

Aus der Poliklinik für Zahnerhaltung und Parodontologie  
der Ludwig-Maximilians-Universität München  
Direktor: Prof. Dr. med. dent. Reinhard Hickel

---

Mikrocomputertomografische Validierung des universellen  
visuellen Scoring Systems (UniViSS) zur  
Okklusalkariesdiagnostik

Dissertation  
zum Erwerb des Doktorgrades der Zahnheilkunde  
an der Medizinischen Fakultät der  
Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von  
Matthias Galler

aus  
Eggenfelden

2011

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät  
der Universität München

Berichterstatter: Priv. Doz. Dr. med. dent. Jan Kühnisch

Mitberichterstatter: Prof. Dr. Daniel Edelhoff

Priv. Doz. Dr. Dr. Christoph Pautke

Dekan: Prof. Dr. med. Dr. h.c. M. Reiser FACR, FRCR

Tag der mündlichen Prüfung: 26.07.2011

## Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis .....</b>	<b>1</b>
<b>1. Einleitung und Literaturübersicht.....</b>	<b>1</b>
1.1. Klinisches Erscheinungsbild der Karies .....	1
1.2. Okklusalkariesdiagnostik .....	5
1.2.1. Allgemeine Anforderungen .....	5
1.2.2. Visuelle Okklusalkariesdiagnostik.....	7
1.2.3. Universelles Visuelles Scoring System (UniViSS) .....	10
1.2.4. Röntgenologische Okklusalkariesdiagnostik.....	11
1.2.5. Klinisch-röntgenologische Okklusalkariesdiagnostik .....	12
1.3 Validierung kariesdiagnostischer Verfahren .....	12
<b>2. Zielstellung .....</b>	<b>16</b>
<b>3. Material und Methoden .....</b>	<b>17</b>
3.1 Untersuchungsmaterial.....	17
3.2 Visuelle Kariesdiagnostik.....	18
3.2.1 Methode des Universellen Visuellen Scoring Systems.....	18
3.2.2 Festlegung der Konsensdiagnose zur Validierung von UniViSS .....	19
3.3 Röntgenologische Kariesdiagnostik.....	21
3.3.1 Herstellung der Röntgenbilder .....	21
3.3.2 Auswertung der Röntgenbilder .....	22
3.4 Validierung.....	25
3.4.1 Probenaufbereitung und Visualisierung der Kariesausdehnung .....	25
3.4.2 Auswertung und Quantifizierung der Kariesausdehnung.....	28
3.5 Statistik .....	32
<b>4. Ergebnisse.....</b>	<b>35</b>
4.1 Basisbefunde zum Untersuchungsmaterial .....	35
4.2 Diagnostische Güte der visuellen Kariesdiagnostik .....	37
4.3 Güte der röntgenologischen Diagnostik.....	43

4.4	Güte der visuell-röntgenologischen Diagnostik.....	46
<b>5.</b>	<b>Diskussion.....</b>	<b>52</b>
5.1	Methodische Überlegungen.....	52
5.2	Validierung visuelle Diagnostik (UniViSS) .....	54
5.3	Güte der röntgenologischen Dentinkariesdiagnostik .....	56
5.4	Güte der visuell-röntgenologische Okklusalkariesdiagnostik .....	57
5.5	Behandlungsempfehlungen zur Okklusalkaries unter Verwendung von UniViSS .....	59
<b>6.</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>62</b>
<b>Literaturverzeichnis .....</b>		<b>III</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>		<b>XII</b>

## **1. Einleitung und Literaturübersicht**

### **1.1. Klinisches Erscheinungsbild der Karies**

In den letzten Jahrzehnten kam es in den entwickelten Ländern bei Kindern und Jugendlichen zu einem stetigen Kariesrückgang [Petersson 1996; Marthaler 2004], welcher bis in die Gegenwart fort dauert und auch für Deutschland nachgewiesen wurde [Micheelis 2006, Schiffner et al. 2009]. Aktuelle Ergebnisse aus der Vierten Deutschen Mundgesundheitsstudie registrierten einen DMFT-Wert von nur 0.7 kariös betroffenen Zähnen [Micheelis 2006]. Etwa 25 Jahre zuvor wurde in der Bundesrepublik Deutschland noch ein Kariesbefall von knapp sieben betroffenen Zähnen beobachtet [Naujoks und Hüllebrand 1985]. Als wesentliche Ursachen für diesen Trend können an dieser Stelle folgende Aspekte genannt werden:

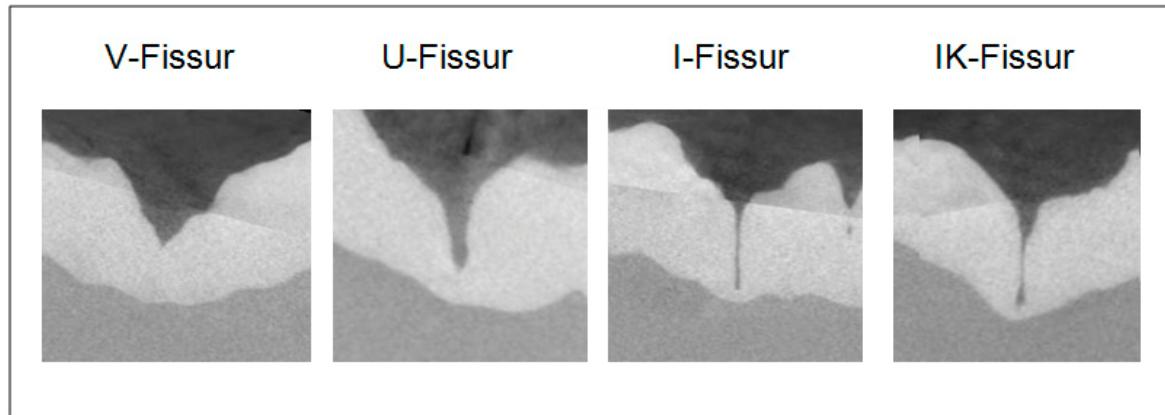
1. Die Verfügbarkeit und hohe Akzeptanz fluoridhaltiger Zahnpasten trug maßgeblich zum Kariesrückgang bei [Marinho et al. 2003a; Nyvad et al. 2003; Gültzow et al. 2005; Twetman 2009a; Walsh et al. 2010]. Seit Einführung der Fluoridzahnpasten in den 80iger Jahren nahm deren Gebrauch sprunghaft zu und parallel dazu konnte eine Kariesreduktion vor allem in kindlichen und jugendlichen Populationen beobachtet werden [Walsh et al. 2010].
2. Neben fluoridhaltigen Zahnpasten sind weitere Applikationsformen von Fluoriden zu nennen. So trugen systemische Fluoridierungsmaßnahmen wie z.B. die Salz- und Tablettenflouridierung und ebenso lokal wirksame Zahnpflegeprodukte wie z.B. fluoridhaltige Lacke, Gele, Mundspülösungen zum Kariesrückgang bei [Marinho et al. 2002a, b; Marinho et al. 2003b; Gültzow et al. 2005].
3. Mit dem wissenschaftlichen Nachweis der hohen Bedeutung von fluoridhaltigen Zahnpasten als auch der damit korrespondierenden täglichen Mundhygiene veränderte sich das Mundhygienebewusstseins und –verhalten [Bratthall et al. 1996]. Mit dem Wissen um das Potential einer adäquaten Mundhygiene wurden unterschiedliche Programme im Kindes- und Jugendalter initiiert, mit welchen es gelang, die Zahngesundheit weiter zu verbessern [Tolvanen et al. 2009; Meyer et al. 2009; Garbin et al. 2009].

4. Eine wesentlichen Beitrag zur Kariesreduktion leistete die Fissuren- und Grübchenversiegelung als flächenspezifische Präventionsmaßnahme [Ahovuo-Saloranta et al. 2008; Kühnisch et al. 2010a].
5. Des Weiteren wurde der beobachtete Kariesrückgang von einem besseren Wissen über ein zahngesundes Ernährungsverhalten begleitet. So ist das kariogene Potenzial von zuckerhaltigen Nahrungsmitteln unbestritten und eine zahngesunde Ernährung essenzieller Bestandteil zahnärztlicher Präventivbemühungen [Palacios et al. 2009; Feldens et al. 2010].
6. Der Gebrauch von Zuckeraustausch- und Zuckerersatzstoffen ist mit der Reduktion von Zuckerimpulsen verbunden und kann daher als weiterer Baustein kariespräventiver Bemühungen angesehen werden. Allerdings wird der Beitrag zur Kariesreduktion aus wissenschaftlicher Sicht mitunter kontrovers diskutiert [Deshpande et al. 2008; Twetman 2009b; Campus et al. 2009; Mäkinen 2010].
7. Als ein weiterer Einflussfaktor auf die beobachtete Kariesreduktion wird auch der Antibiotikaeinsatz in der Medizin diskutiert [Gibbons 1996; Birkeland et al. 2000].

Mit der verstärkten Hinwendung zu einer präventionsorientierten Zahnmedizin und dem damit verbundenen Kariesrückgang veränderte sich auch das klinische Erscheinungsbild der Karies. Parallel zur Häufigkeitsabnahme von Kavitationen wurde eine Zunahme nicht-kaviterter kariöser Läsionen (Synonyme: Initialkaries, beginnende Karies, White Spot Lesions) beobachtet. Klinisch bedeutsam ist die zu diagnostizierende Anzahl an Kariesvorstufen an den Okklusal-, Approximal- und Glattflächen der Zähne. Bis in das zweite Lebensjahrzehnt hinein stellen die okklusalen Fissuren und bukkalen/ palatalen Grübchen die am häufigsten von einer Initialläsion betroffenen Lokalisationen dar [Kühnisch et al. 2001, 2003, 2008]. Zu begründen ist die Kariesanfälligkeit von Fissuren und Grübchen mit einer erhöhten, anatomisch bedingte Plaqueretention aufgrund der in der Regel engen Fissurenmorphologie (Abb. 1), einer teilweise sehr geringen Schmelzdicke im Fissurenfundus [Rohr et al. 1991] und einer langen Eruptionszeit bis zum Erreichen der Kauebene [Carvalho et al. 1989, 1992]. Zudem ist die

kariesprotektive Flouridwirkung in der Fissur begrenzt, da eine Penetration in die Tiefe des Fundus nahezu unmöglich ist [Pearce et al. 1999].

Abb. 1: Fissurenmorphologie Typen.



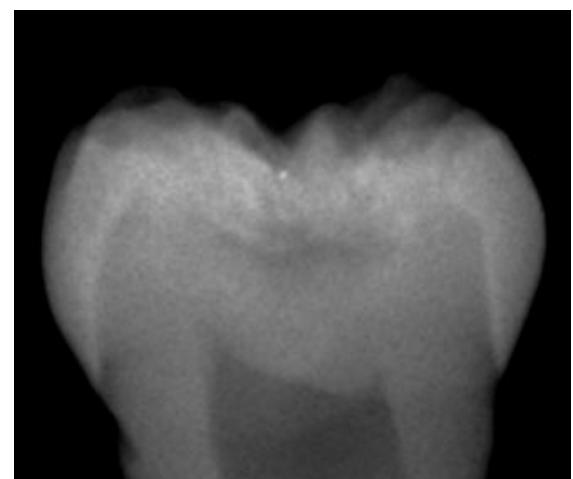
In Abhängigkeit des Alters konzentriert sich der Kariesbefall auf verschiedene Zähne und Zahnoberflächen. In der bleibenden Dentition sind jenseits des sechsten Lebensjahrs zunächst mehrheitlich die Okklusalflächen der ersten Molaren betroffen. Ab dem zwölften Lebensjahr kommen die Okklusalflächen der zweiten Molaren als weitere Risikofläche hinzu [Hanningan et al. 2000; Kühnisch et al. 2001, 2003; Batchelor et al. 2004]. Beginnend mit dem 13./ 14. Lebensjahr treten dann vermehrt Approximalläsionen auf [Hanningan et al. 2000].

Nicht kavitierte kariöse Läsionen im Fissuren und Grübchensystem insbesondere an Molaren besitzen ein äußerst mannigfaltiges Erscheinungsbild. Dieses reicht von diskreten, erst nach Lufttrocknung sichtbaren, Verfärbungen [Ekstrand et al. 1997] über etablierte Läsionen, welche schon ohne Lufttrocknung erkennbar sind, bis hin zu Mikrokavitäten [Nyvad 1999; Ekstrand et al. 1997,1998; Kühnisch et al. 2009a; Topping und Pitts 2009]. Die Schwierigkeit besteht hauptsächlich in der klinischen Evaluierung, inwieweit das vorhandene Läsionsmuster mit einem bestimmten Kariesprogressionsstadium assoziiert ist. Die Kariesprogression wiederum beeinflusst maßgeblich die zu treffende Präventions- bzw. Therapieentscheidung.

Aus diagnostischer Sicht ist hervorzuheben, dass an den Okklusalflächen weniger die Erfassung (Detektion) kariöser Läsionen im Vordergrund steht, sondern viel mehr die Diagnostik einer Dentinläsion bzw. in zweiter Instanz die Entscheidung

zu fällen ist, welche Fissuren zu restaurieren sind. Im Vergleich dazu gelingt an den Approximalflächen weder die Detektion, noch die konkrete Diagnostik der Kariesextension mit der alleinigen klinischen Untersuchung. Bei der Kariesdiagnostik stellt sich daher die Frage nach diagnostischen Grenzwerten. Aus therapeutischer Sicht ist es ein wesentlicher Unterschied, ob eine Schmelzkaries, eine Dentinkaries oder eine fortgeschrittene Dentinkaries diagnostiziert wird. Eine diagnostische Herausforderung stellt dabei die Identifikation von Läsionen dar, welche unter einer offensichtlich intakten Okklusalfläche bereits weit in das Dentin fortgeschritten sind. Dieses Phänomen „versteckter“ Dentinläsionen ist seit den 80er Jahren in der Literatur als „hidden caries“ beschrieben [Weerheijm 1992, 1997; Zadik und Bechor 2008]. Laut Ricketts et al. [1997] ist darunter eine Dentinkaries zu verstehen, die nur klinisch-röntgenologisch zu diagnostizieren ist (Abb. 2). Für Deutschland liegen zu dieser Problematik gegenwärtig nur Zahlen aus einer Untersuchung vor, welche an lediglich 11% aller Molaren bei 15-Jährigen eine klinisch-röntgenologisch nachweisbare Dentinlasion auffand [Heinrich-Weltzien et al. 2001]. Hier ist zu ergänzen, dass bereits etwa 80% aller anderen Molaren an den Okklusalflächen gefüllt waren, wodurch sich die oben genannte Häufigkeit relativiert. Europäische Untersuchungen zeigten, dass bei Jugendlichen zwischen dem 12. und 20. Lebensjahr an bis zu 50% aller Molaren verdeckte Okklusalläsionen mittels Bissflügelröntgenaufnahmen diagnostiziert werden konnten [Creanor et al. 1990, Weerheijm et al. 1992]. Unter Berücksichtigung der genannten Häufigkeiten stellt die Okklusalkariesdiagnostik eine durch den Zahnarzt oft zu lösende Aufgabe dar.

Abb. 2: Klinisch-röntgenologisches Beispiel einer „versteckten“ Karies. Während das klinische Bild lediglich eine Verfärbung offenbart, zeigt das Röntgenbild eine deutlich in das Dentin fortgeschrittene Karies (D3-Stadium).



Mit Verweis auf den dokumentierten Kariesrückgang [Micheelis 2006, Schiffner et al. 2009], der weiteren Zunahme des Kariesbefalls mit steigendem Lebensalter [Mejäre et al. 2004; Micheelis 2006] und der registrierten Häufigkeit nicht-kaviterter kariöser Läsionen in kindlichen und jugendlichen Altersgruppen [Kühnisch et al. 2003, 2008] bleibt zu diskutieren, inwieweit der Kariesrückgang auch langfristig nachweisbar bleibt oder nicht Zeichen einer verlangsamten Kariesprogression ist. Im letzteren Fall ist von einer Verschiebung des Kariesbefalls auf spätere Lebensabschnitte und somit auch vom Persistieren initialer Läsionen über Jahre auszugehen. Während dieser Zeit stellt das Vorkommen nicht-kaviterter kariöser Läsionen – insbesondere an okklusalen Fissuren und bukkalen/ palatalen Grübchen – an sich ein nicht unerhebliches diagnostisches Problem dar.

## **1.2. Okkluskariesdiagnostik**

### **1.2.1. Allgemeine Anforderungen**

Im Sinne einer präventiv orientierten Zahnheilkunde sind im Vergleich zu dem früheren, ausschließlich restaurativ ausgerichteten Ansatz kariöse Veränderungen bereits im Frühstadium zu diagnostizieren und zu betreuen. Daher ist die frühzeitige Erfassung kariöser Läsionen auf dem Schmelzkariesniveau unerlässlich [Pitts 2004; Pitts und Stamm 2004], um adäquate Präventionsmaßnahmen ergreifen zu können. Dies erfordert eine sensitive Erfassung kariöser Läsionen unter Einschluss der ebenso frequent vorkommenden nicht-kavitierten kariösen Läsionen. In zweiter Instanz ist der Zahnarzt gefordert, restaurationsbedürftige Läsionen zu diagnostizieren. Unabhängig von der gegenwärtig offenen Frage, in welchem Progressionsstadium eine Karies restauriert werden soll, wird das Vorhandensein einer Dentinkaries nachgewor als wichtiger Indikator angesehen. So stellt die sichere Dentinkariesdiagnostik eine weitere wichtige Anforderung dar.

Kariesdiagnostikmethoden sollten sich weiterhin durch Non-Invasivität, beliebig häufige Wiederholbarkeit, einer hohen Validität (Übereinstimmung der Diagnose mit der tatsächlichen Kariesprogression) und Reproduzierbarkeit (Verlässlichkeit der Diagnoseerhebung) sowie einer Quantifizierbarkeit der erhobenen Befunde

auszeichnen [Pitts und Stamm 2004]. Nachrangig sind die einfache Durchführung, ein möglichst geringer technischer sowie finanzieller Aufwand von Vorteil.

In der jüngeren Vergangenheit wurden neben der visuellen und röntgenologischen Untersuchung weitere neue Technologien zur Kariesdiagnostik vorgestellt. Hier ist auf die elektrische Widerstandsmessung sowie die lichtoptischen Verfahren (Laserfloureszenzmessung, Quantitative Lichtinduzierte Fluoreszenzmessung) hinzuweisen. Der elektrischen Widerstandsmessung wurde für den Einsatz an nicht-kavitierten kariösen Okklusalläsionen eine nicht ausreichende Datenbasis attestiert [Longbottom und Huysmans 2004; Kühnisch et al. 2006a]. Inwiefern sich die identifizierten Nachteile vorliegender Untersuchungen durch die Verwendung der AC-Impedanzspektroskopie (CarieScan<sup>TM</sup>; CarieScan Limited, Dundee, Großbritannien) eliminieren lassen bleibt abzuwarten. Auch konnten die lichtoptischen Verfahren ihr Potential zur Okklusalkariesdiagnostik bislang nicht vollständig ausschöpfen. Für die Laserfloureszenzmessung wurden zufriedenstellende Güteparameter dokumentiert [Lussi et al. 2004], für die klinisch standardisierte Bedingungen zur Messwerterhebung zu erfüllen sind. Selbst unter optimalen In-vitro-Bedingungen sind nicht unerhebliche Messwertschwankungen beobachtet worden [Kühnisch et al. 2004], die unter klinischen Bedingungen weitaus größer ausfallen dürften. Es limitiert sich der Gebrauch insbesondere auch für ein Kariesmonitoring [Souza-Zaroni et al. 2006]. Zudem wird aufgrund des rapiden Verfalls der Fluoreszenz bei der antibakteriellen Lagerung von Zahnmaterial [Francescut et al. 2006] die Durchführung von In-vitro-Studien negativ beeinflusst. Das Potential der quantitativen lichtinduzierten Floureszenzmessung beschränkt sich derzeit auf Glattflächen des Zahnes [Kühnisch und Heinrich-Weltzien 2004; Kühnisch et al. 2006b]. Die wenigen Studien an Okklusalflächen [Kühnisch et al. 2007c] legen in Zusammenhang mit dem aufwändigen Procedere eine eingeschränkte klinische Eignung nahe. Vor dem Hintergrund, dass alternative Verfahren nicht zu einem spürbaren Quantensprung in der Okklusalkariesdiagnostik beitragen konnten, hat in den vergangenen Jahren insbesondere die (visuelle) klinische Diagnostik wieder an Bedeutung gewonnen. Daher fokussiert die vorliegende Dissertationsschrift auf die Bewertung der visuellen und röntgenologischen Okklusalkariesdiagnostik.

### **1.2.2. Visuelle Okklusalkariesdiagnostik**

Die visuell-taktile Untersuchung mit der spitzen zahnärztlichen Sonde galt lange Zeit als Methode der Wahl zur Detektion und Diagnostik kariöser Läsionen. Diese Untersuchungsform ist jedoch als subjektiv einzuschätzen und führt zu ungenauen Ergebnissen [Lussi 1991; le und Verdonschot 1994; Neuhaus et al. 2009]. Zudem ist die Detektion einer „hidden caries“ [Lussi 1991, Penning 1992] durch die Sondierung bzw. taktile Oberflächenbewertung nicht möglich. Neben der ungenügenden diagnostischen Güte ist auf die Invasivität der Sondierung zu hinzuweisen, da mit der spitzen Sonde Verletzungen der oberflächlichen Schmelzschicht – insbesondere an remineralisierbaren Initialläsionen – herbeigeführt werden können [Ekstrand et al. 1987; Kühnisch et al. 2007a]. Daher ist aus heutiger Sicht die Untersuchung mit der spitzen zahnärztlichen Sonde abzulehnen [Kühnisch et al. 2007a]. Als Alternative wird die rein visuelle Untersuchung unter Gebrauch einer allenfalls stumpfen bzw. abgerundeten CPI-Sonde von gereinigten und getrockneten Zahnoberflächen empfohlen [WHO 1997; Kühnisch 2007c, 2009a].

Als differenzierte visuelle Untersuchungssysteme, welche die oben genannten Anforderungen erfüllen, wurden die Kriterien von Ekstrand et al. [1997; 1998], die Kriterien von Nyvad [1999], das International Caries Detection and Assessment System (ICDAS) [Topping und Pitts 2009; ICDAS] und das Universelle Visuelle Scoring System (UniViSS) [Kühnisch et al. 2009a, 2010b] vorgeschlagen.

Das erste visuelle Diagnostiksystem, das zu einer deutlichen Verbesserung der diagnostischen Güte führte, wurde von Ekstrand et al. [1997] vorgeschlagen. Dieses bezog vor allem auch erste sichtbare Zeichen des kariösen Prozesses mit ein. Dies sind auf der Okklusalfläche kreidige, oftmals erst im trockenen Zustand sichtbare Opazitäten. Die deutlich unterschiedliche Sichtbarkeit von initialen Schmelzläsionen im trockenen bzw. feuchten Zustand beruht auf einer Verschiebung des Brechungsexponenten durch Trocknung von 1.3 bis 1.6 auf 1.0 [Thylstrup und Fejerskov 1994]. Darüber hinaus berücksichtigten Ekstrand et al. [1997] nicht-kavitierte Braunverfärbungen, welche im Kindes und Jugendalter häufig anzutreffen sind [Kühnisch et al. 2001, 2008]. Manifeste Ausprägungen stellen Mikrokavitäten und Kavitationen dar. In diesen Fällen ist bereits von einer Dentinkaries auszugehen [Wenzel und Fejerskov 1992]. Die Gesamtheit dieser

Kariesstadien wurden von Ekstrand systematisiert und als aufsteigender Kriterienkatalog zur visuellen Erfassung der Okklusalkaries publiziert [Ekstrand et al. 1997, 1998, 2001]. Zur Anwendung dieses Systems ist die gereinigte, plaquefreie Zahnoberfläche sowie die Lufttrocknung Voraussetzung. Auf die Sondierung wird verzichtet. Mit diesem System wurde es ermöglicht, Läsionen frühzeitig zu erkennen [Ekstrand et al. 1998]. Die Kriterien nach Ekstrand sind aus heutiger Sicht als eine wesentliche Verbesserung der visuellen Diagnostik anzusehen. Ergebnisse zur Validität und Reproduzierbarkeit dokumentierten gute Ergebnisse [Côrtes et al. 2003; Wolwacz et al. 2004; Angnes et al. 2005; Dunkley und Ashley 2007; Abalos et al. 2009].

