für die Kariesentstehung verantwortlich sind, sondern ihre Anheftung über klebrige Beläge an der Zahnoberfläche als Voraussetzung für die Kariesentstehung zu sehen ist. Die Zahnplaque ist ein strukturierter, zäher Zahnbelag, der aus Speichelbestandteilen, bakteriellen Stoffwechselprodukten, Nahrungsresten und Bakterienzellen besteht und der durch die Selbstreinigungskräfte der Mundhöhle nicht zu entfernen ist. Die in ihm vorhandenen Mikroorganismen metabolisieren die mit der Nahrung aufgenommenen niedermolekularen Zucker, insbesondere Saccharose. Vor allem Mutans-Streptokokken und Laktobazillen, die als spezifisch kariogene Mikroorganismen gelten, produzieren als Nebenprodukt organische Säuren wie Lactat und Pyruvat. Dabei kommt es zum Abfall des pH-Wertes in lokalisierten Bereichen der Plaque und zum Herauslösen von Kalzium- und Phosphationen aus dem kristallinen Gefüge (Hydroxylapatit, Kalziumkarbonat) des Schmelzes. Die Ionen diffundieren entsprechend ihrem Konzentrationsgradienten zur Schmelzoberfläche und in die Plaque (Demineralisation). Die innerhalb der Plaque befindlichen Säuren können aber vom Speichel verdünnt und neutralisiert werden. So kehrt der pH-Wert in einen neutralen Bereich zurück, bei dem die Plaqueschicht mit Kalzium- und Phosphationen übersättigt ist, so dass eine Rückdiffusion der Ionen in den Schmelz stattfinden kann (Remineralisation) [Schroeder 1997].

Die Oberfläche des Zahnschmelzes ist also einem ständigen Wechsel zwischen kristalliner und flüssiger Phase unterworfen, woraus sich ergibt, dass Karies als ein dynamischer Prozess verstanden wird, der auch als Ionenwippe bezeichnet wird [Levine 1977]. Wenn über einen bestimmten Zeitraum mehr Ionen den Schmelz verlassen als aufgenommen werden, kommt es zu einer Netto-Demineralisation, die zunächst zu mikroskopisch sichtbaren und in späteren Stadien auch zu klinisch feststellbaren Zahnhartsubstanzdefekten führt.

So durchlaufen die Zahnhartsubstanzen kontinuierliche Demineralisationszyklen, wenn der pH-Wert unterhalb der kritischen Grenze liegt, gefolgt von Reparaturphasen, wenn die Bedingungen eine Remineralisierung unterstützen. Der Nettomineralverlust bestimmt letztendlich, ob Kariesläsionen voranschreiten [Stephan 1944].

2.1.1 Schmelzkaries

Sobald der pH-Wert unter den für den Zahnschmelz kritischen Bereich von 5,7 fällt, werden Phosphat- und Kalziumionen aus dem Gefüge der Schmelzkristalle herausgelöst und wandern in die Plaque. Die Demineralisation des Schmelzes hält an, solange genügend Säuren produziert werden und der Speichel als Puffermedium durch die Plaque abgehalten wird. Klinisch äußert sich das, nach Entfernung der Zahnplaque, oft in einer weißlichen, opaken Veränderung der Schmelzoberfläche, auch als „white spot“ bezeichnet. In Untersuchungen mit Dünnschliffen von Zahnschmelz, die initiale Läsionen aufwiesen und lichtmikroskopisch oder polarisationsmikroskopisch betrachtet wurden, werden meist vier verschiedene Zonen unterschieden [Schröder 1997]:

1. Pseudointakte Oberflächenschicht mit weniger als 5 % Porenvolumen, Mineralisationsverlust 1 – 10 %.
2. Läsionszentrum mit 5 – 25 % Porenvolumen, Zone des größten Mineralverlustes, für Speichel und Proteine permeabel.
3. Dunkle Zone mit 2 – 4 % Porenvolumen.
4. Transluzente Zone mit 1 % Porenvolumen.

Eine solche Läsion beginnt mit dem Herauslösen des weniger resistenten interprismatischen Schmelzes durch organische Säuren. Der Konzentrationsgradient bewirkt, dass die Säuren tiefer in die wässrige Hülle um die Apatitkristalle diffundieren können. Hier kommt es zu einem weiteren Herauslösen von Kalzium-, Hydroxyl-, Phosphat-, Karbonium-, Fluor- und anderen Ionen, die auch entsprechend dem Konzentrationsgradienten durch die erweiterten Poren zur Oberfläche gelangen [Hellwig et al. 2009]. In diesem frühen Stadium ist noch immer die Rückbildung einer aktiven in eine inaktive Läsion durch entsprechende Maßnahmen möglich. Allerdings kann der verlorene Zahnschmelz nicht in seiner ursprünglichen Form wiederhergestellt werden. Außerdem kommt es durch Chromophore aus Tabak, Tee, Kaffee und Bakterienbestandteilen, die sich im Läsionszentrum einlagern, zu bräunlichen Verfärbungen des remineralisierten Schmelzes. Die ruhende Läsion zeigt sich klinisch glänzend und weist histologisch ein remineralisiertes Läsionszentrum auf. Durch Ausbleiben von Prophylaxemaßnahmen und fortschreitende Demineralisierung kommt es zu einer Dentinkaries [Silverstone 1973].

2.1.2 Dentinkaries

Für das Dentin liegt der kritische pH-Wert schon zwischen 6,2 und 6,7. Erreicht die kariöse Läsion die Schmelz-Dentin-Grenze, breitet sie sich dort unterminierend, entlang dieser Grenze, aus. Über die Dentinkanälchen schreitet die Karies Richtung Pulpa voran. Das Dentin weist eine erhöhte Permeabilität für die eindringenden Bakterien und ihre Toxine auf. Hieraus ergibt sich die kegelförmige Gestalt des Läsionskörpers. Der Aufbau des Dentins unterscheidet sich vom Aufbau des Schmelzes und ist im Gegensatz zu diesem ein vitales Gewebe, das durch Odontoblasten innerviert wird. Auch nach dem Durchbruch der Zähne in die Mundhöhle kann das ganze Leben lang Dentin gebildet werden. Beim Eindringen von Bakterien ins Dentin reagieren Odontoblasten gemeinsam mit der Pulpa aktiv mit Abwehrreaktionen. Die Odontoblasten sind in der Lage, bei Einwirkung von äußeren Reizen an der Pulpa-Dentin-Grenze Tertiärdentin zu bilden. Auch kommt es durch Zurückweichen bzw. Mineralisation der Odontoblastenfortsätze und durch peritubuläre Dentinablagerungen zur tubulären Sklerose. Die Zoneneinteilung der Dentinkaries von der Pulpa in Richtung der Peripherie wird wie folgt beschrieben [Schroeder 1997]:

1. Tertiärdentin.
2. Reguläres Dentin.
3. Sklerotisches Dentin.
4. Dead Tract. In diesem Bereich sind keine Odontoblastenfortsätze mehr vorhanden.
5. Zone der Demineralisation, in die Säuren, aber noch keine Bakterien vorgedrungen sind.

Bei fortgeschrittenen Läsionen kommen folgende Zonen zu den genannten hinzu:

6. Zone der Penetration, in die Bakterien eingedrungen sind.
7. Zone der Nekrose, die klinisch sichtbar erweicht ist.

Das klinische Bild einer akuten, schnell fortschreitenden Karies weist im Vergleich zu einer chronischen Läsion eine hellere, gelbbraune und weiche Oberfläche auf. Sklerose und Tertiärdentinbildung sind bei schnellerem Verlauf weniger stark ausgeprägt [Hellwig et al. 2009].

2.1.3 Entstehung der Okklusalkaries

Die Fissuren und Grübchen der Okklusalflächen von Zähnen zählen, neben den Ap- proximalräumen und dem Zahnhalsbereich, zu den Prädilektionsstellen für die Kari- esentstehung. Diese Bereiche sind der natürlichen Selbstreinigung durch Zunge, Wange und Speichel nur schwer oder überhaupt nicht zugänglich [Lehmann und Hellwig 1998]. Eine weitere Ursache für die verstärkte Anfälligkeit von Fissuren und Grübchen ist der fehlende Antagonistenkontakt bei frisch durchgetretenen Zähnen, was eine signifikant erhöhte Plaqueakkumulation zur Folge hat. Da diese Bereiche der Zähne nicht an der Zerkleinerung der Nahrung durch Kauen beteiligt sind, findet auch hier keine Selbstreinigung statt [Carvalho et al. 1989]. Der erschwerte Zugang zur Okklusalfläche im Durchbruch befindlicher Zähne für die Zahnreinigung sowie die Morphologie von Fissuren an sich machen diese Bereiche anfälliger für kariöse Läsionen. Weiterhin sind Zähne, die sich im Durchbruch befinden, anfälliger für Ka- ries, da sie noch keine Re- und Demineralisationszyklen durchlaufen haben. Dieser in den Jahren nach dem Zahndurchbruch stattfindende Prozess wird als posteruptive Schmelzreifung bezeichnet und führt zu einer verringerten Kariesanfälligkeit von so- genanntem gereiften Schmelz [Lussi et al. 1995].

An den Okklusalflächen der Grübchen und Fissuren wurde die stärkste Assoziation zwischen Mutans-Streptokokken und der Zerstörung von Zahnhartsubstanz gefunden [Marsh und Martin 2003]. Zu dieser Gruppe zählen auch die zwei azidogenen und säuretoleranten Bakterien *Streptokokkus mutans* und *Streptokokkus sobrinus*, die vor allem für die Kariesentstehung verantwortlich gemacht werden, wobei der erstge- nannte aufgrund seiner Stoffwechsellistung eine herausragende Rolle spielt [Einwag und Pieper 1997, Straetemans et al. 1998]. Ebenfalls zu dieser Gruppe gehören *Streptokokkus cricetus* und *rattus*. Im weiteren Verlauf sind sowohl Laktobazillen als auch Aktinomyzeten von Bedeutung [Hellwig et al. 2009]. Hieraus ergibt sich eine erhöhte Gefahr der bakteriellen Besiedlung und Zerstörung der Zahnhartsubstanzen der okklusalen Flächen von Zähnen, die den Zahnarzt für diese Bereiche besonders aufmerksam machen sollten.

2.2 Epidemiologie der Okklusalkaries

Es ist bekannt und allgemein anerkannt, dass mit dem Anstieg des Zuckerkonsums, in Form zuckerhaltiger Nahrungsmittel, in den Industrienationen auch das Auftreten der Karies in den letzten Jahrhunderten enorm zugenommen hat [Nikiforuk 1985].

Seit den 70er Jahren des 20. Jahrhunderts ist es allerdings in vielen westeuropäischen Ländern gelungen, die Kariesprävalenz durch Maßnahmen der Gruppenprophylaxe bei Kindern und Jugendlichen um ca. 80 % zu senken [Marthaler 1990, Schmelzer 2000]. Zu diesen Maßnahmen sind die Untersuchung der Mundhöhle, Erhebung des Zahnstatus, Zahnschmelzhärtung durch regelmäßige lokale Fluoridierung, Fissurenversiegelung, Ernährungsberatung und Mundhygieneinstruktionen zu zählen. Auch deutschlandweit zeigt sich dieser Trend bei Kindern, Jugendlichen und Erwachsenen [Pieper 1996, Pieper 1998, Pieper 2001, Pieper 2005, Micheelis und Schiffner 2006]. Ebenso lässt sich dieser Trend auch in regionalen Studien belegen [Momeni et al. 2002, Momeni et al. 2005, Jablonski-Momeni et al. 2007]. Hierin wird auch deutlich, welcher Verständniswandel sich in dieser Zeit in der Zahnmedizin vollzogen hat, weg von dem restaurativen, hin zum präventiven Ansatz und zur Vorbeugung der Mund-, Kiefer- und Zahnkrankheiten. Der positiven Entwicklung des Kariesrückgangs steht aber die Schieflage der Kariesprävalenz entgegen. Einer großen Gruppe von Kindern ohne Karieserfahrung steht eine kleine Gruppe von Kindern mit großer Kariesbeteiligung gegenüber. So vereinen 10,2 % der 12-Jährigen 61,1 % aller kariös erkrankten Zähne auf sich [Micheelis und Schiffner 2006]. Studien belegen, dass bei der Gruppe von Kindern mit großer Kariesprävalenz sozioökonomische Einflussfaktoren eine wichtige Rolle spielen. Trotz der Polarisierung der Karies profitieren aber alle Kinder gleichermaßen von den Präventionsmaßnahmen [Pieper 2005, Micheelis und Schiffner 2006, Knopf et al. 2008]. Es wird aber auch deutlich, dass der Kariesrückgang nicht alle Zahnflächen gleichermaßen betrifft. So konzentriert sich der Kariesbefall im bleibenden Gebiss hauptsächlich auf die Okklusalfächen der ersten und zweiten Molaren [Schiffner und Reich 1999, Hannigan et al. 2000]. Auch kommt es im Zuge der rückläufigen Entwicklung der Kariesprävalenz zu einer Änderung des klinischen Erscheinungsbildes der Karies. Dem Zahnarzt zeigt sich immer seltener das Bild großflächiger, kavitierender Läsionen. Die Karies tritt häufiger in Form subtiler, teilweise schwer zu diagnostizierender Läsionen auf. Für diese Art der Karies wurden viele Synonyme geschaffen: „hidden caries“, „covert caries“, „fluorid syndrom“ oder „occult caries“ [Lavin 1983, Page 1986, Weerheijm et al. 1997]. Unter der hidden caries versteht man eine Dentinkaries, die bei der alleinigen klinischen Untersuchung nicht diagnostizierbar ist, während auf der Röntgenaufnahme eine deutlich umschriebene Radioluzenz unterhalb einer intakten okklusalen Schmelzschicht sichtbar ist. Der kariöse Prozess kann sich dabei über eine lange Zeit unter ei-

ner klinisch intakt erscheinenden Schmelzschicht vollziehen, wodurch selbst ausgeprägte Dentinläsionen maskiert werden können. Erst beim Einbruch der unterminierten Schmelzschicht wird das ganze Ausmaß der Karies klinisch sichtbar. Als Ursache wird der starke Anstieg der lokalen Anwendung von Fluoriden mit remineralisierender Wirkung gesehen [Lussi 1993]. Diese Entwicklungen stellen an den Zahnarzt und an die Methoden zur Karieserkennung neue Anforderungen. Der Zahnarzt sieht sich nun nicht mehr nur der Versorgung großflächiger Kavitäten gegenübergestellt, sondern auch dem Herausfiltern jener Patienten, die einen großen Teil des kariösen Risikos auf sich vereinen, dem verstärkten Einsatz prophylaktischer Maßnahmen und dem Auffinden der subtilen, versteckten kariösen Läsionen.

2.3 Verfahren zur Diagnose der Okklusalkaries

Ziel und alltägliche Aufgabe des Zahnarztes ist es, kariöse Läsionen so früh wie möglich zu erkennen und zu beurteilen, um rechtzeitig eine therapeutische Entscheidung treffen zu können. Gerade im Fissurenbereich der Okklusalfächen ist eine adäquate Kariesdiagnose notwendig, da sich der Kariesbefall verstärkt auf diese Flächen konzentriert (Kap. 2.2). Allerdings bereitet die Diagnose der okklusalen Karies dem Untersucher auch hinsichtlich der Einschätzung der Läsionsprogression Probleme [Pine und ten Bosch 1996, Weerheijm et al. 1997]. Zur Befundung und zur Diagnose der Karies stehen dem Zahnarzt eine Vielzahl an verschiedenen Hilfsmitteln zur Verfügung, die sich in ständiger Weiterentwicklung befinden. In den nachfolgenden Kapiteln werden die gängigsten Verfahren zur Kariesdiagnose in der Reihenfolge von nichtinvasiven zu invasiven Methoden besprochen.

2.3.1 Visuelle und taktile Kariesdiagnostik

Die traditionellen Instrumentarien zur Erkennung von Karies an Zähnen und zur Unterstützung des bloßen Auges sind die zahnärztliche Sonde, der Spiegel und eine ausreichende Lichtquelle. Schon die Gründerväter der Zahnmedizin *Pierre Fauchard* [1728], *Garengout* [1729] und ebenso *Philipp Pfaff* [1756] bedienten sich der zahnärztlichen Sonde zur Untersuchung der Zähne. Seit *Black* [1914] wurde Karies in den Lehrbüchern der Konservierenden Zahnheilkunde durch das „Hängenbleiben einer mit einem mäßigen Druck in die Fissur eingeführten, spitz auslaufenden Sonde, die nur unter Zuganwendung wieder entfernt werden kann“ definiert. Lange Zeit galt noch das „Kleben“ einer mit mäßigem Druck in die Fissur eingeführten Sonde als si-

cheres Zeichen für eine kariöse Läsion [Lussi 1993]. Allerdings weisen solche Befunde nicht eindeutig auf Karies hin, da sie nicht allein durch kariöse Läsionen hervorgerufen werden [Miller und Hobson 1956]. Untersuchungen von *Penning et al.* [1992] zeigten, dass nur 24 % der untersuchten kariösen Zähne durch dieses Kriterium diagnostiziert werden konnten.

Auch heute noch steht für die klinische Erstuntersuchung beim Zahnarzt die visuelle Befundung im Vordergrund. Doch der Einsatz der zahnärztlichen Sonde gerät zunehmend in Kritik. Immer mehr Autoren kommen zu dem Schluss, dass der Gebrauch der zahnärztlichen Sonde nicht mehr indiziert ist. Gründe dafür sind die unzulängliche Diagnosegenauigkeit der Sondierung [Parfitt 1954, Penning 1992], die Auslösung iatrogenen Sondierungsdefekte sowie die Begünstigung der kariösen Progression durch Zerstörung der intakten Schmelzoberfläche an initial kariösen Läsionen [Yassin 1995]. Ebenso wird eine mögliche Keimtransmission von einer Fissur zur anderen diskutiert [Loesche et al. 1979].

Nach *Lussi* [1998] führt der zusätzliche Gebrauch einer zahnärztlichen Sonde zu keinerlei diagnostischem Gewinn bzw. zu keiner Verbesserung im Vergleich zur alleinigen visuellen Befundung. *Pitts* [2001] sieht die taktile Untersuchung mit der spitzen zahnärztlichen Sonde heute als nicht mehr akzeptables Diagnostikverfahren. Von der Weltgesundheitsorganisation (WHO) wird für den Einsatz zur taktilen Kariesdiagnostik eine abgerundete CPI- bzw. eine Parodontalsonde empfohlen [WHO 1997]. Mit der stumpfen Sonde kann die Zahnoberfläche drucklos abgetastet werden, um über ihre Oberflächenbeschaffenheit Informationen einzuholen. Der Lufttrocknung der Zahnoberfläche wird bei der Diagnostik von okklusalen Läsionen immer größere Bedeutung beigemessen [Ismail 1997]. Initialläsionen weisen in der Regel eine erodierte Oberflächenstruktur und eine gewisse Porosität des Schmelzes auf. Sie enthalten Wasser, welches durch die Lufttrocknung mit einer Multifunktionsspritze (Püster) entfernt wird und die Läsion aufgrund des unterschiedlichen Brechungsindex als kreidige Läsion sichtbar werden lässt [Thylstrup und Fejerskov 1994]. So weist gesunder Schmelz einen Brechungsindex von 1,62 auf. Nicht getrockneter demineralisierter Schmelz zeigt einen Brechungsindex von 1,33, nach intensiver Lufttrocknung verringert sich dieser aber auf 1,0. Die Lufttrocknung führt dazu, dass die opaken Flecken an den Okklusalfächen deutlich besser sichtbar werden.

Tab. 2.1: Übersicht der verschiedenen Diagnosekriterien für die okklusale Karies

Autor	Einteilung und Beschreibung der Kriterien
Parfitt [1954]	Grad 1 = leichte Verfärbung mit Verlust des Schmelzglanzes Grad 2 = raue Schmelzoberfläche mit Grübchenbildung, mit Sonde tastbar Grad 3 = weiterer Schmelzverlust mit Kavitätenbildung bis zum Dentin Grad 4 = Dentinverlust und Kavitätenbildung
Backer-Dirks et al. [1961]	I = schmale, dunkle Linie im Fissurengrund II = zusätzlich weiße Zone am Rande der Fissuren III = kleinste Unterbrechung in der Schmelzstruktur mit oder ohne Untermi- nierung IV = Kavität mit über 3 mm Ausdehnung
McHugh et al. [1964]	Score 1 = klebende Sonde Score 2 = Fissur oder Kavität mit weichem Boden und Verfärbung oder Opazität des Schmelzes Score 3 = Kavität mit offensichtlicher Dentinbeteiligung Score 4 = Kavität mit offensichtlicher Pulpabeteiligung
Marthaler [1966]	Einsatz der Sonde nur im Zweifelsfall indiziert. Grad 1 = leicht bräunliche schmale Linie oder white spot mit harter Oberflä- che, nicht größer als 2 mm Grad 2 = deutliche bräunliche oder schwarze Linie oder white spot, größer als 2 mm Grad 3 = Diskontinuität der Schmelzoberfläche bzw. Kavitätenbildung Grad 4 = Kavitätenbildung mit einer Ausdehnung größer als 2 mm
Radike [1968]	1 = klebende Sonde bei moderatem Druck und folgenden Begleitumstän- den: Weicher Untergrund und/oder Opazität am Rande der Fissuren und/oder er- weichter Schmelz an den Fissuren, der mit der Sonde entfernbar ist 2 = Verlust der Schmelztransluzenz an Fissuren und Grübchenrand. Ist der Schmelzverlauf unterbrochen und der Untergrund weich oder eine Schatten- bildung sichtbar, so kann es sich um eine versteckte Dentinläsion handeln.
Ekstrand et al. [1998]	0 = keine oder geringfügige Veränderung in der Schmelztransluzenz nach ausgiebiger Lufttrocknung 1 = Opazität (weiß) im Schmelz, nur erkennbar nach ausgiebiger Lufttrock- nung 1a = Opazität (braun) im Schmelz, nur erkennbar nach ausgiebiger Luft- trocknung 2 = Opazität (weiß), erkennbar bereits am feuchten Zahn 2a = Opazität (braun), erkennbar bereits am feuchten Zahn 3 = lokalisierter Schmelzeinbruch in opakem oder verfärbtem Schmelz und/oder gräuliche, vom Dentin ausgehende Verfärbung 4 = Kavitation mit Dentinbeteiligung

Nyvad et al. [1999]	Berücksichtigung der Aktivität einer Läsion: 1 = Aktive Karies, die Fissurenmorphologie ist intakt, die Fissurenwände sind verändert, Schmelzoberfläche ist weißlich-gelb opak, matt und rau und ist mit Plaque bedeckt 2 = Aktive Karies mit Unterbrechung in der Schmelzstruktur, sonst wie in 1 3 = Aktive Karies, offensichtliche Schmelz-Dentin-Beteiligung mit Kavitätenbildung, die Oberfläche der Kavität ist weich oder ledrig. Mit oder ohne Pulpabeteiligung 4 = Inaktive Karies, die Fissurenmorphologie ist intakt, die Fissurenwände sind verändert, Schmelzoberfläche ist weißlich, bräunlich oder schwarz. Der Schmelz ist glänzend und hart 5 = Inaktive Karies mit Unterbrechung in der Schmelzstruktur, sonst wie in 4 6 = Inaktive Karies, offensichtliche Schmelz-Dentin-Beteiligung mit Kavitätenbildung, die Oberfläche der Kavität ist glänzend und hart, keine Pulpabeteiligung
Fyffe et al. [2000]	Dundee Selectable Threshold Method for Caries Diagnosis (DSTM): G = Gesunde Zahnhartsubstanz W = White-spot-Läsion B = Brown-spot-Läsion E = Schmelzkavität ohne Dentinbeteiligung D = Dentinläsion ohne Kavitätenbildung C = Dentinläsion mit Kavitätenbildung P = Pulpabeteiligung A = Arretierte Dentinkaries (arrested dentinal decay)

Als Voraussetzung für die visuelle Beurteilung der Okklusalfächen sind saubere, plaquefreie und trockene Zähne anzusehen. Vor der klinischen Untersuchung und Diagnostik sollte zur sicheren Unterscheidung von Plaque und braunen Verfärbungen eine Zahnreinigung durchgeführt werden [Sognaes 1940].

Zur visuellen Beurteilung von kariösen Läsionen wurden in den letzten Jahrzehnten verschiedene Diagnosekriterien zur Befunderhebung aufgestellt. Die WHO definiert eine kariöse Läsion als Vorhandensein einer eindeutigen Kavitation bzw. als eine offensichtliche Unterminierung des Schmelzes beim Vorliegen tastbarer, erweichter Schmelzränder. In der vorstehenden Tabelle 2.1 ist eine Auswahl der bekanntesten Klassifizierungen dargestellt. Eine zeitgemäße Kariesdiagnosemethode soll folgende grundsätzliche Anforderungen erfüllen: hohe Akkuratheit, nicht-invasives Vorgehen sowie eine einfache und kostengünstige Durchführbarkeit. Mit ihr soll es möglich sein, auch an nicht kavitierten Fissuren eine Dentinkaries diagnostizieren zu können

[Ekstrand et al. 1995, 1997, 1998]. Auf dieser Grundlage wurden von *Ekstrand et al.* [1998] Diagnostikkriterien für die visuelle Kariesdetektion entwickelt. Als erste klinisch sichtbare Zeichen einer Schmelzläsion wurden Opazitäten oder Verfärbungen im Fissurenbereich, die auf der feuchten Zahnoberfläche kaum, auf der luftgetrockneten Zahnoberfläche hingegen deutlich sichtbar sind, verifiziert. Lokalisierte Einbrüche im opaken oder verfärbten Schmelz sind neben der Kavitation zuverlässige Kriterien für das Vorliegen einer Dentinkaries.

Im Jahr 2002 fand ein internationaler Workshop zum Thema klinische Kariesstudien (International Consensus Workshop on Caries Clinical Trials, ICW-CCT) statt.

Dabei wurden folgende Fragen erörtert [ICDAS Coordinating Committee 2005]:

1. Auf welcher Stufe soll der kariöse Prozess erfasst werden?
2. Wie sollen die einzelnen Stufen definiert werden?
3. Was ist der beste klinische Einsatz, um die einzelnen Stufen des kariösen Prozesses an verschiedenen Zahnflächen zu erfassen?
4. Welcher Trainingsablauf für Untersucher kann den höchsten Grad an Übereinstimmung bieten?

Als Resultat wurden Kriterien für die klinische Kariesdiagnose auf der Basis bisher bekannter und validierter visueller Kariesdiagnosemethoden erarbeitet [Ekstrand et al. 1997, Fyffe et al. 2000, Ricketts et al. 2002, Ismail 2004, Ekstrand et al. 2005]. Das Ziel der Wissenschaftler war es, ein Kariesdiagnosesystem zu entwickeln, welches in epidemiologischen Erhebungen, in klinischen Studien ebenso wie in der zahnärztlichen Praxis verwendet werden kann [Pitts 2004]. Dafür wurden verschiedene Diagnoseklassifikationen zusammengeführt. Es sollte eine standardisierte Methode sein, die auf der Evidenz der bisherigen Methoden beruht und die Diagnose, Prognose sowie die Entscheidung über die klinische Behandlung der Zahnkaries auf individueller Ebene und im öffentlichen Gesundheitsdienst ermöglicht. Neben der eigentlichen Detektion der Zahnkaries sollte gleichzeitig eine Einschätzung des Schweregrades und im Idealfall auch der Aktivität der Läsion erfolgen. Dabei entstand das „International Caries Detection and Assessment System (ICDAS)“, bei dem kariöse Läsionen nach festgelegten Kriterien in sieben verschiedene Stufen eingeteilt werden. Im Jahr 2005 wurde das System modifiziert und als ICDAS-II vorgestellt [ICDAS Coordinating Committee 2005]. Das ICDAS-II dient der Beurteilung kariöser Veränderungen an Okklusal- und Glattflächen der Zähne, an Wurzeloberflächen sowie an Restaurationen und Versiegelungen. Es umfasst sieben Codes und be-

ruht auf der Annahme, dass kleinste, subtile Veränderungen der Zahnoberfläche auf histologische Veränderungen hinweisen können. Die Zähne werden im feuchten sowie trockenen Zustand befundet und sollten dabei frei von Plaque und Verunreinigung sein. Als Hilfsmittel zur Entfernung verbliebener Zahnbeläge und zur Überprüfung kleiner Füllungen und Kavitäten kann eine CPI- oder Parodontalsonde herangezogen werden. Die einzelnen ICDAS-II-Codes werden in Kapitel 4, Tabelle 4.2 erläutert.

Seit der Vorstellung des ICDAS wurden einige Studien unter Anwendung dieser Diagnosemethode durchgeführt [Sohn et al. 2007, Cook et al. 2008, Ismail et al. 2008, Kühnisch et al. 2008].

Die Validierung des Systems für die Diagnose der Okklusalkaries wurde von *Jablonski-Momeni et al.* [2008a, 2008b] publiziert. Ihre Studien wiesen für die Diagnostik mit dem ICDAS-II-Verfahren gute Kappa-Werte für die Reproduzierbarkeit nach ($\kappa = 0,61 - 0,83$). Die ermittelte Sensitivität betrug auf dem D1-Niveau (Schmelz- und Dentinkaries) 90,7 % und auf dem D3-Niveau (Dentinkaries) 86,6 %. Die Spezifität auf dem D1-Niveau lag bei 54 % und auf dem D3-Niveau bei 69,6 %.

2.3.2 Kariesdiagnostik mittels Fluoreszenz

Im Folgenden werden lichtoptische Verfahren beschrieben, die sich auf ähnliche Weise das Phänomen der Fluoreszenz zur Kariesdiagnose zu Nutze machen. Zunächst werden die physikalischen Grundlagen erläutert.

2.3.2.1 Physikalische Grundlagen der Fluoreszenz

Als Fluoreszenz wird die Leuchterscheinung von festen Körpern, Flüssigkeiten oder Gasen bezeichnet, welche mit Licht, Röntgenstrahlung oder Korpuskularstrahlung angeregt werden kann [Gerthsen und Vogel 1999]. Die Fluoreszenz zählt neben der Phosphoreszenz zur Lumineszenz, auch bekannt unter dem Begriff „kaltes Leuchten“. Lumineszenz ist der allgemeine Begriff, mit dem die Emission von Strahlung beschrieben wird, was sowohl die Fluoreszenz, die Phosphoreszenz als auch weitere Phänomene wie die Biolumineszenz umfasst [Walsh und Shakibaie 2008]. Die Fluoreszenz unterscheidet sich von der Phosphoreszenz in der Dauer der Lichtemission. Während die Lichtabgabe bei der Fluoreszenz schon innerhalb von Sekundenbruchteilen nach Ende der Anregung aufhört, kann sie bei der Phosphoreszenz bis zu einigen Stunden andauern [Lichtscheidl 2009]. Die Atome des Fluoreszenzstoffes

(die sogenannten Fluorophore) absorbieren Energiequanten der einfallenden Strahlung und werden dadurch in einen angeregten Zustand überführt. Durch spontane Emission, d. h. durch Aussendung des charakteristischen Fluoreszenzlichts, geben sie diese Energie ab und gelangen wieder in ihren Grundzustand (Abb. 2.2).

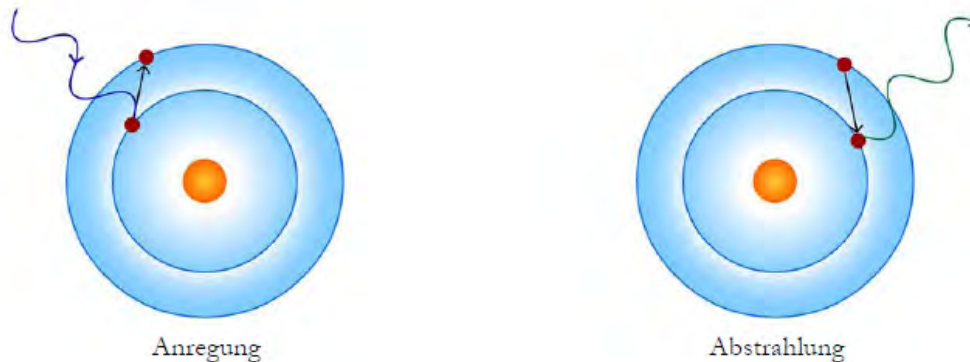


Abb. 2.2: Atommodell: Anregung und Emission eines Elektrons [Quelle: „Lichtmikroskopie – Theorie und Anwendung“, Universität Wien, 2009]

Nach der Stokes'schen Regel ist das dabei emittierte Licht immer langwelliger und energieärmer als das absorbierte (Abb. 2.3). Dieses Phänomen wurde erstmals im 16. Jahrhundert beobachtet und später von *Stokes* [1852] im Sinne der Fluoreszenzspektroskopie für die naturwissenschaftliche Forschung nutzbar gemacht. *Stokes* setzte die Untersuchung dieses Phänomens bis zum Ende des 19. Jahrhunderts fort und legte die Grundlagen für unser heutiges Verständnis. Er prägte die Begriffe „Fluoreszenz“ und „Opaleszenz“.

