

**Klinische Diagnostik kariöser Läsionen unter
Verwendung LED basierter Spektroskopie**

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Hohen Medizinischen Fakultät
der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität
Bonn

Christian Rüdiger Möller
aus Reinbek
2014

Angefertigt mit Genehmigung
der Medizinischen Fakultät der Universität Bonn

1. Gutachter: Prof. Dr. Andreas Braun
2. Gutachter: Prof. Dr. Werner Götz

Tag der Mündlichen Prüfung: 17.10.2014

Aus der Poliklinik für Parodontologie, Zahnerhaltung und Präventive Zahnheilkunde,
Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-
Universität Bonn

Direktor: Prof. Dr. Dr. S. Jepsen

In Kooperation

mit der Abteilung für Zahnerhaltungskunde, Medizinisches Zentrum für Zahn-, Mund-
und Kieferheilkunde der Phillips-Universität Marburg

Direktor: Prof. Dr. R. Frankenberger

In Liebe und Dankbarkeit meinen Eltern gewidmet

Inhaltsverzeichnis

	Abkürzungsverzeichnis	9
1.	Einleitung	11
1.1	Einführung in die Thematik.....	11
1.2	Literaturübersicht.....	12
1.2.1	Definition von Karies.....	12
1.2.2	Ätiologie der Karies	12
1.2.3	Zahnschmelz	14
1.2.3.1	Histologie.....	14
1.2.3.2	Schmelzkaries	14
1.2.4	Dentin	18
1.2.4.1	Histologie.....	18
1.2.4.2	Dentinkaries.....	18
1.2.5	Kariesdiagnostische Verfahren	20
1.2.5.1	Visuelle Inspektion	20
1.2.5.2	Taktile Methode.....	22
1.2.5.3	Röntgenologische Kariesdiagnostik	22
1.2.5.4	Elektrische Impedanzmessung	25
1.2.5.5	Faseroptische Transillumination (FOTI)	26
1.2.5.6	Fluoreszenzdiagnostik.....	28
1.2.5.6.1	Quantitative lichtinduzierte Fluoreszenz (QLF)	28
1.2.5.6.2	DIAGNOdent / DIAGNOdent pen	29

1.2.5.6.3	Intraorales Fluoreszenzkamerasystem VistaProof und VistaCam iX	31
1.2.5.7	LED basierte Spektroskopie mittels Midwest Caries I.D.	32
2.	Zielsetzung	35
3.	Material und Methoden	36
3.1	Aufbau und Funktionsweise des Studiengerätes	36
3.2	Gewinnung von studientauglichen Zähnen	37
3.3	Durchführung der Untersuchungen	38
3.3.1	Visuelle Inspektion.....	38
3.3.2	Anfertigung und Auswertung von Bissflügel und/oder Einzelzahnaufnahmen	40
3.3.3	Reinigung der Zähne	40
3.3.4	Anwendung des Midwest Caries I.D.	41
3.3.5	Therapiemaßnahmen	44
3.3.5.1	Schmelzkaries	44
3.3.5.2	Dentinkaries.....	44
3.3.6	Statistische Analyse	46
3.3.6.1	Kreuztabellierung	47
3.3.6.2	Chi-Quadrat-Test nach Pearson	47
3.3.6.3	Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman.....	47
3.3.6.4	Spezifität und Sensitivität	48
3.3.6.5	Receiver Operating Characteristic Curves (ROC-Kurven)	49
4.	Ergebnisse	50
4.1	Häufigkeitsverteilung	50
4.1.1	Häufigkeitsverteilung der kariösen Läsionen bei visueller Inspektion	50

4.1.2	Häufigkeitsverteilung der kariösen Läsionen bei röntgenologischer Diagnostik	51
4.1.3	Häufigkeitsverteilung der kariösen Läsionen bei der Spektroskopie	52
4.2	Sensitivität und Spezifität	53
4.2.1	Visuelle Inspektion gegen exkavierte Situation	53
4.2.2	Röntgenologische Diagnostik gegen exkavierte Situation	55
4.2.3	Signalqualität der Spektroskopie gegen exkavierte Situation	56
4.2.4	Zusammenfassung der Sensitivitäts- und Spezifitätswerte	57
4.3	Chi-Quadrat-Test nach Pearson.....	58
4.4	Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman.....	59
4.5	ROC-Kurven	60
4.5.1	ROC-Kurven der verschiedenen Verfahren bei nicht therapierten Läsionen ...	61
4.5.2	ROC-Kurven der verschiedenen Verfahren bei schmelzbegrenzten Läsionen	63
4.5.3	ROC-Kurven der verschiedenen Verfahren bei Läsionen im äußeren Dentin .	65
4.5.4	ROC-Kurven der verschiedenen Verfahren bei Läsionen im inneren Dentin ...	67
5.	Diskussion	69
5.1	Diskussion der Problemstellung	69
5.2	Diskussion von Material und Methoden	70
5.2.1	Auswahl der Zähne.....	70
5.2.2	Visuelle Inspektion.....	70
5.2.3	Röntgenologische Diagnostik	72
5.2.4	Spektroskopie.....	73
5.2.5	Invasive Therapiemaßnahmen	74
5.3	Diskussion der Ergebnisse	75

5.3.1	Ergebnisse der visuellen Inspektion	75
5.3.2	Ergebnisse der röntgenologischen Diagnostik	76
5.3.3	Ergebnisse der Spektroskopie	77
5.4	Schlussfolgerungen und Vergleich mit anderen Untersuchungsmethoden.....	78
6.	Zusammenfassung	81
7.	Anhang	83
7.1	Auswertungsbogen Midwest Caries I.D.	83
7.2	Koordinatentabellen der ROC-Kurven.....	86
7.2.1	Koordinatentabelle bei nicht therapierten Läsionen	86
7.2.2	Koordinatentabelle bei schmelzbegrenzten Läsionen	87
7.2.3	Koordinatentabelle bei Läsionen im äußeren Dentin	88
7.2.4	Koordinatentabelle bei Läsionen im inneren Dentin.....	89
7.3	Herstellerverzeichnis	90
8.	Literaturverzeichnis	91
9.	Danksagungen	105

Abkürzungsverzeichnis

AC	Alternating current
Abb.	Abbildung
AUC	Area under the curve
C0	keine Demineralisation
C1	Demineralisation ist auf den äußeren Schmelzbereich begrenzt
C2	Demineralisation reicht bis in den inneren Schmelzbereich
C3	Demineralisation reicht bis in den äußeren Dentinbereich
C4	Demineralisation reicht bis in den inneren Dentinbereich
CPI - Sonde	Carbon Preference Index Sonde
D1	Kariesläsion in der äußeren Schmelzschicht
D2	Kariesläsion in der inneren Schmelzschicht
D3	Kariesläsion in der äußeren Dentinschicht
D4	Kariesläsion in der inneren Dentinschicht
DIFOTI	Digitale Faseroptische Transillumination
FOTI	Faseroptische Transillumination
GaN	Galliumnitrid
Gew.%	Gewichtsprozent
H	Wasserstoff
ICDAS	International Caries Detection and Assessment System
k	kappa (Reproduzierbarkeit)
KHN	Knoop-Härte
LED	Light emitting diode
Midwest Caries I.D.	Midwest Caries Intelligent Detection
mm	Millimeter
nm	Nanometer
mW	Milliwatt
QLF	Quantitative lichtinduzierte Fluoreszenz

ROC-Kurven	Receiver Operating Characteristic Curves
r_s	Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman
Tab.	Tabelle
USA	United States of America
WHO	World Health Organisation

1. Einleitung

1.1 Einführung in die Thematik

Die Zahnkaries gehört zu den häufigsten Erkrankungen der Zahnhartsubstanz. Ihre Behandlung und Früherkennung stellt eine Kernaufgabe des zahnärztlichen Alltags dar. Um progressiver Zahnzerstörung und möglichem Verlust von Zähnen vorzubeugen, müssen Veränderungen der Zahnhartsubstanz frühestmöglich erkannt und mit entsprechenden Maßnahmen therapiert werden.

Obwohl eine Erstuntersuchung der Mundhöhle und der Zähne zunächst visuell erfolgt, stehen dem behandelnden Zahnarzt mittlerweile diverse zusätzliche Möglichkeiten zur Kariesdiagnostik zu Verfügung. Die Entscheidung über das Vorhandensein und den Fortschreitungsgrad einer pathologischen Veränderung der Zahnhartsubstanz muss und sollte demnach nicht mehr ausschließlich auf der Basis einer visuellen Untersuchung gefällt werden. Mittlerweile haben sich folgende Methoden und technische Hilfsmittel zur Beurteilung kariöser Läsionen etabliert:

- visuelle Inspektion
- taktile Methode
- röntgenologische Diagnostik
- Faseroptische Transillumination (FOTI) / Digitale Faseroptische Transillumination (DIFOTI) mittels Kaltlichtsonde
- Impedanzmessung
- Laserfluoreszenzdiagnostik
- digitale Fluoreszenzkamerasysteme

Seit mehreren Jahren sind nun auch LED basierte spektroskopische Geräte zur Kariesdetektion auf dem Markt erhältlich, so auch das Midwest Caries I.D. der Firma Dentsply.

Definitionsgemäß ist eine Karies nach den Kriterien der World Health Organisation (WHO) behandlungsbedürftig, sobald freiliegendes Dentin oder unterminierter Schmelz mit wei-

chen Rändern tastbar ist. Durch gestiegenes Gesundheitsbewußtsein der Bevölkerung und systemischer Fluoridierungsmaßnahmen ist diese ursprüngliche Form der Karies jedoch rückläufig. Die Anzahl schwer diagnostizierbarer, im Approximalbereich der Zähne liegender Läsionen, steigt hingegen rasant. Entsprechend wächst das Bedürfnis der Zahnärzte nach verlässlichen Diagnosemitteln, die dem Anspruch an das erschwerte Kariesmanagement insbesondere im approximalen Kontaktbereich der Zähne gerecht werden. Ideal wäre ein System welches kariöse Läsionen zuverlässig erfasst und zusätzlich eine Vorhersage über die räumliche Ausdehnung der Karies ermöglicht.

1.2 Literaturübersicht

1.2.1 Definition von Karies

Der Begriff Karies wurde von der WHO als ein lokalisierter, posteruptiver, pathologischer Prozess externen Ursprungs definiert, der unter Angriff der Zahnhartsubstanz zur Bildung einer Kavität führt (Baume, 1962).

1.2.2 Ätiologie der Karies

Die Entstehungsmechanismen einer Karies wurden in der Vergangenheit oft diskutiert. Bereits im 19. Jahrhundert bezeichnete Miller die Karies als einen chemisch parasitären Prozess, bei dem kariogene Mikroorganismen der Mundhöhle bei ausreichendem Vorhandensein niedermolekularer Kohlenhydrate organische Säuren freisetzen, welche die Zahnhartsubstanz demineralisieren und zerstören (Miller, 1892). Laut Keyes liegen der Ätiologie einer Karies drei obligate Faktoren zugrunde: Die Zähne als Wirt, die Mikroorganismen in der Plaque und das Substrat in Form von niedermolekularen Kohlenhydraten (Keyes, 1960). König erweiterte die drei Faktoren um den Faktor Zeit. Insgesamt lässt sich die Entstehung einer Karies vereinfacht in einem Diagramm (Abb. 1) mit vier ineinandergreifenden Kreisen darstellen (König, 1987).

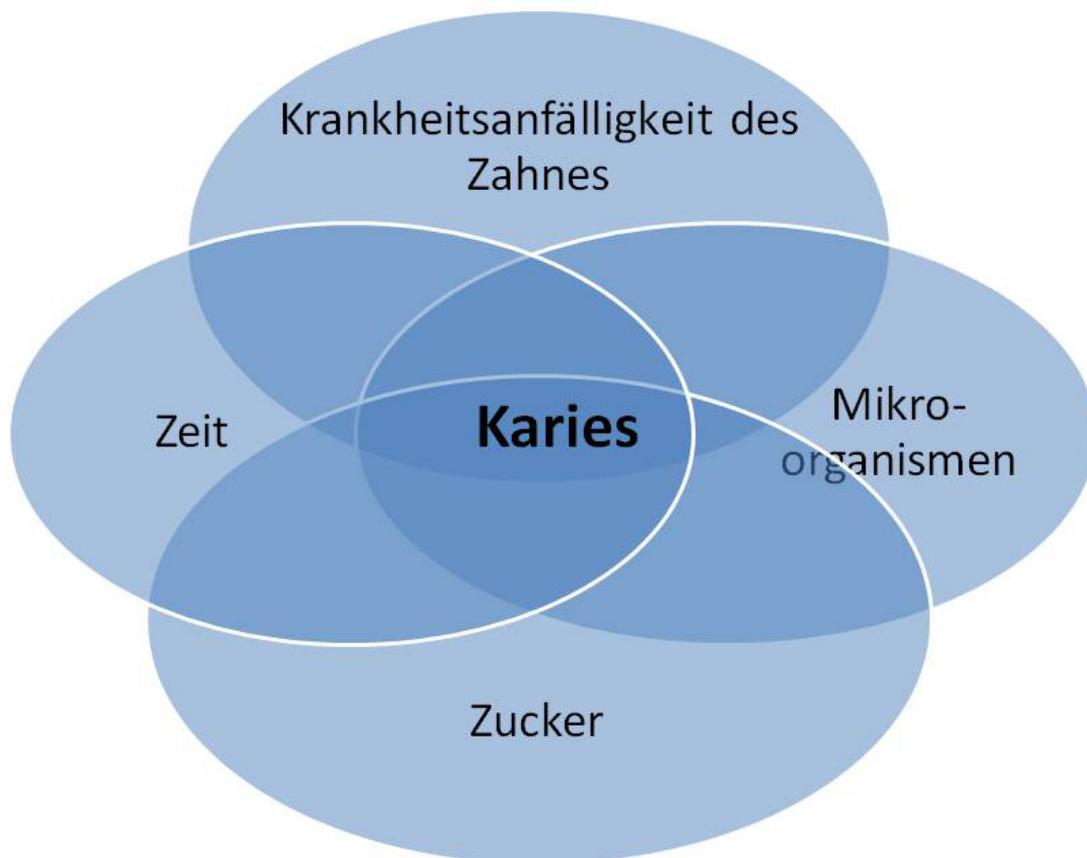


Abb. 1: Schematische Darstellung der notwendigen Grundvoraussetzungen für die Entstehung kariöser Läsionen (König, 1987)

Zusätzlich wird die Entstehung einer Karies durch Sekundärfaktoren begünstigt. Hierzu zählen Speichelfließrate, pH-Wert des Speichels, genetische Faktoren, Dauer und Häufigkeit von Substratzufuhr, Immunabwehr, Zahnfehlstellungen, sowie verhaltensbezogene Komponenten (Hellwig et al., 1999).

1.2.3 Zahnschmelz

1.2.3.1 Histologie

Der Zahnschmelz (Substantia adamantina) ist die härteste Substanz im menschlichem Körper. Sie besteht bis zu 95 % aus anorganischen kristallinen Verbindungen. Hierzu zählen insbesondere das Hydroxyl-, das Kalzium- und das Fluorapatit. Die restlichen 5 % bestehen aus Wasser, Proteinen, Lipiden, Kohlenhydraten und organischen Säuren (Hellwig et al., 1999; Schröder, 1992). Histologisch konfigurieren sich die Apatitkristalle des Schmelzes in einer hexagonalen Struktur von bis zu 160 nm Länge und 40-70 nm Breite. Zusammen bilden ca. 100 dieser Apatitkristalle die sogenannten Schmelzprismen, die von der Schmelzdentingrenze wellenförmig in vertikaler und horizontaler Richtung zur Schmelzoberfläche verlaufen. Der Raum zwischen den Schmelzprismen wird durch die interprismatische Substanz gefüllt. Es handelt sich hierbei um ungeordnete Schmelzkristalle. Die Härte des Schmelzes nimmt von der Schmelzoberfläche (390 KHN) zur Schmelzdentingrenze (250 KHN) kontinuierlich ab (Hellwig et al., 2006).

1.2.3.2 Schmelzkaries

Die Entstehung kariöser Läsionen setzt eine Besiedlung der Zahnoberfläche mit einer mikrobiellen Plaque voraus. Sie setzt sich aus Speichelbestandteilen, bakteriellen Stoffwechselprodukten, Nahrungsresten und Bakterien zusammen und benötigt die regelmäßige Zufuhr von Substrat in Form von niedermolekularen Kohlenhydraten. Die in der Plaque angesiedelten Bakterien verstoffwechseln die Kohlenhydrate und produzieren als Endprodukt Säuren, welche den pH-Wert des Speichels unter einen kariesprophylaktisch kritischen Wert von $\text{pH} < 5,7$ senken. Insbesondere an Prädilektionsstellen wie Grübchen, Schmelzfissuren und Approximalflächen ist der Plaquebefall signifikant erhöht. Eine Nichtentfernung führt initial zu einer Schmelzdemineralisation, dessen Folge eine kariöse Läsion sein kann. Die Entstehung einer solchen Läsion lässt sich in verschiedene Stadien einstufen.

Zu Beginn bildet sich an der Schmelzoberfläche das sogenannte Pellikel, ein dünner Biofilm aus Speichelproteinen (Glykoproteinen und Serumproteinen), Enzymen und Immunglobulinen (Buchalla, 2009). Ermöglicht wird die Bildung des Pellikels aufgrund der Eigenladung der Substanzen, durch die eine elektrostatische Haftung mit den Kalzium- und Phosphatgruppen des Schmelzapatits erfolgen kann (Hellwig et al., 2006). Das Pellikel dient den Mikroorganismen während der ersten Stunden über Van-der-Waals Kräfte als Haftschrift zur Adhäsion und Akkumulation ihrer Pionierpopulation. Die erste Anheftung der Mikroorganismen über geringe Distanzen ist zunächst reversibel. Erst im Anschluss erfolgt die irreversible Anheftung an das Pellikel über bakterielle Fimbrien und Fibrillen mit Lektinen (Buchalla, 2009).

Innerhalb einer Stunde erfolgt eine Erstbesiedlung der Plaque durch Streptokokken, Neisserien und Aktinomyzeten; eine Spätbesiedlung erfolgt durch Veillonellen, Prevotellen und Fusobakterien innerhalb von 24 Stunden. Der reife Biofilm besteht bis zu 75 % aus Bakterien, welche in konkurrierender und symbiotischer Koexistenz leben (Buchalla, 2009). Diese Mikroorganismen verstoffwechseln die niedermolekularen Kohlenhydrate zu hochmolekularen Polysacchariden, die zusammen mit Speichelbestandteilen die Matrix des Biofilms bilden. Insbesondere *Streptokokkus mutans* bildet mit Hilfe von extrazellulären Transferasen Polysaccharide und Säuren wie Milch-, Glutamin-, Brenztrauben-, Apfel-, Oxalessig-, Zitronen- und Buttersäure. Zudem besitzt *Streptokokkus mutans* die Fähigkeit in sauren Milieus zu überleben. Nicht zuletzt gilt es als das wichtigste nachweisbare kariogene Bakterium in der Mundhöhle. Durch die Bildung der Säuren sinkt der pH-Wert des oralen Milieus unter den kritischen Wert von $< 5,7$. Die freien H^+ Ionen greifen an den Kalzium-, Phosphat-, Karbonat-, Fluor-, Hydroxyl- und Magnesiumionen des Schmelzes an und lösen diese Ionen aus dem Schmelzgitter heraus. Klinisch stellt sich dies als Demineralisation des Schmelzes in Form von Bildung der White Spots als Initialläsionen der Zahnoberfläche dar (Kidd et al., 2003).

An Dünnschliffen lassen sich lichtmikroskopisch und polarisationsmikroskopisch (Abb. 2) vier verschiedene Zonen der Schmelzkaries nachweisen (Silverstone, 1973; Silverstone et al., 1988).

- Die äußere Zone wird als *pseudointakte Oberflächenschicht* bezeichnet. Sie weist einen Mineralverlust von etwa 5 % auf (Klimm, 1997). Im Gegensatz zu gesunder Zahnhartsubstanz ist das Porenvolumen (1-5 %) in etwa zehn- bis fünfzigfach vergrößert (Silverstone et al., 1988). Zu Beginn ist die Struktur der Oberfläche sehr rau, jedoch ist kein Einbruch erkennbar. Erklärbar ist dies durch das Phänomen der Repräzipitation von Kalzium und Phosphat an der Oberfläche (Arends et al., 1986; Hellwig et al., 2003).
- Unter dieser Schicht liegt die Zone des *Läsionskörpers*. Dieser Bereich weist ein Porenvolumen von etwa 1-25 % und einen Mineralverlust von ca. 25 % auf. Der Mineralverlust beschränkt sich hauptsächlich auf die Prismenkerne (Frank, 1990; Pearce et al., 1989), wobei in den Prismenscheiden teilweise sogar Remineralisierungsercheinungen auftreten (Shellis et al., 1987). In den Bereich der Poren des Läsionskörpers können Speichelbestandteile (Wasser, Proteine und Ionen) ungehindert penetrieren (Hellwig et al., 2003).
- Weiter innen befindet sich die *dunkle Zone*. Sie hat ein Porenvolumen von ca. 2–4 % und einen Mineralverlust von etwa 6 % (Klimm, 1997). Dieser Zone liegt ein polarisationsoptisches Phänomen zugrunde, für das es verschiedene Erklärungsansätze gibt. Die am meisten verbreitete Theorie besagt, dass sie das Resultat von Remineralisierungsercheinungen sei (Silverstone, 1973; Silverstone et al., 1988). Andere Autoren beschreiben die polarisationsoptischen Erscheinungen als Okklusion der Poren durch organisches Material (Shellis et al., 2002).
- Die innerste Schicht wird als *transluzente Zone* bezeichnet. Hier findet eine fortschreitende Demineralisation statt, die sich durch die Entstehung bzw. Vergrößerung der Poren im Zahnschmelz erklären lässt. Das Porenvolumen beträgt hier etwa 1 % (Silverstone et al., 1988).

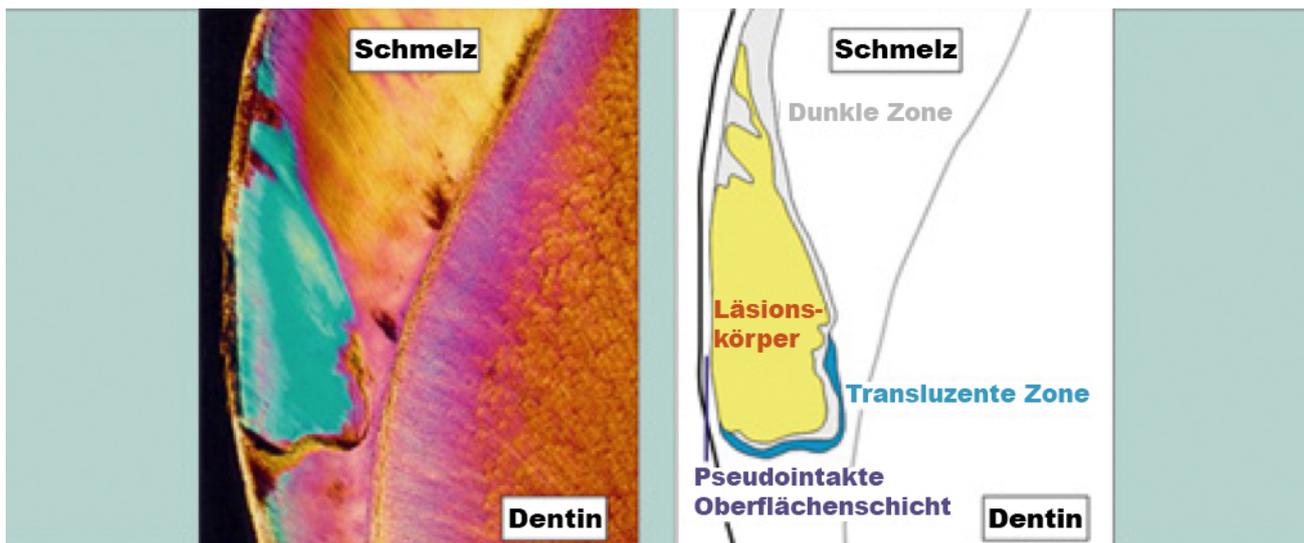


Abb. 2: Die polarisationsoptische Darstellung einer Schmelzkaries (links) zeigt den grünen Läsionskörper mit dem darunter liegenden intakten Dentinbereich (lila) und den Odontoblastenfortsätzen (orange/lila). Die rechte Abbildung zeigt die schematische Übertragung der histologischen Zonen (Kielbassa et al., 2008).

Zum Vergleich: Gesunder Schmelz besitzt ein Porenvolumen von ca. 0,1 % (Darling et al., 1961; Davidson, 1910; Silverstone, 1973). Die durch Säureeinwirkung herausgelösten Ionen aus dem kristallinen Schmelzgitter diffundieren aufgrund des Konzentrationsgradienten durch die vergrößerten Poren in Richtung Schmelzoberfläche bzw. Plaque. Aufgrund der Verlangsamung der Diffusionsgeschwindigkeit in Richtung Plaque bilden sich in diesem Bereich Repräzipitate der Ionen, was zu einer Neubildung von Kalziumphosphat führt. Dieses lagert sich am Schmelz ab und bildet die pseudointakte Oberflächenschicht, die jedoch weiterhin für Säuren durchlässig ist. Entsprechend können die Säuren in die Läsion eindringen und zur weiteren Herauslösung von Ionen aus dem Schmelzgefüge führen (Hellwig et al., 2006).