Kurz nach der Publikation der Ekstrand-Kriterien stellte Nyvad [1999] ein weiteres visuell basiertes Diagnostiksystem zur Unterscheidung aktiver und inaktiver kariöser Prozesse bzw. zur Vorhersage des weiteren Voranschreitens [2003] vor. Eine wesentliche Neuerung stellte hier der Aspekt der Aktivität dar.

Im Jahr 2005 wurde von Kariologen das ICDAS erarbeitet und wenig später durch das ICDAS II aktualisiert [Topping und Pitts 2009; ICDAS]. Die ICDAS-Methodik stellt im Wesentlichen eine Weiterentwicklung der Kriterien nach Ekstrand [Ekstrand et al. 1997, 1998, 2001] und der Arbeiten von Nyvad [1999] dar. Zielsetzung dieses Systems ist eine möglichst einfache Kariesdetektion mit wenigen Kriterien vorzunehmen [Ismail et al. 2007; Ekstrand et al. 2007]. Zu dieser Methode wurden seither einige Studien zur Validität an der permanenten Dentition [Ekstrand et al. 2007; Rodrigues et al. 2008b; Jablonski-Momeni et al. 2008; Diniz et al. 2009; Jablonski-Momeni et al. 2009, 2010a,b] wie auch an Milchmolaren [Rodrigues et al. 2008a; Braga et al. 2009; Shoaib et al. 2009, Neuhaus et al. 2010] durchgeführt. Eine erste Arbeit zur Aktivitätsbeurteilung mit ICDAS wurde von Braga et al. [2009] veröffentlicht. Die diagnostische Güte des ICDAS II ist in diesem Zusammenhang als gut einzuschätzen.

Wesentliche Kennzeichen dieser Verfahren sind zufriedenstellende Az-(ROC)Werte ( $>0.75$ ) sowie eine hohe Spezifität (SP). Demgegenüber gelingt die korrekte Erfassung von Dentinläsionen nicht immer zufriedenstellend. Als Begründung hierfür ist die schwierige Klassifikation von Dentinläsionen nahe der Schmelz-Dentin-Grenze zu nennen. Eine Literaturübersicht zur visuellen Okklusalkariesdiagnostik ist in Tabelle (Tab. 1) zusammengefasst.

Tab. 1: Ergebnisse des systematischen Literaturüberblicks zur Validität visueller Okklusalkariesdiagnostik (in vitro, permanente Dentition, differenzierte Diagnostikkriterien).

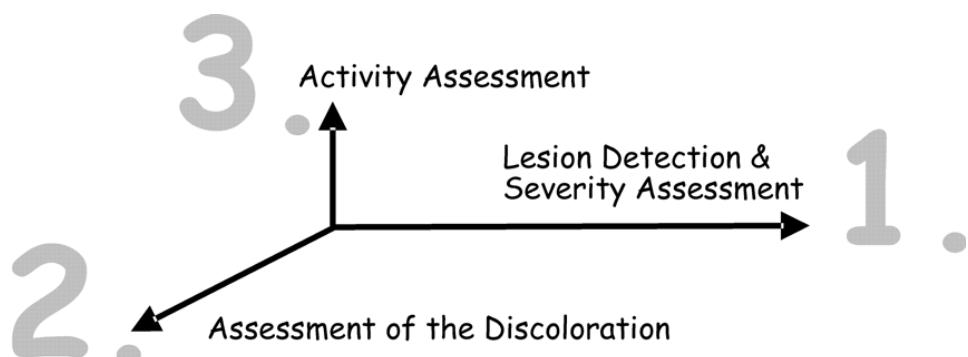
Visuell Studie	Studienmaterial		Validität				Az (ROC)	
	Zahn- zahl	Molaren/ PM	D1-4-Niveau		D3-4-Niveau			
			SE	SP	SE	SP		
Ekstrand et al. [1997] <sup>2,3</sup>	100	80 / 20	- <sup>7</sup>					
Ashley et al. [1998] <sup>1</sup>	103	35 / 68	0.60	0.73	0.24	0.97	-	
Huysmans et al. [1998]	107	k.A.	-	-	0.27	1.00	-	
Pereira et al. [2001]	101	101 / -	0.92	0.54	0.17/ 0.70	0.97/ 0.99	0.78/ 0.77	
Cortes et al. [2003] <sup>1,2</sup>	111	111 / -	0.98	0.38	0.55	0.90	0.83 - 0.88	
Reis et al. [2004] <sup>2,3</sup>	45	k.A.	-	-	0.69	0.88	0.85	
Burin et al. [2005] <sup>1,2,3</sup>	54	k.A.	-	-	-	-	0.78 - 0.84	
Souza-Zaroni et al. [2006]	47	47 / -	0.42 - 0.61	0.69 - 0.93	-	-	-	
Rodrigues et al. [2008a]	117	117 / -	0.97	0.40	0.30	0.98	0.75	
Rodrigues et al. [2008b] <sup>5</sup>	119	119 / -	-	-	0.73	0.65	0.75	
Jablonski-M. et al. [2008] <sup>5</sup>	93 <sup>6</sup>	85 / 15	0.59 - 0.73	0.74 - 0.91	0.48 - 0.83	0.82 - 0.94	0.73 - 0.88	
Diniz et al. [2009] <sup>5</sup>	163	163 / -	0.91	0.47	0.75	0.62	0.54 - 0.73	
Jablonski-M. et al. [2009] <sup>5</sup>	148 <sup>6</sup>	85/15	0.57-0.71	0.73-0.83	0.54-0.75	0.80-0.90	0.72 - 0.86	
Pereira et al. [2009] <sup>2</sup>	96	96 / -	0.67 - 0.91	0.59 - 0.83			0.78	
Kühnisch et al. [2010b] <sup>1,4</sup>	65	65 / -	1.00	0.58	0.63	0.98	0.84 - 0.81	
Jablonski-M. et al. [2010a] <sup>5</sup>	50	48 / 2	0.95	0.85	0.81	1.00	0.94 - 0.97	
Jablonski-M. et al. [2010b] <sup>5</sup>	166 <sup>6</sup>	85/15	0.91	0.54	0.70	0.91	0.82 - 0.88	

<sup>1</sup> Studie unter Ausschluss kaviter Läsionen/ <sup>2</sup> Visuelle Kriterien von Ekstrand et al./ <sup>3</sup> Histologische Bewertung nach Ekstrand/ <sup>4</sup> Visuelle Kriterien von UniViSS/ <sup>5</sup> Visuelle Kriterien von ICDAS II / <sup>6</sup> Stellen / <sup>7</sup> Spearman Correlation Coefficient

### 1.2.3. Universelles Visuelles Scoring System (UniViSS)

Parallel zu der Entwicklung von ICDAS wurde das UniViSS [Kühnisch et al. 2007b, 2009a] als dreistufiges Detektions- und Diagnostiksystem entwickelt (siehe Abb. 3). Im Unterschied zu den bisherigen visuellen Diagnostiksystemen, die als eine aufsteigende Sequenz aus mehreren Kriterien konzipiert sind, nutzt UniViSS insgesamt drei separate Befundreihen, um das vielfältige klinische Erscheinungsbild kariöser Läsionen detailliert zu beschreiben. Dabei handelt es sich erstens um die Feststellung des Schweregrades, der zudem das Kariesdetektionsniveau reflektiert, zweitens um die Verfärbung und drittens um die Aktivität. Diese letzte Stufe, die Aktivitätsbeurteilung der kariösen Läsion, wird von den patientenbezogenen Faktoren, wie z.B. Alter, individuelles Kariesrisiko, Mundhygiene, Ernährung und Fluoridaufnahme, geprägt. Darüber hinaus sind auch läsionsabhängige Faktoren wie der Grad der Verfärbung, die Lokalisation auf der Zahnoberfläche, die An/Abwesenheit von Plaque und die oberflächliche Textur/Rauheit von Bedeutung. Als starker Indikator aktiver Läsionen müssen weiß und weiß-braun verfärbte Läsionen, eine Plaquebedeckung, eine Rauigkeit und die Lage in pliqueretentiven Gebieten in Betracht gezogen werden. Die Aktivitätsbeurteilung der Läsion kann allenfalls als Ja/Nein-Entscheidung getroffen werden. Dies ergibt einen zusammengesetzten Score (Abb. 3), der sowohl dem wissenschaftlich, epidemiologisch als auch praktisch-tätigen Zahnarzt eine möglichst präzise Kategorisierung und Beschreibung der Okkluskalkaries ermöglichen soll [Kühnisch 2007c; Kühnisch et al. 2009a].

Abb. 3: Dreistufiges Vorgehen zur Detektion und Einordnung der kariösen Läsionen mit UniViSS [Kühnisch et al. 2009a].



Bei der Auswahl der Kriterien wurde auf die Kompatibilität zu den WHO- und ICDAS-Kriterien geachtet. Das UniViSS versteht sich dabei als Ergänzung zu den etablierten WHO-Kriterien [WHO 1997] mit dem Ziel das gesamte Spektrum kariöser Läsionen zu erfassen. Die Kriterien sind für Okklusal- als auch Glattflächen identisch und sowohl im Milch- als auch im bleibenden Gebiss anwendbar [Kühnisch et al. 2009a, 2010b]. Dieses System soll die Aussagekraft der visuellen Diagnostik erhöhen. Als Standardinstrumentarium sind die CPI-Sonde und der zahnärztliche Spiegel vorauszusetzen. Die CPI-Sonde ermöglicht die metrische Differenzierung – insbesondere zwischen etablierten Läsionen und Mikrokavitäten – sowie die drucklose, taktile Untersuchung der Zahnoberfläche. Die Detektion und Dokumentation nicht-kaviterter kariöser Läsionen ist Voraussetzung für befundgerechte Therapieentscheidungen, eine Aktivitätsbeurteilung, eine Kariesrisikoabschätzung bzw. für ein Kariesmonitoring. Erste Validierungsdaten von UniViSS wurden kürzlich publiziert und zeigten zufriedenstellende Ergebnisse [Kühnisch et al. 2009a]. Für das Schmelzkariesniveau betrugen die Güteparameter SE 1.0, SP 0.58, Az-Wert 0.84. Für das Dentinkariesniveau wurde eine SE 0.63, SP 0.98 und Az-Wert 0.82 ermittelt. Da diese Pilotuntersuchung auf lediglich 65 Molaren basiert hat, ist eine weiterführende Validierung unumgänglich.

#### **1.2.4. Röntgenologische Okklusalkariesdiagnostik**

Zur Ergänzung der klinischen bzw. visuellen Okklusalkariesdiagnostik steht dem Zahnarzt die Diagnostik mit Bissflügelröntgenaufnahmen zur Verfügung. Diese kann sowohl filmbasiert als auch digital erfolgen und ist in jeder Praxis verfügbar. Neben dem Nutzen zur Erfassung okklusaler Dentinläsionen sind eine Detektion bzw. Diagnostik von Approximalläsionen sowie ein Kariesmonitoring möglich [Espelid et al. 2003, Kühnisch et al. 2009b]. Allerdings ist die röntgenologische Untersuchung aus Gründen des Strahlenschutzes nicht beliebig oft wiederholbar. Der Gesetzgeber in Deutschland fordert mit dem §23 der Röntgenverordnung (RöV) ausdrücklich die Formulierung rechtfertigernder Indikationen als auch die Prüfung des Nutzens vor Anwendung ionisierender Strahlen zu diagnostischen Zwecken.

Zu den immer häufiger verwendeten digitalen Röntgensystemen liegt insgesamt nur wenig Datenmaterial aus Untersuchungen vor, welche im Wesentlichen eine geringe SE jedoch eine hohe SP wiederspiegeln [Hintze und Wenzel 2002; Wenzel 2006; Kühnisch et al. 2009b]. Für die Untersuchung eines digitalen Sensor-Systems mit der Validierungsmethode  $\mu$ CT konnte beispielsweise eine SE von 0.64 und eine SP von 0.90 ermittelt werden [Young et al. 2009]. Die derzeitige Datenlage legt die Notwendigkeit für weitere Untersuchungen nahe.

### **1.2.5. Klinisch-röntgenologische Okklusalkariesdiagnostik**

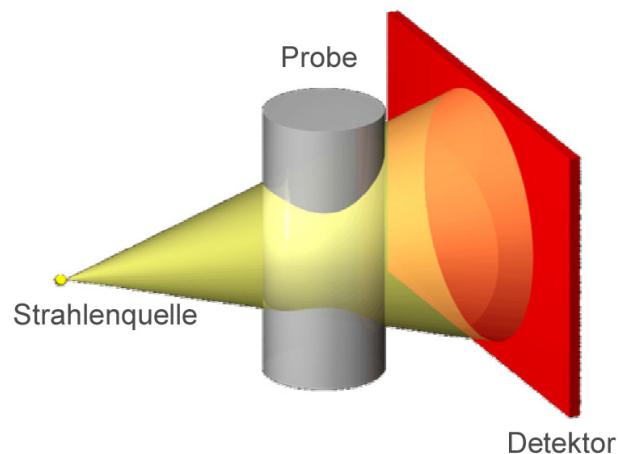
In der klinischen Praxis stellt die kombinierte klinisch-röntgenologische Untersuchung in vielen Fällen die kariesdiagnostische Untersuchung der Wahl dar. Dies ist mit zusätzlichem Informationsgewinn aus den Bissflügelaufnahmen zu begründen. Dazu zählen neben der Erfassung einer okklusalen „hidden caries“ auch die Registrierung approximaler Schmelz- und Dentinläsionen [Poorterman et al. 1999, 2003] oder einer Sekundärkaries. Vergleichbar mit der röntgenologischen Untersuchung bestätigen Studien niedrige Werte für die SE 0.49/0.47-0.54, eine hohe SP 0.99/0.82-0.88 und einem im Vergleich zu den anderen Verfahren niedrigem Az-Wert 0.72/0.76-0.78 [Souza-Zaroni et al. 2006; Valera et al. 2008]. Hier ist anzumerken, dass lediglich in einer Studie differenzierte visuelle Kriterien Verwendung fanden [Valera et al. 2008].

## **1.3 Validierung kariesdiagnostischer Verfahren**

Die traditionell genutzte Methode zur histologischen Erfassung der Kariesausdehnung umfasst verschiedene Arbeitsschritte, die methodisch mit unterschiedlichen Techniken erbracht werden können. Hierbei ist zuerst die Zahnaufbereitung zu nennen, bei der die jeweilige Probe in einzelne Schnitte bzw. Schliffe zerteilt wird. Dieser Arbeitsschritt führt unweigerlich zur Zerstörung der Zahnhartsubstanzprobe, so dass diese für spätere Überprüfungen bzw. Untersuchungen nicht mehr zur Verfügung steht. Zudem kann bei der Hemisektion nicht sicher gewährleistet werden, dass die Stelle der größten Kariesausdehnung tatsächlich erfasst wurde. Neben den genannten destruktiven Aufbereitungstechniken wurde in der Vergangenheit die Notwendigkeit deutlich, non-destruktive Techniken zu etablieren [ten Bosch und Angmar-Mansson 1991].

Diese Forderung wird derzeit nur mit der mikrocomputertomografischen Untersuchung ( $\mu$ CT) erfüllt. Obwohl für das vergleichsweise junge Validierungsverfahren noch umfangreiche Erfahrungen im Vergleich zu den etablierten Verfahren fehlen, so sind die Vorteile des  $\mu$ CT offensichtlich. Hervorzuheben sind die bislang unerreichte dreidimensionale Auflösung von  $\sim 10\mu\text{m}$  Kantenlänge pro Voxel als auch die zerstörungsfreie Probenanalyse zu nennen. Untersuchungen zum Thema Okklusalkariesdiagnostik bzw. zur Validierung eines visuellen Kariesdetektionssystems durch Mikro-Computertomografie wurden nach Kenntnis des Autors noch nicht angestellt. Die Technologie der von Hounsfield und Cormack 1972 entwickelten, Computertomografie ist aus der heutigen Medizin nicht mehr wegzudenken. Das  $\mu$ CT kann als Miniaturisierung des ursprünglichen CT-Verfahrens verstanden werden. Der technische Hauptunterschied liegt in der verkleinerten Strahlenquelle ( $5\text{-}10\mu\text{m}$  bis zu  $1\text{mm}$ ) und in der Rotierbarkeit des zu untersuchenden Objektes (Abb. 4). Diese Modifikationen erlauben letztlich die hochauflösende Untersuchung kleiner Objekte. Damit ist eine detailreiche, non-destructive Untersuchung mit bis zu mehreren hundert Schichten pro Zahnprobe möglich. Für künftige Untersuchungen sollte nach Huysmans und Longbottom [2004] das  $\mu$ CT die Validationsmethode der Wahl sein.

Abb. 4: Schematische Darstellung eines aktuellen Conebeam- $\mu$ CT ( $\mu$ CT 40; SCANCO Medical AG, Bassersdorf, Schweiz) [Luedemann 2007].



Neben Einsatzmöglichkeiten unter anderem in der Physik, Mineralogie, Paläobiologie und Physiologie [Jorgensen et al. 1998; Kalukin et al. 2000; Rossi et al. 2004] erbrachte die Literaturrecherche vergleichsweise wenige Artikel aus

dem zahnärztlichen Bereich. Bei Beginn dieser Arbeit entfiel der Hauptteil der Untersuchungen auf die Endodontie [Rhodes 1999; Oi 2004; Mannaocci 2005; Amano 2006; Lee 2006]. Weiterhin wurden Untersuchungen zu zahnärztlichen Restaurationsmaterialien [DeSantis 2005], zur dreidimensionalen Analyse der Morphologie des Zahnes [Kamegawa 2008] sowie zur Mineralkonzentration von Zähnen [Clementino-Luedemann 2006] angestellt.  $\mu$ CT-Untersuchungen am vollständigen Zahn zum Demineralisierungsprozess wurden von Dowker et al. [2003] angestellt und erste Untersuchungen zu initialen kariösen Prozessen im Schmelz von Huang [2007] veröffentlicht. In jüngster Vergangenheit wurden zahlreiche neue Arbeiten unter Verwendung der  $\mu$ CT für die Bereiche Medizin sowie die einzelnen Fachgebiete der Zahnmedizin veröffentlicht [z.B. Roshan-Ghias und Pioletti 2010; Tamminen et al. 2010; Park et al. 2010; Verma und Love 2010; Peters et al. 2010; Kana et al. 2010; Mitropoulos et al. 2010; Neves et al. 2010; Taylor et al. 2010]. Unter Verweis auf die zu Beginn der Arbeit vorliegende Literatur wird offensichtlich, dass das Potential des  $\mu$ CT zur Untersuchung von Zahnhartgewebe bis dahin nur punktuell genutzt wurde. Ziel der vorliegenden Untersuchung ist es daher, das  $\mu$ CT erstmals zur Validierung der visuellen und röntgenologischen Okklusalkariesdiagnostik einzusetzen.

Im zweiten Schritt der histologischen Probenaufbereitung erfolgt die bildliche Dokumentation der Kariesausdehnung an den histologischen Zahnhartsubstanzschnitten entweder im Durchlicht-, Auflicht- oder Polarisationsmikroskop. Als seltener genutzte Visualisierungstechnik wird die (transversale) Mikroradiografie genutzt, bei welcher mit Cu-K $\alpha$ -Röntgenstrahlen der kariöse Prozess bzw. die Demineralisation auf einem entsprechenden Röntgenfilm abgebildet wird. Bei der Verwendung eines  $\mu$ CT ist der gewonnene Datensatz Grundlage der softwarebasierten Visualisierung.

Im dritten und abschließenden Schritt der histologischen Probenaufbereitung ist die Kariesausdehnung zu registrieren. Aus kariologischer Sicht haben sich dafür die semi-quantitativen Einteilungen nach Marthaler [1966] und Ekstrand et al. [1997] etabliert. Diese ist allerdings für die Auswertung von zwei- bzw. dreidimensionalen Diagnostiksystemen, wie z.B. UniViSS, nur bedingt nutzbar. Hier müsste jedem Diagnostikwert eine der vier histologischen Kategorien zugewiesen werden. Zudem besteht die Frage, welcher Grenzwert zur

Vorhersage einer kariösen Läsion bei der Diagnostikmethode gezogen wird. Daher sollten moderne Validierungsindizes möglichst quantitative anstelle von kategorischer Daten liefern, um zudem direkte statistische Vergleiche zu ermöglichen und dabei die Kariesausdehnung möglichst exakt zu beschreiben [Kühnisch 2009a]. Diese Überlegungen führten zur Entwicklung des quantitativen Caries-Extension-Index (CE-Index) [Bücher 2008; Kühnisch et al. 2010b], einem metrischen System zur Erfassung der Kariesausdehnung. Erste positive Erfahrungen aus einer Studie liegen bereits vor [Kühnisch et al. 2010b].

## **2. Zielstellung**

Voraussetzung für den Einsatz eines neuen Diagnostiksystems ist eine hohe Validität basierend auf einer möglichst breiten Datenbasis. Für das UniViSS wie auch für die digitale Röntgenuntersuchung liegen derzeit nur vereinzelte wissenschaftliche Daten vor. Mit dem  $\mu$ CT steht überdies eine neuartige technische Validierungsmethode mit großem Zukunftspotential zur Verfügung. Daher ergeben sich für die vorliegende In-vitro-Studie zur Okklusalkariesdiagnostik folgende Zielstellungen:

1. Erfassung der Validität der visuellen Okklusalkariesdiagnostik (UniViSS) unter erstmaliger Nutzung des  $\mu$ CT als Referenzmethode.
2. Erfassung der Validität der röntgenologischen Okklusalkariesdiagnostik mit  $\mu$ CT als Referenzmethode.
3. Erfassung der Validität der visuell-röntgenologischen Okklusalkariesdiagnostik mit  $\mu$ CT als Referenzmethode.

### **3. Material und Methoden**

#### **3.1 Untersuchungsmaterial**

In die vorliegende In-vitro-Untersuchung wurden 206 gesunde bzw. kariöse Weisheitszähne eingeschlossen. Drei Zähne mussten wegen Beschädigungen ausgeschlossen werden. Die kariös veränderten Molaren bilden sowohl das Spektrum nicht-kaviterter kariöser Läsionen als auch manifester Kavitationen an der Okklusalfläche ab. Zähne mit Fissurenversiegelungen, Füllungen, approximalen und bukkalen kariösen Läsionen, sowie extraktionsbedingten Beschädigungen wurden ebenso ausgeschlossen. Die Indikation zur Extraktion aller Zähne wurde aus kieferchirurgischen bzw. kieferorthopädischen Gründen gestellt. Dies setzte immer das Einverständnis des Patienten voraus. Über die Verwendung des Zahnmaterials zu wissenschaftlichen Zwecken wurden die Patienten informiert und erklärten dazu ihre Zustimmung. Das Studienkonzept wurde der Ethikkommission der Ludwig-Maximilians-Universität München vorgelegt und von dieser befürwortet.

Im Anschluss an die Extraktion der Zähne wurden diese zur Vermeidung von Fäulnisprozessen in einer 0,02%igen natriumazidhaltigen physiologischen Kochsalzlösung (pH-Wert 7,68) gelagert. Diese wurde in regelmäßigen Abständen gewechselt. Im ersten Schritt der Probenaufbereitung wurden alle anhaftenden Gewebsreste und anorganischen Auflagerungen mit Hilfe von Küretten, Scalen und Ultraschallinstrumenten sorgsam entfernt. Nach Entfernung aller groben Ablagerungen erfolgte eine Reinigung mit einem rotierenden Bürstchen und dem Pulverstrahlgerät PROPHYflex™ (KaVo, Biberach, Deutschland) unter Verwendung von Bikarbonatpulver. Damit wurde vor allem das Okklusalrelief aller Molaren einer nicht invasiven Reinigung unterzogen, um alle verbliebenen Ablagerungen und Verfärbungen zu entfernen. Abschließend wurden die Proben in nummerierten Probenbehältern mit 0,02%iger natriumazidhaltiger physiologischer Kochsalzlösung aufbewahrt. Das antibakterielle Lagerungsmedium wurde ebenfalls in regelmäßigen Abständen gewechselt.

