

Klinische Untersuchung zur okklusalen Kariesdiagnostik und Visualisierung mittels Intraoralscanner

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Zahnheilkunde

des Fachbereichs Humanmedizin

der Justus-Liebig-Universität Gießen

vorgelegt von Gruber, Marina

aus Frankfurt am Main

Gießen 2024

Aus dem Fachbereich Medizin der Justus-Liebig-Universität Gießen

Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde

Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik

Gutachterin: Prof. Dr. Maximiliane Amelie Schlenz, M.Sc.

Gutachter: Prof. Dr. Roland Frankenberger

Tag der Disputation: 03.04.2025

In Liebe und Dankbarkeit meinen Eltern gewidmet.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Ziel der Arbeit.....	3
3	Literaturübersicht	4
3.1	Intraoralscanner	4
3.1.1	Übersicht.....	4
3.1.2	Aufnahmeprinzipien	5
3.1.3	Zusatzfunktionen	9
3.2	Karies.....	11
3.2.1	Ätiologie	11
3.2.2	Histologie	13
3.2.3	Unterschiede in den Dentitionen	18
3.3	Untersuchungsmethoden zur Kariesdiagnostik.....	20
3.3.1	Visuelle Inspektion	21
3.3.2	Radiologische Kariesdiagnostik	24
3.3.3	Kariesdiagnostik mittels Nahinfrarot-Transillumination.....	25
3.3.4	Kariesdiagnostik mittels Fluoreszenz-Technologie.....	28
3.3.5	Kariesdiagnostik mittels Intraoralscanner	29
3.4	Molaren-Inzisiven-Hypomineralisation	31
3.4.1	Ätiologie	31
3.4.2	Klinik	32
3.5	Visualisierung	34
4	Material und Methode	36
4.1	Probanden	36
4.2	Methodikübersicht	36
4.2.1	Einverständnis- und Datenschutzerklärung	38
4.2.2	Ethikvotum	39
4.3	Methodik	40
4.3.1	Visuelle Inspektion	40
4.3.2	DIAGNOcam.....	42

4.3.3	Intraoralscanner	44
4.3.4	Probandenfragebogen	47
4.4	Methoden.....	48
4.4.1	Vorbereitende Maßnahmen	48
4.4.2	Auswertung der Zahnflächen.....	48
4.4.3	Visuelle Inspektion	49
4.4.4	Kariesdiagnostik mittels DIAGNOcam.....	52
4.4.5	Kariesdiagnostik mittels Trios 4.....	54
4.4.6	Kariesdiagnostik mittels Emerald S	55
4.4.7	Visualisierung.....	57
4.5	Auswertung und statistische Analyse	59
4.5.1	Reliabilität	59
4.5.2	Sensitivität und Spezifität.....	60
4.5.3	Übereinstimmungen und Abweichungen	62
5	Ergebnisse	63
5.1	Kariesdiagnostik – bleibendes Gebiss.....	65
5.1.1	Vergleich zur Referenzmethode visuelle Inspektion.....	65
5.1.2	Reliabilität	67
5.1.3	Sensitivität und Spezifität.....	68
5.1.4	Übereinstimmungen und Abweichungen	72
5.2	Kariesdiagnostik – Milchgebiss.....	73
5.2.1	Vergleich zur Referenzmethode visuelle Inspektion.....	73
5.2.2	Reliabilität	75
5.2.3	Sensitivität und Spezifität.....	76
5.2.4	Übereinstimmungen und Abweichungen	79
5.3	Molaren-Inzisiven-Hypomineralisation	81
5.3.1	Vergleich zur Referenzmethode visuelle Inspektion – bleibendes Gebiss.	81
5.3.2	Vergleich zur Referenzmethode visuelle Inspektion – Milchgebiss	84
5.4	Visualisierung	88
5.5	Zusammenfassung der Ergebnisse.....	90
6	Diskussion.....	92

6.1	Methodikdiskussion	92
6.1.1	Probanden und Studiendesign	92
6.1.2	Auswahl der verwendeten Intraoralscanner	93
6.1.3	Studiendurchführung	95
6.2	Ergebnisdiskussion	99
6.2.1	Kariesdiagnostik – bleibendes Gebiss	99
6.2.2	Kariesdiagnostik – Milchgebiss	102
6.2.3	Molaren-Inzisiven-Hypomineralisation.....	104
6.2.4	Visualisierung.....	106
6.3	Schlussfolgerung und Ausblick	108
7	Zusammenfassung	110
8	Summary	112
9	Abkürzungsverzeichnis	114
10	Darstellungsverzeichnis	115
10.1	Abbildungsverzeichnis	115
10.2	Tabellenverzeichnis	116
11	Publikationen	120
12	Literaturverzeichnis	121
13	Anhang	139

Zur besseren Lesbarkeit wird in der vorliegenden Arbeit auf die gleichzeitige Verwendung geschlechtsspezifischer Sprachformen verzichtet. Es wird das generische Maskulinum verwendet, womit alle Geschlechter (m/w/d) gleichermaßen mit eingeschlossen sind.

1 Einleitung

Wenn auch der Ursprung der digitalen Zahnheilkunde im Bereich der restaurativen Therapie liegt, ist seit den Anfängen in den 1980er Jahren zunehmend eine Weiterentwicklung in den Bereichen Analyse, Diagnostik und Monitoring zu beobachten.^{49, 220, 259, 260}

Während initial mit einem Intraoralscanner (IOS) lediglich eine digitale, lichtoptische Abformung durchgeführt werden konnte, bieten viele IOS heute zahlreiche Zusatzfunktionen – wie Monitoring von Zahnbewegungen und -verschleiß, Präparationsanalyse oder Zahnfarbenbestimmung – an.^{155, 165, 216, 219, 268}

Im Jahre 2019 kam zudem bei drei Herstellern von IOS die Funktion der Kariesdiagnostik hinzu, welche auf den bereits bekannten Technologien der Fluoreszenz bzw. der Nahinfrarot-Transillumination basiert.^{1, 176, 186, 201, 218}

Auch wenn die zahnärztlichen Präventionskonzepte der letzten Jahrzehnte insgesamt zu einem Rückgang der Karieserfahrung in Deutschland geführt haben, zeigen die Daten der Fünften Deutschen Mundgesundheitsstudie (DMS V) deutlich, dass Karies immer noch zu den häufigsten nicht übertragbaren Erkrankungen gehört, die das Gesundheitssystem vor erhebliche Herausforderungen stellt.^{39, 120, 193} Insbesondere zeigt sich bei Kindern eine Schieflage der Kariesverteilung: das Drittel mit der höchsten Karieserfahrung weist dreimal so viele erkrankte Zähne auf. Die Kariesdiagnostik stellt somit einen zentralen Bestandteil des zahnärztlichen Behandlungskonzeptes dar, wobei sich erst aufgrund einer differenzierten Diagnostik entscheiden lässt, ob die Karies beobachtend oder invasiv behandelt werden sollte. Darüber hinaus spielt bei Kindern die Molaren-Inzisiven-Hypomineralisation (MIH) als entwicklungsbedingter Zahnhartsubstanzdefekt, der mehr oder minder stark ausgeprägte Hypersensibilitäten aufweisen kann, eine immer größere Rolle. So wurde MIH erstmals in der Fünften Deutschen Mundgesundheitsstudie (DMS V) mit erfasst. Dabei zeigt sich, dass bei 28,7 % der 12-jährigen Kinder mindestens ein 6-Jahrmolar oder ein Frontzahn mit MIH-Befund diagnostiziert wurde. Damit liegt die MIH-Prävalenz in einer Größenordnung, welche die der Kariesprävalenz (18,7 %) übersteigt.^{39,}

120

Die Entwicklung der letzten Jahre zeigt deutlich eine zunehmend präventive Orientierung, weshalb der frühzeitigen Diagnostik kariöser Läsionen sowie MIH-Zähnen im Allgemeinen eine besondere Bedeutung zukommt.^{16, 109, 129, 160, 199, 200}

Auch wenn sich sogenannte Goldstandards im Bereich der klinischen Diagnostik etabliert haben, zeigt die Literatur über alle Diagnostikmethoden hinweg Limitationen, sodass heute überwiegend nicht eine Methode als Grundlage zur Therapie kariöser Läsionen herangezogen werden sollte, sondern eine Kombination aus mindestens zwei empfohlen wird.^{32, 130} Die Diagnostik der MIH beschränkt sich derzeit ausschließlich auf die visuelle Begutachtung des Substanzdefektes mit Berücksichtigung der unterschiedlich stark ausgeprägten Hypersensibilitäten.^{19, 85, 118, 162}

Die Herausforderung ist es deshalb, eine Diagnostikmethode zu finden, die zum einen Karies zuverlässig diagnostizieren, zwischen initialen Schmelzläsionen und fortgeschrittener Dentinkaries unterscheiden und darüber hinaus MIH probat detektieren kann.^{10, 96} Die integrierte Kariesdiagnostikfunktion in IOS stellt somit einen interessanten Ansatz dar, die bisherigen Kariesdiagnostikmethoden zu erweitern, ohne dass die Anschaffung eines zusätzlichen Gerätes, wie beispielsweise der DIAGNOcam erforderlich ist.

Zudem erscheint auch die damit verbundene Visualisierung von Vorteil zu sein. Studien zeigen die Wichtigkeit der Aufklärung und das damit verbundene Verständnis von Diagnostik und Therapie, um die Compliance von Kindern und Eltern bzw. Sorgeberechtigten zu erhöhen.^{86, 104, 114, 230}

Nach bestem Wissen der Autorin gibt es zum aktuellen Zeitpunkt hierzu keine klinischen Untersuchungen.

2 Ziel der Arbeit

Das Ziel der vorliegenden Arbeit war es, die okklusale Kariesdiagnostikfunktion von zwei verschiedenen Intraoralscannern (IOS) – Trios 4 (3Shape, Kopenhagen, Dänemark) und Emerald S (Planmeca, Helsinki, Finnland) – sowie die etablierte Kariesdiagnostikmethode der DIAGNOcam (KaVo, Biberach) mit dem Goldstandard der visuellen Inspektion zu vergleichen. Dabei wurden die Okklusalflächen der bleibenden Zähne sowie die der Milchzähne getrennt betrachtet. Zudem wurde geprüft, ob die Kariesdiagnostikfunktion auch für die Erkennung der entwicklungsbedingten Molaren-Inzisiven-Hypomineralisation (MIH) anwendbar ist.

Darüber hinaus wurde mit Hilfe eines Fragebogens evaluiert, ob durch die Visualisierung des Gebisses der Probanden mittels Intraoralscans ein besseres Verständnis der Eltern bzw. Sorgeberechtigten für die Diagnose und Therapie des Kindes erreicht werden kann.

Folgende Nullhypothesen wurden geprüft:

- 1) Es besteht kein signifikanter Unterschied bei der okklusalen Kariesdiagnostik zwischen dem Goldstandard *visuelle Inspektion* und der Kariesdiagnostik mittels *DIAGNOcam*, *Trios 4* und *Emerald S* in Bezug auf die Reliabilität, Sensitivität und Spezifität sowie logistische Regression.
- 2) Die Intraoralscanner eignen sich nicht zur Erkennung von MIH.
- 3) Es besteht kein signifikanter Unterschied hinsichtlich des Verständnisses der Eltern bzw. Sorgeberechtigten für die Mundgesundheit ihrer Kinder zwischen der rein mündlichen Aufklärung im Rahmen der visuellen Inspektion und der visuellen Aufklärung anhand von Intraoralscans.

3 Literaturübersicht

In dem folgenden Kapitel werden zunächst Intraoralscanner (Kapitel 3.1) mit ihren verschiedenen Technologien und Anwendungsmöglichkeiten beschrieben. Im Anschluss erfolgt eine Übersicht zu Karies (Kapitel 3.2) mit der Abgrenzung von bleibenden Zähnen und Milchzähnen. Außerdem werden verschiedene Untersuchungsmethoden zur Kariesdiagnostik (Kapitel 3.3) vorgestellt. Neben kariösen Läsionen treten jedoch vermehrt auch Zähne mit einer Molaren-Inzisiven-Hypomineralisation (Kapitel 3.4) auf, weshalb diese darauffolgend beschrieben wird. Abschließend wird das Thema der Visualisierung (Kapitel 3.5) aufgegriffen.

3.1 Intraoralscanner

3.1.1 Übersicht

Seit nunmehr über 35 Jahren gibt es das System des *computer-aided design/computer-aided manufacturing* (CAD/CAM).^{203, 259} Die Idee präparierte Zähne ohne Umwege im Patientenmund zu scannen und anschließend den Zahnersatz direkt herzustellen, gibt es also schon seit einigen Jahrzehnten.²⁰⁹ Als Begründer der digitalen Prothetik gelten heute *DURET* und *REKOW*, die 1972 versuchten, festsitzenden Zahnersatz mit einer Frästechnologie herzustellen und damit ihrer Zeit, sowohl aus fertigungstechnischer Sicht im Labor als auch aus Sicht der elektronischen Datenverarbeitung, weit voraus waren.^{22, 49, 56, 259}

Das erste Scan-System auf dem Dentalmarkt, das *Chairside Economical Restoration of Esthetic Ceramics or Ceramic Reconstruction System* (CEREC-System) wurde in den 1980er Jahren durch *MÖRMANN* und *BRANDESTINI* entwickelt und anschließend gemeinsam mit der Firma Siemens (heute Dentsply Sirona, Bensheim) im Jahre 1985 vorgestellt.^{180, 235} Mit dem Ziel in einer Behandlungssitzung eine Einzelzahnrestauration herzustellen und damit eine Alternative zu plastischen Füllungsmaterialien bieten zu können, gelang es ihnen erstmals Ende der 1980er Jahre einen Patienten in einer Live-Behandlung direkt am Patientenstuhl (*Chairside*) mit einem Inlay zu versorgen.^{24, 181, 207}

Ungeachtet der Art der Bildgebungstechnologie, die von dem jeweiligen optischen Scanner verwendet wird, bestehen alle IOS aus einer tragbaren Kamera, einem Computer und

einer Software. Ziel ist die präzise Erfassung der dreidimensionalen Geometrie eines Objektes. Dafür benötigen alle Scanner die Projektion von Licht, die von einer Projektoreinheit ausgeht, welche dann als Einzelbilder oder als Video aufgezeichnet wird und im Anschluss von der Detektoreinheit nach der Erkennung der *Points of Interest* (POI) dargestellt werden kann.^{22, 83, 161, 209}

Die gewonnenen Daten werden durch die Datenerfassung zu einem Rohdatensatz und im Anschluss zu einem digitalen Datensatz weiterverarbeitet. Das am weitesten verbreitete digitale Format ist die *Standard Tessellation Language* (STL), worin eine Folge von triangulierten Flächen beschrieben wird, bei denen jedes Dreieck durch drei Punkte und eine Normale definiert ist. Darüber hinaus gibt es auch andere Dateiformate, die entwickelt wurden, um Farbe, Transparenz oder Textur von Zahngeweben zu erfassen (z.B. *Polygon File Format*, PLY-Dateien). Beide Formate können im Anschluss über eine Cloud oder rechnerintern exportiert und beispielsweise an ein Dentallabor versendet werden.^{49, 161, 237, 264, 270}

3.1.2 Aufnahmeprinzipien

Die drei verschiedenen Aufnahmeprinzipien zur Erfassung von intraoralen Informationen durch IOS sind das Prinzip der optischen Triangulation, die konfokale Mikroskopie und das Wavefront Sampling.

Optische Triangulation

Die optische Triangulation (Streifenlichtprojektion) funktioniert über die Projektion von Streifenmustern auf die abzubildende Oberfläche. Man unterscheidet dabei zwischen passiv und aktiv messenden Systemen.²²²

Passive Systeme arbeiten ausschließlich mit Umgebungslicht und besitzen keine eigene Lichtquelle. Sie sind dabei von einer bestimmten Textur eines Objektes abhängig.²⁰⁹

Bei aktiv messenden Systemen wird weiß, rot oder blau strukturiertes Licht von einer Kamera emittiert, wodurch die Projektion des darzustellenden Objektes weniger von dessen Textur und Farbe abhängig ist.²⁰⁹ Dabei wird ein Lichtstrahl (Laser) von einem Projektor aus auf ein Objekt, dessen Oberfläche vermessen werden soll, unter einem definierten Winkel ausgestrahlt und anschließend das reflektierte Licht von einem Detektor

erfasst. Der Abstand zwischen Detektor und Lichtquelle ist dabei konstant, sodass die Distanz zwischen Objekt und Lichtquelle durch diese Kenntnis genau berechnet werden kann. Wie in der Abbildung 3.1 zu sehen, bilden die Lichtstrahlen zwischen Projektor und Detektor ein Dreieck.⁸³ Das Prinzip der optischen Triangulation basiert somit auf dem *Satz des Thales*, welcher besagt, dass der Eckpunkt eines Dreiecks eindeutig bestimmt werden kann, wenn die Länge der gegenüberliegenden Seite und die angrenzenden Winkel bekannt sind.^{83, 155, 222, 244, 267}

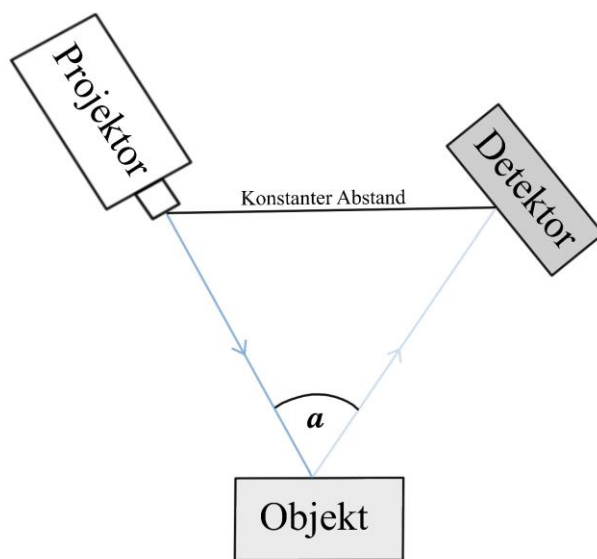


Abbildung 3.1: Schematische Darstellung des Prinzips der optischen Triangulation.

Zur Erfassung von komplexeren Objekten, wie zum Beispiel Zahnoberflächen, wird ein Streifenmuster auf das darzustellende Objekt projiziert. Dabei kommt es zur Verzerrung des Streifenlichtmusters durch die entsprechende Geometrie des Objektes. Die Verzerrungen können anschließend für die Berechnung eines Höhenprofils genutzt werden, sodass am Ende ein dreidimensionales Objektprofil entsteht (siehe Abbildung 3.2).^{195, 257} Dabei ist eine konstante Lichtdetektion obligat, was im zahnmedizinischen Bereich durch spiegelnde Oberflächen erschwert werden kann.²²⁴ Um dies zu verhindern, wird das Streifenlicht in verschiedenen unterschiedlichen Farben verwendet, sodass damit die Variation der Muster erhöht wird und auf eine Bepuderung der Oberflächen verzichtet werden kann.^{155, 195, 206, 259}

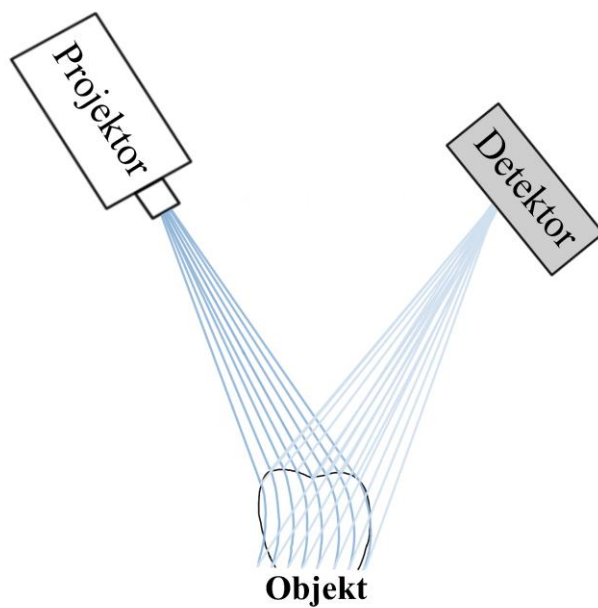


Abbildung 3.2: Schematische Darstellung des Prinzips der Streifenlichtprojektion.

Konfokale Mikroskopie

Das Prinzip der konfokalen Mikroskopie stammt von *MISNKY* aus dem Jahre 1955. Das Prinzip konnte dann anschließend für Laserscan-Verfahren genutzt werden, was dazu führte, dass *ZEISS* 1985 das erste kommerzielle Laserscan-Mikroskop etablierte.⁹⁹ Dabei wird ein Laserlicht, ausgesendet von einer Lichtquelle, auf ein Objekt projiziert und im gleichen Maße von diesem wieder reflektiert. Die Strahlen treffen dabei auf einen Strahlenteiler, der das reflektierte Licht auf den Detektor, nach Durchgang durch eine Lochblende, zurückleitet. Dabei kann nur fokussiertes Licht die Blende durchdringen, um anschließend vom Detektor registriert zu werden. Nicht fokussiertes Licht außerhalb der Fokusebene wird von der Lochblende abgefangen und herausgefiltert und wird somit nicht detektiert. Da die ausgesendeten und reflektierten Strahlen bis zur Lochblende parallel zueinander verlaufen, bezeichnet man dieses Prinzip als konfokal. Durch die Filterung wird nur der in der Fokusebene liegende Bereich (optischer Schnitt) des dreidimensionalen Objektes als scharf dargestellte Schnittbilder wiedergegeben.⁹⁹ Die Position des Objektes wird dann durch die Intensität des Lichtstrahls und durch die Detektion des Lichtstrahls in horizontaler sowie in vertikaler Richtung ermittelt. Über die Änderung der

Position der Lichtquelle erfolgt die Erfassung des Objektes in unterschiedlichen Fokusebenen. Die verschiedenen Schnittbilder werden dann im Anschluss verrechnet und zu einem dreidimensionalen Datensatz zusammengesetzt.^{69, 99, 212, 224, 267}

Abbildung 3.3. zeigt die Funktionsweise der beschriebenen Technik.

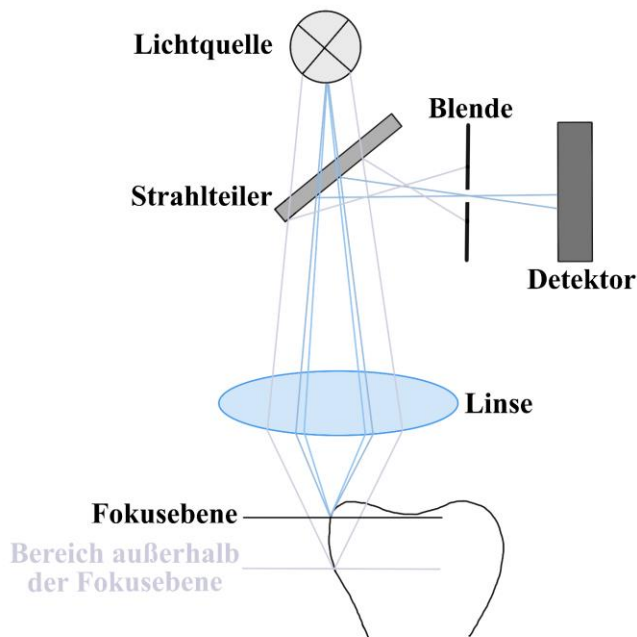


Abbildung 3.3: Schematische Darstellung des Prinzips der konfokalen Mikroskopie.

Wavefront Sampling

Das Wavefront Sampling beschreibt eine Methode, bei der eine Objektoberfläche durch verschiedene Strahlengänge in unterschiedlichen Perspektiven aufgenommen wird.²¹² Der Scankopf befindet sich dabei ständig in Bewegung, sodass das Licht während der Bewegungen aus unterschiedlichen Richtungen auf die abzubildende Objektoberfläche trifft und dabei von der Kamera registriert wird. Es entsteht eine Videoaufnahme des abzubildenden Objektes durch die Aufnahme einer schnellen Bildfolge von 20 3D-Datensätzen pro Sekunde, was als *3D-in-Motion* bezeichnet wird.^{207, 222} Als scharfes Bild auf dem Detektor erkannt wird das Objekt, wenn es sich innerhalb der Fokusebene befindet. Sobald das Objekt außerhalb der Fokusebene steht, wird es als unscharfer Fleck detektiert.²⁰⁷ Dabei ist der Durchmesser des Flecks proportional zum Abstand zwischen Objekt und Fokusebene. Je größer der Durchmesser des unscharfen Flecks ist, desto größer ist

auch der Abstand zur Fokusebene, der im Moment der Aufnahme besteht. Zur Messung des Durchmessers wird die vor dem Objektiv gesetzte Lochblende genutzt. Bei einer vollständigen Rotation der Blende um 360° beschreiben die gemessenen Strahlen einen Kreis. Der Kreis hat dabei denselben Durchmesser wie der unscharfe Fleck. Durch die Kenntnis bestimmter Parameter wie des Durchmessers der Blendenöffnung oder der Länge der Lichtwellen können die Informationen anschließend zu einem dreidimensionalen Datensatz zusammengefügt und die ursprüngliche Position des Objektes bestimmt werden (3D-Koordinate).^{80, 209, 224, 259}

Der Aufbau der beschriebenen Technik ist in der nachfolgenden Abbildung 3.4 visualisiert.

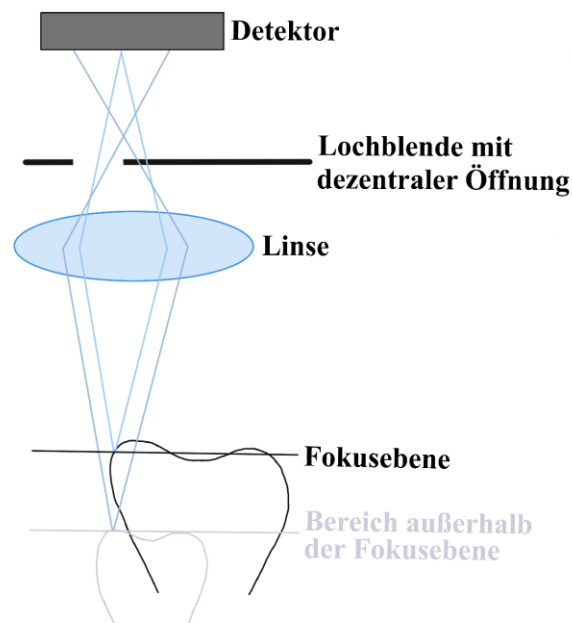


Abbildung 3.4: Schematische Darstellung des Prinzips des Wavefront Samplings.

3.1.3 Zusatzfunktionen

Neben der Anfertigung von digitalen, dreidimensionalen Datensätzen, welche der alleinigen Abformung dienen, bieten viele IOS heute sogenannte Zusatzfunktionen an, welche die Anwendungsmöglichkeiten von IOS erheblich erweitern.

Die optische Abformung mit einem IOS ermöglicht seinen Anwendern, das Ergebnis im Anschluss an den Scan als digitales Modell auf dem Bildschirm zu begutachten.^{13, 155}

Enthält das digitale Modell Fehler, kann der Scanvorgang problemlos wiederholt werden oder selektive Teilscans durchgeführt werden, um die spezifischen Bereiche durch einen erneuten Scan zu korrigieren.^{208, 216, 259} Die eigene Präparation kann dabei kritisch beurteilt und durch eine Präparationsanalyse bewertet werden, indem die Oberfläche des präparierten Zahnes, der Abstand zum Gegenzahn und zu den Nachbarzähnen sowie die Analyse der Präparationsgrenze und Unterschnitte berechnet werden.^{68, 183, 184} Im Anschluss kann die Dicke der Restauration sowie die Kontaktpunkte sofort geprüft werden und eine morphologische und funktionelle Anpassung in der Restaurationsplanung erfolgen.^{207, 237, 267}

Die digitalen Datensätze ermöglichen zudem ein einfaches Aufbewahren über einen längeren Zeitraum. Die verschiedenen Scans eines Patienten können direkt miteinander verglichen werden und so ein Monitoring von chronologischen Veränderungen der Mundhöhle eines Patienten über einen beliebig langen Zeitraum dreidimensional ermöglichen. So können beispielsweise Veränderungen in Zahnstellungen oder -bewegungen, Abnutzungsspuren im Sinne von Abrasionen und Attritionen oder Zahnfleischrückgänge beobachtet werden.^{165, 216, 217} Die anfänglichen Scandaten sind dann nützlich, um insbesondere im Falle eines erheblichen Zahndefekts oder -verlusts die ursprünglichen Verhältnisse im Munde des Patienten wieder herstellen zu können.^{207, 237, 242}

Darüber hinaus bilden die digitalen Modelle den strukturellen Farbton des Zahns oder der Zahnfleischoberfläche durch eine virtuelle Farbdarstellung ab, die der Anwender zur Farbestimmung oder zur Prognosebeobachtung nutzen kann.^{237, 267, 269}

Durch die Zusammenführung der digitalen Daten mit 3D-Gesichtsscans, Kieferbewegungsdaten oder 3D-Bilddaten, beispielsweise aus der Computertomographie (CT), sind umfassende Untersuchungen und Diagnosen sowie fachübergreifende Behandlungen möglich.^{154, 165, 219, 267}

Einige IOS bieten zudem die Funktion der Kariesdiagnostik an, auf die im Kapitel 3.3.5 noch einmal genauer eingegangen wird. Sie erfolgt mit strahlungsfreiem Licht, das für den Patienten ungefährlich ist und ermöglicht die Erkennung von Okklusal-, Approximal- und Sekundärkaries sowie von Rissen in der Zahnoberfläche.^{176, 177, 218, 238}

3.2 Karies

3.2.1 Ätiologie

Die Karies stellt einen multifaktoriell bedingten Prozess dar, der durch die Anlagerung potentiell pathogener Mikroorganismen an die Zahnoberfläche und der von ihnen produzierten Säure entsteht.^{62, 74, 75, 102, 243} Wie andere Krankheiten ist auch der kariöse Prozess durch verschiedene Phasen des Stillstands (Stagnation), der Demineralisierung (Progression) sowie Remineralisierung (Remission) charakterisiert.^{100, 125, 160, 200, 202}

Eine Anreicherung von Mikroorganismen findet sich vor allem in all jenen Bereichen, die vor mechanischer Reinigung, wie Bewegungen der Zunge oder dem Zähneputzen geschützt liegen. Diese Bereiche bezeichnet man als Prädilektionsstellen. Die Prädilektionsstellen lassen sich sowohl im bleibenden Gebiss als auch im Milchgebiss vor allem an den Okklusalfächen im Bereich der Grübchen und Fissuren sowie an Approximalflächen zwischen den Zähnen finden, bei älteren Patienten entsteht zudem Karies häufig an den Wurzeloberflächen.^{28, 96, 146, 174} Durch die engen Fissuren und Grübchen und die Kontaktbereiche zwischen den Zähnen, vor allem bei Zähnen mit ausgedehnten Kontaktbereichen an den Approximalflächen (Molaren), ist die Reinigung erschwert und sorgt so häufig für Karies.^{28, 37, 62}

Einen wichtigen Bestandteil der natürlichen Abwehrfunktion gegen Karies stellt der Speichel dar. Pro Minute werden durchschnittlich 0,25 ml Speichel im unstimulierten Zustand produziert. Über den Tag ergibt das eine Speichelmenge von ca. 0,7-1,5 l. Im stimulierten Zustand nimmt die minütliche Speichelproduktion um etwa das dreifache zu.^{148, 174} Der Speichel dient dazu, alle Oberflächen im Mund mit einem dünnen Film zu benetzen und besteht aus verschiedenen Bestandteilen. Der Hauptteil des Speichels, das Wasser, dient aus kariogener Sicht vor allem dazu den Mund zu spülen und zu befeuchten und dadurch Nahrungsmittelreste sowie Bakterien zu beseitigen. Zusätzlich enthält der Speichel Elektrolyte, zu denen insbesondere Kalzium, anorganische Phosphate, Bikarbonate und Fluoride zählen. Diese dienen vor allem dazu Säuren zu puffern und zu neutralisieren.^{148, 192, 241} Im Ruhezustand der Speichelproduktion lässt sich eine Übersättigung der entsprechenden Ionen finden, die dann zur Ausfällung der Elektrolyte und Bildung von Mineralen auf der Zahnoberfläche führen kann.^{100, 229} Einen weiteren Bestandteil des Speichels stellen Proteine und Enzyme als organische Komponenten dar. Diese haben bereits eine teilweise antimikrobielle Wirkung und sind an der Bildung des Pellikels beteiligt.²⁴⁶ Das

Pellikel stellt einen dünnen Film dar, der die Zähne überzieht und sie vor mechanischen Verletzungen, beispielsweise durch Abrieb, oder chemischen Schäden als erste Diffusionsbarriere schützt.^{153, 174, 246, 249}

Der Begriff der dentalen Plaque wurde erstmals von *BLACK* Ende des 19. Jahrhunderts etabliert und ist unter kariogenen Aspekten mit dem Begriff des dentalen Biofilms Synonym zu verwenden.²²⁹ Sie beschreiben gleichermaßen die drei-dimensionale Ansammlung interagierender Mikroorganismen, die an einer Oberfläche haften und in eine Matrix extrazellulärer polymerer Substanzen eingebettet sind.^{11, 62, 148, 167}

Im Laufe der Zeit gab es verschiedene Theorien bezüglich der Entstehung von Karies. Ausgangspunkt der Kariestheorien ist die chemoparasitäre Theorie nach *MILLER* aus dem Jahre 1890, die beschreibt, dass die Bakterien im Mund Kohlenhydrate aus den verbliebenen Nahrungsresten metabolisieren und so Säuren produzieren, die Karies verursachen.^{100, 229} Im Folgenden entstand die spezifische Plaquehypothese in den 1960er Jahren, die davon ausging, dass Karies durch die Infektion mit *Streptococcus mutans* verursacht wird.¹⁹² *Streptococcus mutans* stellt ein äußerst azidogenes (säurebildendes) und azidurisches (säureliebendes) Bakterium dar, das zudem ein unlösliches extrazelluläres Polysaccharid aus Saccharose synthetisieren kann, welches die Adhäsion am Zahn fördern kann.^{75, 229} Da im Weiteren angenommen wurde, dass *Streptococcus mutans* jedoch nur einen kleinen Teil der Plaqueflora ausmacht, etablierte sich die nicht spezifische Plaquehypothese, die anerkannte, dass weitere azidogene und säuretolerante Bakterien für die Entstehung von Karies verantwortlich sein müssen.^{174, 229} Gefolgt wurde die unspezifische Plaquehypothese von einem Paradigmenwechsel und der Entstehung der ökologischen Plaquehypothese, nach der es durch mehrere pathogene Faktoren zur Zerstörung der Zahnhartsubstanz in mehreren Stufen kommt. Sie beschreibt eine Störung der Homöostase der oralen Mikroflora und zieht dabei das Augenmerk vor allem auf die Zusammensetzung und die Eigenschaften der Plaquemikroflora. Nach dieser Theorie entsteht durch eine zuckerarme Ernährung nur wenig Schwankung innerhalb des pH-Levels, da die Bakterien ihre Energie durch den langsamen Abbau komplexerer Nahrung gewinnen müssen. Ein vermehrter Konsum von Zucker fördert somit niedrige pH-Bedingungen, was zur Folge hat, dass Bakterien, die empfindlich auf niedrige pH-Werte reagieren, weniger gut wachsen und somit eine ökologische Verschiebung in Richtung von kariesfördernden Bedingungen stattfindet.^{7, 74, 167, 174, 192, 229}

3.2.2 Histologie

Da sich die Histologie einer Karies im Hinblick auf den Fortschritt des Prozesses weit unterscheiden kann, wird im Folgenden zwischen verschiedenen Stadien der Karies unterschieden. Zu Beginn beschränkt sich die Karies allein auf die Bereiche im Schmelz, bevor sie tiefer in den Zahn eindringt und das Dentin erreichen kann. Bei der Dentinkaries wird zudem unterschieden, ob die Oberfläche des Schmelzes dabei noch intakt oder bereits eingebrochen ist.^{28, 100}

Schmelzkaries

Jeder kariöse Prozess beginnt mit einer geringfügigen, klinisch nicht erkennbaren leichten Ätzung der Zahnoberfläche unter einer Plaqueschicht. Zu Beginn ist der Ätzvorgang noch reversibel und lässt sich durch entsprechende Intervention wieder revidieren. Klinisch erstmals sichtbar wird der Kariesprozess im Sinne einer *White-Spot-Läsion*.^{100, 125, 146, 187} Der weiße, kreydige Fleck erscheint nach Lufttrocknung auf einer gereinigten Zahnoberfläche. Durch die Demineralisierung finden sich vermehrt Poren mit einem vergrößerten Porenvolumen an der Zahnoberfläche, wodurch das Licht in diesem Schmelzbereich anders zurückgestreut wird als in nicht betroffenen Bereichen.^{28, 125, 174}

Kommt es im weiteren Verlauf zum Einbau von exogenen Pigmenten, können sich die Läsionen verfärben und werden als *Brown-Spot-Läsionen* bezeichnet. Ein sicheres Anzeichen für die Aktivität der Läsion ergibt sich, wenn man die Oberfläche des Zahnes gründlich reinigt. Befinden sich an der Oberfläche mehr Poren aufgrund des Verlustes von Mineralien durch die Demineralisierung, so erscheint diese matt und stumpf und es liegt eine aktive Initialkaries vor. Wenn die Oberfläche dagegen glänzend erscheint, spricht das für eine inaktive Läsion.^{100, 125, 187}

Der Prozess orientiert sich im weiteren Verlauf an der Ausrichtung der Schmelzprismen und dringt entlang dieser tiefer in den Zahn ein. Das 3-dimensionale Erscheinungsbild approximaler Schmelzläsionen ähnelt dem Aussehen eines Kegels, wobei sich die Basis an der Zahnoberfläche und die Spitze in Richtung Zahninneres befinden. Dagegen ist bei okklusalen Schmelzläsionen der Kegel entgegengesetzt ausgerichtet. Durch die veränderte Prismenmorphologie im Fissurenbereich befindet sich die Spitze an der Zahnoberfläche und die Basis in Richtung des Zahninneren.^{28, 100}

Betrachtet man die Histologie einer Schmelzkaries genauer, erscheinen im Schnittbild vier voneinander abgrenzbare Zonen (von innen nach außen): die *transluzente Zone*, die *dunkle Zone*, der *Läsionskörper* und die *Oberflächenzone* (siehe Abbildung 3.5).

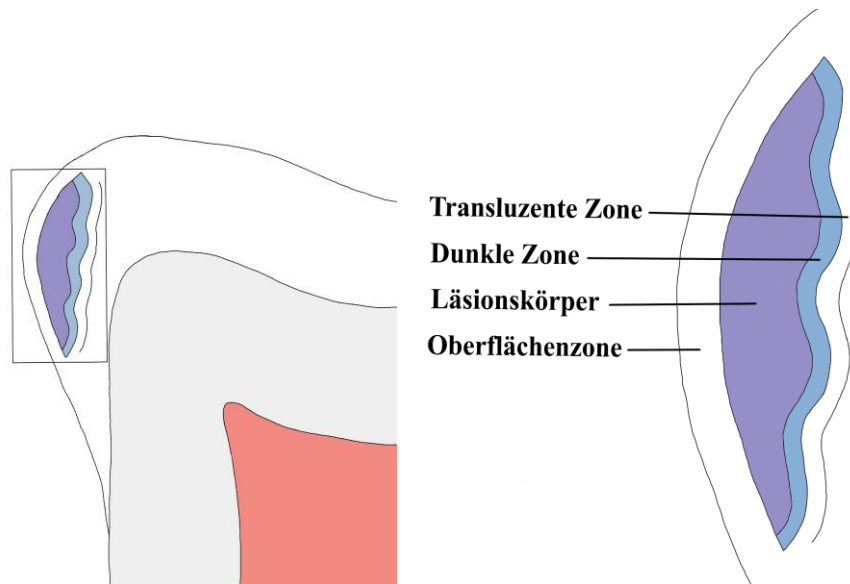


Abbildung 3.5: Schematische Darstellung einer initialen Schmelzkaries nach *HELLWIG et al.*¹⁰¹.