1.2.4 Dentin

1.2.4.1 Histologie

Das Dentin ist im Gegensatz zum Zahnschmelz ein vitales mit Odontoblastenfortsätzen durchzogenes mineralisiertes Hartgewebe. Es umgibt die Pulpa und grenzt koronal an den Zahnschmelz und apikal an das Wurzelzement an (Schröder, 1992). Der anorganische Teil des Dentins, hauptsächlich Hydroxylapatit, beträgt ca. 70 Gew. %. 20 Gew. % fallen auf organische Bestandteile und 10 Gew. % sind Wasser (Weatherell et al., 1973). Die organische Matrix besteht zu 91-92 % aus Typ I Kollagenfasern und zu 8-9 % aus nichtkollagenen Grundsubstanzen wie Chondroitinsulfat, Muko- und Sialoproteinen, Lipiden, Ziträt und Laktat (Jones et al., 1974; Smilie, 1973). Der anorganische Anteil liegt ähnlich wie der Schmelz in kristalliner Form vor. Die Apatitkristalle sind jedoch kleiner und nicht in Prismenform angeordnet. Sie besitzen eine Länge von 20 nm, eine Breite von 18-20 nm und eine Dicke von 3,5 nm. Die Härte des Dentins nimmt vom Schmelz (70 KHN) zur Pulpa hin (20 KHN) ab (Fusayama et al., 1966; Meredith et al., 1992).

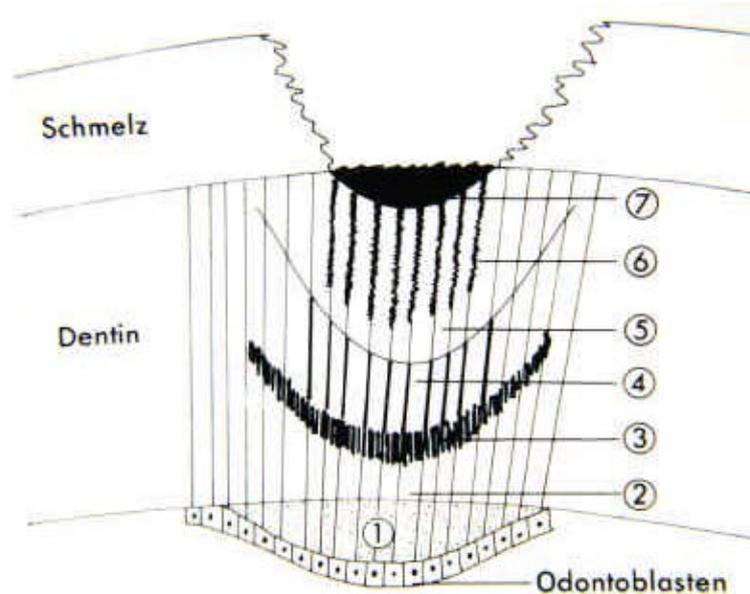
Morphologisch lässt sich das mineralisierte Dentin in mehrere Strukturbereiche einteilen. Die Dentinkanälchen mit ihrem periodontoblastischen Raum, den darin enthaltenden Odontoblastenfortsätzen, dem peritubulären Dentin, dem intertubulären Dentin und dem Manteldentin (Schröder, 1992). Bei der Dentinkariesentwicklung spielen die Dentintubuli eine entscheidende Rolle. Die Zahl und der Durchmesser der Tubuli nehmen von der Pulpagrenze zur Schmelzdentingrenze kontinuierlich ab. An der Pulpadentingrenze findet man ungefähr 45000 Kanäle pro mm², an der Schmelzdentingrenze nur etwa 20000 Kanäle pro mm². Der Tubulusdurchmesser reduziert sich von ca. 2-3 nm in Pulpanähe auf 0,5-0,9 nm schmelznah (Garberoglio et al., 1976).

1.2.4.2 Dentinkaries

Die Struktur des Dentins ist poröser und weist eine eindeutig erhöhte Permeabilität gegenüber dem Schmelz auf. Schon vor der Kavitätenbildung im Schmelz reagieren Dentin und

Pulpa auf einen kariösen Reiz. Durch initiale Schmelzläsionen diffundieren bakterielle Toxine und Enzyme in das Dentin. Als Schutzmechanismus reagiert die Pulpa mit der Bildung von Sekundär- und Tertiärdentin, um die Distanz zur Initiailläsion zu vergrößern. Sobald eine Schmelzkaries die Schmelzdentingrenze erreicht, erfolgt eine Unterminierung des Schmelzes durch die penetrierenden Bakterien, Toxine, Enzymen und Säuren. Folglich kommt es zu einem raschen Fortschreiten der Karies über die Dentintubuli in Richtung Pulpa (Hellwig, 2006).

Man kann in einer Dentinkaries verschiedene Zonen unterscheiden (Hellwig et al., 2006) (Abb. 3).



- 1: Zone des sekundären und tertiären Dentins
- 2: Zone des regulären unveränderten Dentins
- 3: Zone der Sklerose, bestehend aus obliterierten Dentinkanälchen (klinisches Erscheinungsbild: hell, transluzent)
- 4: Zone der „dead tracks“, aufgrund des Fehlens der Odontoblastenfortsätze in den Dentintubuli zeigt sich hier eine erhöhte Permeabilität gegenüber gesundem Dentin
- 5: Zone der Demineralisation, bestehend aus obliterierten Dentintubuli und abgekapselten devitalen Odontoblastenfortsätzen (insbesondere bei der röntgenologischen Diagnostik von Bedeutung)
- 6: Zone der Penetration, Eintrittspforte der Bakterien in die Dentintubuli
- 7: Zone der Nekrose, bestehend aus erweichtem Dentin

Abb. 3: Schematische Darstellung einer Dentinkaries in ihre verschiedenen histologischen Zonen (Schröder, 1997)

1.2.5 Kariesdiagnostische Verfahren

In der Medizin und Zahnmedizin bedeutet „Diagnose“ das Erkennen einer Erkrankung. Erst nach Stellung der korrekten Diagnose kann eine entsprechende Therapie eingeleitet werden. Jede Diagnose basiert auf Informationen aus Anamnese und klinischer Befunderhebung (Rieben et al., 2007). Insbesondere bei der Kariesdetektion spielt die frühzeitige und zuverlässige Erkennung (Detektion) eine entscheidende Rolle für den Therapieerfolg. Nach Detektion einer kariösen Läsion und nach Beurteilung ihrer Progression bzw. Aktivität können entsprechende Therapiemaßnahmen ergriffen werden (Angmar-Mansson et al., 1998). Neben konventionellen Verfahren, wie der radiologischen und klinischen Inspektion, stehen heute weitere Geräte zur Diagnosefindung zur Verfügung. Verschiedenste Geräte, wie zum Beispiel die Fiberoptiktransillumination, die sich die optische Signatur von Karies zu eigen macht oder Geräte wie das DIAGNOdent, das eine Kariesdetektion über Fluoreszenzmessung ermöglicht, haben ihren Stand in der Zahnmedizin als Diagnosemittel festigen können.

1.2.5.1 Visuelle Inspektion

Unter der visuellen Inspektion versteht man eine Untersuchung mit bloßem Auge und Spiegel. Die Zuhilfenahme einer Lupe ist zulässig. Deutlich sichtbare und offene Läsionen sind mit dieser Methode sicher, unter dem intakten Schmelz liegende Läsionen jedoch schwer zu diagnostizieren. Eine Studie bezifferte die Sensitivität (kariöse Läsion wird als solche erkannt) der rein visuellen Inspektion auf 12 %, der mit Lupe auf 20 % (Lussi, 1993). Laut einer weiteren Studie beschränkt sich der Vorteil von Vergrößerungshilfen hauptsächlich auf Okklusal- und Glattflächenkaries. Im approximalen Bereich konnte dies nicht nachgewiesen werden (Haak et al., 2002).

Die Kariesausdehnung im Schmelz und Dentin wird in verschiedene Grade unterteilt. Nach Marthaler (1966) wird die Progression der kariösen Läsion in vier Stufen gegliedert (Kühnisch et al., 2007) (Abb. 4).

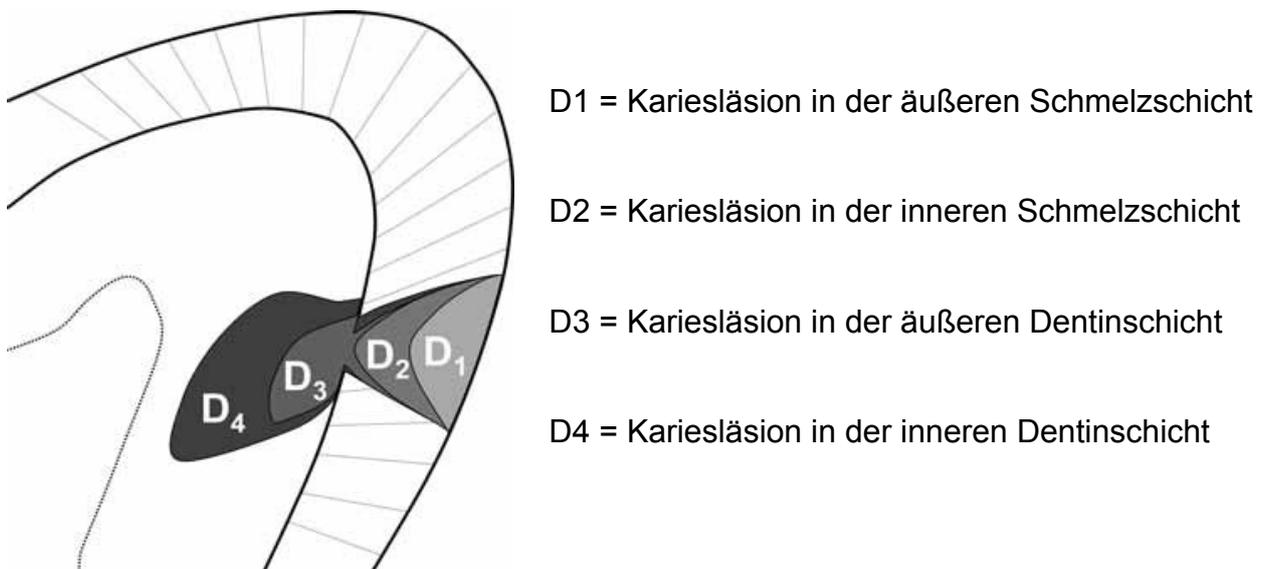


Abb. 4: Schematische Darstellung der möglichen Kariesausdehnung bei visueller Inspektion nach Marthaler (1966)

Das International Caries Detection and Assessment System II (ICDAS II) klassifiziert bei der visuellen Kontrolle der Zahnoberfläche je nach klinischem Erscheinungsbild verschiedene Grade der kariösen Läsion:

- Grad 0 = gesund (es liegen keine kariösen Läsionen nach gezielter Lufttrocknung vor)
- Grad 1 = erste visuell erkennbare Veränderung im Schmelz (nur erkennbar nach anhaltender Lufttrocknung oder begrenzt auf Grübchen und Fissuren beschränkt)
- Grad 2 = deutliche visuell erkennbare Veränderung im Schmelz
- Grad 3 = lokalisierter Schmelzeinbruch (ohne klinisch visuell erkennbare Mitbeteiligung des Dentins)
- Grad 4 = unter dem Schmelz liegender dunkler Schatten durch verändertes Dentin hervorgerufen
- Grad 5 = deutliche Kavitätenbildung mit sichtbarem Dentin
- Grad 6 = erhebliche deutliche Kavitätenbildung mit sichtbarem Dentin

Farbveränderungen in der Schmelz- und Dentinstruktur können Hinweise auf mögliche kariöse Läsionen sein. Dennoch sollten Farbveränderungen kritisch betrachtet werden. Exogene Farbstoffe können bräunliche Fissuren und Verfärbungen hervorrufen, die leicht mit kariösen Läsionen verwechselt werden können. Deshalb wird empfohlen, eine visuelle Inspektion unter relativer Trockenlegung, guten Lichtverhältnissen und nach Entfernung von Plaque an den entsprechenden Flächen durchzuführen (Wicht et al., 2008).

1.2.5.2 Taktile Methode

Die WHO (WHO, 1997) empfiehlt als Diagnostikinstrument die abgerundete CPI- bzw. Parodontalsonde für die taktile Kariesdiagnostik. Alternativ kann eine stumpfe Sonde zum drucklosen Abtasten der Zahnoberfläche verwendet werden, um Informationen über die Oberflächenbeschaffenheit bzw. Oberflächenrauigkeit zu erhalten.

Die ursprüngliche taktile Sondierung mit spitzer Sonde bringt, im Vergleich zur visuellen Inspektion, keinen weiteren Informationsgewinn (Sensitivitätswert ca. 14 %) (Lussi, 1991), kann jedoch iatrogene Schmelzdefekte verursachen (Ekstrand et al., 1987; Kühnisch et al., 2006). Deshalb ist die Verwendung der spitzen zahnärztlichen Sonde heute nicht mehr angezeigt (Penning et al., 1992).

1.2.5.3 Röntgenologische Kariesdiagnostik

Bereits 1910 beschrieb Davidson den Nutzen der Röntgenstrahlen in der Kariesdiagnostik (Davidson, 1910). 1925 dienten erste Bissfügelaufnahmen als Hilfsmittel zur Einschätzung der Ausdehnung von Approximalkaries (Raper, 1925). Er teilte die Progression der Karies in folgende Stadien ein:

- C0 = keine Demineralisation
- C1 = Demineralisation ist auf den äußeren Schmelzbereich begrenzt
- C2 = Demineralisation reicht bis in den inneren Schmelzbereich
- C3 = Demineralisation reicht bis in den äußeren Dentinbereich
- C4 = Demineralisation reicht bis in den inneren Dentinbereich

Die röntgenologische Kariesdiagnostik mit Bissflügelaufnahmen gilt heute im Milch- und bleibendem Gebiss als Mittel der Wahl zur Detektion approximaler Läsionen, da bis zu 90 % aller Läsionen ausschließlich röntgenologisch erkannt werden (Poorterman et al., 1999; Poorterman et al., 2000). Selbst in der Okklusalkariesdiagnostik haben Bissflügelaufnahmen ihren Wert bewiesen. Eine Untersuchung zeigte, dass bis zu 50 % aller Molaren bei Jugendlichen im Alter von 12 bis 20 visuell nicht erkennbare, okklusale Dentinläsionen aufwiesen (Mejare et al., 1998; Mejare et al., 2004).

Obwohl Bissflügelaufnahmen den Goldstandard der Kariesdiagnostik darstellen, sollte in Anbetracht der Strahlenexposition die rechtfertigende Indikation sorgfältig definiert und der Nutzen ergänzender Diagnosemethoden erwägt werden. Abb. 5 zeigt beispielhaft eine Bissflügelaufnahme.



Abb. 5: Exemplarische Bissflügelaufnahme (I. und IV. Quadrant) zur röntgenologischen Diagnostik mit folgendem Befund: Zahn 44 distal: C1, Zahn 45 distal: C4, Zahn 46 okklusal: C3, Zahn 47 okklusal/distal: C4, Zahn 48: retiniert

Anatomische Strukturen und Überlappungen der Approximalflächen auf den Bissflügelaufnahmen stellen Probleme bei der Diagnosefindung dar, die zu einer falschen Interpretation führen können.

Folgende Fehleinschätzungen treten bei der Bissflügeldiagnostik gehäuft auf (Mileman et al., 1992):

- ein kariesfreier Zahn wird aufgrund einer röntgenologisch vermuteten C3/C4 Dentinkaries bei intakter Schmelzoberfläche behandelt
- die Ausdehnung von Läsionen im äußeren Dentin werden unterschätzt
- die Ausdehnung von Läsionen im inneren Schmelzbereich werden überschätzt
- unzureichende konkrete Kriterien werden als Grundlage für die Therapieentscheidung verwendet.

Im Vergleich zur visuellen und taktilen Methode sind die Sensitivitätswerte für die Erkennung einer Läsion mit Bissflügelaufnahmen mit ca. 45 % deutlich höher (Lussi, 1998).

Okklusale und proximale Läsionen sind vor dem Stadium der Kavitation weder visuell noch röntgenologisch ausreichend sicher diagnostizierbar (Haak et al., 2002). Tiefe Dentinläsionen werden auf Bissflügelaufnahmen jedoch zu 100 %, Schmelzläsionen nur zu 33 % erkannt (Espelid et al., 1994). Eine Studie zur Untersuchung okklusaler und proximaler Kariesläsionen bei Erwachsenen mittels klinischer und röntgenologischer Diagnostik zwischen dem 17. und 30. Lebensjahr bestätigt dies. Bei der klinischen Diagnose wurden 23-33 % der proximalen und 76-83 % der okklusalen Läsionen erkannt. Röntgenologisch wurden proximal 93-97 % und okkusal 33-42 % sicher diagnostiziert (Hopercraft et al., 2005).

Über Bissflügelaufnahmen diagnostizierte Schmelzläsionen der Kategorie C1 und C2 sollten in bestimmten Zeitintervallen mit Wiederholungsaufnahmen kontrolliert werden. Empfohlen werden folgende Intervalle (Kühnisch et al., 2007):

- C0 = alle 4 Jahre
- C1 = alle 2 Jahre
- C2 = alle 1 bis 2 Jahre

Bei Kariesläsionen der Klasse C3 und C4 sollte eine zeitnahe Therapiemaßnahme durchgeführt werden.

Ist auf den Kontrollaufnahmen keine Progression erkennbar, kann man die Wiederholungsintervalle bei Patienten ab dem 25. Lebensjahr auf 5 – 10 Jahre ausweiten (Kühnisch et al., 2008).

1.2.5.4 Elektrische Impedanzmessung

Die Kariesdiagnostik über elektrische Impedanzmessung macht sich die elektrische Leitfähigkeit von Gewebe zu nutze. Intakter Zahnschmelz besitzt kaum bis keine elektrische Leitfähigkeit. Wird die Funktion des Schmelzes als elektrischer Isolator aufgrund Demineralisation und einhergehender Wassereinlagerung geschwächt, sinkt der elektrische Widerstand (Lussi et al., 1995). Mit Hilfe von Elektroden lässt sich der Widerstand zwischen Zahnhartsubstanz und angelegter Elektrode messen. Bei der Diagnose initialer Fissurenkaries ergab die Methode eine Sensitivität von 0,81 und eine Spezifität von 0,78 (Ricketts et al., 1995). In einer weiteren Studie konnten die Werte bestätigt werden: Sensitivität 0,93 - 0,96 und Spezifität 0,71 - 0,77 (Lussi, 1998).

Auf dem Markt verfügbar ist der Messsensor CarieScan Pro (CarieScan Ltd., Dundee, Großbritannien) (Abb. 6). Er basiert auf dem „AC Impedance Spectroscopy“ Verfahren, bei dem ein Wechselstrom durch den Zahn geleitet wird (Longbottom et al., 1996). Durch Wechseln der Frequenz kann ein Spektrum aus Impedanzpunkten in unterschiedlichen Bereichen des Zahnes erstellt werden. Nach Analyse trifft das Gerät anhand eines Farbschemas (grün, gelb, rot) und eines Zahlenwertes (0-99) eine Aussage über die mögliche Tiefe der Läsion. Durch eine entsprechende Software (CarieScan Pro Remote View) können die Messergebnisse dokumentiert und verwaltet werden (Pitts et al., 2008).

Für die Diagnose von Okklusalläsionen wurden für die Sensitivität und Spezifität Werte von jeweils 0,92 ermittelt (Pitts et al., 2008). Gesunde und initial kariöse Zähne wurden bei der Studie zusammengefasst und fortgeschritten kariösen Zähnen gegenübergestellt.



Abb. 6: Die Abbildungen zeigen das CarieScan Gerät zur elektrischen Impedanzmessung auf der Ladestation (links) und entsprechender Anwenderhaltung (rechts) (Quelle: CarieScan Ltd., Dundee, Großbritannien).

1.2.5.5 Faseroptische Transillumination (FOTI)

Die Methode der Faseroptischen Transillumination (FOTI) nutzt die Eigenschaft des Lichtes, an Streukörpern wie Molekülen, Kristallen, Kollagenfasern und Zellmembranen aufgrund verschiedener Brechungsindizes abgelenkt zu werden. Das Licht wird entweder absorbiert oder verlässt den Zahn als Remissions- bzw. Transmissionsstrahlung. Da verfärbte kariöse Strukturen gegenüber der gesunden Zahnhartsubstanz stärkere Absorption und Streuung aufweisen (Angmar-Mansson et al., 1987), lässt sich bei der faseroptischen Transillumination die verminderte Lichttransmission zur Kariesdiagnostik nutzen (Haak et al., 2012). Unter Kaltlichtapplikation stellen sich kariöses Dentin und Schmelz als dunkle Schatten dar (Pieper, 1986). Erst die Festlegung auf einen standardisierten Aufbau der Faseroptik führte zu vielversprechenden Resultaten in der approximalen Kariesdetektion. Da die

meisten Studien zur FOTI gegen die Referenzmethodik radiologische Detektion validiert wurden, ist eine isolierte Beurteilung der in vivo Validität der FOTI nicht möglich (Haak et al., 2012).

In einer histologisch validierten Untersuchung konnte gezeigt werden, dass Sensitivität (Röntgen: 0,59; FOTI: 0,67) und Spezifität (Röntgen: 0,96; FOTI: 0,97) der radiologischen und faseroptischen Untersuchung zur Detektion approximaler Dentinläsionen vergleichbar waren (Ie et al., 1994).

Aufbauend auf FOTI wurde das Digitale Faseroptiktansillumination Verfahren (DIFOTI) entwickelt. Der Unterschied zur FOTI besteht darin, dass der durchleuchtete Zahn mittels einer intraoralen Kamera registriert wird. Eine Studie für die Detektion von Okklusalkaries ergab eine Sensitivität von 0,67 und eine Spezifität von 0,87 (Schneidermann et al., 1997). Abb. 7 zeigt die FOTI Sonde und das klinische Bild eines durchleuchteten Zahnes.

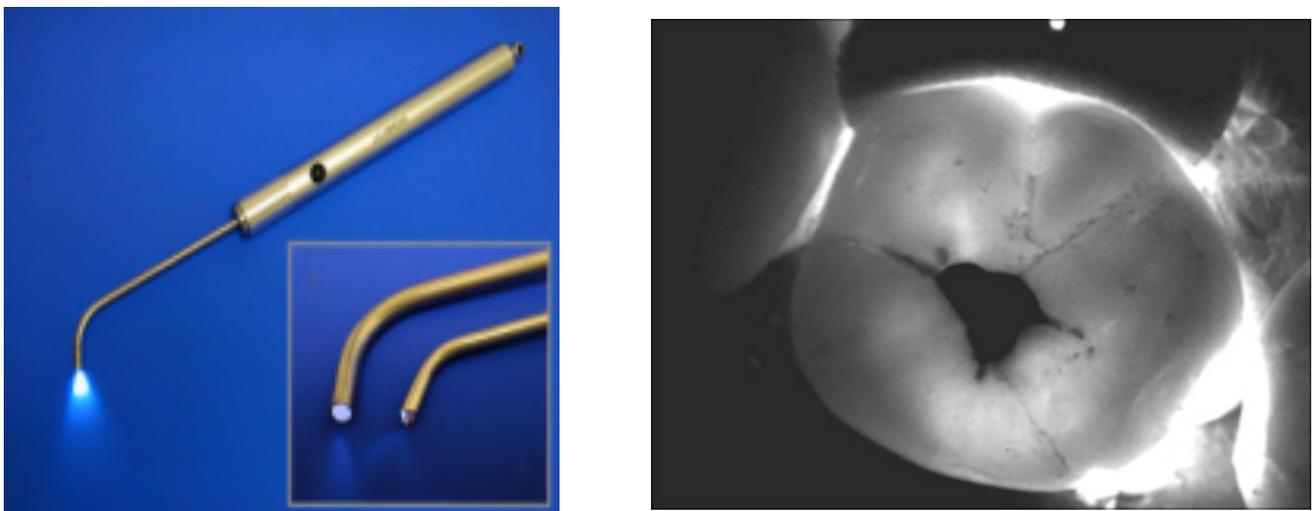


Abb. 7: Das linke Bild zeigt das Faseroptische Transilluminationsgerät (FOTI) während der Kaltlichtemission. In der Vergrößerung ist der Sondenkopf dargestellt. Das klinische Bild (rechts) zeigt einen Unterkiefermolaren während der Kaltlichtemission durch die Sonde. Erkennbar ist eine sich dunkel darstellende okklusale Kariesläsion (Quelle: Biscupid, 2008; Zeisler et al., 2005).

1.2.5.6 Fluoreszenzdiagnostik

Physikalisch handelt es sich bei der Fluoreszenz um die Absorption von Licht einer bestimmten Wellenlänge mit einhergehender Emission von Licht größerer Wellenlänge (energieärmere Strahlung). Auf molekularer Ebene werden durch die Absorption des Lichtes Elektronen auf ein höheres Energieniveau gebracht. Es entsteht ein instabiler Zustand, bei dem die Elektronen unter Energieabgabe zurück auf ihr ursprüngliches Energieniveau sinken. Teile der freigewordenen Energie werden als Fluoreszenzlicht emittiert. Auch an Zahnhartsubstanzen ist diese Fluoreszenz nachweisbar (Stübel, 1911). Je nach Demineralisierungsgrad ändert sich das Fluoreszenzmuster. Vermehrte Fluoreszenz spricht für einen erhöhten Demineralisierungsgrad. Laut einer Studie (König et al., 1998) sollen Porphyrinderivate, bei denen es sich um Stoffwechselprodukte kariogener Bakterien handelt, für die Fluoreszenz verantwortlich sein. Insbesondere das Protoporphyrin IX und das Coproporphyrin I und II konnten als verantwortliche Porphyrine identifiziert werden (Buchalla et al., 2008).