Vor Beginn weiterer Untersuchungen wurde das Erscheinungsbild der Okklusalfläche jeder einzelnen Probe fotografisch dokumentiert (FinePixS2Pro,

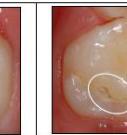
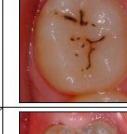
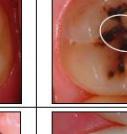
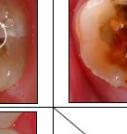
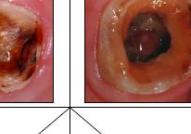
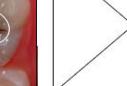
Fujifilm, Tokio, Japan; Makroobjektiv 105mm 1:28 AF Micro Nikkor, Nikon, Tokio, Japan; Blitz Macro Speedlight SB-29, Nikon, Tokio, Japan). Die einheitliche Auflösung der möglichst formatfüllenden Aufnahmen betrug 3024x2016 dpi. Die Fotodokumentation diente zur Vorbereitung und Durchführung aller weiteren Untersuchungen.

### 3.2 Visuelle Kariesdiagnostik

#### 3.2.1 Methode des Universellen Visuellen Scoring Systems

Die visuelle Diagnostik erfolgte entsprechend den Kriterien des UniViSS für Okklusalflächen [Kühnisch et al. 2009a, 2010b]. Obwohl beim UniViSS insgesamt drei Befunde (Schweregrad, Verfärbung und Aktivität) erhoben werden können, wurde auf die Aktivitätsbestimmung in der vorliegenden In-vitro-Untersuchung verzichtet. Dies begründet sich darin, dass die Diagnose der Läsionsaktivität nur unter Einbeziehung vielfältigster *klinischer* Faktoren, wie z.B. Alter, Kariesrisiko, Mundhygiene, Ernährungsverhalten und Plaquebefall der Läsion vorgenommen werden kann. Daher konzentrierte sich die vorliegende Untersuchung auf die Feststellung des Schweregrades, welcher das Kariesdetektionsniveau reflektiert, und auf die Dokumentation des Grades der Verfärbung (Abb. 5).

Abb. 5: Darstellung der Kriterien des UniViSS für Fissuren und Grübchen.

Universelles Visuelles Scoring System für Okklusalflächen (UniViSS Okklusalflächen)						
<b>Zweiter Schritt:</b> Einschätzung des Verfärbungsgrades	Erster Schritt: Läsionserkennung & Einschätzung des Schweregrades					
	Erste visuell sichtbare Zeichen	Etablierte nicht kavitierte kariöse Läsion	Mikrokavität bzw. Lokalisierte Schnelzeinbruch	Dentinexposition	Große Kavität	Pulpaeröffnung
<b>Gesunde Zahnoberfläche (Score 0)</b>	Keine kariösen bedingten Veränderungen erkennbar.					
Weiß (Score 1)						
Weiß-braun (Score 2)						
Braun (Score 3)						
Gräuliche Transluzenz des Zahnschmelzes (Score 4)	X					X

Für die Festlegung der visuellen Diagnose (Schwere- und Verfärbungsgrad) standen allen Untersuchern eine zahnärztliche Einheit mit Operationsleuchte und einer Multifunktionsspritze zur Verfügung. Letztere ermöglicht die geforderte 5-sekündige Trocknung der Zähne sowie eine (Wieder-)Befeuchtung. Zur Vermeidung einer Dehydration von Proben wurden die Untersucher angewiesen, die Zähne nur kurzzeitig aus den Probenbehältern zu entnehmen, luftzutrocknen, zu bewerten und anschließend eine umgehende Rücklagerung sicherzustellen. Die Verwendung von Vergrößerungslupen war freigestellt und orientierte sich an den Gewohnheiten der Untersucher. Spitze Sonden waren zu allen Untersuchungszeitpunkten untersagt, um eine Alteration der zu untersuchenden Oberflächen zu vermeiden [Kühnisch et al. 2007a]. Die Verwendung einer CPI Sonde PCP11.5B6 (Hu-Friedy, Chicago, USA) war jedoch als Größenreferenz zur Bestimmung insbesondere von Mikrokavitäten (Score M) obligatorisch.

Im Detail wird für jede Okklusalfläche wie folgt vorgegangen:

1. Detektion einer (nicht-)kavitierten kariösen Läsion. Dieser Schritt beinhaltet die Differenzierung zwischen gesunder Okklusalfläche bzw. einem vorhandenen kariösen Prozess. Eine Festlegung der Diagnose erfolgt in diesem Schritt noch nicht.
2. Im zweiten Arbeitsschritt erfolgt die Festlegung des Schweregrades der vorhandenen (nicht-)kavitierten kariösen Läsion über die Differenzierung in die Grade F bis P. Im Fall fraglicher UniViSS-Befunde für eine Läsion fand grundsätzlich der jeweils niedrigere Grad Verwendung.
3. Im dritten Arbeitsschritt wird der Grad der Verfärbung (Grad 1 bis 4) beurteilt.

### **3.2.2 Festlegung der Konsensdiagnose zur Validierung von UniViSS**

Zur Erhebung der Konsensdiagnose wurde vom Verfasser der vorliegenden Arbeit (MG), vom Autor des UniViSS (JK) und einem weiteren Untersucher (MS) unabhängig voneinander eine visuelle Diagnose für jede Okklusalfläche erhoben. Um inkorrekte Befunde auszuschließen wurden alle Diagnosen eine Woche später unabhängig voneinander gegengeprüft. Dies diente dem Ziel einen Konsens für jede zu untersuchende Stelle auf der Okklusalflächen zu finden.

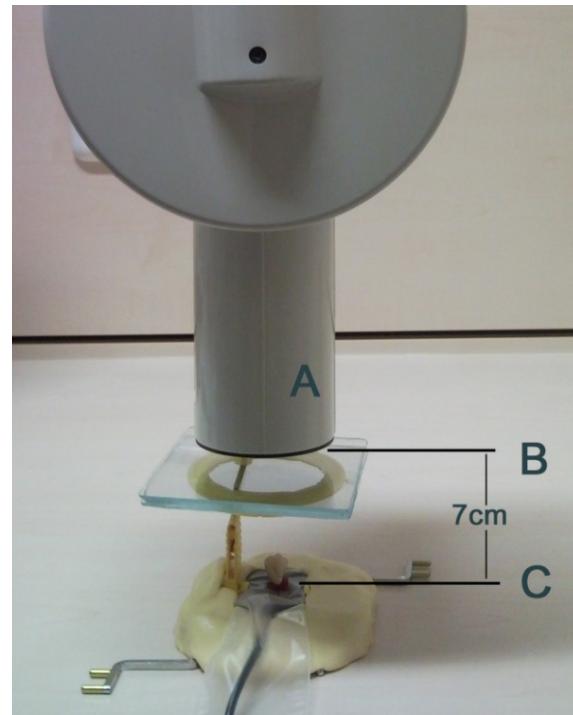
Divergierende Ergebnisse wurden von allen Untersuchern gemeinsam besprochen und abschließend eine Diagnose festgelegt. Hierbei wurden an einigen Okklusalflächen mehrere Punkte (Sites) berücksichtigt, die auf Farbfotografien der Zähne dokumentiert wurden. Dies ermöglicht eine zahnflächenbezogene (surfacespezifische) Validierung für den Vergleich mit der röntgenologischen Diagnose sowie eine punktbezogene (sitespezifische) Validierung für die visuelle Diagnose. Für die Konsensdiagnose wurde der Schwere- und Verfärbungsgrad dokumentiert.

### 3.3 Röntgenologische Kariesdiagnostik

#### 3.3.1 Herstellung der Röntgenbilder

Von jedem Zahn wurden unter standardisierten Bedingungen digitale Röntgenaufnahmen angefertigt, welche die Aufnahmebedingungen von Zahnenfilm- bzw. Bissflügelaufnahmen simulierten. Als Weichteiläquivalent wurden drei Polystyrol-Bastelglas-Platten (Otto Wolf, Düsseldorf, Deutschland) a 2mm Dicke verwendet. Es fand ein zahnärztliches Intraoral-Röntgengerät (Sirona, Bensheim, Deutschland) mit dem CCD-Sensor Intraoral II (Sensorgröße 30,7x40, 7mm; Sirona, Bensheim, Deutschland) Verwendung. Die Belichtungszeit betrug 0,06 Sekunden bei einer Kathodenspannung von 60kV und 7mA Stromstärke. Zur Erzielung eines gleichbleibenden Fokus-Objekt- und Objekt-Sensor-Abstandes wurde eine spezielle Vorrichtung angefertigt. Der Tubus-Sensor-Abstand betrug standardmäßig 7cm. Die Zähne wurden mit Hilfe von einer Silikonmasse (Optosil Heraeus, Hanau, Deutschland) so positioniert, dass der Strahlengang immer in bukko-lingualer Richtung erfolgte (siehe Bild Abb. 6).

Abb. 6: Standardisierte Vorrichtung zur Anfertigung der Röntgenbilder:  
A: Röntgenstrahler;  
B: Weichteiläquivalent;  
C: CCD-Sensor.



### **3.3.2 Auswertung der Röntgenbilder**

Die Auswertung aller Röntgenaufnahmen wurde von drei Untersuchern (MG, MS, JK) unter Nutzung der Sidexis-Röntgensoftware V1.53 (Sirona, Bensheim, Deutschland) und Verwendung der Bildbearbeitungsoptionen „Helligkeit“ und „Kontrast“ vorgenommen. In einem ersten Schritt wurde von jedem Untersucher (MG, MS, JK) eine unabhängige Bewertung in einem abgedunkelten Raum durchgeführt und eine entsprechende Diagnose nach Marthaler et al. [1966] (keine Dentinkaries, Karies in der äußeren Dentinhälfte, Karies in der inneren Dentinhälfte) gestellt (Tab. 2). Diskordante Befunde wurden in einem zweiten Schritt diskutiert und eine Konsensesentscheidung zwischen den Untersuchern festgelegt.

Da die röntgenologische Okklusalkariesdiagnostik im Schmelzbereich aufgrund der Überlagerungen des Zahnschmelzes nicht möglich ist, erfolgte die Diagnostik hier nur auf dem Dentinkariesniveau (Abb. 8). Für Röntgenaufnahmen auf denen übereinstimmend eine Dentinkaries identifiziert wurde, wurde mit dem Programm ImageJ (ImageJ 1.42p, Wayne Rasband, National Institute of Health, Bethesda, USA - Plugin „Measure and Label“) die Kariesprogression quantitativ mit dem Caries-Extension-Index (CE-Index) [Kühnisch et al. 2010b] bestimmt (Tab. 2).

Tab. 2: Kriterien zur röntgenologischen Auswertung von Zahndiagnosen an Okklusalflächen nach den Kriterien von Marthaler et al. (1966) und dem CE-Index (Kühnisch et al. 2010b). Die Quantifizierung des kariösen Prozesses im Zahnschmelz ist aufgrund von Überlagerungen nicht möglich.

<b>Marthaler</b>	<b>CE-Index (Röntgen)</b>
D0 – keine kariöse Läsion identifizierbar	0
D1 – Kariöse Läsion in der äußeren Schmelzhälfte	0 – Diagnostik von Schmelzläsionen nicht möglich
D2 – Kariöse Läsion in der inneren Schmelzhälfte	0 – Diagnostik von Schmelzläsionen nicht möglich
D3 – Kariöse Läsion in der äußeren Dentinhälfte	1.01 – 1.50
D4 – Kariöse Läsion in der inneren Dentinhälfte	>1.50 – 2.00

Für die Berechnung des CE-Index ist zunächst die Beurteilung der Kariesprogression erforderlich. Die Werte des CE-Index können zwischen 0.0 und 2.0 liegen (Tab. 2). Ist im Röntgenbild keine kariöse Läsion nachweisbar, so wird der Basiswert 0 festgelegt. Ist der kariöse Prozess ins Dentin fortgeschritten, so korrespondiert dies mit dem Basiswert 1. Im Fall einer Pulpaperforation ist der Basiswert gleich dem Maximalwert 2. Wenn eine Dentinläsion vorliegt, muss der entsprechende Basiswert in einem weiteren Schritt mit dem Verhältnis der Läsions-Strecke und der Dentindicke kombiniert werden. Bei einer Dentinkaries ( $1.x/y$ ) wird die Läsion von der Schmelz-Dentin-Grenze bis zur tiefsten Demineralisationsfront in Richtung Pulpa (x) gemessen und mit der Gesamtdicke der Dentinschicht (y) ins Verhältnis gesetzt (Abb. 7). Der CE-Index kann folglich nicht direkt gemessen werden, sondern setzt sich aus zwei Bestandteilen zusammen: Basiswert und Ergebnis des  $x/y$ -Verhältnisses.

In Röntgenbildern mit Dentinläsionen wurde entsprechend dem CE-Index die Dentindicke ( $y_{Rö}$ ) und die Dentinradioluzenz als Zeichen des kariösen Prozesses ( $x_{Rö}$ ) eingezeichnet und gemessen (Abb. 7). Die Radioluzenz wurde als deutlich erkennbarer Grauwert definiert, welcher dunkler im Vergleich zu dem regulären Grauwert des Dentins wahrnehmbar ist. Die Röntgenaufnahme wurde ohne und mit den Messstrecken als Graphik-Datei (\*.jpg) archiviert und zusätzlich semiquantitativ entsprechend der D-Klassifizierung nach Marthaler [1966] ausgewertet (Kriterien siehe Tab. 2).

Abb. 7: Röntgenbild mit eingezeichneten Messstrecken zur Ermittlung des CE- Wertes.

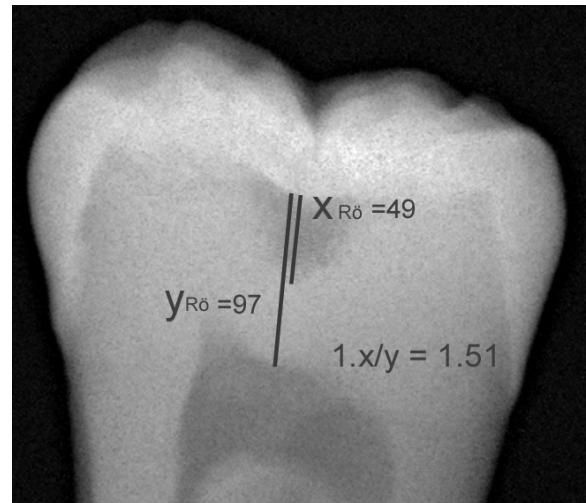
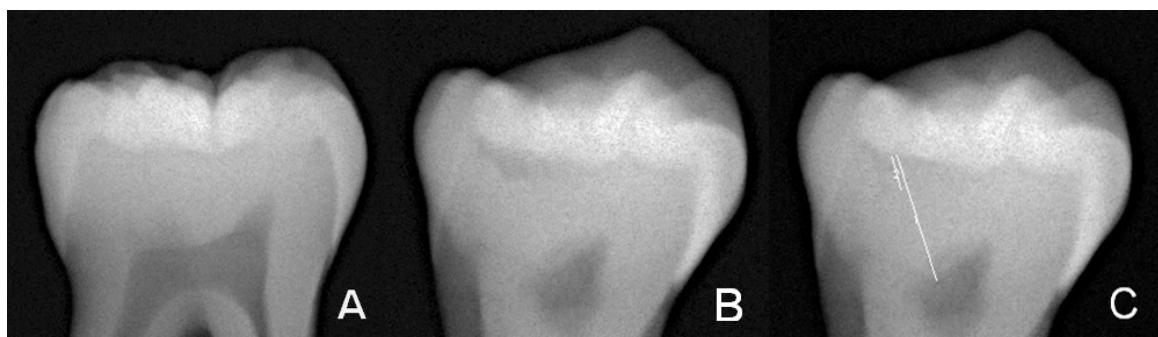


Abb. 8: Während das Röntgenbild des ersten Molaren (A) keine Anzeichen einer Dentinkaries zeigt, wurde diese im zweiten Fall diagnostiziert (B) und vermessen (C).



### 3.4 Validierung

#### 3.4.1 Probenaufbereitung und Visualisierung der Kariesausdehnung

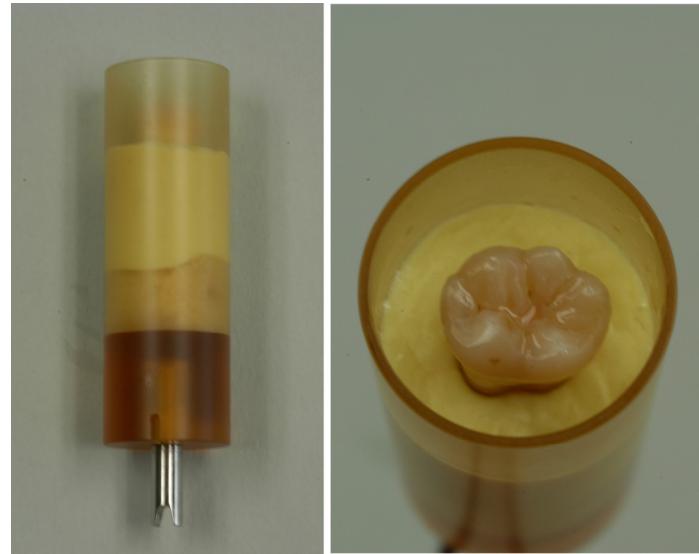
Zur Validierung der visuellen und röntgenologischen Kariesdiagnostik diente als histologischer Referenzstandard die mikrocomputertomografische Untersuchung. Diese erfolgte mit dem Gerät µCT40 (Scanco Medical, Bassersdorf, Schweiz) der dritten Generation mit Cone-Beam-Technologie (Abb. 9). Die Röntgenparameter betragen 70kV bei 11µA. Es wurde die mittlere Auflösung (1024x1024 Pixel) gewählt. Dabei wurden die Zähne in Scans mit 395 Schichten und der Zahn standardisiert vom koronalen Anteil des Pulpenkavums bis zu den Höckerpitzen erfasst. Die CT-Rohdaten (\*.rsq) wurden mit einem Mu-Scaling-Faktor von 4096 zu 3D-Datensätzen (\*.isq) rekonstruiert. Die CT-Rohdaten (\*.rsq) als auch die 3D-Datensätze (\*.isq) wurden zahnbezogen für spätere Untersuchungen archiviert.

Abb. 9: µCT 40 der Zahnklinik München.



Zum eigentlichen Scavorgang wurden die Molaren in einem Probenhalter (Innendurchmesser 20,5 mm) mit einer Silikonmasse (Optosil Heraeus, Hanau, Deutschland) zentral positioniert (Abb. 10). Zur Vermeidung von Austrocknungen wurde ein feuchtes Wattepellet okklusal auf den Zahn aufgebracht und der Probenhalter mit einer Folie (Parafilm M, Pechiney Plastic Packaging, Chicago, USA) verschlossen.

Abb. 10: Probenhalter des µCT (ohne Parafilm und feuchter Watte).



Die Weiterbearbeitung, Bildauswahl und Auswertung erfolgte wiederum mit dem lizenziert frei verfügbaren Programm (ImageJ 1.42p, Wayne Rasband, National Institute of Health, Bethesda, USA). Hierbei wurden im ersten Arbeitsschritt die 3D-Datensätze (\*.isq) mit dem Plugin „Import Clip ISQ3“ (microCT-Import, Prof. Dr. K. H. Kunzelmann, Poliklinik für Zahnerhaltung und Parodontologie LMU, München, Deutschland) importiert (Abb. 11), die linguale Seite mit „Rotate“ nach unten rotiert (Abb. 12), anschließend mit der „Crop“-Funktion auf den gescannten Zahn beschnitten (Abb. 13) und als Stapel „Stack“ (\*.tiff) abgespeichert.

Abb. 11: Importieren eines \*.isq-Files in ImageJ.

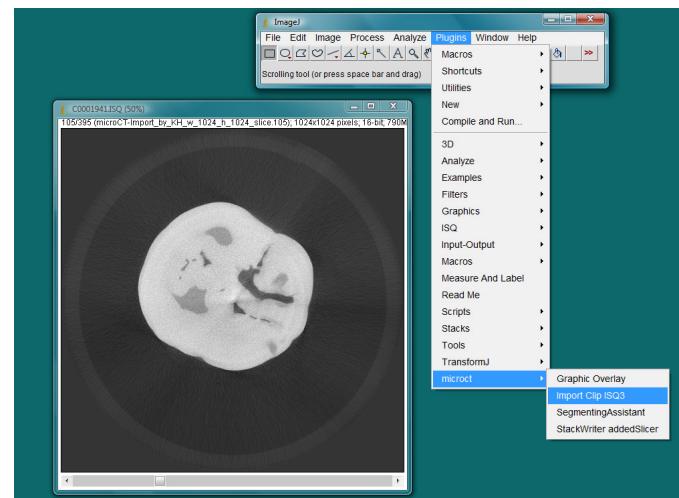


Abb. 12: Rotieren des Zahnes in ImageJ.

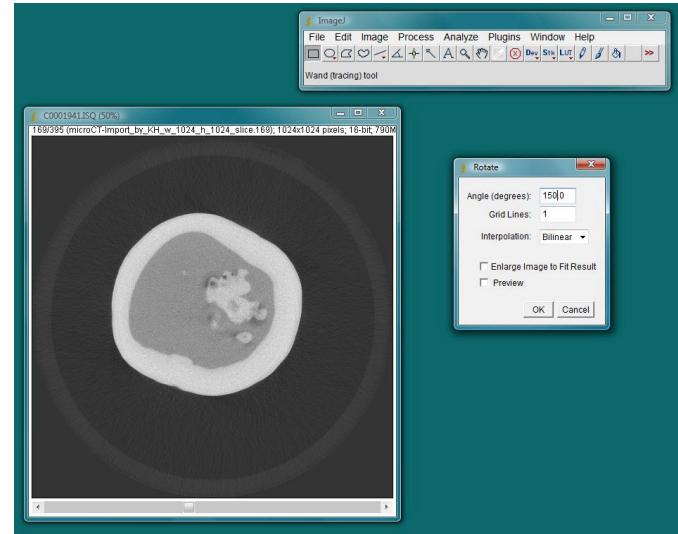
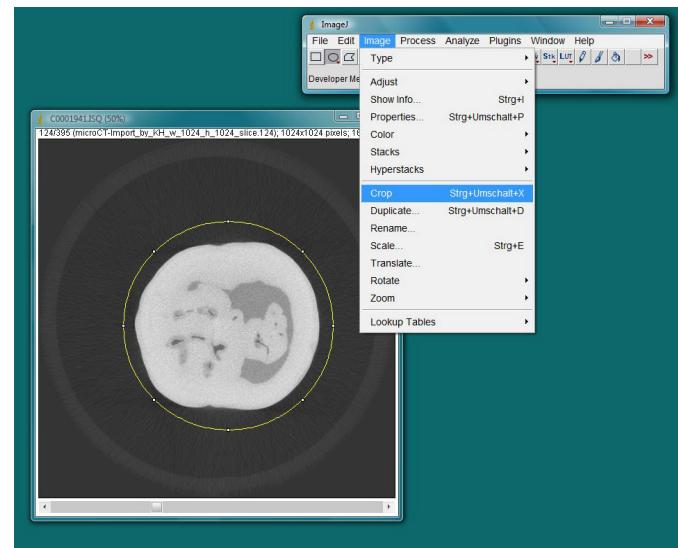
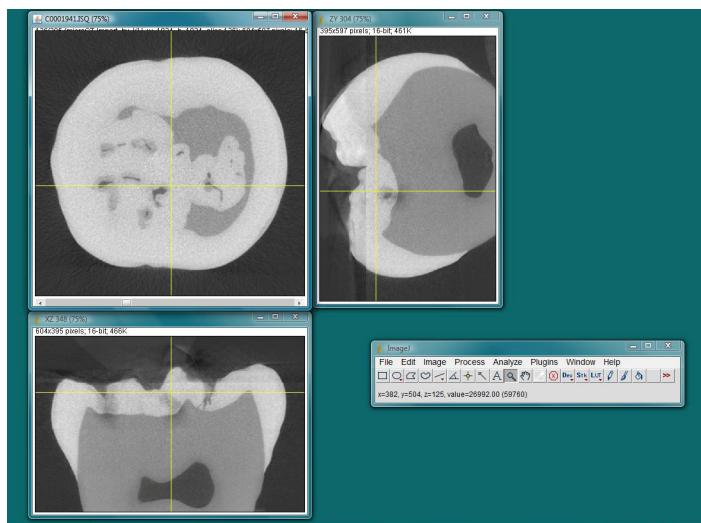


Abb. 13: Zuschnitt in ImageJ.