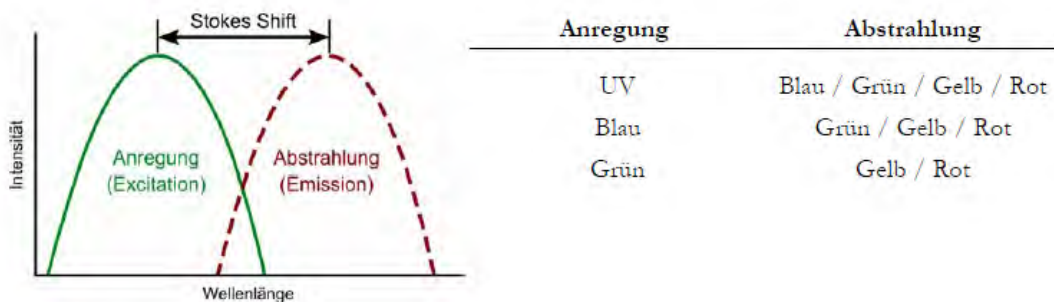


Abb. 2.3: Stokesverschiebung [Quelle: „Lichtmikroskopie – Theorie und Anwendung“, Universität Wien, 2009]

Da es relativ leicht möglich ist, die Fluoreszenzemission nahezu vollständig von der Anregung zu trennen, kann man die Fluoreszenz sehr präzise messen. Die Möglichkeiten, mit Hilfe der Fluoreszenz kleine Konzentrationen von Substanzen genau zu bestimmen, macht die Fluoreszenz zu einem vielseitigen und wertvollen Hilfsmittel in der Biophysik. Von besonderem Reiz ist, dass die Messung der Fluoreszenz aus der Ferne möglich ist und daher keinen direkten Einfluss auf das Objekt hat, in dem die Fluoreszenz erzeugt wird. Dies ist für die Beobachtung zellulärer Prozesse besonders wichtig [Seifert 2009]. Grundsätzlich stellt ein Fluoreszenzspektrum die Intensität der Fluoreszenz in Abhängigkeit von der Wellenlänge dar. Man unterscheidet zwischen Anregungs- und Emissionsspektren. Die Abhängigkeit der Fluoreszenzintensität von der Emissionswellenlänge bei fester Anregungswellenlänge bezeichnet man als Fluoreszenzemissions-spektrum oder kurz Emissionsspektrum, die Abhängigkeit der Fluoreszenzintensität von der Anregungswellenlänge bei fester Emissionswellenlänge als Fluoreszenzanregungsspektrum oder kurz Anregungsspektrum [Wei 1998, Demtröder 2000].

In der Zahnmedizin ist das Fluoreszenzspektrum dasjenige mit der größten Bedeutung. Dabei wird das emittierte Fluoreszenzlicht meist nicht in allen Details ausgewertet, sondern mittels Filtersystemen oberhalb des jeweils verwendeten Long-Pass-Filters betrachtet und ausgewertet. Dabei spricht man von einer quantitativen licht- oder laserinduzierten Fluoreszenzmessung.

Stübel [1911] untersuchte die Fluoreszenzcharakteristika verschiedener biologischer Gewebe bei Bestrahlung mit ultraviolettem Licht. Dabei stellte er erstmals fest, dass Zahnhartsubstanzen bei Bestrahlung mit Licht dieser Wellenlänge fluoreszieren. In Anlehnung an *Stübel* beschrieb *Benedict* [1929] eine höhere Abgabe von Fluoreszenzlicht durch das Dentin im Vergleich zum Zahnschmelz und dass eine Initialläsion ein reduziertes Fluoreszenzsignal entsendet. Erste Überlegungen zur Nutzung des Phänomens als Methode zur Kariesdiagnostik kamen auf. In den sechziger Jahren des letzten Jahrhunderts wurde das Thema der Fluoreszenzuntersuchung von Zähnen in der Forschung wieder aufgenommen [Laurila und Mancewicz 1960, Hoerman und Mancewicz 1964]. Heute stehen in der Zahnmedizin mehrere ausgereifte Systeme zur laser- und lichtinduzierten Kariesdiagnostik zur Verfügung. Das Verfahren der laserinduzierten Fluoreszenzmessung wird neben der Kariesdiagnostik aber auch als Rückkopplung für einen ER:YAG-Laser (Key III, Kavo, Biberach) verwendet. Mit Hilfe des Fluoreszenzrückkopplungsmechanismus wird der therapeutische ER:YAG-

Laser gesteuert, um einen selektiven Abtrag kariöser Zahnhartsubstanz zu ermöglichen [Dommisch et al. 2008, Krause et al. 2008]. Weiterhin werden in der Zahnmedizin auch Verfahren verwendet, die die Gewebefluoreszenz der Mundschleimhaut zur Früherkennung von Mundhöhlenkrebs nutzen [Scheer et al. 2008].

2.3.2.2 Porphyrine

Als Ursache für das Aussenden eines roten Fluoreszenzsignals von kariös veränderter Zahnhartsubstanz nach Anregung mit kurzwelligem Licht werden Porphyrine gesehen, speziell das Protoporphyrin IX. Dabei handelt es sich um Stoffwechselprodukte von Bakterien, die sich in demineralisierten Bereichen von Zähnen angesiedelt haben [König et al. 1999].

Substanzen mit fluoreszierenden Eigenschaften (Autofluoreszenz), zu denen Porphyrine zählen, werden auch als Fluorophore bezeichnet [Andersson-Engels 1989]. Weitere Substanzen mit fluoreszierenden Eigenschaften sind Mineralien, Pilze, Bakterien, Keratin sowie Kollagen [Walsh und Shakibaie 2008].

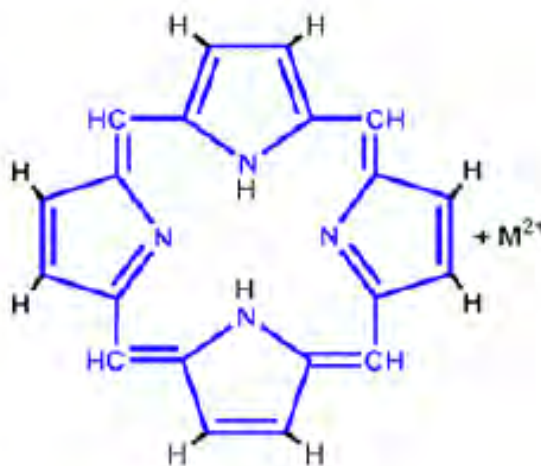


Abb. 2.4: Porphyringerüst [Quelle: Allgemeine Chemie Online, 2005]

Nach der „International Union of Pure Applied Chemistry“ (IUPAC) sind alle Substanzen, die vier Pyrrole oder pyrrolähnliche Ringe beinhalten und über Kohlenstoff- oder Stickstoffbrücken miteinander verbunden sind, Tetrapyrrole. Zu dieser Gruppe zählen auch die Porphyrine (Abb. 2.4). Porphyrine sind als Molekül in verschiedenen Proteinen an grundlegenden Prozessen beteiligt und werden in den Zellen von Säugern, Pflanzen und Bakterien synthetisiert. Sie übernehmen wichtige Funktionen wie z. B. den Sauerstofftransport im Blut (Hämoglobin), Sauerstoffspeicherung in den Muskeln (Myoglobin), Redoxkatalisation in der Atmungskette (Cytochrome), Photosynthese in grünen Pflanzen (Chlorophyllbiosynthese) und bei der Bildung von Vitamin B12. Ebenso werden Porphyrine als Zwischenschritte bei der Hämbiosynthese gebildet. Bei einigen Bakterien, die für die Entstehung und Entwicklung des Biofilms auf Zähnen bis hin zur Entstehung von kariösen Läsionen verantwortlich sind, ist es gelungen nachzuweisen, dass sie in der Lage sind, Porphyrine zu produzieren. Darunter befinden sich auch Leitkeime der Parodontitis. Somit weisen auch diese Bakterien Fluoreszenzverhalten auf [König et al. 1993, König et al. 2000, Buchalla et al. 2005]. Zu diesen Bakterien gehören *Actinomyces odontolyticus*, *Bacteroides intermedius*, *Porphyromonas gingivalis*, *Prevotella species*, Corynebakterien und *Actinobacillus acinomycetemcomitans*. Folgende Bakterien produzieren kein Protoporphyrin IX: *Streptococcus mutans*, *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus casei*, *Fusobacterium nucleatum*. Bei ihnen konnte entsprechend kein Fluoreszenzverhalten nachgewiesen werden [König et al. 1993]. *Buchalla et al.* [2005] konnten für den wesentlichen Kariesinitiator *Streptococcus mutans* ein geringes Fluoreszenzverhalten im roten Spektralbereich nachweisen. In weiteren eigenen Untersuchungen machten sie Protoporphyrin IX sowie Coprotoporphyrin I und II als Ursache für die Fluoreszenz des kariösen Dentins aus [Buchalla et al. 2008]. Es ist noch nicht endgültig geklärt, ob die genannten Fluorophore die dominanten oder einzigen Verursacher der Fluoreszenz sind, oder ob noch weitere Faktoren für die Entstehung der induzierten Kariesfluoreszenz eine Rolle spielen [Krause 2008].

2.3.2.3 Quantitative lichtinduzierte Fluoreszenz

Die quantitative lichtinduzierte Fluoreszenz (QLF) ist eine nichtinvasive Diagnostikmethode zur Erkennung initialer okklusaler kariöser Läsionen und Glattflächenläsionen. Die Methode basiert auf dem Prinzip, dass Mineralverlust, verursacht durch kariöse Zerstörung des Zahnschmelzes, als Änderung in der Fluoreszenz der Zahnschmelz-

stanz wahrgenommen und gemessen werden kann, wenn sie Licht ausgesetzt ist [Emilson 1994, Tranaeus et al. 2001]. Im zeitlichen Verlauf lässt sich so die Veränderung der Fluoreszenz und der Läsionsgröße messen und die Entwicklung der Läsion beobachten. Der Fluoreszenzverlust steht im direkten Verhältnis zum Mineralverlust im Bereich der Läsion und dem Streuungs-Koeffizienten [Hafström-Björkman et al. 1992, ten Cate et al. 1999]. QLF wurde über viele Jahrzehnte lang weiterentwickelt, erfuhr eine große Anzahl von Änderungen und kann nun klinisch eingesetzt werden [Stookey et al. 1999]. Heute steht im Handel das QLF-Gerät Inspektor Research System BV (Amsterdam, Niederlande) mit einer portablen intraoralen Kamera zur Verfügung. Bei diesem Gerät erfolgt die Bestrahlung der Zähne mit einer Xenon-Bogenlampe, die mit einem Bandpass-Filter kombiniert ist und Licht mit einer Wellenlänge von 488 nm aussendet [Ando et al. 2001, Tranaeus et al. 2002]. Mit einer digitalen Kamera wird das vom Zahn zurückgestrahlte Licht mit Wellenlängen von > 560 nm bzw. 520 nm aufgenommen und als Fluoreszenzbild auf dem Bildschirm angezeigt. Dieses wird mit einer Software analysiert. Die Parameter Fluoreszenzverlust, Läsionsgröße und das Produkt aus den beiden Größen stehen dabei dem Untersucher zur Beurteilung der Läsion zur Verfügung. Bei einer Abnahme der Fluoreszenzintensität um mehr als 5 % wird angenommen, dass es sich um kariöse Läsionen handelt [Hafström-Björkman et al. 1992]. Bei normalem Tageslicht erscheinen Initialläsionen an Glattflächen als weißer Fleck auf der Zahnoberfläche, während das QLF diese Läsionen als dunklen Fleck darstellt, was durch die Änderung der Streuungseigenschaften in kariösen Läsionen erklärt wird. Das einfallende Licht unterliegt an gesunden Bereichen der Zahnoberfläche den optischen Prozessen Reflexion, Streuung und Absorption. Licht, welches auf eine Läsion trifft, wird stärker reflektiert und mehr gestreut. So wird im Bereich der Initialläsion das vom Dentin und Schmelz ausgehende Fluoreszenzlicht ebenso wie das Anregungslicht absorbiert, mit dem Ergebnis, dass eine dunkle Läsion umgeben von einem stark leuchtenden gesunden Schmelz wahrgenommen wird [de Josselin de Jong et al. 1996].

Studien, die mit dem QLF durchgeführt wurden, ergaben für dieses Verfahren eine Sensitivität zwischen 68 % und 91 % und eine Spezifität zwischen 70 % und 91 % [Ifland et al. 2004, Pretty und Maupomé 2004, Kühnisch et al. 2006b]. Unter Berücksichtigung des großen Zeitaufwandes, mit dem die Betreibung des Gerätes verbunden ist, ist die routinemäßige Anwendung von QLF im zahnärztlichen Alltag nicht ohne weiteres durchführbar [Kühnisch et al. 2007d].

2.3.2.4 Laserfluoreszenzmessungen mittels Diagnodent

Das Diagnodent 2095 (KaVo, Biberach) ist ein 1998 auf den Markt eingeführtes optisches Kariesdiagnoseverfahren zur Anwendung an Fissuren, Grübchen und Glattflächen. Mit diesem Gerät wird die Oberfläche des Zahnes punktuell mit Laserlicht bestrahlt und so kariös veränderte Zahnhartsubstanz zum Fluoreszieren gebracht. Das emittierte Licht wird dann vom Gerät gemessen und als Messwert dargestellt. Das Gerät besteht aus einer Lichtquelle (Aluminium-Gallium-Indium-Phosphat basierte Laserdiode), die das Licht mit einer Wellenlänge von 655 nm (rotes Licht) und einer Leistung von 1 mW emittiert. Eine Fotodiode dient als Detektor (Abb. 2.5). Dieser ist ein Filtersystem vorgeschaltet, das nur Licht ab einer Wellenlänge von 680 nm hindurchlässt. Dadurch wird das Anregungslicht sowie kurzwelligere Streustrahlung anderer Strahlungsquellen blockiert (z. B. Tageslicht, künstliche Beleuchtung). Langwellige Störstrahlung wird durch Modulation des Anregungslichtes eliminiert, da die Fotodiode nur dieses modulierte Licht detektiert. Somit ist gewährleistet, dass der Messwert mit der Ausdehnung der Karies korreliert [Hibst 1999]. Gesunder Zahnschmelz fluoresziert bei Rotanregung deutlich weniger als eine kariöse Läsion. Durch das Filtersystem und die Tatsache, dass Schmelz nur eine geringe Eigenfluoreszenz aufweist, soll sichergestellt sein, dass nur der pathologisch veränderte Bereich des Zahnes detektiert wird.

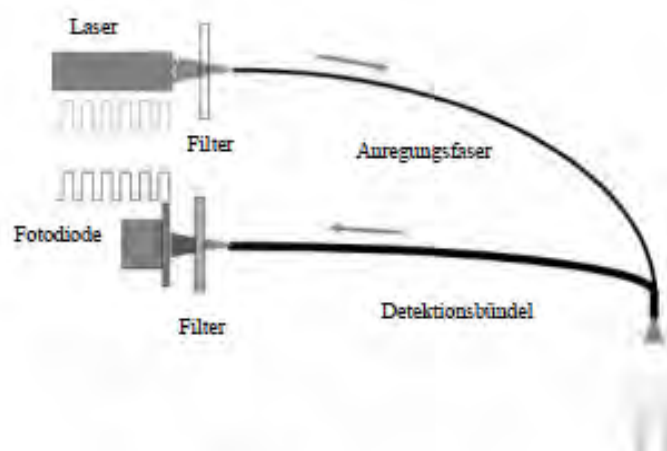


Abb. 2.5: Der Aufbau des Lasergerätes Diagnodent [Quelle: Hibst 1999]

Das Anregungslicht und auch das längerwellige emittierte Fluoreszenzlicht werden vom Zahnschmelz wenig absorbiert oder gebrochen, so dass diese tief durch die Schmelzschicht hindurch transmittieren und somit kariöse Läsionen unterhalb der Schmelzschicht festgestellt werden können [Krause 2008]. Vom Basisgerät wird das Anregungslicht mittels eines Lichtleiters zur Sonde und damit zum Zahn geführt. Über separate Lichtleiter, die sich aber im gleichen Kabel befinden, wird das Licht der Fluoreszenzantwort zur Fotodiode geleitet und dort quantitativ ausgewertet. Zum Gerät gehören zwei Aufsätze, eine kegelförmige Sonde zur Untersuchung von Fissuren und eine plane Sonde zur Überprüfung von Glattflächen, die über einen Lichtleiter mit dem Gerät verbunden sind.

Die Funktionsweise des Geräts beruht auf dem Prinzip, dass durch Karies veränderte Zahnhartsubstanz nach Anregung fluoresziert und dass sich diese Fluoreszenz proportional zur Demineralisierung der Zahnhartsubstanz verhält. Forschungsarbeiten von *Hibst und Gall* [1998] zeigten, dass rotes Licht mit Wellenlängen von 638 nm bzw. 655 nm zur Differenzierung zwischen kariösem und gesundem Gewebe eingesetzt werden kann. Mit diesen Wellenlängen werden Stoffwechselprodukte (Porphyrin-Derivate) von Mikroorganismen angeregt, die sich in poröser, demineralisierter Zahnhartsubstanz anreichern und dann ein Fluoreszenzsignal emittieren. Untersuchungen ergaben, dass *Actinomyces odontolyticus*, *Bacteroides intermedius*, *Candida albicans*, *Corynebacterium* und *Pseudomonas aeruginosa* aufgrund ihrer Protoporphyrin-Synthese typische Fluoreszenzpeaks bei 620 und 635 nm aufweisen [König und Schneckenburger 1994, Hibst et al. 2001b]. Die beiden Bakterienarten *Actinomyces odontolyticus* und *Bacteroides intermedius* sollen dabei vorrangig für die Biosynthese des endogenen Protoporphyrins in der kariösen Läsion verantwortlich sein. Während kariöse Läsionen Fluoreszenzerscheinungen hervorrufen können, zeigen Demineralisationserscheinungen eine verringerte Fluoreszenz. Als Grund hierfür wird ein Verlust an Fluorophoren oder der Anstieg der Streuung von Licht in einem demineralisierten Schmelzareal vermutet [Hibst 1999, Hibst 2001a].

Voraussetzung für eine Anwendung zur Kariesdetektion ist die gründliche Reinigung des Zahnes und die Trocknung [Lussi et al. 2003]. Speisereste, Verfärbungen, Zahnstein oder Plaque verändern durch ihre Eigenfluoreszenz das Ergebnis. Die Eigenfluoreszenz des Schmelzes lässt sich durch vorheriges Skalieren des Gerätes auf einer intakten Schmelzoberfläche herausfiltern. Für die Untersuchung soll die Sonde ohne Druck und mit leichten Pendelbewegungen über die zu untersuchende Läsion

geführt werden, bis der höchste Wert in relativen Einheiten von 0 – 99 auf dem Display erscheint. Während der Untersuchung zeigt das Gerät auf dem Display zwei Werte an, den Peak-Wert und den momentanen Wert. Der Peak-Wert ist der Maximalwert, der an der Läsion gemessen wurde, und der momentane Anzeigewert zeigt den aktuellen Wert der Läsion an. Die Messung wird von einem akustischen Signal begleitet, dessen Frequenz mit der Höhe des gemessenen Wertes zunimmt.

Seit der Markteinführung des Diagnodent 2095 wurden viele In-vitro- und In-vivo-Studien durchgeführt [Bader und Shugars 2004, Lussi et al. 2004, Tranaeus et al. 2005].

Die Ergebnisse von Untersuchungen bezüglich der Spezifität und Sensitivität erscheinen vielversprechend. Für die Sensitivität des Verfahrens an Milchzähnen ermittelten *Lussi et al.* [2004] Werte zwischen 0,75 und 0,82 und für die Spezifität Werte zwischen 0,68 und 0,85. An bleibenden Zähnen war die ermittelte Sensitivität zwischen 0,19 und 0,95 und die Spezifität zwischen 0,50 und 1,00. Die Intra-Untersucher-Reproduzierbarkeit an Milchzähnen ergab Kappa-Werte zwischen 0,72 und 0,81 und an bleibenden Zähnen Kappa-Werte zwischen 0,75 und 0,93 bzw. einen Intra-class-Korrelationskoeffizienten von 0,94.

Diese Ergebnisse konnten in einer klinischen Studie von *Heinrich-Weltzien et al.* [2003] zur Diagnosegenauigkeit der visuellen, röntgenografischen und laseroptischen Diagnostik im Wesentlichen bestätigt werden. In dieser Studie wurde eine Reproduzierbarkeit von $\kappa = 0,89$ ermittelt, die damit im fast perfekten Bereich liegt.

Die Sensitivität lag bei 0,93 und die Spezifität bei 0,63. Die Autoren kamen zu dem Schluss, dass das laserbasierte Diagnodent-Gerät ein hilfreiches Instrument zur nicht invasiven Diagnostik der versteckten okklusalen Karies darstellt.

Rodrigues et al. [2008] ermittelten in einer In-vitro-Studie Werte von 0,89 für die Spezifität und 0,51 für die Sensitivität der Diagnodent-Messungen. Für die Inter-Untersucher-Reproduzierbarkeit lagen das ungewichtete Kappa bei 0,58 und der Intra-class-Korrelationskoeffizient bei 0,90. Die Intra-Untersucher-Reproduzierbarkeit ergab für das ungewichtete Kappa $\kappa = 0,60$ und einen Intra-class-Korrelationskoeffizienten von 0,85. Der Rangkorrelationskoeffizient mit der Histologie betrug $r_s = 0,53$ [Rodrigues et al. 2008]. In einer Studie von *Jablonski-Momeni et al.* [2010] betrug die Korrelation zwischen dem Diagnodent und der visuellen Kariesdiagnose ICDAS-II $r_s = 0,61$.

2.3.2.5 Laserfluoreszenzmessungen mittels Diagnodent Pen

Die Weiterentwicklung des Diagnodent ist das Diagnodent Pen 2190 (Kavo, Biberach), das seit 2005 auf dem Markt erhältlich ist. Es stellt eine handlichere Version seines Vorgängers dar, wobei das Basisgerät im Handstück untergebracht und somit keinerlei Verkabelung notwendig ist. Neben einer Fissurensonde (blau) für die Überprüfung von Glattflächen und Fissuren steht bei diesem Gerät auch eine Sonde (schwarz) zur Diagnostik für Approximalkaries zur Verfügung. Diese ist um 360 Grad drehbar und leitet den Laser durch ein Prisma um. In der Funktionsweise und der Anwendung gibt es zum Vorgänger Diagnodent praktisch keine großen Unterschiede.

Eine Studie von *Lussi und Hellwig* [2006] zeigte für Messungen mit dem Diagnodent Pen Sensitivitätswerte zwischen 0,78 und 0,91 und Spezifitätswerte zwischen 0,71 und 0,89. Es gab keinen statistisch signifikanten Unterschied zwischen dem Diagnodent Pen und dem klassischen Diagnodent. Der Intra-Untersucher-Kappawert für das Diagnodent Pen lag bei 0,89 und der Intra-class-Korrelationskoeffizient war größer als 0,98. *Aljehani et al.* [2007] zeigten in einer In-vitro-Studie für die Intra-Untersucher-Übereinstimmung ICC-Werte zwischen 0,96 und 0,99 und Inter-Untersucher-Übereinstimmungen von 0,66 bis 0,69. Die Korrelation zwischen dem Diagnodent und dem Diagnodent Pen lag zwischen 0,92 und 0,96. *Kühnisch et al.* [2007a] zeigten Intra-Untersucher-Übereinstimmungen zwischen 0,84 und 0,92 (ICC) und mittlere Inter-Untersucher-Übereinstimmungen zwischen 0,68 und 0,87 (ICC).

Rodrigues et al. [2008] ermittelte in einer Studie an extrahierten Zähnen Werte von 0,56 für die Spezifität und 0,78 für die Sensitivität. Für die Inter-Untersucher-Reproduzierbarkeit lagen das ungewichtete Kappa bei 0,55 und der Intra-class-Korrelationskoeffizient bei 0,93. Die Intra-Untersucher-Reproduzierbarkeit ergab für das ungewichtete Kappa 0,54 und einen Intra-class-Korrelationskoeffizienten von 0,87. Der Rangkorrelationskoeffizient mit der Histologie betrug 0,52 für die Diagnodent-Pen-Messungen.

Bei den Messergebnissen wurden jedoch zwischen den beiden Laserfluoreszenzverfahren Diagnodent und Diagnodent Pen Unterschiede festgestellt. In einer vergleichenden Studie wurde gezeigt, dass das Diagnodent Pen deutlich höhere Fluoreszenz-Werte anzeigte als das Diagnodent [Kühnisch et al. 2007a]. Damit lassen sich die aus den gemessenen Werten resultierenden Therapieempfehlungen nicht vorbehaltlos vom Vorgängermodell übernehmen.

2.3.2.6 Intraorale Fluoreszenzkamera VistaProof

Im Jahr 2007 wurde ein weiteres Fluoreszenzsystem zur Kariesdetektion auf dem Markt eingeführt. Das Kamerasystem VistaProof (Dürr Dental, Bietigheim-Bissingen) ist die Weiterentwicklung einer intraoralen Kamera zu Kariesdiagnosezwecken. In der Handhabung entspricht es grundsätzlich einer konventionellen intraoralen Kamera. Hierbei werden die zu beurteilenden Zahnflächen mit Leuchtdioden bestrahlt, die Licht bei einer Wellenlänge von 405 nm (blau-violettes Licht) emittieren. Kariös veränderte Bereiche fluoreszieren im roten Spektralbereich, gesunde Zahnhartsubstanz hat eine grüne Eigenfluoreszenz. In der nachgeschalteten Auswertungssoftware des Herstellers DBSwin wird das Verhältnis der roten zur grünen Fluoreszenzintensität als Maß für die bakterielle Kontamination und den Zerstörungsgrad der Zahnhartsubstanz ausgewertet [Eberhart et al. 2007]. Durch die direkte Anbindung an die Patientendatenbank soll eine gesicherte Dokumentation und Verlaufskontrolle ermöglicht werden. 6 GaN (Galliumnitrid) Leuchtdioden, die sich im Kopf der intraoralen Kamera befinden, liefern das blau-violette Licht mit einer Wellenlänge von 405 nm. Bei dieser Wellenlänge, die auch als Soret-Bande bezeichnet wird, besitzen die verschiedenen Porphyrine ein Maximum an optischer Anregbarkeit. Dieses Licht regt kariogene Bakterien zu einer Rotfluoreszenz an, aktive Karies erscheint rot, während gesunder Schmelz grün leuchtet. Auch die „hidden caries“ soll mit diesem Verfahren erfasst werden, da das stark violette Licht die äußeren Schmelzschichten durchdringen kann. Vor dem Farb-CCD-Sensor ist ein optischer Farbglasfilter installiert, der Licht mit Wellenlängen von < 495 nm absorbiert und die anderen Wellenlängen ungehindert durchlässt. So kann der Kamerachip ungehindert von dem abgestrahlten Anregungslicht Licht im grünen (grüne Fluoreszenz des gesunden Zahnschmelzes) und roten Kanal (rote Fluoreszenz der bakteriellen Kontamination) erfassen. Bei diesem Kariesdiagnosesystem werden also kariöse Läsionen mittels reduzierter Grün-Fluoreszenz der gesunden Zahnhartsubstanz, entsprechend dem QLF-Verfahren und mittels der Rot-Fluoreszenz, entsprechend der bakteriell besiedelten Zahnhartsubstanz ermittelt. Durch die Kombination beider Fluoreszenzverfahren wird eine erhöhte Detektionsempfindlichkeit erhofft. Als Maß für bakterielle Kontamination und Zerstörungsgrad der Zahnhartsubstanz wird von der nachgeschalteten Software das Verhältnis der roten zur grünen Fluoreszenzintensität herangezogen. Die Intensität des Fluoreszenzbildes wird mit wachsendem Rot/Grün-Verhältnis an-

gehoben, um den Behandler auf Stellen mit hohem Rot/Grün-Verhältnis hinzuweisen [Eberhart et al. 2007].

Zur Untersuchung der fraglichen Bereiche wird der Kamerakopf der intraoralen Kamera über dem Zahn positioniert, sodass die gesamte Okklusalfäche des Zahnes optisch erfasst werden kann [Krause 2008]. Zum Festhalten der Einzelbilder oder zum Umschalten zwischen den Analysemodi dient ein Fußschalter oder ein Handauslöser. Das aufgenommene Bild wird von der Kamera per USB-2.0-Schnittstelle zum Computer übertragen und dort im Einzelnen analysiert und auf einem Monitor dargestellt. Die Kamera wird über eine separate Stromquelle versorgt und lässt sich somit an jeden Computer anschließen [Walsh und Shakibaie 2008]. Die VistaProof-Kamera kann auch zum Erkennen der dentalen Plaque herangezogen werden. Sollen aber kariöse Läsionen erkannt werden, muss vorher eine gründliche Reinigung der Zähne erfolgen. Bei der Durchführung einer Verlaufskontrolle zur Überprüfung der Progression einer kariösen Läsion kann diese mit der Bearbeitungssoftware per Mausclick numerisch ausgewertet und gespeichert werden. Damit der Zahn im Rahmen der Verlaufskontrolle aus reproduzierbarem Abstand fotografiert wird, steht ein Abstandshalter für den Kamerakopf zu Verfügung.

Zur Zeit liegen nur wenige wissenschaftliche Untersuchungen zur Kariesdiagnose mit der Fluoreszenzkamera VistaProof vor. Die Autoren [Eberhart et al. 2007, Thoms et al. 2007] halten dieses Verfahren für zuverlässig und reproduzierbar. *Rodrigues et al.* [2008] führten eine In-vitro-Studie an 119 extrahierten bleibenden Molaren durch, die mit verschiedenen Diagnoseverfahren und einem Prototypen der VistaProof-Kamera auf Karies untersucht wurden. Für die Messungen mit diesem Prototypen ermittelte er eine Sensitivität von 0,86 und eine Spezifität von 0,89. Des Weiteren ermittelte er für die Inter-Untersucher-Reproduzierbarkeit einen ungewichteten Kappa von $\kappa = 0,58$ und einen Intra-Klassen-Korrelationskoeffizienten von $ICC = 0,85$. Die Intra-Untersucher-Reproduzierbarkeit wies einen ungewichteten Kappa von $\kappa = 0,61$ und einen Intra-Klassen-Korrelationskoeffizienten von $ICC = 0,76$ auf. Der Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman zur Histologie betrug $r_s = 0,41$.

Mit der Acteon Sopro Life Fluoreszenzkamera ist seit 2009 eine weitere intraorale Fluoreszenzkamera zur Kariesdiagnostik auf dem Markt erhältlich. Studien zu dieser Kamera stehen aber noch aus.

2.3.3 Faseroptische Transillumination

Die Faseroptische Transillumination (FOTI) eignet sich vor allem zur Diagnose von Approximalräumen. Die Sonde wird in den Zahnzwischenraum geführt und die Zähne werden mit Licht durchstrahlt. Der Intensitätsverlust bei Durchstrahlung des Zahnes wird rein visuell ausgewertet. Bereiche, in denen Karies vorliegt, sind als dunkler Schatten erkennbar. Der Grund dafür sind die Poren in den Zahnhartsubstanzen, die bei kariöser Zerstörung vermehrt auftreten und einen anderen Brechungsindex als gesunde Zahnhartsubstanz haben [Pieper 1986]. Damit wird an den Grenzflächen vermehrt Licht gestreut, wodurch es zu einem Intensitätsverlust kommt, den wir als dunklen Fleck wahrnehmen.

Nach mehreren Modifikationen dieses Gerätes, unter anderem durch die Reduktion des Querschnittes [Mitropoulos 1985] und durch das Beschleifen der Kaltlichtsonde zur besseren Adaptation auf den Schmelz der Approximalflächen (Modell Göttingen), konnten gute Ergebnisse erzielt werden [Pieper und Schurade 1987].

Das Hauptanwendungsgebiet der Faseroptischen Transillumination ist das Aufdecken von approximalen Defekten. Auf dem Markt ist die Kaltlichtsonde von I. C. Lercher (Emmingen) verfügbar.

In einigen Studien wurde die Anwendbarkeit von FOTI zur Diagnose von okklusaler Karies erprobt [Verdonschot et al. 1992]. Die ermittelte Sensitivität betrug 0,13 und die Spezifität lag bei 0,99 bei einer Untersucherübereinstimmung von 0,93 (Kappa-Wert). Eine andere Studie von *Wenzel et al.* [1992] ermittelte eine Sensitivität von 0,49 und eine Spezifität von 0,97. In einer systematischen Übersichtsarbeit wurde über mittlere Sensitivitäten zwischen 0,04 und 0,21 und über mittlere Spezifitäten zwischen 0,88 und 1,00 berichtet [Bader et al. 2001].

Eine weitere Entwicklung ist das DIFOTI-Gerät (DIFOTI: digital fiber optic transillumination, EOS, USA). Es wurde von *Keem und Elbaum* [1997] entwickelt und ermöglicht die Dokumentation der FOTI-Befunde mit Hilfe einer CCD-Kamera. Diese empfängt das Licht, wandelt es in ein elektronisches Signal um und überträgt es auf einen Rechner. Der Computer wertet das Bild mit Hilfe einer Software aus und macht die kariösen Läsionen sichtbar.

In-vitro-Untersuchungen zeigten eine Sensitivität von 0,67 und eine Spezifität von 0,87 für die okklusale Kariesdiagnose [Schneiderman et al. 1997].

2.3.4 Messung des elektrischen Widerstandes

Dieses Kariesdiagnoseverfahren beruht auf der Messung elektrischer Widerstandswerte der Zähne. Es nutzt die Tatsache, dass Schmelz im gesunden Zustand ein guter elektrischer Isolator ist, zur Erkennung von Karies. Durch kariöse Prozesse verliert der Zahn zunehmend seine isolierenden Eigenschaften. Durch Demineralisation und den damit verbundenen Substanzverlust lagert sich in die entstandenen Porositäten Wasser ein, was den Widerstand heruntersetzt [Lussi et al. 1995].

Die Untersuchung wird mit einer Messelektrode durchgeführt, deren Form einer zahnärztlichen Sonde ähnelt und deren Griff mit Kunststoff isoliert ist. Die Messung erfolgt durch das Berühren des fraglichen Fissurenbereichs mit der Spitze der Sonde. Über eine Referenzelektrode an der Wangenschleimhaut des Patienten wird der Stromkreis geschlossen. Als ein kommerziell erhältliches Gerät ist der Electronic Caries Monitor III (ECM, Lode Diagnostics, Groningen, Niederlande) zu nennen. Die neueste Entwicklung auf diesem Gebiet ist ein Mess-Sensor namens CarieScan™ (Hersteller: IDMoS Dental Systems, Vertrieb: CarieScan Ltd., Dundee, UK), der derzeit nur in Großbritannien und Irland verfügbar ist.

Dieses Messprinzip ermöglicht eine Quantifizierung des kariösen Prozesses bei okklusalen Läsionen. Im Bereich von Fissuren können teilweise kariös veränderte Bereiche erkannt werden, die mit dem bloßen Auge betrachtet noch keine Veränderung aufweisen. *Ekstrand et al.* [1997] zeigten für das ECM Sensitivitätswerte zwischen 82 % und 95 % und Spezifitätswerte zwischen 82 % und 87 %. Der Kappa-Wert für die Intra-Untersucher-Übereinstimmung lag bei 0,85. Einfache Kappa-Werte für die Intra-Untersucher-Übereinstimmung lagen zwischen 0,59 und 0,92 und für Inter-Untersucher-Übereinstimmung zwischen 0,5 und 0,57.