1.2.5.6.1 Quantitative lichtinduzierte Fluoreszenz (QLF)

Die Quantitative lichtinduzierte Fluoreszenz (QLF) nutzt das unterschiedliche Fluoreszenzverhalten von erkrankter und gesunder Zahnhartsubstanz. Bei der QLF wird die Zahnoberfläche mit Licht der Wellenlänge 290 nm und 450 nm ausgesetzt. Das sich darbietende Fluoreszenzbild wird mit Hilfe einer Farbkamera erfasst (Pereira et al., 2009) und Unterschiede in der Fluoreszenzleistung durch eine Software bildlich dargestellt. Erkennbare Veränderungen der Zahnoberfläche im Vergleich zu gesundem Schmelz lassen eine Vorhersage über das Vorliegen einer kariösen Läsion zu.

Studien ergaben für die Sensitivität Werte zwischen 0,68 und 0,91 und für die Spezifität 0,70 und 0,91 (Ifland et al., 2004; Kühnisch et al., 2006; Pretty et al., 2004). Aufgrund der positiven Studienergebnisse dient die QLF der Verlaufskontrolle und der Überwachung kariöser Läsionen (Ando et al., 1997). Nur der erheblich größere Zeitaufwand bei der Nutzung

der QLF steht einer routinemäßigen Anwendung in der zahnärztlichen Praxis entgegen (Kühnisch et al., 2007).

1.2.5.6.2 DIAGNOdent / DIAGNOdent pen

Das seit 1998 erhältliche DIAGNOdent Gerät (KaVo, Biberach-Riß) nutzt ebenfalls das Phänomen der Fluoreszenz zur Kariesdiagnostik. Punktuell wird Laserlicht mit einer Wellenlänge von 655 nm bei einer Leistung von 1 mW emittiert. Die im Zahn hervorgerufene Fluoreszenz wird von einer Fotodiode registriert. Mögliches reflektiertes Anregungslicht, sowie Streustrahlung anderer Lichtquellen werden durch einen Empfangsfilter bis zu einer Wellenlänge von unter 680 nm herausgefiltert (Hibst, 1999). Nach elektronischer Verarbeitung der registrierten Fluoreszenz gibt das DIAGNOdent Gerät einen digitalen Zahlenwert an, der dem entsprechenden Demineralisierungsgrad zugeordnet wird. Zusätzlich kann ein Signalton hinzugeschaltet werden, der bei steigender Defekttiefe an Höhe zunimmt. Um falschpositiven Ergebnissen vorzubeugen muss der Behandler beachten, dass Fremdstoffe wie Verschmutzungen, Kompositfüllungen, Zahnstein, Konkremente, Verfärbungen, Speisereste und Prophylaxepasten ebenfalls unterschiedliche Fluoreszenz besitzen, welche die Auswertung des DIAGNOdent Gerätes beeinflussen können. Vor einer Messung müssen mögliche Fremdfaktoren beseitigt und um die individuelle Eigenfluoreszenz des Schmelzes zu erfassen, eine Kalibrierung des Gerätes an intaktem Schmelz durchgeführt werden (Braun et al., 1999; Braun et al., 2000; Lussi et al., 2004)

Laut Studien von Lussi et al. (1999) und Braun et al. (2000) entsprechen die ermittelten Werte des Gerätes verschiedenen Diagnosen bzw. Therapieempfehlung (Tab. 1).

Werte DIAGNOdent (nach Lussi)	Werte DIAGNOdent (nach Braun)	a) Diagnose b) Therapie
0 - 13	0 - 11	a) gesunder Zahn b) professionelle Zahnreinigung
14 - 20	11 - 30	a) initiale Schmelzkaries b) Professionelle Zahnreinigung + Fluoridierung
21 - 29		a) tiefe Schmelzkaries b) Professionelle Zahnreinigung + Fluoridierung + Monitoring
> 30	> 30	a) Dentinkaries b) Professionelle Zahnreinigung + Restauration

Tab. 1: Die Tabelle zeigt die Diagnosen und entsprechenden Therapieempfehlung für verschiedene DIAGNOdent Werte nach Braun et al. (2000) und Lussi et al. (1999).

Aus der Interpretation der Ergebnisse sollte dennoch kein Automatismus entstehen, da individuelle Parameter wie die Kariesaktivität und das individuelle Kariesrisiko des Patienten nicht erfasst werden (Stockleben, 2007). Eine Studie aus dem Jahr 2003 untersuchte die diagnostische Zuverlässigkeit visueller, röntgenologischer und laseroptischer Diagnoseverfahren (Heinrich-Weltzien et al., 2003). Bei guter Reproduzierbarkeit ($k = 0,89$) ergab sich eine Sensitivität von 0,93 und eine Spezifität von 0,63. Die Ergebnisse wurden 2004 durch eine Studie von Lussi et al. bestätigt. Die Autoren beschreiben das DIAGNOdent Gerät als geeignet für die nichtinvasive Diagnostik von visuell unter pseudointakter Oberfläche versteckten okklusalen Dentinläsionen (Lussi et al., 2004). Ebenfalls eignet sich das Gerät aufgrund der guten Reproduzierbarkeit der Messergebnisse zur Verlaufskontrolle und Überwachung kariöser Läsionen (Lussi, 2000).

Um im Bereich des Approximalkontaktes ähnlich gute Ergebnisse zu erzielen, wurde basierend auf dem DIAGNOdent das DIAGNOdent pen (KaVo, Biberbach-Riß) entwickelt. Ein um 360° drehbarer Sondenkopf ermöglicht nun auch den Scan im Approximalbereich. Die

Sensitivität dieser Weiterentwicklung lag zwischen 0,78 und 0,96 und die Spezifität bei 0,69 und 0,89 (Lussi et al., 2006). Abb. 8 zeigt das DIAGNOdent- und das DIAGNOdent pen Gerät.



Abb. 8: Dargestellt sind das DIAGNOdent Gerät (links) und der DIAGNOdent pen (rechts) mit entsprechender Vergrößerung der Sondenköpfe (Braun et al., 2000).

1.2.5.6.3 Intraorales Fluoreszenzkamerasystem VistaProof und VistaCam iX

Das intraorale Fluoreszenzkamerasystem VistaCam iX (Dürr Dental, Bietigheim-Bissingen) erschien 2007 als Weiterentwicklung der intraoralen Kamera VistaCam des gleichen Herstellers. Um eine Kariesdiagnosekomponente hinzuzufügen, wurden die weißen LEDs durch sechs blaue Galliumnitrid- (GaN-) LEDs ersetzt. Die LEDs emittieren Licht der Wellenlänge 405 nm (blau-violett) auf die zu begutachtenden Zahnflächen. In gesunder Zahnhartsubstanz verursacht das emittierte Licht eine grüne Fluoreszenz, in kariösen Läsionen fluoresziert es aufgrund der erhöhten Bakterienbesiedlung im roten Spektralbereich (Thoms, 2006). Eine Auswertungssoftware des Herstellers DBSwin rechnet die grünen gesunden Bereiche gegen die roten erkrankten Bereiche und ermittelt den Zerstörungsgrad der Zahnhartsubstanz (Eberhart et al., 2007). Eine in vitro Studie an 97 extrahierten Zähnen ergab eine Sensitivität von 0,75 (D1-Niveau) bzw. 0,96 (D3) und eine Spezifität von

0,71 (D1) bzw. 0,70 (D3) (Rodrigues et al, 2008).

Vergleicht man die VistaCam iX mit der herkömmlichen Fluoreszenzkamera VistaProof bezüglich der Detektion okklusaler kariöser Läsionen, können hohe Korrelationen festgestellt werden ($r_s = 0,85$, $r_s = 0,9$). Verglichen mit der Histologie ergaben sich ebenfalls hohe Korrelationen ($r_s = 0,69$ bis $r_s = 0,79$). Auf dem D1 Niveau lag die Sensitivität der VistaCam iX gemittelt bei 79 %, die Spezifität bei 87 %. Für das D3 Niveau zeigte die VistaCam iX eine Spezifität von 67 % und eine Sensitivität von 87 % (Jablonski-Momeni et al., 2012). Bisher liegen kaum Studien zur VistaCam iX vor. Um die Validität besser beurteilen zu können, sind weitere Untersuchungen notwendig. Abb. 9 zeigt das VistaProof Gerät und eine Fluoreszenzaufnahme eines Zahnes mit kariöser Läsion.

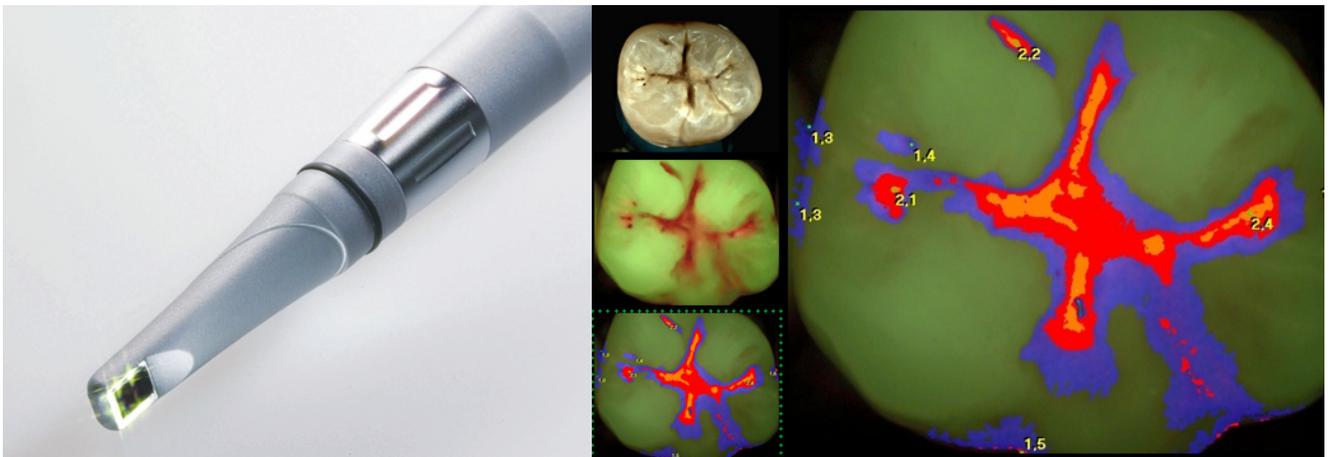


Abb. 9: Die linke Abbildung zeigt den Sondenkopf des VistaProof Gerätes. Die rechte Abbildung zeigt das mittels Software errechnete Ergebnis der Fluoreszenzanalyse. Grüne Bereiche stehen für gesunde Zahnhartsubstanz, rote Bereiche zeigen kariöse Läsionen an (Quelle: Dürr Dental, Bietigheim-Bissingen).

1.2.5.7 LED basierte Spektroskopie mittels Midwest Caries I.D.

Die LED basierte Spektroskopie macht sich den optischen Effekt, der durch die veränderte Lichtbrechung in gesunder und demineralisierter Zahnhartsubstanz zu Stande kommt, zu nutze. Das emittierte Licht wird nach Durchdringung einer kariösen Läsion im Schmelz und/oder Dentin gestreut reflektiert und durch eine Fotozelle aufgenommen (Abb. 10). Das

Midwest Caries I.D. (Abb. 11) erfasst diese Veränderungen und codiert die Ergebnisse in ein akustisches beziehungsweise optisches Signal um. Die Codierung erfolgt über einen algorithmischen Prozess, der Abweichungen von Reflektionen gesunder Zahnhartsubstanz erkennt und entsprechend vergleicht. Abweichungen werden als optisches Signal in Form eines Farbumschlages der LED von grün zu rot und einem akustischen Signal von schneller über mittlerer zu langsamer Tonwiederholfrequenz dargestellt. Das Midwest Caries I.D. dient ausschließlich der Detektion von okklusalen und approximalen Kariesläsionen unbehandelter Molaren und Prämolaren. Eine Untersuchung erfolgt immer von okklusal.



Abb. 10: Die linke Abbildung zeigt das fiberoptische Element des Midwest Caries I.D. in Aufsicht. Rechts sind die zwei Lichtemitter (rot und grün) und der Lichtsensor (schwarz) schematisch dargestellt (Quelle: Dentsply, York, Großbritannien).



Abb. 11: Die Abbildung zeigt die Gesamtansicht des funktionsbereiten und für die Anwendung fertig zusammengesetzten Midwest Caries I.D. Gerät (Quelle: Dentsply, York, Großbritannien).

Bei der Benutzung des Midwest Caries I.D. Gerätes ist eine Vorauswahl und Vorbehandlung der Zähne notwendig. Bei Nichtbeachtung kann es zu falsch positiven oder falsch negativen Ergebnissen kommen.

Falsch negative Ergebnisse können bei folgenden Bedingungen auftreten:

- Zähne mit sehr dünner Schmelzschicht im Approximalbereich
- fehlerhafte Kalibrierung des Midwest Caries I.D.
- Artefakte (z. B. Dentalfluorosen) in und auf dem Schmelz

Falsch positive Ergebnisse können bei folgenden Bedingungen auftreten:

- bei Füllungen und Fissurenversiegelungen
- bei untypischer Morphologie des Schmelzes bzw. Dentin
- bei Vorhandensein von Debries und Plaque
- bei Vorhandensein von Verfärbungen
- bei Vorhandensein von Essensresten
- bei Sondenverschmutzung
- bei Milchzähnen mit zu dünner Schmelzschicht
- bei nicht vorhandenem Kontakt der Sonde zur Zahnoberfläche
- bei sehr hellem Umgebungslicht
- bei trockenen Zähnen
- bei Anwendung an Bukkal- und Lingualflächen der Front- und Seitenzähne

Laut Hersteller beeinträchtigt die Behandlungslampe die Funktion des Midwest Caries I.D. nicht. Bei Nichtbeachtung der oben angegebenen Bedingungen ist eine zuverlässige Diagnostik aufgrund des diffus reflektierten Lichtes mit dem Gerät nicht möglich.

2. Zielsetzung

Die zielsichere in vivo Detektion approximaler Kariesläsionen stellt nahezu jede diagnostische Methode vor ihre Grenzen. Der Hersteller Dentsply verspricht mit dem Midwest Caries I.D. eine zuverlässige und sichere Hilfe zur Detektion approximaler Kariesläsionen. Laut Angabe sollen 92 % der okklusalen und 81 % der approximalen Läsionen mit dem Midwest Caries I.D. detektiert werden.

Die zentralen Fragestellungen der dieser Dissertation zugrunde liegenden Studie lauten:

- Welche Validitätsparameter (Sensitivität und Spezifität) können dem Midwest Caries I.D. für die klinische Kariesdiagnostik zugeordnet werden?
- Existiert eine signifikante Korrelation zwischen den akustischen Signalen des Midwest Caries I.D. und der tatsächlichen klinischen Ausdehnung der Läsionen?
- Wie schneidet das Midwest Caries I.D. im Vergleich zu anderen diagnostischen Verfahren bezüglich Sensitivität und Spezifität ab?

Dabei soll die Hypothese überprüft werden, dass die Diagnostik mit dem Midwest Caries I.D. System die klassische visuelle und röntgenologische Diagnostik sinnvoll ergänzen kann.

3. Material und Methoden

3.1 Aufbau und Funktionsweise des Studiengerätes

Als Studiengerät diente das Midwest Caries I.D. der Firma Dentsply (York, Großbritannien). Es dient der Detektion von approximalen und okklusalen Kariesläsionen über das Okklusalrelief der Zähne. Es besteht aus dem Hauptmodul, 2 AAA Batterien, einem Kalibrierungsstein, einer Sterilgutbox sowie weiterem Zubehör zur Reinigung. Das Hauptmodul des Midwest Caries I.D. setzt sich aus dem Sondenkopf (Probe), dem Gehäuse (Shell) und dem Detektionsmodul (Detection Module) zusammen. Der Sondenkopf dient der Übertragung und Emission des LED-Lichtes, das Gehäuse bietet dem Gerät Schutz vor äußeren Einflüssen und ist voll sterilisierbar. Das Detektionsmodul beinhaltet den Chipsatz zur Analyse des reflektierten Lichtes und dient der Aufnahme der Batterien. Der Kalibrierungsstein dient der Referenzfindung des emittierten LED-Lichtes und ermöglicht die Erhebung standardisierter Ergebnisse. Abb. 12 zeigt die Bauteile des Midwest Caries I.D..

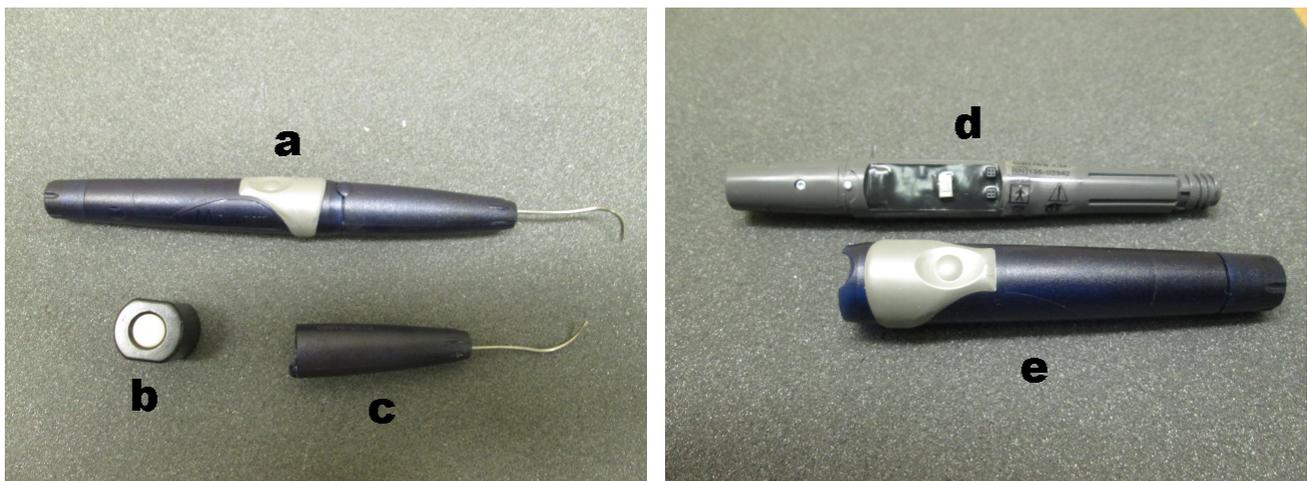


Abb. 12: Abgebildet sind die verschiedenen Bauteile des Midwest Caries I.D.. Das linke Bild zeigt das Gehäuse inklusive angeschraubten Sondenkopf (a), den Kalibrierungsstein (b) und einen Ersatzsondenkopf (c). Die Abbildung rechts zeigt das Detektionsmodul (d) und den unteren Teil des Gehäuses (e).

3.2 Gewinnung von studientauglichen Zähnen

Die Untersuchung erfolgte an insgesamt 66 Zähnen (35 Molaren und 31 Prämolaren) von zufällig in der Schmerzsprechstunde ausgewählten männlichen und weiblichen Patienten im Alter von 18 bis 62 Jahren. Die Studienteilnehmer stammten aus dem Patientenpool des Universitätsklinikums Bonn (Abteilung Parodontologie, Zahnerhaltung und präventive Zahnheilkunde), der Zahnarztgruppe des Fachsanitätszentrums Bonn (Bundeswehr) und der Praxis von Dr. med. dent. Angelo Liuzzi (Leverkusen/Opladen). Um in die Studie aufgenommen zu werden, mussten die Zähne entsprechende Selektionskriterien erfüllen. Folgende Kriterien führten zum Ausschluss:

- großflächig konservativ restaurierte Zähne
- lückig angeordnete Zähne
- prothetisch versorgte Zähne
- endodontisch behandelte Zähne
- durch Karies zerstörte, nicht erhaltungsfähige Zähne
- durch parodontale Vorschädigung, nicht erhaltungsfähige Zähne

Die Studie erfolgte retrospektiv unter Beachtung erklärter ethischer Prinzipien (niedergelegt in der World Medical Association Declaration of Helsinki, Version VI, 2002).

Wurden ein oder mehrere Zähne für studientauglich angesehen, erfolgte eine Aufklärung über das Midwest Caries I.D. als zusätzliches Diagnosemittel zur Detektion von approximalen Kariesläsionen an Molaren und Prämolaren. Die Patienten wurden darüber aufgeklärt, dass das Ergebnis des Midwest Caries I.D. keinesfalls zur Indikationsstellung einer Kariestherapie herangezogen wird und somit keinen Einfluss auf die zahnärztliche Therapie hat. Der endgültige Entschluss zur Durchführung einer Kariestherapie erfolgte ausschließlich unter Heranziehung praxisüblicher Diagnosemittel wie Röntgenaufnahmen und klinischer Inspektion. Eine Aufnahme der in Frage kommenden Zähne in die Studie erfolgte nur mit Einverständnis der Patienten.

3.3 Durchführung der Untersuchungen

Die Untersuchungen wurden nach einem zuvor festgelegten Ablaufschema durchgeführt (Abb. 13):



Abb. 13: Die Abbildung zeigt das Ablaufschema des Studienaufbaus. Anhand dieses Ablaufschemas (1. - 12.) wurden die Patienten bzw. deren Zähne begutachtet, therapiert und bei entsprechender Studientauglichkeit retrospektiv in die Studie aufgenommen.

3.3.1 Visuelle Inspektion

Bei allen teilnehmenden Probanden erfolgte zunächst eine visuelle Inspektion unter relativer Trockenlegung mittels Spiegel und Sonde. Um eine standardisierte Dokumentation zu

gewährleisten, wurde die ICDAS II Klassifikation angewandt (Tab. 2). Die erhobenen Befunde wurden auf dem Auswertungsbogen erfasst.

Code	Beschreibung
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.
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.
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.
3	Demineralisation bzw. Verlust der Schmelzstruktur im Bereich der Fissuren, ohne sichtbares Dentin. Die Opazitäten und/oder bräunlichen oder schwarzen kariösen 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
4	Schattenbildung ausgehend von kariösem Dentin, mit oder ohne Schmelzeinbruch. Die Schattenbildung ist am feuchten Zahn leichter zu diagnostizieren und kann gräulich, bläuliche oder bräunlich sein.
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.
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.

Tab. 2: Kodierung der visuellen Inspektion nach dem International Caries Detection and Assessment System II (ICDAS, 2009)

3.3.2 Anfertigung und Auswertung von Bissflügel und/oder Einzelzahnaufnahmen

Bei positivem Kariesbefund oder bei Verdacht auf proximale kariöse Läsionen wurden zur weiteren Diagnostik Einzelzahn- und/oder Bissflügelaufnahmen angefertigt und ausgewertet. Die Ergebnisse wurden anhand der radiologischen C-Klassifikation nach Hintze et al. (1999) auf dem Auswertungsbogen dokumentiert (Tab. 3).

Code	Beschreibung
0	keine Demineralisation
1	Demineralisation ist auf den äußeren Schmelzbereich begrenzt
2	Demineralisation reicht bis in den inneren Schmelzbereich
3	Demineralisation reicht bis in den äußeren Dentinbereich
4	Demineralisation reicht bis in den inneren Dentinbereich

Tab. 3: Kodierung der sichtbaren Kariesausdehnung auf Bissflügelaufnahmen nach Hintze et al. (1999)

3.3.3 Reinigung der Zähne

Wurde ein Zahn aufgrund der vorliegenden Befunde als behandlungsbedürftig eingestuft, erfolgte die Reinigung des Zahnes. Zur Entfernung des supragingivalen Zahnsteines wurde ein Ultraschallgerät der Firma KaVo (Biberach-Riß, Deutschland) genutzt. Weiche Beläge wurden mit Handinstrumenten und Zahnseide (Superfloss, Oral B, Schwalbach, Deutschland) entfernt. Abschließend erfolgte eine Politur der Zahnoberfläche mit Polierkelchen (Komet, Lemgo, Deutschland) und Polierpasten (Proxyt, Ivoclar Vivadent, Ellwangen, Deutschland). Reste der Polierpaste wurden ausgiebig mit Wasser und Luft entfernt. Abschließend erfolgte eine erneute Begutachtung der Zähne bezüglich ihrer ICDAS II Einteilung. Mögliche Abweichungen wurden korrigiert.

3.3.4 Anwendung des Midwest Caries I.D.

Zu Beginn der Untersuchung wird das Midwest Caries I.D. unter Zuhilfenahme des Kalibrierungssteins kalibriert. Hierzu wird das Gerät zunächst mit einem von der Firma Dentsply mitgeliefertem Watteträger an der Sondenspitze gereinigt. Nach dem Einschalten ertönt ein akustisches Signal, welches anzeigt, dass das Gerät bereit zur Kalibrierung ist. Nun wird die Sonde des Gerätes auf den Kalibrierungsstein gesetzt. Ein schnelles akustisches Geräusch und der Wechsel der Farbe Rot zu Grün bedeutet eine ordnungsgemäße Kalibrierung (Abb. 14).



Abb. 14: Die Abbildungen zeigen den Kalibrierungsvorgang des Midwest Caries I.D. per Kalibrierungsstein. Die Emission von rotem Licht zeigt an, dass der Kalibrierungsvorgang aktiv ist (links). Die Emission von grünem Licht zeigt die abgeschlossene korrekte Kalibrierung des Gerätes an (rechts).

Das Gerät wird parallel zur Zahnlängsachse auf den zu untersuchenden Zahn im Bereich der Zentralfissur positioniert. Langsam erfolgt eine Bewegung in Richtung der vermuteten approximalen Kariesläsion nach mesial bzw. distal. Diese wird fortgesetzt bis ein akustisches Signal ertönt und die grüne LED Leuchte eine Farbänderung von grün zu rot verzeichnet (Abb. 15).