Aus den Stapel-Dateien (\*.tiff) wurden in der ImageJ-Software mit Hilfe der 3D-Funktion (Taste y) zu den koronalen Schnitten alle Schnittebenen in orovestibularer und mesio-distaler Richtung generiert (Abb. 14). Anschließend wurde das Schnittbild der am weitest fortgeschrittenen kariösen Läsion identifiziert. Dieses Schnittbild wurde als Referenzbild für jeden Zahn (Surface) im Dateiformat \*.tiff exportiert. Weitere kariöse Läsionen (Sites) wurden anhand der markierten Farbfotografien der Zähne lokalisiert und die Schnittbilder ebenfalls im Dateiformat \*.tiff exportiert. Diese Bilder dienten letztlich als Referenzaufnahmen der jeweiligen Läsion.

Abb. 14: Darstellung der Schnittebenen in ImageJ.

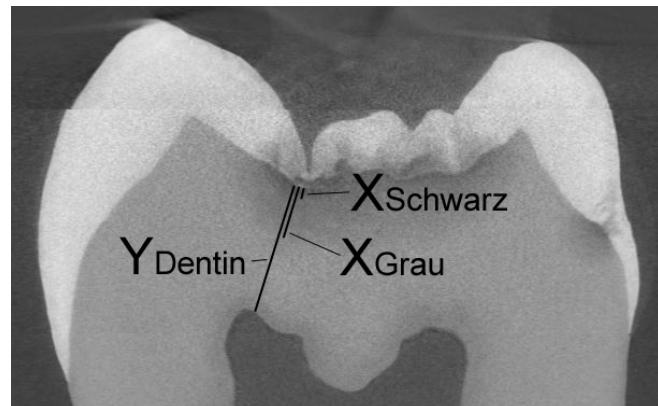


### 3.4.2 Auswertung und Quantifizierung der Kariesausdehnung

Zur quantitativen Erfassung der histologischen Kariestiefe wurde hier ebenfalls der CE-Index [Kühnisch et al. 2010b] herangezogen (Tab. 2). Bei den  $\mu$ -CT Aufnahmen wurden Schmelzläsionen miterfasst, wobei der CE-Basiswert hier 0 ist ( $0.^{/}y$ ).

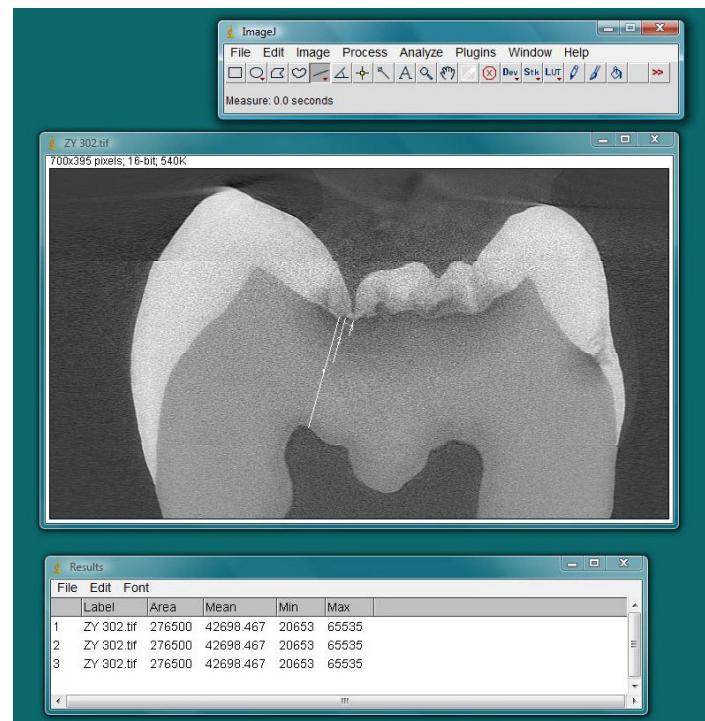
Die gesamte optische Auswertung wurde vom Autor der vorliegenden Arbeit (MG) und zwei weiteren Untersuchern (JK, MS) als Konsensesentscheidung ausgeführt. Die Läsionen wurden auf dem entsprechenden Schnittbild mit ImageJ (Plug-in „Measure and Label“) vermessen und mit den Messstrecken als Graphik-Datei (\*.tiff) archiviert. Im  $\mu$ CT-Bild können kariöse Veränderungen, wie auch bei konventionellen Röntgenbildern, als eine Abstufung von Grauwerten bis hin zu einem Schwarzwert wahrgenommen werden. Der Grauwert wird hierbei als Läsionsbereich zwischen Schmelz-Dentin-Grenze und der pulpawärts gerichteten Demineralisationsfront definiert, nach welcher wieder eine homogene Färbung der unveränderten Zahnhartsubstanz erreicht ist. Der Schwarzwert wird, sofern vorhanden, als optisch deutlich zu unterscheidender dunklerer peripherer Läsionsbereich wahrgenommen (Abb. 15).

Abb. 15:  $\mu$ CT-Bild einer Dentinkaries mit eingezeichneten Messstrecken zur Ermittlung des CE-Wertes.



Die in dieser Arbeit untersuchten kariösen Läsionen wurden in dreierlei Hinsicht vermessen (Abb. 16). Zuerst wurde die Schmelz- bzw. Dentindicke in Abhängigkeit der Kariesprogression dokumentiert ( $y_{\text{Schmelz}}$  bzw.  $y_{\text{Dentin}}$ ). Die Messstrecke wurde immer dem Verlauf der Schmelzprismen bzw. Dentintubuli angepasst. Als zweites wurde die Grauwertstrecke ( $x_{\text{Grau}}$ ) und als drittes – sofern vorhanden – die Schwarzwertstrecke ( $x_{\text{Schwarz}}$ ) erfasst (Abb. 15 und 16). Die Messstrecken wurden für jedes Schnittbild in einer „Results“-Tabelle (\*.xls) gespeichert bzw. in die Auswertungstabelle übernommen.

Abb. 16: Vermessung der Kariesextension mit ImageJ.



Die Validierung der visuellen und röntgenologischen Kariesdiagnostik erfolgte auf Basis der Grauwertstrecken der  $\mu$ CT-Aufnahmen. Zu den quantitativen CE-Werten wurden aus Gründen der Vergleichbarkeit die korrespondierenden semiquantitativen Befunde entsprechend der D-Klassifikation nach Marthaler [1966] auf Grundlage der erfassten Grauwerte erhoben (Tab. 3).

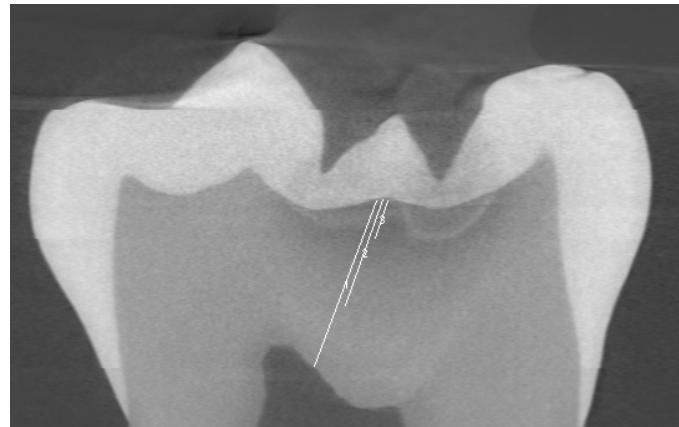
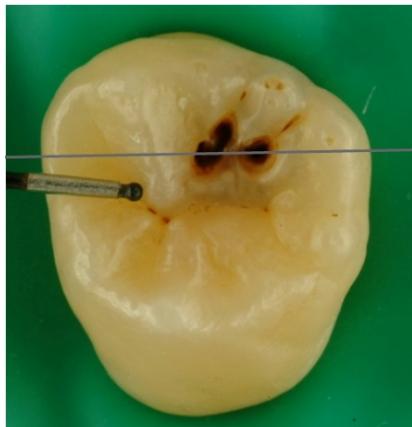
Tab. 3: Kriterien zur Auswertung von  $\mu$ CT-Bildern nach Marthaler et al. [1966] und CE-Index [Kühnisch et al. 2010b].

<b>Marthaler</b>	<b>CE-Index (<math>\mu</math>CT)</b>
D0 – keine kariöse Läsion identifizierbar	0
D1 – Kariöse Läsion in der äußeren Schmelzhälfte	0.01 – 0.50
D2 – Kariöse Läsion in der inneren Schmelzhälfte	0.51 – 1.00
D3 – Kariöse Läsion in der äußeren Dentinhälfte	1.01 – 1.50
D4 – Kariöse Läsion in der inneren Dentinhälfte	>1.50 – 2.00

Abb. 17: Beispiel einer Schmelzkaries. Die Pfeile weisen auf die weislich-opaque Veränderungen hin. Die graue Linie gibt den Verlauf der Schnittebene wieder. Die klinische Diagnose ergab den UniViSS-Wert F1. Die  $\mu$ CT-Untersuchung ergab CE 0.98 (D2).



Abb. 18: Beispiel einer Dentinkaries. Eine CPI-Sonde ist als Größenreferenz für die Mikrokavität mit abgebildet. Die graue Line gibt den Verlauf der Schnittebene wieder. Die klinische Diagnose ergab den UniViSS-Wert M4. Die  $\mu$ CT-Untersuchung ergab CE 1.66 (D4).



### **3.5 Statistik**

Die statistische Auswertung erfolgte mit dem Statistik-Programm SPSS (Ver. 18.0, SPSS Inc., Chicago, USA) und mit der Tabellenkalkulationssoftware Microsoft Office Excel 2007 (Microsoft Inc., Redmond, USA).

Zur Beurteilung der Validität eines Diagnostikverfahrens wird die jeweilige Diagnose mit dem histologischen Referenzstandard abgeglichen. Die Grenzwert-Ziehung erfolgte dabei auf dem Kariesdetektionsniveau (D0 versus D1-4) und dem Dentinkariesniveau (D0-2 versus D3-4). In der vorliegenden Arbeit fanden zwei Möglichkeiten der Validitätsbestimmung Verwendung. Zum einen diente der CE-Index dazu, einzelne UniViSS-Kriterien den Kategorien Gesund, Schmelzkaries oder Dentinkaries zuzuordnen. Zudem wurden die traditionellen Güteparameter Sensitivität (SE), Spezifität (SP) und ROC berechnet.

Während die Berechnung der traditionellen Güteparameter (SE, SP, Az-Wert) von der Festlegung von zwei bzw. einem Grenzwert abhängen, ermöglicht der CE-Index die Vergegenständlichung der Kariesprogression mit einem numerischen Wert. Daher können mit diesem Vorgehen diagnostische Einzel- oder Gruppenbefunde direkt mit dem CE-Index validiert werden.

Im Zuge der Auswertung wurden Mittelwert, Standardabweichung, Minimum- und Maximumwert des CE-Wertes für alle visuellen Befundgruppen und die Röntgenbefunde ermittelt. Die diagnostische Zuverlässigkeit von UniViSS wurde anhand der Berechnung von der Sensitivität (SE), Spezifität (SP), des positiven Vorhersagewertes (PPV), des negativen Vorhersagewertes (NPV) für die Kariesdetektionsstufen (D0 vs. D1-4 / CE-Index >0) als auch für die Dentinkariesdetektionsstufe (D0 2 vs. D3-4 / CE-Index >1.00) bestimmt. Für die röntgenologische Untersuchung konnte verfahrensbedingt nur das letztere Kariesdetektionsniveau ermittelt werden.

Die diagnostische Sensitivität (SE), auch Richtig-Positiv-Rate (engl. true positive rate, TP) genannt, bezeichnet den Probenanteil, welcher positiv diagnostiziert als positiv validiert wurde. Dies gibt also den Anteil der richtig als positiv erkannten Sachverhalte an der Gesamtheit der in Wirklichkeit positiven Sachverhalte an. Im Bereich der Kariologie beschreibt SE den Anteil der Zähne bzw. Zahnoberflächen, die sowohl mit dem Diagnostikverfahren als auch mit dem Referenzstandard korrekt

als kariös bzw. erkrankt bezüglich der Läsionsprogression (D1-4 bzw. D3-4) eingestuft wurden (Tab. 4).

Die diagnostische Spezifität (SP), auch Richtig-Negativ-Rate (engl. true negative rate, TN) genannt, bezeichnet den Probenanteil, welcher negativ diagnostiziert als negativ validiert wurde. Dies gibt also den Anteil der richtig als negativ erkannten Sachverhalte an der Gesamtheit der in Wirklichkeit negativen Sachverhalte an. Im Bereich der Kariologie beschreibt die SP den Anteil der Zähne bzw. Zahnoberflächen, die sowohl mit dem Diagnostikverfahren als auch mit dem Referenzstandard korrekt als gesund (D0 bzw. D0-2) eingestuft wurden (Tab. 4). Ein diagnostischer Test kann dann als gut bewertet werden, wenn die summarische SE und SP 160% übersteigt [Hausen 1997].

Tab. 4: Vierfeldertafel zur Berechnung der Güteparameter SE, SP, PPV und NPV.

		Referenzstandard		
		Karies - Nein	Karies - Ja	
Diagnostischer Test	Karies - Nein	TN	FN	NPV = TN/ (TN+FN)
	Karies - Ja	FP	TP	PPV = TP/ (TP+FP)
		SP = TN/ (FP+TN)	SE = TP/(TP+FN)	

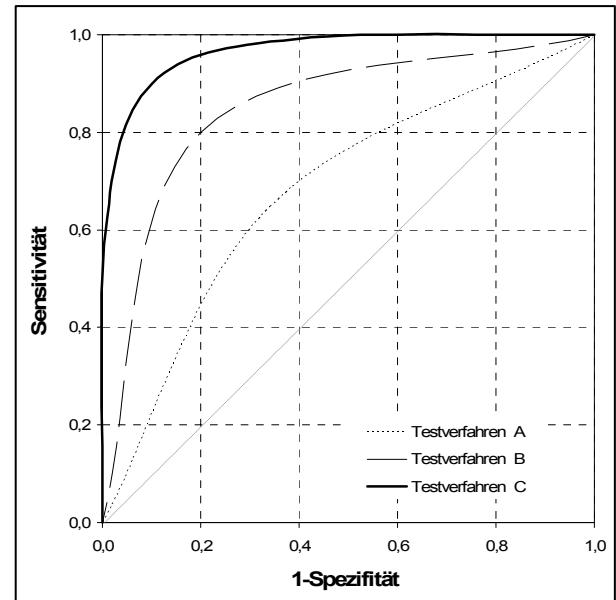
*Erklärungen:*

Richtig positiv, true positive (TP) – Der Test ist positiv und es liegt eine Erkrankung/Karies vor  
 Richtig negativ, true negative (TN) – Der Test ist negativ und es liegt keine Erkrankung/Karies vor  
 Falsch positiv, false positive (FP) – Der Test ist positiv, aber es liegt keine Erkrankung/Karies vor  
 Falsch negativ, false negative (FN) – Der Test ist negativ, aber es liegt eine Erkrankung/Karies vor

Die Berechnung der SE und SP ist immer abhängig von zwei festzulegenden Grenzwerten (Cut-Off-Wert): zum einen der Cut-Off des Testverfahrens zum anderen der Cut-Off des Referenzstandards. Demgegenüber hat die ROC-Kurve den Vorteil, unabhängig von einem definierten Grenzwert eine Darstellung von SE und SP zu ermöglichen. Daher ist die ROC-Kurve geeignet, die Genauigkeit eines diagnostischen Tests zu analysieren. In der Regel wird jeder Messpunkt als Cut-Off-Wert verwendet und dafür SE und SP als Wertepaar für die ROC-

Kurve berechnet. Aus allen Wertepaaren wird dann die ROC-Kurve konstruiert, wobei die SP entlang der Abszisse und die SE entlang der Ordinate aufgetragen werden. Die Interpretation von ROC-Kurven (Abb. 19) wird wie folgt vorgenommen: Im Idealfall liegt die Kurve – Testverfahren C – im Bereich der linken oberen Begrenzung des umschließenden Quadrates. Dies wäre gleichbedeutend mit einem großen Abstand der ROC-Kurve von der Diagonalen, welcher eine gute Trennschärfe bzw. Vorhersagekraft des Tests postuliert. Ein diagnostisches Testergebnis ohne jede Vorhersagekraft liegt im Bereich der Diagonalen (45-Grad-Linie). Als Maß für die Vorhersagekraft des Tests wird die Fläche unter der ROC-Kurve (Az-Wert) berechnet, die bei einem Test ohne jede Vorhersagekraft bei 0,5 und im Maximalfall bei 1 liegt. Ein akzeptables Testergebnis indizieren Werte >0,75 [Bühl und Zöfel 2000].

Abb. 19: Beispiele für ROC-Kurven:  
Während das Testverfahren A über keine Vorhersage-kraft verfügt, sprechen die ROC-Kurven für die Testverfahren B bzw. C für eine akzeptable bzw. sehr gute Vorhersage-kraft [Kühnisch 2007c].



## 4. Ergebnisse

### 4.1 Basisbefunde zum Untersuchungsmaterial

Insgesamt wurden 196 Molaren mit 234 einzelnen Punkten (Sites) auf den Okklusalflächen untersucht. Bei der zahnflächenbezogenen Auswertung waren 11 gesund (D0), 57 wiesen eine Schmelzkaries (D1-2) und 128 eine Dentinkaries auf. Letztere befanden sich in 96 Fällen in der äußeren Dentinhälfte (D3) und in 32 Fällen in der inneren Dentinhälfte (D4) (Tab. 5). Bei der punktbezogenen Auswertung waren 12 gesund (D0), 71 wiesen histologisch eine Schmelzkaries (D1-2) und 151 eine Dentinkaries auf. Letztere befanden sich in 119 Fällen in der äußeren Dentinhälfte (D3) und in 32 Fällen in der inneren Dentinhälfte (D4) (Tab. 6).

Tab. 5: Quantifizierung der histologischen Kariesprogression (CE-Index) in Relation zur semiquantitativen Einteilung nach Marthaler [1966].

<b>zahnflächenbezogene Auswertung</b>	<b>Caries-Extension-Index (CE-Index)</b>		
	<b>N</b>	<b>Mittelwert (SD)</b>	<b>Min – Max</b>
<b>D0</b>	11	0 (0)	0 – 0
<b>D1</b>	12	0.33 (0.11)	0.17 – 0.50
<b>D2</b>	45	0.84 (0.13)	0.51 – 1.00
<b>D3</b>	96	1.25 (0.14)	1.03 – 1.50
<b>D4</b>	32	1.64 (0.10)	1.51 – 1.94
<b>Σ (Flächen)</b>	196	1.09 (0.44)	0 – 1.94

Tab. 6: Quantifizierung der histologischen Kariesprogression (CE-Index) in Relation zur semiquantitativen Einteilung nach Marthaler [1966].

<b>punktbezogene Auswertung</b>	<b>Caries-Extension-Index (CE-Index)</b>		
	<b>N</b>	<b>Mittelwert (SD)</b>	<b>Min – Max</b>
<b>D0</b>	12	0 (0)	0.00 – 0.00
<b>D1</b>	13	0.34 (0.11)	0.17 – 0.50
<b>D2</b>	58	0.85 (0.13)	0.51 – 1.00
<b>D3</b>	119	1.24 (0.14)	1.02 – 1.50
<b>D4</b>	32	1.64 (0.10)	1.51 – 1.94
<b>Σ (Punkte)</b>	234	1.08 (0.42)	0 – 1.94

Für die jeweilige D-Klassifikation nach Marthaler wurden mit Hilfe des CE-Indexes folgende zahnflächen- bzw. punktbezogenen Mittelwerte ermittelt (Tab. 5, Tab. 6): für die D1-Karies Werte von 0.33/ 0.34, für die D2-Karies 0.84/ 0.85, für die D3-Karies 1.25/ 1.24 und für die D4-Karies 1.64/ 1.64.

Von den ursprünglich 203 einbezogenen Zähnen wiesen 7 klinisch gesunde Molaren (UniViSS-Wert 0) in der  $\mu$ CT-Untersuchung untypische Radioluzenzen im Bereich der Schmelz-Dentin-Grenze auf (Abb. 20). Diese Läsionen zeigten keine typischen Zeichen einer Dentinkaries auf, sondern stellten sich lediglich als scharf begrenzte Radioluzenz dar. Aufgrund einer fehlenden Erklärung für diese Beobachtungen, welche mit hoher Sicherheit *keine* kariösen Läsionen darstellen, wurden diese Proben von allen weiteren Beobachtungen ausgeschlossen. Als naheliegende Erklärung kann eine anatomische Variation im Bereich der Schmelz-Dentin-Grenze angenommen werden.

Abb. 20: Beispiel für eine atypische Radioluzenz, an einem klinisch gesunden Molaren (UniViSS=0). Das  $\mu$ CT-Bild zeigt unter der i-förmigen Fissur eine scharf begrenzte Radioluzenz ohne Anzeichen einer Demineralisation. Mit hoher Wahrscheinlichkeit handelt es sich hierbei um eine unvollständige Dentinbildung im Bereich der Schmelz-Dentin-Grenze.



## 4.2 Diagnostische Güte der visuellen Kariesdiagnostik

Entsprechend der Zielstellung der vorliegenden Arbeit war die Validität der visuellen Kariesdiagnostik (UniViSS) zu überprüfen. Die flächen- und punktspezifische Verteilung der einzelnen UniViSS-Befunde kann den Tabellen (Tab. 7 und 8) entnommen werden. Insgesamt waren 18% aller Flächen und 17% aller Punkte gesund. Nicht-kavitierte Läsionen lagen in 75% bzw. 76% der Fälle vor. Lediglich 8% bzw. 6% waren kavitiert. Bei der visuellen Untersuchung konnte der UniViSS-Score P an keinem der zur Verfügung stehenden Zähne gefunden werden und wird somit im Ergebnisteil und in den Tabellen nicht erwähnt.

Bei flächen- und punktspezifischer Betrachtung der UniViSS-Schweregrade waren „Etablierte Läsionen“ (n=71/87) sowie „Erste sichtbare Zeichen“ (n=50/66) am häufigsten aufzufinden. Im Fall der Verfärbung wurden „Weiß-braune Läsionen“ (n=98/122) in deutlich mehr als der Hälfte der Fälle registriert.

Tab. 7: Verteilung aller Okklusalflächen der Molaren in Relation zu den UniViSS-Schweregraden und UniViSS-Verfärbungsgraden.

N (Flächen)	UniViSS (Schweregrad)						$\Sigma$
	Gesund	Erste sichtbare Zeichen	Etablierte Läsion	Mikro- kavität	Dentin- exposition	Große Kavität	
UniViSS (Verfärbung)	Keine Verfärbung	35	-	-	-	-	35
	Weiß	-	29	7	2	-	38
	Weiß-braune Läsion	-	13	54	20	8	98
	Braune Verfärbung	-	8	9	2	1	23
	Gräuliche Transluzenz	-	-	1	1	-	2
	$\Sigma$	35	50	71	25	9	6

Tab. 8: Verteilung aller bewerteten Punkte der Molaren in Relation zu den UniViSS-Schweregraden und UniViSS-Verfärbungsgraden.