Die *transluzente Zone* ist charakterisiert durch ein nur wenig erhöhtes Porenvolumen von bis zu 1 % (gesunder Schmelz 0,1 %). Durch die beginnende Demineralisierung lassen sich Kristalle finden, die geringfügig kleiner sind als die Kristalle im gesunden Schmelz (\varnothing 40 nm).

Die nächste Zone in Richtung der Zahnoberfläche wird als *dunkle Zone* bezeichnet. Das Porenvolumen beträgt hier 2-4 %, die Poren sind jedoch kleiner und es lassen sich Kristalle mit einem größeren Durchmesser (50-100 nm) als im gesunden Schmelz finden. Dies gibt Hinweis darauf, dass in dieser Zone bereits erste Remineralisierungsprozesse stattfinden.

Den höchsten Grad der Demineralisation weist der *Läsionskörper* auf, was sich durch ein hohes Porenvolumen von 5-25 % äußert. Die Poren weisen einen hohen Durchmesser auf und die Kristalle, vor allem in der Peripherie, lösen sich teilweise oder vollständig auf.

An der Zahnoberfläche befindet sich die *Oberflächenzone*, die auch als intakte oder pseudointakte Oberflächenschicht bezeichnet wird. Das Porenvolumen beträgt in dieser Zone

bis zu 5 %. Die Kristallgröße ist auch in dieser Zone durch Remineralisierungsprozesse im Vergleich zum gesunden Schmelz etwas erhöht (40-80 nm).^{28, 100}

Dentinkaries bei intakter Schmelzoberfläche (frühes Stadium)

Bevor im weiteren Verlauf die Schmelz-Dentin-Grenze erreicht wird und noch lange bevor die Schmelzoberfläche einbricht, reagiert das Dentin bereits auf den kariösen Prozess. Da das Dentin mit den Dentinkanälchen und den darin liegenden Odontoblastenfortsätzen lebende Zellen beinhaltet, wird es als vitales Gewebe bezeichnet und kann regulatorisch auf den Defekt reagieren.^{121, 125, 232} In diesem Anfangsstadium und noch bevor die Schmelz-Dentin-Grenze erreicht wird, ist das Dentin frei von jeglichen Bakterien, da die Bakterien bei makroskopisch intakter Schmelzoberfläche aufgrund der geringen Größe der oberflächlichen Schmelzporen nicht in den Schmelz eindringen können.^{28, 100, 146}

In der Histologie der Dentinkaries bei noch intakter Schmelzoberfläche lassen sich folgende Zonen voneinander abgrenzen (von innen nach außen): das *Reizdentin*, das *normale* bzw. nur *leicht veränderte Dentin*, die *sklerotische Zone*, die Zone der „*dead tracts*“ und die *Zone der Demineralisation* (siehe Abbildung 3.6).^{100, 146}

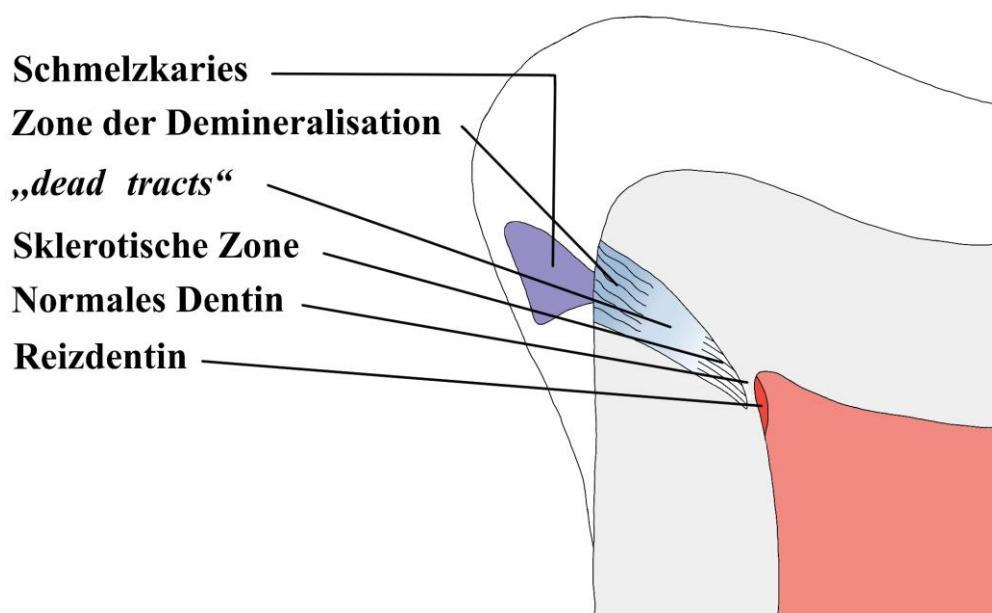


Abbildung 3.6: Schematische Darstellung einer Dentinkaries bei intakter Schmelzoberfläche nach HELLWIG et al.¹⁰¹.

Im Inneren des Zahnes in Richtung Zahnpulpa reagieren die Odontoblasten mit der Bildung eines *Reizdentins*, was auch als reaktives Dentin, reparatives Dentin oder Tertiärdentin bezeichnet wird.^{28, 100, 215} Die Bildung verhält sich proportional zum Kariesprozess. Je langsamer der Prozess, desto strukturierter und regelmäßiger ist das gebildete *Reizdentin*. Schreitet der kariöse Prozess dagegen schnell voran, wird ein starker Reiz auf die Pulpa und damit auf die Odontoblasten ausgeübt und die Expression des *Reizdentins* wird beschleunigt.^{28, 100, 215}

An der pulpafernen Seite des Reizdentins befindet sich die Zone des *normalen* bzw. nur *leicht veränderten Dentins*, da sich diese Zone histologisch kaum oder nicht verändert zum gesunden Dentin zeigt. Es findet hier noch keine Demineralisierung statt und es enthält wie üblich die Dentinkanälchen mit den Odontoblastenfortsätzen.

Die nächste Zone in Richtung Zahnoberfläche wird als *sklerotische Zone* bezeichnet. Die Odontoblastenfortsätze ziehen sich als Reaktion auf den Reiz zurück und füllen die Kanallumina mit hauptsächlich Apatitkristallen.¹²⁵ Die Dentinkanälchen sind deshalb obliteriert und die Kanallumina kalzifiziert.

Die Zone der „*dead tracts*“ enthält durch den Rückzug der Odontoblastenfortsätze leere Dentinkanälchen, woraus sich der Name ergibt. Die leeren Dentinkanälchen füllen sich mit Luft und sind leichter durchgängig als Dentinkanälchen in gesunden Bereichen des Dentins. Die „*dead tracts*“ bieten daher nur einen geringen Widerstand gegen den Kariesprozess. Mit Zunahme der Kariesprogression können die Bakterien leicht innerhalb der leeren Dentinkanälchen fortschreiten.^{28, 174}

Die *Zone der Demineralisation* findet sich sobald organische Säuren, ausgehend von den eindringenden Bakterien, die Schmelz-Dentin-Grenze überschritten haben und in das Dentin eingedrungen sind. Es finden sich ein geringerer Mineralgehalt und eine geringere Härte in dieser Zone des Dentins. Solange jedoch der Schmelz an der Oberfläche nicht eingebrochen ist, ist ein Eindringen der Bakterien in das Dentin unwahrscheinlich. Die Säuren und Toxine gelangen demnach durch Diffusion in das Innere des Zahnes.^{28, 146}

Dentinkaries bei eingebrochener Schmelzoberfläche (fortgeschrittenes Stadium)

Schreitet der Kariesprozess weiter fort, kommt es zum Einbruch der vorerst intakten Schmelzoberfläche. Die Poren im Schmelz haben eine Größe angenommen, die nicht mehr die Stabilität einer durchgehenden Oberfläche gewährleisten kann. Die Bakterien können nach Einbruch beginnen, in den Zahn vorzudringen, die Progression und Prognose des Prozesses verändern sich wesentlich und es muss interveniert werden, da die Beseitigung der Bakterien durch mechanische Reinigung nicht mehr möglich ist.^{28, 100} In diesem Stadium der Karies lassen sich folgende Zonen voneinander abgrenzen (von außen nach innen): die *Zone der Penetration*, die *Zone der Demineralisation*, die Zone der „*dead tracts*“, die *sklerotische Zone*, das *normale* bzw. nur *leicht veränderte Dentin* und das *Reizdentin* (siehe Abbildung 3.7).^{100, 146}

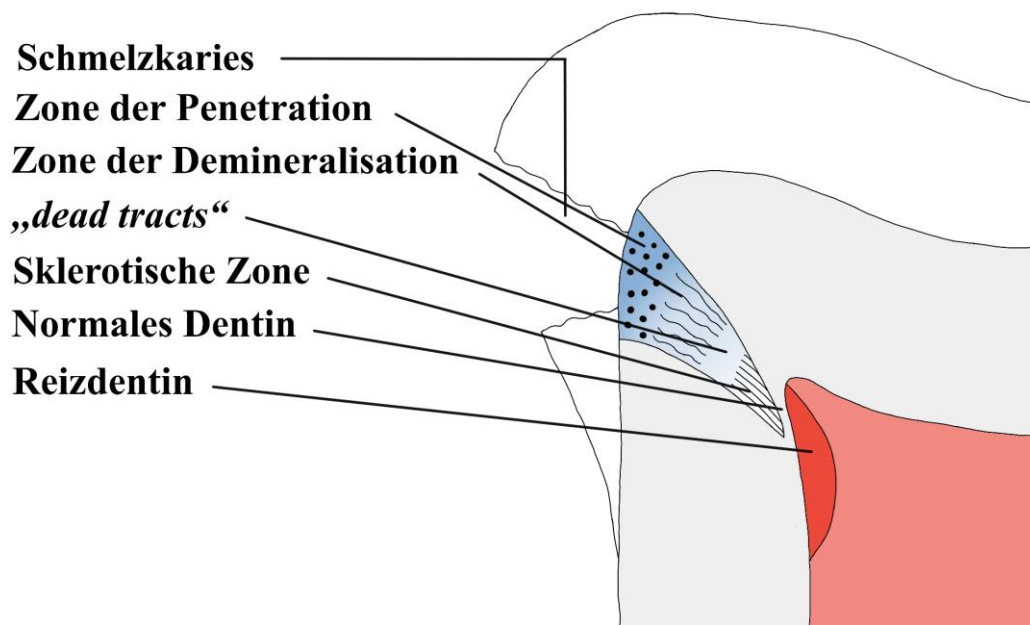


Abbildung 3.7: Schematische Darstellung einer Dentinkaries bei eingebrochener Schmelzoberfläche nach *HELLWIG et al.*¹⁰¹.

Die eingedrungenen Bakterien bilden hinter der Schmelz-Dentin-Grenze die *Zone der Penetration*. Hier finden sich also im Gegensatz zu der dahinter gelegenen *Zone der Demineralisation* nicht nur die Säuren und Toxine der Bakterien, sondern auch die Bakterien selbst. Dies spielt eine klinische Bedeutung im Hinblick auf die Exkavation der Karies

bei der Therapie. Mit dem Fortschreiten des Eindringens bewegt sich die *Zone der Demineralisation* immer weiter auf die *sklerotische Zone* zu. Die Zone der „*dead tracts*“ nimmt dabei an Breite ab. Durch die weiten und leeren Kanäle in der Zone der „*dead tracts*“ wird dem Kariesprozess wenig Widerstand geleistet. Die Bakterien, deren Durchmesser in etwa dem eines leeren Kanals entsprechen, können leicht tiefer ins Dentin vordringen. Dagegen treffen sie in der *sklerotischen Zone* auf mehr Resistenz durch die Mineralisierung in den Kanälen. Mit Zunahme der Progression nimmt jedoch auch die *sklerotische Zone* an Breite ab, bis die Bakterien die Pulpa im Zahninneren erreichen. Während zu Beginn des Prozesses die Demineralisation des Dentins vor allem durch die von den Bakterien ausgehenden Säuren stattfindet, wird im späteren Verlauf die Dentinmatrix durch die Enzyme der Bakterien abgebaut. Die Reste des demineralisierten Dentins mischen sich mit der Plaque und bilden zusammen ein weiches Material, das als *Zone der Nekrose* bezeichnet wird.^{28, 100} Wenn die Bakterien die Pulpa erreicht haben, ist eine irreversible Entzündung nicht mehr zu verhindern.^{28, 100, 146}

3.2.3 Unterschiede in den Dentitionen

Da sich der Aufbau des Milchzahns von dem eines bleibenden unterscheidet, zeigt die Karies im Milchzahngewebnis einen geringfügig veränderten Prozess. Durch den sehr dünnen Schmelzmantel, der an keiner Fläche des Zahnes eine größere Dicke als 1 mm aufweist, befindet sich die kariöse Läsion schneller im Dentin. Zudem zeigt sich deutlich schneller eine Pulpabeteiligung, da die Pulpakammer im Milchzahn größer ist und die Pulpahörner, im Vergleich zum bleibenden Zahn, exponierter liegen.^{100, 128, 243} Durch die Unregelmäßigkeiten im Schmelzaufbau und der Verteilung der vergrößerten Dentintubuli sowie den verringerten Mineralgehalt des Dentins zeigt sich zudem eine erhöhte Kariesprogression bei Milchzähnen.^{128, 182, 243} Die morphologischen Unterschiede zwischen bleibendem Zahn und Milchzahn sind in Abbildung 3.8 verdeutlicht.

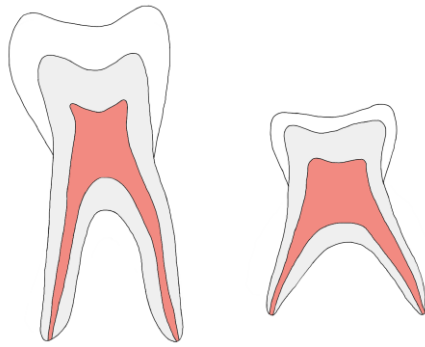


Abbildung 3.8: Schematische Darstellung der morphologischen Unterschiede zwischen einem bleibenden Zahn (links) und einem Milchzahn (rechts) modifiziert nach UHLMANN.²⁴³.

Die häufigste Ursache für frühkindliche Karies ist eine falsche Ernährungsweise, die vor allem durch die Aufnahme von einfachen Zuckern sowie gesüßten Getränken wie Säften oder Tees geprägt ist.¹⁵¹ Weitere direkte Ursachen stellen eine unzureichende Mundhygiene oder länger andauerndes Stillen dar. Zudem gibt es jedoch zahlreiche indirekte Faktoren, die die Kariesprävalenz maßgeblich beeinflussen können, auf die nicht immer Einfluss besteht. Zu diesen Risikofaktoren zählen ein niedriger ökologischer Sozialstatus, geringe Bildungkenntnisse, ein fehlender Zugang zu medizinischer Versorgung oder ein unzureichendes Gesundheitssystem.^{11, 26, 168, 252}

Während frühkindliche Karies überwiegend in den Fissuren und an den Approximalflächen der Milchmolaren stattfindet, entsteht mit dem Durchbruch der 6-Jahr-Molaren auch die Gefahr für Karies an den bleibenden Zähnen.^{28, 96, 174, 256} Mit dem Durchbruch eines Zahnes in die Mundhöhle beginnt seine posteruptive Schmelzreifungsphase, deren Dauer etwa zwei bis drei Jahre beträgt. Während dieser Zeit besteht eine erhöhte Kariesgefahr, da die Oberfläche der Zähne in dieser Phase physikalisch umgebaut und damit weniger porös und härter wird.^{108, 164, 223, 240}

Häufiges Krankheitsbild bei Kindern ist die *early childhood caries* (ECC). Sie beschreibt das Vorhandensein von einem oder mehreren kariösen oder aufgrund von Karies fehlenden oder gefüllten Zähnen bei Kindern im Alter bis zu 71 Monaten.^{11, 100, 128, 258} Kinder, die in der Milchgebissphase an Karies erkranken, haben eine höhere Wahrscheinlichkeit auch in der bleibenden Dentition unter kariösen Läsionen zu leiden.^{76, 124, 194} Eine besondere Form stellt das *nursing bottle syndrom* dar, bei dem die oberen Schneidezähne bei Kindern unter zwei Jahren durch den überproportionalen Missbrauch von zuckerhaltigen Getränken in den Nuckelflaschen bei Kindern zerstört werden.^{11, 211}

3.3 Untersuchungsmethoden zur Kariesdiagnostik

Um eine fundierte Therapieentscheidung zwischen invasiver und nicht-invasiver Behandlung treffen zu können, ist die Kariesdiagnostik essenziell. Während bei Schmelzläsionen nicht-invasive Behandlungsmethoden wie beispielsweise eine Optimierung der Mundhygiene oder Ernährung sowie die lokale Anwendung von Fluoriden zur Remineralisation genutzt werden können, muss bei einer Dentinläsion auf invasive Behandlungsmethoden zurückgegriffen werden.^{36, 62, 125, 191}

Neben der im Kapitel 3.2.1 genannten Karies an den Prädilektionsstellen, stellt für die Kariesdiagnostik vor allem die *hidden caries* eine Herausforderung dar. Bei der *hidden caries* handelt es sich um eine sich im Dentin befindliche kariöse Läsion unter einem nicht kavitierten Schmelz, der klinisch intakt zu sein scheint.^{64, 97, 160, 210, 263} Durch die lokale Anwendung von Fluoriden kann es zu remineralisierenden Prozessen kommen, die sich auf den Schmelz begrenzen und dadurch die Diagnostik der Karies im Dentin erschweren und häufig nur durch die röntgenologische Darstellung durch Bissflügelaufnahmen sichtbar machen.^{156, 157, 234, 263}

Für die Kariesdiagnostik ist es wichtig, eine Diagnostikmethode zu verwenden, die die Karies sicher detektiert (Validität), bei der sich das Ergebnis bei wiederholtem Versuch sowohl intra- als auch interpersonell reproduzieren lässt (Reliabilität), die nicht oder nur gering invasiv ist und die zudem eine angemessene Kosten-Nutzen-Relation zeigt.^{53, 87, 96, 132}

In diesem Zusammenhang sollen auch kurz die Fachbegriffe Sensitivität und Spezifität erklärt werden. Die Sensitivität definiert, wie zuverlässig eine Untersuchung eine erkrankte Person als krank erkennt. Eine hohe Sensitivität bedeutet also, dass die Untersuchung kaum erkrankte Personen nicht detektieren kann. Die Spezifität dagegen definiert, wie zuverlässig eine Untersuchung gesunde Patienten als gesund erkennt. Eine hohe Spezifität bedeutet demnach, dass die Untersuchung in der Regel nur bei erkrankten Personen ein auffälliges Ergebnis zeigt. Auf die Begriffe wird im Kapitel 4.5.2 noch einmal genauer eingegangen.²⁷¹

3.3.1 Visuelle Inspektion

Die visuelle Inspektion stellt den Goldstandard für die okklusale Kariesdiagnostik dar und erfolgt am gereinigten und getrockneten Zahn unter Verwendung eines zahnärztlichen Spiegels und Licht ausgehend von der Behandlungseinheit. Durch die Nutzung einer stumpfen Sonde kann die Oberflächenstruktur des Zahnes drucklos ertastet werden, um etwaige durch Entkalkung entstandene Rauigkeiten oder Kavitäten detektieren zu können.¹³² Die Nutzung einer spitzen Sonde ist obsolet, da es zu ungewolltem Verletzen der Oberflächenstruktur sowie Verschlimmerung der Kavität durch die Einwirkung kommen kann, was eine Remineralisation der Läsion erschwert.^{60, 171, 245, 261}

Besonderes Augenmerk muss bei der klinischen Diagnostik auf die Tatsache gelegt werden, dass eine scheinbar intakte, nicht kavitierte Zahnoberfläche über eine darunterliegende Dentinkaries hinwegtäuschen kann. Die Sensitivität der visuellen Diagnostik an Zähnen mit *hidden caries* beträgt 12-20 %.¹⁶⁰ Die Hinzunahme der zahnärztlichen Sonde kann in diesem Falle die Diagnostik nicht verbessern.¹⁵⁸

Brown-Spot-Läsionen gelten aufgrund des möglichen exogenen Ursprungs besonders bei Erwachsenen als unsicheres Zeichen für Karies.²⁴⁷ *LUSSE* zu Folge zeigen von den braun verfärbten Fissurenbereiche nur 40 % eine darunterliegende Dentinkaries.¹⁵⁶ Bei der visuellen Diagnostik muss somit vor allem auf *White-Spot-Läsionen* geachtet werden als erstes Anzeichen einer initialen, aktiven Schmelzkaries sowie *Brown-Spot-Läsionen* als Zeichen einer chronischen, inaktiven Schmelzkaries.⁹⁶

Bei der Entscheidung zwischen einer aktiven und inaktiven Läsion sollten multiple Faktoren berücksichtigt werden. So sollte das visuelle Erscheinungsbild (Glanz spricht für Inaktivität), die vorsichtige und drucklose Taktilität mit einer stumpfen Sonde (Rauigkeit spricht für Aktivität), die Lokalisation sowie das Ausmaß der Plaque bei der Bewertung eine Rolle spielen.^{61, 64, 188}

Um das visuelle Erscheinungsbild beurteilen zu können, muss die Oberfläche des Zahnes zunächst mit dem Luftpüster getrocknet werden. Die Trocknung der Zähne ist wichtig aufgrund der unterschiedlichen Lichtbrechungsindexe von Luft (1,0), Wasser (1,33) und Zahnschmelz (1,62).^{59, 62, 96} Durch die Trocknung wird den Poren des demineralisierten Schmelzes das Wasser entzogen und durch Luft ersetzt. Durch die höhere Differenz der Lichtbrechungsindexe zwischen Luft und Schmelz als zwischen Wasser und Schmelz,

erscheint die Oberfläche nach Trocknung als kreidig-weiße Veränderung.^{59, 62, 63, 96} Kreidig-weiße oder bräunliche Veränderungen, die bereits ohne Trocknung erkennbar sind, können bereits mit dem Stadium einer Dentinkaries einhergehen.⁶³

In der Historie der Klassifikationen der klinischen Kariesdiagnostik haben sich heute die Systeme nach *NYVAD et al.* und *EKSTRAND et al.* etabliert.^{64, 132, 188} *EKSTRAND et al.* entwickelten ein fünfstufiges Diagnostiksystem bei dem Zähne, die keine oder nur eine geringe Veränderung der Schmelz-Transluzenz nach Lufttrocknung und histologisch in diesem Stadium keine Schmelzdemineralisation aufzeigen, mit dem Grad 0 bewertet werden. Opazitäten weißlicher oder bräunlicher Farbe, die auf nasser Oberfläche nicht, auf trockener jedoch deutlich erkennbar sind, werden mit dem Grad 1 befunden. Grad 1 entspricht dem histologischen Stadium, in dem sich die kariöse Läsion in der äußeren Schmelzhälfte befindet. Weißliche oder bräunliche Opazitäten, die bereits ohne Lufttrocknung auf nasser Oberfläche erkannt werden können, sprechen für eine kariöse Läsion in der inneren Schmelzhälfte bis in das äußere Dentindrittel und stellen den Grad 2 dar. Mit Grad 3 bewertet werden gräuliche Verfärbungen aus dem Dentin und/oder lokale Schmelzeinbrüche bei opakem oder verfärbtem Schmelz, die dafür sprechen, dass sich die Läsion bis in das mittlere Dentindrittel erstreckt. Kavitation in opakem oder verfärbtem Schmelz mit zusätzlicher Dentinexposition, zeigen histologisch eine Ausdehnung bis in das innere Dentindrittel und entsprechen Grad 4.^{59, 64} *HEINRICH-WELTZIEN et al.* konnten bei ihrer Studie mit der Verwendung des nach *EKSTRAND et al.* entwickelten Systems eine sehr gute Spezifität von 100 % hinsichtlich Dentinläsionen zeigen. Die Sensitivität fiel geringer aus und betrug 75 %. Es konnten in dieser Studie somit alle gesunden Probanden als gesund erkannt werden, während ein Viertel der erkrankten Probanden nicht erkannt werden konnte.⁹⁷

NYVAD et al. entwickelten ein zehnstufiges Diagnostiksystem. Findet sich ein Zahn mit normaler Transluzenz und Textur des Zahnschmelzes mit nur leichter Verfärbung in einer ansonsten gesunden Fissur, wird er mit dem Score 0 bewertet. Bei Score 1-3 finden sich aktive Läsionen, die Veränderungen im Sinne von Verfärbungen, Glanzverlust, Rauigkeit, Plaquebedeckung oder Substanzverlust aufzeigen. Während bei Score 1 die Oberfläche noch intakt ist, ist bei Score 2 die Oberfläche diskontinuierlich und bei Score 3 lässt sich eine Kavität diagnostizieren. Bei Score 4-6 handelt es sich um inaktive Läsionen. Der Zahnschmelz kann bei glänzender sowie harter und glatter Oberfläche eine weißlich, bräunliche oder schwarze Farbe haben. Es lässt sich kein Substanzverlust finden.

Auch hier gilt, dass je niedriger der Score (4), desto intakter die Oberfläche und umgekehrt je höher der Score (6), desto eher ist eine Kavität diagnostizierbar. Darüber hinaus lassen sich durch das System mit den Scores 7-9 noch Füllungen ohne Karies (7), Füllungen in Verbindung mit aktiver (8) oder inaktiver (9) Karies beurteilen.^{59, 188}

Die Systeme nach *EKSTRAND et al.* und *NYVAD et al.* wurden in der Entwicklung des *International-Caries-Detection-and-Assesment-System* (ICDAS) und dem *Universal-Visual-Scoring-System* (UniViSS) berücksichtigt.^{43, 96, 131, 133}

Das ICDAS wurde auf zwei Konsenskonferenzen von Kariologen und Klinikern zwischen 2002 und 2004 entwickelt und im Jahre 2005 weiterentwickelt, sodass das zuletzt entwickelte System im Folgenden als ICDAS-II bezeichnet wurde.^{90, 101, 112} Das System entstand mit dem Ziel ein einfaches, logisches und evidenzbasiertes System einzuführen, das die Detektion, Klassifikation und Therapieentscheidung der Karies vereint und sowohl für Praxis, Klinik, Lehre, Forschung als auch das öffentliche Gesundheitswesen nutzbar ist.^{90, 113, 198} Es handelt sich beim ICDAS-II um ein siebenstufiges System, das von Code 0 bis Code 6 reicht und das System nach *EKSTRAND et al.* um zwei Punkte erweitert. Code 0 steht für keine sichtbare Karies nach Trocknung des Zahnes. Bei Code 1 finden sich erste visuelle Veränderungen in der Schmelzoberfläche, die nach Trocknung des Zahnes sichtbar werden. Deutliche visuelle Veränderungen in der Schmelzoberfläche auch auf feuchtem Zahn werden mit Code 2 bewertet. Bei Code 3 findet sich ein Verlust bzw. eine Demineralisation der Schmelzstruktur ohne Dentinexposition. Code 4 bezeichnet eine Schattenbildung im Dentin mit oder ohne Schmelzeinbruch. Eine deutliche Kavitätenbildung mit sichtbarer Dentinexposition wird dem Code 5 zugeordnet. Eine großflächige Kavitätenbildung, bei der das Dentin sowohl in der Breite als auch in der Tiefe deutlich sichtbar ist, erhält den Code 6.^{90, 112}

Das UniViSS vereint die Systeme von *EKSTRAND et al.*, *NYVAD et al.* und ICDAS-II und besteht aus einem dreistufigen System.^{64, 112, 131, 188} Das System verbindet die diagnostischen Parameter mit einem anschließenden therapeutischen Vorgehen. So unterscheidet man hier den Schweregrad (1), die Verfärbung (2) und die Aktivität (3) der kariösen Läsion. Bezüglich des Schweregrades unterscheidet man zwischen den ersten sichtbaren Anzeichen einer Kariesläsion (Score F), einer etablierten Kariesläsion (Score E), einer Mikrokavität und/oder einem lokalen Schmelzeinbruch (Score M), einer Dentinexposition (Score D), einer großflächigen Kavität (Score L) und einer Pulpaexposition (Score P). Die Verfärbungen (2) werden in weiß (Score 1), weiß-braun (Score 2), (dunkel)

braun (Score 3) und gräulich transluzent (Score 4) unterschieden. Die Aktivität (3) wird in ja und nein unterteilt.^{130, 131}

Im Jahre 2018 entwickelten *SCHAEFER et al.* ein Bewertungssystem, das sich an dem ICDAS-II und dem UniViSS orientiert. Dort wird zwischen gesunder Zahnhartsubstanz, Schmelzläsionen (ECL) und Dentinläsionen (DCL) unterschieden. Die Schmelzläsionen werden zudem noch in erste sichtbare Anzeichen einer Kariesläsion (Score F), einer etablierten Kariesläsion (Score E) sowie einer Mikrokavität und/oder einem lokalen Schmelzeinbruch (Score M) unterteilt. Bei den Dentinläsionen erfolgt die Unterscheidung in Dentinexposition (Score F) und einer großflächigen Kavität (Score L).²¹⁴

Das System nach *SCHAEFER et al.* fand in dieser Studie bei der visuellen Inspektion Anwendung.

3.3.2 Radiologische Kariesdiagnostik

Obwohl *SCHWENDICKE et al.* nach einer Meta-Analyse von 117 Studien zeigen, dass die radiologische Diagnostik vor allem bei der Detektion von approximaler Initialläsionen hinsichtlich der Sensitivität Schwächen zeigt, ist sie zur Erfassung approximaler Läsionen aus dem klinischen Alltag nicht wegzudenken und stellt bis heute den Goldstandard für die proximale Kariesdiagnostik dar.^{32, 81, 96, 106, 173, 202, 227}

Dagegen zeigt sich, dass die Spezifität der radiologischen Diagnostik für proximale Läsionen hoch ist, für okklusale Läsionen jedoch nur moderat. Die frühzeitige Darstellung einer Okklusalkaries wird durch die Überlagerung von intakter Zahnhartsubstanz erschwert und kann somit erst ab dem Stadium einer Dentinkaries sicher radiologisch diagnostiziert werden (siehe Abbildung 3.11). Allerdings kann sie einen entscheidenden Vorteil bringen, bei der Detektion der *hidden caries* in tiefen Dentinbereichen.^{70, 81, 106, 135, 157, 210}

Mit der radiologischen Diagnostik geht auch immer die freiwerdende ionisierende Strahlung einher, sodass jeder Zahnarzt nach §2a Abs. 2 RöV (Röntgenverordnung) dazu verpflichtet ist, jegliche Strahlenexposition nur unter Einhaltung einer rechtfertigen Indikation auszuführen, bei der das diagnostische, therapeutische und gesundheitliche Nutzen gegenüber den möglichen Schäden der Strahlenexposition abzuwägen sind.^{31, 144, 145, 185, 231, 233} Jede radiologische Maßnahme folgt daher dem ALARA- (*as low as reasonably*

achievable) bzw. dem ALADA-Prinzip (*as low as diagnostically acceptable*), um die Dosis für den menschlichen Körper so gering wie möglich zu halten.^{31, 33}

Zur Auswertung der radiologischen Kariesdiagnostik hat sich das System nach *MARTHALER* etabliert. Hierbei erfolgt die Einteilung der kariösen Läsion in vier Stadien. Stadium 1 entspricht der Kariesausdehnung bis in die äußere Schmelzhälfte, eine Kariesausdehnung in die innere Schmelzhälfte bezeichnet man als Stadium 2. Stadium 3 und 4 bezeichnen die Ausdehnung bis in die äußere und innere Dentinhälfte.¹⁶⁹ In der Literatur wird vor dem jeweiligen Stadium ein D geführt (siehe Abbildung 3.9).^{101, 138, 144, 152, 214}

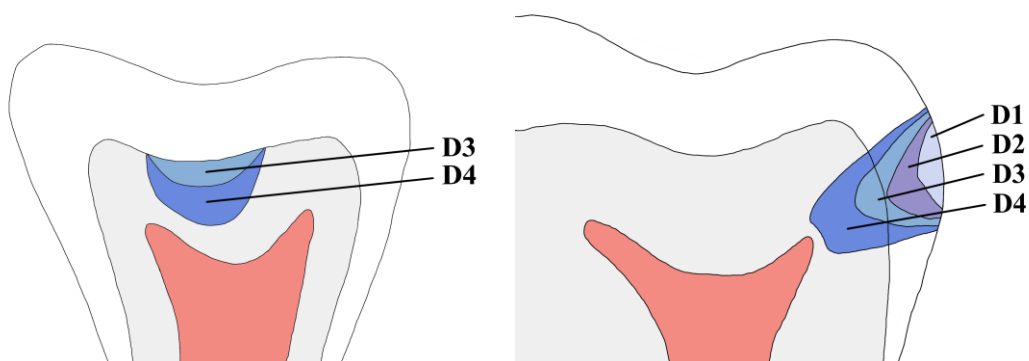


Abbildung 3.9: Radiologische Einteilung der okklusalen (links) und approximalen (rechts) Kariesprogression nach *MARTHALER* (modifiziert nach *FUHRMANN*)^{81, 169}.

3.3.3 Kariesdiagnostik mittels Nahinfrarot-Transillumination

Die Transillumination bezeichnet die Durchdringung von Licht durch Gewebe.^{79, 122} Sie beruht auf den anisotropen Brechungsindexgradienten der Zahnhartgewebe. Da eine kariöse Läsion die Zahnhartsubstanz demineralisiert, wird das Licht in diesem Bereich vermehrt gestreut (Ablenkung der Photonenrichtung ohne Energieverlust) und absorbiert (Photonenenergie geht an das durchdrungene Material verloren), sodass die kariöse Läsion in der Aufnahme im Gegensatz zur gesunden Zahnhartsubstanz dunkel erscheint.^{34, 78, 79, 122}

Da die Transillumination bei sichtbarem Wellenlängenbereich von 400 bis 700 nm auch bei gesunder Zahnhartsubstanz eine hohe Streuung aufweist und damit die Diagnostik erschwert, empfiehlt sich die Verwendung von Licht im Nahinfrarot (NIR)-Bereich (>700 nm Wellenlänge). Langwelligeres Licht bewirkt eine Absenkung des Streu- und

Absorptionskoeffizienten innerhalb des Schmelzes, im Dentin findet sich keine signifikante Änderung bei der Anwendung verschiedener Wellenlängen.^{77, 78} Da sich eine deutliche Verbesserung der Schmelzdiagnostik bei Erhöhung der Wellenlänge zeigt, ist NIR-Licht vor allem für initiale proximale und okklusale kariöse Läsionen geeignet.^{77, 122, 231}

Die Nahinfrarot-Transillumination beruht auf der fiberoptischen Transillumination (FOTI), die in den 1970er Jahren entwickelt wurde. Diese wird ebenfalls zur Diagnostik von proximalen und okklusalen kariösen Läsionen verwendet. Dazu wird eine Kaltlichtsonde mit einer kleinen Austrittsöffnung (\varnothing 0,5 mm) in Form eines zahnärztlichen Handstücks verwendet.²⁰⁴ Das Handstück kann an die bukkalen und lingualen Glattflächen der Zähne und in den Approximalraum gehalten werden. Auch hier erscheinen kariöse Bereiche aufgrund der verstärkten Streuung und Absorption dunkler.^{91, 178} Viele Studien beschäftigen sich mit der Kariesdiagnostik der FOTI im Vergleich zur radiologischen Kariesdiagnostik mittels Bissflügelaufnahme. *WENZEL et al.* zeigten vor allem den Vorteil des Verzichts von ionisierender Strahlung im Gegensatz zur Bissflügeldiagnostik sowie dem Verzicht von hochpreisigen Diagnoseinstrumenten auf.²⁵⁴ Laut *VERDON-SCHOT et al.* haben FOTI-Untersuchungen eine geringere Sensitivität, aber eine höhere Spezifität (99 %) als die radiologische Diagnostik (66 %).²⁴⁷ *MITROPOULIS* beschreibt FOTI als effiziente Alternative zu Bissflügelaufnahmen.¹⁷⁸ Als Nachteil wird vor allem der subjektive Charakter der Beurteilung der Befunde gesehen, der ohne Training keine ausreichende Objektivität und Reliabilität bieten kann.^{42, 143, 204}

Aufgrund dessen wurde die FOTI-Technologie weiterentwickelt und es entstand die DIFOTI-Technologie (*digital imaging fiber optic transillumination*), bei der das menschliche Auge durch eine CCD-Kamera (*charge-coupled-device*) ersetzt wurde. Der Zahn wird mittels FOTI durchleuchtet, die entstandenen Bilder können anschließend an einem Computer angezeigt, gespeichert und zur Visualisierung genutzt werden.^{221, 262}

Im Jahr 2012 wurde die DIAGNOcam (KaVo, Biberach) auf den Dentalmarkt gebracht. Da die DIAGNOcam längere Wellenlängen des NIR-Bereiches von 780 nm nutzt, kann das Licht tiefer in das Gewebe eindringen und verursacht weniger Streuung und Absorption im Zahnschmelz.^{3, 48, 77, 231} Für die Untersuchung wird der sterilisierbare Scankopf über den Zahn gestülpt und von den biegbaren Armen aus Licht von bukkal und oral über das Zahnfleisch durch den Alveolarfortsatz zur Zahnwurzel und von dort aus weiter zur

Zahnkrone geleitet. Auch hier wird ein CCD-Sensor genutzt, der die gewonnenen Informationen an einem Computer mit KaVo integrierter Desktop (KID) Software sendet und den Zahn unmittelbar auf dem Bildschirm beurteilen sowie abspeichern lässt.^{2, 225, 231} Die Nutzung der DIAGNOcam bietet sich vor allem bei Kindern oder Patienten mit erhöhtem Kariesrisiko an, die ansonsten häufig ionisierender Strahlung durch Röntgenbilder ausgesetzt werden würden.²²⁵ LAITALA *et al.* sehen ebenfalls den Vorteil der Wiederholbarkeit und der strahlungsfreien Anwendung in diesem System.¹⁴¹ ABDELAZIZ *et al.* heben besonders die exakte Lokalisierung der Läsion durch die vestibulo-orale Darstellung des Bildes hervor sowie die Anwendung bei Patienten mit einer fixen orthodontischen Apparatur mit metallischen Brackets und/oder Bändern, während die metallischen Apparaturen bei der Bissflügelaufnahme die Diagnostik erschweren würden.² SÖCHTIG *et al.* konnten eine Übereinstimmung zwischen approximaler Dentinkariesdiagnostik zwischen DIAGNOcam und Bissflügelaufnahme von 95,3 % nachweisen.²³¹ Auch LEDERER *et al.* konnten in ihrer Studie ähnliche oder bessere Sensitivitäts- sowie Spezifitätswerte von der DIAGNOcam im Vergleich zur Bissflügeldiagnostik erzielen.¹⁴⁵ Die Datenlage zur okklusalen Kariesdiagnostik mittels DIAGNOcam entfällt geringer als die für die proximale Kariesdiagnostik. SCHAEFER *et al.* sehen den Nutzen der DIAGNOcam in der Ergänzung der klinischen Inspektion, da die Mehrzahl aller okklusalen Läsionen durch die klinische Diagnostik erkannt werden konnten, die Kombination aus beiden Diagnostiken jedoch eine geringfügige Überlegenheit zeigen konnte.²¹⁴ In der Studie von TASSOKER *et al.* konnte die DIAGNOcam den besten Korrelationswert der okklusalen Diagnostik im Vergleich zu den histologischen Beobachtungen zeigen und wies eine Sensitivität von 96,1 % und eine Spezifität von 61,5 % auf.²³⁹ Auch die Datenlage zur Diagnostik von Milchzähnen stellt sich als gering dar. In der Studie nach ZHOU *et al.* konnte die DIAGNOcam bei der Diagnostik von oberflächlicher Schmelzkaries deutlich bessere Ergebnisse erzielen (60 %) als die Bissflügeldiagnostik (40 %) und die visuelle Diagnostik (10 %).²⁶⁶ ALAMOUDI *et al.* konnten höhere Sensitivitätswerte (85,2 %), jedoch geringere Spezifitätswerte (56,9 %) als die radiologische Diagnostik (51,9 % und 57,9 %) nachweisen.⁵ DE ZUTTER *et al.* geben aufgrund einer hohen Anzahl falsch-negativer Befunde der Dentinkaries in ihrer Studie keine Empfehlung für die DIAGNOcam als alleiniges Diagnoseinstrument für die Erkennung approximaler Karies im Milchgebiss.⁵⁰