Klinke et al. [2006] ermittelten in einer vergleichenden Studie folgende Werte: das ECM erzielte eine Sensitivität von 97,4 % und eine Spezifität von 90,9 %. Das Cariometer zeigte eine Sensitivität von 82,1 % und eine Spezifität von 81,8 %. Der gewichtete Kappa-Wert für die Inter-Untersucher-Übereinstimmung lag für das ECM bei 0,93 und für das Cariometer bei 0,66. Aufgrund der zufriedenstellenden Reproduzierbarkeit der Messwerte und der guten Korrelation zum histologischen Befund wird die Methode als viel versprechende Ergänzung zur klinischen Inspektion gewertet [Rock und Kidd 1988].

2.3.5 Röntgenografische Kariesdiagnose

Die Bissflügelaufnahmen wurden von *Raper* im Jahre 1925 entwickelt, um die Approximalräume der Zähne auf Karies untersuchen zu können, und gehören heute als radiologisches Diagnostikverfahren zur Standardanwendung eines Zahnarztes.

Bei diesem Verfahren wird von jedem Seitenzahngebiet eine Aufnahme durch die Belichtung eines Zahnfilms mit einem Röntgentubus angefertigt. Durch die geringe Zahl der Aufnahmen, die dazu erforderlich sind, verringert sich auch die Strahlendosis, welcher der Patient ausgesetzt ist. Je Kieferhälfte lassen sich die Kronen der Prämolaren und der Molaren des Ober- und Unterkiefers auf einer Bissflügelaufnahme darstellen. Mit diesem Verfahren sind die Detektion von Okklusal- und Approximalkaries, die Einschätzung der Füllungsqualität und die Beurteilung parodontaler Strukturen möglich [Raper 1925].

Nach *Heinrich-Weltzien und Kühnisch* [2007] stellen Bissflügelaufnahmen die Methode der Wahl zur Erfassung von approximalen Läsionen dar. Auch für die Erkennung von okklusalen Läsionen, vor allem an Molaren, sind Bissflügelaufnahmen gut geeignet [Poorterman et al. 2000, Heinrich-Weltzien et al. 2008]. Es liegen Studien vor, die belegen, dass mittels Bissflügelaufnahmen ein großer Teil versteckter okklusaler Dentinläsionen bei Kindern und Jugendlichen diagnostiziert werden konnten [Weerheijm et al. 1992b, Heinrich-Weltzien et al. 2001].

Zahlreiche Studien untersuchten die Reproduzierbarkeit der radiologischen Diagnostik der Okklusalkaries. Die ermittelten Kappa-Werte für die Intra-Untersucher-Reproduzierbarkeit lagen zwischen 0,31 und 0,84 bzw. für die Inter-Untersucher-Reproduzierbarkeit zwischen 0,45 und 0,86 [Lussi 1993, Lussi 1996, Ekstrand et al. 1997, Thomas et al. 2001].

Die Sensitivität und Spezifität der Bissflügeldiagnostik für die okklusale Karies wurde ebenfalls in vielen Studien untersucht. Eine systematische Übersichtsarbeit fasst zusammen, dass die mittleren Sensitivitäten zwischen 39 % und 53 % und die mittleren Spezifitäten zwischen 76 % und 91 % liegen [Bader et al. 2001]. Einige Autoren sind zu dem Schluss gekommen, dass radiologische Verfahren eine höhere Sensitivität aufweisen als visuelle Kariesdiagnoseverfahren [Lussi et al 2003, Wenzel 2004]. Als Einschränkung ist die Tatsache zu betrachten, dass eine Karies im Bereich der Grübchen und Fissuren erst dann im Röntgenbild diagnostizierbar ist, wenn der kariöse Prozess bereits bis in das Dentin fortgeschritten ist [Lussi et al. 2003]. Nach *Ricketts et al.* [1995b] liegt mehrheitlich eine Dentinbeteiligung mit infiziertem Den-

tin vor, wenn die Läsion im Röntgenbild sichtbar ist. Wegen der Strahlenexposition der Patienten bei der Durchführung dieser Aufnahmen sollte die „rechtfertigende Indikation“ (nach §23 der Röntgenverordnung) vorab sorgfältig gestellt werden [Heinrich-Weltzien und Kühnisch 2007]. Durch die Anwendung des digitalen Röntgens konnte eine deutliche Strahlenreduzierung erreicht werden. Die Empfehlung, routinemäßig Bissflügelaufnahmen im Milch-, Wechsel- und frühen permanenten Gebiss durchzuführen, wird heute nicht mehr gegeben. Solche Screening-Untersuchungen sollten auf Patienten mit hohem Kariesrisiko beschränkt bleiben [Hintze et al. 1994].

2.3.6 Histologische Untersuchung von Zahnhartschnitten

Zur Überprüfung eines Kariesdiagnoseverfahrens auf seine Zuverlässigkeit, Erkrankung der Zahnhartschubstanz korrekt nachzuweisen oder auszuschließen, sollte es vor seinem klinischen Einsatz auf der Basis eines Goldstandards validiert werden. Dies erfolgt in der Kariesdiagnosik durch die histologische Beurteilung von Zahnhartschnitten [Downer 1975, Huysmans und Longbottom 2004]. Dazu werden von den Zähnen Hartschnitte angefertigt, die mit verschiedenen Methoden untersucht werden können. Hierbei gibt es keine allgemein gültige Methode, die Methoden variieren je nach Autor und sind immer wieder Gegenstand von Untersuchungen. Die Verfahren zur Herstellung der histologischen Präparate variieren von der Hemisektion der Zähne an der kariösen Stelle bis hin zu Serienschnitten, die eine Dicke zwischen 250 und 1000 µm aufweisen können [Huysmans und Longbottom 2004]. Auch zur Untersuchung der Zahnhartschnitte stehen verschiedene Methoden zur Verfügung. So ist es zum Beispiel möglich, die Zahnhartschnitte mit bloßem Auge zu untersuchen, Röntgenaufnahmen von den Zahnhartschnitten anzufertigen oder die Schnitte mit einem fokussierten Laserstrahl abzuscannen (Konfokale Laser-Scanning-Mikroskopie, CLSM) [Hintze et al. 1995, Ricketts et al. 1998]. Die Zahnhartschnitte können auch mit Rhodamin B angefärbt werden, wobei kariöse Bereiche selektiv dargestellt werden [Rodrigues et al. 2008].

Nach *Hintze et al.* [1995] gilt die Untersuchung von Zahnhartschnitten unter dem Stereomikroskop als die derzeit am besten geeignete Methode zur Erfassung der okklusalen Karies. Da die Zahnkaries als eine „mikroskopische“ Läsion beginnt, ist es sinnvoll, auch die Mikroskopie für die Beurteilung der Ausdehnung der Läsion anzuwenden [Burket 1941]. Die Ausdehnung der Karies in Zahnhartschnitten wird üblicherweise nach den Klassifizierungen von *Downer* [1975] oder *Ekstrand et al.*

[1997] angegeben. *Huysmans* und *Longbottom* [2004] wiesen für die Reproduzierbarkeit der histologischen Untersuchungen in Kariesdiagnostikstudien Kappa-Werte zwischen $\kappa = 0,37$ und $0,93$ für die Intra-Untersucher-Reproduzierbarkeit und zwischen $\kappa = 0,44$ und $0,75$ für die Inter-Untersucher-Reproduzierbarkeit nach.

Jablonski-Momeni et al. [2009] ermittelten in einer Studie zur Reproduzierbarkeit der Befundung von Zahnschnitten unter dem Mikroskop einen durchschnittlichen gewichteten Kappa-Wert von $\kappa = 0,83$ (ungewichtet $\kappa = 0,75$) für die Intra-Untersucher-Reproduzierbarkeit von vier Untersuchern. Die Inter-Untersucher-Reproduzierbarkeit ergab einen durchschnittlichen gewichteten Kappa-Wert von $\kappa = 0,74$ (ungewichtet $\kappa = 0,64$).

In neuesten Untersuchungen von *Jablonski-Momeni et al.* [2010] wurde die Anwendung von Diagnodent an Zahnhartschnitten überprüft. Die Korrelation zwischen den histologischen Befunden und den Laserfluoreszenzmessungen an Zahnhartschnitten lag im mittleren Bereich ($r_s = 0,56$). Ein Vergleich der Befunde zeigt, dass bei fast allen Messpunkten, die histologisch als gesund eingestuft wurden, auch mit der Laserfluoreszenzmessung keine kariösen Läsionen entdeckt wurden. In der Detektion von Dentinläsionen hingegen waren die Ergebnisse nicht so eindeutig. Der Vergleich mit den histologischen Befunden verdeutlicht, dass sich die Ausdehnung kariöser Läsionen am Zahnhartschnitt mit dieser Methode nicht zuverlässig erfassen lässt. Vor dem Hintergrund dieser Ergebnisse muss die klassische Untersuchung von Zahnhartschnitten im Mikroskop weiterhin als Goldstandard der Kariesdiagnose gelten.

3 Zielsetzung und Fragestellung

Die Zahnkaries stellt neben Parodontopathien die häufigste Erkrankung der Mundhöhle dar. In den letzten Jahren war ein deutlicher Kariesrückgang bei Kindern und Jugendlichen in der Bundesrepublik Deutschland zu verzeichnen [Pieper et al. 2005]. Auch bei Erwachsenen und Senioren konnte ein Rückgang des Kariesbefalls festgestellt werden [Micheelis und Schiffner 2006, Schiffner et al. 2009]. Für die Fissurenkaries jedoch wurde nur ein begrenzter Rückgang ermittelt [Pieper 1997a, Pieper 1997b]. Dieser Kariesrückgang ist unter anderem durch verstärkte Kariesprophylaxe, veränderte Ernährungsgewohnheiten und vor allem eine intensiviertere Anwendung von Fluoriden in Form von Fluoridtabletten, in Trinkwasser (systemisch) oder als lokal angewendete Kariostatika, zu erklären [Dünninger und Pieper 1991, Feyerskov et al. 1996]. Dabei hat sich auch das Erscheinungsbild der Karies verändert. Die Verschiebung der Ausprägung von kariösen Läsionen hat zur Folge, dass die Karies nicht mehr ausschließlich auf Kavitationsniveau erfasst wird. Durch den steten Prozess der De- und Remineralisierung wird Karies heute als ein dynamischer Prozess verstanden, der Fortschritt, Stillstand oder sogar den Rückgang einer Läsion bedeuten kann. Für den praktizierenden Zahnarzt ergibt sich daraus die Notwendigkeit der Erkennung von Karies in den frühesten Anfangsstadien und zur Ableitung der richtigen Therapieentscheidung aus der erhobenen Diagnose. Wie bereits beschrieben stehen dem Zahnarzt verschiedene Verfahren der Kariesdiagnose zur Verfügung, beispielsweise die visuelle Methode ICDAS-II oder die Kariesdiagnose mittels Fluoreszenzmessung.

Vor dem Hintergrund der Weiter- und Neuentwicklung von Fluoreszenzverfahren zur Diagnose der okklusalen Karies sollten daher in der vorliegenden Studie folgende Fragen beantwortet werden:

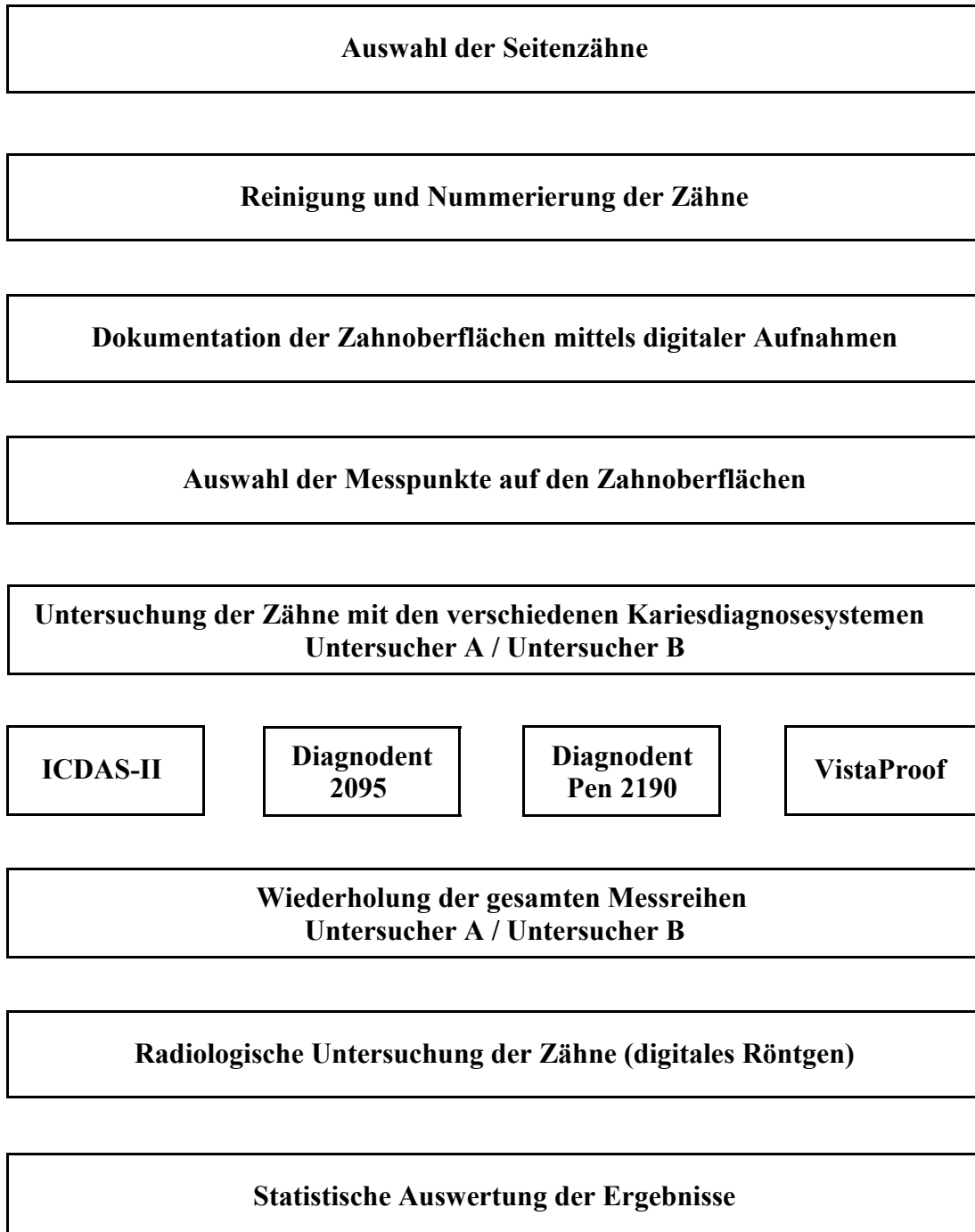
- Inwieweit sind die Befunde der verschiedenen Kariesdiagnosesysteme ICDAS-II, Diagnodent, Diagnodent Pen und VistaProof von einem erfahrenen und einem unerfahrenen Untersucher reproduzierbar?
- Wie korrelieren diese verschiedenen Kariesdiagnosesysteme miteinander?

- Wie korrelieren diese Kariesdiagnosesysteme mit der radiologischen Kariesdiagnostik?
- Inwieweit können Dentinläsionen mit dem ICDAS-II-Verfahren sowie den einzelnen Fluoreszenzsystemen erfasst werden?

4 Material und Methode

4.1 Versuchsdesign

Tab. 4.1: Versuchsplan



4.2 Material

4.2.1 Auswahl und Vorbereitung des Untersuchungsmaterials

Für die Studie wurden menschliche, extrahierte Zähne der bleibenden Dentition in Zahnarztpraxen gesammelt und in Thymollösung aufbewahrt. Die Patienten wurden über die Verwendung der Zähne zu Forschungszwecken informiert und gaben ihr schriftliches Einverständnis. Für die Studie standen 53 Zähne (47 Molaren, 6 Prämolaren) zur Verfügung. Zähne mit Füllungen oder Strukturanomalien wurden nicht eingeschlossen. Zur Entfernung von anhaftendem Weichgewebe, Zahnstein, Plaque und exogenen Verfärbungen erfolgte eine Reinigung der Zähne mit einem Handscaler, Bürstchen und Polierpaste. Anschließend wurden die Zähne in Wasser aufbewahrt.



Abb. 4.1: Leica DFC Kamera mit Leica Z6 APO Mikroskopobjektiv

4.2.2 Kodierung der Prü fzähne

Jeder Zahn wurde mit einer fortlaufenden Nummer markiert. Vor den Untersuchungen wurden die Okklusalfächen der Zähne mit einer Leica DFC Kamera mit Leica Z6 APO Mikroskopobjektiv (Leica Microsystems, Wetzlar) und mit der Leica Qwin Software fotografisch dokumentiert und entsprechend der Zahnnummer archiviert (Abb. 4.1 und Abb. 4.2).

4.2.3 Auswahl der Messpunkte

Schwarzweißkopien der digitalen Aufnahmen der Zähne wurden erstellt und die zu untersuchenden Messpunkte auf den Aufnahmen markiert. Ein bis drei Messpunkte wurden im Grübchen- und Fissurensystem eines Zahnes ausgewählt (Tab. 4.2 und Abb. 4.2).

Tab. 4.2: Verteilung der Messpunkte auf zu untersuchende Zähne

Anzahl der Messpunkte je Okklusalfäche	1	2	3
Anzahl der Zähne	17	26	10
Summe der Messpunkte	99		

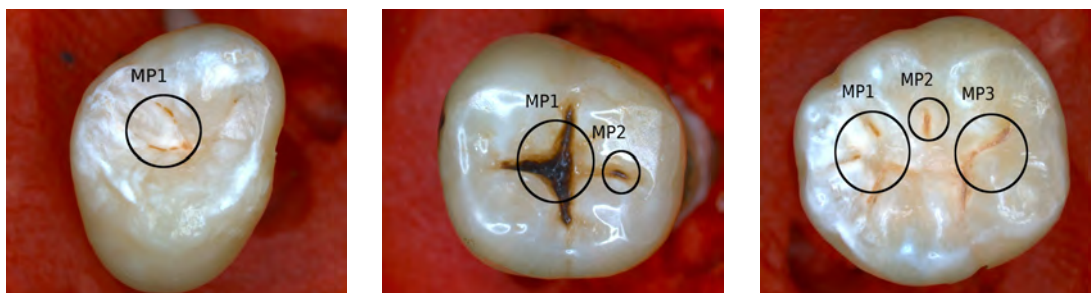


Abb. 4.2: Digitale Aufnahmen mit ausgewählten Messpunkten

4.3 Methode

4.3.1 Untersucher








Um eine exakte Befundung der Untersucher zu sichern und die Validität der Befunde zu gewährleisten, wurden im Vorfeld der In-vitro-Studie methodenbezogene Kalibrationen durchgeführt. Die Vermittlung der theoretischen Grundlagen und das praktische Training wurden von einer trainierten und klinisch erfahrenen Zahnärztin

durchgeführt (Untersucher A, 10 Jahre Berufserfahrung). Untersucher B (Student, 10. Fachsemester Zahnmedizin) wurde von Untersucher A durch ein theoretisches und praktisches Training in das ICDAS-II-Kariesdiagnosesystem eingewiesen. In einer zweistündigen Präsentation wurden die verschiedenen ICDAS-II-Codes erläutert und anhand von Beispielen erklärt. Dabei wurde hervorgehoben, dass es für die Diagnose bedeutend ist, die Zähne sowohl im feuchten als auch im trockenen Zustand zu untersuchen. Ebenso ist die vorhergehende Zahnreinigung eine unverzichtbare Maßnahme zur genauen Beurteilung der Läsionen. An klinischen Bildern von kariösen Zähnen wurde die graduelle Einteilung des ICDAS-II-Verfahrens demonstriert. Die Aufmerksamkeit des Untersuchers wurde dabei auf kleinste subtile Veränderungen am Zahn gelenkt, die im histologischen Bild ausgeprägte Befunde erkennen ließen und die zur Entscheidungsfindung und Einteilung in das Scoring-System des ICDAS-II-Verfahrens wichtig sind. Im Anschluss an den Vortrag wurden zur Vertiefung der korrekten Diagnosestellung 20 Aufnahmen von Okklusalfächern, die alle Ausprägungen des ICDAS-II-Scorings umfassten, zusammen beurteilt. Abweichende Diagnosen wurden gemeinsam diskutiert. Anschließend wurde das Verfahren an 20 extrahierten Zähnen geübt. Die Zähne wurden untersucht, befundet und die Diagnosen wurden im Anschluss besprochen, bei Abweichungen wurde das Ergebnis diskutiert, bis ein Konsens gefunden wurde.

4.3.2 Visuelle Untersuchung

Die visuelle Beurteilung der feucht gelagerten Zähne wurde von beiden Untersuchern nach den Kriterien des ICDAS-II (Tab. 4.3) im Phantom-Kurssaal bei standardisierter Beleuchtung durch eine zahnärztliche Operationsleuchte durchgeführt. Die Zähne wurden unabhängig voneinander in einer randomisierten Reihenfolge untersucht und die Befunde in entsprechende Dokumentationsbögen eingetragen (Anhang I). Bei Bedarf wurden die Zähne mit einer Multifunktionsspritze (Püster) luftgetrocknet. Zwischen den Untersuchungen wurde darauf geachtet, dass die Zähne nicht austrockneten und in Wasser gelagert wurden. Jeder Untersucher führte die Untersuchungen zweimal im Abstand von einem Tag durch.

Tab. 4.3: ICDAS-II-Kriterien zur Diagnose der Okklusalkaries (Quelle: ICDAS Coordinating Committee 2005)

ICDAS-II	Beschreibung	Beispiel
Code 0	Keine sichtbare Karies nach Trocknung im Luftstrom (ca. 5 s). Veränderungen wie Schmelzhypoplasie, Fluorose, Attrition, Erosion, intrinsische und extrinsische Verfärbungen werden ebenfalls mit 0 befundet.	
Code 1	Erste visuelle Veränderungen in der Schmelzoberfläche, die erst nach Trocknung des Zahns sichtbar sind. Die Veränderungen können Opazitäten, weißliche oder bräunliche Verfärbungen sein und sind auf Fissuren und Grübchen beschränkt	
Code 2	Deutliche visuelle Veränderungen in der Schmelzoberfläche bereits am feuchten Zahn, die sich wie folgt zeigen können: Opazitäten im Sinne einer White-Spot-Läsion und /oder bräunliche kariöse Verfärbungen in den Fissuren/Grübchen. Die Veränderungen müssen auch am getrockneten Zahn noch sichtbar sein.	
Code 3	Demineralisation bzw. Verlust der Schmelzstruktur im Bereich der Fissuren, ohne sichtbares Dentin. Die Opazitäten und/oder bräunliche oder schwarze kariöse Veränderungen dehnen sich über die Grenze der Fissuren/Grübchen aus und sind auch nach Trocknung des Zahns sichtbar. Ggf. kann eine WHO-Sonde vorsichtig über den Schmelzdefekt geführt werden, um so die Diskontinuität der Schmelzoberfläche zu tasten.	
Code 4	Schattenbildung im Dentin ausgehend von Fissuren/Grübchen, mit oder ohne Schmelzeinbruch. Die Schattenbildung ist am feuchten Zahn leichter zu diagnostizieren und kann gräulich, bläulich oder bräunlich sein.	
Code 5	Deutliche Kavitätenbildung mit sichtbarem Dentin. Am getrockneten Zahn ist der Schmelzverlust am Eingang der Fissuren/Grübchen deutlich sichtbar. Ggf. kann die WHO-Sonde verwendet werden, um das freiliegende Dentin zu ertasten.	
Code 6	Großflächige Kavitätenbildung, dabei ist das Dentin in der Breite und Tiefe des Zahns deutlich sichtbar. Mindestens die Hälfte der Schmelzoberfläche ist kariös zerstört, die Pulpa kann möglicherweise auch betroffen sein.	

4.3.3 Laserfluoreszenzmessungen mit Diagnodent und Diagnodent Pen

Für die Laserfluoreszenzuntersuchungen standen die beiden Laserfluoreszenzsysteme Diagnodent 2095 und Diagnodent Pen 2190 von KaVo (Biberach, Deutschland) zur Verfügung (Abb. 4.3 und Abb. 4.6). Untersucher A und B führten unabhängig voneinander mit jedem Gerät die Messungen durch. Diese wurden am selben Tag wiederholt.

Die beiden Laserfluoreszenzgeräte Diagnodent und Diagnodent Pen wurden vor jeder Untersuchungsreihe entsprechend der Betriebsanleitung an einem Keramikblöckchen kalibriert. Ebenso wurde vor der Untersuchung eines jeden Zahnes das Gerät bzw. die Sonde individuell auf den zu untersuchenden Zahn eingestellt. Hierzu wird die Lichtsonde an eine gesunde Stelle des Zahnes gehalten und der Ringtaster an der Ringhülse betätigt, bis der Signalton zweimal ertönt. Die Untersuchungen wurden mit den für okklusale Flächen bestimmten Sondenaufsätzen A (Kegelform) fürs Diagnodent (Abb. 4.4 und Abb. 4.5) und der zylinderförmigen Fissur-Sonde F (blau) fürs Diagnodent Pen (Abb. 4.7 und Abb. 4.8) durchgeführt, die entsprechende Funktion wurde am Gerät eingestellt. Die Zähne wurden in Wasser feucht gehalten und kurz vor der Untersuchung ca. 5 Sek. mit einer Multifunktionsspritze (Püster) getrocknet. Der zu untersuchende Messpunkt wurde anhand der digitalen Aufnahme des Zahnes identifiziert (Anhang II). Zur Ermittlung des Wertes wurde die Sonde ohne Druck und mit leichten Pendelbewegungen über die zu untersuchende Läsion geführt, bis der höchste Wert auf dem Display erschien. Dieser Peak-Wert wurde für jeden Messpunkt dokumentiert (Anhang III). Die gemessenen Scores können Werte zwischen 0 und 99 annehmen. Der Hersteller empfiehlt eine Kategorisierung der Fluoreszenzwerte entsprechend der klinischen Relevanz nach *Lussi* [2000] und *Lussi et al.* [2001] (Tab. 4.4). Neuere Studien von *Lussi und Hellwig* [2006] sowie *Rodrigues et al.* [2008] stellen eine neue Kategorisierung der Laserfluoreszenz-Schwellenwerte als klinisch relevant vor (Tab 4.5). Diese Klassifizierung wurde auch in dieser Studie verwendet.



Abb. 4.3: Diagnodent 2095



Abb. 4.4: Diagnodent 2095 Sondenaufsätze A und B



Abb. 4.5: Diagnodent 2095 Sondenaufsatz A während der Untersuchung



Abb. 4.6: Diagnodent Pen 2190



Abb. 4.7: Diagnodent Pen 2190 Sondenaufsätze zylindrisch und konisch



Abb. 4.8: Diagnodent Pen 2190 Sondenaufsatz zylindrisch während der Untersuchung

Tab. 4.4: Einteilung der Schwellenwerte für das Diagnodent nach Herstellerangaben [Lussi 2000, Lussi et al. 2001]

Diagnodent Kategorien	Status der Läsion	Therapie
0 – 14	gesund	Normale Prophylaxe-Maßnahmen
15 – 20	Schmelzkaries	Intensive Prophylaxe-Maßnahmen
21 – 30	Dentinkaries	Minimalinvasive restaurative Verfahren und intensive Prophylaxe
ab 30	Dentinkaries	Restaurative Verfahren und intensive Prophylaxe

Tab. 4.5: Schwellenwerte für Diagnodent, Diagnodent Pen und VistaProof [Lussi und Hellwig 2006, Rodrigues et al. 2008]

Histologie (nach Downer 1975)	Schwellenwerte		
	DD	DDPen	VP
D0 (gesund)	I (0 – 7)	I (0 – 6)	I (0 – 1,262)
D1 (Schmelzkaries, auf äußere Schmelzhälfte beschränkt)	II (8 – 14)	II (7 – 13)	II (1,263 – 1,299)
D2 (Schmelzkaries, bis zur inneren Schmelzhälfte)	III (15 – 24)	III (14 – 17)	III (1,300 – 1,319)
D3, D4 (Dentinkaries)	IV (> 24)	IV (> 17)	IV (> 1,319)

4.3.4 Fluoreszenzmessung mit VistaProof

Die Fluoreszenzaufnahmen wurden mit der VistaProof-Kamera (VP) von Dürr Dental (Bietigheim-Bissingen, Deutschland) und dem auf einem Laptop installierten Programm DBSwin in einem abgedunkelten Raum bei einer konstanten Zimmertemperatur von 18 – 22 °C durchgeführt (Abb. 4.9). Beide Untersucher führten unabhängig voneinander mit dem Gerät zwei Messungen durch und wiederholten sie innerhalb von einem Tag.

Die Fluoreszenzaufnahmen erfolgten in einem Zeitraum von maximal 10 Tagen nach der Extraktion. Um Positionsänderungen während der Aufnahme zu vermeiden und um einen standardisierten Abstand der Kamera von dem Zahn zu gewährleisten, wur-

de immer der lange Abstandhalter verwendet (Abb. 4.10). Der zu untersuchende Zahn wurde getrocknet und auf Fotoknete fixiert. Die okklusale Fläche des Zahnes wurde mit der digitalen Aufnahme abgeglichen und die Messpunkte wurden anhand der Markierung identifiziert (Anhang II). Hatte man nun den gewünschten Messpunkt mit der Kamera erfasst und das entsprechende Bild auf dem Bildschirm, wurde das Bild aufgenommen. Dieses konnte nun nochmals begutachtet und anschließend gespeichert werden. Von jedem Messpunkt wurden so zwei Aufnahmen erstellt. Das Handstück der VistaProof-Kamera wurde während der Aufnahme immer in 6-Uhr-Position gehalten, um evtl. Bilddreher zu vermeiden.

Die Bildanalyse erfolgte durch das Programm DBSwin. Die Software hebt die kariösen Läsionen hervor und definiert auf einer Skala von 0 – 4 deren Kariesaktivität. Der Grad der kariösen Läsion wird für den Anwender visualisiert (Abb. 4.11 und Abb. 4.12). Die grüne Farbe stellt dabei gesunden Zahnschmelz dar. Die Falschfarben Rot, Blau, Orange und Gelb stellen den jeweiligen Grad der kariösen Läsion von D1 bis D4 dar. Die Fluoreszenzaufnahmen wurden zur späteren Auswertung auf dem Computer gespeichert. Für die Auswertung wurden die maximalen Werte eines jeden Messpunktes auf den Fluoreszenzaufnahmen abgelesen und in Dokumentationsbögen eingetragen (Anhang IV).



Abb. 4.9: In-vitro-Versuchsaufbau VistaProof



Abb. 4.10: Verwendung des langen Abstandhalters der VistaProof-Kamera

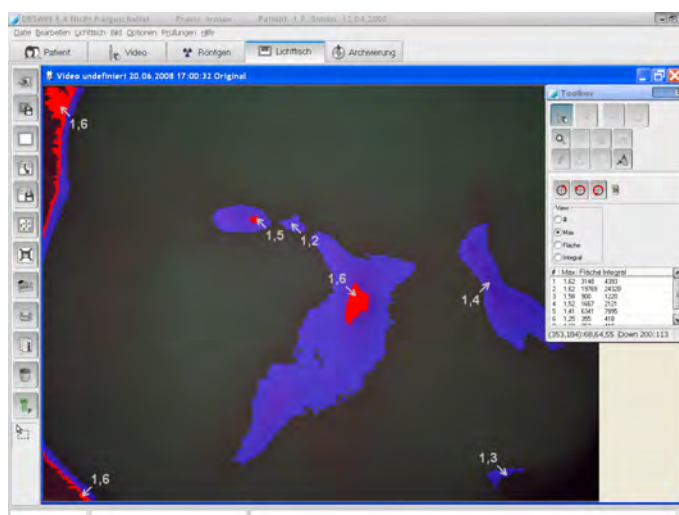


Abb. 4.11: Auswertungsbildschirm in DBSwin

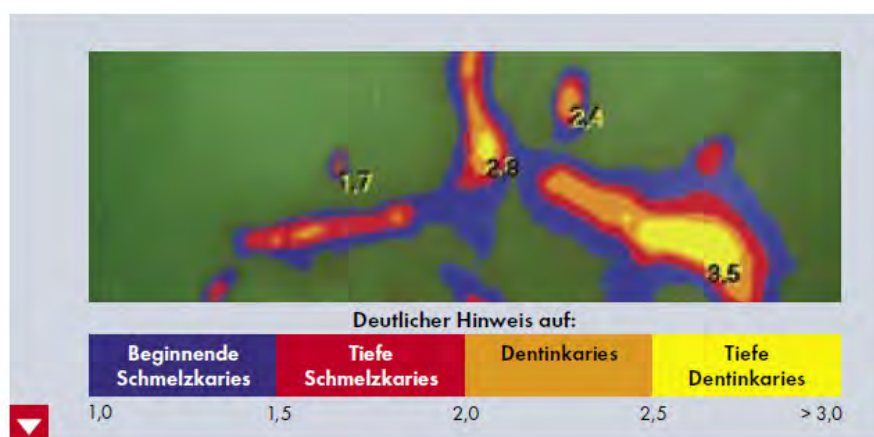




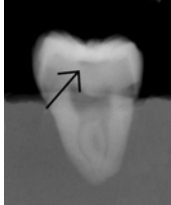
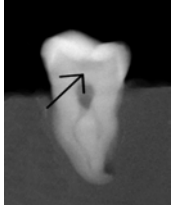
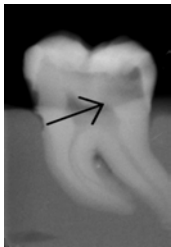
Abb. 4.12: Optische und numerische Auswertung der Kariesaktivität (Quelle: Broschüre VistaProof „Karies- und Plaquediagnostik“, Dürr Dental, 2007)

4.3.5 Radiologische Untersuchung

4.3.5.1 Digitale Röntgenaufnahmen

Die Erstellung der Einzelzahnfilme erfolgte mit dem Digora-System (Fa. Gendex, Hamburg), wobei die Digora-Speicherfolien mit den Maßen 3 x 4 cm, mit einer Auflösung von 592 x 444 Pixel und einer Dateigröße von ungefähr 263 KByte zur Speicherung der Röntgenaufnahmen verwendet wurden. Als Strahlenquelle diente der Röntgenstrahler Oralix 65[®] (Fa. Philips Gendex, Hamburg) als Wandstativ. Die Röhrenspannung betrug unveränderliche 65 kV bei einer Stromstärke von 6,5 mA. Die geeignete Belichtungszeit mit den besten Ergebnissen in Kontrast und Bildrauschen wurde in Vorversuchen ermittelt. Die Belichtungsdauer betrug 10 ms für die Prämolaren und 12 ms für die Molaren. Die belichteten Speicherfolien wurden mit einem Scanner (Digora Optine, Gendex, Hamburg) eingelesen und gespeichert.