N (Punkte)	UniViSS (Schweregrad)						$\Sigma$	
	Gesund	Erste sichtbare Zeichen	Etablierte Läsion	Mikrokavität	Dentinexposition	Große Kavität		
UniViSS (Verfärbung)	Keine Verfärbung	40	-	-	-	-	40	
	Weiß	-	29	10	2	-	41	
	Weiß-braune Läsion	-	25	65	21	8	3	122
	Braune Verfärbung	-	12	11	2	1	3	29
	Gräuliche Transluzenz	-	-	1	1	-	-	2
	$\Sigma$	40	66	87	26	9	6	234

Als erster Schritt zur Validierung von UniViSS wurde ein CE-Index für jeden einzelnen visuellen Befund als Referenzwert bestimmt. Die zahnflächen- und punktbezogenen Ergebnisse sind dazu aus den Tabellen 9 und 10 ersichtlich. Der Vergleich der zahnflächen- und punktbezogenen Auswertung (Tab. 9 und 10) offenbarte nur geringe Unterschiede in Bezug zu dem jeweiligen CE-Index. An gesunden *Zahnflächen* konnten histologisch etliche Schmelzläsionen nachgewiesen werden, welche zu einem mittleren CE-Index von 0.6 führte. „Erste sichtbare Zeichen“ waren in ihrer Läsionstiefe mit einem CE-Mittelwert von 0.9 meist auf den Schmelz begrenzt. Der Mittelwert für „Etablierte Läsionen“ lag bereits im äußeren Dentindrittel, wobei auch Schmelzläsionen darunter waren. Die Werte „Mikrokavität“ (CE-Mittel 1.4), „Dentinexposition“ (CE-Mittel 1.5), und „große Kavität“ (CE-Mittel 1.7) konnten als fortgeschrittene Dentinkaries identifiziert werden. Ein abweichendes Bild bezüglich der Kariesausdehnung zeigten die Schweregrade „Erste sichtbare Zeichen“ und „Etablierte Läsion“ für den jeweiligen Verfärbungsgrad weiß-braun. Die ermittelten CE-Mittelwerte lagen hier jeweils höher und signalisierten eine weiter vorangeschrittene Kariesausdehnung. Die anhand der zahnflächenbezogenen Auswertung getroffenen Aussagen können ebenso auf die punktspezifischen Auswertungsdaten übertragen werden (Tab. 10).

Tab. 9: Zahnflächenbezogene Quantifizierung der Kariesextension mittels µCT für jeden UniViSS-Wert mit Hilfe des CE-Index. Die gestrichelte Linie stellt den Grenzwert für die visuelle Kariesdetektion dar. Basierend auf den Durchschnittswerten >1.0 des CE-Index wurde der Grenzwert für die Erkennung einer Dentinkaries (durchgehende Linie) festgelegt.

UniViSS (Verfärbung)	CE-Index (µCT) $\bar{X}$ (SD) Min - Max	UniViSS (Schweregrad)						$\Sigma$
		Gesund	Erste sichtbare Zeichen	Etablierte Läsion	Mikrokavität	Dentinexposition	Große Kavität	
Keine Verfärbung	<b>0.6 (0.4)</b> 0 – 1.1							<b>0.6 (0.4)</b> 0 – 1.1
			0.8 (0.3) 0 – 1.5	1.1 (0.3) 0.4 – 1.4	1.4 (0.3) 1.2 – 1.6	-	-	<b>0.9 (0.4)</b> 0 – 1.6
			1.2 (0.1) 1.0 – 1.4	1.3 (0.2) 0.8 – 1.7	1.4 (0.2) 1.0 – 1.7	1.4 (0.2) 1.1 – 1.7	1.6 (0.4) 1.2 – 1.9	<b>1.3 (0.2)</b> 0.8 – 1.9
			0.9 (0.3) 0.2 – 1.4	1.1 (0.3) 0.5 – 1.5	1.6 (0.0) 1.6 – 1.7	1.6 (-) 1.6 – 1.6	1.8 (0.1) 1.6 – 1.9	<b>1.2 (0.4)</b> 0.2 – 1.9
				1.2 (-) 1.2 – 1.2	1.7 (-) 1.7 – 1.7	-		<b>1.4 (0.3)</b> 1.2 – 1.7
$\Sigma$	<b>0.6 (0.4)</b> 0 – 1.1	<b>0.9 (0.4)</b> 0 – 1.5	<b>1.3 (0.3)</b> 0.4 – 1.7	<b>1.4 (0.2)</b> 1.0 – 1.7	<b>1.5 (0.2)</b> 1.1 – 1.7	<b>1.7 (0.3)</b> 1.2 – 1.9		<b>1.1 (0.4)</b> 0 – 1.9

Tab. 10: *Punktbezogene* Quantifizierung der Kariesextension mittels µCT für jeden UniViSS-Wert mit Hilfe des CE-Index. Die gestrichelte Linie stellt den Grenzwert für die visuelle Kariesdetektion dar. Basierend auf den Durchschnittswerten >1.0 des CE-Index wurde der Grenzwert für die Erkennung einer Dentinkaries (durchgehende Linie) festgelegt.

UniViSS (Verfärbung)	CE-Index (µCT) $\bar{X}$ (SD) Min - Max	UniViSS (Schweregrad)						$\Sigma$
		Gesund	Erste sichtbare Zeichen	Etablierte Läsion	Mikrokavität	Dentinexposition	Große Kavität	
Keine Verfärbung	<b>0.6 (0.4)</b> 0 – 1.1							<b>0.6 (0.4)</b> 0 – 1.1
Weiß Verfärbung			<b>0.8 (0.4)</b> 0 – 1.5	<b>1.1 (0.3)</b> 0.4 – 1.4	<b>1.4 (0.3)</b> 1.2 – 1.6	-	-	<b>0.9 (0.4)</b> 0 – 1.6
Weiß-braune Verfärbung			<b>1.1 (0.2)</b> 0.5 – 1.5	<b>1.3 (0.2)</b> 0.7 – 1.7	<b>1.4 (0.3)</b> 0.9 – 1.7	<b>1.4 (0.2)</b> 1.1 – 1.7	<b>1.6 (0.4)</b> 1.2 – 1.9	<b>1.3 (0.2)</b> 0.5 – 1.9
Braune Verfärbung			<b>1.0 (0.3)</b> 0.2 – 1.4	<b>1.1 (0.3)</b> 0.5 – 1.5	<b>1.6 (0.0)</b> 1.6 – 1.7	<b>1.6 (-)</b> 1.6 – 1.6	<b>1.8 (0.1)</b> 1.6 – 1.9	<b>1.2 (0.4)</b> 0.2 – 1.9
Gräuliche Transluzenz				<b>1.2 (-)</b> 1.2 – 1.2	<b>1.7 (-)</b> 1.7 – 1.7	-		<b>1.4 (0.3)</b> 1.2 – 1.7
$\Sigma$	<b>0.6 (0.4)</b> 0 – 1.1	<b>0.9 (0.3)</b> 0 – 1.5	<b>1.2 (0.3)</b> 0.4 – 1.7	<b>1.4 (0.2)</b> 0.9 – 1.7	<b>1.5 (0.2)</b> 1.1 – 1.7	<b>1.7 (0.3)</b> 1.2 – 1.9		<b>1.0 (0.4)</b> 0 – 1.9

Im zweiten Schritt der Validierung des UniViSS wurde die diagnostische Güte für das Gesamtsystem sowohl für das Kariesdetektions- (D1-4) und Dentinkariesniveau (D3-4) zahnflächen- und punktbezogen berechnet. Als Grenzwerte zur Berechnung der Güteparameter wurden die anhand des CE-Index getroffene Einteilung zu Grunde gelegt (Tab. 11 und 10, durchgehende breite Linie). Das Kariesdetektionsniveau lag aus histologischer Sicht bei einem CE-Index  $>0$  und das Dentinkariesniveau bei einem CE-Index  $>1.00$ . Die Ergebnisse für SE, SP, NPV, PPV und Az-Wert (Schweregrad) sind der Tabelle 11 zu entnehmen. Bei detaillierter Betrachtung der Tabelle wird deutlich, dass in allen Fällen  $SE+SP >160\%$  und der Az konstant über 0.75 liegt. Die Abbildungen (Abb. 21 und 22) zeigen die ROC-Kurven für das Kariesdetektions- und Dentinkariesniveau.

Tab. 11: Übersicht zur diagnostischen Güte von UniViSS in Abhängigkeit des Kariesdetektions- bzw. des Dentinkariesniveaus.

<b>Diagnostische Güte UniViSS</b>	<b>Kariesdetektionsniveau (CE&gt;0)</b>	<b>Dentinkariesniveau (CE&gt;1.00)</b>
<b>Zahnflächenbezogene Auswertung (n=196)</b>		
SE	0.86	0.89
SP	0.91	0.85
NPV	0.29	0.81
PPV	0.99	0.92
Az	0.82	0.89
<b>Punktbezogene Auswertung (n=234)</b>		
SE	0.87	0.89
SP	1.00	0.77
NPV	0.28	0.79
PPV	1.00	0.88
Az	0.79	0.86

Abb. 21: ROC-Kurven der zahnflächenbezogenen UniViSS-Diagnosen für das D1-4- und D3-4-Niveau.

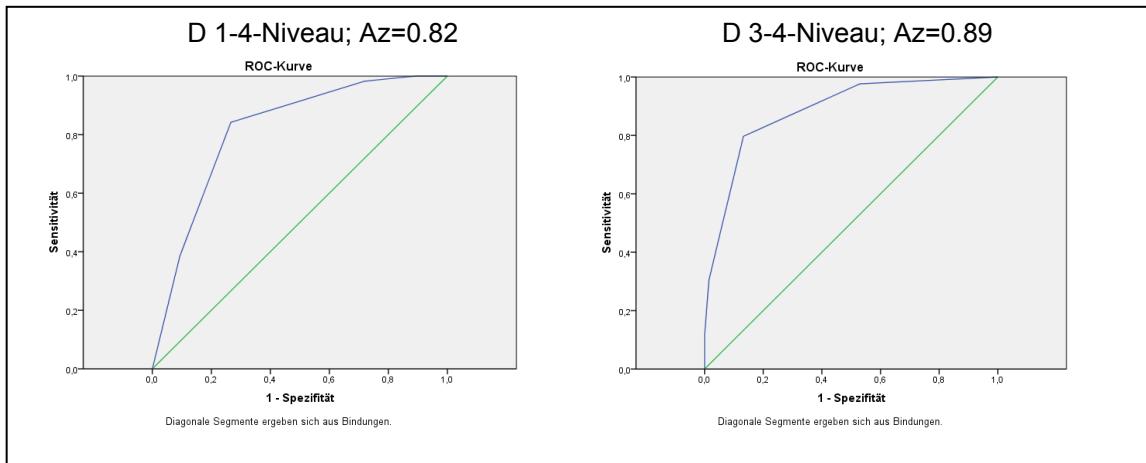
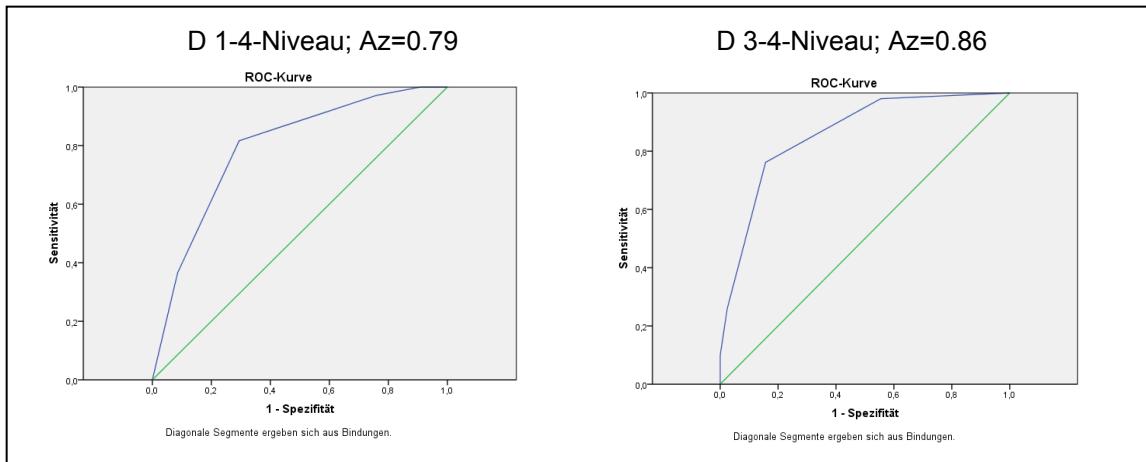


Abb. 22: ROC-Kurven der punktbezogenen UniViSS-Diagnosen für das D1-4- und D3-4-Niveau.



### 4.3 Güte der röntgenologischen Diagnostik

Die Verteilung der einzelnen Röntgenbefunde der 196 Molaren sind der Tabelle (Tab. 12) zu entnehmen. Die Untersuchung erfolgte nur zahnflächenbezogen, da eine punktspezifische Diagnostik genauso wie die röntgenologische Beurteilung von Schmelzläsionen methodenbedingt nicht möglich ist. Der röntgenologische Befund der überwiegenden Zahl der Proben war gesund ( $n=120$ ), alle übrigen zeigten eine Dentinkaries ( $n=76$ ). Für alle Dentinläsionen wurde ein CE-Mittelwert von 1.36 ermittelt.

Tab. 12: Vergleich der röntgenologischen Diagnostik anhand der semi-quantitativen D-Klassifikation nach Marthaler [1966] und des quantitativen CE-Index.

Kriterien Marthaler	Caries-Extension-Index (CE-Index)		
	N	Mittelwert (SD)	Min – Max
<b>D0-2</b>	120	0 (-)	0.00 – 0.00
<b>D3</b>	61	1.30 (0.10)	1.11 – 1.61
<b>D4</b>	15	1.61 (0.14)	1.50 – 1.91
<b><math>\Sigma</math> (D3 – 4)</b>	76	1.36 (0.17)	1.11 – 1.91
<b><math>\Sigma</math></b>	196	0.52 (0.67)	0.00 – 1.91

Die Validierung der röntgenologischen Okklusalkaries-Diagnostik erfolgte ebenfalls mit Hilfe des CE-Index. Die Befundverteilung sowie die korrespondierende Kariesausdehnung kann den Tabellen (Tab. 13 und 14) entnommen werden. Röntgenbefunde, die als kariesfrei bzw. als Schmelzkaries bewertet wurden, wiesen eine mittlere Kariesausdehnung von 0.9 auf. Für Röntgenaufnahmen, welche als D3 eingestuft wurden, konnte ein mittlerer CE-Wert von 1.4 dokumentiert werden. Im Fall von D4-Läsionen wurde ein CE-Wert von 1.6 ermittelt.

Tab. 13: Verteilung der Röntgenbefunde in Relation zum Referenzstandard. Die durchgehende Linie illustriert den Grenzwert für die Berechnung der diagnostischen Güteparameter.

Diagnose (Röntgen)	N (Flächen)	Referenz ( $\mu\text{CT}$ )					$\Sigma$
		D0	D1	D2	D3	D4	
D0-2	10	12	45	53	-	120	
	1	-	-	39	21	61	
	-	-	-	4	11	15	
$\Sigma$	11	12	45	96	32	196	

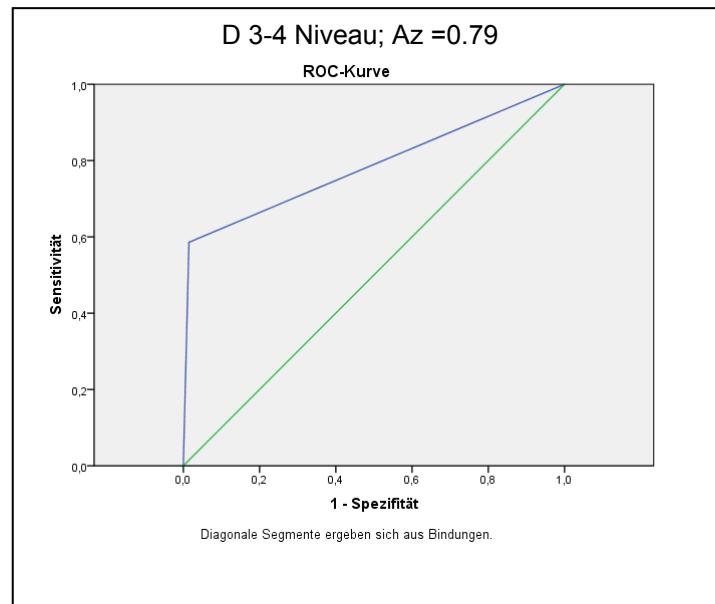
Tab. 14: Mikrocomputertomografische Kariesausdehnung der röntgenologischen Befunde an Okklusalflächen in Relation zum Referenzstandard. Die durchgehende, breite Linie illustriert den Grenzwert für die Berechnung der diagnostischen Güteparameter.

Diagnose (Röntgen)	CE-Index ( $\mu\text{CT}$ ) $\bar{X}$ (SD) Min - Max	Referenz ( $\mu\text{CT}$ )					$\Sigma$
		D0	D1	D2	D3	D4	
D0-2	0.0 (0.0) 0.0 – 0.0	0.3 (0.1) 0.2 – 0.5	0.8 (0.1) 0.5 – 1.0	1.2 (0.1) 1.0 – 1.4	-	-	0.9 (0.4) 0 – 1.4
	0.0 (-) 0.0 – 0.0	-	-	1.4 (0.1) 1.1 – 1.5	1.6 (0.1) 1.5 – 1.7	-	1.4 (0.2) 0.0 – 1.7
D3	-	-	-	1.4 (0.2) 1.2 – 1.3	1.7 (0.1) 1.6 – 1.9	-	1.6 (0.2) 1.2 – 1.9
$\Sigma$	0.0 (0.0) 0.0 – 0.0	0.3 (0.1) 0.2 – 0.5	0.8 (0.1) 0.5 – 1.0	1.2 (0.1) 1.0 – 1.5	1.6 (0.1) 1.5 – 1.9	-	1.1 (0.4) 0.0 – 1.9

Aufgrund der methodischen Unmöglichkeit, eine okklusale Schmelzläsion röntgenologisch zu diagnostizieren, konnte nur für das Dentinkariesniveau (D3-4) die diagnostische Güte der Röntgenuntersuchung berechnet werden. Es wurden folgende Ergebnisse ermittelt: SE 0.59, SP 0.99, NPV 0.56, PPV 0.99 und Az 0.79. Im Ergebnis handelt es sich hier um eine spezifische Untersuchungsmethode bei der gesunde Zahnoberflächen zuverlässig als gesund erkannt wurden. Insgesamt betrachtet ergibt sich für die röntgenologische Kariesdiagnostik eine summarische SE und SP von 158%. Die Abbildung (Abb.

23) dokumentiert die ROC-Kurve für das Dentinkariesniveau. Der Az-Wert von 0.79 bescheinigt der Röntgenuntersuchung eine gute Vorhersagekraft.

Abb. 23: ROC-Kurven der zahnflächen-bezogenen Röntgen-Diagnosen für das D3-4-Niveau.



#### 4.4 Güte der visuell-röntgenologischen Diagnostik

Im Weiteren erfolgte die Auswertung der kombinierten visuell-röntgenologischen Okklusalkariesdiagnostik. Aufgrund fehlender punktbezogener Daten für die röntgenologische Untersuchung wurden wiederum nur die zahnflächenbezogenen Daten verwendet. Die Fallverteilung unter Berücksichtigung des UniViSS-Schweregrades und des Röntgenbefundes kann der Tabelle 15 entnommen werden, die zugehörigen CE-Werte sind aus Tabelle 16 ersichtlich. Eine Gegenüberstellung mit dem UniViSS-Gesamtsystem zeigen die Tabellen 17 und 18.

Tab. 15: Fallverteilung aller UniViSS-Schweregrade in Abhängigkeit des Röntgenbefundes. Die durchgehende, breite Linie verdeutlicht die Grenzwertziehung für die Dentinkariesdiagnostik. Die gestrichelte breite Linie verdeutlicht die Grenze für eine fortgeschrittene Dentinkaries.

UniViSS (Schweregrad)	N (Zahnflächen)	Röntgen			$\Sigma$
		D0-2	D3	D4	
Gesund	34		1	-	35
Erste sichtbare Zeichen	44		6	-	50
Etablierte Läsion	35	-	33	3	71
Mikrokavität	6	-	12	7	25
Dentinexposition	1	-	7	1	9
Große Kavität	-	-	2	4	6
$\Sigma$	120		61	15	196

Im Ergebnis lässt sich eine hohe Übereinstimmung der Kategorien „Gesund“ und „Erste sichtbare Zeichen“ (UniViSS) mit dem Röntgenbefund D0-2 erkennen. Von 85 (35+50) Fällen wurden 78 (34+44) korrekt klassifiziert (Tab. 15; Tab. 17). Die entsprechenden Mittelwerte lagen im Bereich der Schmelzkaries (Tab. 16).

Tab. 16: Mikrocomputertomografische Kariesausdehnung aller UniViSS-(Schweregrad-) Befunde in Abhängigkeit des Röntgenbefundes. Die durchgehende, breite Linie verdeutlicht die Grenzwertziehung für die Dentikariesdiagnostik. Die gestrichelte breite Linie verdeutlicht die Grenze für eine fortgeschrittene Dentinkaries.

UniViSS (Schweregrad)	Caries-Extension-Index ( $\mu$ CT) $\bar{X}$ (SD) Min - Max	Röntgen			$\Sigma$
		D0-2	D3	D4	
Gesund	<b>Gesund</b>	<b>0.6 (0.4)</b> 0.0 – 1.1	<b>0.0 (-)</b> 0.0 – 0.0	-	<b>0.6 (0.4)</b> 0.0 – 1.1
	<b>Erste sichtbare Zeichen</b>	<b>0.9 (0.3)</b> 0.0 – 1.4	<b>1.3 (0.1)</b> 1.2 – 1.5	-	<b>0.9 (0.4)</b> 0.0 – 1.5
	<b>Etablierte Läsion</b>	<b>1.1 (0.2)</b> 0.4 – 1.3	<b>1.4 (.1)</b> 1.1 – 1.7	<b>1.6 (0.1)</b> 1.5 – 1.7	<b>1.3 (0.3)</b> 0.4 – 1.7
	<b>Mikrokavität</b>	<b>1.1 (0.2)</b> 1.0 – 1.4	<b>1.5 (0.1)</b> 0.3 – 1.7	<b>1.5 (0.2)</b> 1.2 – 1.7	<b>1.4 (0.2)</b> 1.0 – 1.7
	<b>Dentinexposition</b>	<b>1.1 (-)</b> 1.1 – 1.1	<b>1.5 (0.1)</b> 1.3 – 1.7	<b>1.7 (-)</b> 1.7 – 1.7	<b>1.4 (0.2)</b> 1.1 – 1.7
	<b>Große Kavität</b>	-	<b>1.5 (0.3)</b> 1.2 – 1.7	<b>1.8 (0.2)</b> 1.6 – 1.9	<b>1.7 (0.3)</b> 1.2 – 1.9
$\Sigma$		<b>0.9 (0.4)</b> 0.0 – 1.4	<b>1.4 (0.2)</b> 0.0 – 1.7	<b>1.6 (0.2)</b> 1.2 – 1.9	<b>1.1 (0.4)</b> 0.0 – 1.9

Wenn bei den visuellen Befunden „Etablierte Läsion“, „Mikrokavität“ und „Dentinexposition“ röntgenologisch eine D0-2-Läsion (n=42) vorlag (Tab. 16; Tab. 18 rosa), befand sich der kariöse Prozess nur minimal im Dentin (mittlerer CE=1.1). Ein wesentlicher Zusatznutzen der röntgenologischen Okkluskalkariesdiagnostik zeichnete sich für den Fall der „Etablierte Läsion“ ab, da hier in etwa der Hälfte aller Fälle eine Schmelzkaries (n=35) nahe der Schmelz-Dentin-Grenze bzw. eine fortgeschrittene Dentinkaries (n=33+3=36) vorlag (Tab. 15 und Tab. 16). Ab dem Vorliegen einer etablierten Läsion (UniViSS) und einem Röntgenbefund D3-4 wurden im Durchschnitt eine fortgeschrittene Dentinkaries ermittelt (CE>1.3). Für diese Fälle (n=69) stimmten beide Diagnostiksysteme somit gut überein (Tab. 16; Tab. 18). In Tabelle 17 und 18 wurden zusätzlich die UniViSS-Verfärbungsgrade aufgeführt. Im Vergleich mit den Tabellen 15 und 16 ergab sich durch die Verfärbungsgrade kein zusätzlicher Informationsgewinn bei der visuell-röntgenologischen Untersuchung. Der Hauptnutzen der röntgenologischen Untersuchung lag vorrangig in der Identifikation klinisch nicht erkennbarer Dentinläsionen (Tab. 18 blau/ violett).

Tab. 17: Verteilung aller UniViSS-Befunde in Relation zu den röntgenologischen Kategorien.