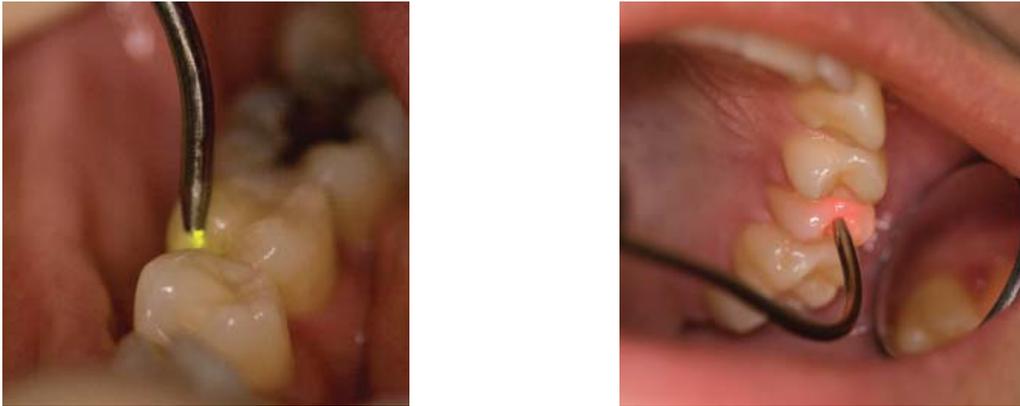


Abb. 15: Bei der klinischen Anwendung des Midwest Caries I.D. steht grünes Licht für gesunde Zahnhartsubstanz (links) und rotes Licht für demineralisierte Zahnhartsubstanz (rechts).

Erfolgt ein Farbumschwung, wird eine Winkeländerung des Midwest Caries I.D. außerhalb der Zahnlongsachse in einer kegelförmigen Bewegung durchgeführt. Durch die veränderte Achse und die daraus divergierend einfallende Lichtmasse soll eine Einschätzung der Kariesausdehnung ermöglicht werden. In dieser Studie wurde bei abweichender Stellung des Midwest Caries I.D. zur Zahnachse und roter LED Leuchte von einer extendierenden Ausdehnung, bei einem erneuten Umschlag der Farbe Rot zu Grün von einer lediglich lokalen Ausdehnung ausgegangen. Zusätzlich erfolgte eine Überprüfung der Frequenz des akustischen Signals. Unterschieden wurde in 3 Stufen: Schnelle, mittlere und langsame Tonfrequenz. Laut Hersteller soll eine schnelle Tonfrequenz als starke Demineralisation, eine mittlere Tonfrequenz als mittlere Demineralisation und eine langsame Tonfrequenz als leichte Demineralisation interpretiert werden können. Der entsprechende Farbausschlag und die Tonfrequenzen können so einer möglichen Bedeutung zugeordnet werden (Tab. 4 und Tab. 5):

Farbanzeige	Bedeutung
grün	gesunde Zahnhartsubstanz
rot	demineralisierte Zahnhartsubstanz

Tab. 4: Bedeutung des Farbausschlages des Midwest Caries I.D.

Tonwiederholffrequenz	Bedeutung
langsam	leichte Demineralisation
mittel	mittlere Demineralisation
schnell	starke Demineralisation

Tab. 5: Bedeutung der Tonwiederholffrequenz des Midwest Caries I.D.

Unter Berücksichtigung des Einfallswinkels und der Farbe des LED Lichts konnten zusätzlich die Ausdehnung des Defektes ermittelt werden (Tab. 6):

Einfallswinkel + Farbanzeige	Bedeutung
Längsachsenabweichung + grün	lokale Defektausdehnung
Längsachsenabweichung + rot	extendierende Defektausdehnung

Tab. 6: Bedeutung des Farbausschlages bei Angulation des Midwest Caries I.D.

Unter Berücksichtigung aller Signale wurde von folgenden Zusammenhängen ausgegangen (Tab. 7):

Tonfrequenz \ Farbe	langsam	mittel	schnell
grünes Licht	keine kariösen Läsionen vorhanden Code: 0		
senkrecht rotes Licht + bei abweichender Achsenneigung grünes Licht	lokalisierte leichte Demineralisation Code: 1	lokalisierte mittlere Demineralisation Code: 3	lokalisierte schwere Demineralisation Code: 5
senkrecht rotes Licht + bei abweichender Achsenneigung rotes Licht	extendierende leichte Demineralisierung Code: 2	extendierende mittlere Demineralisation Code: 4	extendierende schwere Demineralisation Code: 6

Tab. 7: Kodierung der verschiedenen Signalqualitäten des Midwest Caries I.D.

Nach Untersuchung der Zähne mit dem Midwest Caries I.D. wurde das Messergebnis mit der entsprechenden Codierung (Tab. 7) auf dem Auswertungsbogen dokumentiert.

3.3.5 Therapiemaßnahmen

Die ausschließlich aufgrund der röntgenologischen und visuellen Inspektion ergriffenen Therapiemaßnahmen richteten sich nach Ausdehnung der kariösen Läsionen.

3.3.5.1 Schmelzkaries

Läsionen, die sich ausschließlich auf die innere und äußere Schmelzschicht beschränkten (C1 und C2), wurden nicht invasiv behandelt. Die Patienten wurden aufgeklärt, die entsprechenden Stellen regelmäßig von einem Zahnarzt visuell und röntgenologisch kontrollieren zu lassen. Um eine Progression des Demineralisierungsgrades zu verhindern, wurde den Patienten die Verwendung von Zahnseide und entsprechenden Fluoridpräparaten zur Remineralisierung empfohlen. Patienten mit leichten Schmerzempfindungen bei Luft- und Kälteeinwirkung erhielten eine Therapie mit fluoridhaltigen Lacken.

3.3.5.2 Dentinkaries

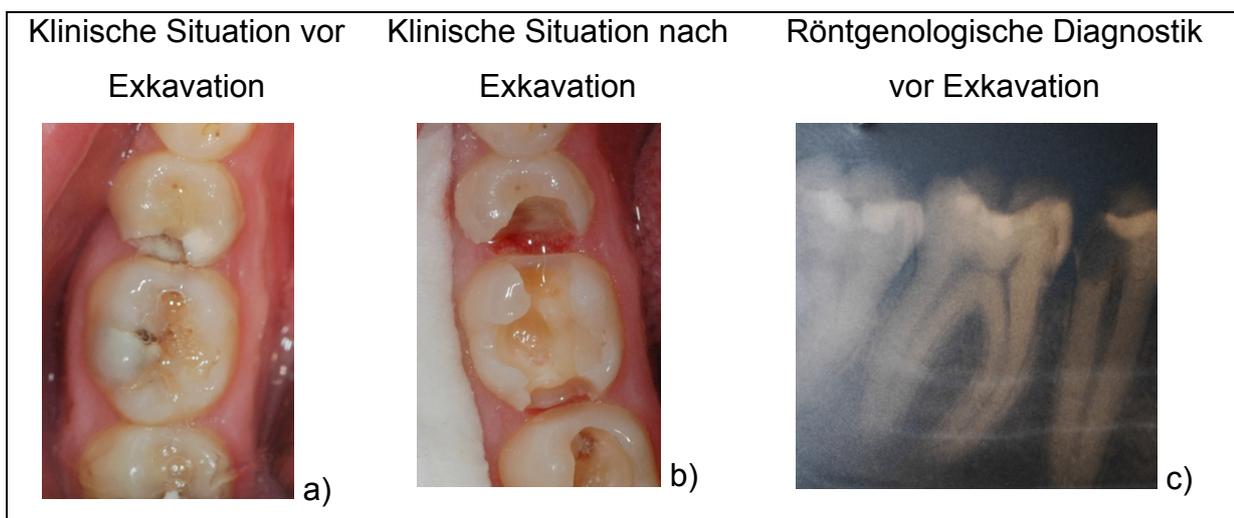
Kariöse Läsionen, die über die Schmelzdentingrenze hinausgingen, wurden unter lokaler Anästhesie (Ultracain DS, Sanofi-Aventis, Frankfurt/Main, Deutschland) invasiv behandelt. Um die Dentinkaries optimal darzustellen, erfolgte eine okklusale Eröffnung des Defektes mit diamantierten Bohrern (Komet, Lemgo, Deutschland). Zur Exkavation des erkrankten Dentin wurden gängige Rosenbohrer (Komet, Lemgo, Deutschland) genutzt. Nach Überprüfung der sachgemäßen und vollständigen Exkavation mit einer Sonde, erfolgte eine Einteilung des nun klinisch sichtbaren Defektes in fünf Kategorien (Tab. 8):

Code	Kariesausdehnung nach Exkavation
0	keine Therapie durchgeführt
1	äußere Schmelzschicht
2	innere Schmelzschicht
3	äußere Dentinschicht
4	innere Dentinschicht

Tab. 8: Kodierung der sichtbaren Kavitätenausdehnung nach Exkavation

Die entstandenen Defekte wurden anschließend mit Säureätztechnik (Optibond, Kerr, Rastatt, Deutschland) konditioniert und mit einer adhäsiv befestigten Kompositrestauration (Tetric, Ivoclar Vivadent, Ellwangen, Deutschland) versorgt. Abb. 16 zeigt verschiedene klinische und röntgenologische Bilder, die während der Studie entstanden sind.

Zwischen den Kavitätenausdehnungen Code 3 und 4 wurden die klinischen Situationen nach vollständiger Kariesentfernung mit dem Verlauf der Schmelz-Dentin-Grenze und den durchschnittlichen Werten für Dentindicken verglichen. Eine kalibrierte Parodontalsonde wurde verwendet, um die Kavitätentiefen zu bestimmen. Bei einer Ausdehnung von mehr als 1mm im Dentin wurde die Kavität mit Code 4 gekennzeichnet.



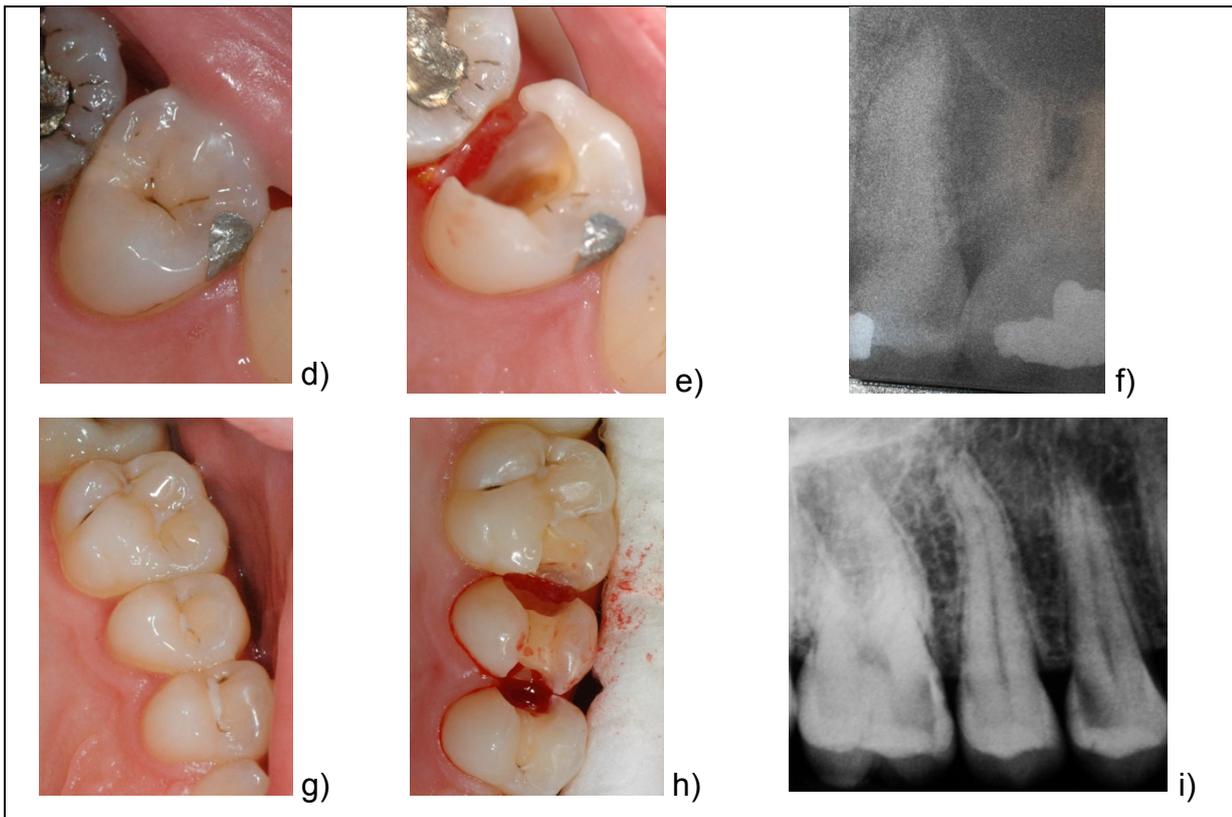


Abb. 16: Gezeigt werden klinische und röntgenologische Beispielbilder der Studie: **a)** ICDAS II Einteilung: Zahn 45 - Code 5; Zahn 46 - Code 4 **b)** Kavitätenausdehnung nach Exkavation: Zahn 45 - Code 4; Zahn 46 - Code 3 **c)** röntgenologische Defektausdehnung: Zahn 45 - Code 4; Zahn 46 - Code 3 **d)** ICDAS II Einteilung: Zahn 25 - Code 4 **e)** Kavitätenausdehnung nach Exkavation: Zahn 25 - Code 4 **f)** röntgenologische Defektausdehnung: Zahn 25 - Code 3 **g)** ICDAS II Einteilung: Zahn 14 - Code 4; Zahn 15 - Code 3; Zahn 16 - Code 4 **h)** Kavitätenausdehnung nach Exkavation: Zahn 14 - Code 4; Zahn 15 - Code 3; Zahn 16 - Code 3 **i)** röntgenologische Defektausdehnung: Zahn 14 - Code 4; Zahn 15 - Code 3; Zahn 16 - Code 4

3.3.6 Statistische Analyse

Die statistische Auswertung erfolgte mit den Statistikprogrammen SPSS (Version 20.0.0 SPSS Inc. Chicago, IL, USA) und Excel 2003 (Microsoft Corporation Redmond, WA, USA). Die erhobenen Messwerte der Spektroskopie, die röntgenologisch erfassten Läsionstiefen und die visuell ermittelten ICDAS II Werte wurden tabellarisch für jeden Zahn erhoben.

3.3.6.1 Kreuztabellierung

Um die Häufigkeitsverteilung der Befunde der einzelnen Verfahren mit der tatsächlich exkavierten Situation zu vergleichen, wurden Kreuztabellen erstellt. Hierzu wurden die entsprechenden Einteilungen der kariösen Läsionsausdehnung der verschiedenen Diagnoseverfahren der tatsächlichen Kariesausdehnung gegenübergestellt.

3.3.6.2 Chi-Quadrat-Test nach Pearson

Zur Überprüfung, ob ein Zusammenhang zwischen den einzelnen Verfahren und der tatsächlichen exkavierten Defektausdehnung besteht, wurde der Chi-Quadrat-Test nach Pearson durchgeführt. Zeigt sich eine asymptotische Signifikanz von $p < 0,05$ ist mit 95 % Wahrscheinlichkeit von einem Zusammenhang der Messparameter auszugehen.

3.3.6.3 Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman

Um die Korrelation zwischen den Parametern der visuellen Inspektion, der röntgenologischen Befundung und der Spektroskopie gegenüber der tatsächlich exkavierten Situation zu analysieren, wurde der Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman (r_s) berechnet. Mit Zunahme des Wertes, welcher von -1 bis +1 geht, steigt die Korrelation. Werte zwischen 0,7 und 1 sprechen für eine hohe Korrelation, bei Werten nahe 0 handelt es sich um eine schlechte Korrelation. Negative Werte zeugen von einer gegenläufigen Korrelation. Die Einteilung der Rangkorrelationskoeffizienten nach Ricketts et al (1998) zeigt Tab. 9.

r_s-Wert	Bedeutung
-1 bis 0	gegenläufige Korrelation
0 bis 0,3	geringe Korrelation
0,3 bis 0,7	moderate Korrelation
0,7 bis 1	hohe Korrelation

Tab. 9: Einteilung des Rangkorrelationskoeffizienten nach Spearman (Ricketts et al., 1998)

3.3.6.4 Spezifität und Sensitivität

Im Anschluss wurden die Spezifität und die Sensitivität der verschiedenen diagnostischen Verfahren ermittelt. Die Sensitivität beschreibt im Allgemeinen die Fähigkeit eines Tests, erkrankte Personen tatsächlich als krank zu erkennen. Der Sensitivitätswert wird in Prozent angegeben und stellt den Anteil der richtig positiven Diagnosen an der Gesamtzahl der Erkrankten dar (Zöfel, 2002).

Formel zur Berechnung der Sensitivität:

$$\text{Sensitivität} = \text{Richtig Positiv} / (\text{Richtig Positiv} + \text{Falsch Negativ})$$

Sie Spezifität hingegen ist die Fähigkeit eines Tests gesunde Personen tatsächlich als gesund zu erkennen. Der Spezifitätswert wird ebenfalls in Prozent angegeben und stellt den Anteil der richtig negativen Diagnosen an der Gesamtzahl der Gesunden dar (Zöfel, 2002).

Formel zur Berechnung der Spezifität:

$$\text{Spezifität} = \text{Richtig Negativ} / (\text{Richtig Negativ} + \text{Falsch Positiv})$$

3.3.6.5 Receiver Operating Characteristic Curves (ROC-Kurven)

Aus den gewonnenen Daten zur Spezifität und Sensitivität wurden Receiver Operating Characteristic Curves (ROC-Kurven) gebildet. Die ROC-Kurve dient der graphischen Darstellung von Sensitivität und Spezifität und ist geeignet die Genauigkeit von diagnostischen Tests zu analysieren. Durch Auftragen der Sensitivität gegen (1-Spezifität) wird analysiert, wie Sensitivität und Spezifität eines diagnostischen Tests zusammenwirken (Zöfel, 2002). Auf der Abszisse werden die Werte für die Sensitivität, auf der Ordinate die Werte für (1-Spezifität) aufgetragen.

ROC-Kurven, die einer 45° aufsteigenden Diagonalen ähneln, sprechen eher für einen Zufallsprozess. Unterhalb der Diagonalen bilden sich Testergebnisse ohne jede Vorhersagekraft oder gegebenenfalls auch falsch interpretierte Werte ab. Für diagnostische Verfahren mit hoher Sensitivität und Spezifität resultiert optimaler Weise eine gekrümmte, schnell aufsteigende Kurve. Bei solchen Kurven wächst auch die Fläche unter der ROC-Kurve (Area under the curve, AUC), die als Maß für die Aussagekraft dient. Sie kann Werte von 0,5 – 1 annehmen, wobei 0,5 für einen Zufallsprozess und 1 für ein ideales Diagnosemittel stehen würde. Ein AUC-Wert von 1 bedeutet, dass die Sensitivität und Spezifität jeweils 100 % betragen (Zöfel, 2002).

Tab. 10 zeigt die Aussagekraft der verschiedenen AUC-Werte nach Htoon et al. (Htoon et al., 2007).

Area under the curve (AUC)	Aussagekraft
0,5 - 0,6	keine
0,6 - 0,7	schwach
0,7 - 0,8	mittel
0,8 - 0,9	gut
0,9 - 1	exzellent

Tab. 10: Aussagekraft verschiedener Area under the curve Werte nach Htoon et al. (2007)

4. Ergebnisse

4.1 Häufigkeitsverteilung

4.1.1 Häufigkeitsverteilung der kariösen Läsionen bei visueller Inspektion

Die visuelle Inspektion der 66 Zähne erfolgte anhand der Kriterien des ICDAS II für die Diagnose der okklusalen Karies (Tab. 2). Die ermittelte Häufigkeitsverteilung ist in Abb. 17 dargestellt.

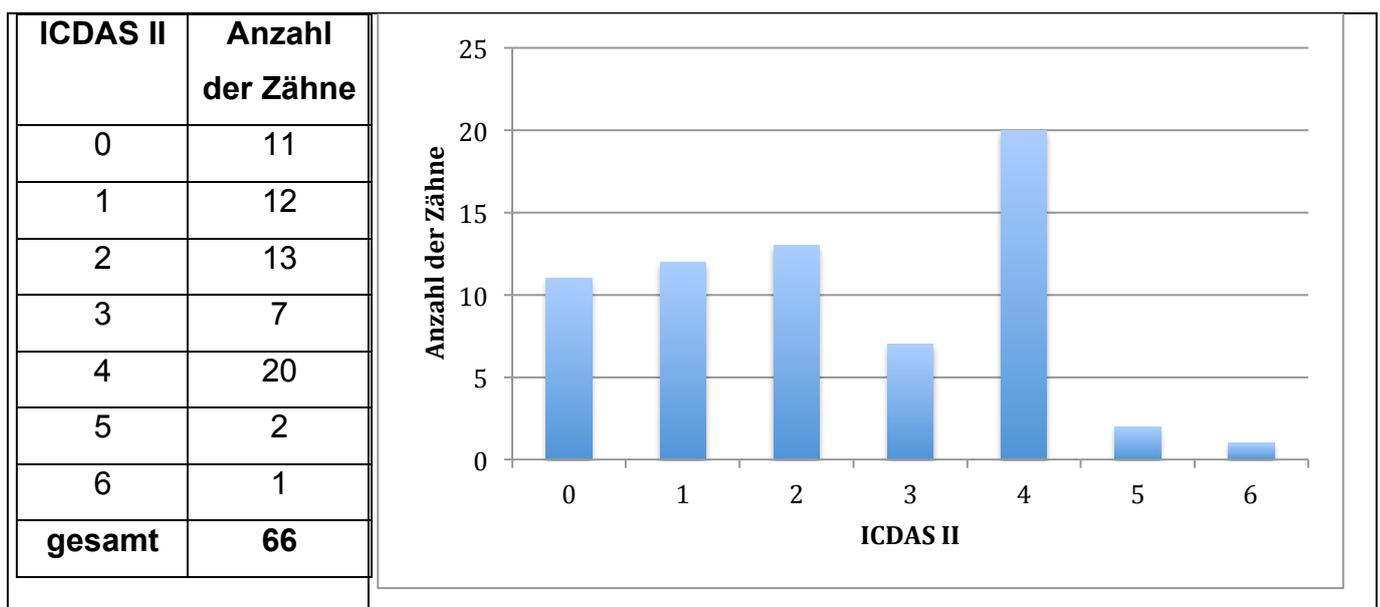


Abb. 17: Häufigkeitsverteilung der kariösen Läsionen bei visueller Inspektion nach ICDAS II

Die Häufigkeitsverteilung der klinischen Inspektion stellt sich wie folgt dar: 17 % der untersuchten Zähne wiesen nach Trocknung mit Luft keine sichtbare Karies auf (ICDAS II – Code 0). Erste visuelle Veränderungen an der Schmelzoberfläche nach Trocknung waren bei 18 % der Zähne erkennbar (ICDAS II – Code 1). 20 % der Zähne wiesen deutliche visuelle Veränderungen in der Schmelzoberfläche auf (ICDAS II – Code 2) und bei 11 % war eine Demineralisation bzw. ein Verlust der Schmelzstruktur im Bereich der Fissuren zu erkennen (ICDAS II – Code 3). 30 % der untersuchten Zähne zeigten eine Schattenbildung

im Dentin (ICDAS II – Code 4) und bei 3 % war bereit eine deutliche Kavitätenbildung mit sichtbarem Dentin zu erkennen (ICDAS II – Code 5). 2 % der Zähne wiesen eine tief ins Dentin reichende Kavität mit großflächig zerstörtem Zahnschmelz auf (ICDAS II – Code 6).

4.1.2 Häufigkeitsverteilung der kariösen Läsionen bei röntgenologischer Diagnostik

Die röntgenologische Befundung der 66 Zähne erfolgte anhand der radiologischen C-Klassifikation nach Hintze (Hintze et al., 1999). Die ermittelte Häufigkeitsverteilung ist in Abb. 18 dargestellt.

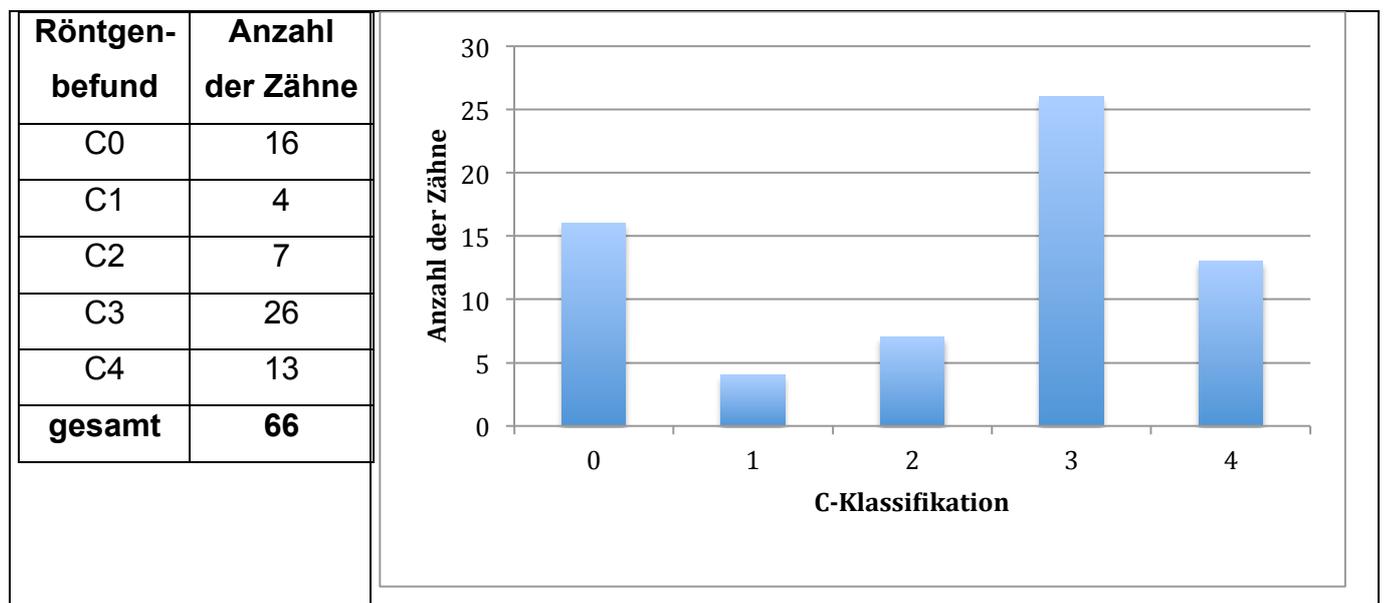


Abb. 18: Häufigkeitsverteilung der kariösen Läsionen bei röntgenologischer Diagnostik

Bei Befundung der Bissflügel aufnahmen stellten sich 24 % (C0) der Zähne als kariesfrei dar. Eine beginnende Schmelzkaries wurde in 6% (C1) und eine tiefe Schmelzkaries bei 11 % (C2) der Fälle diagnostiziert. Der Anteil der auf den äußeren Dentinbereich lokalisierten Läsionen betrug 39 % (C3). 20 % der Zähne wiesen eine tiefe Dentinkaries auf (C4).