Tab. 4.6: Radiologische Klassifizierung kariöser Läsionen nach *Ekstrand et al.* [1997]

Score	Beispiel	Score	Beispiel
0: keine sichtbare Radioluzenz		1: Radioluzenz im Schmelz sichtbar	
2: Radioluzenz im äußeren Drittel des Dentins		3: Radioluzenz bis zum mittleren Drittel des Dentins	
4: Radioluzenz im pulpanahen Drittel des Dentins			

4.3.5.2 Befundung

Die Befundung der digitalen Aufnahmen wurde an einem eigens für die Bildbetrachtung zugelassenen 18-Zoll-Farbmonitor (FlexScan L768, EIZO, Avnet Technology Solutions GmbH, Nettetal, Deutschland) und mit der Digora-Bildbearbeitungssoftware durchgeführt. Die Einteilung der Tiefenausdehnung der Karies erfolgte nach den in Tabelle 4.6 dargestellten Kriterien.

4.3.6 Statistische Auswertung

Die erhobenen Daten wurden zunächst auf Dokumentationsbögen notiert und danach in ein Tabellenkalkulationsprogramm (MSEXcel) übertragen. Zur statistischen Auswertung erfolgte der Datentransfer von Excel in SPSS, Version 14.0.

Cohens Kappa

Als Maß für die Reproduzierbarkeit wurde für das ICDAS-II-Verfahren Cohens Kappa berechnet. Dieser bestimmt die Übereinstimmung bei verschiedenen Untersuchern (Inter-Untersucher-Reproduzierbarkeit) und die Konstanz jedes einzelnen Untersuchers (Intra-Untersucher-Reproduzierbarkeit). Die Bewertung des Kappa-Wertes (κ) erfolgte entsprechend der folgenden Einteilung nach *Landis und Koch* [1977]:

$\kappa = 0,00 - 0,20$ geringe, $\kappa = 0,21 - 0,40$ ausreichende, $\kappa = 0,41 - 0,60$ moderate, $\kappa = 0,61 - 0,80$ substantielle und $\kappa = 0,81 - 1,00$ fast perfekte Übereinstimmung.

Neben dem einfachen wurde auch der gewichtete Kappa-Koeffizient berechnet, der für ordinale Skalen besser geeignet ist [Cohen 1968]. Prinzip des gewichteten Kappa ist es, dass, wenn wie in unserem Falle Skalen-Werte zwischen 0 und 6 zur Verfügung stehen, eine Diskordanz zwischen den Werten 0 und 1 als weniger gravierend zu bewerten ist als eine Diskordanz zwischen 0 und 2 usw. Entsprechend weist man geringen Diskordanzen kleine Gewichte und starken Diskordanzen große Gewichte zu. Die Gewichtung wirkt sich wie folgt auf den Kappa-Wert aus: wenn die Abweichungen hauptsächlich aus geringer gewichteten Werten bestehen, ergibt sich ein höherer Kappa-Wert. Bestehen sie hauptsächlich aus stärker gewichteten Werten, resultiert ein niedriger Kappa-Wert. Für die Berechnungen wurde der Cicchetti-Allison Weight mit dem Programm ComKappa (Version 1.0, Copyright 1997, Bakeman & B. F. Robinson) verwendet (lineare Gewichtung).

Intraclass Correlation Coefficient (ICC)

Für die Laserfluoreszenzmessungen wurde der Intraclass Correlation Coefficient (ICC, Intra-Klassen-Korrelationskoeffizient) zur Beurteilung der Reproduzierbarkeit berechnet. Es können Werte zwischen + 1 und – 1 auftreten, wobei für die Interpretation der ICC folgende Einteilung gewählt wurde:

0 – 0,3 geringe Korrelation, 0,3 – 0,7 moderate und 0,7 – 1,0 hohe Korrelation.

Bland-Altman-Plots

Bland-Altman-Plots wurden zur Untersuchung der Vergleichbarkeit der Messmethoden zwischen zwei Untersuchern (Inter-Untersucher-Reproduzierbarkeit) und zur Intra-Untersucher-Reproduzierbarkeit erstellt [Fleiss 1981, Bland und Altman 1986]. Dafür wurden für jeden Beobachtungspunkt die Mittelwerte und die Differenzen der beiden zu vergleichenden Messungen berechnet. In einem Koordinatensystem wurden dann die Mittelwerte der beiden zu vergleichenden Messungen auf der X-Achse und die Differenzen auf der Y-Achse abgetragen. Um die “limits of agreement“ zu konstruieren, wurde die Standardabweichung der Messwertdifferenzen s berechnet. Die Grenzen ergeben sich dann als Mittelwert der Differenzen + 1.96 s und Mittelwert der Differenzen – 1.96 s . Im Idealfall beträgt der Mittelwert der Differenzen 0 (mittlere Linie).

Wenn der Mittelwert negativ ist, zeigt das, dass die Messwerte der Wiederholungsmessung bzw. des zweiten Untersuchers im Mittel kleiner sind als die ersten Messwerte. Je enger die obere und die untere Referenzlinie bei der mittleren Linie liegen, desto besser. Zwischen beiden äußeren Linien liegen in etwa 95 % der Messwertdifferenzen.

Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman (r_s)

Der Korrelationskoeffizient nach Spearman wurde zur Überprüfung der Korrelation der Diagnoseverfahren verwendet. Der Korrelationskoeffizient wird mit r symbolisiert und liegt zwischen – 1 und + 1, wobei ein Betrag nahe + 1 einen starken und ein Betrag nahe 0 einen schwachen Zusammenhang bedeutet. Ein negativer Korrelationskoeffizient bedeutet einen gegenläufigen Zusammenhang. Zur Beschreibung der Größe des Korrelationskoeffizienten (r_s) wurde die Einteilung nach *Ricketts et al.* [1998] gewählt: $r_s = 0 – 0,3$ geringe Korrelation, $r_s = 0,3 – 0,7$ moderate und $r_s = 0,7 – 1,0$ hohe Korrelation.

Kreuztabellen

Die Verteilung der Befunde der verschiedenen Kariesdiagnoseverfahren wurden anhand von Kreuztabellen im Vergleich zur radiologischen Kariesdiagnose dargestellt.

5 Ergebnisse

5.1 Reproduzierbarkeit des visuellen Kariesdiagnosesystems

Um die Konstanz der Untersucher für das visuelle Kariesdiagnosesystem ICDAS-II zu ermitteln, wurden für Untersucher A und B einfache und gewichtete Kappa-Werte berechnet. Tabelle 5.1 zeigt die Kappa-Werte für die Inter- und Intra-Untersucher-Reproduzierbarkeit.

Tab. 5.1: Intra- und Inter-Untersucher-Reproduzierbarkeit des ICDAS-II-Kariesdiagnosesystems für Untersucher A und B

Untersucher	einfache (gewichtete) Kappa-Werte	
	A	B
A	0,73 (0,78)	0,60 (0,74)
B	-	0,47 (0,70)

Aus der Tabelle 5.1 wird deutlich, dass die einfachen Kappa-Werte der ICDAS-II-Messungen für die Inter-Untersucher-Reproduzierbarkeit im moderaten Bereich ($\kappa = 0,60$) liegen und die gewichteten Kappa-Werte im substantiellen Bereich ($\kappa = 0,74$). Für die Intra-Untersucher-Reproduzierbarkeit von Untersucher A liegen sowohl der einfache als auch der gewichtete Kappa-Wert im substantiellen Bereich ($\kappa = 0,73$ bzw. $\kappa = 0,78$). Untersucher B weist für die Intra-Untersucher-Reproduzierbarkeit einen einfachen Kappa-Wert von $\kappa = 0,47$ auf, womit die Konstanz des Untersuchers im moderaten Bereich liegt. Der entsprechende gewichtete Kappa-Wert von $\kappa = 0,70$ liegt im substantiellen Bereich.

5.2 Reproduzierbarkeit der Fluoreszenzmessungen

Die Ergebnisse der Reproduzierbarkeit für die Fluoreszenzmessungen mit dem Diagnost, dem Diagnodent Pen und für die VistaProof-Messungen sind für Untersucher A und B in Tabelle 5.2 dargestellt. Für die Intra- und Inter-Untersucher-Reproduzierbarkeit wurde der Intra-Klassen-Korrelationskoeffizient (ICC) berechnet.

Tab 5.2: Intra- und Inter-Untersucher-Reproduzierbarkeit für Untersucher A und B

	ICC für Intra-Untersucher-Reproduzierbarkeit		
Intra-Untersucher	DD	DDPen	VP
Untersucher A	0,95	0,97	0,81
Untersucher B	0,98	0,98	0,95
	ICC für Inter-Untersucher-Reproduzierbarkeit		
Inter-Untersucher	DD	DDPen	VP
Untersucher A vs. B	0,86	0,93	0,76

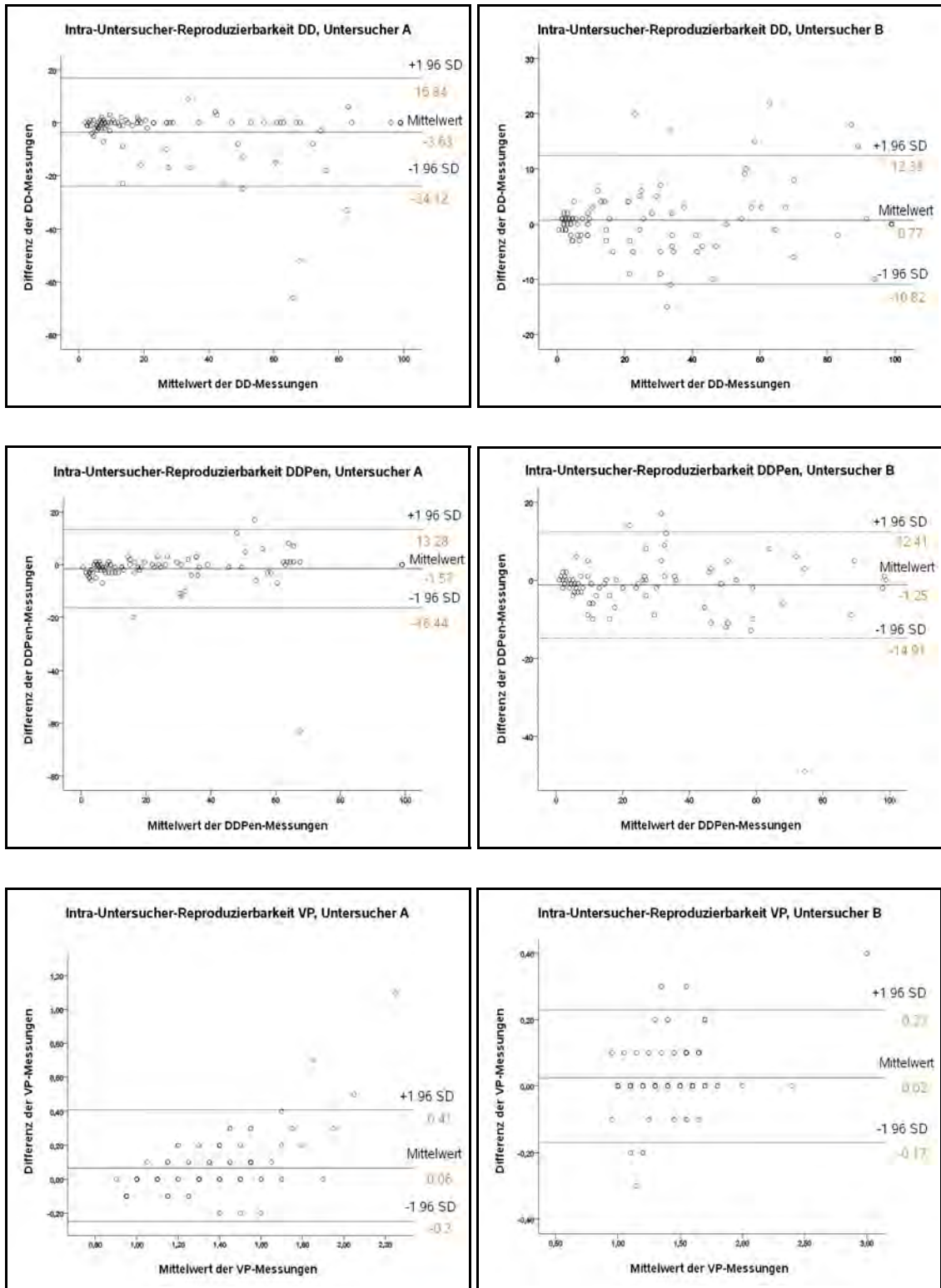
Die Intra-Untersucher-Übereinstimmung liegt für alle drei Kariesdiagnosesysteme Diagnodent, Diagnodent Pen und VistaProof für Untersucher A und B im hohen Bereich ($ICC = 0,81 - 0,98$). Die Ergebnisse für die Diagnodent- und die Diagnodent-Pen-Messung von Untersucher B weisen mit einem Wert von $ICC = 0,98$ die höchste Konstanz auf. Für die VistaProof-Messung von Untersucher A wurde der niedrigste Wert der Intra-Untersucher-Reproduzierbarkeit ermittelt, der aber mit $ICC = 0,81$ immer noch im Bereich der hohen Übereinstimmung liegt.

Zwischen den Messreihen der Untersucher A und B wurde mit dem Diagnodent Pen mit einem Wert von $ICC = 0,93$ die höchste Übereinstimmung ermittelt. Zwischen den Diagnodent-Messreihen wurde eine Übereinstimmung von $ICC = 0,86$ und zwischen den Messreihen des VistaProof eine Übereinstimmung von $ICC = 0,76$ festgestellt. Damit liegt auch die Inter-Untersucher-Reproduzierbarkeit für alle drei Fluoreszenzverfahren im hohen Bereich.

5.1.2 Bland-Altman-Plots zur Bestimmung der Intra-Untersucher-Reproduzierbarkeit

Zur Beurteilung der Übereinstimmung der beiden Messreihen von Untersucher A und Untersucher B wurden Bland-Altman-Plots für die Messungen mit dem Diagnodent, Diagnodent Pen und VistaProof erstellt. Dafür werden für jeden Beobachtungspunkt die Mittelwerte und die Differenzen der beiden zu vergleichenden Messungen berechnet. Ebenso wurden die „limits of agreement“ (Übereinstimmungsgrenzen) konstruiert (Tab. 5.3). Die Spanne zwischen den oberen und unteren „limits of agreement“ entspricht dem Intervall, in dem 95 % der Messungen reproduzierbar sind.

Tab. 5.3: Bland-Altman-Plots für die Intra-Untersucher-Reproduzierbarkeit der VistaProof-, Diagnodent- und Diagnodent-Pen-Messungen



Für die Intra-Untersucher-Reproduzierbarkeit der Diagnodent-Messung von Untersucher A wurde ein Mittelwert der Differenzen von $-3,63$ ermittelt. Die 95 % Übereinstimmungsgrenzen lagen zwischen $16,84$ und $-24,12$. Für Untersucher B ergab die Intra-Untersucher-Reproduzierbarkeit der Diagnodent-Messung einen Mittelwert von $0,77$. Die Übereinstimmungsgrenzen lagen hier zwischen $12,38$ und $-10,82$.

Die Intra-Untersucher-Reproduzierbarkeit für die Diagnodent-Pen-Messung des Untersuchers A ergab einen Mittelwert von $-1,57$, wobei die Übereinstimmungsgrenzen im Bereich von $13,28$ bis $-16,44$ lagen. Für die Diagnodent-Pen-Messung von Untersucher B konnte ein Mittelwert von $-1,25$ ermittelt werden und die Übereinstimmungsgrenzen lagen im Bereich von $12,41$ bis $-14,91$.

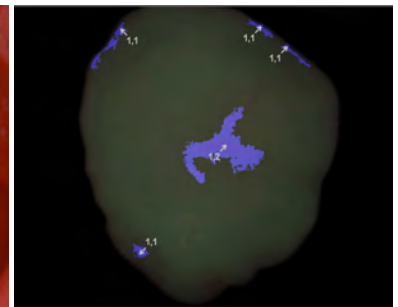
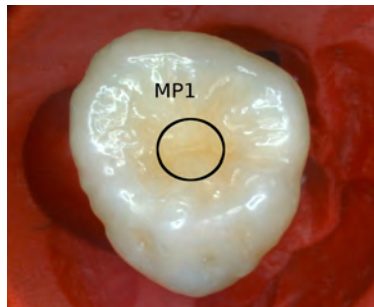
Für die Intra-Untersucher-Reproduzierbarkeit der VistaProof-Messungen wurde für Untersucher A ein Mittelwert von $0,06$ und Untersucher B ein Mittelwert von $0,02$ ermittelt. Die Übereinstimmungsgrenzen lagen bei der VistaProof-Messung für Untersucher A zwischen $0,41$ und $-0,30$ und Untersucher B zwischen $0,23$ und $-0,17$.

5.3 Korrelation zwischen den einzelnen Fluoreszenzverfahren

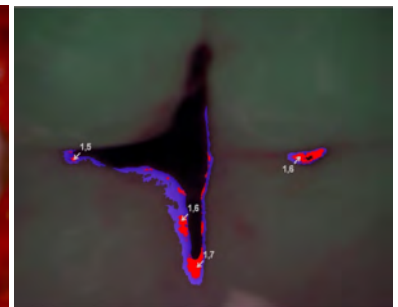
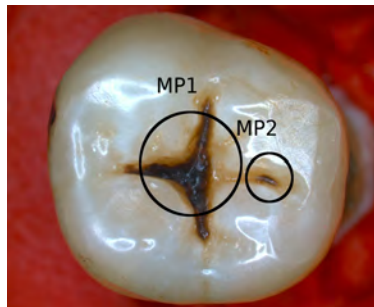
In Tabelle 5.4 ist exemplarisch für jeden ICDAS-II-Code der korrespondierende Laserfluoreszenzwert der Diagnodent-Messung, der Diagnodent-Pen-Messung und der Wert der VistaProof-Messung dargestellt. Daneben sind die Okklusalfäche des Zahnes mit dem entsprechenden Messpunkt sowie die Aufnahme mit dem VistaProof im Kariesmodus abgebildet.

Tab. 5.4: Beispiele für die ICDAS-II-Codes mit den korrespondierenden Ergebnissen der Diagnodent-, Diagnodent-Pen- und VistaProof-Befunde

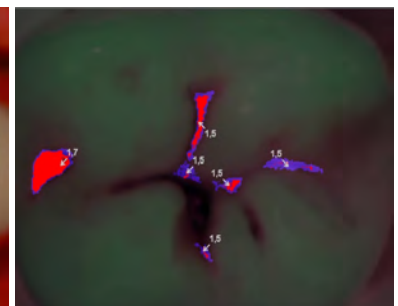
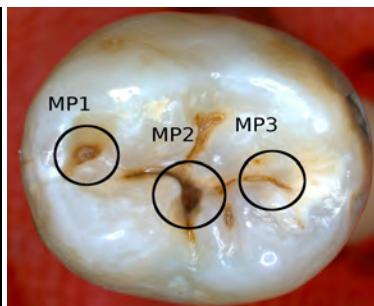
Befunde	
Messpunkt	1
ICDAS-II	0
DD	9
DDPen	6
VP	1,2



Befunde		
Messpunkt	1	2
ICDAS-II	3	1
DD	23	10
DDPen	68	37
VP	1,6	1,5



Befunde			
Messpunkt	1	2	3
ICDAS-II	3	5	4
DD	74	33	45
DDPen	99	76	84
VP	1,9	1,6	1,6



5.4 Korrelation zwischen den verschiedenen Kariesdiagnoseverfahren und den röntgenologischen Befunden für die Versuchsreihen der Untersucher A und B

In den Tabellen 5.5 und 5.6 sind die Rangkorrelationskoeffizienten nach Spearman für die Messungen mit den Kariesdiagnosesystemen ICDAS-II, Diagnodent, Diagnodent Pen, VistaProof und der röntgenologischen Kariesdiagnose für die Messreihen der Untersucher A und B dargestellt.

Tab. 5.5: Korrelation der verschiedenen Kariesdiagnosesysteme miteinander für Untersucher A

Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman (r_s)				
	DD	DDPen	VP	Rö
ICDAS-II	0,65	0,64	0,67	0,60
DD	-	0,93	0,79	0,44
DDPen	-	-	0,80	0,36
VP	-	-	-	0,48

Die Korrelation ist auf dem Niveau 0,01 signifikant (zweiseitig)

Tab. 5.6: Korrelation der verschiedenen Kariesdiagnosesysteme miteinander für Untersucher B

Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman (r_s)				
	DD	DDPen	VP	Rö
ICDAS-II	0,57	0,63	0,59	0,60
DD	-	0,93	0,60	0,39
DDPen	-	-	0,62	0,41
VP	-	-	-	0,45

Die Korrelation ist auf dem Niveau 0,01 signifikant (zweiseitig)

Die ICDAS-II-Messung von Untersucher A weist zu allen angewendeten Kariesdiagnoseverfahren (Diagnodent, Diagnodent Pen, VistaProof, röntgenologische Untersuchung) eine moderate Korrelation von $r_s = 0,60$ bis $0,67$ auf. Die Korrelation der ICDAS-II-Messung zur röntgenologischen Untersuchung ist mit $r_s = 0,60$ von allen Kariesdiagnoseverfahren am höchsten. Die Diagnodent-Messreihen von Untersucher A weisen zum Diagnodent Pen eine hohe Korrelation von $r_s = 0,93$, zur VistaProof-Messung eine moderate von $r_s = 0,79$ und zur röntgenologischen Untersuchung ebenso eine moderate Korrelation von $r_s = 0,44$ auf. Zwischen dem Diagnodent Pen und dem VistaProof besteht eine moderate Korrelation von $r_s = 0,80$ und zwischen dem Diagnodent Pen und der röntgenologischen Untersuchung besteht mit einem Wert von $r_s = 0,36$ auch eine moderate Korrelation. Auch die Korrelation zwischen dem VistaProof und der röntgenologischen Untersuchung der Messungen von Untersucher A liegt im moderaten Bereich von $r_s = 0,48$.

Zwischen den ICDAS-II-Versuchsreihen des Untersuchers B und den Messreihen der anderen Kariesdiagnosesysteme (Diagnodent, Diagnodent Pen, VistaProof, röntgenologische Untersuchung) besteht mit Werten zwischen $r_s = 0,57$ und $r_s = 0,63$ eine moderate Korrelation. Auch für Untersucher B besteht für die röntgenologische Untersuchung die höchste Korrelation zum ICDAS-II mit $r_s = 0,60$. Die Korrelation des Diagnodent mit dem Diagnodent Pen liegt auch für die Messungen des Untersuchers B im hohen Bereich ($r_s = 0,93$), während die Korrelation zum VistaProof und zur röntgenologischen Untersuchung im moderaten Bereich ($r_s = 0,60$ und $r_s = 0,39$) liegt. Das Diagnodent Pen weist zum VistaProof und zum Röntgen eine moderate Korrelation von $r_s = 0,62$ und $r_s = 0,41$ auf. Zwischen dem VistaProof und der röntgenologischen Untersuchung liegt für Untersucher B die Korrelation mit einem Wert von $r_s = 0,45$ im moderaten Bereich.

Aus den Tabellen 5.5 und 5.6 wird ersichtlich, dass die höchste Korrelation zwischen den Messungen mit dem Diagnodent und dem Diagnodent Pen besteht. Hier weist sowohl Untersucher A als auch Untersucher B einen Korrelationskoeffizienten von $r_s = 0,93$ auf, womit die Werte im Bereich der hohen Korrelation liegen. Die niedrigsten Korrelationen bestehen für Untersucher A zwischen dem Diagnodent Pen und der röntgenologischen Untersuchung mit $r_s = 0,36$ und für Untersucher B zwischen dem Diagnodent und dem Röntgen mit $r_s = 0,39$, wobei diese Werte noch im Bereich der moderaten Korrelation liegen.

5.5 Kreuztabellierung der Diagnosen für die einzelnen Kariesdiagnoseverfahren

Die Ergebnisse der Messungen mit den verschiedenen Kariesdiagnosesystemen (ICDAS-II, Diagnodent, Diagnodent Pen, VistaProof) werden in Kreuztabellen den röntgenologischen Befunden gegenübergestellt.

Die Auswertung der Röntgenaufnahmen ergab, dass 69 von den 99 ausgewerteten Messpunkten unter dem Schwellenwert für eine Dentinkaries lagen (69,7 %, d. h. einen Code von 0 oder 1 aufwiesen) und damit der Kategorie I (grün) zugeordnet wurden. 30 Messpunkte wurden als Dentinkaries diagnostiziert (Code 2 bis 4).

Tab. 5.7: Kreuztabelle der visuellen Befunde und der radiologischen Untersuchung für Untersucher A (Einteilung nach ICDAS-II, 2005)

ICDAS-II Scores	Röntgen					n
	0	1	2	3	4	
0	32	2	2	1	0	37
1	16	3	2	1	0	22
2	11	2	5	1	0	19
3	2	0	4	0	1	7
4	0	1	2	0	3	6
5	0	0	1	2	1	4
6	0	0	0	0	4	4
n	61	8	16	5	9	99

Tab. 5.8: Kreuztabelle der visuellen Befunde und der radiologischen Untersuchung für Untersucher B (Einteilung nach ICDAS-II, 2005)

ICDAS-II Scores	Röntgen					n
	0	1	2	3	4	
0	21	0	2	1	0	24
1	23	5	3	0	0	31
2	12	3	6	1	0	22
3	3	0	3	1	1	8
4	0	0	1	0	3	4
5	1	0	1	2	1	5
6	1	0	0	0	4	5
n	61	8	16	5	9	99

In Tabelle 5.7 sind die Ergebnisse der ICDAS-II-Messung des Untersuchers A den Ergebnissen der röntgenologischen Auswertung gegenübergestellt. 96 % der röntgenologisch als Kategorie I eingestuften Messpunkte (Röntgen-Score 0 oder 1) wurden auch mit dem ICDAS-II als Kategorie I klassifiziert (ICDAS-II-Score 0 bis 2, grünes Feld). 60 % der Messpunkte (18 von 30 Messpunkten), die im Röntgen eine Dentinkaries aufwiesen, wurden auch vom ICDAS-II aufgespürt (ICDAS-II-Score 3 bis 4, orangefarbiges Feld).

Tabelle 5.8 zeigt die Gegenüberstellung der ICDAS-II-Messung des Untersuchers B und der röntgenologischen Befundung. Von Untersucher B wurden 93 % der röntgenologisch als Kategorie I eingestuften Messpunkte auch mit dem ICDAS-II als Kategorie I klassifiziert (Röntgen-Score 0 oder 1, grünes Feld). 57 % der Messpunkte, die mit der röntgenologischen Untersuchung als Kategorie II eingestuft wurden, erkannte auch Untersucher B mit dem visuellen Verfahren (17 von 30 Messpunkten, orange-farbiges Feld).

Tab. 5.9: Kreuztabelle der Laserfluoreszenzmessung mit Diagnodent und der radiologischen Untersuchung für Untersucher A (Einteilung nach Lussi und Hellwig 2006)

Diagnodent Kategorien	Röntgen					n
	0	1	2	3	4	
0 – 7	21	2	0	1	0	24
8 – 14	12	1	5	0	0	18
15 – 24	9	3	3	0	0	15
> 24	19	2	8	4	9	42
n	61	8	16	5	9	99

Tab. 5.10: Kreuztabelle der Laserfluoreszenzmessung mit Diagnodent und der radiologischen Untersuchung für Untersucher B (Einteilung nach Lussi und Hellwig 2006)

Diagnodent Kategorien	Röntgen					n
	0	1	2	3	4	
0 – 7	25	3	2	1	0	31
8 – 14	8	2	1	0	0	11
15 – 24	6	1	3	0	0	10
> 24	22	2	10	4	9	47
n	61	8	16	5	9	99

In der Tabelle 5.9 sind die Ergebnisse der Laserfluoreszenzmessung mit dem Diagnodent von Untersucher A den Ergebnissen der radiologischen Befunderhebung gegenübergestellt. Die Verteilung zeigt, dass 48 von 69 Messpunkten (70 %), die röntgenologisch der Kategorie I zugeordnet wurden, auch mit dem Diagnodent als Mess-

punkt der Kategorie I klassifiziert wurden (Diagnodent-Score 0 – 24, grünes Feld). 21 von 30 Messpunkten (70 %), die röntgenologisch eine Dentinkaries erkennen ließen wurden auch vom Laserfluoreszenzgerät als Messpunkt mit Dentinbeteiligung kategorisiert.

Tabelle 5.10 stellt die Ergebnisse der Laserfluoreszenzmessung mit dem Diagnodent für Untersucher B den Ergebnissen der röntgenologischen Auswertung gegenüber. Aus dieser Verteilung wird deutlich, dass von den 69 mit dem Röntgen als Kategorie I eingestuften Messpunkten, 45 Messpunkte ebenso mit dem Diagnodent eingestuft wurden (65 %, grünes Feld). Von den 30 Messpunkten, die mit dem Röntgen als Dentinkaries (Kategorie II, orangefarbenes Feld) erkannt wurden, wurden auch 23 mit dem Diagnodent erkannt (77 %).

Tab. 5.11: Kreuztabelle der Laserfluoreszenzmessung mit Diagnodent Pen und der radiologischen Untersuchung für Untersucher A (Einteilung nach Lussi und Hellwig 2006)

Diagnodent Pen Kategorien	Röntgen					n
	0	1	2	3	4	
0 – 6	22	4	3	1	0	30
7 – 13	11	0	2	0	0	13
14 – 17	4	1	2	0	0	7
> 17	24	3	9	4	9	49
n	61	8	16	5	9	99

Tab. 5.12: Kreuztabelle der Laserfluoreszenzmessung mit Diagnodent Pen und der radiologischen Untersuchung für Untersucher B (Einteilung nach Lussi und Hellwig 2006)

Diagnodent Pen Kategorien	Röntgen					n
	0	1	2	3	4	
0 – 6	25	4	1	1	0	31
7 – 13	8	1	2	0	0	11
14 – 17	2	0	2	0	0	4
> 17	26	3	11	4	9	53
n	61	8	16	5	9	99

In der Tabelle 5.11 sind die Ergebnisse der Diagnodent-Pen-Laserfluoreszenzmessung für Untersucher A der röntgenologischen Auswertung gegenübergestellt. Mit dem Diagnodent Pen wurden 42 der 69 vom Röntgen als Kategorie I eingestuften Messpunkte (Röntgen-Score 0 bis 1, grünes Feld) ebenso eingestuft (61 %). Von den 30 Messpunkten, die vom Röntgen als Kategorie II (orangefarbiges Feld) erkannt wurden, wurden vom Diagnodent Pen 22 Messpunkte derselben Kategorie zugeordnet (73 %, grünes Feld).

Die Ergebnisse der Laserfluoreszenzmessung mit dem Diagnodent Pen für Untersucher B werden in Tabelle 5.12 dargestellt. Die Verteilung zeigt, dass von den 69 Messpunkten, die mit dem röntgenologischen Verfahren in die Kategorie I eingestuft wurden (grünes Feld), 40 Messpunkte auch vom Diagnodent Pen der Kategorie I zugeordnet wurden (58 %). 24 von 30 Messpunkten, die auf der Röntgenaufnahme eine Dentinkaries erkennen ließen (Röntgen-Score 2 bis 4, orangefarbiges Feld), wurden auch mit dem Diagnodent Pen als Dentinkaries erkannt (80 %, Kategorie II, orangefarbiges Feld).

Tab. 5.13: Kreuztabelle der Fluoreszenzmessung mit VP und der radiologischen Untersuchung für Untersucher A (modifiziert nach Rodrigues et al. 2008)

VistaProof Kategorien	Röntgen					n
	0	1	2	3	4	
0 – 1,2	35	3	2	1	0	41
1,3 – 1,4	12	4	3	0	2	21
>1,4	14	1	11	4	7	37
n	61	8	16	5	9	99

Tab. 5.14: Kreuztabelle der Fluoreszenzmessung mit VP und der radiologischen Untersuchung für Untersucher B (modifiziert nach Rodrigues et al. 2008)

VistaProof Kategorien	Röntgen					n
	0	1	2	3	4	
0 – 1,2	28	4	2	1	0	35
1,3 – 1,4	12	2	2	0	1	7
>1,4	21	2	12	4	8	47
n	61	8	16	5	9	99

In der Tabelle 5.13 werden die Ergebnisse der VistaProof-Messung von Untersucher A den Ergebnissen der röntgenologischen Befundung gegenübergestellt. 78 % der mit dem röntgenologischen Verfahren als Kategorie I (grünes Feld, Röntgen-Score 0 oder 1) eingestuften Messpunkte wurden auch mit dem VistaProof erkannt (54 von 69, VistaProof-Score 0 bis 1,4). 22 der 30 vom Röntgen als Kategorie II eingestuften Messpunkte zeigten auch bei der VistaProof-Untersuchung eine Ausdehnung bis in das Dentin (73 %, Kategorie II, orangefarbiges Feld).