3.3.4 Kariesdiagnostik mittels Fluoreszenz-Technologie

Die Fluoreszenz-Technologie basiert auf dem Prinzip, dass ein Laserlicht im Bereich einer Wellenlänge von 390 bis 420 nm auf die organischen Bestandteile des Zahnes trifft, wodurch die sich dort befindlichen Elektronen mit energiereichen Quanten angeregt und dadurch auf ein höheres Energieniveau angehoben werden. Fallen die Elektronen wieder auf ihr niedrigeres Orbital zurück, emittieren sie Energie in Form von Licht.^{93, 149, 159, 174} Wenn der angeregte Zustand kürzer als zehn Nanosekunden anhält, spricht man von Fluoreszenz, alles darüber wird als Phosphoreszenz bezeichnet. Zusammengefasst spricht man bei Fluoreszenz und Phosphoreszenz von Lumineszenz, also von der Eigenschaft Energie in Form von Photonen ausstrahlen zu können.^{93, 149}

Bereits im Jahre 1911 untersuchte *STÜBEL* die Fluoreszenz tierischer Gewebe. Er konnte dabei feststellen, dass die Intensität der Ausstrahlung durch die Struktur des Objektes bestimmt wird. Je dichter, fester und flüssigkeitsärmer ein Gewebe ist, desto stärker die Fluoreszenz. Hervorzuheben ist hierbei, dass er bereits in seiner Studie erkannte, dass Bakterienwachstum und beginnende Fäule die Farbe des Fluoreszenzlichtes verändern, weshalb er Gewebe nur im frischen Zustand untersuchte.²³⁶

BENEDICT untersuchte im Jahr 1929 die Fluoreszenzeigenschaft der Zähne. Je gravierender dabei der Grad der Demineralisation, desto mehr Fluoreszenz entsteht sowohl im Schmelz als auch im Dentin. Generell hat Dentin im Gegensatz zum Schmelz höhere Fluoreszenzeigenschaften.²⁰

In der Kariesdiagnostik kann man sich die Fluoreszenz-Technologie als zusätzliches Diagnostiktool zunutze machen. Dabei wird das entstandene Licht von einem Detektor in Form einer Kamera registriert und die Intensität gemessen. Gesunde und saubere Zähne produzieren grüne Fluoreszenz, während kariöse Zähne, je mehr sie von Bakterien befallen sind, rote Fluoreszenz ausstrahlen.^{4, 29, 30, 111} Die fluoreszierenden Eigenschaften beruhen laut *KÖNIG et al.* auf den farbig-organischen Abbauprodukten der Mikroorganismen, die vor allem auf Porphyrine zurückgeführt werden können, die bei verschiedenen oralen Bakterien als Zwischenschritt bei der Häm-Synthese gebildet werden.^{105, 110, 127}

In der Anwendung bietet der *DIAGNOdent Pen* (KaVo, Biberach) die Fluoreszenz-Technologie zur Nutzung der Kariesdiagnostik an. *TASSOKER et al.* konnten für dieses Diagnostiktool hohe Sensitivitätswerte (in-vitro 92,2 %, in-vivo 80,5 %) erzielen, die Spezifitätswerte fielen dagegen etwas geringer aus (in-vitro/in-vivo 76,9 %). In der Studie von

SÜRME et al. zeigte sich eine Bestätigung der Ergebnisse von *TASSOKER et al.* sowohl im Milch- als auch im bleibenden Gebiss. *MARCZUK-KOLADA et al.* erzielten für die klinische Diagnostik mittels ICDAS-II sowohl im Schmelz als auch im Dentin höhere Sensitivitätswerte als für den DIAGNOdent Pen oder die auf Fluoreszenz-Technologie basierende VistaCam iX (Dürr Dental, Bietigheim-Bissingen).¹⁶⁶

3.3.5 Kariesdiagnostik mittels Intraoralscanner

Kariesdiagnostik mittels Nahinfrarot-Technologie (Emerald S)

Der IOS Emerald S (Planmeca, Helsinki, Finnland) kam erstmals 2019 im Rahmen der internationalen Dentalschau (IDS) auf den Markt. Das neue Modell zeichnet sich durch eine bessere Benutzerfreundlichkeit und eine höhere Geschwindigkeit im Vergleich zu den Vorgängern aus.²⁰¹ Durch die aufsetzbare *Cariosity*-Spitze ist mit dem Emerald S die Funktion der Kariesdiagnostik möglich, die analog zur DIAGNOcam auf der Nahinfrarot-Technologie mit einer Wellenlänge von 727 nm beruht (vgl. Kapitel 3.3.3).²⁰¹ Die *Cariosity*-Spitze eignet sich laut Hersteller sowohl für die Diagnostik okklusaler als auch für die approximaler Läsionen und kann darüber hinaus Sekundärkaries und Risse im Frühstadium erkennen.²⁰¹ Der Scankopf ist ähnlich wie der der DIAGNOcam mit zwei biegbaren Armen ausgestattet, die sich über den Zahn stülpen lassen. Der Zahn wird auch hier von oral und bukkal durchleuchtet und die kariösen Läsionen erscheinen aufgrund der verstärkten Lichtstreuung in demineralisierter Substanz dunkler.^{122, 231}

Kariesdiagnostik mittels Fluoreszenz-Technologie (Trios 4)

Der IOS Trios 4 (3Shape, Kopenhagen, Dänemark) zeichnet sich so wie seine Vorgänger durch ein puderfreies Arbeiten nach dem konfokalen Prinzip sowie eine geringe Scanzeit aus.^{154, 267, 270} Das 4. Modell der Trios-Serie wurde 2019 auf der Internationalen Dentalschau (IDS) vorgestellt. Laut Hersteller handelt es sich bei dem Trios 4 um den weltweit ersten IOS, der zusätzlich zu den bereits bekannten Funktionen auch Karies detektieren kann. Außerdem bietet er die langfristige Beobachtung von Zahnveränderungen durch die Software Trios *Patient Monitoring*. Die Kariesdiagnostikfunktion beruht auf der Fluoreszenz-Technologie, bei der die Überlagerung des gewonnenen Scans durch die Verrechnung der Scanner-Software mit farblichen Datencodes erfolgt, ohne dabei den

Scanaufsatz wechseln zu müssen. Im Anschluss wird der Scan entsprechend des Fortschrittes der kariösen Läsion bei Initialläsionen gelb und bei moderaten bis umfangreichen Läsionen rot markiert.¹ Das Ergebnis lässt sich aufgrund dieser einfachen und eindeutigen Farbmarkierung leicht verständlich für den Patienten visualisieren.

Die Studienlage zum Thema Kariesdiagnostik mittels IOS ist gering. In der in-vitro Studie von *MICHOU et al.* wurde ein auf dem Trios 3 basierender Prototyp verwendet und mit der visuell-taktilen Diagnostik (ICDAS) sowie Bissflügelaufnahmen verglichen. Der IOS zeigte im Vergleich zur visuell-taktilen Diagnostik bessere Sensitivitäts- und Spezifitätswerte als mit der visuell-taktilen Untersuchung erreicht werden konnten.¹⁷⁵

In einer späteren Studie von *MICHOU et al.* sollten die Ergebnisse der vorherigen in-vitro Studie noch einmal in-vivo verifiziert werden. Der IOS zeigte hier geringfügig schlechtere Sensitivitätswerte sowohl bei Schmelz- als auch bei Dentinläsionen im Gegensatz zur visuellen Diagnostik, die Spezifitätswerte lagen dagegen jedoch höher.¹⁷⁶

In der neuesten Studie nach *MICHOU et al.* wurde der Trios 4 mit einer Prototypspitze verwendet, die sich der Nahinfrarot-Technologie bedient. Die Sensitivitätswerte des IOS lagen zusammen mit der DIAGNOcam über denen der visuellen und radiologischen Untersuchung, während sich die Spezifitätswerte der visuellen und radiologischen Diagnostik den anderen beiden Diagnostiktools überlegen zeigten.¹⁷⁷

In der in-vitro Studie nach *SCHLENZ et al.* erfolgte der Vergleich der Kariesdiagnostikfunktion von drei IOS mit den etablierten Kariesdiagnostikmethoden. Untersucht wurden dabei proximale und okklusale Läsionen an Milch- und bleibenden Zähnen. Bei den proximalen Läsionen waren die Werte aller IOS sowie der DIAGNOcam und der visuellen Untersuchung als etablierte Methoden der Bissflügelradiographie als bisherigen Goldstandard für proximale Läsionen eindeutig unterlegen. Bei der Untersuchung der okklusalen Läsionen an bleibenden Zähnen konnte der IOS Emerald S im Vergleich zum Goldstandard der visuellen Untersuchung höhere Werte erzielen, während der IOS Trios 4 die zweithöchsten Werte nach der visuellen Untersuchung bei okklusalen Läsionen an Milchzähnen aufzeigen konnte.²¹⁸

3.4 Molaren-Inzisiven-Hypomineralisation

3.4.1 Ätiologie

Während der Trend der Kariesprävalenz bei Kindern und Jugendlichen in den letzten Jahrzehnten einen kontinuierlichen Rücklauf zeigt, hat die Inzidenz der Molaren-Inzisiven-Hypomineralisation (MIH) in Deutschland und weltweit zugenommen.^{119, 168}

Verschiedene Autoren berichten von unterschiedlichen Prävalenzraten der MIH in Deutschland. So berichten beispielsweise *DIETRICH et al.* über Prävalenzwerte von 5,6 %, *PREUSSER et al.* von 5,9 % und *PETROU et al.* spricht sogar von 10,1 %.^{52, 196, 205} Im Rahmen der Fünften Deutschen Mundgesundheitsstudie (DMS V) wurde von einer Prävalenz von 28,7 % bei 12-jährigen Kindern berichtet, was die Kariesprävalenz von 18,7 % in derselben Altersgruppe in diesem Fall bei weitem übersteigt.³⁹

Der Begriff MIH wurde erstmals von *WEERHEJM et al.* verwendet und durch die *European Academy of Paediatric Dentistry (EAPD)* als systemisch bedingte Hypomineralisation von ein bis vier bleibenden ersten Molaren mit fakultativer Beteiligung der Inzisiven bezeichnet.^{162, 253} Die Hypomineralisationen können jedoch auch unabhängig des typischen Verteilungsmusters an allen Zähnen auftreten, im Falle von betroffenen Milchmolaren spricht man von Milch-Molaren-Hypomineralisation (MMH).^{19, 65, 92, 134, 136, 162}

Bis heute herrscht Unklarheit, welches Pathogen für die Erkrankung verantwortlich ist.^{44, 134, 139, 162} Allgemeiner Konsens besteht darin, dass eine multifaktorielle systemische Beeinträchtigung der Ameloblasten während der Schmelzbildung des jeweiligen Zahnes stattgefunden haben muss. Neben Umweltfaktoren wie Bisphenol-A oder Dioxin-Exposition wird in der Literatur eine Anoxie während der Geburt, Infektionen in der frühen Kindheit und eine damit verbundene Antibiotikagabe, eine Störung des Vitamin-D-Spiegels oder eine Beeinträchtigung des Calcium- oder Phosphatstoffwechsels diskutiert.^{8, 44, 134, 139, 162}

Obwohl die MIH mehrere Zähne oder Zahngruppen betreffen kann, ist sie in ihrer Ausprägung weder gleichmäßig, wie z.B. die Tetracyclinverfärbung, noch betrifft sie gesamte Dentitionen, anders als genetische Erkrankungen wie die Amelogenesis imperfecta.^{12, 23, 44, 213}

3.4.2 Klinik

Der Zahnschmelz bei einem von einer MIH betroffenen Zahn zeigt, ähnlich zu einem von einer Karies betroffenen Zahn, eine verminderte Mineralmenge und -qualität auf, weshalb die Diagnostik der MIH bei dieser Studie eine besondere Rolle gespielt hat, um falsch positive Ergebnisse im Rahmen der Kariesdiagnostik ausschließen zu können.

In der Klinik manifestieren sich diese qualitativen Veränderungen der Mineralisierung als unterschiedlich große, jedoch charakteristisch erkennbare weiße bis gelb-bräunliche Schmelzopazitäten.^{9, 16, 71, 73, 140} Der hypomineralisierte Schmelz hat im Vergleich zu der gesunden Schmelzsubstanz schlechtere mechanische Eigenschaften sowie ein geringeres Elastizitätsmodul, was die Brüchigkeit des Zahnes und die allgemeine Verwendung der Bezeichnung der „Kreidezähne“ zur Folge hat.^{45, 67, 72, 116, 226}

Vermutet wird, dass der höhere Gehalt bestimmter Proteine, wie unter anderem Serumalbumine oder Kollagen Typ I, das Wachstum von Hydroxylapatitkristallen sowie die enzymatische Aktivität während der Schmelzreifung hemmt, was im Folgenden zu einer Verringerung des Mineralgehaltes im Schmelz führt.^{16, 67, 228} Als Resultat des verringerten Mineralgehaltes und der reduzierten mechanischen Belastbarkeit kann es kurz nach dem Zahndurchbruch zu einem post-eruptiven Zusammenbruch der Zahnhartsubstanz kommen und die Zähne zeigen zudem eine höhere Anfälligkeit für das Fortschreiten von kariösen Läsionen.^{9, 16, 45, 47, 66}

Klinische Probleme bereiten bei den Betroffenen vor allem ausgeprägte Hypersensibilitäten, die nach *BRÄNNSTRÖM et al.* durch das freigelegte Dentin sowie Irritationen der in den Tubuli enthaltenen Flüssigkeiten nach thermischen, mechanischen oder osmotischen Reizen entsteht.^{25, 35, 54} Die Hypersensibilitäten können durch die beschränkt mögliche Mundhygiene die Anfälligkeit für Karies verschlimmern.^{9, 57}

Die Ausprägung der Hypomineralisation kann in unterschiedlichen Schweregraden vorliegen. Die meisten betroffenen Zähne weisen eine abgrenzbare Opazität auf, die keiner invasiven Therapie bedarf. Nur etwa 10 % der betroffenen Zähne weisen einen großen Substanzdefekt auf, der durch eine atypische Restauration behandelt werden muss.¹³⁶ Diese befinden sich meist an Höckerspitzen sowie Glattflächen und lassen sich so von Restaurationen an Kariesprädispositionsstellen abgrenzen. Die Mehrheit der betroffenen Zähne wird durch kariespräventive Maßnahmen, wie beispielsweise Fissurenversiegelungen, oder durch die lokale Anwendung von Fluoridierungen sowie desensibilisierenden

Produkten zur Förderung der Mineralisation und Vorbeugung von Hypersensibilitäten behandelt.^{17, 82, 84, 137, 162}

Die Einteilung der MIH beruht auf dem MIH-Treatment-Need-Index (MIH-TNI) nach dem Würzburger MIH-Konzept (vgl. Kapitel 4.3.1) in vier verschiedenen Graden je nach Ausmaß der Defektausdehnung und dem Vorhandensein einer Hypersensibilität. Basierend auf dem MIH-TNI kann über die Nutzung des Therapieschemas nach *BEKES et al.* eine fundierte Therapieentscheidung gefällt werden, die sowohl die klinischen Befunde des Defektausmaßes als auch die Hypersensibilitäten miteinbezieht und zudem Rücksicht auf ein erhöhtes Kariesrisiko nimmt.¹⁸

3.5 Visualisierung

In einer kürzlich durchgeführten Metaanalyse wurde die Wirkung von visuellen Hilfsmitteln in der Kommunikation im Gesundheitswesen hervorgehoben. So verbesserten Bilder beispielsweise das Wissen, das Verständnis und die Anzahl der Arztbesuche bei Patienten mit chronischen Krankheiten.¹⁰⁴ Besser informierte Patienten sind eher bereit, sich an der Behandlung ihrer Krankheiten zu beteiligen, fundierte und bessere Entscheidungen zu treffen und letztlich zu einer höheren Qualität der Versorgung beizutragen. Darüber hinaus deutet die Literatur darauf hin, dass ein mangelndes Verständnis für die Notwendigkeit einer Behandlung, insbesondere bei jüngeren oder ängstlicheren Patienten, zu Skepsis und geringerer Akzeptanz führen kann.¹⁰⁴

Traditionelle visuelle Hilfsmittel sind seit langem als nützliche Ergänzung zu schriftlichen Informationen anerkannt, insbesondere für Menschen mit geringen Lese- und Schreibkenntnissen und in Kontexten, in denen Visualisierung entscheidend ist.¹¹⁴ So wurde der Nutzen visueller Hilfsmittel für das Verständnis und die Aufklärung von Patienten im Zusammenhang mit chirurgischen Eingriffen und der Behandlung chronischer Krankheiten bereits in klinischen Studien nachgewiesen.^{21, 86}

Obwohl die Aufklärung über zahnärztliche Befunde zur Routine eines jeden Zahnarztes gehört, ist die medizinische Sprache für Patienten oft schwer verständlich. Darüber hinaus stellen Sprachbarrieren manchmal ein zusätzliches Problem dar. Anders als in der Erwachsenen Zahnheilkunde sind in der Kinderzahnheilkunde Kinder als Patienten und ihre Eltern bzw. Sorgeberechtigten involviert, was manchmal eine noch größere Herausforderung darstellt. Sie spielen eine entscheidende Rolle bei der Mundgesundheitspflege von Kindern, insbesondere bei zahnärztlichen Behandlungen. Daher ist eine wirksame Kommunikation der Grundstein für eine qualitativ hochwertige zahnärztliche Versorgung und die Ergebnisse der Mundgesundheit.⁸⁶ In der Kinderzahnheilkunde ist die Mundgesundheitskompetenz der Kinder von Natur aus begrenzt. Daher ist es wichtig, die Kinderzahnärzte in die Informationsbeschaffung und die Vermittlung von Mundgesundheitsinformationen an die Kinder einzubeziehen. Aufbauend auf diesen Modalitäten bieten neue Technologien zusätzliche Möglichkeiten für verbesserte visuelle Kommunikationsmittel.¹⁰⁷

Die in der Zahnmedizin übliche Verwendung von zahnmedizinischen Studienmodellen ist jedoch oft zu abstrakt, da die Patienten ihre eigene Mundsituation nicht sehen können. Daher könnten neue Technologien wie IOS als visuelle Hilfe die Kommunikation zwischen Patienten und Zahnärzten verbessern. Klinische Studien zum *Digital Smile Design*

haben gezeigt, dass die Verwendung von Intraoralscannern als visuelle Hilfe das Verständnis verbessert.^{40, 41, 51, 114, 147, 230}

Eine gute und zuverlässige Diagnose ist unerlässlich, denn in der Kinderzahnheilkunde erfordern das junge Alter und mögliche Erkrankungen ein besonderes Einfühlungsvermögen für die Kinder und die Eltern. Es hat sich immer wieder gezeigt, dass die elterliche Zustimmung zu einer notwendigen Behandlung stark von einer klaren Aufklärung abhängig ist. Laut einer von *WANG et al.* durchgeführten Studie zeigten Patienten, die nur mündlich aufgeklärt wurden, mehr negative Verhaltensweisen als diejenigen, die zusätzlich bildliche Informationen erhielten.²⁵¹

Die Visualisierung scheint also das Verständnis der Patienten im medizinischen Bereich zu verbessern, und es geht nur darum, ein geeignetes, praktikables Instrument für die tägliche Patientenversorgung in der Kinderzahnheilkunde zu finden.

4 Material und Methode

In dem folgenden Kapitel erfolgt zunächst eine Übersicht der untersuchten Probanden (Kapitel 4.1). Darauffolgend wird die angewandte Methodik dieser Studie erläutert (Kapitel 4.2). Im Anschluss erfolgt eine Erklärung der verwendeten Materialien (Kapitel 4.3) und angewandten Methoden (Kapitel 4.4) dieser Studie und abschließend werden die Auswertung und statistische Analyse (Kapitel 4.5) beschrieben.

4.1 Probanden

Die Rekrutierung der Probanden für diese klinische Studie erfolgte an der Poliklinik für Kinderzahnheilkunde des Universitätsklinikums Gießen und Marburg am Standort in Gießen (Leitung: Prof. Dr. Norbert Krämer, Schlangenzahl 14, 35392 Gießen) im Zeitraum von August 2022 bis Februar 2023. Die Probanden sowie deren Eltern bzw. Sorgeberechtigten wurden vor Beginn der jährlichen Vorsorgeuntersuchung vollumfassend und kindgerecht über den Ablauf und Zweck der Studie aufgeklärt. Aus der Studie ausgeschlossen wurden Probanden, bei denen keine Einwilligung der Eltern bzw. Sorgeberechtigten vorlag sowie Probanden mit schweren Allgemeinerkrankungen. Zur Durchführung der vorliegenden in-vivo Studie im Rahmen der Kariesdiagnostik wurden 60 Probanden im Alter von 5-14 Jahren mit einem Durchschnittsalter von $9,6 \pm 2,5$ Jahren (Mittelwert \pm Standardabweichung) untersucht. Es ergab sich eine Fallzahl von insgesamt 717 Zähnen, wobei jeder Zahn als „Beobachtung“ gilt. Dies ergibt einen Durchschnitt von 11,95 Seitenzähnen pro Proband. Zur Durchführung der vorliegenden in-vivo Studie im Rahmen der Visualisierung wurden 60 Probanden im Alter von 5-18 mit einem Durchschnittsalter von $10,1 \pm 3,3$ Jahren (Mittelwert \pm Standardabweichung) einbezogen.

4.2 Methodikübersicht

Insgesamt wurden *drei* verschiedene Methoden zur okklusalen Kariesdiagnostik untersucht:

1. Nahinfrarot-Transillumination – DIAGNOcam
2. IOS mit Fluoreszenz-Technologie – Trios 4
3. IOS mit Nahinfrarot-Transillumination – Emerald S

und mit dem Goldstandard der visuellen Inspektion verglichen.

Alle Untersuchungsmethoden fanden im Rahmen der jährlichen Vorsorgeuntersuchung Anwendung. Dabei wurde zunächst die visuelle Inspektion als Referenzmethode durchgeführt, anschließend die etablierte Methode der Kariesdiagnostik mittels DIAGNOcam und darauf folgend die beiden neuen Methoden mittels Intraoralscanner (Trios 4 und Emerald S).

Der Emerald S wurde von der Firma Planmeca zur Verfügung gestellt. Die Firma Planmeca hatte jedoch keinen Einfluss auf das Studiendesign, die Durchführung sowie die Ergebnisse dieser Studie.

Abbildung 4.1 stellt schematisch die angewandte Methodik zur Kariesdiagnostik dar. In der Tabelle 13.1 im Anhang ist zudem die Beschreibung der Auswertung aller verwendeter Untersuchungsmethoden dokumentiert. Die Tabelle 13.2 im Anhang zeigt die verwendeten Softwareversionen der DIAGNOcam, des Trios 4 und des Emerald S.

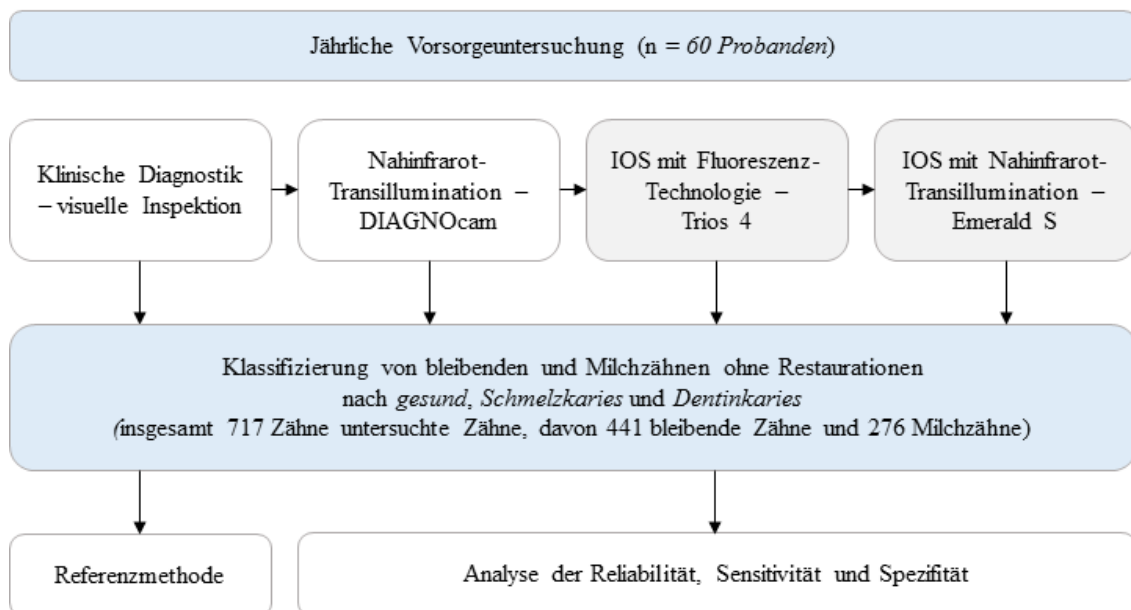


Abbildung 4.1: Darstellung der in der vorliegenden Studie angewandten Methodik zur Kariesdiagnostik.

Im Hinblick auf die Visualisierung wurden die begleitenden Eltern bzw. Sorgeberechtigten von 60 Probanden über die Diagnose und geplante Therapie ihrer Kinder aufgeklärt. Dabei erfolgte die Aufklärung bei der einen Hälfte der Probanden und ihrer sie begleitenden Eltern bzw. Sorgeberechtigten nach der herkömmlichen Methode allein mündlich

und bei der anderen Hälfte anhand der Intraoralscans des Trios 4. Die Eltern bzw. Sorgeberechtigten beider Gruppen wurden danach gebeten, einen Fragebogen auszufüllen, um das Verständnis über den Inhalt des Aufklärungsgesprächs zu überprüfen.

Abbildung 4.2 stellt schematisch die angewandte Methodik zur Visualisierung dar.

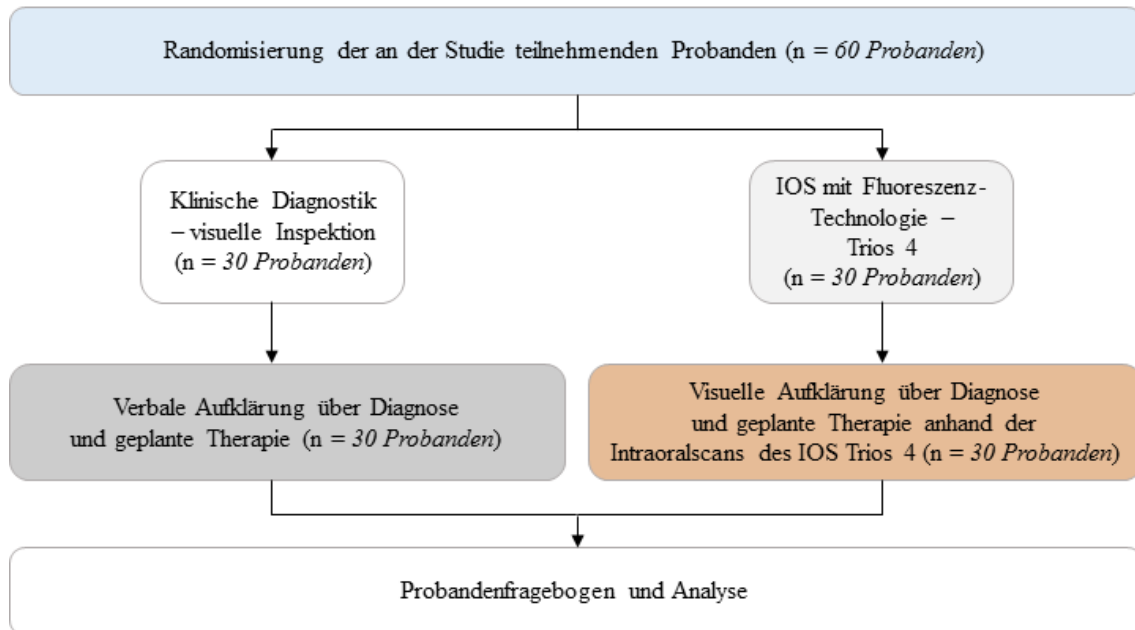


Abbildung 4.2: Darstellung der in der vorliegenden Studie angewandten Methodik zur Visualisierung.

4.2.1 Einverständnis- und Datenschutzerklärung

Die Probanden sowie ihre Eltern bzw. Sorgeberechtigten wurden im Vorfeld ausführlich über den Ablauf der Studie und die Durchführung der Untersuchung informiert und aufgeklärt. Die Einwilligung in die Studienteilnahme war freiwillig. Die Bestätigung sowie die Erklärung für den Datenschutz wurde durch eine Unterschrift des anwesenden Elternteils bzw. Sorgeberechtigten auf dem zur Studie gehörigen Einverständnis- sowie Datenschutzerklärungssbogen bestätigt.

4.2.2 Ethikvotum

Eine Genehmigung der Untersuchung der Probanden lag in Form eines positiven Votums der Ethikkommission des Fachbereiches Medizin der Justus-Liebig-Universität Gießen (AZ 46/20) vor (siehe Anhang 13.3).

Die Studie wurde zudem im Deutschen Register Klinischer Studien registriert (DRKS ID: 00029333).

4.3 Methodik

In dem folgenden Kapitel wird zunächst die Methodik, die im ersten Teil der Untersuchung für die visuelle Inspektion verwendet wurde, beschrieben. Im Anschluss erfolgen die Beurteilung von Strukturanomalien (MIH) sowie die Erklärung für die erweiterte Kariesdiagnostik der DIAGNOcam sowie des IOS Trios 4 (3Shape) und Emerald S (Planmeca). Alle Teile der Untersuchung fanden unter standardisierten Allgemeinbedingungen statt, die in den folgenden Kapiteln erläutert werden.

4.3.1 Visuelle Inspektion

Die Zähne wurden für die visuelle Inspektion zunächst mithilfe eines Luftpüsters getrocknet und im Anschluss bei einer standardisierten Helligkeit von 25.000 Lux, ausgehend von der Untersuchungsleuchte der Dentaleinheit, mit einem Mundspiegel ohne weitere Zuhilfenahme im Sinne von Vergrößerungshilfen begutachtet.

Im Anschluss erfolgte die Erhebung des Zahnstatus. Dabei wurde auf dem Befundungsbogen (siehe Abbildung 4.3) notiert, welche Zähne zum Zeitpunkt der Untersuchung beim Probanden vorhanden waren. Ein besonderes Augenmerk wurde dabei auf die Wechselgebissdiagnostik und die Unterscheidung im Vorliegen von bleibenden Zähnen und Milchzähnen gelegt. Es erfolgte die Dokumentation von fehlenden Zähnen, Versorgungen konservierender oder prothetischer Art, vorliegendem Zahnstein, kariösen Defekten und Läsionen, Strukturanomalien sowie anderweitigen Auffälligkeiten. Falls nötig wurde im Anschluss daran noch die Messung der Zahnfleischtaschen an jeweils zwei Punkten eines Zahnes (mesial und distal) durchgeführt sowie die Lockerungsgrade der Zähne notiert. Zudem wurde bei der Erhebung des Zahnstatus immer die Mundschleimhaut mitbeurteilt und etwaige Auffälligkeiten dokumentiert.

Index	Definition
Index 0	Keine MIH, klinisch gesund
Index 1	MIH ohne Hypersensibilität, ohne Substanzdefekt
Index 2	MIH ohne Hypersensibilität, mit Substanzdefekt
2a	< 1/3 Defektausdehnung
2b	> 1/3 < 2/3 Defektausdehnung
2c	> 2/3 Defektausdehnung Und/oder Defekt pulpanah Oder Extraktion Oder atypische Restauration
Index 3	MIH mit Hypersensibilität, ohne Substanzdefekt
Index 4	MIH mit Hypersensibilität, mit Substanzdefekt
4a	< 1/3 Defektausdehnung
4b	> 1/3 < 2/3 Defektausdehnung
4c	> 2/3 Defektausdehnung Und/oder Defekt pulpanah Oder Extraktion Oder atypische Restauration

Abbildung 4.4: Schematische Darstellung des TNI nach dem Würzburger MIH-Konzept¹⁹.

4.3.2 DIAGNOcam

Auch bei der Diagnostik mit der DIAGNOcam erfolgte zunächst die Trocknung der Zähne mittels Luftpüster. Die Diagnostik fand hier bei Tageslicht ohne Deckenbeleuchtung statt, die Untersuchungsleuchte der Dentaleinheit war währenddessen ausgeschaltet. Die Helligkeitsmessung wurde im Rahmen dessen mit einem Luxmeter (LED Luxmeter HT 309, HT Instruments GmbH, Korschenbroich) durchgeführt und betrug 500 Lux.

Die DIAGNOcam der Firma KaVo (Biberbach) basiert auf der Nahinfrarot-Transillumination, die Kariesdiagnostik ermöglicht (siehe Abbildung 4.5). Die Systemkomponenten bestanden aus dem Handstück mit aufsteckbaren Tips in zwei verschiedenen Größen (small und large) sowie einem USB-C Kabel zur Verbindung mit der Einheit oder dem Computer. Nach dem Verbinden konnte am Computer der Firma Philips (Amsterdam, Niederlande) das dazugehörige Programm geöffnet werden und im Bedienfeld ein neuer Patient angelegt werden. Nach dem Anlegen des Patienten konnte der Aufnahmemodus

durch die Betätigung des Ringschalters am Scankopf gestartet werden. War der Aufnahme-modus gestartet, konnte durch die Betätigung der Bedientaste 1 oder 2 am Handstück der nächste oder vorherige Zahn im Zahnschema ausgewählt und durch die kurze Betätigung des Ringschalters bei nun eingeschaltetem Gerät ein Bild ausgelöst werden. So konnte durch die Bedienung der Schaltpunkte am Handstück in allen relevanten Positionen Standbilder erzeugt werden, bei denen die DIAGNOcam stets über den jeweiligen Zahn gestülpt war. Nach der Beendigung der Aufnahme wurde der Ringschalter einmal lang betätigt, um die Kamera auszuschalten. Die aufgenommenen Bilder wurden dann automatisch auf dem Computer unter dem in dem Moment der Aufnahme ausgewählten Zahn im Zahnschema abgespeichert und konnten zur Diagnostik erneut aufgerufen werden.



Abbildung 4.5: Darstellung der DIAGNOcam.

Da die in der Studie zunächst verwendete DIAGNOcam mit der Softwareversion 2.4.2.6944 nach dem 39. Probanden eine Fehlermeldung aufwies und zur Reparatur geschickt wurde, wurde ab dem 40. Probanden eine neue DIAGNOcam der Version 3.0.1

verwendet. Als Computer kam der Latitude 3430 der Firma Dell (Texas, USA) zum Einsatz. Um die gleiche Reliabilität bestätigen zu können, wurden mit der neuen DIAGNOcam drei Probanden, die bereits zuvor mit der älteren Version der DIAGNOcam gescannt wurden, noch einmal gescannt und wiesen dabei hinsichtlich der Ergebnisse keinerlei Unterschiede auf.

4.3.3 Intraoralscanner

Für die Diagnostik mittels der in der vorliegenden Studie verwendeten IOS (Trios 4 und Emerald S) wurden zunächst die Zähne analog zur Diagnostik mittels der DIAGNOcam getrocknet und anschließend bei Tageslicht ohne Deckenbeleuchtung diagnostiziert. Die Untersuchungsleuchte der Dentaleinheit war während des Scanvorgangs ausgeschaltet. Die Messung der Beleuchtungsstärke erfolgte auch hier im Rahmen dessen mit einem Luxmeter (LED Luxmeter HT 309, HT Instruments GmbH, Korschenbroich) und betrug 500 Lux.

Kariesdiagnostik mittels Fluoreszenz-Technologie (Trios 4)

Zur Untersuchung der Zähne wurde der IOS Trios 4 der Firma 3Shape (Kopenhagen, Dänemark) verwendet, der mithilfe der Fluoreszenz-Technologie die okklusale Kariesdiagnostik ermöglicht (siehe Abbildung 4.6).

Bei dem Scanner der 4. Generation kann die Verwendung des Handstücks sowohl kabellos als auch kabelgebunden erfolgen. Im Falle dieser Studie handelte es sich um ein kabelloses Handstück, das durch den Einsatz von einem der drei wieder aufladbaren Akkus und dem Aufsatz einer Scanspitze vervollständigt wird. Als Computer wurde der Laptop Precision 5540 der Firma Dell (Texas, USA) mit der Software Diagnostic Aid 20.1.4 verwendet. Vor dem Scanvorgang wurde zunächst das selbstständige Erhitzen durch die InstantHeat-Technologie abgewartet und im Anschluss die Scanspitze entsprechend der Herstellervorgaben in den Einstellungen farbkalibriert. Sowohl bei der Kalibrierung als auch beim Scanvorgang wurde stets darauf geachtet, dass der Scanner eine ausreichende Akkuladung aufwies. Im Bedienfeld des 3Shape Programmes wurde dann ein neuer Patient angelegt und im Anschluss die Funktion des Scannens ausgewählt. Der Scanvorgang wurde durch das Betätigen der Handstücktaste gestartet und immer nach derselben Scan-

strategie durchgeführt, bei der zunächst die Okklusalfächen, anschließend die Oralflächen der Zähne und abschließend die Bukkalflächen gescannt werden.¹⁸³ Es entstehen somit bei diesem Scanner nicht wie bei der DIAGNOcam oder dem Emerald S Einzelbilder der Zähne, sondern eine den gesamten Zahnkiefer umfassende Aufnahme. Die Kariesdiagnostikfunktion des Trios 4 beruht auf der Fluoreszenz-Technologie, bei der die Überlagerung des gewonnenen Scans durch die Verrechnung der Scanner-Software mit farblichen Datencodes erfolgt. So werden initiale Kariesläsionen bei der Software gelb und moderate oder umfangreiche Läsionen rot markiert. Bei nicht vollständig erfassten Bereichen weist die weiße Farbe auf die Unvollständigkeit des Datensatzes und die nicht mögliche Nutzung der Kariesdiagnostik hin.



Abbildung 4.6: Darstellung des IOS Trios 4.

Kariesdiagnostik mittels Nahinfrarot-Technologie (Emerald S)

Außerdem wurde der IOS Emerald S der Firma Planmeca (Helsinki, Finnland) verwendet, bei der die Nutzung der Kariesfunktion auf Nahinfrarot-Transillumination beruht (siehe Abbildung 4.7).