4.1.3 Häufigkeitsverteilung der kariösen Läsionen bei der Spektroskopie

Die 66 begutachteten Zähne wurden entsprechend der Tonfrequenz und des möglichen Farbumschlags bei angulierter Achsenneigung des Midwest Caries I.D. anhand der Codierung (Tab. 7) eingeteilt. Die ermittelte Häufigkeitsverteilung ist in Abb. 19 dargestellt.

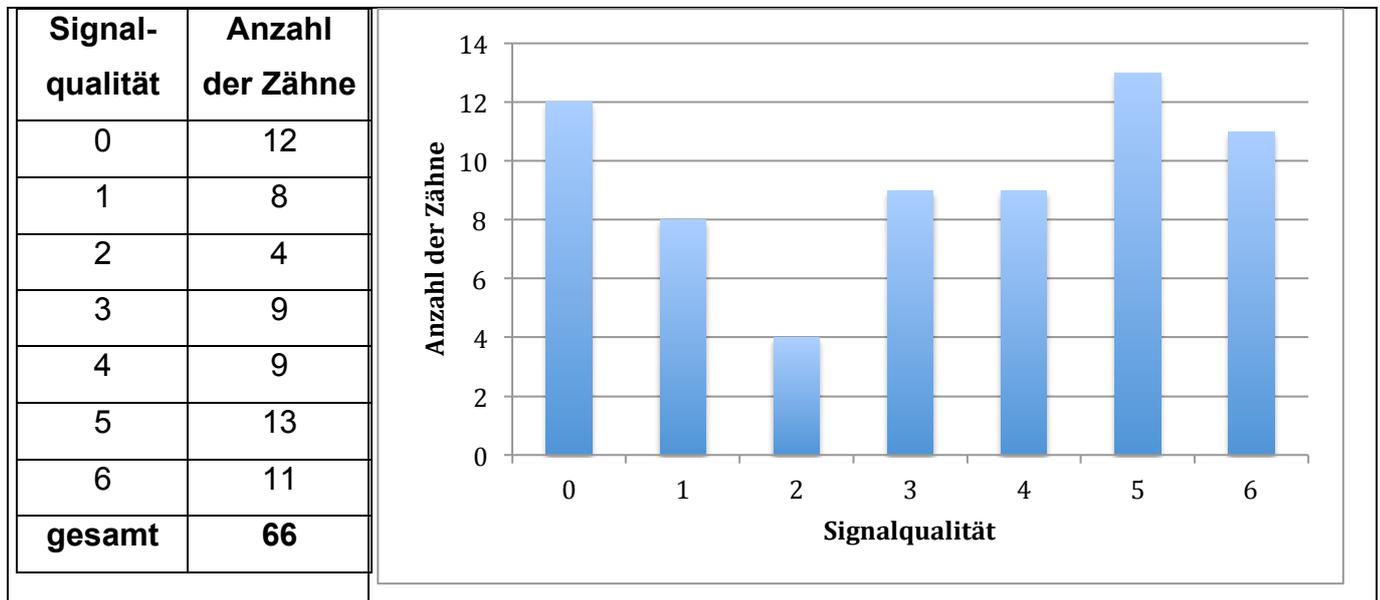


Abb. 19: Häufigkeitsverteilung der kariösen Läsionen bei der Spektroskopie

Es stellte sich heraus, dass bei 18 % der Fälle die LED des Midwest Caries I.D. grün leuchtete und somit von einer kariesfreien Situation ausgegangen wurde (Code 0). Bei 12 % der Zähne leuchtete die LED initial rot, bei angulierter Achsenneigung grün, zusätzlich war akustisch eine langsame Tonfrequenz zu vernehmen (Code 1). 6 % der Zähne reagierten zusätzlich bei angulierter Achsenneigung mit einer roten LED (Code 2). Eine mittlere Tonfrequenz mit initial roter und grüner angulierten LED wiesen 14 % der Zähne auf (Code 3). Mit zusätzlich roter LED bei Angulation reagierten 14 % der Fälle (Code 4). Zuletzt konnte man bei 20 % der Zähne eine schnelle Tonfrequenz mit initial roter LED und angulierter grüner LED erkennen (Code 5). 17 % der Fälle wiesen zusätzlich bei Angulation eine rote LED auf (Code 6).

4.2 Sensitivität und Spezifität

Es wurden Kreuztabellen erstellt, um die Verteilung der tatsächlichen Ausdehnung der exkavierten Situation gegen die visuelle Inspektion nach ICDAS II, gegen den röntgenologischen Befund und gegen die Signalqualität der Spektroskopie darzustellen.

4.2.1 Visuelle Inspektion gegen exkavierte Situation

In Tab.11 sind die Ergebnisse der Befunde der visuellen Inspektion nach ICDAS II Kriterien der tatsächlichen Kariesausdehnung nach Exkavation gegenübergestellt.

		Ausdehnung der Kavität nach Exkavation				Gesamt
		keine	D1+D2	D3	D4	
visuelle Inspektion nach ICDAS II	0	10	-	-	1	11
	1	7	-	1	4	12
	2	-	4	6	3	13
	3	1	-	-	6	7
	4	1	1	9	9	20
	5	-	-	-	2	2
	6	-	-	-	1	1
Gesamt		19	5	16	26	66

Tab. 11: Kreuztabelle zur Gegenüberstellung von visueller Inspektion gegen exkavierte Situation (Farbkodierung zur Bezugnahme im Text)

Die in Tab. 11 aufgeführte Kariesstufenverteilung zeigt, dass an 90,1 % der Zähne (10 von 11), die nach der klinischen Inspektion nach ICDAS II als gesund eingestuft wurden (Code 0), tatsächlich keine Therapie durchgeführt werden musste (graues Feld). 44 % (11 von 25) der Zähne, die bei der visuellen Inspektion Schmelzveränderungen ohne Diskontinuität der Schmelzoberfläche (ICDAS II Code 1 + 2) aufzeigten, wurden nicht therapiert bzw. wiesen

nach Therapie eine auf den Schmelzbereich begrenzte exkavierte Situation auf (D1+ D2) (orangenes Feld). Nach ICDAS II Klassifikation in Kategorie 3 und 4 eingeteilte Läsionen wiesen nach Exkavation 33 % (9 von 27) einen Defekt auf, der sich auf das äußere Dentin (D3) beschränkte (grünes Feld). Von den sichtbaren Dentinläsionen (ICDAS II Code 5 + 6) zeigten 100 % (3 von 3) eine Ausdehnung bis ins innere Dentin (D4) (blaues Feld). 90 % (27 von 30) der Zähne, die visuell eine Diskontinuität der Schmelzoberfläche, eine Schattenbildung im Dentin oder eine sichtbare Dentinläsion aufwiesen (ICDAS II Code 3 - 6), zeigten auch nach Exkavation eine bis ins Dentin reichende exkavierte Situation (blaues + grünes + rotes Feld).

In dieser Studie betragen die Werte für die Sensitivität der visuellen Inspektion nach ICDAS II Kriterien für die Detektion von schmelzbegrenzten Läsionen 44 %, für die Detektion von Läsionen im äußeren Dentin 33 % und für die Detektion von Läsionen im inneren Dentin 100 %. Die Sensitivität der Entdeckung einer Dentinkaries (D3 +D4) insgesamt beträgt 90 %. Definiert man lediglich den ICDAS II Code 0 als gesund wurde für die Spezifität ein Wert von 90,1 % ermittelt. Definiert man jedoch die reine Nichttherapiebedürftigkeit (ICDAS II Code 0 – 2) als gesund, beträgt die Spezifität 47,2 % (17 aus 36).

4.2.2 Röntgenologische Diagnostik gegen exkavierte Situation

In Tab. 12 sind die Ergebnisse der röntgenologischen Diagnostik der tatsächlichen Kariesausdehnung nach Exkavation gegenübergestellt.

		Ausdehnung der Kavität nach Exkavation				Gesamt
		keine	D1+D2	D3	D4	
Röntgenbefund	C0	15	1	-	-	16
	C1	4	-	-	-	4
	C2	-	4	3	-	7
	C3	-	-	13	13	26
	C4	-	-	-	13	13
Gesamt		19	5	16	26	66

Tab. 12: Kreuztabelle zur Gegenüberstellung von röntgenologischer Diagnostik gegen exkavierte Situation (Farbkodierung zur Bezugnahme im Text)

Die in Tab. 12 aufgeführte Kariesverteilung zeigt, dass an 93,8 % der Zähne (15 von 16), die nach röntgenologischer Befundung als gesund eingestuft wurden (C0), tatsächlich keine Therapie durchgeführt werden musste (graues Feld). 72,7 % (8 aus 11) der kariösen Läsionen, die röntgenologisch dem äußeren und inneren Schmelzbereich (C1 + C2) zugeordnet wurden, erhielten keine Therapie oder zeigten nach Therapie eine tatsächlich schmelzbegrenzte exkavierte Situation (keine + D1 + D2) auf (orangenes Feld). Von den radiologisch als bis ins äußere Dentin diagnostizierten Zähnen (C3) wiesen 50 % (13 von 26) tatsächlich eine nach Exkavation rein aufs äußere Dentin begrenzte Läsion auf. Die röntgenologisch auf das innere Dentin begrenzten Läsionen zeigten zu 100 % (13 von 13) nach Exkavation Läsionen im inneren Dentin. 100 % (39 von 39) der röntgenologisch als bis generell ins Dentin diagnostizierten kariösen Läsionen (C3 + C4) stellten sich nach Exkavation auch als Dentinkaries (D3 + D4) heraus (blaues + rotes + grünes Feld).

In dieser Studie betragen die Werte für die Sensitivität der röntgenologischen Diagnostik für die Detektion von schmelzbegrenzten Läsionen 72,7 %, für die Detektion von Läsionen

im äußeren Dentin (D3) 50 % und für die Detektion von Läsionen im inneren Dentin (D4) 100 %. Die Sensitivität der Entdeckung einer Dentinkaries (D3 +D4) insgesamt beträgt 100 %. Definiert man lediglich die röntgenologische Befundung C0 als gesund, wurde für die Spezifität ein Wert von 93,8 % ermittelt. Definiert man jedoch die reine Nichttherapiebedürftigkeit (C0 – C2) als gesund, beträgt die Spezifität 88,8 % (24 aus 27).

4.2.3 Signalqualität der Spektroskopie gegen exkavierte Situation

In Tab. 13 sind die Ergebnisse der Signalqualität der Spektroskopie der tatsächlichen Kariesausdehnung nach Exkavation gegenübergestellt.

		Ausdehnung der Kavität nach Exkavation				Gesamt
		keine	D1+D2	D3	D4	
Signalqualität	0	12	-	-	-	12
	1	3	2	2	1	8
	2	-	1	2	1	4
	3	3	2	3	1	9
	4	-	-	2	7	9
	5	1	-	2	10	13
	6	-	-	5	6	11
Gesamt		19	5	16	26	66

Tab. 13: Kreuztabelle zur Gegenüberstellung von Signalqualität der Spektroskopie gegen exkavierte Situation (Farbkodierung zur Bezugnahme im Text)

Die in Tab. 13 aufgeführte Kariesverteilung zeigt, dass an 100 % der Zähne (12 von 12), die nach Spektroskopie als gesund eingestuft wurden (Code 1), tatsächlich keine Therapie durchgeführt werden musste (graues Feld). 50 % (6 von 12) der durch die Spektroskopie als leichte Demineralisation (lokal + extendierend) eingestuften Läsionen (Code 1 + 2) stellten sich nach Exkavation tatsächlich als rein schmelzbegrenzt (D1 + D2) heraus oder er-

hielten keine Therapie (orangenes Feld). Von der Spektroskopie als bis ins äußere Dentin demineralisierten Zähne (Code 3 + 4) wiesen 27 % (5 von 18) tatsächlich nach Exkavation eine rein aufs äußere Dentin begrenzte Läsion auf. Die durch Spektroskopie auf das innere Dentin begrenzten Läsionen zeigten zu 66,6 % (16 von 24) nach Exkavation Läsionen im inneren Dentin. 85,7 % (36 von 42) der durch die Spektroskopie als mittlere bis schwere Demineralisation (lokal + extendierend; Code 3 – 6) stellten sich in der exkavierten Situation tatsächlich als Dentinkaries heraus (blaues Feld).

In dieser Studie betragen die Werte für die Sensitivität der Spektroskopie für die Detektion von schmelzbegrenzten Läsionen 50 % (D1 + D2), für die Detektion von Läsionen im äußeren Dentin (D3) 27 % und für die Detektion von Läsionen im inneren Dentin (D4) 66,6 %. Die Sensitivität für die Entdeckung einer Dentinkaries (D3 +D4) insgesamt beträgt 85,7 %. Definiert man lediglich die spektroskopische Einteilung mit Code 0 als gesund, wurde für die Spezifität ein Wert von 100 % ermittelt. Definiert man jedoch die reine Nichttherapiebedürftigkeit (Code 0 - 2) als gesund, beträgt die Spezifität 75 % (18 aus 24).

4.2.4 Zusammenfassung der Sensitivitäts- und Spezifitätswerte

Tab. 14 fasst alle in dieser Studie ermittelten Werte zur Sensitivität und Spezifität der untersuchten Verfahren zusammen.

Verfahren	Sensitivität				Spezifität	
	D1 + D2	D3	D4	D3 + D4	D0	D0 + D1+ D2

visuelle Inspektion	44 %	33 %	100 %	90 %	90,1 %	47,2 %
röntgenologische Diagnostik	72,7 %	50 %	100 %	100 %	93,8 %	88,8 %
Spektroskopie	50 %	27 %	66,6 %	85,7 %	100 %	75 %

Tab. 14: Sensitivitäts- und Spezifitätswerte der verschiedenen Verfahren

4.3 Chi-Quadrat-Test nach Pearson

Der Chi-Quadrat-Test für die visuelle Inspektion nach ICDAS II, für die röntgenologische Diagnostik und für die Signalqualität der Spektroskopie ist als signifikant zu betrachten, da alle Verfahren gegenüber der tatsächlich exkavierten Situation einen Wert von $p < 0,05$ aufweisen (Tab. 15 + Tab. 16 + Tab. 17).

	Wert	df	Asymptotische Signifikanz (2-seitig)
Chi-Quadrat nach Pearson	62,136 ^a	18	p < 0,05
Likelihood-Quotient	64,924	18	0,000
Zusammenhang linear-mit-linear	25,776	1	0,000
Anzahl der gültigen Fälle	66		

Tab. 15: Chi-Quadrat-Test für visuelle Inspektion und Ausdehnung der Kavität nach Exkavation

	Wert	df	Asymptotische Signifikanz (2-seitig)
Chi-Quadrat nach Pearson	109,356 ^a	12	p < 0,05
Likelihood-Quotient	113,822	12	0,000
Zusammenhang linear-mit-linear	57,736	1	0,000
Anzahl der gültigen Fälle	66		

Tab. 16: Chi-Quadrat-Test für röntgenologische Diagnostik und Ausdehnung der Kavität nach Exkavation

	Wert	df	Asymptotische Signifikanz (2-seitig)
Chi-Quadrat nach Pearson	64,779 ^a	18	p < 0,05
Likelihood-Quotient	71,304	18	0,000
Zusammenhang linear-mit-linear	35,568	1	0,000
Anzahl der gültigen Fälle	66		

Tab. 17: Chi-Quadrat-Test für Signalqualität der Spektroskopie und Ausdehnung der Kavität nach Exkavation

4.4 Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman

Um die Korrelation zwischen den Parametern der visuellen Inspektion, der röntgenologischen Befundung und der Spektroskopie gegenüber der tatsächlich exkavierten Situation zu analysieren, wurde der Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman (r_s) berechnet. Die für die einzelnen Verfahren ermittelten Werte sind in Tab. 18 aufgeführt.

	Spearman's Korrelationskoeffizient (r_s)
ICDAS II gegen exkavierte Situation	0,563
Röntgen gegen exkavierte Situation	0,901
Spektroskopie gegen exkavierte Situation	0,698

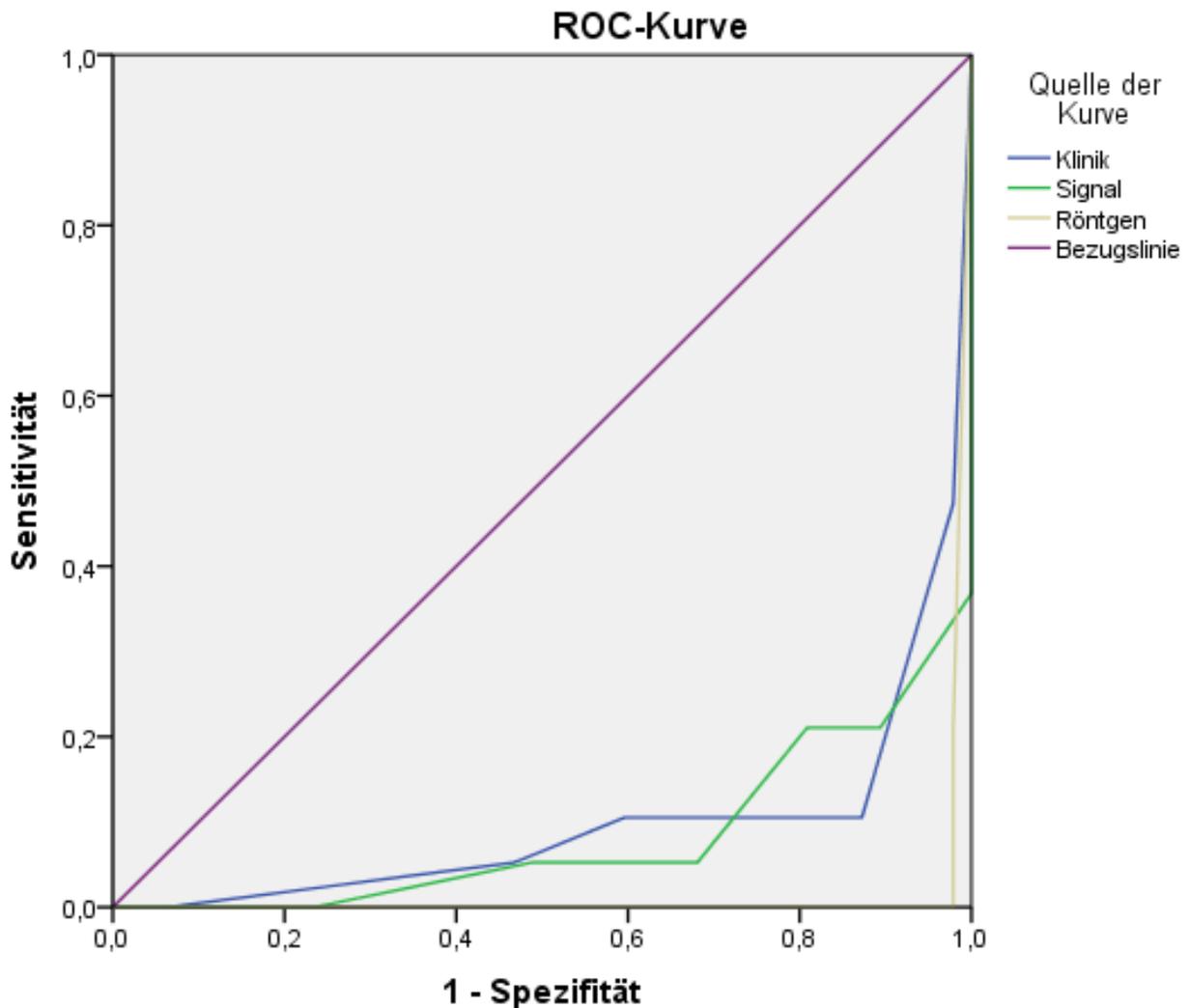
Tab. 18: Rangkorrelationskoeffizienten nach Spearman der einzelnen Verfahren

Die Korrelation nach Ricketts et al. (1998) zwischen der visuellen Inspektion nach ICDAS II Kriterien und der tatsächlich exkavierten Situation ergab mit $r_s = 0,563$ eine moderate Korrelation. Ebenfalls ergab die Korrelation nach Ricketts et al. (1998) zwischen der Signalqualität der Spektroskopie und der tatsächlich exkavierten Situation mit $r_s = 0,698$ eine moderate Korrelation. Für die röntgenologische Befundung und die tatsächlich exkavierte Situation ergab sich mit einem Wert von $r_s = 0,901$ eine hohe Korrelation nach Ricketts et al. (1998).

4.5 ROC-Kurven

Wie in Kapitel 3.3.6.4 beschrieben, wurden die Spezifität und die Sensitivität für die verschiedenen kariesdiagnostischen Verfahren berechnet und tabellarisch für die einzelnen Codierungen dokumentiert (Tab. 14). Auf Grundlage der ermittelten Werte wurden Receiver Operating Characteristic-Curves (ROC-Kurven) erstellt. Diese sind in Abb. 20 für die verschiedenen Verfahren bzgl. einer nicht therapiebedürftigen, in Abb. 21 bzgl. einer rein schmelzbegrenzten, in Abb. 22 bzgl. einer bis ins äußere Dentin reichenden und in Abb. 23 bzgl. einer bis ins innere Dentin reichenden Läsion zu sehen. Die Tab. 19, Tab. 20, Tab. 21 und Tab. 22 zeigen die entsprechenden Flächen unter den ROC-Kurven (Area under the curve, AUC) für die verschiedenen Verfahren.

4.5.1 ROC-Kurven der verschiedenen Verfahren bei nicht therapierten Läsionen



Diagonale Segmente ergeben sich aus Bindungen.

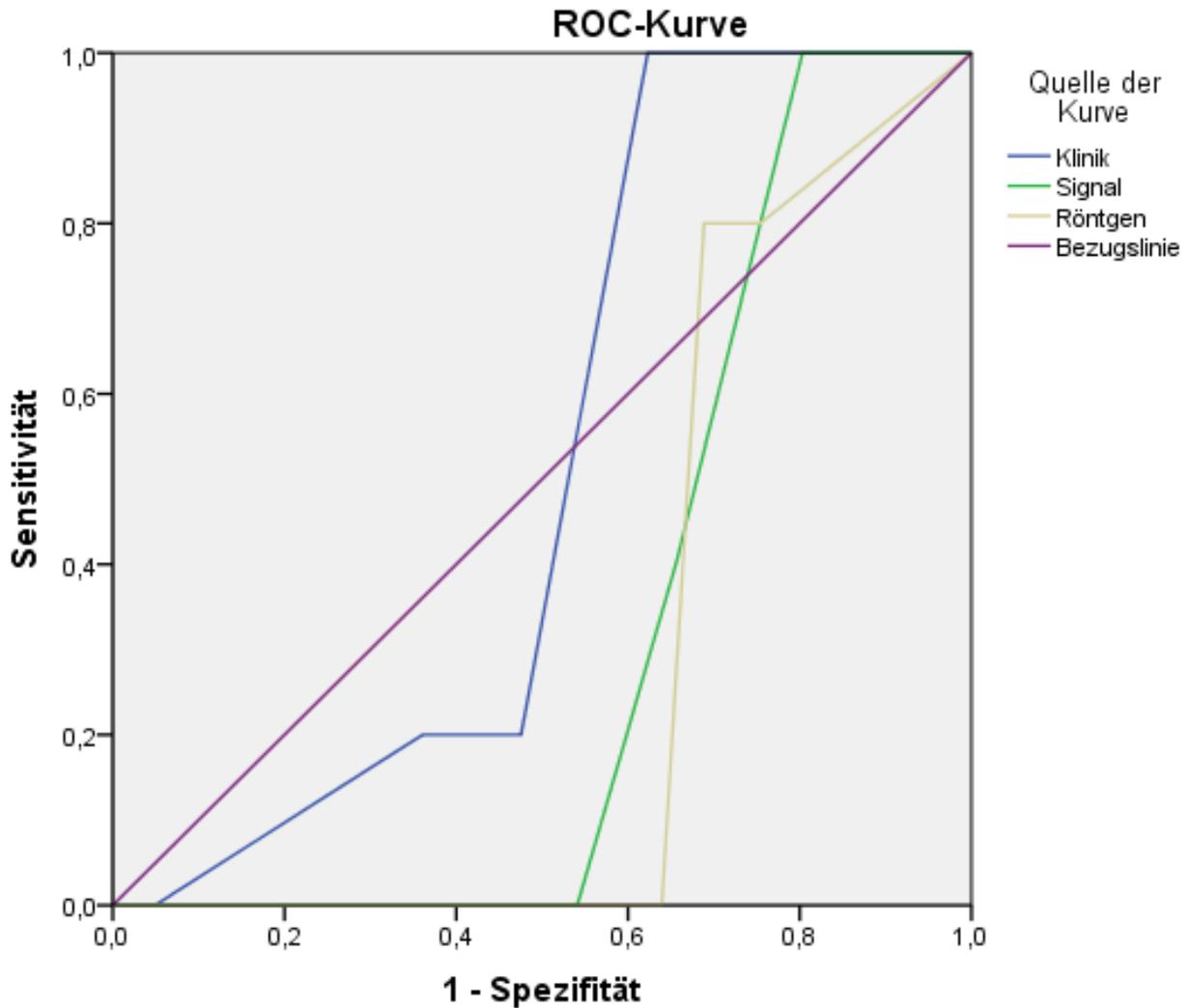
Abb. 20: ROC-Kurve 1: Nicht therapierte Läsionen aufgetragen gegen die klinische Situation (ICDAS II), den Röntgenbefund und die Signalqualität der Spektroskopie.