N (Zahnflächenbezogen)		Röntgen			$\Sigma$
UniViSS		D0-2	D3	D4	
Schweregrad	Verfärbung				
Gesund	Gesund	34	1	-	35
Erste sichtbare Zeichen	Weiß	28	1	-	29
	Weiß-braun	8	5	-	13
	Braun	8	-	-	8
Etablierte Läsion	Weiß	4	3	-	7
	Weiß-braun	23	28	3	54
	Braun	7	2	-	9
	Gräuliche Transluzenz	1	-	-	1
Mikrokavität	Weiß	1	1	-	2
	Weiß-braun	5	9	6	20
	Braun	-	1	1	2
	Gräuliche Transluzenz	-	1	-	1
Dentin- exposition	Weiß	-	-	-	-
	Weiß-braun	1	6	1	8
	Braun	-	1	-	1
	Gräuliche Transluzenz	-	-	-	-
Große Kavität	Weiß	-	-	-	-
	Weiß-braun	-	2	1	3
	Braun	-	-	3	3
$\Sigma$		120	61	15	196

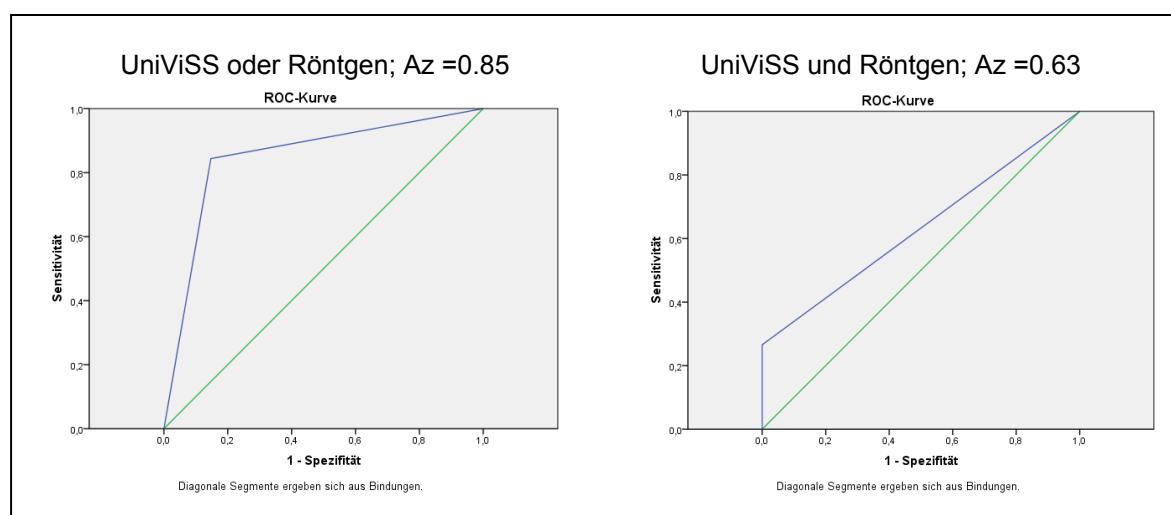
Tab. 18: CE-Werte in Abhängigkeit des visuellen und röntgenologischen Befundes. Die rosa eingefärbten Felder sind die von UniViSS als Dentinkaries definierten Befunde, die blau eingefärbten Felder repräsentieren die mit der Röntgenuntersuchung als Dentinkaries definierten Befunde.

Caries-Extension-Index ( $\mu$ CT) $\bar{X}$ (SD) Min – Max		Röntgen			$\Sigma$
UniViSS		D0-2	D3	D4	
Schweregrad	Verfärbung				
Gesund	Gesund	0.6 (0.4) 0.0 – 1.1	0.0 (-) 0.0 – 0.0	-	0.6 (0.4) 0.0 – 1.1
Erste sichtbare Zeichen	Weiß	0.8 (0.3) 0.0 – 1.2	1.3 (-) 1.5 – 1.5	-	0.8 (0.3) 0.0 – 1.5
	Weiß-braun	1.2 (0.1) 1.0 – 1.3	1.3 (0.1) 1.2 – 1.4	-	1.2 (0.1) 1.0 – 1.4
	Braun	0.9 (0.3) 0.2 – 1.4	-	-	0.9 (0.3) 0.2 – 1.4
Etablierte Läsion	Weiß	1.0 (0.4) 0.4 – 1.2	1.4 (0.1) 1.3 – 1.4	-	1.1 (0.3) 0.4 – 1.4
	Weiß-braun	1.1 (0.1) 0.8 – 1.3	1.4 (0.1) 1.1 – 1.7	1.6 (0.1) 1.5 – 1.7	1.3 (0.2) 0.8 – 1.7
	Braun	1.0 (0.3) 0.5 – 1.3	1.4 (0.1) 1.4 – 1.5	-	1.1 (0.3) 0.5 – 1.5
	Gräuliche Transluzenz	1.2 (-) 1.2 – 1.2	-	-	1/ 1.2 (-) 1.2 - 1.2
Mikrokavität	Weiß	1.2 (-) 1.2 – 1.2	1.6 (-) 1.6 – 1.6	-	1.4 (0.3) 1.2 – 1.6
	Weiß-braun	1.1 (0.2) 1.0 – 1.4	1.5 (0.1) 1.3 – 1.7	1.5 (0.2) 1.2 – 1.7	1.4 (0.2) 1.0 – 1.7
	Braun	-	1.6 (-) 1.6 – 1.6	1.7 (0.0) 1.7 – 1.7	1.6 (0.0) 1.6 – 1.7
	Gräuliche Transluzenz	-	1.7 (-) 1.7 – 1.7	-	1.7 (-) 1.7 – 1.7
Dentin- exposition	Weiß	-	-	-	-
	Weiß-braun	1.1 (-) 1.1 – 1.1	1.4 (0.1) 1.3 – 1.7	1.7 (-) 1.7 – 1.7	1.4 (0.2) 1.1 – 1.7
	Braun	-	1.6 (-) 1.6 – 1.6	-	1.6 (-) 1.6 – 1.6
	Gräuliche Transluzenz	-	-	-	-
Große Kavität	Weiß	-	-	-	-
	Weiß-braun	-	1.5 (0.3) 1.2 – 1.7	1.9 (-) 1.9 – 1.9	1.6 (0.4) 1.2 – 1.9
	Braun	-	-	1.7 (0.1) 1.6 – 1.9	1.7 (0.1) 1.6 – 1.9
	$\Sigma$	0.9 (0.4) 0.0 – 1.4	1.4 (0.2) 0.0 – 1.7	1.6 (0.2) 1.2 – 1.9	1.1 (0.4) 0.0 – 1.9

Die zur Ermittlung der diagnostischen Güte der visuell-röntgenologischen Untersuchung auf Dentinkariesniveau ermittelten Parameter sind der Tabelle (Tab. 19) zu entnehmen. Die zugrunde liegenden Grenzwerte sind dabei identisch zu den bereits vorher genannten (Tab. 15, Tab. 16). Es wurden die Ergebnisse für einen positiven Test auf Dentinkariesniveau basierend auf einer röntgenologisch erfassten Dentinkaries (D3-4) *oder* einem positiven UniViSS-Befund (Schweregrade M-P) erhoben (positiver Befund = ein Verfahren positiv; Tab. 19). Selbiges wurde für die Kombination aus einem positiven UniViSS-Befund (Schweregrade M-P) *und* einer röntgenologisch vorhandenen Dentinkaries (D3-4) untersucht (positiver Befund = beide Verfahren positiv; Tab. 20).

Die vergleichende Betrachtung der beiden Dentinkariesdiagnostikansätze zeigt Unterschiede bezüglich der diagnostischen Güte. Während der erste Ansatz (visuell *oder* röntgenologisch) eine summarische SE+SP von 169% sowie einen Az-Wert von 0.85 aufwies, lagen die korrespondierenden Werte für den zweiten Ansatz bei 123% und Az 0.63 (Abb. 24).

Abb. 24: ROC-Kurven für die klinisch-röntgenologische Okklusalkariesdiagnostik im Dentin.



Tab. 19: Vierfeldertafeln zur Güteparameter-Berechnung (SE, SP, PPV und NPV) auf Dentinkariesniveau von UniViSS in Kombination mit Röntgen.

		Referenzstandard		
		Karies - Nein	Karies - Ja	
Diagnostischer Test: <b>UniViSS oder Rö</b> (positiv= ein Verfahren positiv)	Karies - Nein	TN 58	FN 20	<b>NPV = 0.74</b>
	Karies - Ja	FP 10	TP 108	<b>PPV = 0.92</b>
	<b>SP = 0.85</b>		<b>SE = 0.84</b>	n = 196

Tab. 20: Vierfeldertafeln zur Güteparameter-Berechnung (SE, SP, PPV und NPV) auf Dentinkariesniveau von UniViSS in Kombination mit Röntgen.

		Referenzstandard		
		Karies - Nein	Karies - Ja	
Diagnostischer Test: <b>UniViSS+Rö</b> (positiv= beide Verfahren positiv)	Karies - Nein	TN 68	FN 94	<b>NPV = 0.42</b>
	Karies - Ja	FP 0	TP 34	<b>PPV = 1</b>
	<b>SP = 1</b>		<b>SE = 0.27</b>	n = 196

## **5. Diskussion**

### **5.1 Methodische Überlegungen**

Mit der vorliegenden Untersuchung konnte erstmals eine ausführliche Validierung des UniViSS zur Detektion und Diagnose von kariösen Läsionen der Okklusalflächen vorgenommen werden. Die Gesamtanzahl untersuchter Zähne belief sich dabei auf 196 dritte Molaren bzw. 234 untersuchte Stellen. Von den untersuchten Zähnen bzw. Stellen waren 6% bzw. 5% gesund, 29% bzw. 30% wiesen eine Schmelzläsion auf und 65% bzw. 66% waren mit einer Dentinläsion vergesellschaftet.

Zudem konnte im Rahmen dieser Studie auf eine große Probenzahl zugegriffen werden, welche in vergleichbaren Validierungsstudien bislang nicht erreicht wurde [Ekstrand et al. 1997; Ashley et al. 1998; Alwas-Danowska et al. 2002; Cortes et al. 2003; Burin et al. 2005; Souza-Zaroni et al. 2006; Jablonski-Momeni et al. 2008; Diniz et al. 2009; Jablonski-Momeni et al. 2009, 2010a,b]. In den meisten Untersuchungen wurden im Durchschnitt etwa 100 Zähne oder Stellen einbezogen. So untersuchten die Forschungsgruppen mit den meisten Messpunkten 163 Zähne [Diniz et al. 2009] bzw. 166 Stellen [Jablonski-Momeni et al. 2010b]. Trotz der äußerst variablen Fissurenanatomie der dritten Molaren, welche die Vergleichbarkeit mit ersten und zweiten bleibenden Molaren mitunter einschränkt, stellen diese dennoch die erste Wahl für In-vitro-Untersuchungen dar. Die begründet sich darin, dass unbehandelte erste und zweite Molaren als Untersuchungsmaterial ausnahmslos nicht zur Verfügung stehen. Bei der Auswahl der zu untersuchenden Zähne für diese Untersuchung wurde bewusst auf Prämolaren verzichtet, da das Problem einer okklusalen „hidden caries“ vordergründig an Molaren und nur selten an Prämolaren auftritt [Hannigan et al. 2000; Kordic et al. 2003]. Dies ist als ein weiteres Qualitätsmerkmal der vorliegenden Untersuchung zu verstehen, welches nicht immer erfüllt wurde [Ekstrand et al. 1997; Ashley et al. 1998; Jablonski-Momeni et al. 2008, 2009, 2010a, b].

Bei der Validierungstechnik bzw. dem Referenzstandard konnte als innovativer Aspekt dieser Arbeit mit dem  $\mu$ CT auf eine neue, für diesen Zweck noch nicht benutzte Technologie zurückgegriffen werden.

Für das Validierungsverfahren des  $\mu$ CT konnten umfangreiche Erfahrungen gesammelt werden. Der wesentliche Vorteil des  $\mu$ CT lag in der Möglichkeit

kariöse Läsionen dreidimensional darzustellen. Zudem entfiel die übliche destruktive histologische Aufbereitung der Probe. Zur Visualisierung der Untersuchungsergebnisse waren keine weiteren Arbeitsschritte, wie Fotografie oder die Anfertigung von Mikroradiografieaufnahmen der Schnitte nötig. Dies zog eine geringere Fehlerempfindlichkeit durch den Wegfall zahlreicher sensitiver Aufbereitungsschritte nach sich. Zudem lassen sich 3D-Datensätze in der Gesamtheit auswerten. Darin begründet sich ein weiterer Vorteil der neuen Validierungsmethode, indem eine sicherere Auffindung des Punktes der weitesten Kariesextension vergleichsweise einfach gelang. Bei dem in der Mehrzahl aller bisherigen Arbeiten benutzten Goldstandard, der Anfertigung von Zahnschnitten bzw. -schliffen und deren anschließender (stereo)mikroskopischer Beurteilung, ist dies unter Umständen nicht immer verlässlich möglich [Pitts 2001, 2004]. Ein weiterer Vorteil der  $\mu$ CT-Untersuchung ist in der Möglichkeit der zeitlich getrennten bzw. wiederholten Untersuchung der gleichen Zahnprobe zu sehen. Als Nachteile des  $\mu$ CT-Referenzstandards sind die noch fehlenden Studien zur Vergleichbarkeit mit bewährten Validierungsstandards und die derzeit (noch) hohen Kosten zu nennen. Zu dem in dieser Arbeit verwendeten Verfahren zur Vermessung der Kariesausbreitung (Abb. 16) muss kritisch angemerkt werden, dass dieses einer gewissen Subjektivität unterworfen ist. Daher wurden die Vermessungen grundsätzlich als Konsensesentscheidung der Untersucher durchgeführt. Auch konnte eine automatisierte Kariesvermessung in einer jüngst veröffentlichten Untersuchung mit der derzeitigen Technik lediglich im Dentin erfolgreich durchgeführt werden [Taylor et al. 2010].

Bei der hier durchgeführten  $\mu$ CT-Untersuchung konnte eine interessante Nebenbeobachtung gemacht werden. An sieben klinisch gesunden Molaren der ursprünglich 206 einbezogenen Zähne wurde eine untypische Radioluzenz im Bereich der Schmelz-Dentin-Grenze identifiziert (Abb. 20). Bei diesen scharf begrenzten Radioluzenzen waren keine typischen Zeichen einer Dentinkaries, d.h. eine abnehmende Demineralisation bzw. Schwärzung zur Pulpa hin, erkennbar. Nach konventioneller Hemisektion konnte ein Hohlraum nachgewiesen werden. Die wahrscheinlichste Erklärung für diese Beobachtung ist eine Anomalie im Bereich der Schmelz-Dentin-Grenze. Inwieweit diese Erscheinung möglicherweise nur an dritten Molaren – ähnlich einer abnormen

Wurzel(kanal)konfiguration – auftritt kann nur in weiteren Untersuchungen geklärt werden. Unter der Annahme, dass solche fehlgebildeten Bereiche unterhalb des Fissurenfundus an allen Molaren vorkommen können, bleibt zu schlussfolgern, dass diese Stellen eine schnelle Kariesprogression begünstigen. Dies würde die teilweise überraschend schnelle und fortgeschrittene Progression der „hidden caries“ erklären. Da eine eindeutige Zuordnung der beschriebenen Fehlbildung im Rahmen der vorliegenden Studie nicht möglich war, wurden die in Frage kommenden Proben von allen weiteren Analysen ausgeschlossen.

Zur Quantifizierung der Kariesprogression und der Ermittlung der Güteparameter wurde bei der vorliegenden Untersuchung auf ein quantitatives Verfahren, den CE-Index zurückgegriffen [Kühnisch et al. 2010b]. Wesentlicher Vorteil dieses Verfahrens gegenüber semi-quantitativen Verfahren [Marthaler 1966; Ekstrand et al. 1997] ist die Möglichkeit der metrischen Beurteilung der Kariesprogression. Damit kann auf die Verwendung von Kategorien zugunsten präziser Messwerte verzichtet werden. Dieses Vorgehen ermöglicht zudem die Einschätzung der Kariesprogression für einzelne diagnostische Kriterien (Tab. 9 und 10). Auch erfüllt der CE-Index grundlegende Anforderungen zur Zuordnung einer jeden Zahnprobe, ob eine Schmelz- oder Dentinkaries vorliegt.

## 5.2 Validierung visuelle Diagnostik (UniViSS)

Die visuelle Untersuchung hat ihren festen Platz im Rahmen der Okkluskalkariesdiagnostik [Pitts und Stamm 2004; Ekstrand 2004]. Insbesondere die Verwendung differenzierter visueller Diagnostiksysteme brachte unstrittig einen erheblichen Qualitätszuwachs (Tab. 1).

Bei der vergleichenden Betrachtung der Güteparameter für UniViSS kann dem System eine sehr gute Validität attestiert werden (Tab. 11). Die vorliegende Untersuchung erbrachte für UniViSS eine summarische SE und SP von 177% (Kariesdetektionsniveau) und 174% (Dentinkariesniveau). Die ermittelten Az-Werte lagen mit 0.82 (Kariesdetektionsniveau) und 0.89 (Dentinkariesniveau) auf einem hohen Niveau. Im Vergleich zu anderen publizierten Studien zur differenzierten visuellen Kariesdiagnostik [Ekstrand et al. 1997; Ashley et al. 1998; Huysmans et al. 1998; Pereira et al. 2001; Cortes et al. 2003; Reis et al. 2004; Burin et al. 2005; Souza-Zaroni et al. 2006; Jablonski-Momeni et al. 2008;

Pereira et al. 2009; Kühnisch et al. 2010b] liegen die SE-, SP- und Az- Werte dieser Untersuchung (Tab. 1) in einer vergleichbaren Größenordnung bzw. konnten diese teils übertreffen. Das Diagnostiksystem nach Ekstrand et al. erbrachte im Vergleich zu UniViSS weitgehend identische Werte [Cortes et al. 2003; Burin et al. 2005; Pereira et al. 2009]. Ähnlich kann der direkte Vergleich zwischen Ergebnissen zu ICDAS II [Jablonski-Momeni et al. 2008, Diniz et al. 2009] und UniViSS beurteilt werden.

Die aktuell ermittelten Güteparameter sind im Vergleich zu einer bereits durchgeführten Pilotuntersuchung zum UniViSS [Kühnisch et al. 2010b] günstiger einzuschätzen. Hier ist hervorzuheben, dass sich die hohe Anzahl an nicht-kavitierten kariösen Läsionen im Untersuchungsmaterial der vorliegenden Arbeit, welche in der Regel zu einer Reduktion der diagnostischen Güte führt, nicht negativ auswirkt. Mit Blick auf die geforderte Summation aus SE und SP von 160% [Hausen 1997] ist die klinische Tauglichkeit des UniViSS-Diagnostiksystems damit gegeben. Dies wird ebenso durch einen Az-Wert >0.75 bestätigt. Zusammenfassend konnte gezeigt werden, dass die diagnostische Güte des UniViSS ein hohes Niveau erreichte. Es bleibt auch hervorzuheben, dass das Diagnostiksystem bereits zur visuellen Grunduntersuchung geeignet ist und völlig ohne technischen Aufwand einsetzbar ist. Klinische Untersuchungen mit UniViSS können sich demzufolge anschließen.

In dieser Arbeit konnte durch die Verwendung des CE-Index die Kariesausdehnung für jeden UniViSS-Diagnostikwert einzeln bestimmt werden. Es wurde gezeigt, dass die diagnostische Herausforderung hauptsächlich die Schweregrade *Erste sichtbare Zeichen* und *Etablierte Läsion* darstellen. Bei diesen Läsionsstadien lag in der Regel eine Kariesprogression im Bereich der Schmelz-Dentin-Grenze oder im äußeren Dentindrittel vor (Tab. 9 und 10). Den UniViSS-Diagnostikwerten Mikrokavität, Dentinexposition und große Kavität konnten ausschließlich fortgeschrittene Dentinläsionen zugeordnet werden (Tab. 9 und 10).

Innerhalb der Schweregrade *Erste sichtbare Zeichen* und *Etablierte Läsion* nimmt der Verfärbungsgrad *Weiß-braun* eine Sonderstellung ein. Für alle *weiß-braunen* Läsionen wurden im Vergleich zu *weißen* bzw. *braunen* Verfärbungen bei gleichen UniViSS-Schweregraden eine weiter pulpwärts reichende Kariesausdehnung registriert (Tab. 9 und 10). Zudem ist festzustellen, dass

*weiß-braune* Verfärbungen gehäuft mit einer Dentinkaries verknüpft waren. Diese Beobachtung signalisiert, dass es sich hierbei mehrheitlich um fortgeschrittene und damit aktiver Läsionen handelt [Kühnisch 2007c]. Es ist zusätzlich anzumerken, dass *weiß-braun* im Probenmaterial den am häufigsten vorkommenden Verfärbungsgrad darstellte (Tab. 8 und 9). Inwiefern dies die tatsächliche Prävalenz wiederspiegelt ist fraglich. Unter Berücksichtigung dieser Ergebnisse wird die Bedeutung der Erfassung des Verfärbungsgrades, insbesondere an *etablierten Läsionen*, offensichtlich. Darin ist das Alleinstellungsmerkmal von UniViSS zu sehen, welches auch künftig beibehalten werden sollte.

An dieser Stelle muss auch auf die Begrenzungen einer In-vitro-Diagnose verwiesen werden. Dies begründet sich darin, dass eine Aktivitätsbeurteilung ausnahmslos mit Hilfe in vitro nicht erfassbarer klinischer Merkmale, wie dem Vorhandensein von Plaque, einer matten, rauen Läsionsoberfläche, von erweichtem feuchtem Dentin bzw. von Kavitationen [Nyvad et al. 1999, 2003] und auf Grundlage des Gesamtzustands der Dentition [Braga et al. 2009] gelingt.

### 5.3 Güte der röntgenologischen Dentinkariesdiagnostik

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung konnte weiterhin die Güte der röntgenologischen Dentinkariesdiagnostik überprüft werden. Mit einer ermittelten SE von 0.59, SP von 0.99 und einem Az 0.79 handelt es sich bei der röntgenologischen Untersuchung um eine Methode mit hoher SP. Gesunde Okklusalflächen werden damit zuverlässig als gesund erkannt. Demgegenüber werden kariöse Läsionen nicht mit hinreichender Genauigkeit aufgefunden.

Die Betrachtung bisheriger Untersuchungen zur Röntgendiagnostik zeigt ein heterogenes Bild. So weist der Vergleich der vorliegenden Untersuchungsergebnisse (SE 0.59, SP 0.99, Az 0.79) zu früher publizierten Studien, die digitale Röntgensysteme untersuchten, nahezu identische Güteparameter auf [Wenzel et al. 1995; Hintze und Wenzel 2002; Kositbowornchai et al. 2004]. Auch eine jüngst publizierte Untersuchung von Young et al. [2009] ergab für die Validierung eines CCD-Sensorsystems mittels µCT SE-Werte von 0.64 und SP-Werte von 0.90 für die röntgenologische Okklusalkariesdiagnostik. Diese Werte sind mit denen der vorliegenden Studie

identisch. Demgegenüber wurden in anderen Untersuchungen aber deutlich niedrigere SE-Werte registriert [Russel und Pitts 1993; Ashley et al. 1998].

Röntgenologisch als kariesfrei bzw. als Schmelzkaries diagnostizierte Molaren (D0-2) wiesen mit einem durchschnittlichen CE-Wert von 0.9 (0.0-1.4) mehrheitlich eine fortgeschrittene Schmelzkaries auf (Tab. 14). Die röntgenologisch diagnostizierbare Kariesausdehnung für Dentinläsionen (D3) war mit einem durchschnittlichen CE-Wert von 1.4 bereits signifikant ins Dentin vorgedrungen. Hierbei schwankte der durchschnittliche CE-Wert zwischen 1.4 und 1.6 (Tab. 14). Für Läsionen welche röntgenologisch in die innere Dentinhälfte (D4) vorgedrungen waren, konnte im  $\mu$ CT mit 1.4 bis 1.7 eine fortgeschrittene Dentinbeteiligung festgestellt werden.