Tabelle 5.14 stellt die Ergebnisse der VistaProof-Untersuchung von Untersucher B den Ergebnissen der röntgenologischen Befundung gegenüber. 67 % der mit dem röntgenologischen Verfahren in Kategorie I (grünes Feld, Röntgen-Score 0 oder 1) eingestuften Messpunkte wurden auch mit dem VistaProof erkannt (46 von 69, VistaProof-Score 0 bis 1,4). Von den 30 Messpunkten, die vom Röntgen der Kategorie II zugeordnet wurden, wurden 24 mit dem VistaProof ebenso erkannt (80 %, orangefarbiges Feld).

Die Tabelle 5.15 stellt die Ergebnisse der VistaProof-Messung von Untersucher A der röntgenologischen Auswertung gegenüber. Bei dieser Verteilung wurden die Schwellenwerte nach Angaben des Herstellers verwendet (Abb. 4.12). Von den 69 mit dem röntgenologischen Verfahren als Kategorie I eingestuften Messpunkten wurden 68 mit dem VistaProof erkannt (99 %, grünes Feld). 3 der 30 Messpunkte, die das Röntgen als Kategorie II klassifizierte, wurden vom VistaProof ebenso eingestuft (10 %, orangefarbiges Feld).

In der Tabelle 5.16 sieht man abschließend die Gegenüberstellung der VistaProof-Messung von Untersucher B und der röntgenologischen Befundung. Auch bei dieser Verteilung wurden die Angaben des Herstellers für die Einteilung der Schwellenwerte befolgt (Abb. 4.12). Betrachten wir die Röntgen-Scores 0 bis 1 und die Kategorie I (grünes Feld), so wurden 99 % der Messpunkte mit dem VistaProof auch als Kategorie I bewertet (68 von 69 Messpunkten, orangefarbiges Feld). Von den 30 mit dem Röntgen erkannten Messpunkten der Kategorie II, stuft das VistaProof 2 Messpunkte ebenso ein (7%, orangefarbiges Feld).

Tab. 5.15: Kreuztabelle der Fluoreszenzmessungen mit VistaProof und der radiologischen Untersuchung für Untersucher A (Einteilung nach Herstellerangaben)

VistaProof Kategorien	Röntgen					n
	0	1	2	3	4	
bis 0,9	10	0	0	0	0	10
1,0 – 1,4	37	7	5	1	2	52
1,5 – 1,9	13	1	11	3	5	33
2,0 – 2,4	1	0	0	0	2	3
ab 2,5	0	0	0	1	0	1
n	61	8	16	5	9	99

Tab. 5.16: Kreuztabelle der Fluoreszenzmessungen mit VistaProof und der radiologischen Untersuchung für Untersucher B (Einteilung nach Herstellerangaben)

VistaProof Kategorien	Röntgen					n
	0	1	2	3	4	
bis 0,9	1	0	0	0	0	1
1,0 – 1,4	39	6	4	1	1	51
1,5 – 1,9	20	2	12	4	6	44
2,0 – 2,4	1	0	0	0	1	2
ab 2,5	0	0	0	0	1	1
n	61	8	16	5	9	99

6 Diskussion

6.1 Diskussion der Problemstellung

Der zuvor beschriebene Kariesrückgang und die Veränderungen in der Kariesausprägung haben Folgen für die Behandlung und für die therapeutischen Konzepte des Zahnarztes. Das Ziel der Zahnarztes ist es, schon die frühen Stadien der Karies zu erkennen und deren Progressionsgrad einzuschätzen, um mit präventiven oder minimal-invasiven Interventionsmöglichkeiten tätig werden zu können. Die Differenzierung zwischen einer Schmelzläsion und einer Dentinkaries ist für die Therapieentscheidung von großer Bedeutung. Bei Vorliegen einer Schmelzkaries besteht die Möglichkeit der Remineralisation angegriffener Zahnhartsubstanz durch entsprechende Prophylaxemaßnahmen, während eine manifeste Dentinkaries in der Regel eines invasiven Vorgehens bedarf.

Aufgrund des immer schneller stattfindenden Fortschritts, auch auf dem Gebiet der Zahnmedizin, werden immer wieder neue Methoden zur Kariesdiagnose entwickelt und vertrieben. Doch bei einigen dieser sich schon im Einsatz befindenden Verfahren steht die Überprüfung und Validierung in wissenschaftlichen Studien noch aus. Vor dem Hintergrund der Weiter- und Neuentwicklung eines Fluoreszenzverfahrens zur Kariesdiagnose war das Ziel dieser Studie zu überprüfen, inwieweit die Ergebnisse des neuen Systems mit den Ergebnissen bereits validierter Systeme korrelieren. Dabei handelt es sich um die Fluoreszenzkamera VistaProof, die mit dem visuellen Kariesdiagnosesystem ICDAS-II und den Laserfluoreszenzverfahren Diagnodent und Diagnodent Pen verglichen wurde. Auch sollte die Reproduzierbarkeit der Verfahren untersucht und die Frage beantwortet werden, ob die Anwendung für ungeübte Benutzer genauso einfach durchzuführen ist wie für geübte Benutzer. Außerdem sollte der Frage nachgegangen werden, inwieweit es mit den unterschiedlichen Verfahren möglich ist, eine Dentinkaries zu erfassen. Die Ergebnisse der verschiedenen Kariesdiagnoseverfahren wurden mit der radiologischen Auswertung verglichen.

6.2 Diskussion von Material und Methode

6.2.1 Auswahl und Lagerung der Zähne

Für die Untersuchungen mit den verschiedenen Kariesdiagnoseverfahren standen für die Studie 53 menschliche bleibende Seitenzähne (47 Molaren, 6 Prämolaren) zur Verfügung. Die Patienten erteilten ihr schriftliches Einverständnis für die Anwendung der extrahierten Zähne. Zähne mit Füllungen oder Strukturanomalien wurden nicht eingeschlossen.

Zur Vermeidung von Austrocknung wurden die Zähne feucht gelagert. Zur Aufbewahrung der Zähne stehen verschiedene Lagerungsmedien zur Verfügung: Alkohol, Formalin, Chloramin, Wasser, Natriumhypochlorid und Thymol. In dieser Studie wurde eine gesättigte Thymol-Lösung zur Lagerung der Zähne direkt nach der Extraktion verwendet. Dieses Lagerungsmedium verwendeten beispielsweise auch *Shi et al.* [2000], *Francescut und Lussi* [2003] sowie *Côrtes et al.* [2003]. Thymol ist ein antiseptisches Phenolderivat und neben seinem Isomer Carvacrol ein Bestandteil der ätherischen Öle aus Thymian und Oregano. Es bildet farblose, stark riechende Kristalle und zeichnet sich wegen seiner starken desinfizierenden, fungiziden und bakteriziden Wirkung aus [Adam und Christ 1987]. Es verhindert die Dehydratation der Zähne sowie ein bakterielles bzw. fungales Wachstum, ohne die Zahnstrukturen anzugreifen.

Im Zusammenhang mit der Fluoreszenz sollte der Einfluss des Lagerungsmediums berücksichtigt werden. Dazu führten *Francescut et al.* [2006] eine Studie durch, in der verschiedene Lagerungsmethoden zur Aufbewahrung extrahierter Zähne untersucht wurden. Bei dieser Studie wurde die Auswirkung der Lagerung von Zähnen in Thymol, Formalin, Chloramin sowie das Einfrieren der Zähne bei $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (ohne zusätzliche Lösung) auf die Entwicklung der Laserfluoreszenz-Werte untersucht. Bereits nach Tagen zeigte sich für die in Thymol, Formalin und Chloramin gelagerten Zähne eine Abnahme der Fluoreszenz-Werte. Einzig in der Gruppe der eingefrorenen Zähne veränderten sich die Laserfluoreszenz-Werte nicht. Dies wurde damit erklärt, dass Fluorophore, d. h. die Produkte die fluoreszieren, in Lösung gehen oder ihre chemische Struktur verändern. Somit nimmt die Fluoreszenz im Laufe der Lagerungszeit ab.

In einer Studie von *Jablonski-Momeni et al.* [2010], bei der extrahierte Zähne über einen längeren Zeitraum in Wasser gelagert waren, wurden trotzdem deutliche Fluoreszenzwerte gemessen. Nach zweimaliger Untersuchung der Zähne konnte keine signifikante Fluoreszenzabnahme festgestellt werden.

Sicherlich ist es wichtig, hierbei einen Kompromiss zu finden, da einerseits die Desinfektion der extrahierten Zähne erwünscht ist, andererseits aber der Verlust der Fluoreszenz zu einer Verfälschung der Ergebnisse führt. Aus diesem Grund wurden in der vorliegenden Studie die Fluoreszenzmessungen der in Thymol gelagerten Zähne in einem Zeitraum von maximal 10 Tagen nach der Extraktion durchgeführt. In diesem Zeitrahmen findet nur eine geringe Abnahme des Fluoreszenz-Wertes statt [Francescut et al. 2006] und eine desinfizierende Wirkung durch eine ausreichende Einwirkzeit des Thymols wird trotzdem erreicht.

Um die Bedingungen für die Zähne denen der Mundhöhle optimal anzupassen, ist die Überlegung nahe liegend, die Zähne in Kunstspeichel zu lagern. Für Kunstspeichel liegt eine Rezeptur von *Klimek et al.* [1982] vor. Der Einfluss von Kunstspeichel auf die Fluoreszenz bei der Lagerung in diesem Medium wurde allerdings noch nicht untersucht. Letztendlich stellen hier sicherlich in-vivo durchgeführte Studien den besten Lösungsansatz dar, um unabhängig vom Lagerungsmedium eindeutige Ergebnisse für die Fluoreszenzmessungen zu erhalten.

6.2.2 Visuelle Untersuchung

Die visuelle Untersuchung stellt auch heute noch die Grundlage einer jeden Überprüfung der Zähne auf kariöse Läsionen beim Zahnarzt dar. Es ist das am weitesten verbreitete Verfahren zur Kariesdiagnose. Die Vorteile liegen in der einfachen und schnellen Durchführbarkeit. In epidemiologischen Studien wird diese Form der Untersuchung favorisiert. Reihenuntersuchungen bedienen sich üblicherweise des WHO-Standards, wobei Läsionen auf Kavitationsniveau erfasst werden. Die WHO [1997] definiert eine behandlungsbedürftige Karies (D3-Niveau) als Vorliegen sichtbaren Dentins oder unterminierter Schmelzränder mit tastbaren erweichten Schmelzrändern.

Die kavitierende Form der Karies ist aber, wie schon zuvor in Kapitel 2 erläutert, rückläufig. Aus diesem Grund werden Klassifizierungen benötigt, die die kariösen Läsionen differenzierter beurteilen und nicht nur den Grad der Läsionen, sondern auch die Progression einschätzen können.

Ein geeignetes Verfahren zur Einschätzung von kariösen Läsionen und zur Differenzierung zwischen initialen und fortgeschrittenen Stadien ist das International Caries Detection and Assessment System (ICDAS-II). Dabei handelt es sich um ein visuelles Kariesdiagnosesystem, das in internationaler Zusammenarbeit von führenden Kariologen entwickelt wurde und mit dem okklusale Karies in sieben Codes (0 bis 6) eingeteilt wird [ICDAS Coordinating Committee 2005]. Schmelzkaries wird mit den Codes 1 und 2 erfasst und Dentinkaries mit den Codes 3 bis 6. Neben der Erfassung des Schweregrades der Destruktion soll mit diesem Verfahren auch die Einschätzung der Aktivität einer Läsion möglich sein. Das Verfahren ICDAS-II zeigte sich bereits in einer vorangegangenen Studie als valide für die Diagnose der okklusalen Karies [Jablonski-Momeni et al 2008a, 2008b].

6.2.3 Laserfluoreszenzmessung mit Diagnodent und Diagnodent Pen

Die Laserfluoreszenzmessung mittels Diagnodent wird hauptsächlich zur Diagnose und quantitativen Beurteilung der okklusalen Karies in Grübchen und Fissuren verwendet. Die Weiterentwicklung des Diagnodent ist das Diagnodent Pen 2190 (Kavo, Biberach), das 2005 auf dem Markt eingeführt wurde und eine handlichere Version seines Vorgängers darstellt. Bei diesem Gerät steht auch eine Sonde zur Diagnostik der Approximalkaries zur Verfügung.

Durch regelmäßige Messungen mit dem Diagnodent kann ein Kariesmonitoring durchgeführt werden. Die Laserfluoreszenzmessung hat sich als gutes Instrument zur Verlaufskontrolle bewährt [Lussi et al. 1999, Alwas-Danowska et al. 2002]. Ziel des Kariesmonitoring ist es, durch die Anwendung geeigneter präventiver Maßnahmen den kariösen Prozess zu arretieren und somit restaurative Maßnahmen zu vermeiden [Kühnisch et al. 2007b]. Dabei ist eine detaillierte Dokumentation der registrierten Befunde notwendig. Die Durchführung des Kariesmonitorings wird sowohl für das Milchgebiss als auch für das bleibende Gebiss empfohlen [Anttonen et al. 2004]. Durch den Vergleich von aufeinander folgenden Messungen innerhalb kurzer Zeit ist es möglich, Rückschlüsse auf die Kariesaktivität zu ziehen und Hinweise auf den Erfolg einer Intensivprophylaxe zu erhalten [Lussi et al. 1999]. *Bader und Shugars* [2004] sehen es jedoch als nachteilig an, dass die Anwendung des Diagnodent in der Detektion von Schmelzkaries weniger sensitiv ist als bei der Detektion von Dentinkaries. Dadurch besteht bei einer geringen Kariesprävalenz auf Populationsebene das

Risiko, falsch-positive Diagnosen zu stellen, die zu einer Überversorgung der Zähne führen können [Heinrich-Weltzien et al. 2003, Bader und Shugars 2004].

Die Unterschiede in der Reproduzierbarkeit könnten durch die von *Francescut et al.* [2006] festgestellte Fluoreszenzabnahme mit zunehmender Lagerungszeit und in Abhängigkeit vom Lagerungsmedium erklärbar sein.

Die Schwellenwerte für die Laserfluoreszenzmessungen variieren je nach Autor und Verfahren und unterscheiden sich teilweise von den Empfehlungen des Herstellers. *Lussi et al.* [1999] definierten in ihrer Studie die Grenzwerte für in-vitro durchgeführte laserbasierte Untersuchungen. Diese Grenzwerte waren wie folgt eingeteilt: Diagnodent-Werte von 0 – 4 bedeuten keine Karies oder Karies in der ersten Schmelzhälfte (D0, D1), Werte von 5 – 10 weisen auf eine Schmelzkaries (D2) hin, Werte von 11 – 18 bedeuten eine Dentinkaries bis zur äußeren Hälfte des Dentins (D3) und Werte > 18 zeigen Karies, die auf die innere Hälfte des Dentins extendiert ist (D4). Der Hersteller empfiehlt für den Praxisgebrauch der Fluoreszenzmessung eine Einteilung, die auf den Resultaten einer weiteren Studie von *Lussi et al.* [2000] beruht. Demzufolge liegt für in-vivo durchgeführte Laserfluoreszenzmessungen mit dem Diagnodent die Schwelle für eine Dentinkaries bei Messwerten von > 20. Weitere Studien anderer Autoren bestätigten diese Einteilung [Alwas-Danowska et al. 2002]. In einer Studie von *Angnes et al.* [2005] korrelierten jedoch Laserfluoreszenzwerte von > 19 für Diagnodent-Messungen mit einer Dentinkaries.

In der vorliegenden Studie wurden die Schwellenwerte der Diagnodent- und Diagnodent-Pen-Messungen, wie bereits in Kapitel 4 (Tab. 4.5) dargestellt, in vier Kategorien (I – IV) eingeteilt. Diese Einteilung der Schwellenwerte beruht auf den Resultaten einer von *Lussi und Hellwig* [2006] veröffentlichten Studie. In dieser In-vitro-Untersuchung wurden 119 Messpunkte mit dem Diagnodent und dem Diagnodent Pen untersucht und die Ergebnisse der Messungen histologisch evaluiert. Auf der Grundlage dieser Ergebnisse wurden die Schwellenwerte für beide Laserfluoreszenzverfahren neu festgelegt. Demzufolge liegt für die Laserfluoreszenzmessung mit dem Diagnodent die Schwelle für eine Dentinkaries bei Messwerten von > 24 und für das Diagnodent Pen bei > 17. Diagnodent-Werte von 8 – 14 wiesen auf eine Karies bis in die erste Schmelzhälfte hin (D1), Werte zwischen 15 und 24 zeigen eine Karies, die auf die zweite Schmelzhälfte extendiert ist (D2), und Werte von > 24 bedeuten eine Dentinkaries (D3, D4). Für die Einteilung der Diagnodent-Pen-Werte unterscheiden die Autoren die Schwellenwerte nach dem verwendeten Aufsatz. Für den zylindrischen

Aufsatz liegt bei einem Wert von 0 – 6 keine Karies vor (D0). Bei Werten zwischen 7 und 13 liegt eine Schmelzkaries bis in die erste Schmelzhälfte vor (D1), bei Werten zwischen 14 und 17 liegt eine Karies vor, die bis in die zweite Schmelzhälfte reicht (D2). Ab einem Wert von > 17 gehen die Autoren von einer Dentinkaries aus (D3, D4). Bei der Verwendung des konischen Aufsatzes ändern sich die Schwellenwerte nur geringfügig: Werte von 0 – 7 bedeuten keine Karies (D0), Werte von 7 – 12 deuten auf das Vorliegen einer Schmelzkaries bis in die erste Schmelzhälfte hin (D1) und Werte zwischen 13 und 19 weisen auf eine Karies die zweite Hälfte des Schmelzes betreffend (D2). Ab einem Wert von > 19 gehen die Autoren von einer Dentinkaries aus (D3, D4) [Lussi und Hellwig 2006]. *Huth et al.* [2008] dagegen legten folgende klinische Schwellenwerte für das Diagnodent Pen fest: Werte von 0 – 12 bedeuten keine Karies (D0), Werte von 13 – 25 weisen auf eine Schmelzkaries (D1, D2) hin und Werte > 25 bedeuten eine Dentinkaries (D3).

Bei der Auswahl eines geeigneten Schwellenwertes ist zunächst zu klären, was es bedeutet, einen hohen bzw. niedrigen Schwellenwert auszuwählen. Ein niedriger Schwellenwert bedeutet, dass viele Zähne als krank erkannt werden (hohe Sensitivität). Dabei werden allerdings auch viele gesunde Zähne fälschlicherweise als krank klassifiziert (geringe Spezifität). Im Gegensatz dazu bedeutet ein hoher Schwellenwert, dass fast alle Messpunkte als gesund erkannt werden (hohe Spezifität), allerdings viele kariöse Zähne fälschlicherweise als gesund eingestuft (geringe Sensitivität) werden. Werden demzufolge niedrigere Schwellenwerte gewählt, ist die Wahrscheinlichkeit erhöht, falsch-positive Diagnosen zu erhalten. In der praktischen Konsequenz hieße das, dass viele gesunde Zähne irrtümlicherweise behandelt würden. Um dies zu vermeiden, sollte gerade in Populationen mit geringem Kariesrisiko ein hoher Schwellenwert verwendet werden [Fung et al. 2004]. Überdies stellen höhere Schwellenwerte einen Sicherheitsfaktor bei verfärbten Fissuren dar.

Bei der Diskussion der Schwellenwerte sollte jedoch berücksichtigt werden, dass diese grundsätzlich immer nur zur Orientierung dienen. Die Entscheidung für eine restaurative Versorgung darf nicht allein von einem bestimmten Wert abhängig gemacht werden. Weitere Faktoren, u. a. die Kariesaktivität des Patienten, Fluoridanamnese und Ernährungsgewohnheiten, sind zu berücksichtigen. Das Diagnodent sollte in der zahnärztlichen Praxis nicht als alleiniges Kariesdiagnosesystem genutzt, sondern eher als weiteres Hilfsmittel neben der visuellen Befundaufnahme betrachtet werden [Kühnisch et al. 2003]. Die unabdingbare Voraussetzung vor dem Einsatz der

Laserfluoreszenzmessung ist die Entfernung weicher und harter Zahnbeläge, um die Ergebnisse nicht zu verfälschen. Ebenso ist die vom Hersteller angegebene Vorgehensweise einzuhalten.

6.2.4 Fluoreszenzmessung mit Fluoreszenzkamera VistaProof

Das VistaProof (Dürr Dental, Bietigheim-Bissingen) nutzt ebenso die Messung der Fluoreszenzantwort, nach Anregung mit kurzwelligerem Licht, zur Diagnose der okklusalen Karies. Es wurde auf der Basis einer intraoralen Kamera entwickelt und ist seit dem Jahr 2007 auf dem Markt erhältlich. Der Hersteller empfiehlt folgende Einteilung für die Schwellenwerte: 1 – 1,4 beginnende Schmelzkaries, 1,5 – 1,9 tiefe Schmelzkaries, 2 – 2,4 Dentinkaries, 2,5 – > 3 tiefe Dentinkaries. Bisher liegen nur wenige Untersuchungen zur Anwendung dieses Kariesdiagnoseverfahrens vor.

Rodrigues et al. [2008] führten eine Studie an 119 bleibenden Molaren mit einem Prototypen der VistaProof-Kamera durch und erstellten eine Einteilung der Schwellenwerte. In der vorliegenden Studie wurden die modifizierten Schwellenwerte nach *Rodrigues et al.*, wie bereits in Kapitel 4 (Tab. 4.5) dargestellt, leicht modifiziert verwendet. Nach ihren Untersuchungen liegt der Grenzwert für eine Dentinkaries bei den VistaProof-Messungen bei > 1,319. Werte von 0 – 1,262 bedeuten keine Karies (D0), Werte von 1,263 – 1,299 weisen auf eine Schmelzkaries in der äußeren Schmelzhälfte (D1) hin, Werte von 1,300 – 1,319 bedeuten eine Schmelzkaries bis zur inneren Schmelzhälfte (D2) und Werte von > 1,319 zeigen Dentinkaries (D3, D4) an.

Da die Auswertungssoftware der VistaProof-Kamera keine zwei Nachkommastellen bei der numerischen Auswertung angibt, kann die Kategorisierung nach *Rodrigues et al.* nicht ohne weiteres übernommen werden. Daher wurde für die praktische Anwendung mit der regulären VistaProof-Kamera die Einteilung leicht abgewandelt. Die Autoren merkten außerdem an, dass die Schwellenwerte auf Grund der kleinen numerischen Skala sehr nah beieinander liegen, was die klinische Anwendung sehr schwer mache. In einer aktuellen Studie von *De Benedetto et al.* [2010] wurde die Anwendung der Fluoreszenzkamera VistaProof im Vergleich zu Diagnodent- und Diagnodent-Pen-Messungen an okklusalen Flächen und Glattflächen von 129 Milchzähnen untersucht. Für die Untersuchung der okklusalen Flächen wiesen alle Verfahren moderate bis hohe Werte für die Reproduzierbarkeit auf. Die Intra-Untersucher-Reproduzierbarkeit betrug für das Diagnodent ICC = 0,63, für das Diagnodent Pen

ICC = 0,85 und für das VistaProof ICC = 0,85. Die Inter-Untersucher-Reproduzierbarkeit ergab für das Diagnodent ICC = 0,86, für das Diagnodent Pen ICC = 0,77 und für das VistaProof ICC = 0,81. Zwischen den drei Fluoreszenzverfahren konnte eine hohe Korrelation ermittelt werden (Pearsons Korrelationskoeffizient $R = 0,83$ bis $R = 0,65$), wobei die höchste Korrelation zwischen den beiden Laserfluoreszenzverfahren Diagnodent und Diagnodent Pen bestand ($R = 0,833$). Weiterhin wurde der Einfluss unterschiedlich langer Zeiten der Lufttrocknung auf die Fluoreszenzwerte untersucht, wobei festgestellt wurde, dass nach einer Lufttrocknung von 15 s deutlich höhere Fluoreszenzwerte gemessen wurden ($1,39 \pm 0,42$) als nach 0 s ($1,36 \pm 0,36$) bzw. 3 s ($1,36 \pm 0,39$) Lufttrocknung [De Benedetto et al. 2010].

Das vom Prinzip ähnliche QLF-Verfahren zur Messung des Fluoreszenzsignals, verwendet die gleiche Anregungswellenlänge von 405 nm wie das VistaProof. Der Zahn wird mit Licht aus dem Handstück der Kamera angestrahlt und die Fluoreszenzantwort wird von einem Filter, der Licht oberhalb von 520 nm durchlässt, abgefangen und von der Kamera wieder aufgenommen. Eine Aufnahme des Zahnes wird erstellt und auf den angeschlossenen Computer übertragen. Die Software wertet die Aufnahmen aus. Für die Reproduzierbarkeit von mit dem QLF durchgeführten Untersuchungen wurden Werte zwischen ICC = 0,95 und ICC = 0,99 ermittelt [Tranaeus et al. 2002]. Kühnisch et al. [2007d] sehen unter Berücksichtigung des großen Zeitaufwandes, mit dem die Betreuung des Gerätes verbunden ist, die routinemäßige Anwendung von QLF im zahnärztlichen Alltag nicht ohne weiteres durchführbar.

6.2.5 Radiologische Auswertung

Bevor ein Verfahren der Kariesdiagnose klinisch angewendet werden kann, ist es erforderlich, das System zu validieren. Dabei wird überprüft, inwieweit das Verfahren in der Lage ist, eine Erkrankung der Zahnhartsubstanz korrekt nachzuweisen oder auszuschließen. Dies erfolgt auf der Basis eines sogenannten „Goldstandards“.

In vielen Studien zur Kariesdiagnose dient die histologische Untersuchung der angefertigten Serienschnitte als Goldstandard [Downer 1975, Huysmans und Longbottom 2004]. In der vorliegenden Studie wurden die Ergebnisse der verschiedenen Kariesdiagnoseverfahren mit der radiologischen Auswertung verglichen. Der Vergleich mit dem röntgenologischen Verfahren, welches tagtäglich in der zahnärztlichen Praxis eingesetzt wird, soll den Einsatz unter praxisnahen Bedingungen simulieren und kommt dem klinischen Prozedere am nächsten. Die Zähne wurden in dieser Studie

weder aufgebohrt noch wurden histologische Schnitte angefertigt, da die verwendeten Zähne für weitergehenden Studien benötigt wurden. Das Einverständnis eines jeden Patienten zur Verwendung der extrahierten Zähne wurde schriftlich eingeholt (informed consent), um auf internationaler Ebene publizieren zu können.

Für die Erkennung von okklusalen Läsionen, vor allem an Molaren, sind Bissflügelaufnahmen gut geeignet [Poorterman et al. 2000, Heinrich-Weltzien et al. 2008]. Es liegen Studien vor, die belegen, dass mittels Bissflügelaufnahmen ein großer Teil versteckter okklusaler Dentinläsionen bei Kindern und Jugendlichen diagnostiziert werden konnte [Weerheijm et al. 1992b, Heinrich-Weltzien et al. 2001]. *Lussi et al.* [2003] sehen in der radiologischen Untersuchung die Einschränkung, dass eine Karies im Bereich der Grübchen und Fissuren erst dann im Röntgenbild diagnostizierbar ist, wenn der kariöse Prozess bereits bis in das Dentin fortgeschritten ist. Doch für die Therapieentscheidung ist dieser Unterschied, ob noch eine Schmelzkaries oder schon eine Dentinkaries vorliegt, von Bedeutung, wenn man davon ausgeht, dass eine anfängliche Schmelzkaries durch prophylaktische Maßnahmen wieder remineralisierbar ist und eine Dentinkaries einer invasiven Therapie bedarf. Unter der Berücksichtigung, dass röntgenografisch sichtbare Okklusalläsionen deutlich stärker infiziert sind als nicht sichtbare, kann die Bissflügelaufnahme als ein diagnostisches Sicherheitsnetz angesehen werden, das letztlich über die Notwendigkeit einer invasiven Behandlung entscheidet [Ricketts et al. 1995a, Ricketts et al. 1995b].

Zur radiologischen Auswertung wurden digitale Röntgenaufnahmen der Zähne mit dem Digora System (Fa. Gendex, Hamburg) angefertigt und diese an einem eigens für die Bildbetrachtung zugelassenen 18-Zoll-Farbmonitor (FlexScan L768, EIZO, Avnet Technology Solutions GmbH, Nettetal, Deutschland) ausgewertet.

Die Durchführung der radiologischen Untersuchung ist auf Grund des In-vitro-Designs der Studie als nicht bedenklich anzusehen, da die Aufnahmen an extrahierten Zähnen durchgeführt wurden und es zu keiner zusätzlichen Belastung von Patienten durch Strahlung gekommen ist. Da die Indikation für die Extraktion der untersuchten Zähne unabhängig von der Studie von Zahnärzten gestellt wurde, liegen auch hier keine Bedenken vor.

6.2.6 Studiendesign

Idealerweise sollte das Studiendesign in einen ersten klinisch-diagnostischen Teil (in-vivo) und einen zweiten histologischen Teil (in-vitro) gegliedert werden [Pitts 2001]. Bei diesem Vorgehen bestehen allerdings hinsichtlich der Patientenrekrutierung und -auswahl Schwierigkeiten. Aus ethischer Sicht ist zu hinterfragen, unter welchen Umständen es erlaubt ist, Zähne nach ihrer diagnostischen Untersuchung zu extrahieren, um diese zu validieren.

Faktoren wie das Alter des Patienten, das allgemeine Kariesrisiko oder die Sozialanamnese, welche die Diagnose- und Therapieentscheidung entscheidend mitbeeinflussen, konnten allerdings nicht berücksichtigt werden. Gleiches gilt für experimentelle Faktoren, wie z. B. der Einfluss des Lagerungsmediums auf das Fluoreszenzverhalten extrahierter Zähne. Somit können nicht alle Ergebnisse auf eine In-vivo-Situation übertragen werden. Zur Validierung von Material und Methode ist es jedoch sinnvoll, im Vorfeld einer In-vivo-Untersuchung In-vitro-Untersuchungen durchzuführen. Somit können weiterführende klinische Studien effizienter und medizinisch aussagekräftiger gestaltet werden. Die in dieser Studie verwendeten und untersuchten Zähne werden in einer weiteren Studie sektioniert und histologisch beurteilt, was zu weiteren Erkenntnissen über die verschiedenen Kariesdiagnoseverfahren führen wird.

In der vorliegenden Studie wurde das Design einer Laborstudie gewählt, in der der diagnostische Teil in-vitro durchgeführt wird. Dabei wurde versucht, den diagnostischen Teil der Studie der klinischen Situation so weit wie möglich anzupassen.

6.3 Diskussion der Ergebnisse

6.3.1 Reproduzierbarkeit des visuellen Kariesdiagnosesystems ICDAS-II

Die Reproduzierbarkeit von Untersuchungen ist ein wesentlicher Faktor, der darüber Auskunft gibt, wie konstant einzelne Untersucher ein Diagnoseverfahren einsetzen können und wie beständig die Befunde bei der Beteiligung von mehreren Untersuchern erhoben werden. Um die Konstanz der Untersucher für das visuelle Kariesdiagnosesystem ICDAS-II zu ermitteln, führten Untersucher A und B zwei Messreihen durch, untersuchten 53 Zähne mit 99 Messpunkten und bewerteten diese nach den Kriterien des ICDAS-II (Tab. 4.3, Kap. 4). Um mit bereits publizierten Studien vergleichbar zu sein, wurden sowohl die einfachen als auch die gewichteten Kappa-Werte berechnet.

Aus den Untersuchungen ging Folgendes hervor: Für die Intra-Untersucher-Reproduzierbarkeit von Untersucher A liegen sowohl der einfache als auch der gewichtete Kappa-Wert im substantiellen Bereich $\kappa = 0,73$ bzw. $\kappa = 0,78$. Untersucher B weist für die Intra-Untersucher-Reproduzierbarkeit einen einfachen Kappa-Wert von $\kappa = 0,47$ auf, womit die Konstanz im moderaten Bereich liegt, und einen gewichteten Kappa-Wert von $\kappa = 0,70$, was eine substantielle Konstanz der Untersuchers bedeutet. Damit weist Untersucher A für die ICDAS-II-Messung eine höhere Konstanz auf als Untersucher B. Dies ist wahrscheinlich auf die Erfahrung aus der langjährigen praktischen Tätigkeit in der Kariologie zurückzuführen. Doch auch Untersucher B, ein Student der Zahnmedizin im 10. Fachsemester, wies schon nach einer Einführung und kurzen Trainingsphase mit dem ICDAS-II-Kariesdiagnoseverfahren gute Werte für die Konstanz auf. Auch die Übereinstimmung zwischen den Messreihen der beiden Untersucher mit dem ICDAS-II-Verfahren liegt mit einem einfachen Kappa-Wert von $\kappa = 0,60$ im moderaten Bereich und mit einem gewichteten Kappa-Wert von $\kappa = 0,74$ im substantiellen Bereich.