Verfahren	(AUC) für keine Therapie
visuelle Inspektion nach ICDAS II	0,096
röntgenologische Befundung	0,013
Spektroskopie	0,082

Tab. 19: AUC-Werte für nicht therapierte Läsionen

Die AUC-Werte (Tab. 19) der verschiedenen Verfahren gegenüber einer nichttherapiebedürftigen Läsion liegen mit Werten für die visuelle Inspektion von $AUC = 0,096$, für die röntgenologische Befundung von $AUC = 0,013$ und der Spektroskopie von $AUC = 0,082$ deutlich unterhalb des mindestens erforderlichen AUC-Wertes von 0,5. Auch die ROC-Kurven (Abb. 20) der verschiedenen Verfahren verlaufen deutlich unterhalb der 45° Diagonalen.

4.5.2 ROC-Kurven der verschiedenen Verfahren bei schmelzbegrenzten Läsionen



Diagonale Segmente ergeben sich aus Bindungen.

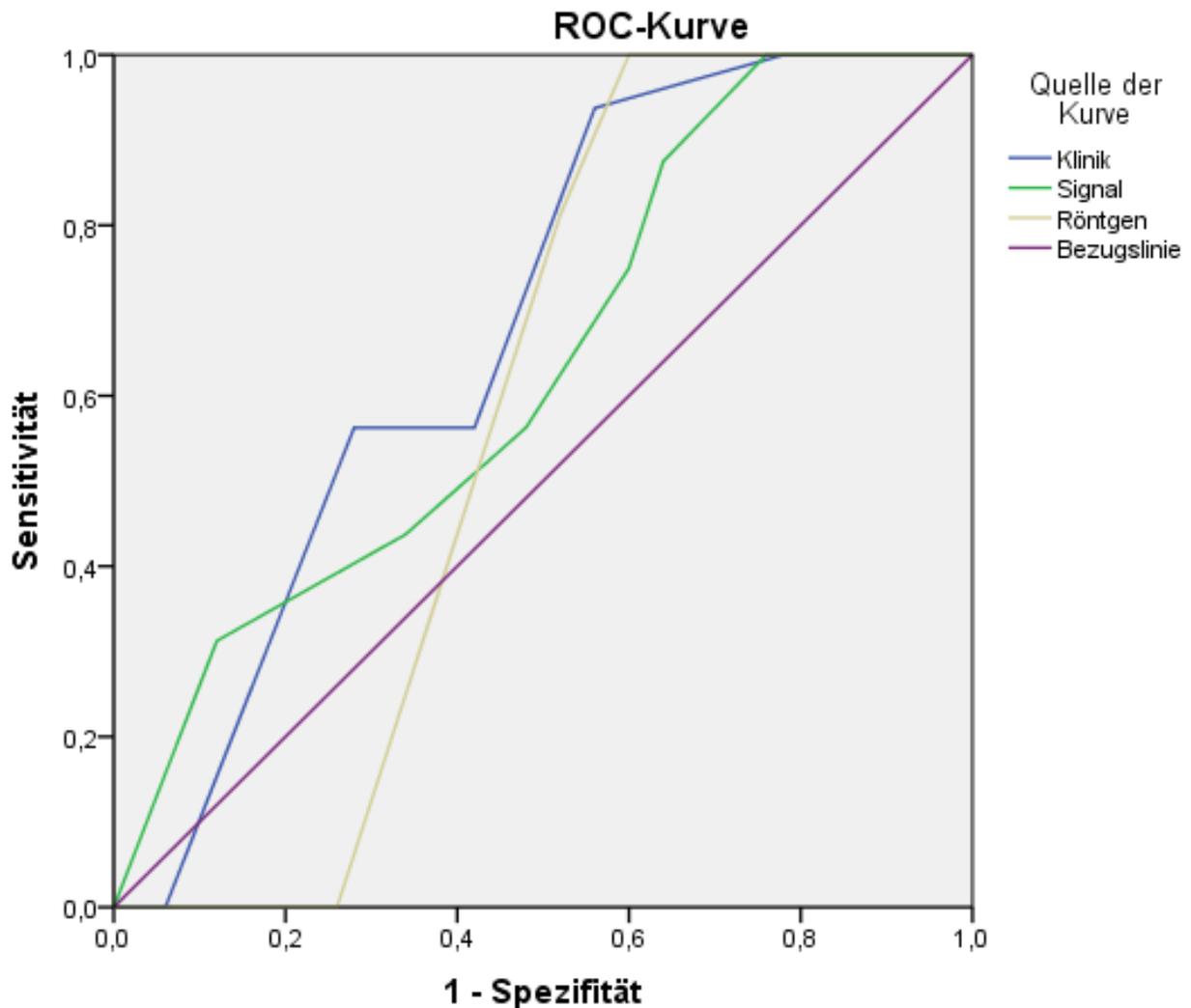
Abb. 21: ROC-Kurve 2: Schmelzbegrenzte kariöse Läsion aufgetragen gegen die klinische Situation (ICDAS II), den Röntgenbefund und die Signalqualität der Spektroskopie

Verfahren	(AUC) für schmelzbegrenzte Läsion
visuelle Inspektion nach ICDAS II	0,520
röntgenologische Befundung	0,293
Spektroskopie	0,323

Tab. 20: AUC Werte für schmelzbegrenzte Läsionen

Die AUC-Werte (Tab. 20) der verschiedenen Verfahren gegenüber einer schmelzbegrenzten Läsion liegen mit $AUC = 0,293$ für die röntgenologische Befundung und $AUC = 0,323$ für die Spektroskopie ebenfalls deutlich unterhalb des mindestens erforderlichen AUC-Wertes von 0,5. Nur die visuelle Inspektion zeigte einen AUC-Wert von 0,52. Die ROC-Kurven (Abb. 21) der röntgenologischen Befundung und der Spektroskopie verlaufen deutlich unterhalb der 45° Diagonalen. Die ROC-Kurve der visuellen Inspektion verläuft zunächst unterhalb der 45° Diagonalen, steigt gegen Ende jedoch deutlich an und verläuft danach oberhalb der 45° Diagonalen.

4.5.3 ROC-Kurven der verschiedenen Verfahren bei Läsionen im äußeren Dentin



Diagonale Segmente ergeben sich aus Bindungen.

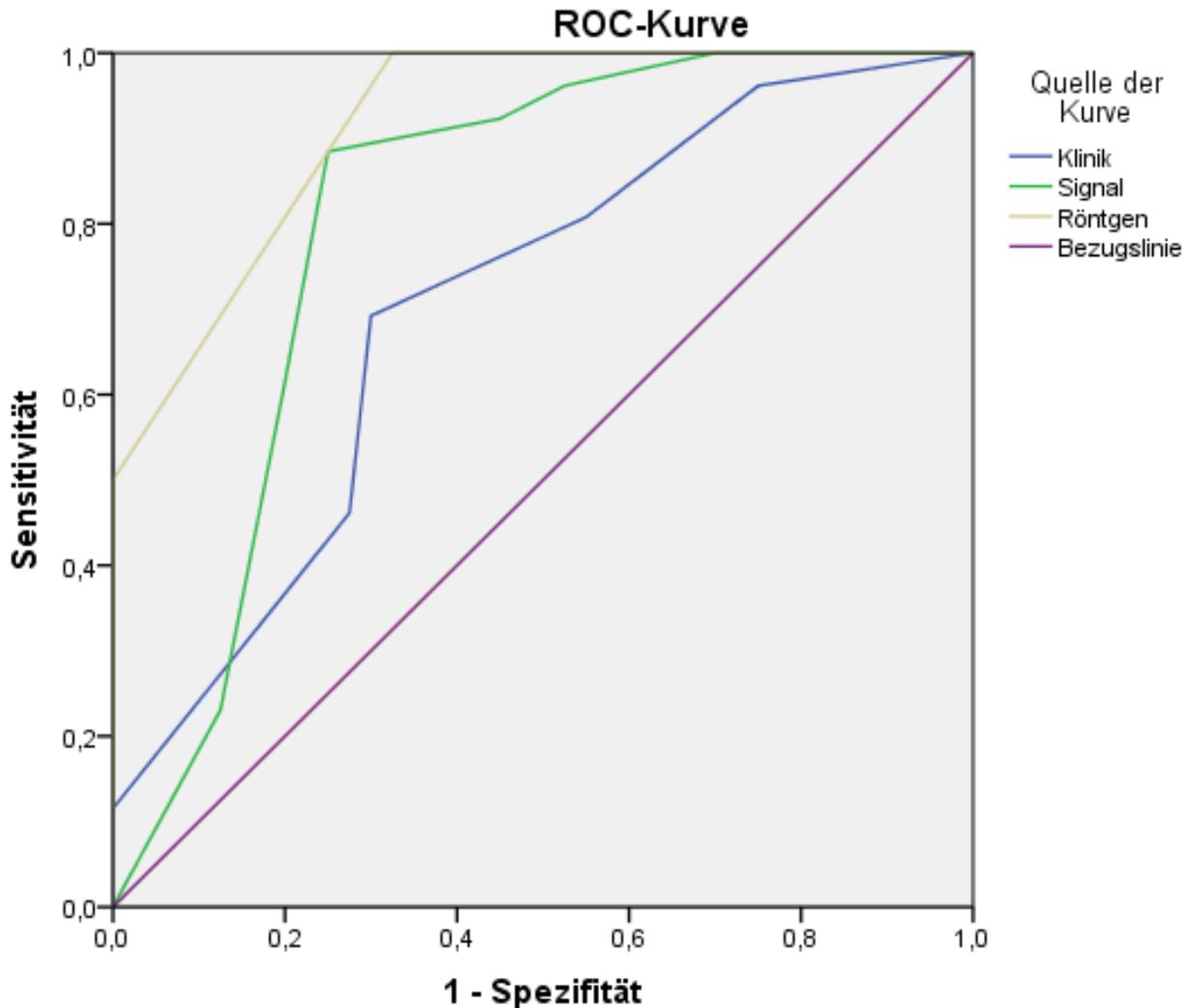
Abb. 22: ROC-Kurve 3: Kariöse Läsion im äußeren Dentin aufgetragen gegen die klinische Situation (ICDAS II), den Röntgenbefund und die Signalqualität der Spektroskopie

Verfahren	(AUC) für Läsion im äußeren Dentin
visuelle Inspektion nach ICDAS II	0,679
röntgenologische Befundung	0,578
Spektroskopie	0,635

Tab. 21: AUC Werte für Läsionen im äußeren Dentin

Die AUC-Werte (Tab. 21) der verschiedenen Verfahren gegenüber einer Läsion bis ins äußere Dentin liegen mit $AUC = 0,679$ für die visuelle Inspektion und $AUC = 0,635$ für die Spektroskopie im Bereich einer schwachen Aussagekraft des Testes. Die röntgenologische Befundung zeigte einen AUC-Wert von $0,578$. Die ROC-Kurven (Abb. 22) der visuellen Inspektion und der Spektroskopie verlaufen oberhalb der 45° Diagonalen. Die ROC-Kurve der röntgenologischen Befundung verläuft zunächst unterhalb der 45° Diagonalen, steigt gegen Ende jedoch deutlich an und verläuft danach oberhalb der 45° Diagonalen.

4.5.4 ROC-Kurven der verschiedenen Verfahren bei Läsionen im inneren Dentin



Diagonale Segmente ergeben sich aus Bindungen.

Abb. 23: ROC-Kurve 4: Kariöse Läsion im inneren Dentin aufgetragen gegen die klinische Situation (ICDAS II), den Röntgenbefund und die Signalqualität der Spektroskopie

Verfahren	(AUC) für Läsion im inneren Dentin
visuelle Inspektion nach ICDAS II	0,703
röntgenologische Befundung	0,919
Spektroskopie	0,807

Tab. 22: AUC Werte für Läsionen im inneren Dentin

Die AUC-Werte (Tab. 22) der verschiedenen Verfahren gegenüber einer Läsion bis ins innere Dentin liegen mit $AUC = 0,703$ für die visuelle Inspektion im Bereich einer mittleren Aussagekraft des Testes, für die röntgenologische Befundung mit $AUC = 0.919$ im Bereich einer exzellenten Aussagekraft des Testes und mit $AUC = 0,807$ für die Spektroskopie im Bereich einer guten Aussagekraft des Testes. Die ROC-Kurven (Abb. 23) der visuellen Inspektion, der röntgenologischen Befundung und der Spektroskopie verlaufen bauchig und deutlich oberhalb der 45° Diagonalen.

5. Diskussion

5.1 Diskussion der Problemstellung

Viele klinische Untersuchungen zeigen, dass der visuellen Inspektion enger Approximalbereiche deutliche Grenzen gesetzt sind (Bader et al., 2004; Bin-Shuwaish et al., 2008; Heinrich et al., 1991; Ketterl, 1992; Kühnisch et al., 2007; Novaes et al., 2009; Young, 2002). Dennoch wird diese Methode trotz ihrer bekannten Defizite in der alltäglichen zahnärztlichen Praxis als Mittel der Wahl genutzt; sei es aus Mangel an Zeit oder Alternativen. Im Jahre 2004 formulierte Kidd die Ansprüche an eine zuverlässige Diagnostikmethode wie folgt:

Um invasive Therapiemaßnahmen durch strukturierte Fluoridierungsmaßnahmen ersetzen zu können, ist eine objektive, frühzeitige und präzise Diagnostik essenziell. Zusätzlich soll die Diagnostikmethode leicht erlernbar sein, möglichst wenig Zeit beanspruchen und durch gute Validitätsparameter überzeugen (Kidd, 2004).

Obwohl zahlreiche Hilfsmittel zu Detektion approximaler und okklusaler Kariesläsionen entwickelt wurden, gilt die röntgenologische Kariesdiagnostik über Bissflügelaufnahmen aufgrund ihrer zuverlässigen Ergebnisse bis heute als klinischer Goldstandard (Heinrich et al., 1991; Ricketts et al., 1995; Steiner et al., 2011; Theilade et al., 1986). Deshalb dienen sie in der alltäglichen Zahnmedizin auch heute noch als unterstützende Diagnostik zu der visuellen Inspektion.

Seit mehreren Jahren verspricht nun die LED-basierte Spektroskopie eine zusätzliche Absicherung der visuellen Inspektion, eine Einschätzung des Demineralisierungsgrades, sowie eine Abschätzung der Kariesausdehnung. Entsprechend könnte zukünftig auf eine Befundabsicherung über intraorale Röntgenaufnahmen verzichtet werden. Bisher liegen jedoch kaum Studien über die Anwendung der LED-basierten Spektroskopie vor. Da die Spektroskopie nicht nur die Möglichkeit der reinen Karieserkennung bietet, sondern möglicherweise auch eine Aussage über die Ausdehnung der Läsion zulässt, gilt die LED-basierte Spektroskopie als ernstzunehmender Konkurrent für die bereits verbreitete Kariesdetektion über DIAGNOdent. Denn nur wenige Methoden geben zuverlässig Aufschluss

über die Ausdehnung der kariösen Läsionen (Bin-Shuwaish et al., 2008; Eli et al., 1996; Schneidermann et al., 1997; Weiss et al., 1996).

Für die Spektroskopie mittels Midwest Caries I.D. wurden bisher keine Studien zur Abschätzung des Läsionsfortschritts in vivo durchgeführt. Entsprechend stellt sich die Frage, ob anhand der gewonnenen Midwest Caries I.D. Messungen und der tatsächlich exkavierten Situation behandlungsbedürftiger Zähne eine statistisch signifikante Korrelation erkennbar ist.

5.2 Diskussion von Material und Methoden

5.2.1 Auswahl der Zähne

Die vorliegende Studie wurde an 66 Zähnen durchgeführt. Das Studiendesign schrieb vor, dass eine Auswahl von Patienten im Vorfeld nicht erfolgen darf. Lediglich Patienten bei denen eine Behandlungsbedürftigkeit aufgrund klassischer Diagnoseverfahren (wie der visuellen Inspektion und der Röntgendiagnostik) festgestellt wurde, kamen für die vollständige Teilnahme an der Studie in Frage. Erfüllten die Patienten zusätzlich die in Kapitel 3.2 notwendigen Kriterien und gaben sie ihr Einverständnis, erfolgte nach Zahnreinigung eine therapieunabhängige Messung mit dem Midwest Caries I.D.. Vollständigkeitshalber wurden auch Werte für das Midwest Caries I.D. an Patienten erhoben, bei denen keine Therapiemaßnahmen stattfinden sollten. Die Ergebnisse dieser Patientengruppe konnten jedoch nicht durch exkavierte Situationen analysiert werden. Sie sollten lediglich Aufschluss geben, ob das Midwest Caries I.D. gesunde Zähne als gesund erkennt (D0 - bzw. D0 + D1 + D2 Niveau).

5.2.2 Visuelle Inspektion

Die Okklusalfäche des Zahnes ist aufgrund ihrer speziellen Morphologie mit Fissuren und Grübchen die am häufigsten von Karies befallene Region eines Zahnes (Rodrigues et al.,

2008; Sheehy et al., 2001). Im Praxisalltag ist die visuelle Inspektion nach wie vor die gängigste, kostengünstigste und schnellste Methode zur Detektion kariöser Läsionen. Dennoch ist ein System zur Katalogisierung der Befunde nötig (Jablonski-Momeni et al., 2009). Zum einen sollte diese einheitliche Katalogisierung eine zuverlässige Abschätzung des Bedarfs von invasiven Therapiemaßnahmen ermöglichen, zum anderen sollte eine überprüfbare Reproduzierbarkeit der Ergebnisse und eine Vergleichbarkeit mit anderen Studien möglich sein. Die Einteilung nach der WHO (1997) ist die zurzeit am häufigsten genutzte Klassifikation. Eine Studie von Braga et al. (2009) zeigt jedoch, dass 86 % der nach WHO Kriterien eingeteilten kariesfreien Kinder nichtkavitierte kariöse Läsionen nach ICDAS II Klassifikation aufweisen (Braga et al., 2009). Demnach führt eine nach WHO falsch-negative Diagnostik einer nichtkavitierten Karies lediglich zu verstärkten Prophylaxemaßnahmen anstatt zur notwendigen invasiven Therapie.

Um den Vergleich mit anderen Untersuchungen zu ermöglichen, erfolgte in der vorliegenden Studie unter anderem eine Validierung der ICDAS II Klassifikation. Da es sich um eine visuelle Diagnostik handelt, stellt sich die Frage, ob die Erfahrung des Behandlers die Einteilung in die ICDAS II Klassifikation beeinflusst und ob eine ausreichende individuelle und/oder behandlerübergreifende Reproduzierbarkeit des Verfahrens gegeben ist. In einer Studie von Jablonski-Moment et al. (2008) wurden gewichtete Kappa-Werte für die Reproduzierbarkeit der Diagnose untereinander sowie die individuelle Behandler Konstanz von 0,61 – 0,86 ermittelt (Jablonski-Momeni et al., 2008). Bezüglich der Erfahrung des Behandlers stellte Zandona et al. (2009) fest, dass keine signifikanten Unterschiede in der Beurteilung nach ICDAS II von erfahrenen und unerfahrenen Behandlern bestehen (Zandona et al., 2009). Eine Schulung der visuellen Kriterien nach ICDAS II Klassifikation wird dennoch empfohlen. Laut einer Studie von Diniz et al. (2010) bezüglich der Sensitivität und Spezifität der ICDAS II Ergebnisse vor und nach Anwendung eines e-learning Programms, verbesserten sich die Ergebnisse der Probanden signifikant. Zur Kontrolle diente das histologische Korrelat. Während die Sensitivität auf hohem Niveau von 92 % auf 87 % geringfügig sank, stieg die Spezifität von 36 % auf 77 %. Die Korrelation zwischen ICDAS II Klassifikation und der Histologie stieg von 0,57 auf 0,67 (Diniz et al., 2010).

In der vorliegenden Studie erfolgte lediglich eine klassische Schulung der ICDAS II Klassifikation per Literatur. Da die Validierung der ICDAS II Klassifikation nicht Kernpunkt der Studie war, wurde auf das zusätzliche e-learning Programm verzichtet.

5.2.3 Röntgenologische Diagnostik

Die unterstützende Kariesdiagnostik mit Bissflügelaufnahmen steigert die Spezifität und die Sensitivität der Kariesdiagnostik gegenüber der rein visuellen Inspektion signifikant. Eine Studie von Lussi (1993) zeigte, dass unter Heranziehung von Bissflügelaufnahmen die Sensitivität von 12 % auf 49 % verbessert wird (Lussi, 1993). Dennoch sollte aufgrund der schädlichen Strahlenexposition und im Sinne der Röntgenhygiene die Anfertigung von Röntgenbildern zum Ausschluss von Karies unter strenger Abwägung der Indikation erfolgen.

Zur maßstabsgetreuen Darstellung der Zähne erfolgte das Röntgen in der vorliegenden Studie in Rechtwinkeltechnik. Entwickelt wurden die Zahnfilme analog. Aufgrund der Ausstattung der Praxis konnten die Vorteile der moderneren digitalen Röntgentechnik, wie die vorteilhaftere Archivierung oder die Bearbeitung der Bilder mittels spezieller Software, nicht genutzt werden.

Studien zeigen, dass die Erkennung reiner Schmelzläsionen ohne Beteiligung des Dentins röntgenologisch schwer zu diagnostizieren sind. Initiale Läsionen bleiben im Röntgenbild oft unsichtbar. King et al. (1979) zeigten, dass Bissflügelaufnahmen okklusale Karies nur in etwa 33,2 % der Fälle erkennen lassen (King et al., 1979). Zusätzlich stellt sich die Frage, wie die Wertigkeit von Bissflügelaufnahmen bezüglich schmelzbegrenzter Läsionen einzuschätzen ist. Selbst in jüngeren Studien wurde nachgewiesen, dass nach visueller Inspektion nur etwa 33,1 % - 42,6 % der klinisch sichtbaren okklusalen Schmelzkaries auch röntgenologisch nachgewiesen werden konnten. Deutliche Vorteile zeigt die röntgenologische Untersuchung jedoch bei visuell als gesund eingestuftten okklusalen Flächen und versteckt vorliegender Dentinkaries. Hier wurden 83 % der versteckten Karies im Röntgenbild diagnostiziert (Hopercraft et al., 2005; Ricketts et al., 1997; Zadik et al., 2008). Die unterstüt-

zende Kariesdiagnostik mit Röntgenaufnahmen ist daher als sinnvoll einzustufen. Dennoch sollten mögliche Fehlerquellen nicht außer Acht gelassen werden. Überlappungen und Verzerrungen der Zähne auf den Röntgenbildern können eine falsche Ausdehnung und Größe der Läsion vortäuschen. Horizontale Abweichungen bei der Rechtwinkelaufnahmetechnik können schmelzbegrenzte Läsionen in das Dentin projizieren. Die röntgenologische Diagnostik sollte nie isoliert zur Therapiefindung herangezogen werden (Mileman et al., 1992).

5.2.4 Spektroskopie

Die vorliegende Studie hatte den Anspruch, unter möglichst realitäts- und praxisnahen Messbedingungen durchgeführt zu werden. Das Midwest Caries I.D. wurde ausschließlich nach den Vorgaben der Herstellergebrauchsanweisung bedient. Als erstes erfolgte eine Kalibrierung des Gerätes über den mitgelieferten Keramikblock. Danach startete die Erfassung der Zahnoberflächen durch Abfahren der Okklusalfäche unter Zahnkontakt nach mesial und distal. Da das Gerät keine trockenen Zahnoberflächen voraussetzt, war eine Trockenlegung vor Untersuchung nicht nötig. Ob eine getrocknete Zahnoberfläche andere Messergebnisse liefert, müsste durch weitere Studien geklärt werden. Kleinste Verunreinigungen und Fissurenversiegelungen führten zu einem Ausschlag des Midwest Caries I.D.. Um falsch-positive Ergebnisse zu vermeiden, sollte jedem Ausschlag des Gerätes eine erneute Kontrolle durch visuelle Inspektion des Gebietes folgen. Es wurde besonders darauf geachtet, dass bei der Erfassung der Zahnoberflächen die Sonde zunächst senkrecht zur Zahnachse gehalten wurde. Eine bereits initial angulierte Haltung der Messsonde hätte zu verfälschten Ergebnissen geführt. Der Farbumschlag der LED Lampe von grün zu rot bei vermeintlich kariösen Läsionen ist deutlich und ohne zusätzliche Hilfsmittel zu erkennen. Schwieriger ist die objektive Einteilung der verschiedenen Tonfrequenzen in langsam, mittel und schnell. Die Unterschiede in den Tonfrequenzen sind minimal und für das ungeübte Ohr kaum zu unterscheiden. Erst nach mehrmaliger Anwendung des Midwest Caries I.D. ist eine mehr oder weniger sichere Unterscheidung der Tonfrequenzen möglich. Bei längerer Nichtverwendung des Midwest Caries I.D. sollte der Behandler alle Tonfrequenzen erneut

testen, um die langsamen, mittleren und schnellen Tonfrequenzen sicher voneinander differenzieren zu können.