Die Komponenten des Emerald S bestanden aus einem Handstück mit verschiedenen Aufsätzen unterschiedlicher Größe zum Scannen sowie zusätzlich einem gesonderten

Aufsatz (*Cariosity-Tip*) für die Kariesdiagnostik und einem USB-C Kabel für die Verbindung mit dem Computer. Als Computer kam der Precision 7550 der Firma Dell (Texas, USA) mit der Planmeca Romexis Software 6.0.1.812 zum Einsatz. Auch hier erfolgten im Bedienfeld des Romexis Programmes zunächst das Anlegen eines neuen Patienten und dann der Start des Scanvorgangs über die Auswahl der Funktion Scan und der Betätigung der oberen Bedientaste am Handstück. Bei diesem Scanner wurde, genauso wie bei der DIAGNOcam, die *Cariosity*-Spitze über den jeweiligen Zahn gestülpt, den es zu untersuchen galt.

Es geschieht die Aufnahme von Einzelbildern der Zähne, bei denen die Anzeige des Farb- und Kariesscans, im Gegensatz zu dem Trios 4, gleichzeitig nebeneinander auf dem Bildschirm erfolgt. Somit soll die Diagnostik durch die Sicht beider Modi parallel zueinander erleichtert werden.

Durch die Nutzung der unteren Bedientasten des Handstücks konnte zwischen verschiedenen Einstellungen des von der Scanspitze ausgehenden Lichtes eingestellt werden. Dieses kann sich von beiden oder auch nur von einer Seite (bukkal oder oral) aktivieren.



Abbildung 4.7: Darstellung des IOS Emerald S.

4.3.4 Probandenfragebogen

Bei 60 Probanden erfolgte im Anschluss an ihre zahnärztliche Untersuchung die Aufklärung der Probanden und ihrer sie begleitenden Eltern bzw. Sorgeberechtigten über die Diagnose und Therapie. Dabei erfolgte die Aufklärung bei der Hälfte der Probanden ($n = 30$) zufällig nach der herkömmlichen Methode allein mündlich und bei der anderen Hälfte ($n = 30$) anhand der Intraoralscans des Trios 4 (siehe Abbildung 4.2). Die Eltern bzw. Sorgeberechtigten beider Gruppen wurden danach gebeten, einen Fragebogen auszufüllen, um das Verständnis über das Aufklärungsgespräch zu überprüfen.

Der Fragebogen wurde entsprechend der Zahnentwicklung der Probanden gewählt, so dass die Eltern bzw. Sorgeberechtigten entweder einen Fragebogen für das Milch-, das Wechsel- oder das bleibende Gebiss erhielten (siehe Anhang 13.4, 13.5 und 13.6). Auf dem Fragebogen wurden die Themen des zahnärztlichen Befundes, der Behandlungsbedürftigkeit, der geplanten Therapie sowie der Mundhygiene des Probanden befragt. Außerdem wurde das Beziehungsverhältnis zwischen der ausfüllenden Person und dem Probanden erfragt, wobei es sich in allen bis auf drei Fällen immer um die Mutter oder den Vater handelte.

Um kontrollieren zu können, ob die Fragen korrekt beantwortet wurden, wurde ein Kontrollfragebogen seitens der Zahnärzte im Anschluss an die Behandlung ausgefüllt (siehe Anhang 13.7). Auf diesem wurde markiert welche Zähne welche Behandlung erhielten oder erhalten werden sowie über welches Themengebiet es einer Aufklärung bedarf. Zur Kontrolle des zahnärztlichen Befundes konnte der Zahnstatus herangezogen werden.

4.4 Methoden

4.4.1 Vorbereitende Maßnahmen

Die okklusale Kariesdiagnostik wurde durch drei kalibrierte Zahnärzte (PD Dr. Nelly Schulz-Weidner, Dr. Constanze Uebereck und Marina Gruber) durchgeführt, welche zuvor eine Einarbeitung in die jeweiligen Untersuchungsmethoden erhielten. Darüber hinaus erfolgte die Einteilung der MIH nach Schweregrade (A, B, C). Geschult und kalibriert wurden die Zahnärzte nach der Untersuchung von sechs Probanden, die nicht mit in die Studie aufgenommen wurden.

Vor jedem Probanden wurden die IOS nach Herstellervorgaben mithilfe des mitgelieferten Kalibrieraufsatzes farbkalibriert.

Zum Anlegen eines Probanden für die DIAGNOcam, den Trios 4 und den Emerald S wurde auf einer separaten Teilnehmerliste die Probanden-ID, das Alter und das Geschlecht eines jeden Probanden notiert.

4.4.2 Auswertung der Zahnflächen

Die Probanden wurden im Rahmen der jährlichen Vorsorgeuntersuchung vorgestellt. Es erfolgte in einem ersten Teil der Untersuchung die visuelle Inspektion unter den im folgenden Kapitel genannten Standardbedingungen. Im Anschluss erfolgte in einem zweiten Teil der Untersuchung die erweiterte Kariesdiagnostik anhand der DIAGNOcam sowie der IOS Trios 4 (3Shape) und Emerald S (Planmeca) (siehe Abbildung 4.1). Auch dieser Teil der Untersuchung fand unter standardisierten Allgemeinbedingungen statt, die in den folgenden Kapiteln erläutert werden.

Für die Kariesdiagnostik der Zahnflächen wurden die Okklusalfächen der einzelnen Zähne zur Standardisierung jeweils in sechs Flächen eingeteilt (siehe Abbildung 4.8):

- *mb*: mesio-bukkal
- *db*: disto-bukkal
- *mz*: mesio-zentral
- *dz*: disto-zentral
- *mo*: mesio-oral
- *do*: disto-oral

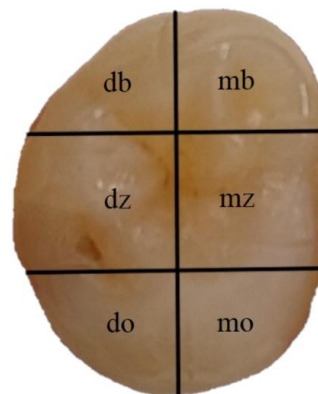


Abbildung 4.8: Darstellung der Zahnflächeneinteilung für die okklusale Kariesdiagnostik.

Dafür wurde die okklusale Zahnfläche in bukko-oraler Richtung geteilt und im rechten Winkel dazu in mesio-distaler Richtung zwei Linien jeweils ober- und unterhalb der Zentralfissur markiert (siehe Abbildung 4.9).

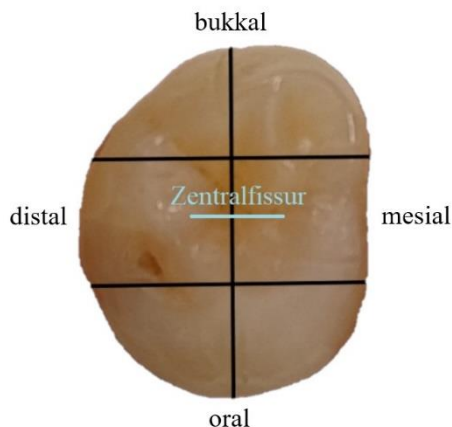


Abbildung 4.9: Darstellung der Zahnflächeneinteilung mit Markierungslinien und Zentralfissur.

4.4.3 Visuelle Inspektion







Kariesdetektion

Die Beurteilung der Flächen erfolgte durch eine geringfügig modifizierte Klassifikation nach *SCHAEFER et al.* Im Original nach *SCHAEFER et al.* wurden kariöse Schmelzläsionen in verschiedene Stadien des Vorgangs unterteilt. Dabei unterschieden sie zwischen den ersten sichtbaren Anzeichen einer kariösen Läsion, einer etablierten kariösen Läsion

sowie lokalisierten Schmelzeinbrüchen und/oder Mikrokavitäten. Als kariöse Dentinläsionen bezeichnet man großflächige Kavitäten sowie freiliegendes Dentin.²¹⁴

Zur besseren Vergleichbarkeit der verschiedenen Diagnostikmethoden wurde für die vorliegende Studie eine neue Bewertungsmethodik, die den Grundsätzen nach *SCHAEFER et al.* entspricht, gewählt. Hierfür wurden die Flächen mit kariösen Schmelzläsionen mit dem Zahlenwert (1) bewertet und Flächen, die eine kariöse Dentinläsionen aufwies, wurde der Zahlenwert (2) zugeteilt. Gesunde Zähne, die keine klinisch detektierbaren kariösen Läsionen aufzeigten, wurden mit dem Zahlenwert (0) gekennzeichnet. In der Tabelle 4.1 ist der Bewertungsmaßstab der visuellen Inspektion dargestellt.²¹⁴

Tabelle 4.1: Bewertung der visuellen Inspektion.

Einteilung nach SCHAEFER et al. ²¹⁴	Beschreibung nach SCHAEFER et al. ²¹⁴	Neuer Bewertungsmaßstab	Visuelle Darstellung
Gesund	Gesunde Zahnhartsubstanz	0	
Kariöse Schmelzläsion (ECL)	Erste Anzeichen einer kariösen Läsion	1	
	Etablierte kariöse Läsion		
	Mikrokavität und/oder lokalisierter Schmelzeinbruch		
Kariöse Dentinläsion (DCL)	Dentinfreilegung	2	
	Großflächige Kavität		

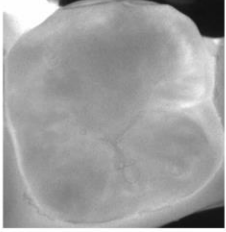
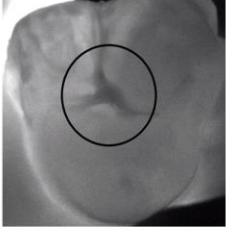

MIH-Detektion

Falls eine Strukturanomalie im Sinne einer Molaren-Inzisiven-Hypomineralisation (MIH) vorlag, erfolgte die Zuordnung des MIH-Treatment-Need-Index (MIH-TNI) nach dem Würzburger MIH-Konzept. Hierfür wurde die Ausdehnung des Defektes bezogen auf die sechs Okklusalfächen am Zahn beurteilt. Die Flächen wurden den Schweregraden A ($<1/3$ Defektausdehnung), B ($>1/3$ bis $>2/3$ Defektausdehnung) und C ($>2/3$ Defektausdehnung und/oder pulpanaher Defekt oder Extraktion oder atypische Restauration) zugeteilt. Dies bedeutet bei Grad A waren 1-2 okklusale Zahnflächen betroffen, Grad B wies 3-4 betroffene Okklusalfächen auf und bei Grad C wurden 5-6 betroffene okklusale Zahnflächen von insgesamt 6 gefunden. Im Kapitel 4.3.1 in Abbildung 4.4 erfolgte eine schematische Darstellung der Einteilung.

4.4.4 Kariesdiagnostik mittels DIAGNOcam

Die Auswertung der Flächen der mithilfe der DIAGNOcam entstandenen Bilder erfolgte gemäß dem neuen Bewertungsmaßstab. Flächen mit kariösen Schmelzläsionen wurden somit mit dem Zahlenwert (1) bewertet und Flächen mit kariösen Dentinläsionen mit dem Zahlenwert (2). Gesunde Flächen, die laut der DIAGNOcam keinerlei kariöse Aktivität aufwiesen, wurden mit dem Zahlenwert (0) beurteilt. Die Einteilung der Kariesdiagnostik mithilfe der DIAGNOcam ist in der Tabelle 4.2 dargestellt.

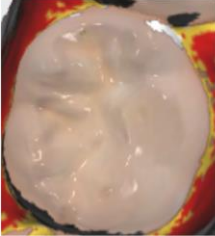

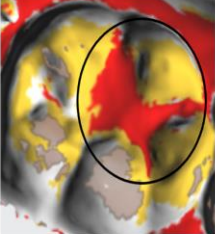
Table 4.2: Bewertung der Kariesdiagnostik mittels DIAGNOcam.

Einteilung	Beschreibung	Neuer Bewertungsmaßstab	Darstellung in der DIAGNOcam
Gesund	Keine transluzenten Spots erkennbar	0	
Kariöse Schmelzläsion	Erste oder etablierte auf den Schmelz beschränkte Läsion, kein transluzentes Dentin erkennbar	1	
Kariöse Dentinläsion	Wenig transluzentes Dentin bis sichtbare Kavität erkennbar	2	

4.4.5 Kariesdiagnostik mittels Trios 4

Auch bei der Kariesdiagnostik mittels Trios 4 wurde der neue Bewertungsmaßstab verwendet. Die Darstellung der kariösen Läsionen durch verschiedene Farben bei diesem Scanner wurde analog angepasst. So stehen die gelben Bereiche für kariöse Schmelzläsionen und werden mit dem Zahlenwert (1) beurteilt und rote Bereiche, die kariöse Dentinläsionen bezeichnen, wurde der Zahlenwert (2) zugeteilt. Gesunde Flächen, die in dem Programm keine Farbe zugeordnet bekommen haben, erhielten den Zahlenwert (0). Eine Übersicht der Kariesdiagnostik mittels Trios 4 bietet die Tabelle 4.3.

Tabelle 4.3: Bewertung der Kariesdiagnostik mittels Trios 4.

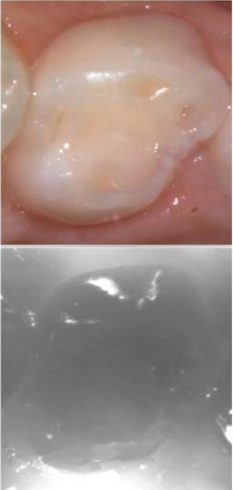
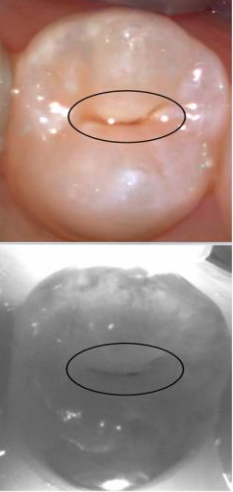

Einteilung/ 3Shape Software	Beschreibung	Neuer Bewertungs- maßstab	Darstellung im Trios 4
Gesund	/	0	
Kariöse Schmelzläsion/ Initialläsion	Gelb	1	
Kariöse Dentinläsion/ moderate bis umfangreiche Läsion	Rot	2	

4.4.6 Kariesdiagnostik mittels Emerald S

Da Planmeca noch keine Einteilung für die Kariesdiagnostik bekannt gegeben hat, wurde die Bewertung durch das Vorliegen eines gleichen Funktionsprinzips und einer ähnlichen Bilddarstellung wie bei der DIAGNOcam, analog zu dieser durchgeführt.

War kein dunkel erscheinendes Dentin erkennbar und die Läsionen rein auf den Schmelz beschränkt, wurden sie mit dem Zahlenwert (1) gekennzeichnet. Wenn hingegen bereits dunkel erscheinendes Dentin oder eine sichtbare Kavität erkennbar war, so erhielten die Läsionen den Zahlenwert (2). Gesunde Bereiche des Zahnes, die keine dunklen Spots aufwiesen, wurde der Zahlenwert (0) zugeteilt. In der Tabelle 4.4 ist die Übersicht der Kariesdiagnostik mittels des Emerald S zu sehen.

Tabelle 4.4: Bewertung der Kariesdiagnostik mittels Emerald S.

Einteilung	Beschreibung	Neuer Bewertungsmaßstab	Darstellung im Planmeca Emerald S
Gesund	Keine transluzenten Spots erkennbar	0	
Kariöse Schmelzläsion	Auf den Schmelz beschränkte Läsion, kein transluzentes Dentin erkennbar	1	
Kariöse Dentinläsion	Wenig transluzentes Dentin bis sichtbare Kavität erkennbar	2	

4.4.7 Visualisierung

Die Visualisierung erfolgte wie im Kapitel 4.2 beschrieben und auf der Abbildung 4.2 zu sehen bei der Hälfte der Probanden ($n = 30$) im Anschluss an die visuelle Inspektion rein mündlich und bei der anderen Hälfte der Probanden ($n = 30$) im Anschluss an die erweiterte Kariesdiagnostik visuell mithilfe der Intraoralscans des Trios 4.

Abbildung 4.10 zeigt ein Beispiel eines Intraoralscans mit dem Trios 4 bei einem 8-Jährigen Probanden mit multiplen kariösen Läsionen. Abbildung 4.11 zeigt ein Beispiel eines Intraoralscans mit dem Trios 4 bei einem 11-Jährigen Probanden mit diagnostizierter MIH an den Zähnen 16 und 26.



Abbildung 4.10: Beispiel eines Intraoralscans (Trios 4) bei einem 8-Jährigen Probanden mit multiplen kariösen Läsionen.



Abbildung 4.11: Beispiel eines Intraoralscans (Trios 4) bei einem 11-Jährigen Probanden mit diagnostizierter MIH an den Zähnen 16 und 26.

4.5 Auswertung und statistische Analyse

Die statistische Auswertung der im Rahmen der Studie erhobenen Daten erfolgte mit Hilfe des Programmes *SPSS Statistics* (Version 29, IBM, Armonk, New York, USA) und *Excel 2016* (Microsoft Excel, Microsoft Corporation, New Mexico, USA). Inhalt der statistischen Analyse waren die erhobenen Daten von 717 Zähnen der insgesamt 60 Probanden sowie die von den Eltern bzw. Sorgeberechtigten ausgefüllten 60 Fragebögen. Das Signifikanzniveau betrug $p < 0,05$.

Die statistische Analyse der Daten erfolgte mit Unterstützung durch Herrn Dr. Johannes Herrmann (Statistikberatung Gießen).

4.5.1 Reliabilität

Für die Übereinstimmungen der verschiedenen Untersuchungsmethoden im Vergleich zur visuellen Inspektion als Referenzmethode wurde *Gwet's AC1* als Reliabilitätsmaß genutzt.⁸⁹ Dabei wurden die Messwerte gesund, Schmelzkaries und Dentinkaries als kategoriale Variable behandelt. Um im nächsten Schritt zwischen einem gesunden und kariösen Zustand sowie einem nicht behandlungsbedürftigen und behandlungsbedürftigen Zustand zu unterscheiden, wurden die Daten gepoolt und in TH1 und TH2 zusammengefasst. Eine nähere Erläuterung erfolgt im Kapitel 5 und mit der Tabelle 5.1.

Die Interpretation der AC1-Werte erfolgte gemäß der international anerkannten *LANDIS* und *KOCH* Empfehlung (siehe Tabelle 4.5).¹⁴² Die individuelle Inter- und Intraraterreliabilitäten wird in aufsteigender Reihenfolge entsprechend des AC1-Wertes angezeigt. Zuerst werden die Untersuchungsmethoden mit schlechten oder geringen AC1-Werten aufgeführt und im Anschluss jene mit ausreichenden und moderaten Reliabilitätswerten. Abschließend werden die Untersuchungsmethoden mit beträchtlicher oder annähernd perfekter Übereinstimmung aufgezeigt. Zur erleichterten Übersichtlichkeit wurden die einzelnen AC1-Werte farblich hinterlegt.

Tabelle 4.5: Interpretation der Kappa-Werte nach *LANDIS* und *KOCH*¹⁴².

Grad der Übereinstimmung	Kappa-Werte
Schlecht	< 0,00
Gering	0,00 – 0,20
Ausreichend	0,21 – 0,40
Moderat	0,41 – 0,60
Beträchtlich	0,61 – 0,80
Annähernd perfekt	0,81 – 1,0

4.5.2 Sensitivität und Spezifität

Um die diagnostische Güte der Kariesdiagnostikmethoden mit der konventionellen visuellen Untersuchungsmethode vergleichen zu können, wurde die Sensitivität und Spezifität berechnet. Als Referenz dienen bei der okklusalen Diagnostik die erhobenen Befunde im Rahmen der visuellen Inspektion. Die Spezifität wurde definiert als die korrekte Erkennung eines gesunden Zahns ohne fragliche Erkrankung. Die Sensitivität dagegen wurde definiert als das korrekte Erkennen einer fraglichen Erkrankung (Karies oder Strukturanomalie) bei einem erkrankten Zahn.

Die Berechnung wird anhand der Vierfeldertafel verdeutlicht (siehe Tabelle 4.6).

Tabelle 4.6: Vierfeldertafel zur Berechnung der Sensitivität und Spezifität, modifiziert nach HELLWIG et al.¹⁰¹.

		Diagnostisches Verfahren	
		Keine Karies oder Strukturanomalie (gesund)	Karies oder Strukturanomalie (krank)
Referenzwert Visuelle Inspektion	Keine Karies oder Strukturanomalie (gesund)	Richtig-Negativ (A)	Falsch-Positiv (B)
	Karies oder Strukturanomalie (krank)	Falsch-Negativ (C)	Richtig-Positiv (D)

Die Sensitivität entspricht dem Prozentwert, der das Verhältnis von richtig positiven Diagnosen an der Gesamtzahl der Erkrankten angibt (Sensitivität = Richtig-positiv (D) / (Richtig-Positiv (D) + Falsch-negativ (C)).^{53, 101, 271}

Die Spezifität entspricht dem Prozentwert, der das Verhältnis von richtig negativen Diagnosen an der Gesamtzahl der Gesunden angibt (Spezifität = Richtig-negativ (A) / (Richtig-negativ (A) + Falsch-positiv (B)).^{53, 101, 271}

Zur besseren Übersicht der Tabellen wurden die Sensitivitäts- und Spezifitätswerte sowie die Werte der *area under curve* (AUC) aufgelistet. Die einzelnen Untersuchungsmethoden sind nach ihren AUC-Werten sowie Sensitivitäts- und Spezifitätswerten aufsteigend sortiert. Der AUC-Wert einer ROC-Kurve (*receiver operating characteristics curve*) ist ein Maß für die Güte eines diagnostischen Tests. Dieser Wert beschreibt die Fläche unter der ROC-Kurve und entspricht der Wahrscheinlichkeit, dass eine erkrankte Person ein besser zutreffendes Testergebnis (positiv) aufweist als ein gesunder Proband. AUC kann dabei Werte zwischen 0,5 und 1 annehmen.⁶

Zusätzlich wurden die Analysen der Sensitivitäts- und Spezifitätswerte mithilfe der ROC-Kurven in den gezeigten Grafiken veranschaulicht. ROC-Kurven werden verwendet, um das Verhältnis zwischen positivem Testergebnis und falsch positivem Ergebnis eines diagnostischen Tests graphisch darstellen zu können.

Ein diagnostischer Test kann sowohl nach *KINGMAN* als auch nach *HAUSEN* ab einer Summe aus Sensitivität und Spezifität von 1,60 als gut bewertet werden, weshalb Summen gleich oder größer 1,60 grün ($\text{Summe} \geq 1,60$) und Summen kleiner als 1,60 gelb ($\text{Summe} < 1,60$) markiert wurden.^{95, 126}

4.5.3 Übereinstimmungen und Abweichungen

Hierbei werden die Übereinstimmungen und Abweichungen der Ergebnisse der einzelnen Kariesdiagnostikmethoden von der Referenzmethode der visuellen Inspektion angezeigt. Die Auflistung der Übereinstimmungen und Abweichungen erfolgt für gesunde Flächen und Flächen mit Schmelz- sowie Dentinkaries separiert.

Analog dazu erfolgte die Berechnung der Ergebnisse der Visualisierung. Die Abweichungen wurden hierbei als eine zur korrekten Antwort unterschiedliche Auskunft auf den Fragebögen bewertet. Wurde die Frage korrekt von den Eltern bzw. Sorgeberechtigten beantwortet, so wurde dies als keine Abweichung definiert.

5 Ergebnisse

Im folgenden Kapitel werden zunächst die Ergebnisse der Kariesdiagnostik für das bleibende Gebiss (Kapitel 5.1) und anschließend die Ergebnisse für das Milchgebiss (Kapitel 5.2) dargestellt. Im Anschluss erfolgt die Darstellung der Ergebnisse der Molaren-Inzisiven-Hypomineralisation (Kapitel 5.3) und der Visualisierung (Kapitel 5.4). Abschließend erfolgt eine Zusammenfassung der Ergebnisse dieser Studie (Kapitel 5.5).

Insgesamt wurden im Rahmen der Kariesdiagnostik 60 Probanden mit einem Durchschnittsalter von 9,6 Jahren in die Studie eingeschlossen. Die durchschnittliche Anzahl an Zähnen lag bei 11,95 pro Proband. Insgesamt wurden somit 717 Zähne untersucht, woraus sich und 4.302 (717 x 6) zu untersuchende okklusale Zahnflächen ergaben. Im Rahmen der Visualisierung wurden 60 Probanden im Alter von 5-17 mit einem Durchschnittsalter von 10,1 Jahren untersucht.

Im Folgenden sind die Ergebnisse der Kariesdiagnostik nach bleibenden Zähnen und Milchzähnen getrennt ausgewertet. Dabei wurde als Referenzmethode der Goldstandard visuelle Inspektion den drei weiteren Diagnostikmethoden DIAGNOcam, Trios 4 und Emerald S gegenübergestellt. Zudem wurden zwei verschiedene Schwellenwerte unterschieden: Threshold I (TH1) enthält die Daten aus gesund versus Karies (gepoolte Daten aus Schmelz- und Dentinkaries) wohingegen Threshold II (TH2) auf die Behandlungsbedürftigkeit eingeht und dabei die gepoolten Daten aus gesund und Schmelzkaries versus Dentinkaries vergleicht (siehe Tabelle 5.1).

Tabelle 5.1: Übersicht der Variablen zur Unterscheidung der Ergebnisse.

Threshold I (TH1)	Gesund versus Karies (gepoolte Daten aus Schmelz- und Dentinkaries)
Threshold II (TH2)	Nicht behandlungsbedürftig (gepoolte Daten aus gesund und Schmelzkaries) versus behandlungsbedürftig (Dentinkaries)

An die Kariesdiagnostik folgen die Ergebnisse der Molaren-Inzisiven-Hypomineralisation. Die Auswertung erfolgte hier analog zur Kariesdiagnostik für bleibendes Gebiss und Milchgebiss getrennt. Auch hier wurde als Referenzmethode der Goldstandard visuelle Inspektion den drei weiteren Diagnostikmethoden DIAGNOcam, Trios 4 und Emerald S gegenübergestellt.

Abschließend folgen die Ergebnisse der Visualisierung. Die Auswertung erfolgte für alle Probanden gemeinsam und es erfolgte der Vergleich zwischen den Ergebnissen des rein mündlichen Aufklärungsgesprächs zu den Ergebnissen des visuellen Aufklärungsgesprächs anhand der Bilder des Intraoralscans des Trios 4.

5.1 Kariesdiagnostik – bleibendes Gebiss

In der vorliegenden Untersuchung wurden 441 bleibende Zähne analysiert. Es ergaben sich 2.646 (441 x 6) zu untersuchende Zahnflächen. Mit allen vier Untersuchungsmethoden wurden 10.445 Flächen analysiert und bewertet. Die minimale Abweichung von 139 Flächen von dem rechnerisch korrekten Wert von 10.584 (2.646 x 4) ergibt sich durch das in-vivo Studiendesign. Nicht immer war es möglich mit allen vier Untersuchungsmethoden alle beim Probanden vorliegenden Zahnflächen zu untersuchen. Die Flächen unterteilen sich auf 8.503 gesunde Flächen, 1.345 Flächen mit Schmelzkaries sowie 597 Flächen mit Dentinkaries. In den folgenden Kreuztabellen zeigt die Horizontale den Referenzwert der visuellen Inspektion und die Vertikale die untersuchte Diagnostikmethode. Zur besseren Übersicht sind die Flächen, an denen die jeweilige Untersuchungsmethode mit der Referenzmethode übereinstimmt, in den folgenden Tabellen hervorgehoben.

5.1.1 Vergleich zur Referenzmethode visuelle Inspektion

Nahinfrarot-Transillumination – DIAGNOcam

Die DIAGNOcam konnte gute Ergebnisse hinsichtlich der Übereinstimmung der Diagnostik von gesunden Zahnflächen von 85,01 % (n = 2070) im Vergleich zur Referenzmethode erzielen. Auch bei Flächen mit Dentinkaries konnte die DIAGNOcam eine gute Übereinstimmung von 72,39 % (n = 97) zur visuellen Inspektion aufweisen. Hingegen geringere Werte von 54,55 % (n = 42) wurden bei der Erkennung von Flächen mit Schmelzkaries erzielt (siehe Tabelle 5.2).

Tabelle 5.2: Vergleich der mit der Nahinfrarot-Transillumination (DIAGNOcam) und visuellen Inspektion (Referenzmethode) diagnostizierten Flächen (n = 2646) bei der Kariesdiagnostik im bleibenden Gebiss.

		Nahinfrarot-Transillumination – DIAGNOcam				
		Gesund	Schmelz- karies	Dentin- karies	Nicht beurteilbar	n
Visuelle Inspek- tion	Gesund	2070	240	53	72	2435
	Schmelzkaries	2	42	9	24	77
	Dentinkaries	10	27	97	0	134
	N	2082	309	159	96	2646

Fluoreszenz-Technologie – Trios 4

Der IOS Trios 4 zeichnet sich durch eine hohe Übereinstimmung mit der Referenzmethode bei der Erkennung von Flächen mit Schmelzkaries von 85,71 % (n = 66) aus. Zudem erzielte er gute Ergebnisse bei der Detektion der gesunden Flächen von 76,51 % (n = 1863). Von den Flächen mit Dentinkaries wurden 64,18 % (n = 86) im Vergleich zur Referenzmethode erkannt (siehe Tabelle 5.3).

Tabelle 5.3: Vergleich der mit der Fluoreszenz-Technologie (Trios 4) und visuellen Inspektion (Referenzmethode) diagnostizierten Flächen (n = 2646) bei der Kariesdiagnostik im bleibenden Gebiss.

		Fluoreszenz-Technologie – Trios 4				
		Gesund	Schmelz- karies	Dentin- karies	Nicht beurteilbar	n
Visuelle Inspek- tion	Gesund	1863	520	52	0	2435
	Schmelzkaries	6	66	5	0	77
	Dentinkaries	15	33	86	0	134
	N	1884	619	143	0	2646

Nahinfrarot-Transillumination – Emerald S

Der IOS Emerald S zeigte insgesamt die besten Ergebnisse hinsichtlich der Übereinstimmungen mit der visuellen Inspektion als Referenzmethode. Bei der Detektion von gesunden Flächen wurden 85,79 % (n = 2089) erreicht. Zudem wurden 79,22 % (n = 61) der Flächen mit Schmelzkaries und 75,37 % (n = 101) der Flächen mit Dentinkaries als solche erkannt.

Tabelle 5.4: Vergleich der mit der Nahinfrarot-Transillumination (Emerald S) und visuellen Inspektion (Referenzmethode) diagnostizierten Flächen (n = 2646) bei der Kariesdiagnostik im bleibenden Gebiss.

		Nahinfrarot-Transillumination – Emerald S				
		Gesund	Schmelzkaries	Dentinkaries	Nicht beurteilbar	n
Visuelle Inspektion	Gesund	2089	264	49	33	2435
	Schmelzkaries	5	61	11	0	77
	Dentinkaries	8	15	101	10	134
	N	2102	340	161	43	2646

5.1.2 Reliabilität

Zur Bewertung der Übereinstimmungen zwischen der visuellen Inspektion als Referenzmethode mit der jeweiligen Untersuchungsmethode, wurden die Zahnflächen im bleibenden Gebiss mit den *Gwet's AC1*-Werten als Reliabilitätswerte berechnet (siehe Tabelle 5.5). Die Auswertung und Interpretation der einzelnen Werte erfolgte entsprechend der Einteilung nach *LANDIS* und *KOCH*, die bereits unter dem Kapitel 4.51 (siehe Tabelle 4.5) beschrieben wurde.¹⁴²

Tabelle 5.5: Darstellung der *Gwet's ACI* - Werte der verschiedenen Untersuchungsmethoden zur Kariesdiagnostik im bleibenden Gebiss.

Untersuchungsmethode	Reliabilität		Standardfehler	Signifikanzniveau (p-Wert)	95 % - Konfidenzintervall
	<i>Gwet's ACI</i> -Wert	Interpretation von <i>Gwet's ACI</i> ¹⁴²			
Trios 4	0,680	Beträchtlich	0,014	< 0,001	0,653-0,707
Emerald S	0,837	Annähernd perfekt	0,009	< 0,001	0,818-0,855
DIAGNOcam	0,846	Annähernd perfekt	0,009	< 0,001	0,828-0,864

Bei der Reliabilität der Kariesdiagnostik an bleibenden Zähnen wurde zwischen der visuellen Inspektion und dem IOS Trios 4 eine beträchtliche Übereinstimmung ($AC1 = 0,680$) nachgewiesen. Der IOS Emerald S ($AC1 = 0,837$) zeigte eine annähernd perfekte Übereinstimmung mit den Referenzwerten der visuellen Inspektion auf. Die DIAGNOcam konnte die höchsten Werte und ebenfalls wie der IOS Emerald S eine annähernd perfekte Übereinstimmung ($AC1 = 0,846$) erzielen.

Alle Untersuchungsmethoden zeigten eine Signifikanz von $p < 0,001$, wodurch die Übereinstimmung mit *Gwet's ACI* statistisch signifikant ist.

5.1.3 Sensitivität und Spezifität

Die Tabelle 5.6 zeigt die Ergebnisse für Sensitivität und Spezifität sowie für die *area under curve* (AUC) bei den TH1 Werten (gesund versus Karies (gepoolte Daten aus Schmelz- und Dentinkaries)) der Zahnflächen im bleibenden Gebiss. In der Tabelle 5.7 sind die Ergebnisse für Sensitivität und Spezifität sowie für die AUC bei den TH2 Werten (gepoolte Daten aus gesund und Schmelzkaries versus Dentinkaries) gelistet. Eine Erläuterung der Ergebnisdarstellung erfolgte bereits im Kapitel 4.52 (siehe Tabelle 4.6).

TH1 – Gesund versus Karies (gepoolte Daten aus Schmelz- und Dentinkaries)

Table 5.6: Sensitivität und Spezifität sowie *area under the curve* (AUC) der TH1 Daten der Untersuchungsmethoden zur Kariesdiagnostik im bleibenden Gebiss.

Untersuchungsmethode	Sensitivität	Spezifität	Sensitivität + Spezifität	AUC
Trios 4	0,887	0,765	1,652	0,826
Emerald S	0,938	0,872	1,810	0,905
DIAGNOcam	0,938	0,876	1,814	0,907

Der IOS Trios 4 erreichte in allen Bereichen die niedrigsten Werte. Die Sensitivität betrug hierbei 0,887, die Spezifität 0,765, die Summe aus Sensitivität und Spezifität 1,652 und der AUC-Wert 0,826. Die insgesamt zweithöchsten und nur knapp unter der DIAGNOcam liegenden Werte konnte der IOS Emerald S erzielen. Die Sensitivität zeigte einen Wert von 0,938, die Spezifität 0,872, die Summe aus Sensitivität und Spezifität 1,810 und der AUC-Wert betrug 0,905. Die DIAGNOcam erreichte die höchste Sensitivität (0,938), die höchste Spezifität (0,876), die höchste Summe aus Sensitivität und Spezifität (1,814) sowie den höchsten AUC-Wert (0,907).

In der Abbildung 5.1 sind die einzelnen Untersuchungsmethoden mit den jeweiligen ROC-Kurven dargestellt. Es zeigt sich, dass die DIAGNOcam und der IOS Emerald S annähernd gleiche Ergebnisse erzielten, weshalb sich der Kurvenverlauf annähernd kongruent zeigt, während die Ergebnisse des IOS Trios 4 geringfügig darunterliegen.

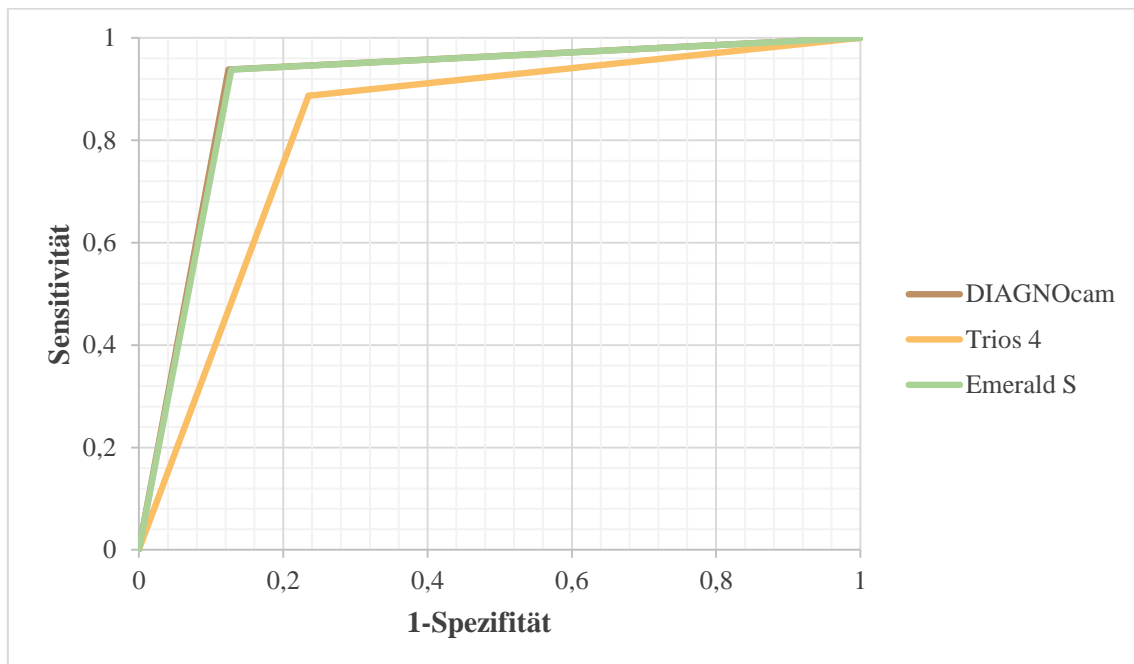


Abbildung 5.1: Darstellung der *receiver operating characteristics* (ROC) Kurvenanalyse der TH1 Daten der verschiedenen Untersuchungsmethoden zur Kariesdiagnostik im bleibenden Gebiss.

TH2 – Nicht behandlungsbedürftig (gepoolte Daten aus gesund und Schmelzkaries) versus behandlungsbedürftig (Dentinkaries)

Tabelle 5.7: Sensitivität und Spezifität sowie *area under the curve* (AUC) der TH2 Daten der Untersuchungsmethoden zur Kariesdiagnostik im bleibenden Gebiss.

Unter- suchungs- methode	Sensitivität	Spezifität	Sensitivität + Spezifität	AUC
Trios 4	0,655	0,977	1,632	0,816
Emerald S	0,810	0,976	1,786	0,893
DIAGNOcam	0,836	0,974	1,810	0,905

Hervorzuheben sind bei der Untersuchung der Behandlungsbedürftigkeit vor allem die Spezifitätswerte der Untersuchungsmethoden. Es gelangen allen drei Methoden nahezu perfekte Werte in der korrekten Erkennung einer Dentinkaries im Vergleich zur visuellen Inspektion als Referenzmethode. Der IOS Trios 4 erreichte wie auch bei TH1 den niedrigsten Sensitivitätswert (0,655), die niedrigste Summe aus Sensitivität und Spezifität (1,632) sowie den niedrigsten AUC-Wert (0,816). Der Spezifitätswert zeigte jedoch für den Trios 4 den höchsten Wert (0,977). Der IOS Emerald S zeigt ebenfalls wie bei TH1 in allen Bereichen den Mittelwert. Die Sensitivität betrug 0,810, die Spezifität 0,976, die Summe aus Sensitivität und Spezifität 1,786 und der AUC-Wert 0,893. Wie bei TH1 erreicht auch bei TH2 die DIAGNOcam die insgesamt höchsten Werte. Sie erzielte die höchste Sensitivität (0,836), die höchste Summe aus Sensitivität und Spezifität (1,81) und den höchsten AUC-Wert (0,905), dafür jedoch die vergleichsweise niedrigste Spezifität (0,974).