Zusammenfassend kann an dieser Stelle festgestellt werden, dass mit dem Vorliegen einer röntgenologisch erfassbaren Dentinkaries eine Läsion vorliegt, die bereits zu 40% ins Dentin fortgeschritten ist. Jedoch ist zu vermerken, dass der röntgenologische Befund immer im Kontext mit dem visuellen Befund beurteilt werden muss, da die alleinige Röntgenuntersuchung nur eine geringe SE aufweist.

#### **5.4 Güte der visuell-röntgenologische Okklusalkariesdiagnostik**

Wie bereits beschrieben gelang unter Verwendung der visuellen Diagnostik (UniViSS) nicht in jedem Fall eine fehlerfreie Vorhersage einer Dentinkaries. Allerdings konnte durch die Nutzung des Verfärbungsgrades die Genauigkeit verbessert werden. Wird nunmehr das Röntgenbild als weiterer Befund mit berücksichtigt, so ergab sich bei der Dentinkariesdiagnostik das folgende Bild: Für die Kombination aus visueller und röntgenologischer Untersuchung konnten in der vorliegenden Untersuchung eine SE von 0.27, eine SP von 1.00 und ein Az von 0.63 ermittelt werden (Tab. 20). Die niedrige SE kann dabei durch die zahlreich aufgefundenen minimalen Dentinläsionen nahe der Schmelz-Dentin-Grenze (mittlerer CE-Index zwischen 1.0-1.1) erklärt werden, welche mehrheitlich nicht korrekt als Dentinläsion anhand der visuellen Untersuchung verifiziert wurden.

Für die klinisch-röntgenologischen CE-Werte (Tab. 18) bei Vorliegen einer röntgenologischen Dentinkaries konnte für die *ersten sichtbaren Zeichen* ein Wert von 1.3 und für den Fall der *Etablierten Läsionen* CE-Werte von 1.4 bis 1.6

ermittelt werden. Für die Schweregrade *Mikrokavität*, *Dentinexposition* und *große Kavität* wurden CE-Werte >1.4 festgestellt. Die röntgenologisch als kariesfrei identifizierten Zähne wiesen für die genannten visuellen Schweregrade keine oder nur eine geringgradige Dentinkariesprogression auf.

Das Kriterium *Etablierte Läsion* repräsentiert im vorliegenden Probenmaterial die umfangreichste Gruppe (Tab. 15). In dieser Gruppe liegt mit einer etwa 50%igen Wahrscheinlichkeit eine röntgenologisch zu identifizierende Karies vor (Tab. 17). Diese Läsionen wiesen bereits eine deutliche Dentinprogression mit CE-Werten >1.4 auf (Tab. 18). Aus den Ergebnissen dieser Untersuchung ist daher zu schließen, dass insbesondere für die Kategorie der *Etablierten Läsion* die röntgenologische Diagnostik zur Unterscheidung einer Dentinkaries bzw. einer Läsion mit Behandlungsnotwendigkeit hinzugezogen werden sollte. Die röntgenologische Diagnostik stellt auf diese Weise ein Sicherheitsnetz zur Erkennung klinisch nicht sichtbarer, weit fortgeschrittenener Dentinläsionen dar.

Der Vergleich zu anderen Studien zur visuellen Untersuchung in Kombination mit röntgenologischer Diagnostik [Souza-Zaroni et al. 2006; Valera et al. 2008] bestätigt niedrige Werte für die SE sowie eine hohe SP. Diese grundsätzliche Beobachtung wird auch durch eine Studie bestätigt, welche differenzierte visuelle Kriterien validierte [Valera et al. 2008]. Hier lagen die Güteparameter für die klinisch-röntgenologische Dentinkariesdiagnostik in einer Größenordnung von SE 0.49, SP 0.99 und Az 0.74.

An dieser Stelle der Arbeit wird offensichtlich, dass nach üblichen Bewertungsmaßstäben die alleinige Detektion einer Dentinkaries die Güte des diagnostischen Vorgehens zum Ausdruck bringt. Da jedoch eine Diagnose immer mit einer therapeutischen Handlungsanweisung verbunden sein sollte, ist die Grenzwertziehung näher zu erörtern. Während die Penetration der Schmelz-Dentin-Grenze durch den kariösen Prozess als diagnostischer Trennwert gilt (D1-2 versus D3-4), so wird diese Grenzwertziehung aus therapeutischer Sicht gegenwärtig überdacht [Kidd 2004]. Die therapeutische Intervention wird heute vielmehr von der Gesamtsituation des Patienten, dem Kariesrisiko und der Kariesaktivität abhängig gemacht [Ekstrand et al. 1997; Kidd 2004; Ricketts und Pitts 2009]. In diesem Kontext ist eine minimale Dentinbeteiligung sicherlich zu vernachlässigen [Mertz-Fairhurst et al. 1998; Ricketts et al. 2008] und daher zu den beiden diagnostischen Grenzwerten (D0 versus D1-4; D0-2 versus D3-4) ein

therapeutischer Grenzwert hinzuzufügen. Diesem Aspekt wurde bisher nur eine geringe Bedeutung beigemessen und sollte in zukünftigen Untersuchungen verstärkt in den Mittelpunkt rücken.

## **5.5 Behandlungsempfehlungen zur Okklusalkaries unter Berücksichtigung von UniViSS**

Wie zuvor ausgeführt ergibt sich aus heutiger Sicht die Notwendigkeit der Definition eines weiteren Grenzwertes, welcher letztlich mit einer therapeutischen Intervention einhergeht und als Schwellenwert für eine invasive Intervention zu verstehen ist. Die wesentliche Fragestellung hierbei ist, welche konkrete Progression kariöser Läsionen bzw. welcher CE-Wert dazu vorliegen muss. Als erster Ansatz dazu können die histologischen Kriterien nach Ekstrand et al. [1997] verstanden werden, welche Läsionen in der inneren Schmelzhälfte sowie Dentinläsionen bis zum äußeren Drittel zusammenfassten. Damit könnte eine Dentinbeteiligung von einem Drittel als etwaiger Grenzwert postuliert werden. Kidd [2004] schlägt in diesem Zusammenhang vor, das Vorhandensein großer Mengen an infiziertem Dentin als Entscheidungsgrundlage zur invasiven Behandlung anzusehen. Allerdings ist dieser Vorschlag nur bedingt quantifizierbar. Zur Mikrobiologie klinisch-röntgenologischer Befunde konnten Ricketts et al. [2002] für Läsionen mit Schmelzeinbrüchen in Kombination mit einer Radioluzenz eine behandlungsbedürftige Infektion des Dentins feststellen. Derselbe Autor kam in einer Literaturübersicht [Ricketts et al. 2008] zum Schluss, dass bei ungefüllten Zähnen eine vollständige Kariesexkavation nicht zwangsläufig nötig ist, um Pulpenschäden sowie ein Versagen der Restauration auszuschließen. Mertz-Fairhurst et al. [1998] postulierten in einer Studie mit einem Beobachtungszeitraum von zehn Jahren, dass ein dichter Verschluss zur Arretierung einer Dentinkaries ausreichend ist.

Aus vorgenannten Erkenntnissen und den Ergebnissen dieser Studie kann geschlussfolgert werden, dass unter Einsatz moderner adhäsiv verankerter Restaurationen in der Regel erst kariöse Läsionen, die deutlich in das Dentin vorgedrungen ( $CE>1.3$ ) und zusätzlich infiziert sind, einer invasiven Füllungstherapie unterzogen werden sollten [Ekstrand 1997; Kidd 2004; Ricketts und Pitts 2009]. Dies trifft für die UniViSS-Schweregrade *Mikrokavität*,

*Dentinexposition*, *Große Kavität* sowie alle Läsionen mit einer *Gräulichen Transluzenz* zu. Für die Schweregrade *Erste sichtbare Zeichen* und *Etablierte Läsion* kann die Fissurenversiegelung empfohlen werden. Für die *Etablierte Läsion* mit Verfärbung *weiß-braun* kann in Abhängigkeit der Röntgendiagnostik eine minimal invasive Füllungstherapie oder eine Fissurenversiegelung erforderlich sein.

Bei Betrachtung vorgenannter Therapieansätze und unter Einbringung eigener Erfahrungen kann hiermit eine optimierte Version des UniViSS vorgestellt werden. Ziel ist es dabei, den gesamten kariösen Prozess abzubilden und somit weitere Schweregrade zu berücksichtigen. (Abb. 25). Zudem sollte die Kompatibilität mit anderen Kariesdiagnostiksystemen gewahrt bleiben. Dies ist sowohl im Fall des in epidemiologischen Studien gebräuchlichen DMF-Index, der ICDAS-Kriterien als auch dem jüngst vorgestellten PUFA-Index [Monse et al. 2010] gewährleistet. Insbesondere die Entwicklung des letztgenannten Index beeinflusste die nunmehrige Überarbeitung UniViSS. Hier können differenzierte Zustandsbilder des kariösen Prozesses vom gesunden Zahn (Score 0) bis hin zum Zahnverlust (Score X) dokumentiert werden. Herauszustellen bleibt an dieser Stelle, dass sich das System flexibel an die jeweiligen Untersuchungserfordernisse anpassen lässt indem Befundgruppen zusammengefasst werden können. Auf diese Weise ist eine breite Verwendbarkeit als Kariesdiagnostik- und -dokumentationsmethode möglich und die Vergleichbarkeit internationaler Studien mit unterschiedlichsten Erscheinungsbildern der Karies sichergestellt. Die diagnostische Güte der neuen UniViSS-Befundgruppen sollte in weiterführenden Untersuchungen analysiert werden.

Abb. 25: Erweitertes UniViSS für Fissuren und Grübchen mit Behandlungsempfehlungen.

Universelles Visuelles Scoring System für Grübchen und Fissuren (UniViSS Okklusalflächen 2.0)						
Erster Schritt: Läsionserkennung & Einschätzung des Schweregrades	Zweiter Schritt: Einschätzung des Verfärbungsgrades					Behandlung
	Weiß (Score 1)	Braun (Score 2)	Aktiv Score Weiß-Braun (Score 3)	Gräuliche Transluzenz (Score 4)		
Gesunde Zahnoberfläche (Score 0)	Keine kariösen bedingten Veränderungen erkennbar.					keine aktiven Maßnahmen
Erste visuell sichtbare Zeichen (Score F)						Fissurenversiegelung empfohlen
Etablierte nicht kavitierte kariöse Läsion (Score E)						Fissurenversiegelung oder minimal invasive Restauration empfohlen
Mikrokavität bzw. Lokalisierte Schmelzeinbruch (Score M)						Bedarf für weitere diagnostische Methoden
Dentinexposition (Score D)						Füllungstherapie empfohlen
Große Kavität (Score L)						
Pulpitis, Pulpaaeröffnung & Pulpeneckrosis (Score P)						Endodontische / Füllungstherapie empfohlen
Abszess, Fistel, Periapicale Läsion (Score A)						Endodontische / Füllungs- oder chirurgische Therapie empfohlen
Wurzelrest (Score R)						chirurgische Therapie empfohlen = Extraktion
Zahnverlust (Score X)	Nur kariesbedingt extrahierte Zähne.					

## **6. Zusammenfassung**

Das klinische Erscheinungsbild der Okklusalkaries hat sich im Zuge des Kariesrückgangs der letzten Jahrzehnte zunehmend verändert. Wesentliches Merkmal dieser Entwicklung ist ein gehäuftes Auftreten nicht-kaviterter kariöser Okklusalläsionen. Um dieser Entwicklung Rechnung zu tragen wurde differenzierten visuellen Diagnostiksystemen eine verstärkte Aufmerksamkeit beigemessen. Ein jüngst vorgestelltes Kariesdiagnostiksystem ist das universelle visuelle Scoring System (UniViSS), welches in der vorliegenden Untersuchung neben der Röntgendiagnostik eine ausführliche Validierung an Okklusalflächen erfahren hat. Im Ergebnis der vorliegenden Arbeit können folgende Kernaussagen zusammengefasst werden:

1. In die In-vitro-Untersuchung wurden 203 dritte Molaren einbezogen. Die Validierung erfolgte durch eine mikrocomputertomografische Untersuchung ( $\mu$ CT). Als Vorteile dieser Methode sind die zerstörungsfreie Untersuchung der Proben, die Möglichkeit der dreidimensionalen Auswertung sowie das sichere Auffinden der Region mit der am weitesten vorangeschrittenen Kariesprogression zu nennen.
2. Sieben Molaren wurden aufgrund nicht-kariestypischer Defekte ausgeschlossen. Diese können als Anomalien im Bereich der Schmelz-Dentin-Grenze interpretiert werden. Hierzu sollten weitere Untersuchungen folgen.
3. Für die Validität der visuellen Okklusalkariesdiagnostik mit dem UniViSS konnten auf dem Kariesdetektions- und Dentinkariesniveau sehr gute Güteparameter ermittelt werden. Der Vergleich mit etablierten visuellen Diagnostiksystemen erbrachte vergleichbare Werte und bescheinigt dem UniViSS eine gute diagnostische Trennschärfe zum Auffinden von unterschiedlichen Läsionsgraden.
4. Für die Validierung des digitalen röntgenologischen Verfahrens (Sidexis, Sirona, Bensheim, Deutschland) ergab sich auf Dentinkariesniveau eine exzellente SP bei reduzierter SE. Daher ist die Röntgendiagnostik als ein spezifisches Verfahren einzuschätzen, welches in der Klinik gesunde Zahnoberflächen zuverlässig als solche erkennt. Demgegenüber ist die Erfassung einer Dentinkaries nahe der Schmelz-Dentin-Grenze erschwert.

5. Die Kombination der visuellen und röntgenologischen Okklusalkariesdiagnostik ergab auf dem Dentinkariesniveau mäßige Güteparameter. Es konnte jedoch auch gezeigt werden, dass die Mehrzahl visueller Befunde mit UniViSS korrekt vorhergesagt werden können und eine zusätzliche Röntgenuntersuchung nur für eine Befundgruppe („etablierte Läsionen“) des UniViSS indiziert erscheint. Dies scheint den Gebrauch zusätzlicher Röntgenuntersuchungen einzuschränken.
6. Für einige visuelle UniViSS-Kriterien wurde eine geringfügige Überschreitung der Schmelz-Dentin-Grenze dokumentiert. Der gegenwärtig zu beobachtende Trend, dass die Entscheidung zur invasiven bzw. restaurativen Kariestherapie nicht mehr an das Vorhandensein einer Dentinbeteiligung gebunden ist, erfordert die Definition entsprechender Kriterien bis zu welchem Ausmaß eine Dentinbeteiligung mit einem präventiven Vorgehen vereinbar ist. Zu diskutieren wäre hierbei beispielsweise die Definition eines Grenzwertes anhand des CE-Index. Dieser Aspekt sollte daher in zukünftigen Untersuchungen näher beleuchtet werden.

## Literaturverzeichnis

1. Abalos C, Herrera M, Jiménez-Planas A, Llamas R: Performance of Laser Fluorescence for Detection of Occlusal Dentinal Caries Lesions in Permanent Molars: An in vivo Study with Total Validation of the Sample. *Caries Res* 43(2009)137–141
2. Ahovuo-Saloranta A, Hiiri A, Nordblad A, Mäkelä M, Worthington HV: Pit and fissure sealants for preventing dental decay in the permanent teeth of children and adolescents. *Cochrane Database Syst Rev Issue 4(2008)*CD001830.
3. Alwas-Danowska HM, Plasschaert AJM, Suliborska S, Verdonschot EH: Reliability and validity issues of laser fluorescence measurements in occlusal caries diagnosis. *J Dent* 30(2002)129–134.
4. Amano M, Agematsu H, Abe S, Usami A, Matsunaga S, Suto K, Ide Y: Three-dimensional analysis of pulp chambers in maxillary second deciduous molars. *J Dent* 34(2006)503-508.
5. Angnes G, Angnes V, Grande RHM, Battistella M, Loguercio AD, Reis A: Occlusal caries diagnosis in permanent teeth: an in vitro study. *Braz Oral Res* 19/4(2005)243-248.
6. Ashley PF, Blinkhorn AS, Davies RM: Occlusal caries diagnosis: an in vitro histological validation of the Electronic Caries Monitor (ECM) and other methods. *J Dent* 26(1998)83-88.
7. Batchelor PA and Sheiham A: Grouping of tooth surfaces by susceptibility to caries: a study in 5–16 year-old children. *BMC Oral (Health 2004)*4:2 doi:10.1186/1472-6831-4-2
8. Birkeland JM, Haugejorden O, Ramm von der Fehr F: Some Factors Associated with the Caries Decline among Norwegian Children and Adolescents: Age-Specific and Cohort Analyses. *Caries Res* 34(2000)109–116.
9. Burin C, Loguercio AD, Grande RH, Reis A: Occlusal caries detection: a comparison of a laser fluorescence system and conventional methods. *Pediatr Dent* 27(2005)304-312.
10. Bücher K., Kühnisch J., Hickel R., Heinrich-Weltzien R.: Methodology and potential of the Caries-Progression-Index (CP-Index) for quantitative caries extension measurement. 55. ORCA Congress. Groningen (Niederlande), 25.-28. Juni 2008. In: *Caries Res* 42(2008)210-211.
11. Bühl A, Zöfel P: SPSS Version 10. Einführung in die moderne Datenanalyse unter Windows. München: Addison Wesley-Verlag 2000.
12. Braga MM, Mendes FM, Martignon S, Ricketts DN, Ekstrand KR: In vitro comparison of Nyvad's system and ICDAS-II with Lesion Activity Assessment for evaluation of severity and activity of occlusal caries lesions in primary teeth. *Caries Res* 43(2009)405-412.
13. Bratthall D, Hänsel Peterson G, Sundberg H: Reasons for the Caries Decline: what do experts believe? *Eur J Oral Sci* 104(1996)416-422.
14. Campus G, Cagetti CMG, Sacco G, Solinas G, Mastroberardino S, Lingström P: Six Months of Daily High-Dose Xylitol in High-Risk Schoolchildren: A Randomized Clinical Trial on Plaque pH and Salivary Mutans Streptococci. *Caries Res* 43(2009)455–461.
15. Carvalho, JC, Ekstrand KR and Thylstrup A Dental plaque and caries on occlusal surface of first permanent molars in relation to stage of eruption. *J Dent Res* 68(1989)773-779.
16. Carvalho JC, Thylstrup A and Ekstrand KR Results after 3 years of nonoperative occlusal caries treatment of erupting permanent first molars. *Community Dent Oral Epidemiol* 20(1992)187-192.

17. Clementino Luedemann TNR, Kunzelmann KH: Mineral Concentration of Natural Human Teeth by a Commercial Micro-CT. *Dent Mater J* 25(2006)113-119.
18. Creanor SL, Russell JI, Strang DM, Stephen KW, Burchell CK: The prevalence of clinically undetected occlusal dentine caries in Scottish adolescents. *Br Dent J.* 169-5(1990)126-9.
19. Côrtes DF, Ellwood RP, Ekstrand KR: An in vitro Comparison of a Combined FOTI/Visual Examination of Occlusal Caries with Other Caries Diagnostic Methods and the Effect of Stain on Their Diagnostic Performance. *Caries Res* 7(2003)8–16.
20. De Santis R, Mollica F, Prisco D, Rengo S, Ambrosio L, Nicolais L: A 3D analysis of mechanically stressed dentin–adhesive–composite interfaces using X-ray micro-CT. *Biomaterials* 26(2005)257–270.
21. Deshpande A, Jadad A: The impact of polyol-containing chewinggums on dental caries.A systematic review of original randomized controlled trials and observational studies.*JADA* 139(2008)1602-1614.
22. Diniz MB, Rodrigues JA, Hug I, Cordeiro RCL, Lussi A: Reproducibility and accuracy of the ICDAS-II for occlusal caries detection. *Community Dent Oral Epidemiol* 37(2009)399-404.
23. Dowker SEP, Elliott JC, Davis GR, Wassif HS: Longitudinal Study of the Three-Dimensional Development of Subsurface Enamel Lesions during in vitro Demineralisation. *Caries Res* 37(2003)237–245.
24. Dunkley S and Ashley P: Use of a ranked scoring system to detect occlusal caries in primary molars. *Int J Paediatr Dent* 17/4(2007)267-273.
25. Ekstrand KR, Qvist V, Thylstrup A: Light microscope study of the effect of probing in occlusal surfaces. *Caries Res* 21(1987)368-374.
26. Ekstrand KR, Ricketts DNJ, Kidd EAM: Reproducibility an Accuracy of Three Methods for Assessment of Demineralistaion Depth on the occlusal Surface: An in vitro Examination. *Caries Res.*31(1997)224-231.
27. Ekstrand KR, Ricketts DNJ, Kidd EAM, Qvist V, Schou S: Detection, Diagnosing, Monitoring and Logical Treatment of Occlusal Caries in Relation to Lesion Activity and Severity: An in vivo Examination with Histological Validation. *Caries Res.*32(1998)247-254.
28. Ekstrand KR, Ricketts DNJ, Kidd EAM: Occlusal caries: pathology, diagnosis and logical management. *Dent Update* 28(2001)380-387.
29. Ekstrand KR: Improving clinical visual detection - potential for caries clinical trials. *J Dent Res* 83 Spec IssueC(2004)C67-C71.
30. Ekstrand KR, Martignon S, Ricketts DNJ, Kidd EAM, Qvist V: Detection an Activity Assessment of Primary Coronal Caries Lesions: A Methodologic Study. *Oper Dent* 32-3(2007) 225-235.
31. Espelid I, Mejare I, Weerheijm K; EAPD: EAPD guidelines for use of radiographs in children.*Eur J Paediatr Dent.* (2003):40-48.
32. Feldens CA, Giugiani ER, Duncan BB, Drachler MD, Vítolo MR: Long-term effectiveness of a nutritional program in reducing early childhood caries: a randomized trial.*Community Dent Oral Epidemiol.* 2010 Apr 7. [Epub ahead of print]
33. Francescut P, Zimmerli B, Lussi A: Influence of different storage methods on laser fluorescence values: a two-year study. *Caries Res.* 40(2006)181-185.
34. Garbin CAS, Garbin AJI, dos Santos KT, Lima DP: Oral health education in schools: promoting health agents. *Int J Dent Hygiene* 7(2009)212–216.
35. Gibbons R: The Caries Decline. A Comment. *Eur J Oral Sci* 104(1996)424-425.

36. GÜLZOW HJ, HELLWIG E, HETZER G: Leitlinie Flouridierungsmaßnahmen.  
<http://www.zzq-koeln.de/leit.htm> (Stand: Juli 2005)
37. HANNIGAN A, O'MULLANE DM, BARRY D., SCHÄFER F, ROBERTS AJ: A Caries Susceptibility Classification of Tooth Surfaces by Survival Time. *Caries Res* 34(2000)103–108.
38. HAUSEN H: Caries prediction - state of the art. *Community Dent Oral Epidemiol* 25(1997)87–96.
39. HEINRICH-WELTZIEN R, KÜHNISCH J, WEERHEIJM KL, STÖSSER L: Diagnostik der versteckten Okklusalkaries mit Bissflügel-Aufnahmen. *Dtsch Zahnärztl Z* 56(2001)467-480.
40. Hintze H und Wenzel A: Influence of the validation method on diagnostic accuracy for caries. A comparison of six digital and two conventional radiographic systems. *Dentomaxillofac Radiol* 31(2002)44-49.
41. Huang TTY, Jones AS, He LH, Darendeliler MA, Swain MV: Characterisation of enamel white spot lesions using X-ray micro-tomography. *J Dent* 35(2007)737–743.
42. Huysmans M-CDNM, Longbottom C, Pitts NB: Electrical Methods in Occlusal Caries Diagnosis: An in vitro Comparison with Visual Inspection and Bite-Wing Radiography. *Caries Res* 32(1998)324–329.
43. Huysmans M-CDNM and Longbottom C: The Challenges of Validating Diagnostic Methods and Selecting Appropriate Gold Standards. *J Dent Res* 83(2004)48-52.
44. Ie YL and Verdonschot EH: Performance of diagnostic systems in occlusal caries detection compared. *Dent Oral Epidemiol* 22(1994)187-191.
45. ICDAS ( Pitts NB, Ismail A, Zero D, Ekstrand K, Topping G)  
<http://www.icdas.org>. Stand 26.11.2010.
46. Ismail AI, Sohn W, Tellez M, Amaya A, Sen A, Hasson H, Pitts NB: The International Caries Detection and Assessment System (ICDAS): an integrated system for measuring dental caries. *Comm Dent Oral Epidemiol* 35(2007)170-178.
47. Jablonski-Momeni A, Stachniss V, Ricketts DN, Heinzel-Gutenbrunner M, Pieper K: Reproducibility and Accuracy of the ICDAS-II for Detection of Occlusal Caries in vitro. *Caries Res* 42(2008)79–87.
48. Jablonski-Momeni A, Ricketts DN, Heinzel-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 of Dent*(2009)doi:10.1155/2009/798283
49. Jablonski-Momeni A, Ricketts DN, Weber K, Ziomek O, Heinzel-Gutenbrunner M, Schipper HM, Stoll R, Pieper K: Effect of Different Time Intervals between Examinations on the Reproducibility of ICDAS-II for Occlusal Caries. *Caries Res* 44(2010a)267–271.
50. Jablonski-Momeni A, Ricketts DN, Rolfsen S, Stoll R, Heinzel-Gutenbrunner M, Stachniss V, Pieper K: Performance of laser fluorescence at tooth surface and histological section. *Lasers Med Sci*(2010b)DOI 10.1007/s10103-010-0768-y.
51. Jorgensen SM, Demirkaya O, Ritman EL: Three-dimensional imaging of vasculature and parenchyma in intact rodent organs with X-ray micro-CT. *Am J Physiol* 275(1998)H1103-14.
52. Kalukin AR, Winn B, Wang Y, Jacobsen C, Levine ZH, Fu J: Calibration of High-Resolution X-Ray Tomography With Atomic Force Microscopy. *J Res Natl Inst Stand Technol* 105(2000)867–874.