Diese Ergebnisse lassen sich mit den Ergebnissen anderer Studien vergleichen. *Ekstrand et al.* [2007] untersuchten extrahierte Zähne mit dem ICDAS-II-Verfahren und ermittelten für die Intra- und Inter-Untersucher-Reproduzierbarkeit Kappa-Werte von $> 0,82$, wobei nicht genannt wurde ob es sich dabei um gewichtete oder ungewichtete Kappa-Werte handelt. In einer von *Jablonski-Momeni et al.* [2008a] durchgeführten Studie untersuchten 4 Zahnärzte mit unterschiedlicher Berufserfahrung die okklusalen Flächen von 100 extrahierten Zähnen mit dem ICDAS-II-Verfahren. Die

Zahnärzte durchliefen ein Trainingsprogramm und wurden von einem Zahnarzt, der an der Entwicklung des ICDAS beteiligt war, kalibriert. Die ermittelten gewichteten Kappa-Werte für die Inter- und Intra-Untersucher-Reproduzierbarkeit der ICDAS-II-Messungen lagen zwischen $\kappa = 0,62$ und $\kappa = 0,83$ und somit im substantiellen bis fast perfekten Bereich. Die Autoren folgerten aus den Ergebnissen, dass das ICDAS-II-Verfahren eine hohe Reproduzierbarkeit und hohe Akkuratheit für verschiedene Progressionsgrade kariöser Läsionen aufweist [Jablonski-Momeni et al. 2008a]. Eine andere Studie ermittelte für die Inter-Untersucher-Reproduzierbarkeit einen ungewichteten Kappa-Wert von $\kappa = 0,51$ und für die Intra-Untersucher-Reproduzierbarkeit einen ungewichteten Kappa-Wert von $\kappa = 0,61$ [Rodrigues et al. 2008]. Auch in einer Studie von *Diniz et al.* [2009] wurden ähnliche Kappa-Werte für die visuelle Untersuchung mittels ICDAS-II berechnet. Die Autoren ermittelten für die Inter-Untersucher-Reproduzierbarkeit einen ungewichteten Kappa-Wert von $\kappa = 0,51$ und für die Intra-Untersucher-Reproduzierbarkeit einen ungewichteten Kappa-Wert von $\kappa = 0,58$. Sie kamen zu dem Schluss, dass das ICDAS-II-Kariediagnoseverfahren eine gute Reproduzierbarkeit und eine hohe Akkuratheit bei der Diagnose okklusaler Karies aufweist, besonders für kariöse Läsionen in der äußeren Hälfte des Schmelzes. *Braga et al.* [2009] verglichen in einer In-vitro-Studie die Reproduzierbarkeit der beiden visuellen Kariesdiagnoseverfahren Nyvad und ICDAS-II. Beide Systeme wiesen für die Inter- und Intra-Untersucher-Reproduzierbarkeit Kappa-Werte von $\kappa = > 0,86$ auf. Auch hier wurde nicht genannt, ob es sich dabei um gewichtete oder ungewichtete Kappa-Werte handelt. *Shoaib et al.* [2009] untersuchten die Reproduzierbarkeit des ICDAS-II an Milchzähnen. Dabei wurden von drei Untersuchern 112 extrahierte Milchzahnmolaren befundet. Die Kappa-Werte für die Intra-Untersucher-Reproduzierbarkeit lagen für den ICDAS-II-Code von $>$ oder $= 1$ bei $\kappa = 0,74 - 0,81$ je nach ICDAS-II Schwellenwert. Die Inter-Untersucher-Reproduzierbarkeit lag bei $\kappa = 0,66 - 0,73$ je nach ICDAS-II-Schwellenwert. Es ist nicht dokumentiert, ob es sich dabei um gewichtete oder ungewichtete Kappa-Werte handelt.

Die Ergebnisse unserer Studie lassen sich durchaus mit denen der oben genannten Studien vergleichen. Zwar sind Abweichungen zu den berichteten Studien durchaus gegeben, diese kommen aber möglicherweise dadurch zustande, dass zwischen den verschiedenen visuellen Methoden zur Kariesdiagnose Unterschiede bestehen und auch die Kalibrierungsmethoden und -zeiten voneinander abweichen. Aus den Ergebnissen lässt sich schlussfolgern, dass das ICDAS-II-Verfahren für geübte und un-

geübte Untersucher gute Konstanz und Übereinstimmung aufweist und selbst von unerfahrenen Untersuchern schnell zu erlernen und in-vitro umzusetzen ist.

6.3.2 Reproduzierbarkeit der Fluoreszenzmessungen

Für die Intra- und Inter-Untersucher-Reproduzierbarkeit der Fluoreszenzmessungen mit dem Diagnodent, dem Diagnodent Pen und für die VistaProof-Messung wurde für Untersucher A und B der Intra-Klassen-Korrelationskoeffizient (ICC) berechnet (Tab. 5.2).

Aus den Untersuchungen ging Folgendes hervor: Die Intra-Untersucher-Übereinstimmung liegt für alle drei Kariesdiagnosesysteme Diagnodent, Diagnodent Pen und VistaProof für Untersucher A und B im hohen Bereich (ICC = 0,81 – 0,98). Die Ergebnisse für die Diagnodent- und die Diagnodent-Pen-Messung von Untersucher B weisen mit einem Wert von ICC = 0,98 die höchste errechnete Konstanz auf. Für die VistaProof-Messung von Untersucher A wurde der niedrigste Wert der Intra-Untersucher-Reproduzierbarkeit ermittelt, der aber mit ICC = 0,81 immer noch im Bereich der hohen Übereinstimmung liegt. Auch die Inter-Untersucher-Reproduzierbarkeit liegt für alle drei Fluoreszenzverfahren im hohen Bereich (ICC = 0,76 – 0,93). Hier wird aber deutlich, dass mit dem VistaProof die niedrigste Übereinstimmung zwischen den Messreihen der Untersucher A und B von allen Fluoreszenzverfahren ermittelt wurde. Der Wert liegt mit ICC = 0,76 aber immer noch im hohen Bereich.

Die ermittelten Ergebnisse zeigen, dass beide Untersucher mit den unterschiedlichen Hilfsmitteln zur Kariesdiagnose gute Werte für die Konstanz aufweisen. Auch mit dem neuen Fluoreszenzverfahren VistaProof wurden von beiden Untersuchern hohe Werte für die Konstanz erzielt (ICC = 0,81 – 0,95). Daraus lässt sich schließen, dass die Kariesdiagnose mit den Fluoreszenzverfahren Diagnodent, Diagnodent Pen und VistaProof auch für unerfahrene Anwender schnell erlernbar und leicht durchzuführen ist. Die vorliegenden Daten der Intra-Untersucher-Reproduzierbarkeit und des Intra-Klassen-Korrelationskoeffizienten stimmen weitestgehend mit Ergebnissen aus früheren Untersuchungen überein.

Lussi und Hellwig [2006] ermittelten für die Reproduzierbarkeit ICC-Werte von > 0,98 für das Diagnodent und das Diagnodent Pen. Nach Meinung der Autoren lassen sich diese Geräte aufgrund der hohen Reproduzierbarkeit gut zur Verlaufskontrolle von kariösen Läsionen einsetzen.

In einer Studie von *Kühnisch et al.* [2007a] wurde die Intra- und Inter-Geräte-Reproduzierbarkeit der beiden Laserfluoreszenzgeräte Diagnodent und Diagnodent Pen untersucht. Die Untersuchungen wurden von vier Zahnärzten durchgeführt. Die Intra-Geräte-Reproduzierbarkeit betrug für das Diagnodent $ICC = 0,89$ und für das Diagnodent Pen $ICC = 0,88$. Die Inter-Geräte-Reproduzierbarkeit lag bei $ICC = 0,82$. Die Autoren geben an, dass die Messwerte des Diagnodent 2095 tendenziell niedriger ausfallen als die des Diagnodent Pen.

In einer weiteren Studie ermittelten *Kühnisch et al.* [2007c], bei der 241 Messpunkte an 90 Molaren von 2 Zahnärzten und 2 Studenten mit dem Diagnodent Pen untersucht wurden, ebenfalls hohe Werte für die Intra-Untersucher-Reproduzierbarkeit ($ICC = 0,84 - 0,92$). Auch die Inter-Untersucher-Reproduzierbarkeit wies mit einem ICC von $0,84$ einen guten Wert auf. Dabei konnten keine Unterschiede zwischen den Messungen der Zahnärzte und denen der Studenten festgestellt werden.

In einer weiteren vergleichende Studie zwischen Diagnodent und Diagnodent Pen wurde die Reliabilität beider Geräte untersucht [Aljehani et al. 2007]. Die 52 Prämolaren, die aus kieferorthopädischen Gründen extrahiert werden mussten, wurden zweimal von zwei Untersuchern befundet. Anschließend wurden histologische Präparate der Zähne angefertigt. Der Intra-Klassen-Korrelationskoeffizient ergab für die Intra-Untersucher-Reproduzierbarkeit Werte von $ICC = 0,97 - 0,99$. Die Inter-Untersucher-Reproduzierbarkeit betrug $ICC = 0,67 - 0,72$.

Für die Inter-Untersucher-Reproduzierbarkeit ermittelten *Rodrigues et al.* [2008] einen ICC von $0,90$ für das Diagnodent, $0,93$ für das Diagnodent Pen und $0,85$ für das VistaProof. Der ICC -Wert lag für die Intra-Untersucher-Reproduzierbarkeit bei $0,85$ für das Diagnodent, bei $0,87$ für das Diagnodent Pen und bei $0,76$ für das VistaProof.

Für die Anwendung des Diagnodent an Milchzähnen wurden von *Rodrigues et al.* [2009] ebenfalls gute Werte für die Reproduzierbarkeit nachgewiesen. So wurden Intra-Untersucher-Werte von $ICC = 0,91$ für den Einsatz an Milchzähnen ermittelt. Die Kontrollgruppe von bleibenden Molaren ergab ebenso einen ICC von $0,91$. Die Inter-Untersucher-Reproduzierbarkeit lag in dieser Studie bei Milchzähnen bei $0,92$ und bei bleibenden Zähnen bei $0,90$.

De Benedetto et al. [2010] ermittelten für die Anwendung der Fluoreszenzkamera an Milchzähnen einen ICC von $0,85$ für die Intra-Untersucher-Reproduzierbarkeit und einen ICC von $0,81$ für die Inter-Untersucher-Reproduzierbarkeit.

Jablonski-Momeni et al. [2010] ermittelten in einer Studie zu Laserfluoreszenzmessungen an Zähnen und deren Serienschnitten hohe Werte für die Reproduzierbarkeit des Diagnodents. So betrug der Intra-Klassen-Korrelationskoeffizient für die Intra-Untersucher-Reproduzierbarkeit für an den Zähnen durchgeführte Laserfluoreszenzmessungen $ICC = 0,96$. Für an den Serienschnitten durchgeführte Messungen war der $ICC = 0,99$. Insgesamt ermöglicht die gute Reproduzierbarkeit des Diagnodent und Diagnodent Pen, die Geräte zur Kariesverlaufskontrolle anzuwenden und dadurch Hinweise auf den Erfolg einer Intensivprophylaxe zu erhalten. Somit kann durch die Anwendung geeigneter präventiver Maßnahmen versucht werden, den kariösen Prozess zu arretieren und invasive bzw. restaurative Maßnahmen zu vermeiden. Ferner sollte es möglich sein, durch den Vergleich von aufeinander folgenden Messungen innerhalb einiger Monate Rückschlüsse auf die Kariesaktivität zu ziehen. Auch für die Fluoreszenzkamera VistaProof wurde eine hohe Reproduzierbarkeit ermittelt. Dieses Ergebnis findet sich in Übereinstimmung mit den oben genannten Studien [De Benedetto et al. 2010, Rodrigues et al. 2009, Rodrigues et al. 2008] und lässt ebenso den Schluss zu, dass sich dieses Verfahren zum Kariesmonitoring eignet. Die Möglichkeit des Archivierens und Wiederaufrufens bereits gespeicherter Bilder ist sicherlich hilfreich bei der Verlaufskontrolle von kariösen Läsionen. Die Ermittlung der Intra- und Inter-Untersucher-Reproduzierbarkeit bildet eine Grundlage zur Evaluierung eines diagnostischen Verfahrens. Zur vollständigen Evaluierung des Verfahrens stehen nun weitere Studien aus.

Bland-Altman-Methode

Zur Beurteilung der Übereinstimmung der beiden Messreihen von Untersucher A und B wurden Bland-Altman-Plots für die Messungen mit dem Diagnodent, Diagnodent Pen und VistaProof erstellt. Die in die Plots eingezeichnete Mittellinie gibt den Mittelwert der beiden Messungen an. Idealerweise sollte es keine systematische Abweichung geben (Mittelwert = 0) und nur einen kleinen Intervall zwischen der oberen und unteren Grenze der Übereinstimmung. *Kühnisch et al.* [2007c] geben an, dass der Intervall für die Laserfluoreszenzmessungen zwischen $+/- 20$ liegen sollte. Für die Intra-Untersucher-Reproduzierbarkeit der Messungen mit Diagnodent und Diagnodent Pen lagen die Intervalle für Untersucher A bei 40,96 (Diagnodent) und bei 29,72 (Diagnodent Pen). Für Untersucher B lagen die Intervalle der Übereinstimmungsgrenzen bei 23,2 für die Diagnodent-Messung und bei 27,32 für die Diagno-

dent-Pen-Messung. Die Intervalle der Intra-Untersucher-Reproduzierbarkeit der Messung mit der Fluoreszenzkamera lagen bei 0,71 für Untersucher A und bei 0,40 für Untersucher B. Unter Berücksichtigung der nach *Kühnisch et al.* [2007c] aufgestellten Kriterien kann man bei den ermittelten Ergebnissen von einer guten Reproduzierbarkeit ausgehen. Dabei wiesen der erfahrene Untersucher A ebenso wie der unerfahrene Anwender der Kariesdiagnoseverfahren (Untersucher B) gute Werte für die Reproduzierbarkeit auf. In einer Studie von *Rodrigues et al.* [2008] wurden für die Intra-Untersucher-Reproduzierbarkeit größere Intervalle für die Messungen mit dem Diagnodent und Diagnodent Pen ermittelt. So berechneten die Autoren für die Intra-Untersucher-Reproduzierbarkeit der Diagnodent-Messung ein Intervall von 46 und für die Diagnodent-Pen-Messung ein Intervall von 55. Auch der Intervall der Fluoreszenzkamera-Messung lag mit 1,2 deutlich höher und die Reproduzierbarkeit damit niedriger [Rodrigues et al. 2008]. *Kühnisch et al.* [2007c] ermittelten für Intra-Untersucher-Messungen mit dem Diagnodent Pen Intervalle von 41,2 – 59,1 und für die Inter-Untersucher-Messungen einen Intervall von 53,2.

Der von *De Benedetto et al.* [2010] ermittelte Mittelwert der Differenzen für die Intra-Untersucher-Reproduzierbarkeit der VistaProof-Messungen an Milchzähnen betrug – 0,03 bei einem Intervall von 1,25. Für die Inter-Untersucher-Reproduzierbarkeit wurde ein Mittelwert der Differenzen von 0,08 bei einem Intervall von 1,42 ermittelt. Für die Intra-Untersucher-Reproduzierbarkeit der Diagnodent-Messung betrug der Mittelwert der Differenzen 11,12 bei einem Intervall von 74,3 und für die Diagnodent-Pen-Messungen 6,70 bei einem Intervall von 54,6. Die Inter-Untersucher-Reproduzierbarkeit ergab für die Diagnodent-Messung einen Mittelwert der Differenzen von – 3,49 bei einem Intervall von 56,7 und für die Diagnodent-Pen-Messung – 3,48 bei einem Intervall von 74,7.

Die Verteilung der Punkte in den Bland-Altman-Plots zeigt für die Messungen beider Untersucher mit dem Diagnodent und Diagnodent Pen, dass bei kleineren Messwerten (0 – 20) eine bessere Übereinstimmung der Messungen vorliegt als bei höheren (20 – 60). Dies spricht für eine systematische Abweichung in den Messungen der beiden Laserfluoreszenzgeräte und bedarf weiterer Überprüfung.

Die Verteilung der Punkte in den Bland-Altman-Plots der VistaProof-Messungen zeigt eine weniger verstreute, statische Anordnung der Punkte. Dies ist auf die kleine numerische Skala der Auswertungssoftware und die eng beieinander liegenden Schwellenwerte zurückzuführen. Dadurch erscheint der Einsatz in der Praxis er-

schwert und bedarf weiterer Überarbeitung. Bei höheren Fluoreszenz-Werten scheint es außerdem eine größere Abweichung der Messergebnisse zu geben als bei niedrigeren. Der höchste mit dem VistaProof gemessene Wert lag bei 3,2. Zwischen den Werten 1 und 1,5 scheint es die größte Verlässlichkeit für Messungen mit dem VistaProof zu geben.

6.3.3 Korrelation zwischen den verschiedenen Kariesdiagnoseverfahren und den röntgenologischen Befunden für die Versuchsreihen der Untersucher A und B

Die Korrelation für die Messungen mit den Kariesdiagnosesystemen ICDAS-II, Diagnodent, Diagnodent Pen und VistaProof untereinander und im Vergleich zur röntgenologischen Kariesdiagnose für die Messreihen der Untersucher A und B wurde anhand des Rangkorrelationskoeffizienten nach Spearman (r_s) ermittelt. Dabei wurden folgende Ergebnisse erzielt:

Die höchste Korrelation der Geräte untereinander weisen die beiden Laserfluoreszenzverfahren Diagnodent und Diagnodent Pen auf. Hier wurden Werte von $r_s = 0,93$ für beide Untersucher errechnet. Dies ist wahrscheinlich auf das gleiche Funktionsprinzip und ein und denselben Hersteller beider Geräte zurückzuführen. Auch *Lussi und Hellwig* [2006] konnten keinen statistisch signifikanten Unterschied zwischen dem Diagnodent Pen und dem klassischen Diagnodent feststellen. Somit ist es möglich, sowohl mit dem Diagnodent als auch mit dem Diagnodent Pen ähnliche Ergebnisse zu erzielen. Dies ist gerade dann von Bedeutung, wenn in einer Praxis mehrere Geräte zur Verfügung stehen oder ein Gerät ersetzt werden muss.

Das vom Funktionsprinzip verwandte Verfahren der VistaProof-Fluoreszenzkamera weist zu den Diagnodent- und Diagnodent-Pen-Messungen moderate bis hohe Werte von $r_s = 0,60 - 0,80$ für die Korrelation auf. Auch dies lässt sich durch das gemeinsame Nutzen des Fluoreszenzeffektes zu Kariesdiagnosezwecken erklären.

De Benedetto et al. [2010] ermittelten in ihrer Studie für die Anwendung der drei Fluoreszenzverfahren Diagnodent, Diagnodent Pen und Vistaproof eine hohe Korrelation für den Einsatz an den okklusalen Flächen von Milchzähnen (Pearsons Korrelationskoeffizient $R = 0,83 - 0,65$), wobei die höchste Korrelation zwischen den beiden Laserfluoreszenzverfahren Diagnodent und Diagnodent Pen bestand ($R = 0,833$). Die hohe Korrelation erklärten die Autoren mit dem gleichen Funktionsprinzip, wobei sie den Unterschied zwischen den Diagnodent-Geräten und der VistaProof-Kamera auf die unterschiedlichen Anregungswellenlängen zurückführen. Damit ist auch

die hohe Korrelation der Laserfluoreszenzgeräte in der vorliegenden Studie zu erklären und die geringfügig niedrigere Korrelation, die mit der VistaProof-Fluoreszenzkamera erzielt wurde.

Das ICDAS-II-Verfahren weist zu allen anderen Diagnoseverfahren konstante Werte für die Korrelation auf ($r_s = 0,57 - 0,67$). Damit zeigt das visuelle Verfahren zu den anderen Kariesdiagnosesystemen, trotz der unterschiedlichen physikalischen Verfahrensweisen, insgesamt moderate Korrelationen auf.

Die höchste Korrelation zur röntgenologischen Befunderhebung wies das visuelle Kariesdiagnoseverfahren ICDAS-II auf ($r_s = 0,60$). Die Korrelation der Fluoreszenzkamera VistaProof mit dem Röntgen liegt im moderaten Bereich, wobei für Untersucher A ein Wert von $r_s = 0,48$ und für Untersucher B ein Wert von $r_s = 0,45$ errechnet wurde. Für Untersucher A wurde mit dem Diagnodent ein Wert von $r_s = 0,44$ und mit dem Diagnodent Pen ein Wert von $r_s = 0,36$ zum Röntgen aufgezeigt. Bei Untersucher B wurde mit dem Diagnodent ein Wert von $r_s = 0,39$ und mit dem Diagnodent Pen ein Wert von $r_s = 0,41$ im Vergleich zum Röntgen erfasst, der sich damit immer noch im moderaten Bereich der Korrelation bewegt.

Rodrigues et al. [2008] ermittelten in ihrer Studie zur Befundung mit verschiedenen Kariesdiagnosesystemen für das visuelle Verfahren ICDAS-II die höchste Korrelation mit der Histologie ($r_s = 0,59$). Daraus folgerten die Autoren, dass das visuelle Verfahren von allen in jener Studie untersuchten Kariesdiagnosesystemen (Diagnodent, Diagnodent Pen, VistaProof, Röntgen) am besten geeignet ist, Veränderungen der Zahnhartsubstanzen zu erkennen. Für die Diagnodent-Messung wurde ein Wert von $r_s = 0,53$, für die Diagnodent-Pen-Messung ein Wert von $r_s = 0,52$ und für die röntgenologische Auswertung ein Wert von $r_s = 0,57$ für die Korrelation mit der Histologie ermittelt. Die Fluoreszenzkamera VistaProof wies die geringste Korrelation mit der Histologie auf ($r_s = 0,41$). Eine Studie von *Jablonski-Momeni et al.* [2010] zeigt eine hohe Korrelation zwischen ICDAS-II und der Histologie ($r_s = 0,71$) und eine geringere Korrelation zwischen Diagnodent und Histologie ($r_s = 0,51$).

Trotz der Vielzahl an Studien zu den beschriebenen Diagnoseverfahren wurden bisher keine Korrelationen zwischen den einzelnen Verfahren und der röntgenologischen Befundung berechnet. Aus diesem Grund sind nur Tendenzen der Korrelation zu den verschiedenen Goldstandards aufzeigbar. So weist das ICDAS-II in der durchgeführten Studie eine hohe Korrelation sowohl mit dem Röntgen ($r_s = 0,60$) auf, als auch mit dem in der Literatur aufgeführten Goldstandard Histologie ($r_s =$

0,71) [Jablonski-Momeni et al. 2010]. Die in der vorliegenden Studie ermittelten Werte für die Korrelation zwischen den Fluoreszenzverfahren und der röntgenologischen Auswertung ($r_s = 0,36 - 0,48$) sind ähnlich denen der von *Rodrigues et al.* [2008] ermittelten Korrelation dieser Verfahren zur histologischen Befundung ($r_s = 0,41 - 0,53$), wobei hier die Korrelation zwischen dem Röntgen und der Histologie $r_s = 0,57$ betrug.

6.3.4 Kreuztabellierung der Ergebnisse für die Kariesdiagnoseverfahren

Mit dem radiologischen Verfahren wurden 69 der 99 Messpunkte als frei von Dentinkaries eingestuft (70 %, Code 0 oder 1, Kategorie I). Bei 30 Messpunkten wurde mittels der röntgenologischen Befundung eine Dentinkaries diagnostiziert (30 %, Code 2 bis 4, Kategorie II).

Mit dem ICDAS-II-Verfahren wurden 96 % (Untersucher A) bzw. 93 % (Untersucher B) der Kategorie-I-Messpunkte erkannt. Mit dem Diagnodent wurden 70 % (Untersucher A) bzw. 65 % (Untersucher B) und mit dem Diagnodent Pen 61 % (Untersucher A) bzw. 58 % (Untersucher B) der Kategorie-I-Messpunkte erkannt.

Mit der VistaProof-Kamera wurden je nach angewendeter Schwellenwerteinteilung unterschiedliche Ergebnisse ermittelt. Bei Anwendung der modifizierten Einteilung nach *Rodrigues* [2009] wurden 78 % (Untersucher A) bzw. 67 % (Untersucher B) der Kategorie-I-Messpunkte erkannt. Bei Anwendung der Schwellenwerte nach Herstellerangaben (Abb. 4.12) wurden von beiden Untersuchern 99 % der Kategorie-I-Messpunkte erkannt. Die Ergebnisse zeigen, dass mit dem VistaProof-Gerät bei Anwendung der Schwellenwerte nach Herstellerangaben die höchste Übereinstimmung mit der röntgenologischen Auswertung ermittelt wurde (99 %). Auch das ICDAS-II-Verfahren weist mit 96 % (Untersucher A) bzw. 93 % (Untersucher B) eine hohe Übereinstimmung mit dem Röntgen auf. Die niedrigste Übereinstimmung bestand mit 58 % (Untersucher A) bzw. 61 % (Untersucher B) zwischen dem Diagnodent Pen und dem Röntgen.

Als Dentinkaries (Kategorie II) wurden vom ICDAS-II-Verfahren 60 % (Untersucher A) bzw. 57 % (Untersucher B) der Messpunkte erkannt. Die Erkennungsrate der Dentinkaries lag für das Diagnodent bei 70 % (Untersucher A) bzw. 77 % (Untersucher B), für das Diagnodent Pen bei 73 % (Untersucher A) und 80 % (Untersucher B). Bei der Anwendung der Fluoreszenzkamera variieren die Ergebnisse je nach verwendeter Einteilung der Schwellenwerte. So wurden bei Anwendung der modifizier-

ten Schwellenwerte nach *Rodrigues* [2009] 73% (Untersucher A) bzw. 80% (Untersucher B) der Messpunkte mit Dentinkaries erkannt, während bei Anwendung der Schwellenwerte nach Herstellerangaben nur 10% (Untersucher A) bzw. 7% (Untersucher B) der Messpunkte mit Dentinkaries erfasst wurden.

Aus den Ergebnissen wird deutlich, dass keines der Verfahren hundertprozentig in der Lage ist, einen Messpunkt als Kategorie I oder II einzustufen und eine vollkommene Übereinstimmung mit der radiologischen Auswertung zu erreichen. Mit dem visuellen Verfahren ICDAS-II ist es dem Untersucher sehr gut möglich, frühe Stufen der Karies zu erkennen. In diesem Bereich hat das Verfahren eine hohe Übereinstimmung mit dem Röntgen (Kategorie I, 93 % – 96 %). Offenbar ist es aber mit diesem Verfahren schwieriger, Dentinläsionen zu erfassen. Hier liegt eine geringere Übereinstimmung von 57 % bis 60 % vor.

Die Laserfluoreszenzverfahren zeigen tendenziell ähnliche Übereinstimmungen mit dem Röntgen, was auf die verwandte Funktionsweise dieser Systeme untereinander zurückzuführen ist. Bei der Erfassung von Messpunkten die frei von Dentinkaries sind, wies das Diagnodent leicht höhere Werte für die Übereinstimmung mit der röntgenologischen Auswertung auf (Diagnodent 65 % – 70 %, Diagnodent Pen 58 % – 61 %). Bei der Erfassung von Messpunkten mit Dentinkaries wies dagegen das Diagnodent Pen leicht höhere Werte auf (Diagnodent 70 % – 77 %, Diagnodent Pen 73 % – 80 %).

Weiterhin wird aus den Kreuztabellen ersichtlich, dass die Anwendung der verschiedenen Schwellenwerte für das VistaProof (Schwellenwerte nach *Rodrigues et al.* [2008] und nach Herstellerangaben) Auswirkungen auf die Ergebnisse hat. Bei der Anwendung der Schwellenwerte nach *Rodrigues et al.* [2008] ist zu sehen, dass die Werte für die Erkennung der Kategorie-I-Läsionen leicht höher liegen als bei den beiden anderen Fluoreszenzverfahren (Diagnodent 65 % – 70 %, Diagnodent Pen 58 % – 61 %, VistaProof 67 % – 78%). Die Werte für die Erkennung der Dentinkaries liegen im selben Bereich (Diagnodent 70 % – 77 %, Diagnodent Pen 73 % – 80 %, VistaProof 73 % – 80%). Auch hier wird deutlich, dass allen drei Verfahren eine verwandte Funktionsweise zugrunde liegt. Bei Anwendung der Schwellenwerte nach Herstellerangaben zeigt sich jedoch ein anderes Ergebnis. Bei der Anwendung dieser Schwellenwerte wird zwar eine sehr hohe Übereinstimmung mit dem Röntgen für die Erkennung von Messpunkten ohne Dentinläsion erzielt (99 %, Untersucher A und B), aber die Erkennungsrate von Messpunkten mit Dentinkaries liegt mit 7 % (Unter-

sucher A) bzw. 10 % (Untersucher B) sehr niedrig. Nach dieser Einteilung werden also fast alle Messpunkte mit Karies erkannt, die wichtige Information, ob es sich dabei um eine Dentinkaries handelt, wird aber nicht zuverlässig gegeben. In Anbetracht dieser Tatsache müssen weitergehende Studien durchgeführt werden, um zuverlässige Schwellenwerte zu ermitteln..

Eine Kombination verschiedener Verfahren der Kariesdiagnose erscheint sinnvoll um die jeweiligen Vorteile der Verfahren zu nutzen. *Souza-Zaroni et al.* [2006] ermittelten durch die Kombination von visueller Untersuchung mit Laserfluoreszenzmessung und radiologischer Untersuchung die besten Ergebnisse für die Kariesdiagnose, wobei auch immer die Erfahrung der Untersucher eine Rolle spielte. Sicherlich würde man die Wahrscheinlichkeit der Erkennung von Karies durch den Einsatz möglichst vieler Diagnoseverfahren erhöhen. Dabei sollte aber auch immer die Verhältnismäßigkeit gewahrt bleiben. An anderer Stelle wird die Kombination aus ICDAS-II und Bissflügelaufnahmen als beste Kombination beschrieben [Rodrigues et al. 2008]. *Kühnisch et al.* [2007c] schlagen den zusätzlichen Einsatz des Diagnost Pen zur visuellen und röntgenologischen Untersuchung vor.

6.4 Schlussfolgerung

In der vorliegenden Studie wurde die Reproduzierbarkeit der Messergebnisse der Kariesdiagnoseverfahren ICDAS-II, Diagnost, Diagnost Pen und VistaProof eines erfahrenen und eines unerfahrenen Anwenders überprüft. Die Korrelation der Kariesdiagnoseverfahren untereinander und zur radiologischen Befunderhebung wurde untersucht. Zusätzlich sollte die Frage beantwortet werden, inwieweit es mit den verschiedenen Kariesdiagnosesystemen möglich ist, eine Dentinkaries zu erkennen. Dabei konnte festgestellt werden, dass die Werte für die Reproduzierbarkeit aller Kariesdiagnosesysteme in einem hohen Bereich liegen. Es konnten keine deutlichen Abweichungen zwischen dem erfahrenen und dem unerfahrenen Untersucher bei der Anwendung der verschiedenen Verfahren festgestellt werden. Dies zeigt, dass die Verfahren auch von unerfahrenen Untersuchern, nach einer kurzen Einführung, schnell und einfach zu erlernen sind. Damit eignen sich diese Verfahren gut für den klinischen Alltag und können schon früh in der Lehre eingesetzt werden. Die hohe Reproduzierbarkeit spricht auch für den Einsatz dieser Verfahren zur Verlaufskontrolle von kariösen Läsionen.

Die Korrelation der verschiedenen Verfahren untereinander und zur röntgenologischen Untersuchung weist verfahrensabhängige Unterschiede auf. Die Fluoreszenzverfahren korrelieren stark miteinander. Dies ist größtenteils auf das gleiche Funktionsprinzip der Fluoreszenzanregung zurückzuführen, macht aber auch die Abhängigkeit von der Anwesenheit der Fluorophore deutlich. Der geringe Unterschied in der Korrelation zwischen dem VistaProof und den Diagnodent-Geräten kann auf die unterschiedlichen Anregungswellenlängen zurückgeführt werden. Die höchste Korrelation zum Röntgen weist das visuelle Diagnoseverfahren ICDAS-II auf ($r_s = 0,60$). Damit ist dieses kostengünstige, nichtinvasive und einfach zu erlernende Verfahren auch das effektivste bei der Erkennung von Karies im Vergleich zur röntgenologischen Befundung.

Kein Verfahren zeigte sich alleine in der Lage, eine vollkommene Übereinstimmung mit der röntgenologischen Untersuchung zu gewährleisten. Hieraus ergibt sich die Notwendigkeit der Kombination von mehreren Verfahren, die eine größtmögliche Sicherheit bei der Erkennung und Einstufung von Dentinkaries sicherstellt.

6.5 Klinische Relevanz

Da die vorliegende Arbeit als In-vitro-Studie angelegt war, können nicht alle Ergebnisse auf eine In-vivo-Situation übertragen werden. Experimentelle Faktoren, wie der Einfluss verschiedener Lagerungsmedien auf Fluoreszenz-Werte, spielen hierbei eine wichtige Rolle. Dennoch ist es sinnvoll, im Vorfeld einer In-vivo-Untersuchung In-vitro-Untersuchungen durchzuführen, um weiterführende Studien effizienter und medizinisch aussagekräftiger gestalten zu können.

Mit dem ICDAS-II wurde im Jahr 2005 ein visuelles Diagnoseverfahren eingeführt, das es ermöglicht, einerseits detailliert Kariesvorstufen und andererseits manifeste Läsionen zu erfassen. Die hohe Reproduzierbarkeit und gute Korrelation mit dem Röntgen sprechen für die Nutzung des ICDAS-II in epidemiologischen Reihenuntersuchungen ebenso wie im zahnärztlichen Alltag sowie in der Lehre.

Im Fall von klinisch suspekten Befunden können dann ergänzend weiterführende diagnostische Hilfsmittel, wie die Laserfluoreszenz, angewandt werden. Die Laserfluoreszenzverfahren Diagnodent und Diagnodent Pen eignen sich aufgrund der hohen Reproduzierbarkeit als Hilfsmittel zur Kariesdiagnose und zum Kariesmonitoring. Allerdings konnte auch gezeigt werden, dass die Laserfluoreszenzverfahren in

einigen Bereichen noch Limitationen aufweisen und sicherlich weiterer Überarbeitung bedürfen.

Das neue Fluoreszenzverfahren VistaProof ist ein vielversprechendes Hilfsmittel zur Objektivierung kariöser Läsionen und zur Verlaufskontrolle. Mit dem Gerät kann dem Patienten visuelles und quantitatives Feedback gegeben werden, was die Kommunikation mit dem Patienten erleichtert. Das Kariesmonitoring ist mit diesem Verfahren gut durchführbar, da die Fluoreszenzbilder der Messpunkte gespeichert werden und jederzeit wieder aufgerufen werden können, was mit anderen Geräten nicht möglich ist. Basierend auf den Ergebnissen dieser Studie sollten In-vivo-Studien durchgeführt werden, um den klinischen Einsatz der VistaProof-Kamera wissenschaftlich zu evaluieren und um die Eignung der VistaProof im zahnärztlichen Alltag zu untersuchen. Es empfiehlt sich, die vom Hersteller festgelegten Cut-off Punkte für die Differenzierung der verschiedenen Kariestiefen kritisch zu betrachten und ggf. neu zu ermitteln. Als nachteilig ist die benötigte technische Ausstattung in Hardware und Software anzusehen.

Jedes diagnostische Verfahren hat eigene Charakteristika, Einsatzgebiete sowie Limitationen bei der Anwendung. Keines der Kariesdiagnoseverfahren war, einzeln angewendet, in der Lage, alle mit dem Röntgen aufgedeckten Dentinläsionen ebenso zu diagnostizieren. Vor diesem Hintergrund sollte in weiterführenden Studien die Kombination diagnostischer Verfahren zur Erfassung der Zahnkaries überprüft werden.