In der Abbildung 5.2 sind die jeweiligen ROC-Kurven der einzelnen Untersuchungsmethoden dargestellt. Es zeigt sich, dass alle drei Methoden sehr ähnliche Spezifitätswerte zeigen. Die DIAGNOcam und der IOS Emerald S zeigen zudem ähnliche Sensitivitätswerte, während die des IOS Trios 4 geringfügig darunterliegen.

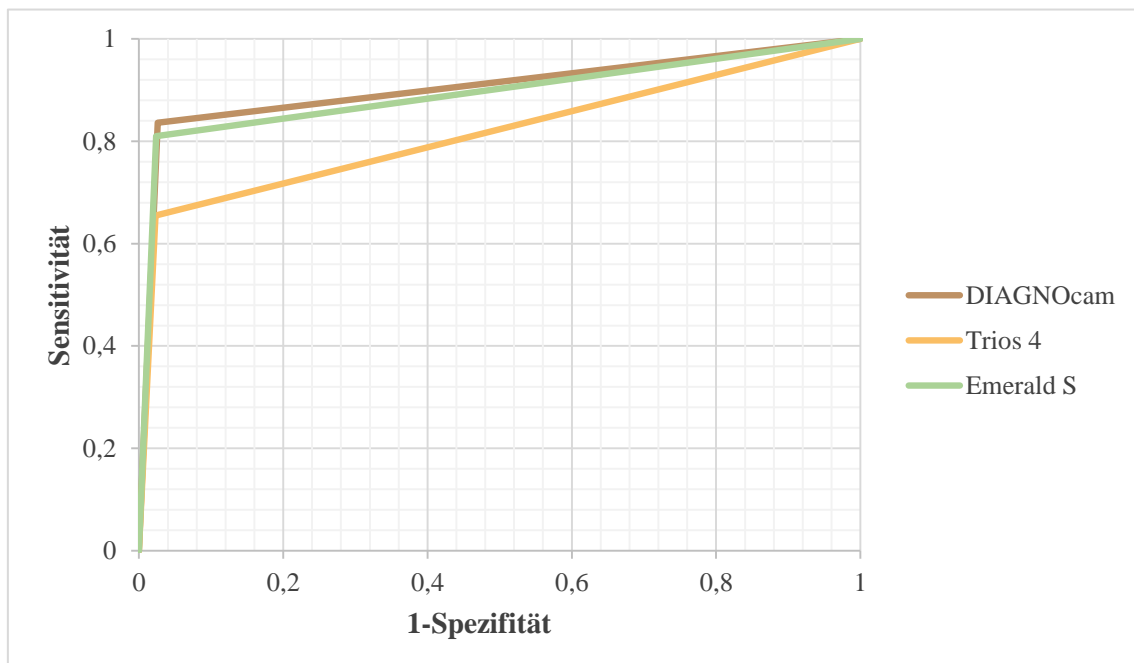


Abbildung 5.2: Darstellung der *receiver operating characteristics* (ROC) Kurvenanalyse der TH2 Daten der verschiedenen Untersuchungsmethoden zur Kariesdiagnostik im bleibenden Gebiss.

5.1.4 Übereinstimmungen und Abweichungen

Die Tabelle 5.8 stellt die prozentualen Übereinstimmungen sowie die prozentualen Abweichungen der einzelnen Untersuchungsmethoden bei der Erkennung der Karies im bleibenden Gebiss von der Referenzmethode der visuellen Inspektion dar.

Die DIAGNOcam zeigt sehr gute Übereinstimmungen bei der Erkennung der gesunden Zahnflächen (85 %) sowie bei der Erkennung der Flächen mit Dentinkaries (72 %). Die größten Abweichungen zeigt sie bei der Erkennung der Flächen mit Schmelzkaries (45 %). Der IOS Trios 4 erzielt schlechtere Übereinstimmungen bei der Erkennung der gesunden Flächen (77 %) und den Flächen mit Dentinkaries (64 %). Dafür erzielt er jedoch die höchste Übereinstimmung bei der Erkennung der Flächen mit Schmelzkaries (86 %). Die Werte des IOS Emerald S zeigen sich bei den Übereinstimmungen an den gesunden Zahnflächen (86 %) und den Flächen mit Dentinkaries (75 %) ähnlich zu den Ergebnissen der DIAGNOcam. Bei der Erkennung der Flächen mit Schmelzkaries erzielte der Emerald S jedoch eine deutlich höhere Übereinstimmung (75 %) und zeigt damit insgesamt die höchsten Übereinstimmungen.

Tabelle 5.8: Übereinstimmungen [%] und Abweichungen [%] aller Untersuchungsmethoden von der visuellen Inspektion im bleibenden Gebiss.

Untersuchungsmethode	Gruppe		Übereinstimmung [%]	Abweichung [%]	N
DIAGNOcam	gesund	(0)	85	15	2435
	Schmelzkaries	(1)	55	45	77
	Dentinkaries	(2)	72	28	134
Trios 4	gesund	(0)	77	23	2435
	Schmelzkaries	(1)	86	14	77
	Dentinkaries	(2)	64	36	134
Emerald S	gesund	(0)	86	14	2435
	Schmelzkaries	(1)	79	21	77
	Dentinkaries	(2)	75	25	134

5.2 Kariesdiagnostik – Milchgebiss

In der vorliegenden Untersuchung wurden 276 Milchzähne analysiert. Es ergaben sich 1.656 (276 x 6) zu untersuchende Zahnflächen. Mit allen vier Untersuchungsmethoden wurden 6.486 Flächen analysiert. Auch an dieser Stelle soll auf die geringfügige Abweichung von 138 Flächen von dem rechnerisch korrekten Wert von 6.624 (1.656 x 4) hingewiesen werden, der sich durch das in-vivo Studiendesign ergibt. Die Flächen unterteilen sich auf 4.997 gesunde Flächen, 799 Flächen mit Schmelzkaries sowie 690 Flächen mit Dentinkaries. In den folgenden Kreuztabellen zeigt die Horizontale den Referenzwert der visuellen Inspektion und die Vertikale die untersuchte Diagnostikmethode. Zur besseren Übersicht sind die Flächen, an denen die jeweilige Untersuchungsmethode mit der Referenzmethode übereinstimmen, in den folgenden Tabellen hervorgehoben.

5.2.1 Vergleich zur Referenzmethode visuelle Inspektion

Nahinfrarot-Transillumination – DIAGNOcam

Anhand der Diagnostik durch die Nahinfrarot-Transillumination mit der DIAGNOcam zeigte sich an gesunden Zahnflächen eine Übereinstimmung von 81,55 % (n = 1140) mit der Referenzmethode. An Flächen mit Dentinkaries zeigt sich eine Übereinstimmung von 74,13 % (n = 149), während sich an Flächen mit Schmelzkaries eine deutliche schlechtere Übereinstimmung von 43,86 % (n = 25) zur visuellen Inspektion zeigt (siehe Tabelle 5.9).

Tabelle 5.9: Vergleich der mit der Nahinfrarot-Transillumination (DIAGNOcam) und visuellen Inspektion (Referenzmethode) diagnostizierten Flächen (n = 1656) bei der Kariesdiagnostik im Milchgebiss.

		Nahinfrarot-Transillumination – DIAGNOcam				
		Gesund	Schmelzkaries	Dentinkaries	Nicht beurteilbar	n
Visuelle Inspektion	Gesund	1140	166	0	92	1398
	Schmelzkaries	5	25	0	27	57
	Dentinkaries	9	24	149	19	201
	n	1154	215	149	138	1656

Fluoreszenz-Technologie – Trios 4

Der IOS Trios 4 zeigte eine ähnlich hohe Übereinstimmung wie die DIAGNOcam mit der Referenzmethode bei gesunden Zahnflächen von 81,33 % (n = 1137) aus. Zudem erzielte er gute Ergebnisse bei der Detektion der Flächen mit Dentinkaries von 77,61 % (n = 156). Auch der Trios 4 zeigt schlechtere Übereinstimmungen bei der Detektion von Flächen mit Schmelzkaries und erzielte einen Wert von 54,39 % (n = 31) im Vergleich zur visuellen Inspektion (siehe Tabelle 5.10).

Tabelle 5.10: Vergleich der mit der Fluoreszenz-Technologie (Trios 4) und visuellen Inspektion (Referenzmethode) diagnostizierten Flächen (n = 1656) bei der Kariesdiagnostik im Milchgebiss.

		Fluoreszenz-Technologie – Trios 4				
		Gesund	Schmelz- karies	Dentin- karies	Nicht beurteilbar	n
Visuelle Inspek- tion	Gesund	1137	261	0	0	1398
	Schmelzkaries	26	31	0	0	57
	Dentinkaries	25	20	156	0	201
	n	1188	312	156	0	1656

Nahinfrarot-Transillumination –Emerald S

Auch bei der Kariesdiagnostik im Milchgebiss zeigte der IOS Emerald S die besten Ergebnisse hinsichtlich der Übereinstimmungen mit der visuellen Inspektion als Referenzmethode. Bei der Detektion von gesunden Zahnflächen wurde eine Übereinstimmung von 87,98 % (n = 1230) erzielt. An Flächen mit Schmelzkaries zeigte sich eine Übereinstimmung von 82,46 % (n = 47) mit der Referenzmethode. Den in der gesamten Untersuchung höchsten Wert der Übereinstimmung bei der Kariesdiagnostik wurde vom Emerald S bei der Detektion der Dentinkaries im Vergleich zur visuellen Inspektion erzielt. Der Wert beträgt hierbei 91,54 % (n = 184) (siehe Tabelle 5.11).

Tabelle 5.11: Vergleich der mit der Nahinfrarot-Transillumination (Emerald S) und visuellen Inspektion (Referenzmethode) diagnostizierten Flächen (n = 1656) bei der Kariesdiagnostik im Milchgebiss.

		Nahinfrarot-Transillumination – Emerald S				
		Gesund	Schmelz- karies	Dentin- karies	Nicht beurteilbar	n
Visuelle Inspek- tion	Gesund	1230	168	0	0	1398
	Schmelzkaries	10	47	0	0	57
	Dentinkaries	17	0	184	0	201
	n	1257	215	184	0	1656

5.2.2 Reliabilität

Zur Bewertung der Übereinstimmungen der visuellen Inspektion als Referenzmethode mit der jeweiligen Untersuchungsmethode, wurden die Zahnflächen im Milchgebiss mit den *Gwet's ACI*-Werten als Reliabilitätswerte berechnet (siehe Tabelle 5.12). Die Auswertung und Interpretation der einzelnen Werte erfolgte entsprechend der Einteilung nach *LANDIS* und *KOCH*, die bereits unter dem Kapitel 4.51 (siehe Tabelle 4.5) beschrieben wurde.¹⁴²

Tabelle 5.12: Darstellung der *Gwet's ACI* - Werte der verschiedenen Untersuchungsmethoden zur Kariesdiagnostik im Milchgebiss.

Untersuchungsmethode	Reliabilität		Standardfehler	Signifikanzniveau (p-Wert)	95 % - Konfidenzintervall
	<i>Gwet's ACI</i> -Wert	Interpretation von <i>Gwet's ACI</i> ¹⁴²			
Trios 4	0,714	Beträchtlich	0,017	< 0,001	0,681-0,746
Emerald S	0,827	Annähernd perfekt	0,013	< 0,001	0,802-0,852
DIAGNOcam	0,829	Annähernd perfekt	0,013	< 0,001	0,803-0,855

Bei der Reliabilität der Kariesdiagnostik an Milchzähnen konnte zwischen der visuellen Inspektion und dem IOS Trios 4 ($AC1 = 0,714$) eine beträchtliche Übereinstimmung nachgewiesen werden. Der IOS Emerald S ($AC1 = 0,827$) zeigte eine annähernd perfekte Übereinstimmung mit den Referenzwerten der visuellen Inspektion auf. Auch die DIAGNOcam ($AC1 = 0,829$) konnte als Untersuchungsmethode eine annähernd perfekte Übereinstimmung zur Referenzmethode erzielen.

Alle Untersuchungsmethoden zeigten eine Signifikanz von $p < 0,001$, wodurch die Übereinstimmung mit *Gwet's ACI* statistisch signifikant ist.

5.2.3 Sensitivität und Spezifität

Die Tabelle 5.13 zeigt die Ergebnisse für Sensitivität und Spezifität sowie für die *area under curve* (AUC) bei den TH1 Werten (gesund versus Karies (gepoolte Daten aus Schmelz- und Dentinkaries)) der Zahnflächen im Milchgebiss. In der Tabelle 5.14 sind die Ergebnisse für Sensitivität, Spezifität sowie für die AUC bei den TH2 Werten (gepoolte Daten aus gesund und Schmelzkaries versus Dentinkaries) gelistet. Eine Erläuterung der Ergebnisdarstellung erfolgte bereits im Kapitel 4.52 (siehe Tabelle 4.6).

TH1 – Gesund versus Karies (gepoolte Daten aus Schmelz- und Dentinkaries)

Tabelle 5.13: Sensitivität und Spezifität sowie area under the curve (AUC) der TH1 Daten der Untersuchungsmethoden zur Kariesdiagnostik im Milchgebiss.

Unter- suchungs- methode	Sensitivität	Spezifität	Sensitivität + Spezifität	AUC
Trios 4	0,840	0,804	1,644	0,822
Emerald S	0,925	0,876	1,801	0,900
DIAGNOcam	0,934	0,873	1,807	0,903

Der IOS Trios 4 erreichte einen Sensitivitätswert von 0,840, einen Spezifitätswert von 0,804, eine Summe aus Sensitivität und Spezifität von 1,644 und einen AUC-Wert von 0,822 und erzielte somit in allen Bereichen die niedrigsten Werte. Der IOS Emerald S zeigte sowohl bei der Sensitivität (0,925) und Spezifität (0,876), als auch bei der Summe der Sensitivität und Spezifität (1,801) und dem AUC-Wert (0,900) der DIAGNOcam ähnlich hohe Werte. Die DIAGNOcam konnte den höchsten Sensitivitätswert (0,934), die höchste Summe der Sensitivität und Spezifität (1,807) sowie den höchsten AUC-Wert (0,903) erzielen. Der Spezifitätswert (0,873) der DIAGNOcam stellt das zweithöchste Ergebnis dar.

In der Abbildung 5.3 sind die einzelnen Untersuchungsmethoden mit den jeweiligen ROC-Kurven dargestellt. Die DIAGNOcam und der IOS Emerald S zeigen sehr ähnliche Ergebnisse, weshalb sich ein fast kongruenter Kurvenverlauf ergibt, während die Ergebniskurve des IOS Trios 4 geringfügig darunter verläuft.

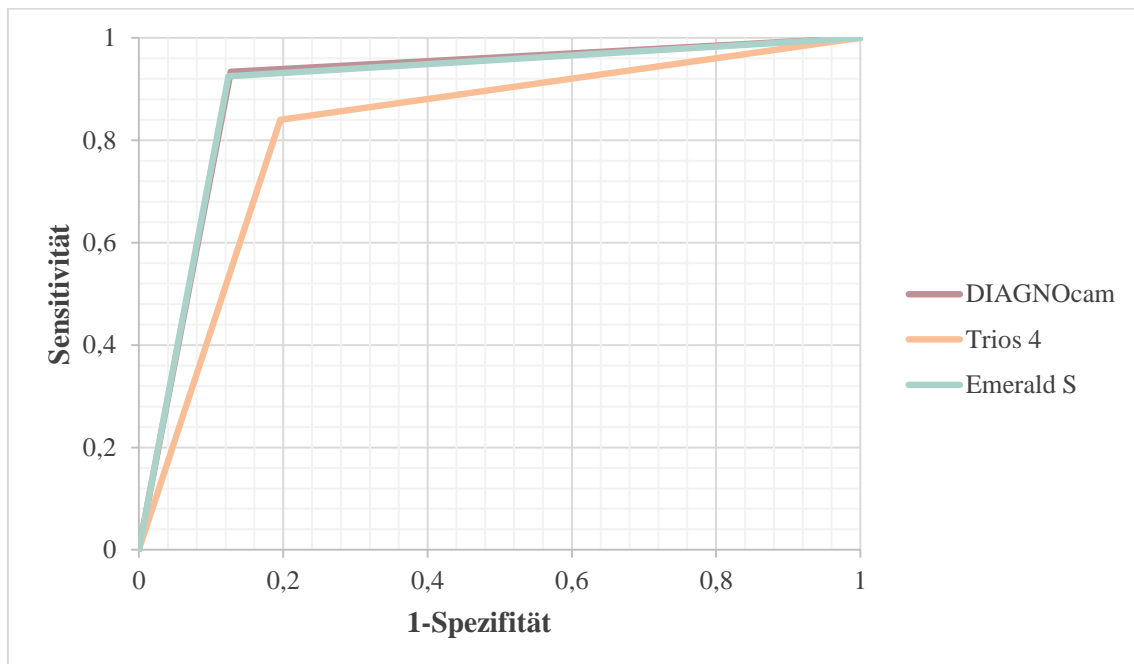


Abbildung 5.3: Darstellung der receiver operating characteristics (ROC) Kurvenanalyse der TH1 Daten der verschiedenen Untersuchungsmethoden zur Kariesdiagnostik im Milchgebiss.

TH2 – Nicht behandlungsbedürftig (gepoolte Daten aus gesund und Schmelzkaries) versus behandlungsbedürftig (Dentinkaries)

Tabelle 5.14: Sensitivität und Spezifität sowie area under the curve (AUC) der TH2 Daten der Untersuchungsmethoden zur Kariesdiagnostik im Milchgebiss.

Unter- suchungs- methode	Sensitivität	Spezifität	Sensitivität + Spezifität	AUC
Trios 4	0,589	0,980	1,569	0,784
DIAGNOcam	0,691	0,979	1,670	0,835
Emerald S	0,737	0,976	1,713	0,857

Der IOS Trios 4 erzielte bis auf den höchsten Wert bei der Spezifität (0,980) die niedrigsten Werte. Die Sensitivität liegt bei 0,589 und der AUC-Wert liegt bei 0,784. Die Summe

aus Sensitivität und Spezifität liegt bei 1,569 und ist somit der einzige Ergebniswert dieser Studie, der die von sowohl *KINGMAN* als auch *HAUSEN* definierte Grenze von 1,60 nicht erreichen kann.^{95, 126} Die *DIAGNOcam* erreichte mit dem Sensitivitätswert (0,691), dem Spezifitätswert (0,979), der Summe aus Sensitivität und Spezifität (1,670) sowie dem AUC-Wert (0,835) in allen Bereichen den zweithöchsten Ergebniswert. Der *IOS Emerald S* zeigt in allen Kategorien bis auf die Spezifität (0,976) die höchsten Ergebniswerte. Die Sensitivität liegt bei 0,737, die Summe aus Sensitivität und Spezifität bei 1,713 und der AUC-Wert bei 0,857.

In der Abbildung 5.4 sind die jeweiligen ROC-Kurven der einzelnen Untersuchungsmethoden dargestellt. Auch hier zeigen alle drei Untersuchungsmethoden ähnliche Spezifitätswerte. Die *DIAGNOcam* und der *IOS Emerald S* zeigen zudem ähnliche Sensitivitätswerte, während die des *IOS Trios 4* geringfügig darunterliegen.

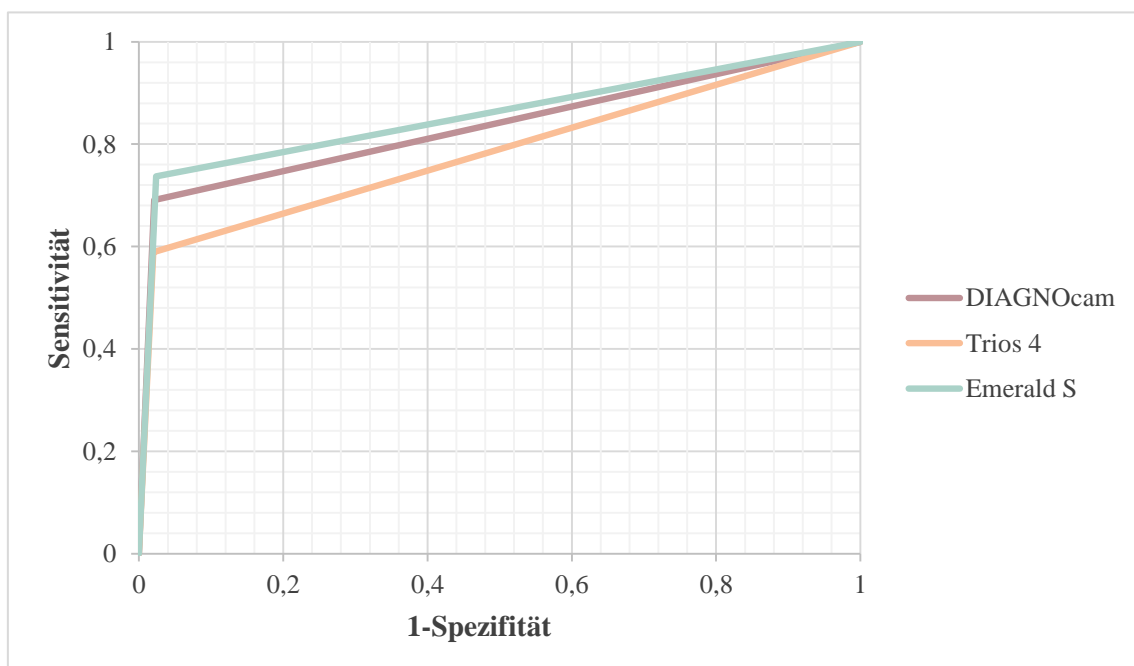


Abbildung 5.4: Darstellung der *receiver operating characteristics* (ROC) Kurvenanalyse der TH2 Daten der verschiedenen Untersuchungsmethoden zur Kariesdiagnostik im Milchgebiss.

5.2.4 Übereinstimmungen und Abweichungen

Die Tabelle 5.15 stellt die prozentualen Übereinstimmungen sowie die prozentualen Abweichungen der einzelnen Untersuchungsmethoden bei der Erkennung der Karies im Milchgebiss von der Referenzmethode der visuellen Inspektion dar.

Die DIAGNOcam zeigt sehr gute Übereinstimmungen bei der Erkennung der gesunden Zahnflächen (82 %) sowie bei der Erkennung der Flächen mit Dentinkaries (74 %). Die größten Abweichungen zeigt sie bei der Erkennung der Flächen mit Schmelzkaries (56 %). Der IOS Trios 4 erzielt ebenfalls gute Übereinstimmungen bei der Erkennung der gesunden Flächen (81 %) und den Flächen mit Dentinkaries (78 %). Auch der Trios 4 zeigt die größte Abweichung bei der Erkennung der Flächen mit Schmelzkaries (46 %). Die Werte des IOS Emerald S zeigen die größten Übereinstimmungen. Er erzielt an den gesunden Zahnflächen eine Übereinstimmung von 88 %, an den Flächen mit Schmelzkaries von 82 % und an den Flächen mit Dentinkaries von 92 %.

Tabelle 5.15: Übereinstimmungen [%] und Abweichungen [%] aller Untersuchungsmethoden von der visuellen Inspektion im Milchgebiss.

Untersuchungsmethode	Gruppe		Übereinstimmung [%]	Abweichung [%]	N
DIAGNOcam	gesund	(0)	82	18	1398
	Schmelzkaries	(1)	44	56	57
	Dentinkaries	(2)	74	26	201
Trios 4	gesund	(0)	81	19	1398
	Schmelzkaries	(1)	54	46	57
	Dentinkaries	(2)	78	22	201
Emerald S	gesund	(0)	88	12	1398
	Schmelzkaries	(1)	82	18	57
	Dentinkaries	(2)	92	8	201

5.3 Molaren-Inzisiven-Hypomineralisation

Bei der Untersuchung der Kariesdiagnostik konnten als Nebenbefunde Zähne mit MIH diagnostiziert werden. Um diese als falsch-positive Ergebnisse in der Kariesdiagnostik auszuschließen, wurde die Befundung in die Studie mit aufgenommen und die Ergebnisse im Folgenden getrennt für das bleibende Gebiss und das Milchgebiss dargestellt.

5.3.1 Vergleich zur Referenzmethode visuelle Inspektion – bleibendes Gebiss

In der vorliegenden Untersuchung wurden 441 bleibende Zähne analysiert, von denen 25 Zähne eine MIH aufwiesen. Die Anzahl von 25 Zähnen mit MIH-Befund teilt sich auf 8 von insgesamt 60 Probanden auf. Es waren somit durchschnittlich 5,67 % der bleibenden Zähne von MIH betroffen und 13,33 % der Probanden.

Unterteilt in die einzelnen Zahnflächen wurden insgesamt 2.646 (441 x 6) Zahnflächen untersucht, von denen 67 Flächen eine MIH verschiedenen Schweregrades aufwiesen (vgl. n-Werte der visuellen Inspektion in der Tabelle 5.16, 5.17 und 5.18). Dies ergibt eine Prävalenz von 2,53 % der Zahnflächen.

Mit allen vier Untersuchungsmethoden wurden 10.584 (2.646 x 4) Flächen analysiert und bewertet. Die Flächen unterteilen sich auf 10.275 gesunde Flächen, 55 Flächen mit Grad A, 181 Flächen mit Grad B und 73 Flächen mit Grad C. Eine Erläuterung der Gradeinteilung erfolgte in Kapitel 4.3.1 und wird in Abbildung 4.4 ersichtlich.

Die niedrigen Fallzahlen der MIH ergaben keinen Anlass zur weiteren statistischen Auswertung, weshalb im Folgenden nur die Kreuztabellen der verschiedenen Diagnostikmethoden aufgeführt werden. In den folgenden Kreuztabellen zeigt die Horizontale den Referenzwert der visuellen Inspektion und die Vertikale die untersuchte Diagnostikmethode. Zur besseren Übersicht sind die Flächen, an denen die jeweilige Untersuchungsmethode mit der Referenzmethode übereinstimmen, in den folgenden Tabellen hervorgehoben.

Nahinfrarot-Transillumination – DIAGNOcam

Die DIAGNOcam konnte eine fast perfekte Übereinstimmung bei der Erkennung von gesunden Zahnflächen von 99,15 % (n = 2557) im Vergleich zur Referenzmethode erzielen. Bei der Erkennung von Flächen, die mit einem Grad A bei der visuellen Inspektion gekennzeichnet wurden, erkannte die DIAGNOcam nur 26,92 % (n = 7). Flächen, die mit

einem Grad B gekennzeichnet wurden, konnten eine Übereinstimmung von 65,85 % (n = 27) erzielen. Laut visueller Inspektion hatte sich bei den Zähnen keine Fläche mit Grad C gefunden. Die DIAGNOcam allerdings beurteilte 17 Flächen mit Grad C. Damit erzielte die DIAGNOcam insgesamt die besten Ergebnisse hinsichtlich der Übereinstimmung mit der visuellen Inspektion als Referenzmethode (siehe Tabelle 5.16).

Tabelle 5.16: Vergleich der mit der Nahinfrarot-Transillumination (DIAGNOcam) und visuellen Inspektion (Referenzmethode) diagnostizierten Flächen (n = 2646) bei der Diagnostik von MIH im bleibenden Gebiss.

		Nahinfrarot-Transillumination – DIAGNOcam				
		Gesund	Grad A	Grad B	Grad C	n
Visuelle Inspek- tion	Gesund	2557	3	16	3	2579
	Grad A	8	7	11	0	26
	Grad B	0	0	27	14	41
	Grad C	0	0	0	0	0
	n	2565	10	54	17	2646

Fluoreszenz-Technologie – Trios 4

Der IOS Trios 4 zeichnet sich durch eine hohe Übereinstimmung mit der Referenzmethode bei der Erkennung von gesunden Zahnflächen von 98,99 % (n = 2553) aus. Bei der Übereinstimmung der Erkennung von MIH mit den verschiedenen Graden im Vergleich zur Referenzmethode, konnte der IOS Trios 4 nur schlechte Ergebnisse erzielen. Bei der Detektion von Flächen mit Grad A erzielte er ein Ergebnis von 15,38 % (n = 4). Von den Flächen mit Grad B wurden 39,02 % (n = 16) im Vergleich zur Referenzmethode erkannt. Bei Flächen mit Grad C erkannte der Trios 4, genauso wie die DIAGNOcam, Flächen als solche (n = 28), obwohl die visuelle Inspektion keine Flächen mit Grad C diagnostizierte (siehe Tabelle 5.17).

Tabelle 5.17: Vergleich der mit der Fluoreszenz-Technologie (Trios 4) und visuellen Inspektion (Referenzmethode) diagnostizierten Flächen (n = 2646) bei der Diagnostik von MIH im bleibenden Gebiss.

		Nahinfrarot-Transillumination – Trios 4				
		Gesund	Grad A	Grad B	Grad C	n
Visuelle Inspek- tion	Gesund	2553	4	15	7	2579
	Grad A	13	4	9	0	26
	Grad B	4	0	16	21	41
	Grad C	0	0	0	0	0
	n	2570	8	40	28	2646

Nahinfrarot-Transillumination – Emerald S

Der IOS Emerald S konnte 98,95 % (n = 2552) der gesunden Zahnflächen im Vergleich zur Referenzmethode korrekt detektieren. Bei der Erkennung von Flächen mit Grad A, erkannte er 26,92 % (n = 7). Flächen mit Grad B wurden zu 43,9 % (n = 18) im Vergleich zur Referenzmethode erkannt. Auch der IOS Emerald S erkannte, obwohl die visuelle Inspektion als Referenzmethode einen Wert von 0 Flächen vorgab, 28 Flächen mit Grad C.

Tabelle 5.18: Vergleich der mit der Nahinfrarot-Transillumination (Emerald S) und visuellen Inspektion (Referenzmethode) diagnostizierten Flächen (n = 2646) bei der Diagnostik von MIH im bleibenden Gebiss.

		Nahinfrarot-Transillumination – Emerald S				
		Gesund	Grad A	Grad B	Grad C	n
Visuelle Inspek- tion	Gesund	2552	4	16	7	2579
	Grad A	7	7	12	0	26
	Grad B	2	0	18	21	41
	Grad C	0	0	0	0	0
	n	2561	11	46	28	2646

5.3.2 Vergleich zur Referenzmethode visuelle Inspektion – Milchgebiss

In der vorliegenden Untersuchung wurden 276 Milchzähne analysiert, von denen 4 Zähne eine MIH aufwiesen. Die Anzahl von 4 Zähnen mit MIH-Befund teilt sich auf 2 von insgesamt 60 Probanden auf. Es waren somit durchschnittlich 1,45 % der Milchzähne von MIH betroffen und 3,33 % der Probanden.

Unterteilt in die einzelnen Zahnflächen wurden insgesamt 1.656 (276 x 6) Zahnflächen untersucht, von denen 25 Flächen eine MIH verschiedenen Schweregrades aufwiesen (vgl. n-Werte der visuellen Inspektion in der Tabelle 5.16, 5.17 und 5.18). Dies ergibt eine Prävalenz von 1,51 % der Zahnflächen.

Mit allen vier Untersuchungsmethoden wurden 6.624 (1.656 x 4) Flächen analysiert. Die Flächen unterteilen sich auf 6.530 gesunde Flächen, 5 Flächen mit Grad A, 29 Flächen mit Grad B und 60 Flächen mit Grad C.

Die niedrigen Fallzahlen der MIH ergaben keinen Anlass zur weiteren statistischen Auswertung, weshalb im Folgenden nur die Kreuztabellen der verschiedenen Diagnostikmethoden aufgeführt werden. In den folgenden Kreuztabellen zeigt die Horizontale den Referenzwert der visuellen Inspektion und die Vertikale die untersuchte Diagnostikmethode. Zur besseren Übersicht sind die Flächen, an denen die jeweilige Untersuchungsmethode mit der Referenzmethode übereinstimmen, in den folgenden Tabellen hervorgehoben.

Nahinfrarot-Transillumination – DIAGNOcam

Anhand der Diagnostik der Nahinfrarot-Transillumination mit der DIAGNOcam zeigte sich an gesunden Zahnflächen eine Übereinstimmung von 99,94 % (n = 1630) mit der Referenzmethode. Nur eine einzige Fläche konnte nicht als gesund erkannt werden. An Zahnflächen mit Grad A, markierte die DIAGNOcam zwei Flächen als solche, obwohl die Referenzmethode nur eine Fläche vorgab. Laut visueller Inspektion hatte sich bei den Zähnen keine Fläche mit dem Grad B gefunden. Die DIAGNOcam allerdings beurteilte 7 Flächen mit Grad B. Bei Flächen mit Grad C konnte die DIAGNOcam eine Übereinstimmung von 50 % (n = 12) mit der Referenzmethode erzielen (siehe Tabelle 5.22).

Tabelle 5.19: Vergleich der mit der Nahinfrarot-Transillumination (DIAGNOcam) und visuellen Inspektion (Referenzmethode) diagnostizierten Flächen (n = 1656) bei der Diagnostik von MIH im Milchgebiss.

		Nahinfrarot-Transillumination – DIAGNOcam				
		Gesund	Grad A	Grad B	Grad C	n
Visuelle Inspek- tion	Gesund	1630	1	0	0	1631
	Grad A	0	1	0	0	1
	Grad B	0	0	0	0	0
	Grad C	5	0	7	12	24
	n	1635	2	7	12	1656

Fluoreszenz-Technologie – Trios 4

Der IOS Trios 4 zeigt eine ähnlich hohe Übereinstimmung wie die DIAGNOcam mit der Referenzmethode bei gesunden Zahnflächen von 99,88 % (n = 1629). Bei der Detektion von Zahnflächen mit Grad A erzielte er eine Übereinstimmung von 100 % (n = 0). Bei Flächen mit Grad B hingegen, detektierte der Trios 4, genauso wie die DIAGNOcam, Flächen als solche (n = 11), obwohl die visuelle Inspektion keine Flächen mit Grad B diagnostizierte. Bei Flächen mit Grad C wurde eine Übereinstimmung von 50 % (n = 12) mit der Referenzmethode erzielt (siehe Tabelle 5.23).

Tabelle 5.20: Vergleich der mit der Fluoreszenz-Technologie (Trios 4) und visuellen Inspektion (Referenzmethode) diagnostizierten Flächen (n = 1656) bei der Diagnostik von MIH im Milchgebiss.

		Nahinfrarot-Transillumination – Trios 4				
		Gesund	Grad A	Grad B	Grad C	n
Visuelle Inspek- tion	Gesund	1629	0	2	0	1631
	Grad A	0	0	1	0	1
	Grad B	0	0	0	0	0
	Grad C	4	0	8	12	24
	n	1633	0	11	12	1656

Nahinfrarot-Transillumination – Emerald S

Der IOS Emerald S konnte bei der Detektion von gesunden Zahnflächen eine Übereinstimmung von 99,75 % (n = 1627) mit der Referenzmethode erzielen. An Zahnflächen mit Grad A, markierte der Emerald S, genauso wie die DIAGNOcam, zwei Flächen als solche, obwohl die Referenzmethode nur eine Fläche vorgab. Bei Grad B erkannte der Emerald S genauso wie alle Diagnostikmethoden zuvor Flächen als solche (n = 11), obwohl diese nicht als Grad B bei der visuellen Inspektion beurteilt wurden. Flächen mit Grad C wurden zu 50 % (n = 12) im Vergleich zur Referenzmethode erkannt (siehe Tabelle 5.24).

Tabelle 5.21: Vergleich der mit der Nahinfrarot-Transillumination (Emerald S) und visuellen Inspektion (Referenzmethode) diagnostizierten Flächen (n = 1656) bei der Diagnostik von MIH im Milchgebiss.

		Nahinfrarot-Transillumination – Emerald S				
		Gesund	Grad A	Grad B	Grad C	n
Visuelle Inspek- tion	Gesund	1627	2	2	0	1631
	Grad A	0	0	1	0	1
	Grad B	0	0	0	0	0
	Grad C	4	0	8	12	24
	n	1631	2	11	12	1656

5.4 Visualisierung

In der vorliegenden Studie wurden 60 Fragebögen (siehe Anhang 13.4, 13.5 und 13.6) analysiert, die von den Eltern bzw. Sorgeberechtigten der Probanden beantwortet wurden. Die Hälfte der Eltern bzw. Sorgeberechtigten ($n = 30$) füllte den Fragebogen im Rahmen der zahnärztlichen Vorsorgeuntersuchung aus und erhielt die Aufklärung über Diagnose und Therapieplanung somit nur mündlich, während die andere Hälfte ($n = 30$) den Fragebogen nach visueller Unterstützung anhand der Bilder des Intraoralscans des IOS Trios 4 aufgeklärt wurde (vgl. Kapitel 4.2 und Abbildung 4.2). Die Werte der Visualisierung wurden anders als bei der Kariesdiagnostik und der Diagnostik der MIH nicht getrennt nach bleibenden Zähnen und Milchzähnen erhoben, sondern für alle Probanden gemeinsam ausgewertet.

Die folgende Tabelle 5.16 stellt die Ergebnisse der Fragebögen dar. In der Abbildung 5.5 sind die Ergebnisse noch einmal in einem Boxplot-Diagramm veranschaulicht.

Tabelle 5.22: N-Werte, Mittelwerte und Standardabweichungen der beantworteten Fragebögen.

	N	Mittelwert	Standardabweichung	Signifikanzniveau (p-Wert)
Visuelle Inspektion	30	3,43	1,073	0,000
IOS Trios 4	30	5,13	1,042	0,000

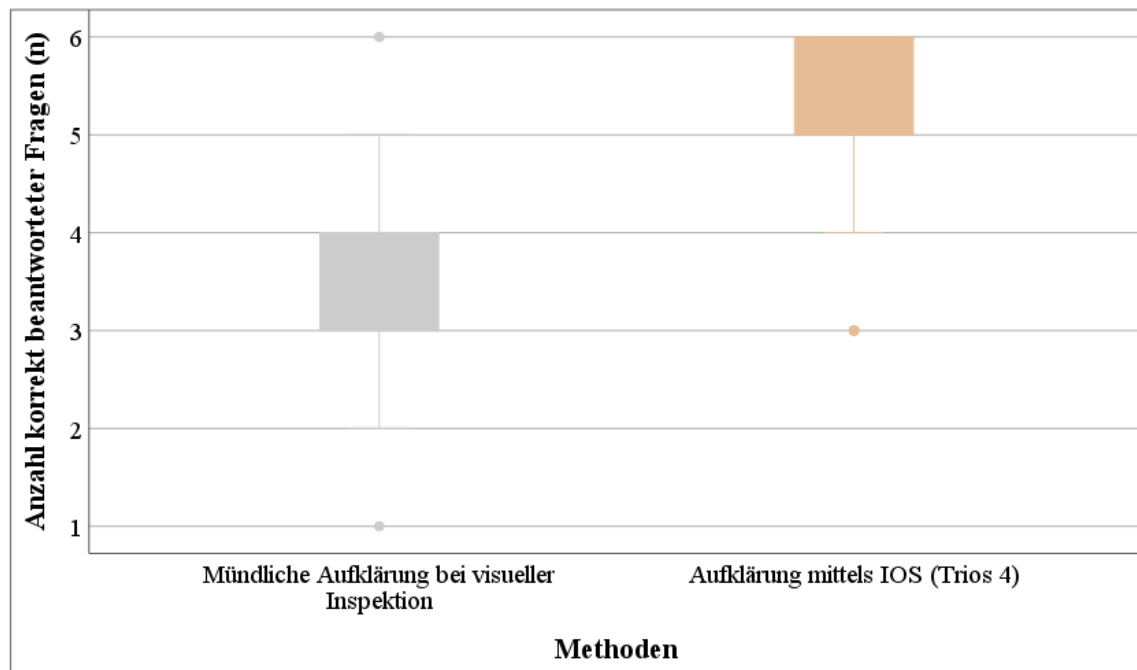


Abbildung 5.5: Boxplot-Diagramm der Ergebnisse der Fragebögen.