Um die Ausdehnung einer Karies einschätzen zu können, soll das Midwest Caries I.D. durch angulierte Haltung zur Zahnlängsachse eine räumliche Vermutung über die Lage der Karies zulassen. Als problematisch stellte sich die Erfassung eines definierten Grenzwertes für die Angulation auf. Die meisten detektierten Läsionen wiesen auch bei initialer Angulation eine rote LED Leuchte auf. Erst bei einer Abweichung von 1 - 2° zur Zahnlängsachse konnten Umschläge von roter LED zu grüner LED verzeichnet werden. In der vorliegenden Studie wurden diese 1 - 2° als Toleranzwert für eine nichtangulierte Haltung des Midwest Caries I.D. festgelegt. Herstellerangaben für einen entsprechenden Toleranzbereich liegen nicht vor.

Festzuhalten ist, dass die Anwendung des Midwest Caries I.D. ohne großen zusätzlichen Zeitaufwand durchgeführt werden konnte. Eine Assistenz ist während des gesamten Messvorganges nicht nötig, da das Midwest Caries I.D. in Füllfederhalterposition einhändig zu führen ist und somit die andere Hand des Behandlers zum Abhalten der umliegenden Weichgewebe genutzt werden kann.

5.2.5 Invasive Therapiemaßnahmen

Nach der Spektroskopie erfolgte bei den klinisch und röntgenologisch als zweifelsfrei behandlungsbedürftig eingestuften Zähnen die invasive Therapie. Nach Eröffnung der kariösen Läsion mit Diamanten wurde diese mit Hilfe von Rosenbohrern vollständig exkaviert. Zur Feststellung einer kariesfreien Situation diente als diagnostisches Hilfsmittel eine Sonde. Zusätzlich wurde in wenigen Fällen, bei denen die taktile Methode keine eindeutige Einschätzung der Kariesfreiheit zuließ, eine Detektorlösung (Caries detector, Kuraray, Tokio, Japan) gemäß Herstellerangaben in die Kavität eingebracht und die angefärbten Areale exkaviert. Dieser Vorgang wurde in diesen Fällen bis zum vollständigen Ausbleiben einer erneuten Färbung wiederholt. Eine für die Studie standardisierte Anwendung der Detektorlösung kam nicht in Frage, da die Patienten so praxisnah wie möglich behandelt werden

sollten. Eine Anwendung fand ausschließlich bei klinischer Notwendigkeit und nicht aus studientechnischen Gründen statt. Zudem warnen Studien vor unnötigem Überexkavieren, hervorgerufen durch die Nutzung von Relevatoren (Kidd, 1989).

Nach vollständiger Exkavation erfolgte die Beurteilung der Kavität bezüglich ihrer Ausdehnung. Die Ergebnisse wurden dokumentiert. Als schwierig gestaltete sich in diesem Fall die objektive Einteilung in die verschiedenen Ausdehnungsgrade im Dentin (D3 und D4). Eine definierte Grenze zwischen äußerem (D3) und innerem (D4) Dentin existiert nicht. Dem begutachtenden Zahnarzt ist es somit nicht möglich eine im Grenzbereich liegende Exkavationshöhle als eindeutig dem inneren (D4) oder dem äußerem (D3) Dentin zugehörig einzuteilen. Es ist darüber zu diskutieren, ob eine zusätzlich unterstützende Komponente eine eindeutigere Aussage bezüglich der Exkavationsausdehnung zugelassen hätte. Eine Möglichkeit wären Präzisionsabformungen der Kavität und die anschließende Herstellung von Gipsmodellen gewesen. Die objektive Vermessung der Defektmodelle hätte vermutlich eine präzisere Aussage hinsichtlich der Defektgröße geliefert als die rein visuelle Inspektion nach Exkavation (Huth et al., 2010).

5.3 Diskussion der Ergebnisse

5.3.1 Ergebnisse der visuellen Inspektion

Zwischen der visuellen Inspektion nach ICDAS II Klassifikation und der tatsächlich exkavierten Situation zeigte sich eine moderate Korrelation ($r_s = 0,563$). Die visuelle Inspektion zeigt gute Werte bezüglich der Sensitivität bei der Detektion von Läsionen im äußeren (D3 = Sensitivität: 33 %) und inneren Dentinbereich (D4 = Sensitivität: 100 %). Eine generelle Therapiebedürftigkeit (D3 + D4) konnte mit einer Sensitivität von 90 % entdeckt werden. Definiert man die ICDAS II Klassifikation Code 0 als gesund, zeigen sich sehr gute Werte für die Spezifität (90,1 %). Betrachtet man jedoch die reine Nichttherapiebedürftigkeit (D0 + D1 + D2) ergibt sich für die visuelle Inspektion ein Spezifitätswert von 47,2 %. Im Bereich der Dentinläsionen zeigten sich AUC-Werte (D4 = 0,703; D3 = 0,679), die der visuellen Inspektion eine schwache bis mittlere Aussagekraft bezüglich der Defekttiefe beschei-

nigen. Die schmelzbegrenzten Läsionen (D1 +D2) sind aufgrund des niedrigen AUC-Wertes als kaum bis schwer vorhersagbar einzustufen (AUC-Wert: 0,52). Die ROC-Kurven zeigen wie auch andere Studien, dass die Werte für Spezifität und Sensitivität der ICDAS II Klassifikationsdiagnostik im Bereich der Dentinläsionen höher als bei Schmelzläsionen sind. Ursachen hierfür könnten eine erschwerte Diagnostik nichtkavittierter Läsionen durch mangelnde Lichtverhältnisse oder Nichtanwendung von Vergrößerungshilfen sein. Die Sensitivitäts- und Spezifitätswerte der visuellen Inspektion können durch Anwendung von Lupenbrillen mit LED Kopflicht von 70 % auf 75 % (Sensitivität) bzw. von 87 % auf 90 % (Spezifität) erhöht werden (Ari et al., 2013). Es ist jedoch anzumerken, dass in dieser Studie als Goldstandard die tatsächlich exkavierte Situation diente. Da kariöse Läsionen erst bei visuell und röntgenologisch sichtbarer Dentinbeteiligung invasiv therapiert wurden, konnte eine tatsächliche Überprüfung der nach ICDAS II Klassifikation mit dem Code 0 - 2 eingestuften Läsionen nicht stattfinden. Ebenso konnte keine weitere Überprüfung der visuell gesunden Zähne erfolgen. Es erwies sich als sinnvoll, die Definition gesund (D0) auf nicht therapiebedürftige Zähne (D0 + D1 + D2) auszuweiten. In-vitro Studien mit histologischen Untersuchungen an extrahierten Zähnen würden für diese Läsionstiefen vermutlich genauere Ergebnisse liefern.

5.3.2 Ergebnisse der röntgenologischen Diagnostik

Die Ergebnisse dieser Studie sind ähnlich den Ergebnissen vorheriger Studien. Es zeigte sich eine hohe Korrelation zwischen der röntgenologischen Diagnostik und der tatsächlich exkavierten Situation ($r_s = 0,901$). Röntgenologische Diagnostik unterstützt die visuelle Inspektion signifikant. Die röntgenologische Diagnostik zeigt ebenfalls gute Werte bezüglich der Sensitivität bei der Detektion von Läsionen im äußeren (D3 = Sensitivität: 50 %) und inneren Dentinbereich (D4 = Sensitivität: 100 %). Eine generelle Therapiebedürftigkeit (D3 + D4) konnte mit einer Sensitivität von 100 % entdeckt werden. Definiert man den Wert der röntgenologische Diagnostik C0 als gesund, zeigen sich sehr gute Werte für die Spezifität (93,8 %). Betrachtet man jedoch die reine Nichttherapiebedürftigkeit (D0 + D1 +D2) ergibt

sich ein Spezifitätswert von 88,8 %. Im Bereich der Dentinläsionen zeigten sich AUC-Werte (D4 = 0,919; D3 = 0,578), die der visuellen Inspektion eine schwache (D3) bis exzellente (D4) Aussagekraft bezüglich der Defekttiefe bescheinigen. Die schmelzbegrenzten Läsionen sind aufgrund des niedrigen AUC-Wertes als nicht aussagekräftig einzustufen (AUC-Wert: 0,293). Die ROC-Kurven zeigen bei Gegenüberstellung der röntgenologischen Diagnostik und der tatsächlich exkavierten Situation, dass die röntgenologische Diagnostik umso genauer wird, je tiefer die kariöse Läsion ist. Zwischen der röntgenologischen Diagnostik und dem Vorhandensein einer Schmelzkaries (D1 + D2) zeigt sich jedoch keine signifikante Korrelation. Es ist jedoch erneut anzumerken, dass in dieser Studie als Goldstandard die tatsächlich exkavierte Situation diente. Da kariöse Läsionen erst bei visuell und röntgenologisch sichtbarer Dentinbeteiligung invasiv therapiert wurden, konnte eine tatsächliche Überprüfung der im Röntgenbefund als C1 und C2 eingestuften Läsionen nicht überprüft werden. Ebenso konnte keine weitere Überprüfung der röntgenologisch gesunden Zähne erfolgen. Es erwies sich auch hier als sinnvoll, die Definition gesund (D0) auf nicht therapiebedürftige Zähne (D0 + D1 + D2) auszuweiten. In-vitro Studien mit histologischen Untersuchungen an extrahierten Zähnen würden für diese Läsionstiefen vermutlich genauere Ergebnisse liefern.

5.3.3 Ergebnisse der Spektroskopie

Die Ergebnisse der Spektroskopie mittels des Midwest Caries I.D. zeigen eine moderate bis fast hohe Korrelation ($r_s = 0,698$) gegenüber der tatsächlich exkavierten Situation. Dies spricht für eine hohe Abhängigkeit zwischen der Signalqualität und der tatsächlich exkavierten Situation. Wie auch bei den anderen untersuchten Verfahren zeigt sich, dass die Erkennung von tiefer liegenden Läsionen (D3 = Sensitivität: 27 %; D4 = Sensitivität: 66,6 %; D3 + D4 = Sensitivität: 85,7 %) zuverlässiger ist als die Detektion schmelzbegrenzter Läsionen (D1+ D2 = Sensitivität: 50 %). Definiert man die Spektroskopie Codierung 0 als gesund, zeigen sich sehr gute Werte für die Spezifität mit 100 %. Betrachtet man jedoch die reine Nichttherapiebedürftigkeit (D0 + D1 + D2) ergibt sich für die Spektroskopie ein Spezifi-

tätswert von 75 %. Im Bereich der Dentinläsionen zeigten sich AUC-Werte (D4 = 0,807; D3 = 0,635), die der Spektroskopie eine schwache bis gute Aussagekraft bezüglich der Defekttiefe bescheinigen. Die schmelzbegrenzten Läsionen (D1 + D2) sind aufgrund des niedrigen AUC-Wertes als nicht aussagekräftig einzustufen (AUC-Wert: 0,323). Auch hier ist anzumerken, dass in dieser Studie als Goldstandard die tatsächlich exkavierte Situation diente. Da kariöse Läsionen erst bei visuell und röntgenologisch sichtbarer Dentinbeteiligung invasiv therapiert werden, konnte eine Überprüfung der Signalqualitäten, die trotz Nichtbehandlung für eine therapiebedürftige Läsion gesprochen hätten (Code 3 – 6), nicht überprüft werden. Ebenso konnte keine weitere Überprüfung der spektroskopisch gesunden Zähne (Code 0) erfolgen. Es erwies sich erneut als sinnvoll, die Definition gesund (D0) auf nicht therapiebedürftige Zähne (D0 + D1 + D2) auszuweiten. In-vitro Studien mit histologischen Untersuchungen an extrahierten Zähnen würden für diese Läsionstiefen vermutlich genauere Ergebnisse liefern.

5.4 Schlussfolgerungen und Vergleich mit anderen Untersuchungsmethoden

Die vorliegende Studie sollte zeigen, wie zuverlässig das Midwest Caries I.D. in der Detektion kariöser Läsionen ist und ob die Ergebnisse mit denen anderer diagnostischer Verfahren vergleichbar sind. Schon Lussi et al. (1993) stellte heraus, dass verschiedene Verfahren zu unterschiedlichen Ergebnissen bezüglich ein und derselben kariösen Läsion führen können (Lussi, 1993). Zu den gängigsten Methoden der modernen Kariesdetektion gehören neben der klassischen visuellen, taktilen und röntgenologischen Inspektion sicherlich das DIAGNOdent-, das FOTI bzw. DIFOTI- und das die VistaCam iX (früher: VistaProof) Gerät. Im Vergleich zu den klassischen Untersuchungsmethoden, wie der visuellen Inspektion und der Röntgendiagnostik, zeigt die Spektroskopie in der vorliegenden Studie ähnliche Werte. Die Sensitivität der Spektroskopie liegt mit 85,7 % für die Detektion von dentinbegrenzten Läsionen (D3 + D4) leicht unter den Werten der röntgenologischen Diagnostik (100 %) und der visuellen Inspektion (90 %). Festzuhalten ist, dass keine der untersuchten Methoden zuverlässig eine rein auf das äußere Dentin (D3) begrenzte Läsion (Spezifität: visuelle In-

spektion = 33 %; röntgenologische Diagnostik = 50 %; Spektroskopie = 27 %) erkennt. Im Bereich der ohnehin nicht aussagekräftigen Ergebnisse bezüglich der Detektion von schmelzbegrenzten Läsionen schließt die Spektroskopie mit einer Sensitivität von 50 % besser als die visuelle Inspektion (44 %) und schlechter als die röntgenologische Diagnostik (72,7 %) ab. Betrachtet man die Spezifität, zeigt die Spektroskopie bei absolut gesunden Zähnen (D0) den höchsten Wert (100 %). Mit 93,8 % folgt die röntgenologische Diagnostik. Die visuelle Inspektion zeigt mit 90,1 % das schlechteste Ergebnis für die Spezifität. Alle nicht behandlungsbedürftig eingestuftten Zähne (D1 + D2) dieser Studie als gesund zu definieren, ist jedoch die sinnvollere Einteilung hinsichtlich der Spezifität. Demnach beträgt die Spezifität für die röntgenologische Diagnostik 88,8 %, für die Spektroskopie 75 % und für die visuelle Inspektion 47,2 %. Die Spektroskopie zeigt gegenüber der rein visuellen Inspektion nach ICDAS II Klassifikation für Kariesausdehnungen im inneren Dentinbereich geringfügig aussagekräftigere Werte (AUC-Wert Spektroskopie: D4 = 0,807; AUC-Wert visuelle Inspektion: D4 = 0,703). Für Schmelz- und äußere Dentinläsionen weist jedoch die visuelle Inspektion bessere Aussagewerte als die Spektroskopie auf (AUC-Werte Spektroskopie: D1 + D2 = 0,323; D3 = 0,635; AUC-Werte visuelle Inspektion: D1 + D2 = 0,520 ; D3 = 0,679). Die röntgenologische Diagnostik zeigt im Vergleich zur visuellen Inspektion und der Spektroskopie im Bereich der Schmelz- und äußeren Dentinläsionen die schlechtesten Aussagewerte (AUC-Werte Röntgen: D1 + D2 = 0,293; D3 = 0,578). Betrachtet man die Aussagekraft der Ergebnisse der röntgenologischen Diagnostik bezüglich innerer Dentinläsionen, zeigen sich deutlich bessere Werte (AUC-Wert: D4 = 0,919) als bei der Spektroskopie und der visuellen Inspektion. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die erhobenen Sensitivitäts- und Spezifitätswerte der Spektroskopie den Ergebnissen der anderen untersuchten Verfahren nicht nachstehen und bezüglich ihrer Aussagekraft und Güte vergleichbar sind.

Auch gegenüber anderen kariesdiagnostischen Geräten zeigen sich ähnliche Werte bezüglich der Spezifität und Sensitivität. In einer in vivo Studie betrug die Sensitivität im Hinblick auf die Diagnose von Dentinkaries bei dem DIAGNOdent Gerät 92 – 93 % und die Spezifität 71 – 77 % (Krause et al., 2007; Lussi et al. 1995). Für die elektrische Impedanzmessung wurde anhand der Untersuchung des CarieScan Pro Gerätes Sensitivitäts- und Spezifitäts-

werte von jeweils 92 % ermittelt (Pitts et al., 2008). In einer histologisch validierten Untersuchung der faseroptischen Transillumination (FOTI) konnten Sensitivitäts- und Spezifitätswerte von 59 % bzw. 97 % ermittelt werden (Ie et al., 1994). Eine Studie für die Detektion von Okklusalkaries ergab für das DIFOTI-Verfahren eine Sensitivität von 67 % und eine Spezifität von 87 % (Schneidermann et al., 1997). Für das VistaProof Gerät wurde eine Sensitivität von 75 – 96 % und eine Spezifität von 71 % ermittelt (Rodrigues et al, 2008).

Die Spektroskopie erweist sich demnach als ein wertvolles Hilfsmittel zur Diagnostik kariöser Läsionen. Insbesondere die Anwenderfreundlichkeit und die guten Sensitivitäts- und Spezifitätswerte bei vorliegenden Dentinläsionen sollten Gründe sein die LED basierte Spektroskopie als zusätzliche kariesdiagnostische Methode in Betracht zu ziehen. Die Herstellerangaben zur Sensitivität wurden durch die vorliegende Studie bestätigt.

6. Zusammenfassung

Nach wie vor stellt die rechtzeitige Diagnose von kariösen Läsionen eine Herausforderung im zahnärztlichen Praxisalltag dar. Der wegen des gestiegenen Gesundheitsbewußtseins der Bevölkerung stete Rückgang von klassischen kariösen Läsionen macht es notwendig, effizientere Diagnoseverfahren zur Detektion von initialen und versteckten Läsionen zu entwickeln. Zusätzlich zur visuellen Inspektion stehen heutzutage verschiedenste apparative Verfahren zur Detektion von Zahnkaries zur Verfügung. Die vorliegende Studie sollte die Sensitivität und Spezifität der LED basierten Spektroskopie mit dem Midwest Caries I.D. (Dentsply, York, Großbritannien) bei der Detektion von okklusalen Karies ermitteln. Als Goldstandart diente die tatsächlich exkavierte Situation.

66 Zähne wurden in vivo untersucht. Nach Feststellung einer Therapiebedürftigkeit durch visuelle und röntgenologische Diagnostik wurden die Zähne mit dem Einverständnis des Patienten zusätzlich durch die LED basierte Spektroskopie begutachtet. Nach Reinigung der Zähne und erneuter Begutachtung wurden die Werte für die visuelle Inspektion nach ICDAS II Kriterien (Code 0 – 6), für die röntgenologische Diagnostik (C0 – C4) und für die Spektroskopie (Code 0 – 6) schriftlich dokumentiert. Anschließend erfolgte die invasive Therapie. Bevor die Zähne konservativ restauriert wurden, erfolgte eine Einteilung der tatsächlich vorliegenden Ausdehnungen der exkavierten Situationen (D0 –D4). Es folgte eine Auswertung der Ergebnisse mit SPSS (Version 20.0).

Der Spearman-Korrelationskoeffizient ergab für die visuelle Inspektion ($r_s=0,563$) und die Spektroskopie ($r_s=0,698$) eine moderate Korrelation gegenüber der exkavierten Situation. Für die röntgenologische Diagnostik ($r_s=0,901$) wurde eine hohe Korrelation gegenüber der exkavierten Situation berechnet. Der Chi-Quadrat-Test nach Pearson ergab für alle untersuchten Verfahren einen Wert von $p < 0,05$. Die Sensitivität der visuellen Inspektion betrug für schmelzbegrenzte Läsionen (D1+D2) 44 % und für dentinbegrenzte Läsionen (D3+D4) 90 %. Die Spezifität für rein gesunde Zähne (D0) betrug 90,1 % und für nicht behandlungsbedürftige Zähne (D0 – D2) 47,2 %. Die Sensitivität der röntgenologischen Diagnostik betrug für schmelzbegrenzte Läsionen (D1+D2) 72,7 % und für dentinbegrenzte Läsionen

(D3+D4) 100 %. Die Spezifität für rein gesunde Zähne (D0) betrug 93,8 % und für nicht behandlungsbedürftige Zähne (D0 – D2) 88,8 %. Die Sensitivität der Spektroskopie betrug für schmelzbegrenzte Läsionen (D1+D2) 50 % und für dentinbegrenzte Läsionen (D3+D4) 85,7 %. Die Spezifität für rein gesunde Zähne (D0) betrug 100 % und für nicht behandlungsbedürftige Zähne (D0 – D2) 75 %. Die Flächen unter der Kurve (AUC-Werte) der verschiedenen Verfahren waren für oberflächliche kariöse Läsionen am geringsten und nahmen mit der Läsionstiefe zu. Für Läsionen im inneren Dentin betrug die Flächen unter der Kurve (AUC-Werte) für die visuelle Inspektion 0,703, für die röntgenologische Diagnostik 0,919 und für Spektroskopie 0,807.

Zwischen den Ergebnissen der Spektroskopie und der tatsächlich exkavierten Situation zeigt sich eine moderate Korrelation. Die Sensitivität und Spezifität der LED basierten Spektroskopie sind insbesondere für die Detektion dentinbegrenzter Läsionen mit den Werten anderer Verfahren vergleichbar. Defizite zeigt es in der zuverlässigen Detektion von schmelzbegrenzten Läsionen. Generell konnte festgestellt werden, dass sich die LED-basierte Spektroskopie aufgrund der Anwenderfreundlichkeit und guter Sensitivitäts- und Spezifitätswerte bei vorliegenden Dentinläsionen als zusätzliche kariesdiagnostische Methode anbietet.

7. Anhang

7.1 Auswertungsbogen Midwest Caries I.D.

Midwest Caries I.D. TM (Auswertungsbogen)

Nr.	Zahn	Klinischer Zustand	Signalqualität	Radiologische Diagnostik	Kavitätenausdehnung nach Exkavation
1	35	4	6	3	3
2	34	4	4	3	3
3	47	2	3	3	3
4	24	2	3	2	2
5	37	2	1	2	3
6	36	2	5	3	3
7	24	4	5	3	4
8	24	1	kein Signal	o.p.B	keine Therapie
9	25	4	3	o.p.B	keine Therapie
10	15	4	6	4	4
11	16	4	2	3	3
12	14	4	6	3	3
13	24	2	6	3	3
14	25	3	kein Signal	o.p.B	keine Therapie
15	38	4	3	3	3
16	47	4	2	3	3
17	14	4	6	3	3
18	24	2	6	2	3
19	15	4	4	3	4
20	27	2	2	3	4
21	47	2	1	2	2
22	47	2	3	o.p.B	2
23	16	4	1	2	2
24	24	4	1	3	3
25	47	3	1	4	4
26	26	2	2	2	2
27	37	2	3	3	3
28	25	4	5	3	4
29	26	4	4	3	3
30	26	4	4	3	Pulpa aperta
31	27	3	6	3	4

32	45	6	6	4	Pulpa aperta
33	46	3	6	3	4
34	47	3	5	4	4
35	26	1	4	4	4
36	24	4	5	4	4
37	36	4	4	3	4
38	27	1	5	4	4
39	47	2	3	3	4
40	35	1	4	4	4
41	14	3	4	4	4
42	15	2	5	4	4
43	17	1	5	4	4
44	14	4	6	4	4
45	16	4	5	4	4
46	24	0	4	3	4
47	25	3	5	3	4
48	26	1	5	2	3
49	36	5	5	3	4
50	37	5	6	3	4
51	14	0	kein Signal	o.p.B.	keine Therapie
52	15	0	kein Signal	o.p.B.	keine Therapie
53	16	1	5	1	keine Therapie
54	34	1	1	1	keine Therapie
55	35	0	kein Signal	o.p.B.	keine Therapie
56	36	0	kein Signal	o.p.B.	keine Therapie
57	17	0	kein Signal	o.p.B.	keine Therapie
58	37	1	1	o.p.B.	keine Therapie
59	24	0	kein Signal	o.p.B.	keine Therapie
60	25	0	kein Signal	o.p.B.	keine Therapie
61	26	1	3	1	keine Therapie
62	27	1	3	1	keine Therapie
63	44	1	1	o.p.B.	keine Therapie
64	45	0	kein Signal	o.p.B.	keine Therapie
65	46	0	kein Signal	o.p.B.	keine Therapie
66	47	0	kein Signal	o.p.B.	keine Therapie

Klinischer Zustand (nach ICDAS II- und CARS-Kriterien):

- 0 - Gesund
- 1 - Erste visuell erkennbare Veränderung im Schmelz
(nur erkennbar nach anhaltender Lufttrocknung oder begrenzt auf
Grübchen und Fissuren beschränkt)
- 2 - Deutliche visuell erkennbare Veränderung im Schmelz
- 3 - Lokalisierter Schmelzeinbruch (ohne klinisch visuell erkennbare
Mitbeteiligung des Dentins)
- 4 - Unter dem Schmelz liegender dunkler Schatten durch das Dentin
- 5 - Deutliche Kavitätenbildung mit sichtbarem Dentin
- 6 - Erhebliche deutliche Kavitätenbildung mit sichtbarem Dentin

Radiologische Diagnostik (Kariesausdehnung):

- 1 - äußere Schmelzschicht
- 2 - innere Schmelzschicht
- 3 - äußere Dentinschicht
- 4 - innere Dentinschicht

Signalqualität:

- 1 - langsames Piepen / punktuell lokalisiert
- 2 - langsames Piepen / ausgedehnt lokalisiert
- 3 - mittleres Piepen / punktuell lokalisiert
- 4 - mittleres Piepen / ausgedehnt lokalisiert
- 5 - schnelles Piepen / punktuell lokalisiert
- 6 - schnelles Piepen / ausgedehnt lokalisiert

Kavitätenausdehnung nach Exkavation:

- 1 - äußere Schmelzschicht
- 2 - innere Schmelzschicht
- 3 - äußere Dentinschicht
- 4 - innere Dentinschicht

Abb. 24: Die Abbildung zeigt die Ergebnisse der Untersuchung dokumentiert auf dem Auswertungsbogen für das Midwest Caries I.D.