7 Zusammenfassung

7.1 Zusammenfassung

Korrelation des visuellen Diagnosesystems ICDAS-II für die okklusale Karies mit drei verschiedenen Verfahren der Fluoreszenzmessung – eine In-vitro-Studie

Problemstellung: Der in vielen westeuropäischen Ländern beobachtete Rückgang der Kariesprävalenz geht mit einer Verschiebung der Ausprägung von kariösen Läsionen einher, wobei vor allem die Okklusalfächen der Zähne betroffen sind. Fissuren, die klinisch gesund scheinen oder Verfärbungen aufweisen, können bereits eine Dentinkaries haben, die sich erst auf Röntgenaufnahmen diagnostizieren lässt. Das Auftreten dieser so genannten „hidden caries“ wird mit der verstärkten Anwendung lokaler Fluoridierungsmaßnahmen diskutiert. Aus diesem Grund sollte die Zahnkaries nicht mehr ausschließlich auf dem Kavitationsniveau erfasst werden. Das International Caries Detection and Assessment System (ICDAS-II) ist ein visuelles Kariesdiagnoseverfahren, das kariös bedingte Veränderungen der Zahnhartsubstanzen bereits im frühen Stadium erfassen kann. Ziel der Entwicklung des ICDAS-II war es, eine standardisierte Methode zu entwerfen, die in der Lehre genauso wie in der Zahnarztpraxis und in epidemiologischen Studien eingesetzt werden kann. Neben den rein visuellen Methoden zur Kariesdiagnose stehen dem Zahnarzt eine Fülle weiterer Verfahren zur Verfügung. Hierzu zählt unter anderem die Fluoreszenzmessung. Das Grundprinzip der Fluoreszenzmessung beruht darauf, dass Zahnhartsubstanzen unter bestimmten Bedingungen fluoreszieren können. Auch die Stoffwechselprodukte einiger Bakterien emittieren, nach Anregung mit Licht einer bestimmten Wellenlänge, Fluoreszenzstrahlung. Verfahren, die dieses Prinzip zum Einsatz bringen, sind z. B. das Diagnodent, das Diagnodent Pen (KaVo, Biberach, Deutschland) und das VistaProof (Dürr Dental, Bietigheim-Bissingen, Deutschland). Ebenso können Röntgenaufnahmen (z. B. Bissflügel-aufnahmen) zur Diagnose klinisch nicht feststellbarer Karies herangezogen werden.

Ziel: Ziel der Studie war es, die Reproduzierbarkeit der unterschiedlichen Kariesdiagnoseverfahren zu überprüfen. Dabei sollte die Frage beantwortet werden, ob die Anwendung für ungeübte Benutzer genauso einfach durchzuführen ist wie für geübte.

Auch sollte überprüft werden, inwieweit die Ergebnisse der neuen Fluoreszenzkamera VistaProof mit den Ergebnissen bereits validierter Systeme korrelieren (ICDAS-II, Diagnodent und Diagnodent Pen). Des Weiteren sollte der Frage nachgegangen werden, inwieweit es mit den Verfahren möglich ist, eine Dentinkaries zu diagnostizieren. Die Ergebnisse der verschiedenen Kariesdiagnoseverfahren wurden mit der radiologische Befundung verglichen.

Material und Methode: 53 extrahierte menschliche Seitenzähne standen für die Untersuchungen zur Verfügung. Die Zähne wurden nach der Extraktion in einem Behälter mit gesättigter Thymollösung gesammelt, danach gereinigt und mit einer laufenden Nummer markiert. Die Okklusalflächen der Zähne wurden digital fotografiert und je Okklusalfläche wurden ein bis drei Messpunkte in den Fissuren festgelegt und auf Schwarz-Weiß-Ausdrucken der Bilder markiert. Insgesamt wurden 99 Messpunkte ausgewählt. Die Okklusalflächen der Zähne wurden von zwei Untersuchern unabhängig voneinander nach den Kriterien des ICDAS-II zweimal im Abstand von einem Tag befundet. Die Fluoreszenzmessungen mit den verschiedenen Verfahren (Diagnodent, Diagnodent Pen, VistaProof) wurden von beiden Untersuchern durchgeführt und innerhalb eines Tages wiederholt. Im Anschluss daran wurden von allen Zähnen digitale Röntgenaufnahmen angefertigt, die von einem erfahrenen Untersucher befundet wurden.

Statistik: Die statistische Auswertung erfolgte mit SPSS (14.0). Als Maß für die Reproduzierbarkeit wurde für das ICDAS-II Cohens Kappa berechnet. Für die Diagnosen der Diagnodent-, Diagnodent-Pen- und VistaProof-Messungen wurde die Reproduzierbarkeit mittels des Intra-Klassen-Korrelationskoeffizienten (ICC) erhoben. Zusätzlich wurden für die Fluoreszenzverfahren Bland-Altman-Plots zur Bestimmung der Intra-Untersucher-Reproduzierbarkeit berechnet. Die Korrelation zwischen allen Verfahren (ICDAS-II, Diagnodent, Diagnodent Pen, VistaProof, Röntgen) wurde mit der Rangkorrelation nach Spearman (r_s) berechnet. Die Ergebnisse der Messungen wurden in Kreuztabellen den röntgenologischen Befunden gegenübergestellt.

Ergebnisse: Die einfachen Kappa-Werte der ICDAS-II-Messungen lagen für die Inter-Untersucher-Reproduzierbarkeit im moderaten Bereich ($\kappa = 0,60$) und die gewichteten Kappa-Werte im substantiellen Bereich ($\kappa = 0,74$). Die Intra-Untersucher-Reproduzierbarkeit lag mit Werten von $\kappa = 0,73$ und $\kappa = 0,47$ für den einfachen Kappa-Wert und von $\kappa = 0,78$ und $\kappa = 0,70$ für den gewichteten Kappa-Wert im moderaten bis substantiellen Bereich. Die Intra-Untersucher-Übereinstimmung ergab für alle

drei Fluoreszenzverfahren Diagnodent, Diagnodent Pen und VistaProof einen hohen Wert ($ICC = 0,81 - 0,98$). Auch der Intra-Klassen-Korrelationskoeffizient für die Inter-Untersucher-Reproduzierbarkeit lag für alle drei Fluoreszenzverfahren im hohen Bereich (Diagnodent $ICC = 0,86$, Diagnodent Pen $ICC = 0,93$, VistaProof $ICC = 0,76$). Die Bland-Altman-Plots zeigten für die Intra-Untersucher-Reproduzierbarkeit der Diagnodent-Messungen Mittelwerte von $-3,63$ und $0,77$. Die 95 % Übereinstimmungsgrenzen lagen zwischen $16,84$ und $-24,12$. Die Diagnodent-Pen-Messungen ergaben Mittelwerte von $-1,57$ und $-1,25$, wobei die Übereinstimmungsgrenzen im Bereich von $13,28$ bis $-16,44$ lagen. Die Messung mit dem VistaProof ergab Mittelwerte von $0,06$ und $0,02$. Die Übereinstimmungsgrenzen lagen bei dieser Messung zwischen $0,41$ und $-0,3$. Das ICDAS-II wies zu den Fluoreszenzverfahren eine moderate Korrelation auf ($r_s = 0,57 - 0,67$). Von allen Verfahren zeigte das ICDAS-II die höchste Korrelation mit der röntgenologischen Untersuchung ($r_s = 0,60$). Die Fluoreszenzmessungen ergaben im Vergleich zur röntgenologischen Befundung moderate Korrelationen (Diagnodent $r_s = 0,39 - 0,44$, Diagnodent Pen $r_s = 0,36 - 0,41$, VistaProof $r_s = 0,45 - 0,48$). Untereinander wiesen die drei Fluoreszenzverfahren eine moderate bis hohe Korrelation auf ($r_s = 0,62 - 0,93$), wobei zwischen den beiden Laserfluoreszenzverfahren (Diagnodent, Diagnodent Pen) die höchste Korrelation ermittelt wurde ($r_s = 0,93$). Aus den Kreuztabellen ging hervor, dass von den 69 mit dem röntgenologischen Verfahren als kariesfrei eingestuften Messpunkten vom ICDAS-II 93 % – 96 % richtig als kariesfrei diagnostiziert wurden (Diagnodent 70 % – 65 %, Diagnodent Pen 61 % – 58 %, VistaProof 67 % – 99 %). Von den 30 Messpunkten bei denen mit dem röntgenologischen Verfahren eine Dentinkaries festgestellt wurde, wurden mit dem ICDAS-II 57 % – 60 %, mit dem Diagnodent 70 % – 77 %, mit dem Diagnodent Pen 73 % – 80 % und mit der Fluoreszenzkamera 7 % – 80 % richtig als Dentinkaries erkannt.

Diskussion und Schlussfolgerung: Die Ergebnisse unserer Studie zeigen bezüglich der untersuchten Verfahren gute Ergebnisse für die Reproduzierbarkeit. Anwender mit wenig Erfahrung im Umgang mit diesen Diagnoseverfahren weisen schon nach einer kurzen Einführung hohe Werte für die Reproduzierbarkeit auf. Damit sind diese Verfahren für den Einsatz im klinischen Alltag gut geeignet und sollten schon früh in der Ausbildung von Zahnmedizinern als Hilfsmittel eingesetzt werden. Die hohe Reproduzierbarkeit spricht auch für den Einsatz der Diagnoseverfahren zur Kontrolle des Kariesverlaufs.

Zwischen den Fluoreszenzverfahren konnte eine hohe Korrelation ermittelt werden, was auf das ähnliche Funktionsprinzip der Verfahren zurückzuführen ist. Die Korrelation zwischen dem visuellen Verfahren und den Fluoreszenzgeräten lag im moderaten Bereich. Zum Röntgen wies das visuelle Diagnoseverfahren die höchste Korrelation auf. Vor diesem Hintergrund erscheint es richtig, verstärkt differenzierte visuelle Klassifizierungssysteme, wie das ICDAS-II, in die zahnärztliche Aus- und Weiterbildung aufzunehmen, um unter Praxisbedingungen möglichst einfach, schnell und kostengünstig eine erste Diagnose stellen zu können. Der Vergleich zwischen den Untersuchungsverfahren und der radiologischen Befundung verdeutlicht, dass es mit keinem der Verfahren alleine möglich war, alle Dentinläsionen aufzudecken, die mit dem Röntgen diagnostiziert wurden. Hieraus ergibt sich die Notwendigkeit der Kombination von mehreren Verfahren, die eine größtmögliche Sicherheit bei der Erkennung und Einstufung von Dentinkaries sicherstellt. Es empfiehlt sich, die vom Hersteller festgelegten Cut-off Punkte für die Differenzierung der verschiedenen Kariestiefen mittels der VistaProof-Kamera kritisch zu betrachten und ggf. neu zu ermitteln.

7.2 Zusammenfassung englisch

Correlation of ICDAS-II and three fluorescence methods for occlusal caries diagnosis – an in-vitro study

Aim: This in-vitro study aimed to assess the reproducibility of ICDAS-II and three fluorescence methods for caries detection when used by an experienced and a novice examiner. Furthermore, the correlation among the ICDAS-II and the fluorescence methods should be evaluated. Additionally, the performance of all methods for the detection of dentine caries should be assessed as compared to radiographic detection.

Material & Methods: 53 freshly extracted permanent teeth were available for the study. Two examiners (A: experienced dentist, B: final-year dental student) examined 99 investigation sites on the occlusal surfaces of the teeth using the following methods: ICDAS-II, the laser fluorescence devices DIAGNOdent (DD) and DIAGNOdent Pen (DDPen), and the fluorescence camera VistaProof (VP). All sites were examined twice within the same day. Bitewing radiographs (BW) were taken and assessed for presence of caries at D3-Level (dentine caries).

Statistics: Statistical analyses were made by means of SPSS, Version 14.0. Cohen's kappa was used to calculate the intra- and inter-examiner reproducibility of ICDAS-II. Intra-class-correlation coefficients (ICC) were calculated for intra- and inter-examiner reproducibility of the fluorescence measurements. The Bland-Altman method was applied for the fluorescence measurements to identify systematic differences and the extent of concordance between two readings. Correlations among the fluorescence methods were assessed using Spearman's correlation coefficient (r_s). All methods were crosstabulated versus radiography.

Results: Kappa values for intra-examiner reproducibility (ICDAS-II) were for examiner A: 0.73 (unweighted) and 0.78 (weighted); Examiner B: 0.47 (unweighted) and 0.70 (weighted). Inter-examiner reproducibility was $\kappa = 0.60$ (unweighted) and $\kappa = 0.74$ (weighted). Intra-examiner reproducibility (ICC) for examiner A was: 0.95 (DD), 0.97 (DDPen), 0.81 (VP) and for examiner B: 0.98 (DD), 0.98 (DDPen), 0.95 (VP). Inter-examiner reproducibility (ICC) was 0.86 (DD), 0.93 (DDPen) and 0.76 (VP). Bland-Altman-Plots showed for intra-examiner reproducibility means between -3.63 and 0.02 . The 95 % limits of agreement were between $16,84$ and $-24,12$. Significant positive correlations were observed among all methods ($p < 0.001$). Correla-

tion between ICDAS-II and other methods (DD, DDPen, VP) were moderate $r_s = 0,64 - 0,67$ (Examiner A) and $r_s = 0,57 - 0,63$ (Examiner B). r_s for examiner A were: 0.93 (DD/DDPen), 0.79 (DD/VP), 0.80 (DDPen/VP) and for examiner B: 0.93 (DD/DDPen), 0.60 (DD/VP), 0.62 (DDPen/VP). r_s with bitewing radioagraphy were: Examiner A: 0.60 (ICDAS-II), 0.44 (DD), 0.36 (DDPen), 0.48 (VP); Examiner B: 0.60 (ICDAS-II), 0.39 (DD), 0.41 (DDPen), 0.45 (VP). 30 sites were found by BW to have dentinal caries. The performance of different methods in detecting dentinal caries was: Examiner A: 60% (ICDAS-II), 70% (DD), 73% (DDPen), 10% – 73% (VP); Examiner B: 57% (ICDAS-II), 77% (DD), 80% (DDPen), 7% – 80% (VP).

Conclusion: All detection methods for occlusal caries demonstrated high reproducibility whether they were used by a dental student or an experienced examiner. The findings support the view that final-year dental students are able to apply a fluorescence system as a supportive device for caries diagnostic and monitoring purposes. Each diagnostic procedure has own characteristics, indications and limitations in the application, thus a combination of several methods is recommended for carefully recording occlusal caries. Since the clinical database of the suggested cut-off values for the VistaProof is limited to date, the values should be interpreted carefully until more clinically validated results are available.

7.3 Zusammenfassung für die Marburger Bibliographie

Korrelation des visuellen Diagnosesystems ICDAS-II für die okklusale Karies mit drei verschiedenen Verfahren der Fluoreszenzmessung – eine In-vitro-Studie

Problemstellung: Der Rückgang der Kariesprävalenz geht mit einer Verschiebung der Ausprägung von kariösen Läsionen einher, wobei vor allem die Okklusalfächen der Zähne betroffen sind. Karies sollte auf Grund dieser Entwicklung nicht mehr ausschließlich auf dem Kavitationsniveau erfasst werden. Das International Caries Detection and Assessment System (ICDAS-II) ist ein visuelles Diagnosesystem, das Veränderungen der Zahnhartsubstanzen bereits im frühen Stadium erfassen kann. Neben der visuellen Kariesdiagnose stehen dem Zahnarzt weitere Verfahren zur Verfügung. Hierzu zählen unter anderem die Fluoreszenzmessung und die Anfertigung und Auswertung von Bissflügelaufnahmen. **Ziel:** Ziel der Studie war es, die Reproduzierbarkeit von vier Kariesdiagnoseverfahren zu überprüfen und zu untersuchen, ob die Anwendung für ungeübte Benutzer genauso einfach durchzuführen ist wie für geübte Benutzer. Auch sollte überprüft werden, inwieweit die Ergebnisse der Fluoreszenzkamera mit den Ergebnissen validierter Systeme korrelieren. Des Weiteren wurde geprüft, inwieweit es mit den Verfahren möglich ist, eine Dentinkaries zu diagnostizieren. Die Ergebnisse wurden mit der radiologischen Befundung verglichen. **Material und Methode:** 99 Messpunkte an den Okklusalfächen von 53 extrahierten Seitenzähnen wurden von zwei Untersuchern nach den Kriterien des ICDAS-II zweimal im Abstand von einem Tag befundet. Fluoreszenzmessungen mit den verschiedenen Verfahren (Diagnodent, Diagnodent Pen, VistaProof) wurden von beiden Untersuchern innerhalb von zehn Tagen nach der Extraktion durchgeführt und innerhalb eines Tages wiederholt. Anschließend wurden von allen Zähnen Röntgenaufnahmen angefertigt. **Statistik:** Die Reproduzierbarkeit der Messungen wurden mittels Cohens Kappa und des Intra-Klassen-Korrelationskoeffizienten (ICC) berechnet. Für die Fluoreszenzverfahren wurden Bland-Altman-Plots erstellt. Die Korrelation wurde mittels der Rangkorrelation nach Spearman berechnet. Die Ergebnisse der Messungen mit den verschiedenen Diagnosesystemen wurden in Kreuztabellen den röntgenologischen Befunden gegenübergestellt. **Ergebnisse:** Die einfachen Kappa-Werte der ICDAS-II-Messungen lagen für die Inter-Untersucher-Reproduzierbarkeit im

moderaten ($\kappa = 0,60$) und die gewichteten Kappa-Werte im substantiellen Bereich ($\kappa = 0,74$). Die Intra-Untersucher-Reproduzierbarkeit lag mit $\kappa = 0,73$ und $\kappa = 0,47$ für den einfachen Kappa-Wert und mit $\kappa = 0,78$ und $\kappa = 0,70$ für den gewichteten Kappa-Wert im moderaten bis substantiellen Bereich. Die Intra-Untersucher-Übereinstimmung ergab für alle drei Fluoreszenzverfahren eine hohe Übereinstimmung (ICC = 0,81 – 0,98). Der ICC für die Inter-Untersucher-Reproduzierbarkeit lag für alle drei Fluoreszenzverfahren im hohen Bereich (ICC = 0,76 – 0,93). Die Bland-Altman-Plots zeigten für die Intra-Untersucher-Reproduzierbarkeit folgende Mittelwerte: – 3,63 und 0,77 (Diagnodent), – 1,57 und – 1,25 (Diagnodent-Pen), 0,06 und 0,02 (VistaProof). Das ICDAS-II wies zu den Fluoreszenzverfahren eine moderate Korrelation auf ($r_s = 0,57 – 0,67$). Von allen Verfahren zeigte das ICDAS-II die höchste Korrelation mit der röntgenologischen Untersuchung ($r_s = 0,60$). Die Fluoreszenzmessungen ergaben im Vergleich zur röntgenologischen Befundung moderate Korrelationen (Diagnodent $r_s = 0,39 – 0,44$, Diagnodent Pen $r_s = 0,36 – 0,41$, VistaProof $r_s = 0,45 – 0,48$). Untereinander wiesen die drei Fluoreszenzverfahren eine moderate bis hohe Korrelation auf ($r_s = 0,62 – 0,93$). Aus den Kreuztabellen ging hervor, dass von den 69 mit dem Röntgen als kariesfrei eingestuft Messpunkten vom ICDAS-II 93 % – 96 % richtig als kariesfrei diagnostiziert wurden (Diagnodent 70 % – 65 %, Diagnodent Pen 61 % – 58 % und VistaProof 67 % – 99 %). Von den 30 Messpunkten, bei denen mit dem röntgenologischen Verfahren eine Dentinkaries festgestellt wurde, wurden mit dem ICDAS-II 57 % – 60 %, mit dem Diagnodent 70 % – 77 %, mit dem Diagnodent Pen 73 % – 80 % und mit der Fluoreszenzkamera 7 % – 80 % richtig als Dentinkaries erkannt. **Diskussion und Schlussfolgerung:** Die Verfahren zeigten eine gute Reproduzierbarkeit. Ungeübte Anwender weisen schon nach einer kurzen Einführung gute Werte für die Reproduzierbarkeit auf. Damit eignen sich diese Verfahren für den klinischen Alltag und sollten schon früh in der Ausbildung von Zahnmedizinern eingesetzt werden. Ebenso ist der Einsatz zum Kariesmonitoring gut möglich. Das ICDAS-II-Verfahren wies zum Röntgen die höchste Korrelation auf. Es ist ein geeignetes Verfahren, um unter Praxisbedingungen möglichst einfach, schnell und kostengünstig eine erste Diagnose zu stellen, und sollte ebenso in der zahnärztlichen Aus- und Weiterbildung Eingang finden. Mit keinem der Verfahren war es möglich, alle Dentinläsionen aufzudecken. Die Kombination von mehreren Verfahren würde die Sicherheit bei der Erkennung einer Dentinkaries erhöhen.

8 Literaturverzeichnis

1. Adam D, Christ W: Antibiotika und Chemotherapeutika. Pharmakologie und Toxikologie. BI Wissenschaftsverlag Mannheim 1987.
2. Aljehani A, Yang L, Shi XQ: In vitro quantification of smooth surface caries with DIAGNOdent and DIAGNOdent pen. *Acta Odontol Scand* 65,60-63 (2007).
3. Alwas-Danowska HM, Plasschaert AJ, Suliborski S, Verdonchot EH: Reliability and validity issues of laser fluorescence measurements in occlusal caries diagnosis. *J Dent* 30, 129-134 (2002).
4. Ando M, van der Veen MH, Schemehorn BR, Stookey GK: Comparative study to quantify demineralized enamel in deciduous and permanent teeth using laser- and light-induced fluorescence techniques. *Caries Res* 35, 464-470 (2001).
5. Angnes V, Angnes G, Batistella M, Grande RHM, Loguerico AD, Reis A: Clinical effectiveness of laser fluorescence, visual inspection and radiography in the detection of occlusal caries. *Caries Res* 39, 490-495 (2005).
6. Anttonen V, Seppä L, Hausen H: A follow-up study of the use of DIAGNOdent for monitoring fissure caries in children. *Community Dent Oral Epidemiol* 32, 312-318 (2004).
7. Backer-Dirks OB, Houwink B, Kwant GW: The results of 6 ½ years of artificial fluoridation of drinking water in the Netherlands. The Thiel-Culemborg experiment. *Arch Oral Biol* 5, 284-300 (1961).
8. Bader JD, Shugars DA, Bonito AJ: Systematic reviews of selected dental caries diagnostic and management methods. *J Dent Educ* 65, 960-968 (2001).
9. Bader JD, Shugars DA: A systematic review of the performance of a laser fluorescence device for detecting caries. *J Am Dent Assoc* 135, 1413-1426 (2004).
10. Benedict H: The fluorescence of teeth as another method of attack on the problem of dental caries. *J Dent Res* 9, 274-275 (1929).
11. Black GV: *Konservierende Zahnheilkunde*. Berlin Meuser 1914.
12. Bland JM, Altman DG: Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet* 1, 307-310 (1986).
13. Braga MM, Mendes FM, Martignon S, Ricketts DN, Ekstrand KR: In vitro comparison of Nyvad's system and ICDAS-II with Lesion Activity As-

- assessment for evaluation of severity and activity of occlusal caries lesions in primary teeth. *Caries Res* 43, 405-412 (2009).
14. Buchalla W, Lennon AM, Brune L, Zimmermann O, Gross U, Attin T: Red and Green Fluorescence Emitted by Cultured Bacteria. *Caries Res* 39, 302-303 (2005).
 15. Buchalla W, Attin T, Niedmann Y, Niedmann PD, Lennon AM: Porphyrins are the cause of red fluorescence of carious dentine: verified by gradient reversed-phase HPLC (Abstract). *Caries Res* 42, 223 (2008).
 16. Burket LW: The accuracy of clinical and roentgenologic diagnosis of dental caries as determined by microscopic studies. *J Dent Res* 20, 71-76 (1941).
 17. Carvalho JC, Ekstrand KR, Thylstrup A: Dental plaque and caries on occlusal surfaces of first permanent molars in relation to stage of eruption. *J Dent Res* 68, 773-779 (1989).
 18. Cohen J: Weighted kappa: nominal scales agreement with provision for scaled disagreement on partial credit. *Psychol Bull* 70, 213-220 (1968).
 19. Cook SL, Martinez-Mier EA, Dean JA, Weddell JA, Sanders BJ, Eggertson H, Ofner S, Yoder K: Dental caries experience and association to risk indicators of remote rural populations. *Int J Paediatr Dent* 18, 275-283 (2008).
 20. Côrtes DF, Ellwood RP, Ekstrand KR: An in vitro comparison of a combined FOTI/visual examination of occlusal caries with other caries diagnostic methods and the effect of stain on their performance. *Caries Res* 37, 8-16 (2003).
 21. De Benedetto MS, Morais CC, Novaes TF, Rodrigues JA, Braga MM, Mendes FM: Comparing the reliability of a new fluorescence camera with conventional laser fluorescence devices in detecting caries lesions in occlusal and smooth surfaces of primary teeth. *Lasers Med Sci* [Epub ahead of print] (2010).
 22. de Josselin de Jong E, Hall AF, van der Veen MH: Quantitative light induced fluorescence detection method: a Monte Carlo simulation model. In: Stookey, G. K. (ed.): *Early detection of dental caries: Proceedings of the 1st annual Indiana Conference*. Indianapolis, Indiana University 91-104 (1996).
 23. Demtröder W: *Laserspektroskopie: Grundlagen und Techniken*. Springer Verlag Berlin 2000.
 24. Diniz MB, Rodrigues JA, Hug I, Cordeiro Rde C, Lussi A: Reproducibility and accuracy of the ICDAS-II for occlusal caries detection. *Community Dent Oral Epidemiol* 37, 399-404 (2009).

25. Dommisch H, Peus K, Kneist S, Krause F, Braun A, Hedderich J, Jepsen S, Eberhard J: Fluorescence-controlled Er:YAG laser for caries removal in permanent teeth: a randomized clinical trial. *Eur J Oral Sci* 116, 170-176 (2008).
26. Downer MC: Concurrent validity of an epidemiological diagnostic system for caries with the histological appearance of extracted teeth as validating criterion. *Caries Res* 9, 231-246 (1975).
27. Dünninger P, Pieper K: Ergebnisse zur Prävalenz von Karies und Dental fluorose. Mundgesundheitszustand und Verhalten in Deutschland. Ergebnisse des Nationalen IDZ Survey 1989. Deutscher Ärzteverlag Köln 1991.
28. Eberhart J, Frentzen M, Thoms M: Neue optische Methoden zur Kariesdetektion – Fluoreszenzbasierte Verfahren zur Erkennung nichtkavierter Läsionen. *ZWR* 116, 148-156 (2007).
29. Einwag J, Pieper K: Kinderzahnheilkunde. Urban und Schwarzenberg München-Wien-Baltimore 1997.
30. Ekstrand KR, Kuzmina I, Bjørndal L, Thylstrup A: Relationship between external and histologic features of progressive stage of caries in the occlusal fossa. *Caries Res* 29, 243-250 (1995).
31. Ekstrand KR, Ricketts DN, Kidd EA: Reproducibility and accuracy of three methods for assessment of demineralization depth of the occlusal surface: an in vitro examination. *Caries Res* 31, 224-231 (1997).
32. Ekstrand KR, Ricketts DN, Kidd EA, Qvist V, Schou S: Detection, diagnosing, 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 (1998).
33. Ekstrand KR, Ricketts DN, Longbottom C, Pitts NB: Visual and tactile assessment of arrested initial enamel carious lesions: an in vivo pilot study. *Caries Res* 39, 173-177 (2005).
34. Ekstrand KR, Martignon S, Ricketts DN, Qvist V: Detection and activity assessment of primary coronal caries lesions: a methodologic study. *Oper Dent* 32, 225-235 (2007).
35. Emilson CG: Potential efficacy of chlorhexidine against mutans streptococci and human dental caries. *J Dent Res* 73, 682-691 (1994).
36. Fauchard P: *Le Chirurgien Dentist*. Paris 1728. Zitiert in: Strömberg HL: *Die Zahnheilkunde im achtzehnten Jahrhundert*. Ein Stück Kulturgeschichte. Levin und Munksgaard Kopenhagen 1935.
37. Feyerskov O, Ekstrand K, Burt BA: *Fluoride in Dentistry*. Levin und Munksgaard Kopenhagen 1996.

38. Fleiss JL: Statistical methods for rates and proportions. Band 2, John Wiley New York 1981.
39. Francescut P, Lussi A: Correlation between fissure discoloration, DIAGNOdent measurements and caries depth: an in vitro study. *Pediatr Dent* 25, 559-564 (2003).
40. Francescut P, Zimmerli B, Lussi A: Influence of different storage methods on laser fluorescence values: a two-year study. *Caries Res* 40, 181-185 (2006).
41. Fung L, Smales R, Ngo H, Mount G: Diagnostic comparison of three groups of examiners using visual and laser fluorescence methods to detect occlusal caries in vitro. *Australian Dent J* 49, 67-71 (2004).
42. Fyffe HE, Deery CH, Nugent ZJ, Nuttall NM, Pitts NB: Effect of diagnostic threshold on the validity and reliability of epidemiological caries diagnosis using the Dundee Selectable Threshold Method for caries diagnosis (DSTM) *Community Dent Oral Epidemiol* 28, 42-51 (2000).
43. Garengot JC: Abhandlung von denen gebräuchlichsten Instrumenten der Chirurgie. Berlin 1729. Zitiert in: Hoffmann-Axthelm W: Die Geschichte der Zahnheilkunde. Quintessenz Verlag Berlin 1973.
44. Gerthsen C, Vogel H: Physik. 20. Auflage, Springer Verlag Berlin 1999.
45. Hafström-Björkman U, Sundström F, de Josselin de Jong E, Oliveby A, Angmar-Månsson B: Comparison of laser fluorescence and longitudinal microradiography for quantitative assessment of in vitro enamel caries. *Caries Res* 26, 241-247 (1992).
46. Hannigan A, O'Mullane DM, Barry D, Schäfer F, Roberts AJ: A caries susceptibility classification of tooth surfaces by survival time. *Caries Res* 34, 103-108 (2000).
47. Heinrich-Weltzien R, Kühnisch J, Weerheijm K, Stößer L: Diagnostik der versteckten Okklusalkaries mit Bissflügel-Aufnahmen. *Dtsch Zahnärztl Z* 56, 476-480 (2001).
48. Heinrich-Weltzien R, Kühnisch J, Oehme T, Weerheijm K, Stößer L: Okklusalkaries-Diagnostik - Ein Vergleich von DIAGNOdent mit konventionellen Methoden. *Oralprophylaxe* 25, 77-80 (2003).
49. Heinrich-Weltzien R, Kühnisch J: Stellenwert der Bissflügel-Röntgenaufnahme zur Kariesdiagnostik bei Kindern und Jugendlichen. *ZWR* 116, 157-164 (2007).
50. Heinrich-Weltzien R, Haak R, Buchalla W, Kühnisch J: Kariesdiagnostik Eine Herausforderung für den Zahnarzt? *ZWR* 117, 160-168 (2008).

51. Hellwig E, Klimek J, Attin T: Einführung in die Zahnerhaltung. Deutscher Ärzte-Verlag Köln 2009.
52. Hibst R, Gall R: Development of adiode laser-based fluorescence caries detector. *Caries Res* 32, 1293-1300 (1998).
53. Hibst R: Optische Messmethoden zur Kariesdiagnose. *ZWR* 108, 50-55 (1999).
54. Hibst R: Laser: Aktueller Stand und neue Entwicklungen. *Zm – Zahnärztliche Mitteilungen* 10, 54-63 (2001a)
55. Hibst R, Paulus R, Lussi A: Detection of Occlusal Caries by Laser Fluorescence: Basic and Clinical Investigations. *Med Laser Appl* 16, 205-213 (2001b).
56. Hintze H, Wenzel A, Jones C: In vitro comparison of D- and E-speed film radiography, RVG, and visualix digital radiography for the detection of enamel approximal and dentinal occlusal caries lesions. *Caries Res* 28, 363-367 (1994).
57. Hintze H, Wenzel A, Larsen MJ: Stereomicroscopy, film radiography, microradiography and naked-eye inspection of tooth sections as validation for occlusal caries lesions. *Caries Res* 29, 359-363 (1995).
58. Hoerman K, Mancewicz S: Fluorometric demonstration of tryptophan in dentin and bone protein. *J Dent Res* 43, 276-280 (1964).
59. Huth KC, Neuhaus KW, Gygax M, Bücher K, Crispin A, Paschos E, Hickel R, Lussi A: Clinical performance of a new laser fluorescence device for detection of occlusal caries lesions in permanent molars. *J Dent* 36, 1033-1040 (2008).
60. Huysmans M, Longbottom C: The challenges of validating diagnostic methods and selecting appropriate gold standards. *J Dent Res* 83 (Spec Iss C), C48-C52 (2004).
61. Ifland S, Kühnisch J, Heinrich-Weltzien R: Die quantitative lichtinduzierte Fluoreszenz (QLF). *ZWR* 113, 254-258 (2004).
62. International Caries Detection and Assessment System (ICDAS) Coordinating Committee: The rationale and evidence for the International Caries Detection and Assessment System (ICDAS-II) & Criteria Manual, Baltimore 2005 (<http://www.icdas.org/>)
63. Ismail AI: Clinical diagnosis of precavitated carious lesions. *Community Dent Oral Epidemiol* 25, 13-23 (1997).
64. Ismail AI: Visual and visuo-tactile detection of dental caries. *J Dent Res* 83 (Spec Iss C), C56-C66 (2004).