Die Gruppe der Eltern bzw. Sorgeberechtigten ($n = 30$), welche unter Zuhilfenahme des IOS Trios 4 über die Diagnose und Therapieplanung aufgeklärt wurden, zeigte mit $5,13 \pm 1,042$ (Mittelwert \pm Standardabweichung) korrekten Antworten ein signifikant höheres Verständnis von der Mundsituation ihrer Kinder als die Gruppe der Eltern bzw. Sorgeberechtigten ($n = 30$), welche im Rahmen der visuellen Inspektion rein mündlich ohne weitere Hilfsmittel aufgeklärt wurde ($3,43$ Mittelwert $\pm 1,073$ Standardabweichung).

5.5 Zusammenfassung der Ergebnisse

In der vorliegenden in-vivo Studie konnte gezeigt werden, dass bei der okklusalen Kariesdiagnostik sowohl die beiden Intraoralscanner (IOS) als auch die DIAGNOcam eine hohe Reliabilität mit der visuellen Inspektion als Goldstandard und Referenzmethode aufweisen konnten. Grundsätzlich zeigen beide Untersuchungsmethoden IOS Emerald S und DIAGNOcam, die beide auf der Nahinfrarot-Transillumination beruhen, im bleibenden Gebiss eine höhere Reliabilität als im Milchgebiss, während der IOS Trios 4, der auf der Fluoreszenz-Technologie basiert, im Milchgebiss eine höhere Reliabilität erzielt. Die DIAGNOcam zeigt in beiden Gebissen die besten Ergebnisse, dicht gefolgt vom IOS Emerald S, während sich die Ergebnisse des IOS Trios 4 eindeutig unterlegen präsentieren. Damit muss die erste Nullhypothese abgelehnt werden. Die Abbildung 5.6 zeigt eine Übersicht der Reliabilität aller Untersuchungsmethoden.

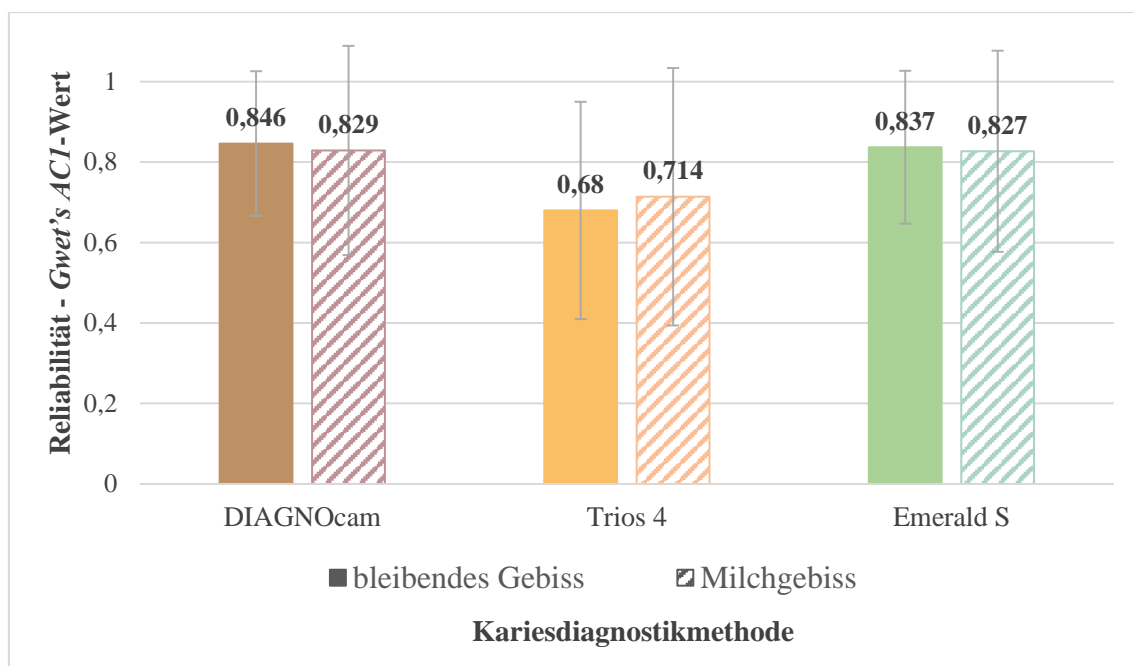


Abbildung 5.6: Schematische Darstellung der Reliabilität mit Konfidenzintervallen der einzelnen Untersuchungsmethoden im bleibenden Gebiss und Milchgebiss.

In Bezug auf die Molaren-Inzisiven-Hypomineralisation (MIH) zeigen die drei Untersuchungsmethoden unterschiedliche Ergebnisse hinsichtlich der Erkennung. In beiden Gebissen zeigt die DIAGNOcam die geringsten Abweichungen im Vergleich zur visuellen Inspektion und ist somit den Ergebnissen dieser Studie zufolge am besten zur Erkennung

von MIH geeignet. Somit muss auch die zweite Nullhypothese abgelehnt werden. Insgesamt lässt sich jedoch sagen, dass die sich aus dieser vorliegenden Studie ergebende Datenmenge zu gering ist, um die Möglichkeit der Erkennung von MIH durch IOS beurteilen zu können. Die Validierung dieser Möglichkeit bedarf weiterer Studien.

Hinsichtlich der Visualisierung konnte ein signifikanter Unterschied zwischen den Aufklärungsarten festgestellt werden. Die Gruppe der Eltern bzw. Sorgeberechtigten, die mittels der Intraoralscans des IOS Trios 4 visuell über Diagnose und geplante Therapie aufgeklärt wurde, konnte im Durchschnitt 1,7 Fragen mehr korrekt beantworten, als die Gruppe der Eltern bzw. Sorgeberechtigten, die rein mündlich im Rahmen der visuellen Inspektion aufgeklärt wurde. Damit muss auch die dritte Nullhypothese abgelehnt werden.

6 Diskussion

Im folgenden Kapitel wird zunächst die angewandte Methodik (Kapitel 6.1) dieser Studie diskutiert. Im Anschluss erfolgt die Diskussion der Ergebnisse (Kapitel 6.2) und abschließend die Schlussfolgerung dieses Kapitels und ein Ausblick (Kapitel 6.3).

6.1 Methodikdiskussion

Im Folgenden sollen zunächst die Probandenauswahl und das Studiendesign (Kapitel 6.1.1) kritisch betrachtet werden. Danach werden die in der Studie verwendeten Geräte (Kapitel 6.1.2) und im Anschluss die Studiendurchführung (Kapitel 6.1.3) diskutiert.

6.1.1 Probanden und Studiendesign

Obwohl sich die Kariesprävalenz in Deutschland seit den 1980er Jahren zunehmend rückläufig zeigt und heute 81,3 % der 12-jährigen Kinder kariesfrei sind, stellt die Karies nach wie vor eine der häufigsten Erkrankungen unserer Gesellschaft dar und bringt durch die Veränderung des Erscheinungsbildes (*hidden caries*, vgl. Kapitel 3.4) neue Anforderungen an die Diagnostik der Läsionen.^{94, 119, 170, 263}

Grundsätzlich können bei in-vivo Studien realitätsnähere Ergebnisse erzielt werden, während in-vitro Studien den Vorteil der standardisierten, reproduzierbaren Bedingungen bieten. Auch lässt sich bei Laborstudien die Histologie als Validierung der Ergebnisse nutzen, was bei klinischen Studien nicht genutzt werden kann. Bei allen in-vivo-Studien, die als Referenzstandard die röntgenologische Bildgebung heranziehen, muss strengstens das ALADA-Prinzip (vgl. Kapitel 3.4.2) berücksichtigt werden, um die möglichen Schäden der Strahlenexposition so gering wie möglich zu halten.^{31, 33, 185, 233} Anders als bei in-vitro-Studien, bei denen die Proben allein zu Studienzwecken der Strahlenbelastung ausgesetzt werden können. In klinischen Studien jedoch wird, wenn die Anamnese, das klinische Bild und die bisherige Kariesprävalenz des Patienten unauffällig sind, keine röntgenologische Diagnostik erfolgen. Ebenso wird, wenn klinisch eine Dentinläsion, die zwangsläufig einer invasiven Therapie bedarf, detektierbar ist, keine röntgenologische Bildgebung erfolgen. Da wie im Kapitel 3.4.2 bereits erläutert, die okklusale Karies erst

ab einem D3 Stadium, also einer Dentinkaries detektierbar ist, entfiel in dieser Studie die Wahl der radiologischen Kariesdiagnostik als Diagnostikmethode.

6.1.2 Auswahl der verwendeten Intraoralscanner

Zurzeit gibt es auf dem Dentalmarkt nur drei IOS, die die Kariesfunktion integriert haben: Trios 4 (3Shape), Emerald S (Planmeca), iTero Element 5D (Align Technology).

In einer vorausgegangenen Studie nach *SCHLENZ et al.* wurden 64 extrahierte Zähne mit den drei eben genannten, zur Kariesdiagnostik befähigten IOS untersucht und die Ergebnisse mit den Untersuchungen der herkömmlichen Methoden (visuelle Untersuchung, Bissflügelradiographie, DIAGNOcam) verglichen. Dabei konnte der iTero Element 5D sowohl die geringste Reliabilität als auch die geringsten Sensitivitäts- und Spezifitätswerte erzielen, weshalb dieser Intraoralscanner in der vorliegenden Studie keine Anwendung gefunden hat.²¹⁸

Angesichts der Zeit, die die IOS mit integrierter Kariesdiagnostik bisher auf dem Dentalmarkt erhältlich sind, ist die Studienlage gering, weshalb die Kariesdiagnostik in IOS Inhalt zukünftiger Studien sein sollte, um die Datenlage zu erweitern.

Aktuell gibt es sechs Studien (*METZGER et al.*, *MICHOU et al.*, *NTOVAS et al.*, *SCHLENZ et al.*), die eine ähnliche Methodik und Ergebnisse aufzeigen und deshalb zur Diskussion berechtigen, wobei nur zwei der genannten Studien in-vivo durchgeführt wurden.^{173, 175-177, 186, 218}

Bei der Studie von *METZGER et al.* wurde die Erkennung von Approximalkaries zwischen Nahinfrarot-Lichtreflexion (NILR) und Bissflügelradiographie eruiert. Dabei konnte die NILR bei der Erkennung von frühen Schmelzläsionen bessere Sensitivitäts- und Spezifitätswerte erzielen, während sich die Werte bei Beteiligung der Schmelz-Dentin-Grenze nur noch wenig unterschieden.¹⁷³

Die Studie von *MICHOU et al.* hatte das Ziel auf Grundlage von zuvor veröffentlichten Forschungsarbeiten zur fluoreszenzbasierten Karieserkennung ein automatisches Kariesbewertungssystem zu entwickeln, das sich mit den herkömmlichen Kariesdiagnostikmethoden vergleichen lässt. Hierzu wurde ein Prototyp hergestellt, beruhend auf dem Trios 3, der mit 3D-Fluoreszenzbildgebung als Scanner dienen sollte. Dabei bediente sich der Prototyp einer speziell entwickelten Software, die nicht im Handel erhältlich ist.^{175, 176}

Der Prototyp wurde dann mit der visuell-taktilen Diagnostik (ICDAS) und Bissflügelaufnahmen verglichen. Dabei konnte der IOS im Vergleich zur visuell-taktilen Diagnostik bessere Sensitivitäts- und Spezifitätswerte erzielen.¹⁷⁵

In der Folgestudie von *MICHOU et al.* sollten die Ergebnisse erneut in-vivo verifiziert werden. Der IOS zeigte in dieser Studie geringfügig schlechtere Sensitivitätswerte bei Schmelz- und Dentinläsionen im Vergleich zur visuellen Diagnostik, konnte aber dafür höhere Spezifitätswerte erreichen.¹⁷⁶

In der aktuellsten Studie von *MICHOU et al.* wurde als zusätzliche Vergleichsmethode die DIAGNOcam herangezogen. Der IOS konnte bei äußerer Schmelz- und innerer Dentinkaries die besten Sensitivitätswerte erzielen. Bei der inneren Schmelz- und äußeren Dentinkariesdiagnostik erzielten der IOS und die DIAGNOcam vergleichbare Sensitivitätswerte. Bei den Spezifitätswerten zeigen sich vor allem im äußersten Schmelzbereich sowohl beim IOS als auch bei der DIAGNOcam Abweichungen von den restlichen Untersuchungsmethoden.¹⁷⁷

NTOVAS et al. untersuchten die diagnostische Karieserkennungsleistung des Trios 4 und verglichen diese mit der Leistung der visuellen Diagnostik nach ICDAS. Die Kariesläsionen wurden hierbei in anfängliche sowie mäßig-extensive unterschieden. Für beide Diagnostikmethoden ergaben sich bei den anfänglichen Kariesläsionen diagnostische Genauigkeiten von ausreichend bis gut und bei den fortgeschritteneren Kariesläsionen gute bis ausgezeichnete Werte.¹⁸⁶

In der Studie von *SCHLENZ et al.* wurden extrahierte Zähne aus dem bleibenden Gebiss sowie aus dem Milchgebiss mit allem zum derzeitigen Zeitpunkt zur Kariesdiagnostik befähigten IOS untersucht und mit etablierten Kariesdiagnostikmethoden (klinische Diagnostik, radiologische Diagnostik, DIAGNOcam) sowie der Mikro-Computertomographie (μ -CT) als Referenzmethode verglichen. Der IOS Emerald S konnte dabei an Zähnen des bleibenden Gebisses teilweise bessere Ergebnisse erzielen als der Goldstandard, während im Milchgebiss der IOS Trios 4 bessere Ergebnisse erzielen konnte als die anderen IOS. Schlussfolgernd ließ sich aus dieser Studie ableiten, dass die IOS als sinnvolle Ergänzungsfunktion bei der Kariesdiagnostik genutzt werden können.²¹⁸

6.1.3 Studiendurchführung

Anzahl der Untersucher

In Anbetracht des hohen Maßes an Subjektivität bei der Beurteilung der verschiedenen Diagnostikmethoden und dem Einfluss der Berufserfahrung der einzelnen Prüfer spielt die Kalibrierung eine überaus große Rolle, um signifikante Diskrepanzen in den Ergebnissen zu vermeiden. Mehrere Studien zeigten bei vorherigem theoretischem und praktischem Training im Sinne einer Kalibrierung teilweise hervorragende Übereinstimmungen bei der Diagnostik mit verschiedenen Methoden.^{131, 154, 166, 190, 238}

Umgebungsbeleuchtung

Die Beleuchtung während des Scanvorgangs kann einen Einfluss auf die Fehlerlosigkeit des Scanvorgangs haben. In der Studie von *MICHOU et al.* wurden die Zähne in einer dunklen Box gescannt, um die Einwirkung von externem Licht zu dezimieren und Lichtverhältnisse ähnlich zu den Bedingungen des Mundes darzustellen.¹⁷⁵ In der Literatur wird jedoch beschrieben, dass die Scanqualität bezüglich Dauer, Präzision und Richtigkeit bei einem Helligkeitswert von 500 Lux die besten Ergebnisse erzielen kann.¹³ Auch *WESEMANN et al.* konnte dieses Ergebnis für den IOS Emerald bei 500 Lux nachweisen. Für den Trios 3 schien sich der Einfluss der Lichtverhältnisse nicht signifikant auf das Ergebnis auszuwirken.²⁵⁵ Auf Grundlage dessen wurde in der vorliegenden Studie eine Untersuchung bei Tageslicht ohne Deckenbeleuchtung und bei ausgeschalteter Untersuchungsleuchte der Dentaleinheit durchgeführt.

Approximalflächen

Obwohl IOS auch für die Detektion von Approximalkaries geeignet sind, wurde diese im Rahmen der vorliegenden Studie nicht überprüft und nur an den okklusalen Zahnflächen durchgeführt. Der Grund dafür ist die geringe Datenmenge an Bissflügelaufnahmen der Probanden und somit das Fehlen der Referenzmethode an den Approximalflächen der Zähne.

Die geringe Anzahl an Bissflügelaufnahmen entsteht dadurch, dass keine röntgenologische Diagnostik vorgenommen wird, sofern der klinische Befund keinen Anhalt für eine

kariöse Läsion gibt oder dem entgegengesetzt, das klinische Bild eine Läsion mit eindeutiger Dentinbeteiligung zeigt, was zwangsläufig einer invasiven Therapie bedarf (vgl. Kapitel 6.1.1). Dies führte dazu, dass nur bei 5 Probanden eine radiologische Kariesdiagnostik durchgeführt wurde, weshalb die Referenzmethode der Approximalkaries entfällt und somit die Approximalflächen im Rahmen dieser Studie nicht untersucht wurden.

Flächeneinteilung

Bei einer Summe von 60 Probanden ergab sich eine Gesamtzahl von 717 Zähnen. Diese 717 Zähne wurden jeweils in sechs Befundungsflächen unterteilt (vgl. Kapitel 4.3). Es ergaben sich insgesamt 4.302 zu befundende Zahnflächen. Diese Anzahl liegt im Vergleich zu in der Literatur beschriebenen Studien in einem weitaus höheren Bereich.^{15, 50, 55, 172, 176, 218}

Das exakte Wiederauffinden von Befundungsstellen konnte in vorherigen Studien durch eine inexakte Festlegung der Orientierung beeinträchtigt werden, was einen großen Nachteil für den Vergleich unterschiedlicher Diagnostikmethoden darstellt. *MICHOU et al.* wählten daher bei der klinischen Untersuchung ein bis drei Untersuchungsstellen in den Grübchen und Fissuren der Okklusalfäche fest und markierten diese anschließend auf Bildern für die spätere klinische und radiologische Auswertung.¹⁷⁶ Auch *JABLONSKI-MOMENI et al.* wählten ein ähnliches Prinzip, um Stellen im Bereich der Grübchen und Fissuren leicht wiederauffinden zu können. Sie legten dabei anhand eines rechtwinkligen Koordinatensystems auf den gemachten Fotos der Untersuchungszähne eine eindeutige Identifikation der Untersuchungsstellen fest.¹¹² Durch die Anwendung des sechsflächigen Gitternetzes auf der Okklusalfäche in dieser Studie konnte eine präzise Einteilung und Orientierung des Zahnes gewährleistet werden.

Befundung

Bei den Verfahren der Kariesdiagnostik spielt die subjektive Einschätzung des Untersuchers eine maßgebliche Rolle. Anders als bei Verfahren, in denen das Ergebnis eine numerische Zahl auf einem Bildschirm darstellt, kommt es bei der Befundung der dargestellten Bilder durch die verschiedenen Diagnostikverfahren auf die individuellen Erfahrungen des Untersuchers an. Bei den verwendeten Verfahren dieser Studie war dies der

Fall und trifft auf alle Diagnostikmethoden bis auf die eindeutige Auswertung der Farbmarkierung des Trios 4 zu.

Die visuelle Inspektion zeigt sich bis heute als Goldstandard vor allem für die okklusale Karies. Zahlreiche Studien rechtfertigen die Verwendung der ICDAS-II-Klassifikation als probates Diagnostiksystem, weshalb auch in dieser Studie auf Grundlage der ICDAS-II-Klassifikation eine modifizierte Einteilung nach *SCHAEFER et al.* zur Befundung diente.^{27, 112, 166, 175, 176, 214, 238, 239}

Ebenso wurde für die MIH Beurteilung ein standardisiertes Treatment Need Konzept verwendet.¹⁹

Die Nahinfrarot-Transillumination durch die DIAGNOcam hat sich bereits in vielen Studien als strahlungsfreie Alternativmethode zur Bissflügelaufnahme etabliert.^{2, 5, 55, 189, 225, 231} Der Hersteller bietet hierbei keine Informationen über eine geeignete Läsionseinteilung für die Befundung von okklusalen Läsionsflächen. Für die Befundung von approximalen Läsionsflächen bietet KaVo dagegen eine Einteilung für das bleibende Gebiss, die als Grundlage für die Befundung in dieser vorliegenden Studie diente.¹²³

Die Fluoreszenz-Technologie durch den IOS Trios 4 ist mittels speziell konzipierter Scanaufsätze laut Herstellerangaben für die Früherkennung von Oberflächenkaries von okklusalen Läsionen möglich. Zudem entwickelte die Firma 3Shape einen Scanaufsatz, der mittels Transillumination-Verfahren die Erkennung von Approximalkaries ermöglicht.¹ Die Einteilung der Befundung ist durch die vom Hersteller vorgegebene farbliche Markierung eindeutig und ist anhand dieser in der vorliegenden Studie erfolgt.

Die Nahinfrarot-Transillumination durch den IOS Emerald S funktioniert nach dem gleichen Funktionsprinzip wie die zuvor genannte DIAGNOcam. Allein der Funktionsbereich bezüglich der Wellenlängen unterscheidet sich geringfügig. Während der Emerald S die geringere Wellenlänge von 727 nm zeigt, weist die DIAGNOcam eine minimal höhere Wellenlänge von 780 nm auf. Laut Herstellerangaben ist die *Cariosity*-Scanspitze zur Erkennung von Rissen und Frakturen sowie von supragingivalen proximalen kariösen Läsionen geeignet.²⁰¹ Eine Angabe für eine geeignete Läsionseinteilung gibt es seitens des Herstellers nicht.

Visualisierung

Der in dieser Studie verwendete Fragebogen hatte das Ziel zu untersuchen, ob durch die Hinzunahme von Intraoralscans die Visualisierung verbessert und somit das Verständnis der Eltern bzw. Sorgeberechtigten über Diagnose und Therapieplanung gesteigert werden kann. Da von den oben genannten vergleichbaren Studien (vgl. Kapitel 6.1.2) keine eine solchen Fragebogen beinhaltete, stellt dies ein Alleinstellungsmerkmal dieser vorliegenden Studie dar. In anderen Bereichen der Zahnmedizin, vor allem im Bereich des *Digital Smile Designs*, wird die Visualisierung durch Bilder bereits intensiv genutzt. Dass sich das Verständnis einer Thematik durch die Hinzunahme von Hilfsmitteln im Sinne von Bildern verbessern lässt, zeigen klinische Studien, unter anderem auch im Bereich des *Digital Smile Designs*.^{40, 41, 51, 114, 150, 230} Zudem lässt sich aus der Literatur schließen, dass gerade im Umgang mit jüngeren oder ängstlicheren Patienten fehlendes Verständnis des Behandlungsbedarfs eine skeptische Haltung sowie eine geringere Akzeptanz der Behandlung gegenüber verursachen kann.¹¹⁴ Dadurch wird deutlich, dass die Visualisierung einen wichtigen Faktor im zahnärztlichen Alltag darstellt und deshalb als Teil dieser vorliegenden Studie mituntersucht werden sollte.

6.2 Ergebnisdiskussion

Die Gliederung der Ergebnisdiskussion folgt der Gliederung des Ergebniskapitels (Kariesdiagnostik – bleibendes Gebiss, Kariesdiagnostik – Milchgebiss, Molaren-Inzisiven-Hypomineralisation, Visualisierung).

Zur vereinfachten Übersicht sind am Ende des jeweiligen Unterkapitels der Kariesdiagnostik noch einmal die SE und SP Werte der vorliegenden Studie für das jeweilige Diagnostikverfahren aufgelistet, um diese mit den beschriebenen Werten der vorliegenden Literatur vergleichen zu können.

6.2.1 Kariesdiagnostik – bleibendes Gebiss

Die Ergebnisse dieser vorliegenden Studie zur okklusalen Kariesdiagnostik der IOS Trios 4 und Emerald S lassen sich, aufgrund der derzeitigen geringen Studienlage, nur bedingt mit anderen Studien vergleichen und diskutieren. Keine andere Studie zeigt denselben Studienablauf und beinhaltet dieselben Untersuchungsmethoden, was einen Ergebnisvergleich deutlich erschwert.

Nahinfrarot-Transillumination – DIAGNOcam

Dass sich die Nahinfrarot-Transillumination mittels DIAGNOcam als geeignetes alternatives Diagnostikmittel für die Erkennung von okklusaler und vor allem approximaler kariöser Läsionen etabliert hat, zeigen vorausgegangene Studien.^{2, 5, 55, 189, 214, 225, 231} Im Gegensatz zur Diagnostik der approximalen Karies liefert der Hersteller keinerlei Informationen für eine Läsionseinteilung von okklusalen Flächen.¹²³ Die Studienlage bezüglich der okklusalen Kariesdiagnostik mit der DIAGNOcam zeigt sich als gering.

SÜRME et al. konnten für die DIAGNOcam Sensitivitätswerte zwischen 0,54-0,94 sowie Spezifitätswerte von 0,77-1,00 erzielen. Es zeigte sich, dass bessere Sensitivitätswerte auf D1-Niveau erzielt werden konnten, als auf D3-Niveau. Trotzdem erzielte die DIAGNOcam für das D3-Niveau den insgesamt höchsten AUC-Wert im Vergleich zu den anderen Untersuchungsmethoden. *SÜRME et al.* kamen zu dem Schluss, dass die DIAGNOcam bei der Erkennung versteckter okklusaler Karies wirksam sein kann.²³⁸

TASSOKER et al. untersuchten nicht kavitierte Läsionen auf D1-Niveau. Hierbei zeigte die DIAGNOcam in-vivo einen Sensitivitätswert von 0,935 und einen Spezifitätswert von

0,692 sowie in-vitro einen Sensitivitätswert von 0,961 und einen Spezifitätswert von 0,615. Schlussfolgern lässt sich aus dieser Studie, dass die DIAGNOcam die effektivste Methode für die Diagnose von okklusaler Karies ohne Kavitation bei bleibenden Backenzähnen darstellt.²³⁹

In der Studie von *MOHAMED NUR et al.* konnten die Untersucher mittels der DIAGNOcam okklusale Frühläsionen häufiger erkennen, die sich dann nach zwei Jahren in der Nachuntersuchung bestätigten. *MOHAMED NUR et al.* kamen zu dem Schluss, dass die Nahinfrarot-Technologie in Kombination mit der klinischen Untersuchung als geeignet angesehen werden kann, um frühe okklusale Schmelzkaries zu erkennen.¹⁷⁹

Die Sensitivitäts- (0,871) und Spezifitätswerte (0,913) aus der Studie nach *WANG et al.* zeigen sich ähnlich zu den aus dieser Studie vorliegenden Werten.²⁵⁰

SCHLENZ et al. konnten bei der Untersuchung von okklusalen kariösen Läsionen im bleibenden Gebiss ähnliche Werte wie *TASSOKER et al.* erzielen. Der Sensitivitätswert für TH1 (gesund versus kariös) betrug hierbei 0,921 und der Spezifitätswert 0,626. Für TH2 (nicht behandlungsbedürftig versus behandlungsbedürftig) betrug der Sensitivitätswert 0,877 und der Spezifitätswert 0,707. Die in-vivo Ergebnisse zeigen sich hierbei hinsichtlich der Sensitivität nah an den in-vitro Ergebnissen, während die Spezifität deutlich niedriger liegt.²¹⁸

Zur besseren Vergleichbarkeit der Studien noch einmal die Werte der DIAGNOcam im bleibenden Gebiss in dieser Studie: TH1 – SE 0,938 und SP 0,876; TH2 – SE 0,836 und SP 0,974.

Fluoreszenz-Technologie – Trios 4

Die okklusale Kariesdiagnostik mittels Trios 4 ist dank eines speziell konzipierten Scanaufsatzes möglich. Die Firma entwickelte außerdem einen Scanaufsatz, der mittels Transilluminations-Verfahren die Früherkennung von Approximalkaries ermöglicht, welcher im Rahmen dieser Studie jedoch nicht zu tragen kam.¹

In der Studie von *MICHOU et al.* wurden für den auf dem Trios 3 basierenden Prototyp für die okklusale Kariesdiagnostik Sensitivitäts- und Spezifitätssummen von 141 % bis 168 % für die in-vivo Daten der ALG4 erzielt. Generell wurden bei tieferem Läsionsgrad

bessere Werte erzielt als bei Läsionen, die sich eher oberflächlich befanden. Allgemein wurden zudem in dieser Studie in-vitro bessere Sensitivitäts- und Spezifitätswerte erzielt.¹⁷⁶

In der Untersuchung von *NTOVAS et al.* zeigen sich ähnliche Werte bei der Fluoreszenz-Technologie des Trios 4. Die niedrigste Sensitivität liegt bei 0,61 sowie die niedrigste Spezifität bei 0,60 für den inneren Schmelzbereich während die höchste Sensitivität bei 1,00 und die höchste Spezifität bei 0,96 für das innere Drittel des Dentins liegen.¹⁸⁶

SCHLENZ et al. konnten bei der Untersuchung für TH1 (gesund versus kariös) einen Sensitivitätswert von 0,806 und einen Spezifitätswert von 0,704 erzielen. Für TH2 (nicht behandlungsbedürftig versus behandlungsbedürftig) ergaben sich geringfügig andere Werte von 0,648 für die Sensitivität und 0,886 für die Spezifität.²¹⁸

Zur besseren Vergleichbarkeit der Studien noch einmal die Werte des Trios 4 im bleibenden Gebiss in dieser Studie: TH1 – SE 0,887 und SP 0,765; TH2 – SE 0,655 und SP 0,977.

Nahinfrarot-Transillumination – Emerald S

In der Studie von *SCHLENZ et al.* konnte für den Emerald S für TH1 (gesund versus kariös) ein Sensitivitätswert von 0,963 und ein Spezifitätswert von 0,774 erzielt werden. Für TH2 (nicht behandlungsbedürftig versus behandlungsbedürftig) ergaben sich ein SE von 0,951 und ein SP von 0,810. In der Studie konnte der Emerald S für die Nahinfrarot-Transillumination die höchsten Sensitivitäts- sowie Spezifitätswerte erreichen und erzielte somit bessere Resultate als die anderen, ebenfalls auf Nahinfrarot-Transillumination basierenden Untersuchungsmethoden DIAGNOcam und iTero Element 5D. Die besseren Ergebnisse wurden durch die geringere Wellenlänge (727 nm), im Vergleich zur DIAGNOcam (780 nm) und dem iTero Element 5D (850 nm) erklärt. Die Reliabilität und die Summe aus Sensitivität und Spezifität verhielt sich antiproportional zu der Wellenlänge der jeweiligen Untersuchungsmethode.²¹⁸

Zur besseren Vergleichbarkeit der Studien noch einmal die Werte des Emerald S im bleibenden Gebiss in dieser Studie: TH1 – SE 0,938 und SP 0,872; TH2 – SE 0,810 und SP 0,976.

Zusammenfassung der Kariesdiagnostik im bleibenden Gebiss

Den Ergebnissen der vorliegenden Studie zufolge ist der IOS Emerald S für die Kariesdiagnostik im bleibenden Gebiss geeignet. Es bedarf weiterer Studien zur Validierung der Ergebnisse, um das Potenzial dieser Untersuchungsmethode bestätigen zu können. Auch der IOS Trios 4 scheint Karies im bleibenden Gebiss, wenn auch mit etwas geringeren Werten als der Emerald S, zuverlässig erkennen zu können. Auch hier bedarf es weiterer Studien, um entscheiden zu können, ob der Einsatz des Trios 4 als ergänzendes Diagnostikum von Nutzen ist.

6.2.2 Kariesdiagnostik – Milchgebiss

Nahinfrarot-Transillumination – DIAGNOcam

Die Nahinfrarot-Transillumination mittels DIAGNOcam konnte im Milchgebiss sehr ähnliche Werte zu denen im bleibenden Gebiss erzielen. Die aktuelle Studienlage zur okklusalen Kariesdiagnostik mittels Nahinfrarot-Transillumination im Milchgebiss stellt sich als dürftiger als im bleibenden Gebiss heraus.

SÜRME et al. konnten in ihrer Studie Sensitivitätswerte von 0,73-0,94 sowie Spezifitätswerte von 0,73-0,94 nachweisen. Auch hier zeigte sich, dass auf D1-Niveau bessere Sensitivitätswerte erzielt werden konnten, als auf D3-Niveau, während sich die Spezifitätswerte genau gegenläufig zeigen. Auch bei den Ergebnissen des Milchgebisses kamen *SÜRME et al.* zu dem Schluss, dass die DIAGNOcam bei der Erkennung versteckter okklusaler Karies wirksam sein kann.²³⁸

SCHLENZ et al. erzielten ähnliche Ergebnisse wie *SÜRME et al.* Es zeigen sich bei TH1 (gesund versus kariös) ein Sensitivitätswert von 0,857 und ein Spezifitätswert von 0,611. Bei TH2 (nicht behandlungsbedürftig versus behandlungsbedürftig) zeigen sich ein Sensitivitätswert von 0,846 und ein Spezifitätswert von 0,744. Die geringeren Spezifitätswerte im Vergleich zum bleibenden Gebiss, erklärten *SCHLENZ et al.* durch die Unterschiede im Zahnhartsubstanzaufbau.²¹⁸ Wie auch im Kapitel 3.2.3 beschrieben, findet

sich bei Milchzähnen ein dünnerer, mineralärmerer Schmelzmantel, ein geringerer Mineralgehalt des Dentins sowie eine unregelmäßigere Verteilung der Dentintubuli und außerdem eine Vergrößerung der Dentintubuli.^{182, 218, 243}

Zur besseren Vergleichbarkeit der Studien noch einmal die Werte der DIAGNOcam im Milchgebiss in dieser Studie: TH1 – SE 0,934 und SP 0,873; TH2 – SE 0,691 und SP 0,979.

Fluoreszenz-Technologie – Trios 4

Für das Milchgebiss konnten *SCHLENZ et al.* bei ihrer Untersuchung für den Trios 4 für TH1 (gesund versus kariös) einen Sensitivitätswert von 0,952 und einen Spezifitätswert von 0,806 erreichen. Für TH2 (nicht behandlungsbedürftig versus behandlungsbedürftig) zeigen sich ein Sensitivitätswert von 0,667 und ein perfekter Spezifitätswert von 1,000.²¹⁸ Die Ergebnisse zeigen sich somit ähnlich zu denen der vorliegenden Studie. Auch hier lässt sich der unterschiedliche Sensitivitätswert von TH1 zu TH2 durch die erschwerte Unterscheidung der Läsionstiefe durch den unterschiedlichen Zahnhartsubstanzaufbau (siehe Kapitel 3.2.3) erklären. Der IOS Trios 4 scheint besonders bei der korrekten Erkennung einer Schmelzkaries im Milchgebiss Schwächen zu zeigen.

Zur besseren Vergleichbarkeit der Studien noch einmal die Werte des Trios 4 im Milchgebiss in dieser Studie: TH1 – SE 0,840 und SP 0,804; TH2 – SE 0,589 und SP 0,980.

Nahinfrarot-Transillumination – Emerald S

In der Untersuchung nach *SCHLENZ et al.* erzielte der Emerald S für TH1 (gesund versus kariös) einen Sensitivitätswert von 0,762 und einen Spezifitätswert von 0,639. Für TH2 (nicht behandlungsbedürftig versus behandlungsbedürftig) zeigte sich ein SE von 0,667 und ein SP von 0,636.²¹⁸

In der vorliegenden Studie zeigten sich im Gegensatz zur Studie von *SCHLENZ et al.* kaum Unterschiede in den Ergebnissen des bleibenden und des Milchgebisses für den Emerald S. Es zeigt sich lediglich ein geringfügiger Unterschied für den Sensitivitätswert von TH2, der auch hier, wie bei allen anderen erniedrigten Sensitivitätswerten für TH2

im Milchgebiss, durch den unterschiedlichen Zahnhartsubstanzaufbau der Milchzähne (vgl. Kapitel 3.2.3) erklärt werden kann.

Zur besseren Vergleichbarkeit der Studien noch einmal die Werte des Emerald S im Milchgebiss in dieser Studie: TH1 – SE 0,925 und SP 0,876; TH2 – SE 0,737 und SP 0,976.

Zusammenfassung der Kariesdiagnostik im Milchgebiss

Auch für die Kariesdiagnostik im Milchgebiss ist den IOS großes Potenzial zuzuschreiben. Generell zeigt auch im Milchgebiss der IOS Emerald S bessere Werte als der IOS Trios 4. Bei allen Diagnostikmethoden zeigen sich die größten Defizite bei den Sensitivitätswerten von TH2 (Unterscheidung zwischen nicht behandlungsbedürftig versus behandlungsbedürftig), was darauf deuten lässt, dass im Allgemeinen eine Schwierigkeit besteht im Milchgebiss die Schmelzkaries korrekt zu erkennen. Aufgrund der geringen Schmelzdicke des Milchzahnes, die an keiner Stelle des Zahnes dicker als 1 mm ist, befinden sich kariöse Läsionen deutlich schneller im Dentin als bei einem bleibenden Zahn. Durch den unregelmäßigen Schmelzaufbau und der Verteilung der vergrößerten Dentintubuli sowie den verringerten Mineralgehalt des Dentins zeigt sich zudem eine deutlich höhere Kariesprogression bei Milchzähnen. Diese makro- und mikromorphologischen Unterschiede scheinen den Untersuchungsmethoden die Diagnostik von okklusaler Schmelzkaries im Milchgebiss zu erschweren. Jedoch besteht gerade durch die makromorphologischen Unterschiede die Gefahr von früheren nötigen endodontischen Behandlungen. Zudem kann durch die IOS nicht dargestellt werden, ab welchem Punkt einer Läsion invasiv behandelt werden muss. Es besteht also ein großes Interesse an der korrekten Erkennung der Schmelzkaries, um die Kariesprogression rechtzeitig durch nicht-invasive Maßnahmen zu stoppen und so invasive Maßnahmen im Milchgebiss vermeiden zu können.

6.2.3 Molaren-Inzisiven-Hypomineralisation

Dass IOS zur Diagnostik von Fehlstrukturierungen genutzt werden können, wurde bisher in keiner Studie untersucht.

Nach wie vor wird die MIH klinisch diagnostiziert. Berücksichtigt in den Klassifikationssystemen werden dabei der visuelle Aspekt der Läsion mit Farbe, Größe, Opazität sowie den Schweregrad, die Dicke des Zahnschmelzes, posteruptive Schmelzeinbrüche, das Vorhandensein von Restaurationen, das Vorhandensein von Hypersensibilitäten sowie die Extraktion aufgrund von MIH.^{14, 19, 116, 118, 162, 163}

Die MIH fiel im Rahmen dieser Studie als Nebenbefund auf. Zum Ausschluss falsch-positiver Ergebnisse der Kariesdiagnostik wurden die betroffenen Zähne nach den TNI-Schweregraden klassifiziert (siehe Abbildung 4.4). Dass es einen Zusammenhang zwischen einem erhöhten Kariesvorkommen bei Patienten mit MIH gibt, zeigen verschiedene Studien. In einer retrospektiven Analyse von Patientenakten aus Hongkong wurde eine höhere Karieserfahrung im bleibenden Gebiss bei Kindern mit MIH festgestellt.³⁸ Auch bei brasilianischen Kindern konnte in einer Studie eine höhere Prävalenz von Karies in Verbindung mit MIH gebracht werden.⁴⁶ Im Gegensatz dazu wurde in einer Studie von *HEITMÜLLER et al.* ermittelt, dass Karies und MIH zwar die häufigsten Zahndefekte bei 10-jährigen im Großraum der Stadt München ausmachen, es jedoch keinen Unterschied in der Karieserfahrung zwischen den Kinder mit und ohne MIH gab.⁹⁸ Angesichts dieser Studienlage sollte der Zusammenhang zwischen MIH und dem Vorhandensein von Karies weiter untersucht werden. In dieser Studie wurden MIH-Zähne erstmals mit Intraoralscannern untersucht, weshalb sich die Ergebnisse dieser Studie in keinerlei Literatur einordnen lassen.