7.2 Koordinatentabellen der ROC-Kurven

7.2.1 Koordinatentabelle bei nicht therapierten Läsionen

Koordinaten der Kurve			
Variable(n) für Testergebnis	Positiv, wenn größer oder gleich ^a	Sensitivität	1 - Spezifität
Klinik	-1,0000	1,000	1,000
	0,5000	0,474	0,979
	1,5000	0,105	0,872
	2,5000	0,105	0,596
	3,5000	0,053	0,468
	4,5000	0,000	0,064
	5,5000	0,000	0,021
Signal	7,0000	0,000	0,000
	-1,0000	1,000	1,000
	0,5000	0,368	1,000
	1,5000	0,211	0,894
	2,5000	0,211	0,809
	3,5000	0,053	0,681
	4,5000	0,053	0,489
Röntgen	5,5000	0,000	0,234
	7,0000	0,000	0,000
	-1,0000	1,000	1,000
	0,5000	0,211	0,979
	1,5000	0,000	0,979
	2,5000	0,000	0,830
	3,5000	0,000	0,277
	5,0000	0,000	0,000

Tab. 23: Koordinatentabelle der verschiedenen Verfahren bei nicht therapierten Läsionen

7.2.2 Koordinatentabelle bei schmelzbegrenzten Läsionen

Koordinaten der Kurve			
Variable(n) für Testergebnis	Positiv, wenn größer oder gleich ^a	Sensitivität	1 - Spezifität
Klinik	-1,0000	1,000	1,000
	0,5000	1,000	0,820
	1,5000	1,000	0,623
	2,5000	0,200	0,475
	3,5000	0,200	0,361
	4,5000	0,000	0,049
	5,5000	0,000	0,016
Signal	7,0000	0,000	0,000
	-1,0000	1,000	1,000
	0,5000	1,000	0,803
	1,5000	0,600	0,705
	2,5000	0,400	0,656
	3,5000	0,000	0,541
	4,5000	0,000	0,393
Röntgen	5,5000	0,000	0,180
	7,0000	0,000	0,000
	-1,0000	1,000	1,000
	0,5000	0,800	0,754
	1,5000	0,800	0,689
	2,5000	0,000	0,639
	3,5000	0,000	0,213
	5,0000	0,000	0,000

Tab. 24: Koordinatentabelle der verschiedenen Verfahren bei schmelzbegrenzten Läsionen

7.2.3 Koordinatentabelle bei Läsionen im äußeren Dentin

Koordinaten der Kurve			
Variable(n) für Testergebnis	Positiv, wenn größer oder gleich ^a	Sensitivität	1 - Spezifität
Klinik	-1,0000	1,000	1,000
	0,5000	1,000	0,780
	1,5000	0,938	0,560
	2,5000	0,563	0,420
	3,5000	0,563	0,280
	4,5000	0,000	0,060
	5,5000	0,000	0,020
Signal	7,0000	0,000	0,000
	-1,0000	1,000	1,000
	0,5000	1,000	0,760
	1,5000	0,875	0,640
	2,5000	0,750	0,600
	3,5000	0,563	0,480
	4,5000	0,438	0,340
Röntgen	5,5000	0,313	0,120
	7,0000	0,000	0,000
	-1,0000	1,000	1,000
	0,5000	1,000	0,680
	1,5000	1,000	0,600
	2,5000	0,813	0,520
	3,5000	0,000	0,260
	5,0000	0,000	0,000

Tab. 25: Koordinatentabelle der verschiedenen Verfahren bei Läsionen im äußeren Dentin

7.2.4 Koordinatentabelle bei Läsionen im inneren Dentin

Koordinaten der Kurve			
Variable(n) für Testergebnis	Positiv, wenn größer oder gleich ^a	Sensitivität	1 - Spezifität
Klinik	-1,0000	1,000	1,000
	0,5000	0,962	0,750
	1,5000	0,808	0,550
	2,5000	0,692	0,300
	3,5000	0,462	0,275
	4,5000	0,115	0,000
	5,5000	0,038	0,000
Signal	7,0000	0,000	0,000
	-1,0000	1,000	1,000
	0,5000	1,000	0,700
	1,5000	0,962	0,525
	2,5000	0,923	0,450
	3,5000	0,885	0,250
	4,5000	0,615	0,200
Röntgen	5,5000	0,231	0,125
	7,0000	0,000	0,000
	-1,0000	1,000	1,000
	0,5000	1,000	0,600
	1,5000	1,000	0,500
	2,5000	1,000	0,325
	3,5000	0,500	0,000
	5,0000	0,000	0,000

Tab. 26: Koordinatentabelle der verschiedenen Verfahren bei Läsionen im inneren Dentin

7.3 Herstellerverzeichnis

Canon Deutschland GmbH, Krefeld, Deutschland

CarieScan Ltd., Dundee, Großbritannien

Dentsply, Biberach-Riß, Deutschland

Dürr Dental, Bietigheim-Bissingen, Deutschland

GABA GmbH, Lörrach, Deutschland

Ivoclar Vivadent, Ellwangen, Deutschland

KaVo, Biberbach-Riß, Deutschland

Komet, Lemgo, Deutschland

Kuraray, Tokio, Japan

Microsoft Corporation Redmond, WA, USA

Oral B, Schwalbach, Deutschland

Sanofi-Aventis, Frankfurt/Main, Deutschland

SPSS (Version 20.0.0), Chicago, IL, USA

Voco GmbH, Cuxhaven, Deutschland

8. Literaturverzeichnis

Ando M, Hall A, Eckert G, Schemehorn B, Analoui M, Stookey G. Relative ability of laser fluorescence techniques to quantitate early mineral loss in vitro. *Caries Res* 1997; 31: 125-131

Angmar-Mansson B, Al-Khateeb S, Tranaeus S. Caries diagnosis. *J Dent Educ* 1998; 62: 771-780

Angmar-Mansson B, ten Bosch J. Optical methods for the detection and quantification of caries. *Adv Dent Res* 1987; 1: 14-20

Arends J, Christoffersen J. The nature of early caries lesions in enamel. *J Dent Res* 1986; 65: 2-11

Ari T, Ari N. The Performance of ICDAS II using low-powered magnification with light-emitting Diode Headlight and Alternating Current Impedance Spectroscopy Device for Detection of Occlusal Caries on Primary Molars. *ISRN Dent* 2013; Article ID 276070

Bader J, Shugars D. A systematic review of the performance of a laser fluorescence device for detecting caries. *J Am Dent Assoc* 2004; 135: 1413-1426

Baume L. Allgemeine Grundsätze für eine internationale Normung der Kariesstatistiken. *Int Dent J* 1962; 12: 279

Bicuspid, 2008: Beyond x-rays: Part I - Do optical caries detection systems really work?
<http://www.drbcuspide.com/index.aspx?sec=log&URL=http%3a%2f%2fwww.drbcuspide.com%2findex.aspx%3fsec%3dsup%26sub%3dimg%26pag%3ddis%26ItemID%3d300676>
(Zugriffsdatum: 12.03.2012)

Bin-Shuwaish M, Yaman P, Dennison J, Neiva G. The correlation of DIFOTI to clinical and radiographic images in Class II carious lesions. J Am Dent Assoc 2008; 139: 1374-1381

Braga M, Mendes F, Martignon S, Ricketts D, Ekstrand K. In vitro comparison of Nyvads System and ICDAS II with Lesion Activity Assessment for evaluation of severity and activity of occlusal caries lesions in primary teeth. Caries Res 2009; 43: 405 - 412

Braun A, Frentzen M, Nolden R. Beeinflussung der Laser-Fluoreszenz durch Zahnreinigungsmaßnahmen. Dtsch Zahnärztl Z 1999; 54: 195-197

Braun A, Krause F, Frentzen M, Nolden R. Durch Austrocknung bedingte Beeinflussung von Laser-Fluoreszenz-Messwerten. J Med Dent Oral Med 2000; 2: 38

Buchalla W, Attin T, Niedmann Y, Niedmann P, Lennon A. Porphyrins are the cause of red fluorescence of carious dentine: verified by gradient reversed-phase HPLC (Abstract). Caries Res 2008; 42: 223

Buchalla W. Aspekte der modernen Kariologie. Stuttgart, 2009

Darling A, Mortimer K, Poole D, Ollis W. Molecular sieve behaviour of normal and carious human dental enamel. Arch Oral Biol 1961; 5: 251-273

Davidson F. Röntgenstrahlen und Zahnheilkunde. Zahnarztl Rundschr 1910; 19: 479-480

Diniz M, Lima L, Santos-Pinto L, Eckert G, Zandoná A, de Cássia Loiola Corderio R. Influence of the ICDAS e-learning program for occlusal caries detection on dental students. J Dent Educ 2010; 78: 862 - 868

Eberhart J, Frentzen M, Thoms M. Neue optische Methoden zur Kariesdetektion – Fluoreszenzbasierte Verfahren zur Erkennung nichtkavittierter Läsionen. ZWR 2007; 116: 148-156

Ekstrand K, Qvist V, Thylstrup A. Light microscope study of the effect of probing in occlusal surfaces. Caries Res 1987; 21: 368-374

Eli I, Weiss A, Tzohar A, Littner M, Gelernter I, Mendes F. Interpretation of bitewing radiographs. Part 1 - Evaluation of the presence of approximal lesions. J Dent 1996; 24: 379-383

Espelid I, Tveit A, Fjellveit A. Variations among dentists in radiographic detection of occlusal caries. Caries Res 1994; 28: 169-175

Frank R. Structural events in the caries process in enamel, cementum, and dentin. J Dent Res 1990; 69: 559-566

Fusayama T, Okuse K, Hosada H. Relationship between hardness, discoloration and microbial invasion in carious dentin. J Dent Res 1966; 45: 1033-1046

Garberoglio R, Brännström M. Scanning electron microscopic investigation of human dentinal tubules. Arch Oral Biol 1976; 21: 355-362

Haak R, Wicht M, Hellmich M, Gossmann A, Noack M. The validity of proximal caries detection using magnifying visual aids. Caries Res 2002; 36: 249-255

Heinrich R, Künzel W, Tawfiq H. The diagnosis of approximal caries – a comparison of clinical, fiber optic and x-ray diagnostic procedures (the diagnosis of approximal caries). Dtsch Zahn Mund Kieferheilkd Zentralbl 1991; 79: 87-96

Heinrich-Weltzien R, Kühnisch J, Oehme T, Weerheijm K, Stößer L. Okklusalkaries Diagnostik - Ein Vergleich von DIAGNOdent mit konventionellen Methoden. Oralprophylaxe 2003; 25: 77-80

Hellwig E, Klimek J, Attin T. Einführung in die Zahnerhaltung. Freiburg - Gießen - Zürich: Urban & Fischer, 2006

Hellwig E, Klimek J, Attin T. Einführung in die Zahnerhaltung. München: Urban & Fischer, 1999

Hellwig E, Klimek J, Attin T. Einführung in die Zahnheilkunde. München: Urban & Fischer, 2003

Hibst R. Optische Meßmethoden zur Kariesdiagnose. ZWR 1999; 108: 50-55

Hopcraft M, Morgan M. Comparison of radiographic and clinical diagnosis of approximal and occlusal caries in a young adult population. *Community Dent Oral Epidemiol* 2005; 33: 212-218

Htoon H, Peng L, Huak C. Assessment criteria for compliance with oral hygiene: application of ROC analysis. *Oral Health and Prev Dent* 2007; 5: 83-88

Huth K, Lussi A, Gygax M, Crispin A, Paschos E, Hickel R, et al. Assessment of dental caries with digital imaging fibre optic transillumination (DIFOTI): in vitro study. *J Dent* 2010; 38: 1033-1044

ICDAS Foundation, 2009: Criteria Manual; International Caries Detection and Assessment System (ICDAS II). <http://www.icdas.org/> (Zugriffsdatum: 14.11.2013)

Le Y, Verdonschot E. Performance of diagnostic systems in occlusal caries detection compared. *Community Dent Oral Epidemiol* 1994; 22: 187-191

Ifland S, Kühnisch J, Heinrich-Weltzien R. Die quantitative lichtinduzierte Fluoreszenz (QLF). *ZWR* 2004; 113: 248-254

Jablonski-Momeni A, Liebegall F, Stoll R, Heinzl-Gutenbrunner M, Pieper K. Performance of a new fluorescence camera for detection of occlusal caries in vitro. *Lasers Med Sci* 2012; 28: 101-109

Jablonski-Momeni A, Ricketts D, Heinzl-Gutenbrunner M, Stoll R, Stachniss V, Pieper K. Impact of Scoring Single or Multiple Occlusal Lesions on Estimates of Diagnostic Accuracy of the Visual ICDAS-II System. *Int J Dent* 2009; Article ID 798283

Jablonski-Momeni A, Stachniss V, Ricketts D, 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* 2008; 63: 343 - 349

Jones I, Leaver A. Studies on the minor components of the organic matrix of human dentine. *Arch Oral Biol* 1974; 19: 371-380

Ketterl W. Zahnerhaltung: Diagnose der Karies. München: Urban & Schwarzenberg Verlag, 1992

Keyes P. The infectious and transmissible nature of experimental dental caries. Findings and implications. Amsterdam: Elsevier, 1960

Kidd E, Amerongen v. EW. The role of operative treatment; Dental caries: The disease and its clinical management. Oxford: Blackwell Munksgaard, 2003

Kidd E. How `clean` must a cavity be before restoration? *Caries Res* 2004; 38: 305-113

Kielbassa A, Müller J. Mikroinvasive Therapie der initialen Karies. *Dent Hyg J* 2008; 3: 16-18

King N, Shaw L. Value of bitewing radiographs in detection of occlusal caries. *Community Dent Oral Epidemiol* 1979; 7: 218 - 221

Klimm W. *Kariologie - Ein Leitfaden für Studierende und Zahnärzte*. München - Wien: Splitta, 1997

König K, Flemming G, Hibst R. Laser-induced autofluorescence spectroscopy of dental caries. *J Mol Cell Biol* 1998; 44: 1293-1300

König K. *Karies und Parodontopathien*. Stuttgart: Thieme, 1987

Krause F, Jepsen S, Braun A. Comparison of two laser fluorescence devices for the detection of occlusal caries in vivo. *Eur J Oral Sci* 2007; 115: 252-256

Kühnisch J, Dietz W, Stösser L, Hickel R, Heinrich-Weltzien R. Effects of dental probing - a SEM evaluation. *Caries Res* 2006; 41: 43-48

Kühnisch J, Haak R, Buchalla W, Heinrich-Weltzien R. Kariesdetektion und Diagnostik bei Kindern und Jugendlichen. *Oralprophylaxe* 2007; 29: 166-171

Kühnisch J, Ifland S, Tranaeus S, Angmar-Månsson B, Hickel R, Stösser L. Establishing quantitative light-induced fluorescence cutoffs for the detection of occlusal dentine lesions. *Eur J Oral Sci* 2006; 114: 483-488

Kühnisch J, Iffland 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* 2007; 65: 183-188

Kühnisch J, Oehme T, Heinrich-Weltzien R. Detektion und Diagnostik primärkariöser Läsionen. *Quintessenz* 2008; 59: 1259-1264

Longbottom C, Huysmans M, Pitts N, Los P, Bruce P. Detection of dental decay and its extent using a.c. impedance spectroscopy. *Nat Med* 1996; 2: 235-237

Lussi A, Hellwig E. Performance of a new laser fluorescence device for the detection of occlusal caries in vitro. *J Dent* 2006; 34: 467-471

Lussi A, Hipst R, Paulus R. DIANGNOdent: An optical method for caries detection. *J Dent Res* 2004; 83: C80-C83

Lussi A, Hotz P, Stich H. Die Fissurenkaries. Diagnostik und therapeutische Grundsätze. *Dtsch Zahnärztl Z* 1995; 50: 629-634

Lussi A. Comparison of different methods for the diagnosis of fissure caries without cavitation. *Caries Res* 1993; 27: 409-416

Lussi A. Laserinduzierte Fluoreszenz zur Erkennung von Okklusalkaries. *Acta Med Dent Helv* 2000; 5: 15-19

Lussi A. Methoden zur Diagnose und Verlaufsform der Karies. Dtsch Zahnärztl Z 1998; 53: 175-182

Lussi A. Methoden zur Diagnose und Verlaufsdiaagnose der Karies. Wann bohren? Schweiz Monatsschr Zahnmed 1998; 108: 357-364

Lussi A. Validity of diagnostic and treatment decisions of fissure caries. Caries Res 1991; 25: 296-303

Mejare I, Kaellestal C, Stenlund H, Johansson H. Caries development from 11 to 22 years of age: a prospective radiographic study. Prevalence and distribution. Caries Res 1998; 32: 10-16

Mejare I, Stenlund H, Zelezny-Holmlund C. Caries incidence and lesion progression from adolescence to young adulthood: A prospective 15-year cohort study in Sweden. Caries Res 2004; 38: 130-141

Meredith N, Sherriff M, Setchel D, Swanson S. Measurement of the microhardness and Young's Modulus of human enamel and dentin using an indentation technique. Arch Oral Biol 1992; 20: 175-180

Mileman P, Mulder E, van der Weele L. Factors influencing the likelihood of successful decisions to treat dentin caries from bitewing radiographs. Community Dent Oral Epidemiol 1992; 20: 175-180

Miller W. Die Mikroorganismen der Mundhöhle. Leipzig: Georg Thieme Verlag, 1892

Novaes T, Matos R, Braga M, Imparato J, Raggio D, Mendes F. Performance of pen-type laser fluorescence device and conventional methods in detecting approximal caries lesions in primary teeth. *Caries Res* 2009; 43: 36-42

Pearce E, Nelson D. Microstructural features of carious human enamel imaged with back-scattered electrons. *J Dent Res* 1989; 68: 113-118

Penning C, van Amerongen J, Seef R, ten Cate J. Validity of probing for tissue caries diagnosis. *Caries Res* 1992; 26: 445-449

Pereira A, Eggertsson H, Martinez-Mier E, Mialhe F, Eckert G, Zero D. Validity of caries detection on occlusal surfaces and treatment decisions based on results from multiple caries-detection methods. *Eur J Oral Sci* 2009; 117: 51-57

Pieper K. Erste Erfahrungen mit einer neu entwickelten Kaltlicht-Diagnosesonde. *ZRW* 1986; 3: 262-263

Pitts N, Longbottom C, Hall A, Czajczynska-Waszkiwicz A, Los P, Masalski M, et al. Diagnostic Accuracy of an Optimised AC Impedance Device to Aid Caries Detection and Monitoring. *Caries Res* 2008; 42: 211

Pitts N, Longbottom C, Ricketts D, Czajczynska-Waszkiwicz A, 2008: Hidden Dentinal Caries Detection Using a Novel Electrical Impedance Device. <https://iadr.confex.com/iadr/2008Toronto/techprogramforcd/A108999.htm> (Zugriffsdatum: 12.03.2013)

Poorterman J, Aartman I, Kalsbeek H. Underestimation of the prevalence of approximal caries and inadequate restorations in a clinical epidemiological study. *Community Dent Oral Epidemiol* 1999; 331-337

Poorterman J, Aartman I, Kieft J, Kalsbeek H. Value of bite-wing radiographs in a clinical epidemiological study and their effect on the DMFS index. *Caries Res* 2000; 34: 159-163

Pretty I, Maupomé G. A closer look at diagnosis in clinical dental practice: part 5. Emerging technologies for caries detection and diagnosis. *J Can Dent Assoc* 2004; 70: 540

Raper H. A new kind of x-ray examination for preventive dentistry. *Int J Orthod Oral Surg* 1925; 76-78

Ricketts D, Kidd E, Weerheijm K, de Soet H. Hidden caries: what is it? Does it exist? Does it matter? *Int Dent J* 1997; 47: 259 - 265

Ricketts D, Kidd E, Willson R. A reevaluation of electrical resistance measurements for the diagnosis of occlusal caries. *Br Dent J* 1995; 178: 11-17

Ricketts D, Watson T, Liepin P, Kidd E. A comparison of two histological validating techniques for occlusal caries. *J Dent* 1998; 26: 89-96

Rieben A, Kielbassa A. Diagnostik in der Karies und Parodontitisprophylaxe. *Dent Hyg J* 2007; 2: 6-10

Rodrigues J, Hug I, Diniz M, Lussi A. Performance of fluorescence methods, radiographic examination and ICDAS-II on occlusal surfaces in vitro. *Caries Res* 2008; 42: 297-304

Schneidermann A, Elbaum M, Shultz T, Greenebaum M, Driller J. Assessment of dental caries with digital imaging fibre optic transillumination (DIFOTI): in vitro study. *Caries Res* 1997; 31: 103-110

Schröder H. *Orale Strukturbiologie*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag, 1992

Schröder H. *Pathobiologie oraler Strukturen*. Basel: Karger, 1997

Sheehy E, Brailsford D, Kidd E, Beighton D, Zoiopoulos L. Comparison between visual examination and a laser fluorescence system for in-vivo diagnosis of occlusal caries. *Caries Res* 2001; 35: 421-426

Shellis R, Hallsworth A, Kirkham J, Robinson C. Organic material and the optical properties of the dark zone in caries lesions of enamel. *Eur J Oral Sci* 2002; 110: 392-395

Shellis R, Hallsworth A. The use of scanning electron microscopy in studying enamel caries. *Scanning Microsc* 1987; 1109-1123

Silverstone LM, Hicks MJ, Featherstone MJ. Dynamic factors affecting lesion initiation and progression in human dental enamel. The dynamic nature of enamel caries Part I. *Quintessenz* 1988; 10: 683

Silverstone L. Structure of carious enamel, including the early lesion. *Oral Sci Rev* 1973; 100-160

Smilie A. The chemistry of the organic phase of teeth. In: Zipkin I. *Biological Mineralization* New York: Wiley, 1973: 139-163

Steiner M, Bühlmann S, Menghini G, Imfeld C, Imfeld T. Caries risks and appropriate intervals between bitewing X-ray examinations in schoolchildren. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 2011; 121: 12-24

Stockleben C. Kariesdiagnostik und Therapie. *Dental Magazin* 2007; 6: 22-30

Stübel H. Die Fluoreszenz tierischer Gewebe im ultra-violetten Licht. *Pfluegers Arch Ges Physiol* 1911; 142: 1-14

Theilade E, Birkhed D. Diet and dental caries. In: Thystrup A, Fejerskov O. *Textbook of cariology*. Copenhagen: Munksgaard, 1986: 30-31

Thoms M. Detection of intraoral lesions using a fluorescence camera. *Proc SPIE* 2006; 12: 1-7

Weatherell J, Robinson C. The inorganic composition of teeth. In: Zipkin I. *Biologic Mineralization*. New York: Wiley, 1973: 89-92

Weiss E, Tzohart A, Kaffee I, Littner M, Gelernter I, Eli I. Interpretation of bitewing radiographs. Part 2 – Evaluation of the size of approximal lesions and need for treatment. J Dent 1996; 24 385-388

WHO. Oral health surveys, basic methods. Geneva: WHO Press, 1997

Wicht M, Haak R, Noack J. Wann sollte eine kariöse Läsion invasiv therapiert werden und wann sind prophylaktische Maßnahmen ausreichend? Quintessenz J 2008; 59: 1267-1276

Young D. New caries detection technologies and modern caries management: merging the strategies. Gen Dent 2002; 50: 320-331

Zadik Y, Bechor R. Hidden occlusal caries: challenge for the dentist. NY State Dent J 2008; 74: 46-50

Zandona A, Al-Shiha S, Eggertsson H, Eckert G. Study versus Faculty Performance Using a new visual criteria for the detection of caries on occlusal surfaces: an in-vitro study with histological validation. Operative Dent 2009; 34: 589-604

Zeisler M, Moschen I, 2005: Die Lichtsonde zur Kariesdiagnostik. http://www.uptodent-digital.de/fileadmin/user_upload/pdf/sonstige/lercher_lichtsonde.pdf
(Zugriffsdatum: 12.03.2014)

Zöfel P. Statistik verstehen. München: Addison-Wesley Verlag, 2002

9. Danksagungen

Mein besonderer Dank gilt meinem Doktorvater, Prof. Dr. Andreas Braun, der mir die Durchführung dieser Arbeit ermöglichte, mir stets mit Rat und Tat zur Seite stand und mich durch seine schnelle Bearbeitung von Fragen und Korrekturen unglaublich unterstützte.

Ebenso danke ich Frau Cieslak, die mir durch ihre kompetenten und hilfreichen Tipps, die Fertigstellung dieser Arbeit erheblich erleichterte.

Ich möchte mich bei allen Mitarbeitern der Zahnarztgruppe des Fachsanitätszentrums Bonn, insbesondere bei Frau Flottillenarzt Schilde-Schmidt und Herrn Oberstarzt Dr. Schelleis, für die großartige Unterstützung während meiner dissertationsrelevanten Famulaturen bedanken.

Ebenso möchte ich mich bei Dr. Angelo Liuzzi und seinem Team für die schönen und produktiven Tage in seiner Praxis bedanken.

Ich danke meinen Eltern für ihre liebevollen, energischen und unermüdlichen Motivationskünste.

Vielen Dank an Christian für die schlaflosen Nächte während der Korrektur.

Auch Lars danke ich dafür, dass ich zu jeder Tag- und Nachtzeit auf einen Kaffee willkommen war/bin.

Zuletzt danke ich meiner lieben Frau Meike, die durch ihre Fürsorge und ihr Verständnis ein immerwährender Anker während der Erstellung dieser Dissertation war.