65. Ismail AI, Sohn W, Tellez M, Willem JM, Betz J, Lepkowski J: Risk indicators for dental caries using the International Caries Detection and Assessment System (ICDAS). *Community Dent Oral Epidemiol* 36, 55-68 (2008).
66. Jablonski-Momeni A, Hartmann T, Stoll R, Pieper K: Kariesprävalenz und Behandlungsbedarf bei 12-Jährigen in Marburg in den Jahren 2002 bis 2006. *Oralprophylaxe Kinderzahnheilkd* 29, 161-164 (2007).
67. Jablonski-Momeni A, Stachniss V, Ricketts DN, Heinzl-Gutenbrunner M, Pieper K: Reproducibility and accuracy of the ICDAS-II for detection of occlusal caries in vitro. *Caries Res* 42, 79-87 (2008a).
68. Jablonski-Momeni A, Stachniss V, Ricketts DN, Heinzl-Gutenbrunner M, Stoll R, Pieper K: Validierung des ICDAS-II zur Diagnose der Fissurenkaries - eine In-vitro Studie mittels Oberflächeninspektion und Histologie. *Dtsch Zahnärztl Z* 63, 343-349 (2008b).
69. Jablonski-Momeni A, Ricketts DN, Stachniss V, Maschka R, Heinzl-Gutenbrunner M, Pieper K: Occlusal caries: Evaluation of direct microscopy versus digital imaging used for two histological classification systems. *J Dent* 37, 204-211 (2009).
70. Jablonski-Momeni A, Ricketts DN, Rolfsen S, Stoll R, Heinzl-Gutenbrunner M, Stachniss V, Pieper K: Performance of laser fluorescence at tooth surface and histological section. *Lasers Med Sci* DOI 10.1007/s10103-010-0768-y (2010).
71. Keem S, Elbaum M: Wavelet representations for monitoring changes in teeth imaged with digital imaging fiber-optic Transillumination. *Trans Med Imag* 16, 653-663 (1997).
72. Keyes PH: Recent advances in dental caries research. Bacteriological findings and biological implications. *Int Dent J* 12, 443-464 (1962).
73. Klimek J, Hellwig E, Ahrens G: Der Einfluß von Plaque auf die Fluorstabilität im Schmelz nach Applikation von Aminfluorid im künstlichen Mund. *Dtsch Zahnärztl Z* 37, 836-840 (1982).
74. Klinke T, Zraiki S, Klimm W, Viergutz G, Kuhlisch E, Gente M: Caries Detection at Discoloured Occlusal Sites: A Comparison of Four Methods Within Two Age Groups. *Int Poster J Dent Oral Med* 8, Poster 309 (2006)
75. Knopf H, Rieck A, Schenk L: Mundhygiene. Daten des KiGGS zum Karies-präventiven Verhalten. *Bundesgesundheitsbildung – Gesundheitsforschung – Gesundheitsschutz* 51, 1314-1320 (2008).
76. König K: Karies und Kariesprophylaxe. Wilhelm Goldmann Verlag GmbH München 1971.

77. König K, Hibst R, Meyer H, Flemming G, Schneckenburger H: Laser-induced autofluorescence of caries regions of human teeth and caries involved bacteria. SPIE Vol. 2080 Dental Applications of Lasers (1993).
78. König K, Schneckenburger H: Laser-induced autofluorescence for medical diagnosis. *J Fluorescence* 4, 17-40 (1994).
79. König K, Schneckenburger H, Hibst R: Time-gated in vivo autofluorescence imaging of dental caries. *Cell mol Biol* 45, 233-239 (1999).
80. König K, Teschke M, Sigusch B, Glockmann E, Eick S, Pfister W: Red light kills bacteria via photodynamic action. *Cell mol Biol* 46, 1297-1303 (2000).
81. Krause F: Fluoreszenzbasierte optische Methoden zur okklusalen Kariesdiagnostik. *Laser Zahnheilkd* 8, 13-19 (2008).
82. Krause F, Braun A, Lotz G, Kneist S, Jepsen S, Eberhard J: Evaluation of selective caries removal in deciduous teeth by a fluorescence feed back-controlled Er:YAG laser in vivo. *Clin Oral Investig* (2008).
83. Kühnisch J, Goddon I: Die verfärbte Fissur und ihre Herausforderung an den Zahnarzt. *Zahnärztl Mitt* 93, 2520-2525 (2003).
84. Kühnisch J, Tabatabaie M, Viergutz G, Zraiki S, Hetzer G, Stösser L, Heinrich-Weltzien R: Vergleichende In-vitro-Untersuchung von zwei Verfahren zur elektrischen Widerstandsmessung an nicht kavitierten Okklusalfächen. *Dtsch Zahnärztl Z* 61, 131-136 (2006a).
85. Kühnisch J, Ifland S, Tranaeus S, Angmar-Månsson B, Hickel R, Stösser L, Heinrich-Weltzien R: Establishing quantitative light-induced fluorescence cutoffs for the detection of occlusal dentine lesions. *Eur J Oral Sci* 114, 483-488 (2006b).
86. Kühnisch J, Bücher K, Henschel V, Hickel R: Reproducibility of DIAGNOdent 2095 and DIAGNOdent Pen measurements: results from an in vitro study on occlusal sites. *Eur J Oral Sci* 115, 206-211 (2007a).
87. Kühnisch J, Haak R, Buchalla W, Heinrich-Weltzien R: Kariesdetektion und -diagnostik bei Kindern und Jugendlichen. *Oralprophylaxe Kinderzahnheilkd* 29, 16-171 (2007b).
88. Kühnisch J, Bücher K, Hickel R: The intra/inter-examiner reproducibility of the new DIAGNOdent Pen on occlusal sites. *J Dent* 35, 509-512 (2007c).
89. Kühnisch J, Ifland S, Tranaeus S, Hickel R, Stösser L, Heinrich-Weltzien R: In vivo detection of non-cavitated caries lesions on occlusal surfaces by visual inspection and quantitative light-induced fluorescence. *Acta Odontol Scand* 65, 183-188 (2007d).

90. Kühnisch J, Berger S, Goddon I, Senkel H, Pitts N, Heinrich-Weltzien R: Occlusal caries detection in permanent molars according to WHO basic methods, ICDAS II and laser fluorescence measurements. *Community Dent Oral Epidemiol* 36, 475-484 (2008).
91. Landis JR, Koch GG: The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics* 33, 159-174 (1977).
92. Laurila U, Mancewicz S: Isolation and partial fractioning of fluorescent material from human teeth. *J D Res* 39, 714 (1960).
93. Lavin AJ: Covert caries detection. *Br Dent J* 155, 111 (1983).
94. Lehmann K, Hellwig E: Einführung in die restaurative Zahnheilkunde. Urban und Schwarzenberg München 1998.
95. Levine RS: The aetiology of dental caries - an outline of current thought. *Int Dent J* 27, 341-348 (1977).
96. Lichtscheidl IK: Lichtmikroskopie – Theorie und Anwendung. Cell Imaging und Ultrastrukturforschung, Universität Wien (2009). (http://www.univie.ac.at/mikroskopie/3_fluoreszenz/fluoreszenz.htm)
97. Loesche WJ, Svanberg ML, Pape HR: Intraoral transmission of *Streptococcus mutans* by the dental explorer. *J Dent Res* 58, 1765-1770 (1979).
98. Lussi A: Comparison of different methods for the diagnosis of fissure caries without cavitation. *Caries Res* 27, 409-416 (1993).
99. Lussi A, Hotz P, Stich H: Die Fissurenkaries. Diagnostik und therapeutische Grundsätze. *Dtsch Zahnärztl Z* 50, 629-634 (1995).
100. Lussi A: Impact of including or excluding cavitated lesions when evaluating methods for the diagnosis of occlusal caries. *Caries Res* 30, 389-393 (1996).
101. Lussi A: Methoden zur Diagnose und Verlaufdiagnose der Karies. Wann bohren? *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 108, 357-364 (1998).
102. Lussi A, Imwinkelried S, Pitts NB, Longbottom C, Reich E: Performance and reproducibility of a laser fluorescence system for detection of occlusal caries in vitro. *Caries Res* 33, 261-266 (1999).
103. Lussi A: Laserinduzierte Fluoreszenz zur Erkennung der Okklusalkaries. Erste In-vivo-Resultate. *Acta Med Dent Helv* 5, 15-19 (2000).
104. Lussi A, Megert B, Longbottom C, Reich E, Francescut P: Clinical performance of a laser fluorescence device for detection of occlusal caries lesions. *Eur J oral Sci* 109, 14-19 (2001).

105. Lussi A, Francescut P, Schaffner M: Neue und konventionelle Methoden zur Diagnose der Fissurenkaries. *Quintessenz* 54, 1037-1046 (2003).
106. Lussi A, Hibst R, Paulus R: DIAGNOdent: An optical method for caries detection. *J Dent Res* 83 (Spec Iss C), C80-C83 (2004).
107. Lussi A, Hellwig E: Performance of a new laser fluorescence device for the detection of occlusal caries in vitro. *J Dent* 34, 467-471 (2006).
108. Marsh P, Martin MV: *Orale Microbiologie*. Thieme Stuttgart 2003.
109. Marthaler TM: A standardized system of recording dental conditions. *Helv Odontol Acta* 10, 1-18 (1966).
110. Marthaler TM: Caries status in Europe and prediction of future trends. *Caries Res* 24, 381-396 (1990).
111. McHugh WD, McEwen JD, Hitchin AD: Dental disease and related factors in 13-year-old children in Dundee. *Br Dent J* 117, 246-253 (1964).
112. Mertens S: *Allgemeine Chemie Online* (2005) (<http://www.chemieonline.de/index.php>)
113. Micheelis W, Schiffner U: Vierte Deutsche Mundgesundheitsstudie (DMS IV). Neue Ergebnisse zu oralen Erkrankungsprävalenzen, Risikogruppen und zum zahnärztlichen Versorgungsgrad in Deutschland 2005, Institut der deutschen Zahnärzte (Hrsg.). Deutscher Ärzte-Verlag Köln 2006.
114. Miller WD: *Die Mikroorganismen der Mundhöhle*. 2. Auflage, Georg Thieme Verlag Leipzig 1892.
115. Miller J, Hobson P: Determination of the presence of caries in fissures. *Br Dent J* 100, 15-18 (1956).
116. Mitropoulos C: The use of fibre-optic transillumination in the diagnosis of posterior approximal caries in clinical trials. *Caries Res* 19, 379-384 (1985).
117. Momeni A, Pieper K, Stoll R: Rückgang der Kariesprävalenz bei 6- bis 7-Jährigen in Hessen in den Jahren 1994 bis 2000. *Oralprophylaxe Kinderzahnheilkd* 24, 99-102 (2002).
118. Momeni A, Hartmann T, Born C, Pieper K: Kariesprävalenz und Behandlungsbedarf bei 12-Jährigen im Kreis Marburg-Biedenkopf. *Oralprophylaxe Kinderzahnheilkd* 26, 153-156 (2005).
119. Momeni A, Hartmann T, Born C, Heinzl-Gutenbrunner M, Pieper K: Association of caries experience in adolescents with different preventive measures. *Int J Public Health* 52, 393-401 (2007).

120. National Institutes of Health: Diagnosis and Management of Dental Caries Throughout Life. National Institutes of Health Consensus Development Conference Statement, March 26–28, 2001. *J Dent Educ* 65, 1162-1168 (2001).
121. Nikiforuk G: Understanding Dental Caries. Vol. 2: Prevention. Basic and Clinical Aspects. Karger Basel 1985.
122. Nyvad B, Machiulskiene V, Baelum V: Reliability of a new caries diagnostic system differentiating between active and inactive caries lesions. *Caries Res* 33, 252-260 (1999).
123. Page J: The “fluoride syndrome”: occult caries? *Br Dent J* 160, 228 (1986).
124. Parfitt GJ: A standard clinical examination of the teeth. *Br Dent J* 96, 296-300 (1954).
125. Penning C, van Amerongen JP, Seef RE, ten Cate JM: Validity of probing for fissure caries diagnosis. *Caries Res* 26, 445-449 (1992)
126. Pfaff P: Abhandlung von den Zähnen des menschlichen Körpers und deren Krankheiten. Berlin 1756. Zitiert in: Hoffmann-Axthelm W: Die Geschichte der Zahnheilkunde. Quintessenz Verlag Berlin 1973.
127. Pieper K: Erste Erfahrungen mit einer neu entwickelten Kaltlicht-Diagnosesonde. *ZWR* 3, 262-263 (1986).
128. Pieper K, Schurade B: Die Untersuchung mit der Kaltlicht-Diagnosesonde. Eine Alternative zur Bissflügelaufnahme? *Dtsch Zahnärztl. Z* 42, 900-903 (1987).
129. Pieper K: Epidemiologische Begleituntersuchungen zur Gruppenprophylaxe 1995. Gutachten. DAJ, Bonn (1996).
130. Pieper K: Epidemiologie der Gebisserkrankungen. Urban und Schwarzenberg München 1997a.
131. Pieper K: Epidemiologische Begleituntersuchungen zur Gruppenprophylaxe. Bonn, Deutsche Arbeitsgemeinschaft für Jugendzahnpflege e.V. (1997b).
132. Pieper K: Epidemiologische Begleituntersuchungen zur Gruppenprophylaxe 1997. Gutachten. DAJ, Bonn 1998.
133. Pieper K: Epidemiologische Begleituntersuchungen zur Gruppenprophylaxe 2000. Gutachten. DAJ, Bonn 2001.
134. Pieper K: Epidemiologische Begleituntersuchungen zur Gruppenprophylaxe 2004. Gutachten. DAJ, Bonn 2005.

135. Pine CM, ten Bosch JJ: Dynamics of and diagnostic methods for detecting small carious lesions. *Caries Res* 30, 381-388 (1996).
136. Pitts NB: Clinical diagnosis of dental caries: an European perspective. NIH Consensus development conference on diagnosis and management of dental caries throughout life. Bethesda (Maryland) 26.-28. März 2001.
137. Pitts N: „ICDAS“ - an international system for caries detection and assessment being developed to facilitate caries epidemiology, research and appropriate clinical management. *Commun Dent Health* 21, 193-198 (2004a).
138. Pitts NB, Stamm JW: International Consensus Workshop on Caries Clinical Trials (ICW-CCT) – Final Consensus Statements: Agreeing where the evidence leads. *J Dent Res* 83 (Spec Iss C): C125-C128 (2004b).
139. Poorterman JH, Weerheijm KL, Groen HJ, Kalsbeek H: Clinical and radiographic judgement of occlusal caries in adolescents. *Eur J Oral Sci* 108, 93-98 (2000).
140. Pretty IA, Maupomé G: A closer look at diagnosis in clinical dental practice: part 5. Emerging technologies for caries detection and diagnosis. *J Can Dent Assoc* 70, 540 (2004).
141. Radike AW: Criteria for diagnosing dental caries. In: Proceedings of the Conference on the Clinical Testing of Cariostatic Agents. Chicago: American Dental Association, 87-88 (1968).
142. Raper HR: A new kind of x-ray examination for preventive dentistry. *Int J Orthod Oral Surg* 11, 76-86 (1925).
143. Ricketts DN, Kidd EAM, Willson RF: A re-evaluation of electrical resistance measurements for the diagnosis of occlusal caries. *Br Dent J* 178, 11-17 (1995a).
144. Ricketts DN, Kidd EAM, Beighton D: 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 (1995b).
145. Ricketts DN, Watson TF, Liepin PJ, Kidd EAM: A comparison of two histological validating techniques for occlusal caries. *J Dent* 26, 89-96 (1998).
146. Ricketts DN, Ekstrand KR, Kidd EA, Larsen T: Relating visual and radiographic ranked scoring systems for occlusal caries detection to histological and microbiological evidence. *Operative Dent* 27, 231-237 (2002).

147. Rock WP, Kidd EA: The electronic detection of demineralisation in occlusal fissures. *Br Dent J* 164, 243-247 (1988).
148. Rodrigues JA, Hug I, Diniz MB, Lussi A: Performance of fluorescence methods, radiographic examination and ICDAS-II on occlusal surfaces in vitro. *Caries Res* 42, 297-304 (2008).
149. Rodrigues JA, Diniz MB, Josgrilberg EB, Cordeiro RC: In vitro comparison of laser fluorescence performance with visual examination for detection of occlusal caries in permanent and primary molars. *Lasers Med Sci* 24, 501-506 (2009).
150. Scheer M, Neugebauer J, Zöller JE: Früherkennung von Mundhöhlenkrebs mittels Gewebefluoreszenz. *Zm – Zahnärztliche Mitteilungen* 98, 36-40 (2008).
151. Schiffner U, Reich E: Prävalenz zu ausgewählten klinischen Variablen bei den Jugendlichen (12 Jahre). In: Institut der Deutschen Zahnärzte (Hrsg.), Micheelis W, Reich E (Gesamtbearbeitung): Dritte Deutsche Mundgesundheitsstudie (DMS III). Deutscher Ärzte-Verlag Köln 1999.
152. Schiffner U, Hoffman T, Kerschbaum T, Micheelis W: Oral health in German children, adolescents, adults and senior citizens in 2005. *Community Dent Health* 26, 18-22 (2009).
153. Schmelzer JR: Zahnmedizinische Prävention für Kinder und Jugendliche; Einschätzung der Effektivität von Individualprophylaxeprogrammen zur Verbesserung der Mundgesundheit. Medizinische Dissertation Bielefeld 2000.
154. Schneiderman A, Elbaum M, Shultz T, Keem S, Greenebaum M, Driller J: Assessment of dental caries with digital imaging fiber-optic transillumination (DIFOTI): in vitro study. *Caries Res* 31, 103-110 (1997).
155. Schröder H: Pathobiologie oraler Strukturen. 3. Auflage, Karger Verlag Basel 1997.
156. Seifert R: Moderne Methoden der Fluoreszenzspektroskopie. Center of advanced european studies and research 2009. (<http://www.caesar.de/fluoreszenz.html>)
157. Shi XQ, Welander U, Angmar-Månsson B: Occlusal caries detection with KaVo DIAGNOdent and radiography: an in vitro comparison. *Caries Res* 34, 151-158 (2000).
158. Shoaib L, Deery C, Ricketts DN, Nugent ZJ: Validity and reproducibility of ICDAS II in primary teeth. *Caries Res* 43, 442-448 (2009).
159. Silverstone LM: Structure of carious enamel, including the early lesion. *Oral Sci Rev* 3, 100-160 (1973).

160. Sognaes RF: The importance of a detailed clinical examination of carious lesions. *J Dent Res* 19, 11-15 (1940).
161. Sohn W, Ismail A, Amaya A, Lepkowski J: Determinants of dental care visits among low-income African-American children. *J Am Dent Assoc* 138, 309-318 (2007).
162. Souza-Zaroni WC, Ciccone JC, Souza-Gabriel AE, Ramos RP, Corona SA, Palma-Dibb RG: Validity and reproducibility of different combinations of methods for occlusal caries detection: an in vitro comparison. *Caries Res* 40, 194-201 (2006).
163. Stephan R: Intra-oral hydrogen-ion concentrations associated with dental caries activity. *J Dent Res* 23, 257-266 (1944).
164. Stookey GK, Jackson RD, Zandona AG, Analoui M: Dental caries diagnosis. *Dent Clin North Am* 43, 665-677 (1999).
165. Stokes GG: On the Change of Refrangibility of Light. *Phil Trans* 142, 463-562 (1852).
166. Straetemans M, Van Lovren C, De Soet J, De Graaff J, Ten Cate J: Colonization with mutans streptococci and lactobacilli and the caries experience of children after age of five. *J Dent Res* 7, 1851-1855 (1998).
167. Stübel H: Die Fluoreszenz tierischer Gewebe im ultra-violetten Licht. *Pfluegers Arch Ges Physiol* 142, 1-14 (1911).
168. Ten Cate BJM, Lagerweij MD, Wefel JS, Angmar-Månsson B, Hall AF, Ferreira Zandoná AG, Stookey GK and Faller RV: In vitro validation studies of quantitative light-induced fluorescence. In: Stookey GK (ed.): Early detection of dental caries II: Proceedings of the 4th annual Indiana Conference. Indiana University School of Dentistry 231-250 (1999).
169. Thomas MF, Ricketts DN, Wilson RF: Occlusal caries diagnosis in molar teeth from bitewing and panoramic radiographs. *Prim Dent Care* 8, 63-69 (2001).
170. Thoms M, Eberhart J, Frentzen M: Caries detection using a new fluorescence camera system. *Caries Res* 41, 268-334 (2007).
171. Thylstrup A, Fejerskov O: Textbook of Clinical Cariology. Mungsgaard Kopenhagen 1994.
172. Tranaeus S, Al-Katheeb S, Björkman S, Twetman S, Angmar-Månsson B: Application of quantitative light-induced fluorescence to monitor incipient lesions in caries-active children. A comparative study of remineralisation by fluoride varnish and professional cleaning. *Eur J Oral Sci* 109, 1-5 (2001).

173. Tranaeus S, Shi XQ, Lindgren LE, Trollas K, Angmar-Mansson B: In vivo repeatability and reproducibility of the quantitative light-induced fluorescence method. *Caries Res* 36, 3-9 (2002).
174. Tranaeus S, Shi XQ, Angmar-Månsson B: Caries risk assessment: methods available to clinicians for caries detection. *Community Dent Oral Epidemiol* 33, 265-273 (2005).
175. Verdonschot EH, Bronkhorst EM, Burgersdijk RC, König KG, Schaeken MJ, Truin GJ: Performance of some diagnostic systems in examinations for small occlusal carious lesions. *Caries Res* 26, 59-64 (1992).
176. Walsh LJ, Shakibaie F: UV-induzierte Fluoreszenz wirft ein neues Licht auf dentale Biofilme und Karies. *ZWR* 117, 244-248 (2008).
177. Weerheijm KL, Gruythuysen RJM, van Amerongen WE: Prevalence of hidden caries. *J Dent Child* 59, 408-412 (1992a).
178. Weerheijm KL, Groen HJ, Bast AJJ, Kieft JA, Eijkman MAJ, van Amerongen WE: Clinically undetected occlusal dentine caries: a radiographic comparison. *Caries Res* 26, 305-309 (1992b).
179. Weerheijm KL, Kidd EAM, Groen HJ: The effect of fluoridation on the occurrence of hidden caries in clinically sound occlusal surfaces. *Caries Res* 31, 30-34 (1997).
180. Wei J: Untersuchung von Verfahren zur Auswertung der zweidimensionalen Fluoreszenzspektren. Verlag für Wissenschaft und Forschung Berlin 1998.
181. Wenzel A, Verdonschot EH, Truin GJ, König KG: 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 (1992).
182. Wenzel A: Bitewing and digital bitewing radiography for detection of caries lesions. *J Dent Res* 83 (Spec Iss C), C72-C75 (2004).
183. World Health Organisation: Oral health surveys. Basic Methods. WHO, Genf 1997.
184. Yassin OM: In vitro studies of the effect of a dental explorer on the formation of an artificial carious lesion. *J Dent Child* 62, 111-117 (1995).

9 Anhang

Anhang I

Dokumentationsbogen für die visuelle Kariesdiagnose mit ICDAS-II

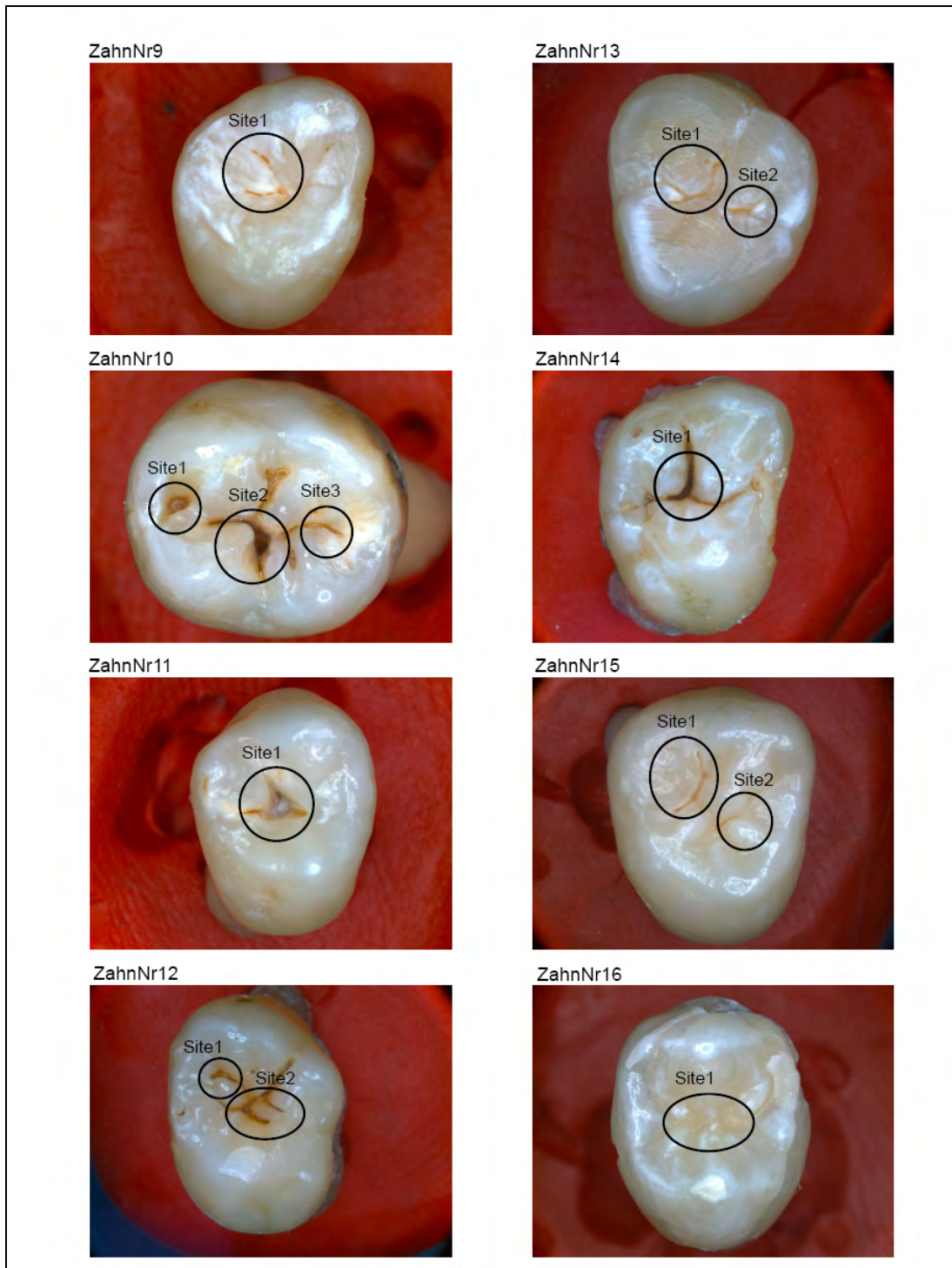
ICDAS-II Versuchsreihe: _____ (Code 0 – 6)

Untersucher: _____

ZahnNr.	ICDAS-II Code/MesspunktNr.			Datum der Untersuchung
	Nr. 1	Nr. 2	Nr. 3	
1.				
2.				
3.				
4.				
5.				
6.				
7.				
8.				
9.				
10.				
11.				
12.				
13.				
14.				
15.				
16.				
17.				
18.				
19.				
20.				
21.				
22.				
23.				
24.				
25.				
26.				
27.				
28.				
29.				
30.				
31.				
32.				

Anhang II

Beispiele von Zähnen mit markierten Messpunkten



Anhang III

Dokumentationsbogen Laserfluoreszenzmessung mit dem Diagnodent (und Diagnodent Pen)

Diagnodent Versuchsreihe: ____ (Wert 0 – 99)

Untersucher: _____

ZahnNr.	Diagnodent Wert/MesspunktNr.			Datum der Untersuchung
	Nr. 1	Nr. 2	Nr. 3	
1.				
2.				
3.				
4.				
5.				
6.				
7.				
8.				
9.				
10.				
11.				
12.				
13.				
14.				
15.				
16.				
17.				
18.				
19.				
20.				
21.				
22.				
23.				
24.				
25.				
26.				
27.				
28.				
29.				
30.				
31.				
32.				

Anhang IV

Dokumentationsbogen der VistaProof-Messung

VistaProof Versuchsreihe: ____ (Wert 0 – 4)

Untersucher: _____

ZahnNr.	VistaProof Wert/MesspunktNr.			Datum der Untersuchung
	Nr. 1	Nr. 2	Nr. 3	
1.				
2.				
3.				
4.				
5.				
6.				
7.				
8.				
9.				
10.				
11.				
12.				
13.				
14.				
15.				
16.				
17.				
18.				
19.				
20.				
21.				
22.				
23.				
24.				
25.				
26.				
27.				
28.				
29.				
30.				
31.				
32.				

Anhang V

Einverständniserklärung

Cand. med. dent Simon Rosen
Schützenstraße 1
35039 Marburg
Telefon: 06421/204468
0176/20375249
E-Mail.: Rosens@students.uni-marburg.de



Philipps-Universität Marburg
Universitätsklinikum Gießen und Marburg GmbH

Betreff: Studie zur Kariesdiagnostik an extrahierten Zähnen

Die Abteilung für Zahnerhaltung am Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde Marburg führt eine Studie zur Diagnostik von Karies an extrahierten Zähnen durch. Der Patient erklärt sich mit seiner Unterschrift einverstanden, seinen Zahn zu Forschungszwecken zur Verfügung zu stellen.

Datum	Zahn	Name des Patienten	Unterschrift des Patienten

10 Abkürzungsverzeichnis

Alphabetische Auflistung der im Text verwendeten Abkürzungen:

Abb.	Abbildung
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
caesar	Center of advanced european studies and research
CLSM	Confocal Laser Scanning Microscope
d. h.	das heißt
DAJ	Deutsche Arbeitsgemeinschaft für Jugendzahnpflege
DD	Diagnodent
DDPen	Diagnodent Pen
DIFOTI	Digitale faseroptische Transillumination
etc.	et cetera
FOTI	Faseroptische Transillumination
°C	Grad Celsius
ggf.	gegebenenfalls
GaN	Galliumnitrid
ICC	Intraclass Correlation Coefficient
ICDAS	International Caries Detection and Assessment System
ICW-CCT	International Consensus Workshop on Caries Clinical Trials
IUPAC	International Union of Pure Applied Chemistry
κ	Kappa
KB	koloniebildende Einheiten
ml	Milliliter
mm	Millimeter
mW	Milliwatt
µm	Mikrometer
NaOCl	Natriumhypochlorit
nm	Nanometer
QLF	Quantitative lichtinduzierte Fluoreszenz
r _s	Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman
s	Sekunden

SPSS	Statistical Package for the Social Sciences
Std.	Stunden
Tab.	Tabelle
TMR	Transversale Mikroradiographie
VP	VistaProof
WHO	World Health Organisation
z. B.	zum Beispiel

11 Materialliste

Auflistung der in der Studie verwendeten Materialien.

Materialien zur Lagerung und Reinigung der Zähne

- Handscaler
- Miniatur-Zahnreinigungsbürstchen, Pluradent, Offenbach
- Zircate Prophy Paste, Dentsply Detrey, Konstanz
- Super Polish, Kerr Hawe SA, Bioggio, Schweiz

Materialien zur Fotodokumentation und Bildbetrachtung

- Leica DFC Kamera mit Leica Z6 APO Mikroskopobjektiv (Leica Microsystems, Wetzlar)
- Software: Leica Qwin
- 18-Zoll-TFT-Farbmonitor: FlexScan L768, EIZO, Avnet Technology Solutions, GmbH Nettetal

Materialien für die Laserfluoreszenzuntersuchungen

- DIAGNOdent 2095, KaVo, Biberach
- DIAGNOdent pen 2190, KaVo, Biberach

Materialien für die Fluoreszenzuntersuchungen

- Fluoreszenzkamera VistaProof Dürr Dental (Bietigheim-Bissingen, Deutschland)
- Laptop: TravelMate 290, AcerSystem, Intel Pentium M, Prozessor 1400 MHz, 1,40 GHz, 1,23 GB RAM mit Betriebssystem Windows XP
- Software: DBSwin

Materialien für ICDAS-II-Messung

- zahnärztliche Operationsleuchte
- Multifunktionsspritze (Püster)

Materialien für Röntgenaufnahmen

- Digora-System (Fa. Gendex, Hamburg)
- Digora-Speicherfolien mit den Maßen 3 x 4 cm, mit einer Auflösung von 592 x 444 Pixel
- Strahlenquelle: Röntgenstrahler Oralix 65[®] (Fa. Philips Gendex, Hamburg) als Wandstativ
- Scanner (Digora Optine, Gendex, Hamburg)
- Digora-Bildbearbeitungssoftware
- 18-Zoll-Farbmonitor (FlexScan L768, EIZO, Avnet Technology Solutions GmbH, Nettetal)

Labormaterialien

- Mineralgläschen, Menzel, Braunschweig

12 Verzeichnis akademischer Lehrer

Meine akademischen Lehrer in Marburg waren die folgenden Damen und Herren:

Adamkiewicz, Aumüller, Austermann, Coca, Dibbets, Feuser, Flores-de-Jacoby, Gente, Hasilik, Höffken, Jablonski-Momeni, Koolmann, Lill, Löffler, Lotzmann, Mandrek, Mengel, Mittag, Neff, Neumüller, Nonnenmacher, Pancherz, Pieper, Ramaswamy, Richter, Seitz, Stachniss, Steiniger, Stiletto, Stoll, Weihe, Westermann, Wennemuth.

13 Danksagung

Ich möchte mich ganz herzlich bei Frau PD Dr. A. Jablonski-Momeni bedanken für die Bereitstellung des Themas und für die unermüdliche Betreuung und schnelle Bearbeitung von Fragen und Korrekturen.

Weiterhin danke ich auch Herrn Prof. K. Pieper sowie Herrn Prof. V. Stachniss für ihre wertvollen Anregungen.

Firma Dürr Dental danke ich für die Bereitstellung des VistaProof.

Außerdem danke ich Frau Heinzl-Gutenbrunner für die Mithilfe bei der statistischen Auswertung.

Herzlichen Dank an Herrn Oberfeldarzt Dr. Hertel für die freundliche Unterstützung beim Sammeln der Materialien. Ebenso danke ich Frau Augustyniak-Rosen, die mir auch beim Sammeln der Materialien behilflich war.

Vielen Dank an Herrn Dunkelmann für die Korrektur der Dissertation in Form und Sprache.

Ich danke meiner Familie für ihre liebevolle Unterstützung sowohl während meines Studiums als auch bei der Dissertationsarbeit.

Zum Schluss danke ich Joanna für ihre Geduld und ihre Unterstützung.