Deutlich wird, dass die Fallzahlen dieser Studie von 2,53 % der gesamten Zahnflächen des bleibenden Gebisses und 1,51 % der gesamten Zahnflächen des Milchgebisses zu gering sind, um eine entsprechende Aussage zur Nutzung der IOS als Diagnostikinstrument der MIH treffen zu können. Die Ergebnisse zeigen jedoch durchaus, dass die IOS ein Potenzial zur Diagnostik zeigen und in weiteren Studien überprüft werden sollten.

Zudem ließen sich auch die Läsionen der MIH, so wie die kariösen Läsionen, gut im Intraoralscan visualisieren (siehe Abbildung 4.10 und 4.11) und den Probanden und ihren Eltern bzw. Sorgeberechtigten so das Ausmaß der erkrankten Zähne deutlich machen.

Die Prävalenz der MIH lag in dieser Studie bei Probanden mit bleibenden Zähnen bei 13,33 % und bei Probanden mit Milchzähnen bei 3,33 %. Die Daten der Prävalenzen in der Literatur sind unterschiedlich und scheinen vom Studiengebiet, dem Studiendesign und der untersuchten Altersgruppe abhängig zu sein.^{65, 115, 248} Die Ergebnisse einer Meta-

Analyse von *ZHAO et al.* aus dem Jahre 2018 ergaben eine gepoolte globale MIH-Prävalenz von 14,2 %. Dabei waren die Prävalenzen in Südamerika am höchsten (18,0 %) und in Afrika am niedrigsten (10,9 %).²⁶⁵ Für Deutschland wurde die Prävalenz von MIH mit Prozentsätzen von etwa 4,3 % bis 14,7 % angegeben.^{52, 98, 103, 196} In einer Studie von *AMEND et al.* konnte eine Prävalenz von 9,4 % bei bleibenden Zähnen und 3,2 % bei Milchzähnen bei 6-12-jährigen Kindern in einer ländlichen Region in Mittelhessen festgestellt werden. In der Stadt Frankfurt am Main konnte bei den 6-12 jährigen Kindern eine Prävalenz von 17,4 % bei bleibenden Zähnen und 2,9 % bei Milchzähnen eruiert werden.⁸ Die Prävalenzen dieser Studie aus Gießen entsprechen somit den Daten der Studie aus Mittelhessen bzw. Frankfurt am Main.

6.2.4 Visualisierung

Die Aufklärung über zahnärztliche Befunde gehört zu den Routineaufgaben in der zahnmedizinischen Praxis, allerdings ist die Fachsprache für Patienten häufig schwer verständlich. In anderen Bereichen der Zahnmedizin konnte durch verschiedene Studien bereits bewiesen werden, dass sich das Verständnis eines Themas durch die Hinzunahme von Hilfsmitteln im Sinne von Bildern oder Modellen verbessern lässt.^{40, 41, 51, 114, 150, 230}

Die Visualisierung wurde noch nie im Zusammenhang mit der Kariesdiagnostik untersucht, weshalb der Vergleich der Ergebnisse und dementsprechend eine Diskussion nicht möglich ist.

Dass die Visualisierung einen positiven Effekt auf das Verständnis für Diagnose und Therapie hat, zeigt sich vor allem durch Studien im Bereich der ästhetischen Zahnmedizin. Durch das Verfahren des *Digital Smile Designs*, ein softwaregestütztes Verfahren, kann den Patienten ästhetische Optimierungen ihrer Zahnstellungen digital gezeigt werden. Somit ist es möglich, den Patienten das spätere Behandlungsergebnis schon vorab zu visualisieren. *COACHMAN et al.* und *LIN et al.* beschreiben dieses Verfahren als sinnvolles Werkzeug, um die Aufklärung und Motivation der Patienten und somit allgemein die Kommunikation mit den Patienten zu verbessern.^{41, 150} Auch *DIAS und TSINGENE* sowie *JAFRI et al.* beschreiben durch dieses Verfahren ein erhöhtes Verständnis sowie Akzeptanz der Behandlung durch den Patienten.^{51, 114}

Es zeigt sich somit, dass in der Zahnmedizin die Vorteile der visuellen Kommunikation bereits vielseitig genutzt werden und aufgenommene Bilder und Modelle bereits als effektives Instrument zur Diagnose, Behandlungsplanung und Kommunikation dienen.

In dieser Studie zeigt sich ein signifikant höheres Verständnis der Mundsituation der Probanden von der Gruppe der Eltern bzw. Sorgeberechtigten, die mithilfe der IOS über die Diagnose und Therapieplanung der Probanden aufgeklärt wurde. Jene Gruppe zeigte mit $5,13 \pm 1,04$ (Mittelwert \pm Standardabweichung) aus maximal sechs möglichen korrekten Antworten bessere Ergebnisse als jene Gruppe der Eltern bzw. Sorgeberechtigten, welche im Rahmen der visuellen Inspektion rein mündlich ohne weitere Hilfsmittel aufgeklärt wurde ($3,43 \pm 1,07$ Mittelwert \pm Standardabweichung). Die Visualisierungshilfe schien besonders bei detaillierten Informationen nützlich zu sein, beispielsweise welcher Zahn betroffen war oder welche Bereiche der Mundhygiene verbessert werden sollten. Die Visualisierung konnte das Verständnis für die anstehende Behandlung erheblich verbessern. Auch die Bedingungen, die zu der geplanten Behandlung führten, wurden besser verstanden, was zu einer besseren Akzeptanz der Behandlung führen kann.

Gerade im Umgang mit jüngeren oder ängstlicheren Patienten kann eine skeptische Haltung gegenüber der Behandlung durch das fehlende Verständnis des Behandlungsbedarfs zu einer geringeren Akzeptanz der Behandlung führen.¹¹⁴ Darüber hinaus konnte festgestellt werden, dass Kinder eine größere Akzeptanz der medizinischen Behandlung erfahren, wenn digitale Technologien genutzt wurden.⁵⁸

Zudem verbessern visuelle Hilfsmittel auch die Kommunikation bei Patienten mit eingeschränkten Sprachkenntnissen und medizinischem Wissen.¹¹⁷ Diese Gruppe von Patienten haben besondere Schwierigkeiten, die Komplexität von Gesundheitsrisiken zu erfassen.⁸⁸

Die Ergebnisse dieser vorliegenden Studie verdeutlichen somit, dass Intraoralscans ein hilfreiches Mittel zur Visualisierung von zahnärztlichen Befunden in der Kinderzahnheilkunde darstellen und das Verständnis der Diagnose und Therapieplanung erhöhen.

6.3 Schlussfolgerung und Ausblick

Die zunehmende Weiterentwicklung der digitalen Zahnheilkunde führt zu einer fortlaufenden Optimierung der Intraoralscanner (IOS). Die heutigen IOS bieten zahlreiche Zusatzfunktionen an, darunter die auf Fluoreszenz bzw. Nahinfrarot-Transillumination basierenden Technologien der Kariesdiagnostik.^{176, 186, 216, 219}

Die Ergebnisse dieser Studie zeigen, dass IOS aktuell eher als zusätzliches Detektionstool zur Erkennung der Karies verwendet werden und nicht als Basistool für die Therapieentscheidung invasiv oder nicht-invasiv empfohlen werden können. Bei der zunehmenden Digitalisierung in Deutschland, stellen die IOS jedoch eine hilfreiche Erweiterung dar, ohne dass ein zusätzliches Untersuchungsinstrument angeschafft werden muss, wenn der IOS ohnehin Anwendung im Alltag findet. Vor allem bei der Detektion der Schmelzkaries im Milchgebiss zeigen sich alle Untersuchungsmethoden fehleranfällig, sodass die korrekte Erkennung dieser besonderer Aufmerksamkeit bedarf, um in Zukunft die Kariesprogression durch nicht-invasive Maßnahmen aufhalten und invasive Maßnahmen im Milchgebiss vermeiden zu können.

Im Hinblick auf die Weiterentwicklung der digitalen Zahnheilkunde ist somit im Bereich der Telemedizin eine Software denkbar, die kariologisch auffällige Bereiche automatisch detektiert und damit eine bestmögliche Patientenversorgung mit digital integrierter Diagnostik, Planung und Nachsorge ermöglicht.

Die Ergebnisse der Molaren-Inzisiven-Hypomineralisation (MIH) zeigen, dass die entwicklungsbedingte Strukturanomalie mit Prävalenzen von 3,33 bis 13,33 % in einer Größenordnung liegt, die ebenfalls besonderer Aufmerksamkeit bedarf. Ob die Erkennung mittels IOS valide ist, muss aufgrund der geringen Datenmenge in weiteren Studien überprüft werden. Da sich die Diagnostik der MIH derzeit jedoch ausschließlich auf die visuelle Begutachtung des Substanzdefektes mit Berücksichtigung der unterschiedlich stark ausgeprägten Hypersensibilitäten beschränkt, könnten IOS ein vielversprechendes weiteres Diagnostiktool zur zuverlässigen Erkennung von MIH darstellen.

Die Ergebnisse der Visualisierung zeigen, dass Intraoralscans ein hilfreiches Mittel zur Visualisierung von zahnärztlichen Befunden in der Kinderzahnheilkunde darstellen und das Verständnis der Diagnose und Therapieplanung erhöhen. Dies scheint besonders wichtig im Hinblick auf die Bedeutung des elterlichen Verständnisses zu sein und könnte, insbesondere bei gefährdeten Patientengruppen und Patienten mit Sprachbarrieren, einen erheblichen Vorteil erbringen.

Die Ergebnisse der Studie stützen damit die Tatsache, dass Telemedizin auf dem Vormarsch ist und eine Schlüsselrolle bei der Erhaltung der Mundgesundheit in der Kinder- und Erwachsenenzahnheilkunde spielen kann.¹⁹⁷

Insbesondere dann, wenn der Zugang zu persönlicher Betreuung aufgrund des Standorts oder sozialer und sprachlicher Grenzen eingeschränkt ist, kann die Telemedizin als Teil etablierter Screening-Programme die Mundgesundheit langfristig verbessern.

7 Zusammenfassung

Das Ziel der vorliegenden Arbeit war es, die okklusale Kariesdiagnostikfunktion zweier Intraoralscanner (IOS) unterschiedlicher Dentalhersteller sowie die etablierte Kariesdiagnostikmethode der DIAGNOcam (KaVo, Biberach) mit der etablierten visuellen Inspektion als Goldstandard zu vergleichen. Zudem sollte überprüft werden, ob sich die Kariesdiagnostikfunktion der IOS auch auf die Erkennung der Molaren-Inzisiven-Hypomineralisation (MIH) anwenden lässt und ob durch die Visualisierung mittels eines IOS ein positiver Effekt auf das Verständnis von Diagnose und geplanter Therapie erzielt werden kann.

Zur Durchführung der vorliegenden in-vivo Studie wurden 60 Probanden im Alter von 5-14 Jahren im Rahmen der Kariesdiagnostik und 60 Probanden im Alter von 5-18 Jahren im Rahmen der Visualisierung zur zahnärztlichen Vorsorgeuntersuchung vorstellig und anschließend mit oben genannten Diagnostikmethoden untersucht. Die Auswertung der okklusalen Zahnflächen der 441 bleibenden Zähne und 276 Milchzähne erfolgte getrennt durch das Anlegen eines sechsflächigen Gitternetzes, sodass insgesamt 2.646 Zahnflächen bleibender Zähne und 1.656 Zahnflächen von Milchzähnen untersucht wurden.

Bei der Untersuchung wurde unterschieden zwischen der etablierten Methode der Kariesdiagnostik durch die DIAGNOcam (KaVo, Biberach) und der erweiterten Kariesdiagnostik durch IOS (Trios 4 (3Shape, Kopenhagen, Dänemark) und Emerald S (Planmeca, Helsinki, Finnland)). Als Referenzmethode diente dabei die visuelle Inspektion.

Außerdem erhielten Eltern bzw. Sorgeberechtigte von 60 Probanden eine Aufklärung mündlich im Rahmen der visuellen Inspektion oder durch Zuhilfenahme der Intraoralscans des Trios 4. Durch einen Fragebogen konnte dann das Verständnis für Diagnose und geplanter Therapie überprüft werden.

Hinsichtlich der Detektion von Karies an Okklusalfächen von bleibenden Zähnen und von Milchzähnen zeigen die untersuchten Methoden Differenzen. Die DIAGNOcam und der IOS Emerald S weisen in beiden Gebissen höhere Übereinstimmungen mit der visuellen Inspektion als Referenzmethode als der IOS Trios 4 auf.

Bei der Erkennung von MIH zeigt die DIAGNOcam die wenigsten Abweichungen von der Referenzmethode. Generell ist hierzu die Datenmenge in dieser Studie jedoch gering.

Im Hinblick auf die Visualisierung zeigt sich ein signifikant höheres Verständnis über die Mundgesundheit der Probanden seitens der Eltern bzw. Sorgeberechtigten, die mittels visueller Hilfsmittel (IOS Trios 4) aufgeklärt wurden, als derer, die rein mündlich im Rahmen der visuellen Inspektion ohne weitere Hilfsmittel aufgeklärt wurden.

Schlussfolgernd lässt sich sagen, dass in der vorliegenden Untersuchung keine Methode ermittelt werden konnte, die in beiden Dentitionen als alleiniges Diagnostikmittel zur Detektion von Karies und MIH geeignet wäre. Insgesamt zeigt sich die Funktion der Kariesdiagnostik der IOS jedoch als sinnvolles Ergänzungstool, deren Validität weiter optimiert werden sollte. Die Visualisierung sollte fester Bestandteil der zahnärztlichen Aufklärungsstrategie werden, um das Verständnis und somit die Kommunikation zwischen Zahnarzt und Patient zu verbessern, um in Zukunft jedem Patienten eine bestmögliche Behandlung bieten zu können.

8 Summary

The aim of this study was to compare the occlusal caries diagnostic function of two intraoral scanners (IOS) from different dental manufacturers and the established caries diagnostic method of the DIAGNOcam (KaVo, Biberach, Germany) with the established visual inspection as the gold standard. In addition, it was to be investigated whether the caries diagnostic function of the IOS could also be applied to the detection of molar incisor hypomineralisation (MIH) and whether visualisation using an IOS could have a positive effect on the understanding of diagnosis and therapy.

For the present in-vivo study, 60 subjects aged 5-14 years were investigated for caries diagnostics and 60 subjects aged 5-18 years were investigated for dental check-ups in the context of visualization and subsequently examined using the above-mentioned diagnostic methods. The evaluation of the occlusal tooth surfaces of the 441 permanent teeth and 276 deciduous teeth were analysed separately by applying a hexagonal grid, so that a total of 2,646 tooth surfaces of permanent teeth and 1,656 tooth surfaces of deciduous teeth were examined.

A distinction was made between the established method of caries diagnostics using the DIAGNOcam (KaVo, Biberach, Germany) and the extended caries diagnostics using IOS (Trios 4 (3Shape, Copenhagen, Denmark) and Emerald S (Planmeca, Helsinki, Finland)). Visual inspection served as the reference method. In addition the parents or guardians of the 60 test subjects were informed verbally during the visual inspection or with the aid of the intraoral scans from Trio 4. A questionnaire was then used to check their understanding of the diagnosis and planned treatment.

With regard to the detection of caries on occlusal surfaces of permanent teeth and deciduous teeth, the investigated methods show differences. The DIAGNOcam and the IOS Emerald S show higher agreement with visual inspection as a reference method than the IOS Trios 4 in both dentitions.

In the detection of MIH, the DIAGNOcam shows the least deviations from the reference method. In general, however, the amount of data in this study is low.

With regard to visualisation, there was a significantly higher level of understanding of the subjects' oral health on the part of the parents or guardians who were informed by means of visual aids than those who were informed purely verbally as part of the visual inspection without any other aids.

In conclusion, no method could be identified in the present study that would be suitable as the sole diagnostic tool for the detection of caries and MIH in both dentitions. Overall, however, the function of caries diagnostics of the IOS shows itself to be a useful supplementary tool, the validity of which should be further optimised. Visualisation should become an integral part of the dental education strategy to improve the understanding and thus the communication between dentist and patient in order to be able to offer each patient the best possible treatment in the future.

9 Abkürzungsverzeichnis

ALADA	<i>as low as diagnostically acceptable</i>
ALARA	<i>as low as reasonably achievable</i>
CCD	<i>charge-coupled-device</i>
DiFOTI	<i>digital imaging fiber optic transillumination</i>
DMS V	Fünfte Deutsche Mundgesundheitsstudie
ECC	<i>early childhood caries</i>
FOTI	fiberoptische Transillumination
ICDAS	<i>International-Caries-Detection-and-Assessment-System</i>
IOS	Intraoralscanner
MIH	Molaren-Inzisiven-Hypomineralisation
NILR	Nahinfrarot-Lichtreflexion
NIR	Nahinfrarot
SE	Sensitivität
SP	Spezifität
TH1	Threshold I: gesund vs. Karies (gepoolte Daten aus Schmelz- und Dentinkaries)
TH2	Threshold II: nicht behandlungsbedürftig (gepoolte Daten aus gesund und Schmelzkaries) vs. behandlungsbedürftig (Dentinkaries)
UniViSS	<i>Universal-Visual-Scoring-System</i>
μ-CT	Mikro-Computertomographie

10 Darstellungsverzeichnis

10.1 Abbildungsverzeichnis

<i>Abbildung 3.1:</i> Schematische Darstellung des Prinzips der optischen Triangulation.....	6
<i>Abbildung 3.2:</i> Schematische Darstellung des Prinzips der Streifenlichtprojektion.....	7
<i>Abbildung 3.3:</i> Schematische Darstellung des Prinzips der konfokalen Mikroskopie.....	8
<i>Abbildung 3.4:</i> Schematische Darstellung des Prinzips des Wavefront Samplings.....	9
<i>Abbildung 3.5:</i> Schematische Darstellung einer initialen Schmelzkaries nach <i>HELLWIG et al.</i> ¹⁰¹	14
<i>Abbildung 3.6:</i> Schematische Darstellung einer Dentinkaries bei intakter Schmelzoberfläche nach <i>HELLWIG et al.</i> ¹⁰¹	15
<i>Abbildung 3.7:</i> Schematische Darstellung einer Dentinkaries bei eingebrochener Schmelzoberfläche nach <i>HELLWIG et al.</i> ¹⁰¹	17
<i>Abbildung 3.8:</i> Schematische Darstellung der morphologischen Unterschiede zwischen einem bleibenden Zahn (links) und einem Milchzahn (rechts) modifiziert nach <i>UHLMANN</i> . ²⁴³	19
<i>Abbildung 3.9:</i> Radiologische Einteilung der okklusalen (links) und approximalen (rechts) Kariesprogression nach <i>MARTHALER</i> (modifiziert nach <i>FUHRMANN</i>) ^{81, 169}	25
<i>Abbildung 4.1:</i> Darstellung der in der vorliegenden Studie angewandten Methodik zur Kariesdiagnostik.....	37
<i>Abbildung 4.2:</i> Darstellung der in der vorliegenden Studie angewandten Methodik zur Visualisierung.....	37
<i>Abbildung 4.3:</i> Befundungsbogen der Poliklinik für Kinderzahnheilkunde der Justus-Liebig-Universität Gießen für die visuelle Inspektion.	41
<i>Abbildung 4.4:</i> Schematische Darstellung des TNI nach dem Würzburger MIH-Konzept ¹⁹	42
<i>Abbildung 4.5:</i> Darstellung der DIAGNOcam.....	43
<i>Abbildung 4.6:</i> Darstellung des IOS Trios 4.	45
<i>Abbildung 4.7:</i> Darstellung des IOS Emerald S.....	46

<i>Abbildung 4.8:</i> Darstellung der Zahnflächeneinteilung für die okklusale Kariesdiagnostik.....	49
<i>Abbildung 4.9:</i> Darstellung der Zahnflächeneinteilung mit Markierungslinien und Zentralfissur.....	49
<i>Abbildung 4.10:</i> Beispiel eines Intraoralscans (Trios 4) bei einem 8-Jährigen Probanden mit multiplen kariösen Läsionen.	57
<i>Abbildung 4.11:</i> Beispiel eines Intraoralscans (Trios 4) bei einem 11-Jährigen Probanden mit diagnostizierter MIH an den Zähnen 16 und 26.....	58
<i>Abbildung 5.1:</i> Darstellung der <i>receiver operating characteristics</i> (ROC) Kurvenanalyse der TH1 Daten der verschiedenen Untersuchungsmethoden zur Kariesdiagnostik im bleibenden Gebiss.....	70
<i>Abbildung 5.2:</i> Darstellung der <i>receiver operating characteristics</i> (ROC) Kurvenanalyse der TH2 Daten der verschiedenen Untersuchungsmethoden zur Kariesdiagnostik im bleibenden Gebiss.....	71
<i>Abbildung 5.3:</i> Darstellung der <i>receiver operating characteristics</i> (ROC) Kurvenanalyse der TH1 Daten der verschiedenen Untersuchungsmethoden zur Kariesdiagnostik im Milchgebiss.....	78
<i>Abbildung 5.4:</i> Darstellung der <i>receiver operating characteristics</i> (ROC) Kurvenanalyse der TH2 Daten der verschiedenen Untersuchungsmethoden zur Kariesdiagnostik im Milchgebiss.....	79
<i>Abbildung 5.5:</i> Boxplot-Diagramm der Ergebnisse der Fragebögen.	89
<i>Abbildung 5.6:</i> Schematische Darstellung der Reliabilität mit Konfidenzintervallen der einzelnen Untersuchungsmethoden im bleibenden Gebiss (links) und Milchgebiss (rechts).....	90

10.2 Tabellenverzeichnis

<i>Tabelle 4.1:</i> Bewertung der visuellen Inspektion.....	51
<i>Tabelle 4.2:</i> Bewertung der Kariesdiagnostik mittels DIAGNOcam.....	53
<i>Tabelle 4.3:</i> Bewertung der Kariesdiagnostik mittels Trios 4.....	54

<i>Tabelle 4.4:</i> Bewertung der Kariesdiagnostik mittels Emerald S.	56
<i>Tabelle 4.5:</i> Interpretation der Kappa-Werte nach <i>LANDIS</i> und <i>KOCH</i> ¹⁴²	60
<i>Tabelle 4.6:</i> Vierfeldertafel zur Berechnung der Sensitivität und Spezifität, modifiziert nach <i>HELLWIG et al.</i> ¹⁰¹	61
<i>Tabelle 5.1:</i> Übersicht der Variablen zur Unterscheidung der Ergebnisse.	63
<i>Tabelle 5.2:</i> Vergleich der mit der Nahinfrarot-Transillumination (DIAGNOcam) und visuellen Inspektion (Referenzmethode) diagnostizierten Flächen (n = 2646) bei der Kariesdiagnostik im bleibenden Gebiss.	66
<i>Tabelle 5.3:</i> Vergleich der mit der Fluoreszenz-Technologie (Trios 4) und visuellen Inspektion (Referenzmethode) diagnostizierten Flächen (n = 2646) bei der Kariesdiagnostik im bleibenden Gebiss.	66
<i>Tabelle 5.4:</i> Vergleich der mit der Nahinfrarot-Transillumination (Emerald S) und visuellen Inspektion (Referenzmethode) diagnostizierten Flächen (n = 2646) bei der Kariesdiagnostik im bleibenden Gebiss.	67
<i>Tabelle 5.5:</i> Darstellung der <i>Gwet's ACI</i> - Werte der verschiedenen Untersuchungsmethoden zur Kariesdiagnostik im bleibenden Gebiss.....	68
<i>Tabelle 5.6:</i> Sensitivität und Spezifität sowie <i>area under the curve</i> (AUC) der TH1 Daten der Untersuchungsmethoden zur Kariesdiagnostik im bleibenden Gebiss.	69
<i>Tabelle 5.7:</i> Sensitivität und Spezifität sowie <i>area under the curve</i> (AUC) der TH2 Daten der Untersuchungsmethoden zur Kariesdiagnostik im bleibenden Gebiss.	70
<i>Tabelle 5.8:</i> Übereinstimmungen [%] und Abweichungen [%] aller Untersuchungsmethoden von der visuellen Inspektion im bleibenden Gebiss.	72
<i>Tabelle 5.9:</i> Vergleich der mit der Nahinfrarot-Transillumination (DIAGNOcam) und visuellen Inspektion (Referenzmethode) diagnostizierten Flächen (n = 1656) bei der Kariesdiagnostik im Milchgebiss.	73
<i>Tabelle 5.10:</i> Vergleich der mit der Fluoreszenz-Technologie (Trios 4) und visuellen Inspektion (Referenzmethode) diagnostizierten Flächen (n = 1656) bei der Kariesdiagnostik im Milchgebiss.	74

<i>Tabelle 5.11:</i> Vergleich der mit der Nahinfrarot-Transillumination (Emerald S) und visuellen Inspektion (Referenzmethode) diagnostizierten Flächen (n = 1656) bei der Kariesdiagnostik im Milchgebiss.	75
<i>Tabelle 5.12:</i> Darstellung der <i>Gwet's AC1</i> - Werte der verschiedenen Untersuchungsmethoden zur Kariesdiagnostik im Milchgebiss.	76
<i>Tabelle 5.13:</i> Sensitivität und Spezifität sowie <i>area under the curve</i> (AUC) der TH1 Daten der Untersuchungsmethoden zur Kariesdiagnostik im Milchgebiss.....	77
<i>Tabelle 5.14:</i> Sensitivität und Spezifität sowie <i>area under the curve</i> (AUC) der TH2 Daten der Untersuchungsmethoden zur Kariesdiagnostik im Milchgebiss.....	78
<i>Tabelle 5.15:</i> Übereinstimmungen [%] und Abweichungen [%] aller Untersuchungsmethoden von der visuellen Inspektion im Milchgebiss.	80
<i>Tabelle 5.16:</i> Vergleich der mit der Nahinfrarot-Transillumination (DIAGNOcam) und visuellen Inspektion (Referenzmethode) diagnostizierten Flächen (n = 2646) bei der Diagnostik von MIH im bleibenden Gebiss.	82
<i>Tabelle 5.17:</i> Vergleich der mit der Fluoreszenz-Technologie (Trios 4) und visuellen Inspektion (Referenzmethode) diagnostizierten Flächen (n = 2646) bei der Diagnostik von MIH im bleibenden Gebiss.....	83
<i>Tabelle 5.18:</i> Vergleich der mit der Nahinfrarot-Transillumination (Emerald S) und visuellen Inspektion (Referenzmethode) diagnostizierten Flächen (n = 2646) bei der Diagnostik von MIH im bleibenden Gebiss.	83
<i>Tabelle 5.19:</i> Vergleich der mit der Nahinfrarot-Transillumination (DIAGNOcam) und visuellen Inspektion (Referenzmethode) diagnostizierten Flächen (n = 1656) bei der Diagnostik von MIH im Milchgebiss.	85
<i>Tabelle 5.20:</i> Vergleich der mit der Fluoreszenz-Technologie (Trios 4) und visuellen Inspektion (Referenzmethode) diagnostizierten Flächen (n = 1656) bei der Diagnostik von MIH im Milchgebiss.....	86
<i>Tabelle 5.21:</i> Vergleich der mit der Nahinfrarot-Transillumination (Emerald S) und visuellen Inspektion (Referenzmethode) diagnostizierten Flächen (n = 1656) bei der Diagnostik von MIH im Milchgebiss.	87
<i>Tabelle 5.22:</i> N-Werte, Mittelwerte und Standardabweichungen der beantworteten Fragebögen.	88

Tabelle 13.1: Überblick der Beschreibung der Auswertung der verwendeten
Untersuchungsmethoden. 139

Tabelle 13.2: Softwareversionen der Untersuchungsprogramme. 140

11 Publikationen

Folgende Publikationen sind aus der vorliegenden Studie hervorgegangen:

Postervorstellung auf der 70. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Prothetische Zahnmedizin und Biomaterialien (DGPro) 11.-13.05.2023 in Würzburg.

Postervorstellung auf der 30. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Kinderzahnmedizin (DGKiZ) und 2. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft Zahnmedizin für Menschen mit Behinderung (DGZMB) 28.-30.09.2023 in Berlin.

Elmex-DGKiZ-Präventionspreis für die beste wissenschaftliche Poster-Präsentation auf einer Jahrestagung

Schulz-Weidner, N., Gruber, M., Wöstmann, B., Uebereck, C.F., Krämer, N., Schlenz, M.A. Occlusal Caries Detection with Intraoral Scanners in Pediatric Dentistry: A Comparative Clinical Study. *J. Clin. Med* 2024; 13, 925.

Schulz-Weidner, N., Gruber, M., Schraml, E.M., Wöstmann, B., Krämer, N., Schlenz, M.A. Improving the Communication of Dental Findings in Pediatric Dentistry by Using Intraoral Scans as a Visual Aid: A Randomized Clinical Trial. *Dent. J* 2024; 12, 15.

12 Literaturverzeichnis

1. 3Shape; 3Shape TRIOS - Go Beyond: Erreichen Sie mehr mit digitalen Technologien - Katalog [aktualisiert am 19.11.2021]. Link: <https://pdf.medicaexpo.de/pdf/3shape/3shape-trios/71366-218997.html>.
2. Abdelaziz M, Krejci I. DIAGNOcam - a Near Infrared Digital Imaging Transillumination (NIDIT) technology. *Int J Esthet Dent* 2015;10 (1):158-165.
3. Abdelaziz M, Krejci I, Perneger T, Feilzer A, Vazquez L. Near infrared transillumination compared with radiography to detect and monitor proximal caries: A clinical retrospective study. *Journal of dentistry* 2018;70:40-45.
4. Abogazalah N, Ando M. Alternative methods to visual and radiographic examinations for approximal caries detection. *Journal of Oral Science* 2017;59 (3):315-322.
5. Alamoudi NM, Khan JA, El-Ashiry EA, Felemban OM, Bagher SM, Al-Tuwirqi AA. Accuracy of the DIAGNOcam and bitewing radiographs in the diagnosis of cavitated proximal carious lesions in primary molars. *Niger J Clin Pract* 2019;22 (11):1576-1582.
6. Altman DG, Bland JM. Diagnostic tests 3: receiver operating characteristic plots. *BMJ: British Medical Journal* 1994;309 (6948):188.
7. Amend S, Frankenberger R, Lücker S, Domann E, Krämer N. Secondary caries formation with a two-species biofilm artificial mouth. *Dental materials* 2018;34 (5):786-796.
8. Amend S, Nossol C, Bausback-Schomakers S, Wleklinski C, Scheibelhut C, Pons-Kühnemann J, et al. Prevalence of molar-incisor-hypomineralisation (MIH) among 6–12-year-old children in Central Hesse (Germany). *Clinical oral investigations* 2021;25:2093-2100.
9. Americano GCA, Jacobsen PE, Soviero VM, Haubek D. A systematic review on the association between molar incisor hypomineralization and dental caries. *International journal of paediatric dentistry* 2017;27 (1):11-21.
10. Angmar-Månsson B. E. a-KS, Tranaeus S. Caries diagnosis. *J Dent Educ* 1998;10:771-780.
11. Anil S, Anand PS. Early Childhood Caries: Prevalence, Risk Factors, and Prevention. *Front Pediatr* 2017;5:157.
12. Antonini L.G., Luder H.U. Discoloration of teeth from tetracyclines-Even today?. *Schweizer Monatsschrift für Zahnmedizin* 2011; 414-431.
13. Arakida T, Kanazawa M, Iwaki M, Suzuki T, Minakuchi S. Evaluating the influence of ambient light on scanning trueness, precision, and time of intra oral scanner. *J Prosthodont Res* 2018;62 (3):324-329.
14. Balmer R, Laskey D, Mahoney E, Toumba K. Prevalence of enamel defects and MIH in non-fluoridated and fluoridated communities. *European Journal of Paediatric Dentistry* 2005;6 (4):209.

15. Baltacıoğlu IH, Orhan K. Comparison of diagnostic methods for early interproximal caries detection with near-infrared light transillumination: an in vivo study. *BMC Oral Health* 2017;17 (1):1-7.
16. Bandeira Lopes L, Machado V, Botelho J, Haubek D. Molar-incisor hypomineralization: an umbrella review. *Acta Odontologica Scandinavica* 2021;79 (5):359-369.
17. Baroni C, Marchionni S. MIH supplementation strategies: prospective clinical and laboratory trial. *Journal of Dental Research* 2011;90 (3):371-376.
18. Bekes K, Krämer N, van Waes H, Steffen R. Das Würzburger MIH-Konzept: Teil 2. Der Therapieplan. *Oralprophylaxe & Kinderzahnheilkunde* 2016;38 (4):171-175.
19. Bekes K, Steffen R. Das Würzburger MIH-Konzept: Teil 1. Der MIH-Treatment Need Index (MIH-TNI). *Oralprophylaxe & Kinderzahnheilkunde* 2016;38 (4):165-170.
20. Benedict H. The fluorescence of teeth as another method of attack on the problem of dental caries. *J Dent Res* 1929;9:274-275.
21. Bernhard J-C, Isotani S, Matsugasumi T, Duddalwar V, Hung AJ, Suer E, et al. Personalized 3D printed model of kidney and tumor anatomy: a useful tool for patient education. *World journal of urology* 2016;34:337-345.
22. Beuer F, Schweiger J, Edelhoff D. Digital dentistry: an overview of recent developments for CAD/CAM generated restorations. *Br Dent J* 2008;204 (9):505-511.
23. Bevelander G, Nakahara H. Correlation between tetracycline binding and mineralization in dentin and enamel. *The Anatomical Record* 1965;153 (2):141-147.
24. Bosniac P, Rehmann P, Wostmann B. Comparison of an indirect impression scanning system and two direct intraoral scanning systems in vivo. *Clin Oral Investig* 2019;23 (5):2421-2427.
25. Brännström M. The hydrodynamic theory of dentinal pain: sensation in preparations, caries, and the dentinal crack syndrome. *Journal of endodontics* 1986;¹² (10):453-457.
26. Brauckhoff G, Kocher T, Holtfreter B, Bernhardt O, Splieth C, Biffar R, et al. Gesundheitsberichterstattung des Bundes - Mundgesundheit. *Robert Koch Institut und Statistisches Bundesamt* 2009;47:9-17.
27. Braun A, Guiraud LMJC, Frankenberger R. Histological validation of ICDAS II and radiological assessment of occlusal carious lesions in permanent teeth. *Odontology* 2017;105:46-53.
28. Buchalla W. Histologisches und klinisches Erscheinungsbild der Karies. In: Meyer-Lückel H, Paris S, Ekstrand KR (Hrsg.). *Karies*. 1. Auflage. Stuttgart: Georg Thieme Verlag 2012;Kapitel 3:43-69.
29. Buchalla W, Lennon AM. Die Fluoreszenzunterstützte Kariesexkavation – Funktionsprinzip und Empfehlungen für den Gebrauch. *Oralprophylaxe & Kinderzahnheilkunde* 2013;35:162-173.

30. Buchalla W, Lennon AM. Grundlagen und Einsatzmöglichkeiten der fluoreszenzunterstützten Kariesexkavation. *DHZ - Der hessische Zahnarzt* 2020;59 (7-8):85-92.
31. Bundesamt für Strahlenschutz; Grundsätze des Strahlenschutzes [aktualisiert am 19.11.2021]. Link: https://www.bfs.de/DE/themen/ion/strahlenschutz/einfuehrung/grundsaeetze/grundsaeetze_node.html.
32. Bürklein S. Kariesdiagnostik in der Zahnheilkunde. *Bayerisches Zahnärzteblatt* 2011;54-59.
33. Bushberg JT. Eleventh annual Warren K. Sinclair keynote address-science, radiation protection and NCRP: building on the past, looking to the future. *Health Phys* 2015;108 (2):115-123.
34. Cameron WJ. Diagnosis by transillumination. *Cameron's Publishing Company* 1927;17-22.
35. Cartwright RB. Dentinal hypersensitivity: a narrative review. *Community Dent Health* 2014;31 (1):15-20.
36. Carvalho JC, Dige I, Machiulskiene V, Qvist V, Bakhshandeh A, Fatturi-Parolo C, et al. Occlusal Caries: Biological Approach for Its Diagnosis and Management. *Caries Res* 2016;50 (6):527-542.
37. Carvalho JC, Ekstrand KR, Thylstrup A. Dental plaque and caries on occlusal surfaces of first permanent molars in relation to stage of eruption. *J Dent Res* 1989;68 (5):773-779.
38. CHO SY, Ki Y, Chu V. Molar incisor hypomineralization in Hong Kong Chinese children. *International journal of paediatric dentistry* 2008;18 (5):348-352.
39. Cholmakow-Bodechtel C, Füßl-Grünig E, Geyer S, Hertrampf K, Hoffmann T, Holtfreter B, et al. Fünfte Deutsche Mundgesundheitsstudie. *Journal of Dentistry* 2016;39 (2).
40. Clark JM, Paivio A. Dual coding theory and education. *Educational psychology review* 1991;3:149-210.
41. Coachman C, Calamita M, Ricci A. Digital smile design: a digital tool for esthetic evaluation, team communication, and patient management. *Ronald E Goldstein's Esthetics in Dentistry* 2018:84-111.
42. Cortes D, Ekstrand K, Elias-Boneta A, Ellwood R. An in vitro Comparison of the Ability of Fibre–Optic Transillumination, Visual Inspection and Radiographs to Detect Occlusal Caries and Evaluate Lesion Depth. *Caries Research* 2000;34 (6):443-447.
43. Cortes D, Ellwood R, Ekstrand K. 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 research* 2003;37 (1):8-16.
44. Crombie F, Manton D, Kilpatrick N. Aetiology of molar–incisor hypomineralization: a critical review. *International Journal of Paediatric Dentistry* 2009;19 (2):73-83.

45. Crombie FA, Manton DJ, Palamara JE, Zaluzniak I, Cochrane NJ, Reynolds EC. Characterisation of developmentally hypomineralised human enamel. *Journal of dentistry* 2013;41 (7):611-618.
46. DA COSTA- SILVA CM, Jeremias F, de Souza JF, De Cássia Loiola Cordeiro R, SANTOS- PINTO L, Cilense Zuanon AC. Molar incisor hypomineralization: prevalence, severity and clinical consequences in Brazilian children. *International Journal of paediatric dentistry* 2010;20 (6):426-434.
47. da Cunha Coelho ASE, Mata PCM, Lino CA, Macho VMP, Areias CMFGP, Norton APMAP, et al. Dental hypomineralization treatment: A systematic review. *Journal of esthetic and restorative dentistry* 2019;31 (1):26-39.
48. Darling CL, Huynh GD, Fried D. Light scattering properties of natural and artificially demineralized dental enamel at 1310 nm. *J Biomed Opt* 2006;11 (3):34023.
49. Dauti R. CAD/CAM-Technologien in der Zahnmedizin. *Stomatologie*. Ausgabe 4-5. *Springer Verlag* 2015;112: 136-139.
50. De Zutter M, Vandenbulcke JD, Van Acker JWG, Martens LC. In vivo correlation of near-infrared transillumination and visual inspection with bitewing radiography for the detection of interproximal caries in permanent and primary teeth. *Eur Arch Paediatr Dent* 2020;21:509-518.
51. Dias NS, Tsingene F. SAEF--Smile's Aesthetic Evaluation Form: A Useful Tool to Improve Communication Between Clinicians and Patients During Multidisciplinary Treatment. *European Journal of Esthetic Dentistry* 2011;6 (2).
52. Dietrich G, Sperling S, Hetzer G. Molar incisor hypomineralisation in a group of children and adolescents living in Dresden (Germany). *European journal of paediatric dentistry* 2003;4:133-137.
53. Diniz MB, de Almeida Rodrigues J, Lussi A. Traditional and Novel Caries Detection Methods. In: Li M-Y (Hrsg.). *Contemporary Approach to Dental Caries*. Croatia: *InTechOpen* 2012;Kapitel 6:105-128.
54. Dowell P, Addy M. Dentine hypersensitivity- A review: Aetiology, symptoms and theories of pain production. *Journal of clinical periodontology* 1983;10 (4):341-350.
55. DüNDAR A, Ciftci ME, Isman O, Aktan AM. In vivo performance of near-infrared light transillumination for dentine proximal caries detection in permanent teeth. *Saudi Dent J* 2020;32 (4):187-193.
56. Duret F. Dental CAD/CAM. *Journal of the American Dental Association (1939)* 1992;123 (6):11-14.
57. Ebel M, Bekes K, Klode C, Hirsch C. The severity and degree of hypomineralisation in teeth and its influence on oral hygiene and caries prevalence in children. *International Journal of Paediatric Dentistry* 2018;28 (6):648-657.
58. Edwards J, Waite-Jones J, Schwarz T, Swallow V. Digital technologies for children and parents sharing self-management in childhood chronic or long-term conditions: A scoping review. *Children* 2021;8 (12):1203.