53. Kamegawa M, Nakamura M, Kitahara K, Ohtomo H, Hasegawa T, Nakakura T, Tsutsumi S: 3D morphological assessment of occlusal treatment by measuring dental casts with a micro-focus X-ray CT. *J Oral Rehabil* 35(2008)382-389.
54. Kaner D and Friedmann A: Soft tissue expansion with self-filling osmotic tissue expanders before vertical ridge augmentation: a proof of principle study. *J Clin Periodontol*(2010)doi: 10.1111/j.1600-051X.2010.01630.x.
55. Kordic A, Lussi A, Luder HU: Performance of visual inspection, electrical conductance and laser fluorescence in detecting occlusal caries in vitro. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 113(2003)852-859.
56. Kidd EAM: How 'Clean' Must a Cavity Be before Restoration? *Caries Res* 38(2004)305–313.
57. Kositbowornchai S, Basiw M, Promwang Y, Moragorn H, Sooksuntisakoonchai N: Accuracy of diagnosing occlusal caries using enhanced digital images. *Dentomaxillofac Radiol* 33(2004)236-240.
58. Kühnisch J, Heinrich-Weltzien R., Senkel H, Clasen AB, Stösser L: Dental health and caries topography in 8-yr-old German and immigrant children. *Eur J Paediatr Dent* 2(2001)191-196.
59. Kühnisch J, Senkel H, Heinrich Weltzien R: Vergleichende Untersuchung zur Zahngesundheit von deutschen und ausländischen 8- bis 10-Jährigen des westfälischen Ennepe-Ruhr- Kreises. *Gesundheitswesen* 65(2003)96-101.
60. Kühnisch J, Ziehe A Brandstät A, Heinrich-Weltzien R: An in vitro study of the reliability of DIAGNOdent measurements. *J Oral Rehab* 31(2004)895-899.
61. Kühnisch J and Heinrich-Weltzien R: Quantitative light-induced fluorescence (QLF) - a literature review. *Int J Comput Dent.* 7(2004)325-338.
62. Kühnisch J, Heinrich-Weltzien R, Tabatabaie M, Stösser L, Huysmans MCDNM: An in vitro Comparison between Two Methods of Electrical Resistance Measurement for Occlusal Caries Detection. *Caries Res* 40(2006a)104–111.
63. Kühnisch J, Ifland S, Tranæus S, Angmar-Mansson B, Hickel R, Stösser L, Heinrich-Weltzien R: Establishing quantitative light-induced fluorescence cut-offs for the detection of occlusal dentine lesions. *Eur J Oral Sci* 114(2006b)483-488.
64. Kühnisch J, Dietz W, Stösser L, Hickel R, Heinrich-Weltzien R: Effects of Dental Probing on Occlusal Surfaces – A Scanning Electron Microscopy Evaluation. *Caries Res* 41(2007a)43-48.
65. Kühnisch J, Goddon I, Senkel H, Monse-Schneider B, Oehme T, Hickel R, Heinrich Weltzien R: Development of a universal visual scoring system (UniViSS). *Caries Res* 41 (2007b)289.
66. Kühnisch J: Systematische Evaluierung etablierter und neuer Methoden zur Okklusalkariesdiagnostik-Medizinische Fakultät LMU- Habilitationsschrift-München(2007c).
67. Kühnisch J, Berger S, Goddon I, Senkel H, Pitts N, Heinrich-Weltzien R: Occlusal caries detection in permanent molars according to WHO basic methods, ICDAS II and laser fluorescence measurements. *Community Dent Oral Epidemiol* 36(2008)475–484.
68. Kühnisch J, Goddon I, Berger S, Senkel H, Bücher K, Oehme T, Hickel R, Heinrich-Weltzien R: Development, Methodology and Potential of the new Universal Visual Scoring System (UniViSS) for caries detection and diagnosis. *Int J Environ Res. Public Health* 6(9)(2009a)2500-2509.  
<http://www.univiss.net> Letzter Zugriff 26.11.2010.

69. Kühnisch J, Ifland S, Tranaeus S, Heinrich-Weltzien R: Comparison of visual inspection and different radiographic methods for dentin caries detection on occlusal surfaces. *Dentomaxillofac Radiol.* 38(2009b):452-457.
70. Kühnisch J, Reichl FX, Hickel R, Heinrich-Weltzien R: Leitlinie Fissuren- und Grübchenversiegelung. <http://www.zzzq-koeln.de/m2-d.htm> (Stand: April 2010a).
71. Kühnisch J, Bücher K, Henschel V, Albrecht A, Garcia-Godoy F, Mansmann U, Hickel R, Heinrich-Weltzien R: Diagnostic performance of the universal visual scoring system (UniViSS) on occlusal surfaces. *Clin Oral Invest*(2010b)DOI 10.1007/s00784-010-0390-1
72. Lee JK, Ha BH, Choi JH, Heo SM, Perinpanayagam H: Quantitative Three-Dimensional Analysis of Root Canal Curvature in Maxillary First Molars Using Micro-Computed Tomography. *J Endod* 32(2006)941-945.
73. Longbottom C and Huysmans M-CDNM: Electrical Measurements for Use in Caries Clinical Trials. *J Dent Res* 83(2004):C76-C79.
74. Luedemann TNRC: Micro-Computed Tomography in Caries Research. - Medizinische Fakultät LMU- Dissertationschrift-München(2007).
75. Lussi A: Validity of diagnostic and treatment decisions of fissure caries. *Caries Res* 25(1991)296-303.
76. Lussi A, Hibst R, Paulus R: DIAGNOdent: An Optical Method for Caries Detection. *J Dent Res* 83(2004)C80-C83.
77. Mäkinen KK: Sugar Alcohols, Caries Incidence, and Remineralization of Caries Lesions: A Literature Review. *Int J Dent* (2010) DOI:10.1155/2010/981072
78. Mannocci F, Peru M, Sherriff M, Cook R, Pitt Ford TR: The isthmuses of the mesial root of mandibular molars: a micro-computed tomographic study. *Int Endod J* 38(2005)558-563.
79. Marinho VCC, Higgins JPT, Logan S, Sheiham A: Fluoride gels for preventing dental caries in children and adolescents. *Cochrane Database of Systematic Reviews* (2002a), Issue 1. Art. No.: CD002280. DOI: 10.1002/14651858.CD002280.
80. Marinho VCC, Higgins JPT, Logan S, Sheiham A: Fluoride varnishes for preventing dental caries in children and adolescents. *Cochrane Database of Systematic Reviews* (2002b), Issue 1. Art. No.: CD002279. DOI: 10.1002/14651858.CD002279.
81. Marinho VCC, Higgins JPT, Logan S, Sheiham A: Fluoride toothpastes for preventing dental caries in children and adolescents. *Cochrane Database of Systematic Reviews* (2003a) Issue 1. Art. No.: CD002278.
82. Marinho VCC, Higgins JPT, Logan S, Sheiham A: Fluoride mouthrinses for preventing dental caries in children and adolescents. *Cochrane Database of Systematic Reviews* (2003b), Issue 3. Art. No.: CD002284. DOI: 10.1002/14651858.CD002284.
83. Marthaler TM: A standardized system of recording dental conditions. *Helv Odontol Acta* 10(1966)1-18.
84. Marthaler TM: Changes in dental caries 1953-2003. *Caries Res* 38(2004)173-181.
85. Mejare I, Stenlund H, Zelezny-Holmlund: Caries Incidence and Lesion Progression from Adolescence to Young Adulthood: A Prospective 15-Year Cohort Study in Sweden. *Caries Res.* 38(2004)130-141.
86. Meyer K, Geurtzen W, Günayan H: An early oral health care program starting during pregnancy. *Clin Oral Invest*(2009)DOI 10.1007/s00784-009-0297-x.
87. Mertz-Fairhurst EJ, Curtis JW, Ergle JW, Rueggeberg FA, Adair SM: Ultraconservative and cariostatic sealed restorations: Results at year 10. *J Am Dent Assoc* 129(1998)55-66.

88. Micheelis W, Kern R, Krämer J (ed): Vierte Deutsche Mundgesundheitsstudie (DMS IV). Institut der Deutschen Zahnärzte (IDZ) Köln (2006).
89. Mitropoulos P, Rahiotis C, Stamatakis H, Kakaboura A: Diagnostic performance of the visual caries classification system ICDASII versus radiography and micro-computed tomography for proximal caries detection: An in vitro study. *J Dent*(2010) doi:10.1016/j.jdent.2010.07.005
90. Monse B, Heinrich-Weltzien R, Benzian H, Holmgren C, van Palenstein Helderman W: PUFA--an index of clinical consequences of untreated dental caries. *Community Dent Oral Epidemiol*(2010)77-82.
91. Neuhaus KW, Ellwood R, Lussi A, Pitts NB: Traditional Lesion Detection Aids. *Monogr Oral Sci*. 21(2009)42–51.
92. Neuhaus KW, Rodrigues JA, Hug I, Stich H, Lussi A: Performance of laser fluorescence devices, visual and radiographic examination for the detection of occlusal caries in primary molars. *Clin Oral Invest*(2010)DOI 10.1007/s00784-010-0427-5.
93. Naujoks R, Hüllebrand G: Mundgesundheit in der Bundesrepublik. *Zahnärztl Mitt* 75(1985)417-419.
94. Neves AD, Coutinho E, De Munck J, Van Meerbeek B: Caries-removal effectiveness and minimal-invasive potential of caries-excavation techniques: A micro-CT investigation. *J Dent* (2010)
95. Nyvad B, Machiulskiene V, Baelum V: Reliability of a new caries diagnostic system differentiating between active and inactive caries lesions. *Caries Res* 33(1999)252-260.
96. Nyvad B, Machiulskiene V, Baelum V: Construct and Predictive Validity of Clinical Caries Diagnostic Criteria Assessing Lesion Activity. *J Dent Res* 82(2003)117-122.
97. Oi T, Saka H, Ide Y:Three-dimensional observation of pulp cavities in the maxillary first premolar tooth using micro-CT. *Int Endod J* 37(2004)46-51.
98. Palacios C, Joshipura K, Willett W: Nutrition and health: guidelines for dental practitioners. *Oral Dis*. 2009 Sep;15(6):369-81. Epub 2009 May 15.
99. Park JC, Su C, Jung IH, Choi SH, Cho KS, Kim CK, Park YB, Lee SK, Kim CS:Mechanism of alveolar bone loss in a collagen-induced arthritis model in mice. *J Clin Periodontol*(2010)Doi: 10.1111/j.1600-051X.2010.01645.x
100. Pearce E, Larsen M, Coote G: Fluoride in enamel lining pits and fissures of the occlusal groove-fossa system in human molar teeth. *Caries Res* 33(1999)196-205.
101. Penning C, van Amerongen JP, Seef RE, ten Cate JM: Validity of probing for fissure caries diagnosis. *Caries Res*. 26(1992)445-449.
102. Pereira AC, Verdonschot EH, Huysmans M-CDNMJ: Caries Detection Methods: Can They Aid Decision Making for Invasive Sealant Treatment? *Caries Res* 35(2001)83–89.
103. Pereira AC, Eggertsson H, Martinez-Mier EA, Mialhe FL, Eckert GJ, Zero DT: Validity of caries detection on occlusal surfaces and treatment decisions based on results caries-detection methods. *Eur J Oral Sci* 117(2009)51–57.
104. Peters OA, Boessler C, Paqué F: Root canal preparation with a novel nickel-titanium instrument evaluated with micro-computed tomography: canal surface preparation over time. *J Endod* 36(2010)1068-1072.
105. Petersson GH, Bratthall D: The caries decline: a review of reviews. *Eur J Oral Sci*. 104(1996)436-43.
106. Pitts NB: Clinical diagnosis of dental caries: a European perspective. *J Dent Educ* 65 (2001)972-978.

107. Pitts NB: Modern concepts of caries measurements. *J Dent Res* 83 Spec No C (2004)C43-C47.
108. Pitts NB and Stamm JW: International Consensus Workshop on Caries Clinical Trials (ICW-CCT)—Final Consensus Statements: Agreeing Where the Evidence Leads. *J Dent Res* 83(Spec Iss C)(2004)C125-C128.
109. Poorterman JHG, Aartman ICH, Kalsbeek H: Underestimation of the prevalence of approximal caries and inadequate restorations in a clinical epidemiological study. *Community Dent Oral Epidemiol* 27(1999)331-337.
110. Poorterman JHG, Weerheijm KL, Aartman IHA, Kalsbeek H: Radiographic dentinal caries and its progression in occlusal surfaces in Dutch 17-year-olds: A 6-year longitudinal study. *Caries Res* 37(2003)29-33.
111. Reis A, Zach VL Jr, de Lima AC, de Lima Navarro MF, Grande R: Occlusal caries detection: a comparison of DIAGNOdent and two conventional diagnostic methods. *J Clin Dent*. 15(2004)76-82.
112. Reis A, Mendes FM, Angnes V, Angnes G, Grande RHM, Loguercio AD: Performance of methods of occlusal caries detection in permanent teeth under clinical and laboratory conditions. *J Dent* 34(2006)89-96.
113. Rhodes JS, Pitt Ford TR, Lynch JA, Liepins PJ, Curtis RV: Micro-computed tomography: a new tool for experimental endodontontology. *Int Endod J* 32(1999)165-170.
114. Ricketts D, Kidd E, Weerheijm K, de Soet H: Hidden caries: What is it? Does it exist? Does it matter? *Int Dent J* 47/5(1997)259-265.
115. Ricketts DNJ, Ekstrand KR, Kidd EAM, Larsen T: Relating Visual and Radiographic Ranked Scoring Systems for Occlusal Caries Detection to Histological and Microbiological Evidence. *Oper Dent* 27(2002)231-237.
116. Ricketts D, Kidd E, Innes NPT, Clarkson JE: Complete or ultraconservative removal of decayed tissue in unfilled teeth. *Cochrane Database of Systematic Reviews* 2008, Issue 3. Art. No.: CD003808. DOI 10.1002/14651858.CD003808.pub2.
117. Ricketts DNJ, Pitts NB: Traditional Operative Treatment Options. *Monogr Oral Sci* 21(2009)164–173.
118. Rodrigues JA, Diniz MB, Josglrlberg EB, Cordeiro RC: In vitro comparison of laser fluorescence performance with visual examination for detection of occlusal caries in permanent and primary molars. *Laser Med Sci*(2008a)
119. Rodrigues JA, Hug I, Diniz MB, Lussi A: Performance of Fluorescence Methods, Radiographic Examination and ICDAS II on Occlusal Surfaces in vitro. *Caries Res* 42(2008b)297-304.
120. Rohr M, Makinson OF, Burrow MF: Pits and fissures: morphology. *ASDC J Dent Child* 58(1991)97-103.
121. Roshan-Ghias A and Pioletti DP: Surgical Preparation of Bone—Scaffold Interface Is Critical for Bone Regeneration Inside Tissue Engineering Scaffold. *J Orthopaedic Res* (2010)DOI 10.1002/jor.21290.
122. Rossi M, Casali F, Romani D, Bondioli L, Macchiarelli R, Rook L: MicroCT Scan in paleobiology: application to the study of dental tissues. *Nucl Instr and Meth in Phys Res B* 213(2004)747–750.
123. Russell M, Pitts NB: Radiovisiographic diagnosis of dental caries: initial comparison of basic mode videoprints with bitewing radiography. *Caries Res* 27(1993)65-70.
124. Schiffner U, Hoffmann T, Kerschbaum T, Micheelis W: Oral health in German children, adolescents, adults and senior citizens in 2005. *Community Dent Health* 26(2009)18-22.

125. Shoib L, Deery C, Ricketts RNJ, Nugent ZJ: Validity and Reproducibility of ICDAS II in Primary Teeth. *Caries Res* 43(2009)442–448.
126. Souza-Zaroni WC, Ciccone JC, Souza-Gabriel AE, Ramos RP, Corona SAM, Palma-Dibb RG: Validity and Reproducibility of different combinations of methods for occlusal caries detection: An in vitro comparison. *Caries Res* 40(2006)194-201.
127. Tamminen IS, Isaksson H, Aula AS, Honkanen E, Jurvelin JS, Kröger H: Reproducibility and agreement of micro-CT and histomorphometry in human trabecular bone with different metabolic status. *J Bone Miner Metab*(2010)DOI 10.1007/s00774-010-0236-6.
128. Taylor AM, Satterthwaite JD, Ellwood RP, Pretty I: An automated assessment algorithm for micro-CT images of occlusal caries. *Surgeon* 6(2010)334-40.
129. ten Bosch JJ and Angmar-Mansson B: A Review of Quantitative Methods for Studies of Mineral Content of Intra-oral Incipient Caries Lesions. *J Dent Res* 70(1991)2-14
130. Tolvanen M, Lahti S, Poutanen R, Seppä L, Pohjola V, Hausen H: Changes in children's oral health-related behavior, knowledge and attitudes during a 3.4-yr randomized clinical trial and oral health-promotion program. *Eur J Oral Sci* 117(2009)390–397.
131. Topping GVA, N.B. Pitts NB: Clinical Visual Caries Detection. *Monogr Oral Sci.* 21(2009)15–41.
132. Thylstrup A and Fejerskov O: Textbook of Clinical Cariology. Munksgaard, Copenhagen (1994).
133. Twetman S: Caries prevention with fluoride toothpaste in children: an update. *Eur Arch Paediatr Dent.* 10 (2009a)162-167.
134. Twetman S: Current Controversies—Is There Merit? *Adv Dent Res* 21(2009b)48-52.
135. Valera FB, Pessan JP, Valera RC, Mondelli J, Percinoto C: Comparison of visual inspection, radiographic examination, laser fluorescence and their combinations on treatment decisions for occlusal surfaces. *Am J Dent* 21 (2008)25-29.
136. Verma Pa and Love RM: A Micro CT study of the mesiobuccal root canal morphology of the maxillary first molar tooth. *Int Endod J*(2010)Doi:10.1111/j.1365-2591.2010.01800.x
137. Walsh T, Worthington HV, Glenny AM, Appelbe P, Marinho VC, Shi X: Fluoride toothpastes of different concentrations for preventing dental caries in children and adolescents. *Cochrane Database Syst Rev.* 2010 Jan 20;(1):CD007868.
138. Wenzel A, Fejerskov O: Validity of diagnosis of questionable caries lesions in occlusal surfaces of extracted third molars. *Caries Res.* 26(1992)188-194.
139. Wenzel A, Borg E, Hintze H, Gröndahl HG: Accuracy of caries diagnosis in digital images from charge-coupled device and storage phosphor systems: an in vitro study. *Dento-Maxillo-Facial Radiology* 24(1995)250-254.
140. Wenzel A: A review of dentists' use of digital radiography and cariesdiagnosis with digital systems. *Dentomaxillofac Radiol* 35(2006)307–314.
141. Weerheijm KL, Gruythuysen RJ, van Amerongen WE: Prevalence of hidden caries. *ASDC J Dent Child.* 59(1992)408-412.
142. Weerheijm KL: Occlusal 'hidden caries'. *Dent Update* 24(1997)182-184.
143. WHO: Oral Health Surveys. Basic methods1997. 4th edn. Geneva: WHO 1997.
144. Wolwacz VF, Chapper A, Busato ALS, Barbosa AN: Correlation between visual and radiographic examinations of non-cavitated occlusal caries lesions – an in vivo study. *Braz Oral Res* 18/2(2004)145-149.

145. Young SM, Lee JT, Hodges RJ, Chang T-L, Elashoff DA, White SC: A comparative study of high-resolution cone beam computed tomography and charge-coupled device sensors for detecting caries. Dentomaxillofac Radiol 38(2009)445-451.
146. Zadik Y, Bechor R: Hidden occlusal caries: challenge for the dentist. NY State Dent J 74(2008)46-50.

## **Abkürzungsverzeichnis**

Az	Fläche unter der ROC-Kurve
CE-Index	<b>Caries-Extension-Index</b>
DMFS	<b>D</b> ecayed <b>M</b> issing <b>F</b> illed <b>S</b> urface
DMFT	<b>D</b> ecayed <b>M</b> issing <b>F</b> illed <b>T</b> ooth
ICDAS	<b>I</b> nternational <b>C</b> aries <b>D</b> etection and <b>A</b> sessment <b>S</b> ystem
$\mu$ CT	<b>M</b> ikro- <b>C</b> omputertomografie
NPV	<b>N</b> egative <b>P</b> redictive <b>V</b> alue
PPV	<b>P</b> ositive <b>P</b> redictive <b>V</b> alue
PUFA-Index	<b>P</b> ulp- <b>U</b> lceration- <b>F</b> istula- <b>A</b> bscess- <b>I</b> nDEX
ROC	<b>R</b> eceiver <b>O</b> perating <b>C</b> haracteristics
SE	<b>S</b> ensitivität
SP	<b>S</b> pezifität
UniViSS	<b>U</b> niverselles <b>V</b> isuelles <b>S</b> coring <b>S</b> ystem

## **Danksagung**

Die Durchführung dieser Studie wurde von Mitteln der Deutschen Gesellschaft für Zahnerhaltung unterstützt (DGZ-GABA-Wissenschaftsfonds, AZ: DGZ-GABA-WF/Bücher 2010-1).

An vorderster Stelle möchte ich *Herrn Priv.-Doz. Dr. med. dent. Jan Kühnisch* für die Überlassung des interessanten Forschungsthemas sowie für die immerwährende und fachkompetente Unterstützung der Promotion sowie für ausgedehnte wissenschaftliche Diskussionen danken. Überdies möchte ich ihm für die geduldige Unterstützung bei meinen ersten zahnärztlichen „Gehversuchen“ während des Zahnerhaltungskurses I und für die Schaffung eines Bewusstseins für bedarfsgerechte, präventionsorientierte Zahnheilkunde danken.

Für die fachkompetente Unterstützung des technischen Teils dieser Arbeit, insbesondere bei Fragen rund um die µCT-Untersuchung, gilt mein besonderer Dank *Herrn Prof. Dr. med. dent. Karl-Heinz Kunzelmann* und dem gesamten Laborteam.

Ohne die großzügige Überlassung der modernsten Forschungseinrichtungen seines Hauses hätte diese Arbeit nicht entstehen können hierfür bin ich dem Direktor der Abteilung für Zahnerhaltung und Parodontologie der LMU München *Prof. Dr. med. dent. Reinhard Hickel* zu großem Dank verpflichtet.

Meinem Studienfreund und Kollegen *Michael Seitz* danke ich für die kollegiale und verlässliche Zusammenarbeit im Rahmen dieser Dissertation.

Zuletzt gilt ein besonderer Dank meinen Eltern und meiner Familie, die mich während meiner gesamten Ausbildung nach Kräften unterstützt haben. Ohne sie wäre die vorliegende Arbeit nicht entstanden.