59. Ekstrand K, Martignon S. Visuell-taktile Detektion und Beurteilung. In: Meyer-Lückel H, Paris S, Ekstrand KR (Hrsg.). *Karies*. 1. Auflage. Stuttgart: *Georg Thieme Verlag* 2012; Kapitel 5:76-94.
60. Ekstrand K, Qvist V, Thylstrup A. Light microscope study of the effect of probing in occlusal surfaces. *Caries Res* 1987;21 (4):368-374.
61. Ekstrand K, Ricketts D, Longbottom C, Pitts N. Visual and tactile assessment of arrested initial enamel carious lesions: an in vivo pilot study. *Caries Res* 2005;39 (3):173-177.
62. Ekstrand KR, Ricketts DN, Kidd EA. Occlusal caries: pathology, diagnosis and logical management. *Dent Update* 2001;28 (8):380-387.
63. Ekstrand KR, Ricketts DN, Kidd EA. Reproducibility and accuracy of three methods for assessment of demineralization depth of the occlusal surface: an in vitro examination. *Caries Res* 1997;31 (3):224-231.
64. Ekstrand KR, Ricketts DN, Kidd EA, Qvist V, Schou S. Detection, diagnosing, monitoring and logical treatment of occlusal caries in relation to lesion activity and severity: an in vivo examination with histological validation. *Caries Res* 1998;32 (4):247-254.
65. Elfrink M, Ghanim A, Manton D, Weerheijm K. Standardised studies on molar incisor hypomineralisation (MIH) and hypomineralised second primary molars (HSPM): a need. *European Archives of Paediatric Dentistry* 2015;16 (3):247-255.
66. Elhennawy K, Manton DJ, Crombie F, Zaslansky P, Radlanski RJ, Jost-Brinkmann P-G, et al. Structural, mechanical and chemical evaluation of molar-incisor hypomineralization-affected enamel: A systematic review. *Archives of oral biology* 2017;83:272-281.
67. Elhennawy K, Schwendicke F. Managing molar-incisor hypomineralization: a systematic review. *Journal of dentistry* 2016;55:16-24.
68. Ender A, Zimmermann M, Attin T, Mehl A. In vivo precision of conventional and digital methods for obtaining quadrant dental impressions. *Clin Oral Investig* 2016;20 (7):1495-1504.
69. Engelhardt J, Knebel W. Konfokale Laserscanning- Mikroskopie. *Physik in unserer Zeit* 1993;24 (2):70-78.
70. Espelid I, Tveit AB, Fjelltveit A. Variations among dentists in radiographic detection of occlusal caries. *Caries Res* 1994;28 (3):169-175.
71. Fagrell TG, Dietz W, Jälevik B, Norén JG. Chemical, mechanical and morphological properties of hypomineralized enamel of permanent first molars. *Acta Odontologica Scandinavica* 2010;68 (4):215-222.
72. Farah R, Swain M, Drummond B, Cook R, Atieh M. Mineral density of hypomineralised enamel. *Journal of dentistry* 2010;38 (1):50-58.
73. Fatturi AL, Wambier LM, Chibinski AC, Assunção LRdS, Brancher JA, Reis A, et al. A systematic review and meta- analysis of systemic exposure associated with molar incisor hypomineralization. *Community dentistry and oral epidemiology* 2019;47 (5):407-415.
74. Fejerskov O. Changing paradigms in concepts on dental caries: consequences for oral health care. *Caries Res* 2004;38 (3):182-191.

75. Fejerskov O. Concepts of dental caries and their consequences for understanding the disease. *Community Dent Oral Epidemiol* 1997;25 (1):5-12.
76. Foster T, Perinpanayagam H, Pfaffenbach A, Certo M. Recurrence of early childhood caries after comprehensive treatment with general anesthesia and follow-up. *Journal of dentistry for children* 2006;73 (1):25-30.
77. Fried D, Glens RE, Featherstone JD, Seka W. Nature of light scattering in dental enamel and dentin at visible and near-infrared wavelengths. *Appl Opt* 1995;34 (7):1278-1285.
78. Fried D, Staninec M, Darling CL. Near-Infrared Imaging of Dental Decay at 1310 nm. *Journal of Laser Dentistry* 2010;18 (1):8-16.
79. Friedman J, Marcus MI. Transillumination of the oral cavity with use of fiber optics. *J Am Dent Assoc* 1970;80 (4):801-809.
80. Frigerio F. 3-Dimensional Surface Imaging Using Active Wavefront Sampling. *Thesis, Massachusetts Institute of Technology* 2006;27-49.
81. Fuhrmann A. Röntgenbefund und Diagnostik. In: Fuhrmann A (Hrsg.). *Zahnärztliche Radiologie*. 5. Auflage. Stuttgart: *Georg Thieme Verlag* 2013; Kapitel 11:148-174.
82. Fütterer, J. Untersuchung zum Einfluss der Therapie von Zähnen mit Molaren-Inzisiven-Hypomineralisation auf die Mundhygiene und die Lebensqualität von Kindern und Jugendlichen. *Dissertation, Universität Leipzig* 2020; 2-8.
83. Geiselhöringer H, Holst S. CAD/CAM goes on - Neue Scanverfahren und Anwendungsbereiche eröffnen Chancen. *Digital Dental News* 2009;3:56-59.
84. Geurtsen W, Hellwig E, Klimek J. S2k-Leitlinie „Kariesprophylaxe bei bleibenden Zähne - grundlegende Empfehlung“. *Oralprophylaxe & Kinderzahnheilkunde* 2017;39 (2):88-92.
85. Ghanim A, Silva M, Elfrink M, Lygidakis N, Mariño R, Weerheijm K, et al. Molar incisor hypomineralisation (MIH) training manual for clinical field surveys and practice. *European Archives of Paediatric Dentistry* 2017;18 (4):225-242.
86. Glaser J, Nouri S, Fernandez A, Sudore RL, Schillinger D, Klein-Fedyshin M, et al. Interventions to improve patient comprehension in informed consent for medical and surgical procedures: an updated systematic review. *Medical Decision Making* 2020;40 (2):119-143.
87. Gomez J. Detection and diagnosis of the early caries lesion. *BMC Oral Health* 2015;15 Suppl 1:S3.
88. Groman R, Ginsburg J. Racial and ethnic disparities in health care: a position paper of the American College of Physicians. *Annals of Internal Medicine* 2004;141 (3):226.
89. Gwet KL. Computing inter-rater reliability and its variance in the presence of high agreement. *British Journal of Mathematical and Statistical Psychology* 2008;61 (1):29-48.
90. Haak R, Kühnisch J. Visuelle Kariesdiagnostik mit ICDAS. *Quintessenz* 2011;62 (11):1425-1430.

91. Haak R, Wicht MJ. Radiologische und zusätzliche diagnostische Verfahren. In: Meyer-Lückel H, Paris S, Ekstrand K (Hrsg.). Karies. Stuttgart: *Georg Thieme Verlag* 2012; Kapitel 6:96-111.
92. Hahn B, Krastl G, Halbleib K, Soliman S. Management of a Patient with Hypomineralized Teeth from the Mixed to Permanent Dentition Stage—A Case Report with 6-year Follow-up. *J Adhes Dent* 2020;20:1-9.
93. Harten U. Physik: Eine Einführung für Ingenieure und Naturwissenschaftler. *Springer Verlag* 2014;311-379.
94. Hashizume LN, Mathias TC, Cibils DM, Maltz M. Effect of the widespread use of fluorides on the occurrence of hidden caries in children. *International journal of paediatric dentistry* 2013;23 (1):72-76.
95. Hausen H. Caries prediction - state of the art. *Community Dent Oral Epidemiol* 1997;25:87-96.
96. Heinrich-Weltzien R, Haak R, Buchalla W, Kühnisch J. Kariesdiagnostik - Eine Herausforderung für den Zahnarzt? *ZWR-Das deutsche Zahnärzblatt* 2008;117 (04):160-168.
97. Heinrich-Weltzien R, Kühnisch J, Oehme T, Weerheijm K, Stöber L. Okklusalkaries-Diagnostik - Ein Vergleich von DIAGNOdent mit konventionellen Methoden. *Oralprophylaxe* 2003;25:77-80.
98. Heitmueller D, Thiering E, Hoffmann U, Heinrich J, Manton D, Kühnisch J, et al. Is there a positive relationship between molar incisor hypomineralisations and the presence of dental caries? *International journal of paediatric dentistry* 2013;23 (2):116-124.
99. Hellmuth T. Neuere Methoden in der konfokalen Mikroskopie. *Physikalische Blätter* 1993;49 (6):489-491.
100. Hellwig E, Klimek J, Attin J. Ätiologie, Histologie und Epidemiologie der Karies und anderer Zahnhartsubstanzdefekte. Einführung in die Zahnerhaltung. 6. Auflage. Köln: *Deutscher Zahnärzte Verlag* 2013;Kapitel 2:15-78.
101. Hellwig E, Klimek J, Attin J. Befunderhebung und Diagnose im Rahmen der Karietherapie. Einführung in die Zahnerhaltung. 6. Auflage. Köln: *Deutscher Zahnärzte Verlag* 2013;Kapitel 3:79-114.
102. Hellwig E, Klimek J, Attin T. Einführung in die Zahnerhaltung. *Deutscher Zahnärzte Verlag* 2007;Kapitel 2:17-47.
103. Hertel S, Seume M, Hannig C, Viergutz G. Untersuchung zur Molaren-Inzisiven-Hypomineralisation (MIH) bei 7-bis 9-jährigen Dresdner Schülern: Molar-incisor-hypomineralization (MIH) in 7-to 9-year old Dresden pupils. *Oralprophylaxe & Kinderzahnheilkunde* 2017;39 (2):65-71.
104. Hibbard JH. Engaging health care consumers to improve the quality of care. *Medical care* 2003;I61-I70.
105. Hibst R, Paulus R, Lussi A. Detection of occlusal caries by laser fluorescence: basic and clinical investigations. *Medical Laser Application* 2001;16 (3):205-213.
106. Hintze H, Wenzel A. Clinically undetected dental caries assessed by bitewing screening in children with little caries experience. *Dentomaxillofac Radiol* 1994;23 (1):19-23.

107. Horowitz AM, Kleinman DV. Oral health literacy: the new imperative to better oral health. *Dental Clinics of North America* 2008;52 (2):333-344.
108. Imanishi H. Post eruptive maturation of immature young permanent enamel. *J Int Assoc Dent Child* 1983;14:49-54.
109. Ismail AI, Pitts NB, Tellez M, Banerjee A, Deery C, Douglas G, et al. The International Caries Classification and Management System (ICCMS) An Example of a Caries Management Pathway. *BMC Oral Health* 2015;15 Suppl 1:S9.
110. Jablonski-Momeni A, Rosen SM, Schipper HM, Stoll R, Roggendorf MJ, Heinzl-Gutenbrunner M, et al. Impact of measuring multiple or single occlusal lesions on estimates of diagnostic accuracy using fluorescence methods. *Lasers in Medical Science* 2012;27:343-352.
111. Jablonski-Momeni A, Schipper HM, Rosen SM, Heinzl-Gutenbrunner M, Roggendorf MJ, Stoll R, et al. Performance of a fluorescence camera for detection of occlusal caries in vitro. *Odontology* 2011;99:55-61.
112. Jablonski-Momeni A, Stachniss V, Ricketts DN, Heinzl-Gutenbrunner M, Pieper K. Reproducibility and accuracy of the ICDAS-II for detection of occlusal caries in vitro. *Caries Res* 2008;42 (2):79-87.
113. Jablonski- Momeni A, Busche JF, Struwe C, Lange J, Heinzl- Gutenbrunner M, Frankenberger R, et al. Use of the international caries detection and assessment system two- digit coding method by predoctoral dental students at Philipps University of Marburg, Germany. *Journal of dental education* 2012;76 (12):1657-1666.
114. Jafri Z, Ahmad N, Sawai M, Sultan N, Bhardwaj A. Digital Smile Design-An innovative tool in aesthetic dentistry. *Journal of oral biology and craniofacial research* 2020;10 (2):194-198.
115. Jälevik B. Prevalence and diagnosis of molar-incisor-hypomineralisation (MIH): a systematic review. *European Archives of Paediatric Dentistry* 2010;11:59-64.
116. Jälevik B, Klingberg G, Barregård L, Norén JG. The prevalence of demarcated opacities in permanent first molars in a group of Swedish children. *Acta Odontologica Scandinavica* 2001;59 (5):255-260.
117. James X, Hawkins A, Rowel R. An assessment of the cultural appropriateness of emergency preparedness communication for low income minorities. *Journal of Homeland Security and Emergency Management* 2007;4 (3).
118. Jasulaityte L, Weerheijm K, Veerkamp J. Prevalence of molar-incisor-hypomineralisation among children participating in the Dutch National Epidemiological Survey (2003). *European Archives of Paediatric Dentistry* 2008;9:218-223.
119. Jordan A, Micheelis W. Fünfte Deutsche Mundgesundheitsstudie (DMS V) *Deutscher Zahnärzte Verlag* 2016:6-13.
120. Jordan RA, Bodechtel C, Hertrampf K, Hoffmann T, Kocher T, Nitschke I, et al. The fifth German oral health study (Fünfte Deutsche Mundgesundheitsstudie, DMS V)–Rationale, design, and methods. *BMC oral health* 2014;14 (1):1-12.

121. Kamal AMM, Okiji T, Kawashima N, Suda H. Defense responses of dentin/pulp complex to experimentally induced caries in rat molars: An immunohistochemical study on kinetics of pulpal Ia antigen-expressing cells and macrophages. *Journal of Endodontics* 1997;23 (2):115-120.
122. Karlsson L, Maia AM, Kyotoku BB, Tranaeus S, Gomes AS, Margulis W. Near-infrared transillumination of teeth: measurement of a system performance. *J Biomed Opt* 2010;15 (3):036001.
123. KaVo Dental GmbH; KaVo DIAGNOcam. Klassifikation und Befunde. [aktualisiert am 19.11.2021]. Link: <https://www.kavo.com/de-de/resource-center/diagnocam-klassifikation-und-befunde>.
124. Kawashita Y, Kitamura M, Saito T. Early childhood caries. *International journal of dentistry* 2011;2011.
125. Kidd EA, Fejerskov O. What constitutes dental caries? Histopathology of carious enamel and dentin related to the action of cariogenic biofilms. *J Dent Res* 2004;83 Spec No C:C35-38.
126. Kingman A. Statistical issues in risk models for caries. *Risk assessment in dentistry* 1990:193-200.
127. König K, Flemming G, Hibst R. Laser-induced autofluorescence spectroscopy of dental caries. *Cell Mol Biol (Noisy-le-grand)* 1998;44 (8):1293-1300.
128. Krämer N, Frankenberger R. Füllungstherapie im Milchgebiss. *Zahnmedizin up2date* 2009;3 (04):339-358.
129. Krämer N, Michel R, Englert S, Petschelt A, Frankenberger R. Oral health of bavarian schoolchildren 2009. *Oralprophylaxe Kinderzahnheilkd* 2011;34:74-82.
130. Kühnisch J, Bücher K, Henschel V, Albrecht A, Garcia-Godoy F, Mansmann U, et al. Diagnostic performance of the universal visual scoring system (UniViSS) on occlusal surfaces. *Clin Oral Investig* 2011;15 (2):215-223.
131. Kühnisch J, Goddon I, Berger S, Senkel H, Bucher K, Oehme T, et al. Development, methodology and potential of the new Universal Visual Scoring System (UniViSS) for caries detection and diagnosis. *Int J Environ Res Public Health* 2009;6 (9):2500-2509.
132. Kühnisch J, Haak R, Buchalla W, R. H-W. Kariesdetektion und -diagnostik bei Kindern und Jugendlichen. *Oralprophylaxe & Kinderzahnheilkunde* 2007;29:166-171.
133. Kühnisch J, Heinrich-Weltzien R, Tabatabaie M, Stosser L, Huysmans MC. An in vitro comparison between two methods of electrical resistance measurement for occlusal caries detection. *Caries Res* 2006;40 (2):104-111.
134. Kühnisch J, Heitmüller D, Thiering E, Brockow I, Hoffmann U, Neumann C, et al. Proportion and extent of manifestation of molar- incisor- hypomineralizations according to different phenotypes. *Journal of public health dentistry* 2014;74 (1):42-49.
135. 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* 2009;38 (7):452-457.

136. Kühnisch J, Kabary L, Malyk Y, Rothmaier K, Metz I, Hickel R, et al. Relationship between caries experience and demarcated hypomineralised lesions (including MIH) in the permanent dentition of 15-year-olds. *Clinical oral investigations* 2018;22 (5):2013-2019.
137. Kühnisch J, Reichl F-X, Heinrich-Weltzien R, Hickel R. S3-Leitlinie „Fissuren- und Grübchenversiegelung“. *Oralprophylaxe & Kinderzahnheilkunde* 2016;38 (3):120-125.
138. Kühnisch J, Sochtig F, Pitchika V, Laubender R, Neuhaus KW, Lussi A, et al. In vivo validation of near-infrared light transillumination for interproximal dentin caries detection. *Clin Oral Investig* 2016;20 (4):821-829.
139. Kühnisch J, Thiering E, Kratzsch J, Heinrich-Weltzien R, Hickel R, Heinrich J, et al. Elevated serum 25 (OH)-vitamin D levels are negatively correlated with molar-incisor hypomineralization. *Journal of dental research* 2015;94 (2):381-387.
140. Lagarde M, Vennat E, Attal Jp, Dursun E. Strategies to optimize bonding of adhesive materials to molar- incisor hypomineralization- affected enamel: A systematic review. *International Journal of Paediatric Dentistry* 2020;30 (4):405-420.
141. Laitala M-L, Piipari L, Sämpi N, Korhonen M, Pesonen P, Joensuu T, et al. Validity of digital imaging of fiber-optic transillumination in caries detection on proximal tooth surfaces. *International journal of dentistry* 2017;2017.
142. Landis JR, Koch GG. The measurement of observer agreement for categorical data. *biometrics* 1977;159-174.
143. Lavonius E, Kerosuo E, Kallio P, Pietilä I, Mjör IA. Occlusal restorative decisions based on visual inspection—calibration and comparison of different methods. *Community dentistry and oral epidemiology* 1997;25 (2):156-159.
144. Lederer A, Kunzelmann KH, Heck K, Hickel R, Litzemberger F. In-vitro validation of near-infrared reflection for proximal caries detection. *Eur J Oral Sci* 2019;127 (6):515-522.
145. Lederer A, Kunzelmann KH, Heck K, Hickel R, Litzemberger F. In vitro validation of near-infrared transillumination at 780 nm for the detection of caries on proximal surfaces. *Clin Oral Investig* 2019;23 (11):3933-3940.
146. Lehmann KM, Hellwig E, Wenz HJ. Erkrankungen der Zahnhartsubstanzen. Zahnärztliche Propädeutik. 12. Auflage. Köln: *Deutscher Zahnärzte Verlag* 2011; Kapitel 6:105-116.
147. Leisenberg D, Groß D. Visualisierungen und Visualisierungsstrategien in der Zahnheilkunde. *Ethik in der Medizin* 2016;1 (29):23-39.
148. Lenander-Lumikari M, Loimaranta V. Saliva and dental caries. *Advances in dental research* 2000;14 (1):40-47.
149. Lieber W. Die Fluoreszenz von Mineralen. *Vereinigung der Freunde der Mineralogie und Geologie (VFMG)* 1957; 10-23.
150. Lin W-S, Zandinejad A, Metz M, Harris B, Morton D. Predictable restorative work flow for computer-aided design/computer-aided manufacture–fabricated ceramic veneers utilizing a virtual smile design principle. *Operative dentistry* 2015;40 (4):357-363.

151. Listl S, Galloway J, Mossey P, Marcenes W. Global economic impact of dental diseases. *Journal of dental research* 2015;94 (10):1355-1361.
152. Litzemberger F, Heck K, Pitchika V, Neuhaus KW, Jost FN, Hickel R, et al. Inter- and intraexaminer reliability of bitewing radiography and near-infrared light transillumination for proximal caries detection and assessment. *Dentomaxillofacial Radiology* 2018;47:20170292.
153. Loesche WJ. Role of Streptococcus mutans in human dental decay. *Microbiol Rev* 1986;50 (4):353-380.
154. Logozzo S, Franceschini G, Caponi M, Governi L, Blois L. A Comparative Analysis Of Intraoral 3d Digital Scanners For Restorative Dentistry. *The Internet Journal of Medical Technology* 2011;5 (1):18.
155. Logozzo S, Zanetti E, Franceschini G, Kilpelä A, Mäkynen A. Recent advances in dental optics – Part I: 3D intraoral scanners for restorative dentistry. *Optics and Lasers in Engineering-Elsevier Ltd* 2014;54:203-221.
156. Lussi A. Comparison of different methods for the diagnosis of fissure caries without cavitation. *Caries Res* 1993;27 (5):409-416.
157. Lussi A. Performance of a new laser fluorescence device for the detection of occlusal caries in vitro. *J Dent* 2006;34(7):467-71.
158. Lussi A. Validity of diagnostic and treatment decisions of fissure caries. *Caries Res* 1991;25 (4):296-303.
159. Lussi A, Hibst R, Paulus R. DIAGNOdent: an optical method for caries detection. *Journal of dental research* 2004;80-83.
160. Lussi A, Schroeder A. Methoden zur Diagnose und Verlaufsd Diagnose der Karies. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 1998;108:357-364.
161. Luthardt RG, Kordaß B, Moldovan O. Kronen und Brücken: CAD/CAM-Verfahren. In: Marxkors R (Hrsg.). Lehrbuch der zahnärztlichen Prothetik. 5. Auflage. Köln: *Deutscher Zahnärzterverlag* 2010;Kapitel 5:109-124.
162. Lygidakis N, Wong F, Jälevik B, Vierrou A, Alaluusua S, Espelid I. Best Clinical Practice Guidance for clinicians dealing with children presenting with Molar-Incisor-Hypomineralisation (MIH). *European Archives of Paediatric Dentistry* 2010;11 (2):75-81.
163. Lygidakis NA, Dimou G, Marinou D. Molar-incisor-hypomineralisation (MIH). A retrospective clinical study in Greek children. II. Possible medical aetiological factors. *European Archives of Paediatric Dentistry* 2008;9:207-217.
164. Lynch RJ. The primary and mixed dentition, post-eruptive enamel maturation and dental caries: a review. *International dental journal* 2013;63:3-13.
165. Mangano F, Gandolfi A, Luongo G, Logozzo S. Intraoral scanners in dentistry: a review of the current literature. *BMC Oral Health* 2017;17 (1):149.
166. Marczuk-Kolada G, Luczaj-Cepowicz E, Obidzinska M, Rozycki J. Performance of ICDAS II and fluorescence methods on detection of occlusal caries-An ex vivo study. *Photodiagnosis Photodyn Ther* 2020;29:101609.
167. Marsh PD. Microbial ecology of dental plaque and its significance in health and disease. *Advances in dental research* 1994;8 (2):263-271.

168. Marthaler TM. Changes in dental caries 1953-2003. *Caries Res* 2004;38 (3):173-181.
169. Marthaler TM. A standardized system of recording dental conditions. *Helv Odontol Acta* 1966;10 (1):1-18.
170. Mathur VP, Dhillon JK. Dental caries: a disease which needs attention. *The Indian Journal of Pediatrics* 2018;85:202-206.
171. Mattos-Silveira J, Oliveira MM, Matos R, Moura-Netto C, Mendes FM, Braga MM. Do the ball-ended probe cause less damage than sharp explorers?—An ultrastructural analysis. *BMC oral health* 2016;16:1-7.
172. Mepparambath R, Bhat SS, Hegde SK, Anjana G, Sunil M, Mathew S. Comparison of proximal caries detection in primary teeth between laser fluorescence and bitewing radiography: An in vivo study. *International journal of clinical pediatric dentistry* 2014;7 (3):163.
173. Metzger Z, Colson DG, Bown P, Weihard T, Baresel I, Nolting T. Reflected near-infrared light versus bite-wing radiography for the detection of proximal caries: a multicenter prospective clinical study conducted in private practices. *J Dent* 2021:103861.
174. Meyer-Lückel H, Paris S, Ekstrand K. Karies: Wissenschaft und Klinische Praxis. *Georg Thieme Verlag* 2012:23-59, 77-108.
175. Michou S, Benetti AR, Vannahme C, Hermannsson PG, Bakhshandeh A, Ekstrand KR. Development of a Fluorescence-Based Caries Scoring System for an Intraoral Scanner: An in vitro Study. *Caries Res* 2020:1-12.
176. Michou S, Lambach MS, Ntovas P, Benetti AR, Bakhshandeh A, Rahiotis C, et al. Automated caries detection in vivo using a 3D intraoral scanner. *Sci Rep* 2021;11 (1):21276.
177. Michou S, Vannahme C, Bakhshandeh A, Ekstrand KR, Benetti AR. Intraoral scanner featuring transillumination for proximal caries detection. An in vitro validation study on permanent posterior teeth. *Journal of Dentistry* 2022;116:103841.
178. Mitropoulos CM. The use of fibre-optic transillumination in the diagnosis of posterior approximal caries in clinical trials. *Caries Res* 1985;19 (4):379-384.
179. Mohamed Nur M, Vazquez L, Anton Y, Otero C, Giacobino C, Krejci I, Abdelaziz M. Near-Infrared Transillumination for Occlusal Carious Lesion Detection: A Retrospective Reliability Study. *Diagnostics* 2022;13 (1):36.
180. Mormann WH. The evolution of the CEREC system. *J Am Dent Assoc* 2006;137 :7-13.
181. Mormann WH, Brandestini M, Lutz F, Barbakow F, Gotsch T. CAD-CAM ceramic inlays and onlays: a case report after 3 years in place. *J Am Dent Assoc* 1990;120 (5):517-520.
182. Mortimer KV. The relationship of deciduous enamel structure to dental disease. *Caries Res* 1970;4 (3):206-223.
183. Müller P, Ender A, Joda T, Katsoulis J. Impact of digital intraoral scan strategies on the impression accuracy using the TRIOS Pod scanner. *Quintessence Int* 2016;47 (4):343-349.

184. Nedelcu RG, Persson AS. Scanning accuracy and precision in 4 intraoral scanners: an in vitro comparison based on 3-dimensional analysis. *J Prosthet Dent* 2014;112 (6):1461-1471.
185. Neuhaus K, Longbottom C, Ellwood R, Lussi A. Novel lesion detection aids. *Detection, assessment, diagnosis and monitoring of caries* 2009;21:52-62.
186. Ntovas P, Michou S, Benetti A, Bakhshandeh A, Ekstrand K, Rahiotis C, et al. Occlusal caries detection on 3D models obtained with an intraoral scanner. A validation study. *Journal of Dentistry* 2023:104457.
187. Nyvad B, Fejerskov O. Assessing the stage of caries lesion activity on the basis of clinical and microbiological examination. *Community dentistry and oral epidemiology* 1997;25 (1):69-75.
188. Nyvad B, Machiulskiene V, Baelum V. Reliability of a new caries diagnostic system differentiating between active and inactive caries lesions. *Caries Res* 1999;33 (4):252-260.
189. Oberhofer O. Kariesdiagnostik in der Praxis mit DIFOTI-Systemen. *Laser Journal* 2013:6-11.
190. Özkan G, Kanli A, Başeren NM, Arslan U, Tatar İ. Validation of micro-computed tomography for occlusal caries detection: an in vitro study. *Brazilian oral research* 2015;29:01-07.
191. Paris S, Ekstrand KR, Meyer-Lückel H. Von der Diagnostik zur Therapie. In: Meyer-Lückel H, Paris S, Ekstrand KR (Hrsg.). *Karies*. 1. Auflage. Stuttgart: Georg Thieme Verlag 2012; Kapitel 9:146-159.
192. Paris S, Meyer-Lückel H. Paradigmenwechsel. In: Meyer-Lückel H, Paris S, Ekstrand K (Hrsg.). *Karies*. 1. Auflage. Stuttgart: Georg Thieme Verlag 2012; Kapitel 4:71-75.
193. Peres MA, Macpherson LM, Weyant RJ, Daly B, Venturelli R, Mathur MR, et al. Oral diseases: a global public health challenge. *The Lancet* 2019;394 (10194):249-260.
194. Peretz B, Ram D, Azo E, Efrat Y. Preschool caries as an indicator of future caries: a longitudinal study. *Pediatric dentistry* 2003;25 (2):114-118.
195. Peter Rehmann P, Sichwardt V, Wöstmann B. Intraoral Scanning Systems: Need for Maintenance. *Int J Prosthodont* 2017;30(1):27-29.
196. Petrou MA, Giraki M, Bissar AR, Basner R, Wempe C, Altarabulsi MB, et al. Prevalence of Molar-Incisor-Hypomineralisation among school children in four German cities. *International Journal of Paediatric Dentistry* 2014;24 (6):434-440.
197. Pisano M, Bramanti A, Menditti D, Sangiovanni G, Santoro R, Amato A. Modern Approaches to Providing Telematics Oral Health Services in Pediatric Dentistry: A Narrative Review. *Applied Sciences* 2023;13 (14):8331.
198. Pitts N. "ICDAS" - an international system for caries detection and assessment being developed to facilitate caries epidemiology, research and appropriate clinical management. *Community Dent Health* 2004;21 (3):193-198.
199. Pitts NB, Twetman S, Fisher J, Marsh PD. Understanding dental caries as a non-communicable disease. *British dental journal* 2021;231 (12):749-753.

200. Pitts NB, Zero DT, Marsh PD, Ekstrand K, Weintraub JA, Ramos-Gomez F, et al. Dental caries. *Nat Rev Dis Primers* 2017;3:17030.
201. Planmeca Oy; Planmeca Emerald™ S - Extrem schnelles Scannen mit hervorragender Benutzerfreundlichkeit [aktualisiert am 19.11.2021]. Link: <https://materialbank.planmeca.com/catalog/Brochures/r/1642/viewmode=previevview/fc=4%3A1>.
202. Poorterman JH, Aartman IH, Kieft JA, Kalsbeek H. Value of bite-wing radiographs in a clinical epidemiological study and their effect on the DMFS index. *Caries Res* 2000;34 (2):159-163.
203. Poticny DJ, Klim J. CAD/CAM in-office technology: Innovations after 25 years for predictable, esthetic outcomes. *American Dental Association* 2010;141:5-9.
204. Pretty IA. Caries detection and diagnosis: novel technologies. *Journal of dentistry* 2006;34 (10):727-739.
205. Preusser SE, Ferring V, Wleklinski C, Wetzel WE. Prevalence and severity of molar incisor hypomineralization in a region of Germany—a brief communication. *Journal of public health dentistry* 2007;67 (3):148-150.
206. Reich S. Conventional versus virtual--it's the perspective that counts. *Laufersweiler Verlag* 2014;271-272.
207. Reich S, Vollborn T, Wolfart S. Die optische intraorale Abformung – vier Systeme im Überblick. *Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift* 2012;67 (3):177-189.
208. Reich S, Yatmaz B, Raith S. Do “cut out-rescan” procedures have an impact on the accuracy of intraoral digital scans? *J Prosthet Dent* 2020:1-6.
209. Richert R, Goujat A, Venet L, Viguie G, Viennot S, Robinson P, et al. Intraoral Scanner Technologies: A Review to Make a Successful Impression. *J Healthc Eng* 2017;2017:8427595.
210. Ricketts D, Kidd E, Weerheijm K, de Soet H. Hidden caries: what is it? Does it exist? Does it matter? *Int Dent J* 1997;47 (5):259-265.
211. Ripa LW. Nursing caries: a comprehensive review. *Pediatr Dent* 1988;10 (4):268-282.
212. Rosentritt M, Ilie N, Lohbauer U. Werkstoffkunde in der Zahnmedizin. *Georg Thieme Verlag* 2018;17-22.
213. Sawan NM. Clear aligners in patients with amelogenesis and dentinogenesis imperfecta. *International Journal of Dentistry* 2021;2021.
214. Schaefer G, Pitchika V, Litzemberger F, Hickel R, Kuhnisch J. Evaluation of occlusal caries detection and assessment by visual inspection, digital bitewing radiography and near-infrared light transillumination. *Clin Oral Investig* 2018;22 (7):2431-2438.
215. Schaffner M, Stich H, Megert B, Lussi A. Tertiärdentin. *Swiss Dental Journal SSO* 2016;126:1028-1029.
216. Schlenz MA; Intraoralscanner: Wie praxistauglich sind sie? [aktualisiert am 19.11.2021]. Link: https://www.zmk-aktuell.de/fachgebiete/digitale-praxis/story/intraoralscanner-wie-praxistauglich-sind-sie_7982.html.

217. Schlenz MA, Schlenz MB, Wöstmann B, Jungert A, Ganss C. Intraoral scanner-based monitoring of tooth wear in young adults: 12-month results. *Clinical oral investigations* 2022;26 (2):1869-1878.
218. Schlenz MA, Schupp B, Schmidt A, Wöstmann B, Baresel I, Krämer N, et al. New caries diagnostic tools in intraoral scanners: A comparative in vitro study to established methods in permanent and primary teeth. *Sensors* 2022;22 (6):2156.
219. Schmidt A, Schlenz MA, Wöstmann B. Intraoralscanner im Fokus–mehr als nur eine digitale Abformung? *ZWR-Das Deutsche Zahnärzteblatt* 2019;128 (07/08):371-375.
220. Schmitter M. Computergestützte restaurative Zahnheilkunde: Was kann der „digitale Workflow“ heute leisten? *Springer Verlag* 2012;5-6.
221. Schneiderman A, Elbaum M, Shultz T, Keem S, Greenebaum M, Driller J. Assessment of dental caries with Digital Imaging Fiber-Optic Transillumination (DIFOTI): in vitro study. *Caries Res* 1997;31 (2):103-110.
222. Schubinski P. Die digitale Abformung – Computer Aided Impressioning (CAI). *Kurzreferate 2011 - 40 Jahrestag der Arbeitsgemeinschaft Dentale Technologie eV* 2011:40-49.
223. Schulte A, Gente M, Pieper K. Post-eruptive changes of electrical resistance values in fissure enamel of premolars. *Caries research* 1999;33 (3):242-247.
224. Schweiger J, Kieschnick A. CAD/CAM in der digitalen Zahnheilkunde. *teamwork media GmbH* 2017; 51-76.
225. Schwendicke F, Elhennawy K, Paris S, Friebertshäuser P, Krois J. Deep learning for caries lesion detection in near-infrared light transillumination images: A pilot study. *J Dent* 2020;92:103260.
226. Schwendicke F, Elhennawy K, Reda S, Bekes K, Manton DJ, Krois J. Global burden of molar incisor hypomineralization. *Journal of dentistry* 2018;68:10-18.
227. Schwendicke F, Tzschoppe M, Paris S. Radiographic caries detection: a systematic review and meta-analysis. *Journal of dentistry* 2015;43 (8):924-933.
228. Serna C, Vicente A, Finke C, Ortiz AJ. Drugs related to the etiology of molar incisor hypomineralization: a systematic review. *The Journal of the American Dental Association* 2016;147 (2):120-130.
229. Shellis P. Ätiologie und Pathogenese der Karies. In: Meyer-Lückel H, Paris S, Ekstrand KR (Hrsg.). *Thieme Verlag* 2012; Kapitel 2:22-41.
230. Shorey R, Moore KE. Clinical digital photography today: integral to efficient dental communications. *Journal of the California Dental Association* 2009;37 (3):175-177.
231. Söchtig F, Hickel R, Kühnisch J. Caries detection and diagnostics with near-infrared light transillumination: clinical experiences. *Quintessence Int* 2014;45 (6):531-538.
232. Steinman R. Physiologic activity of the pulp-dentin complex. *Quintessence International* 1985;16 (10):723-726.

233. Stodt T, Attin T. Die Bissflügel-Röntgenaufnahme als Bestandteil der präventiven Zahnheilkunde – eine Übersicht. *Schweizer Monatsschrift für Zahnmedizin* 2004;114:882-889.
234. Strassler HE, Porter J, Serio CL. Contemporary treatment of incipient caries and the rationale for conservative operative techniques. *Dent Clin North Am* 2005;49 (4):867-887.
235. Strietzel R, Lahl C. Einführung in die CAD/CAM - Systeme. In: Strietzel R, Lahl C (Hrsg.). CAD/CAM - Systeme in Labor und Praxis. München: *Verlag Neuer Merkur GmbH* 2007; Kapitel 1:11-50.
236. Stübel H. Die Fluoreszenz tierischer Gewebe in ultraviolettem Licht. *Pflüger's Archiv für die gesamte Physiologie des Menschen und der Tiere* 1911;142:1-14.
237. Suese K. Progress in digital dentistry: The practical use of intraoral scanners. *Dent Mater J* 2020;39 (1):52-56.
238. Sürme K, Kara NB, Yilmaz Y. In Vitro Evaluation of Occlusal Caries Detection Methods in Primary and Permanent Teeth: A Comparison of CarieScan PRO, DIAGNOdent Pen, and DIAGNOcam Methods. *Photobiomodul Photomed Laser Surg* 2020;38 (2):105-111.
239. Tassoker M, Ozcan S, Karabekiroglu S. Occlusal Caries Detection and Diagnosis Using Visual ICDAS Criteria, Laser Fluorescence Measurements, and Near-Infrared Light Transillumination Images. *Med Princ Pract* 2020;29 (1):25-31.
240. Ten Bosch J, Fennis-Le Y, Verdonschot E. Time-dependent decrease and seasonal variation of the porosity of recently erupted sound dental enamel in vivo. *Journal of dental research* 2000;79 (8):1556-1559.
241. ten Cate JM, Featherstone JD. Mechanistic aspects of the interactions between fluoride and dental enamel. *Crit Rev Oral Biol Med* 1991;2 (3):283-296.
242. Tsirogiannis P, Reissmann DR, Heydecke G. Evaluation of the marginal fit of single-unit, complete-coverage ceramic restorations fabricated after digital and conventional impressions: A systematic review and meta-analysis. *The Journal of prosthetic dentistry* 2016;116 (3):328-335. e322.
243. Uhlmann U. Einleitung und Basics. In: Uhlmann U (Hrsg.). *Kinderzahnheilkunde - Grundlagen für die tägliche Praxis*. 1. Auflage. *Quintessence Publishing* 2019; Kapitel 1:1-8.
244. van der Meer WJ, Andriessen FS, Wismeijer D, Ren Y. Application of intra-oral dental scanners in the digital workflow of implantology. *PLoS One* 2012;7 (8):e43312.
245. Van Dorp C, Exterkate R, Ten Cate J. The effect of dental probing on subsequent enamel demineralization. *ASDC journal of dentistry for children* 1988;55 (5):343-347.
246. Van Nieuw Amerongen A, Bolscher JG, Veerman EC. Salivary proteins: protective and diagnostic value in cariology? *Caries research* 2004;38 (3):247-253.
247. Verdonschot EH, Bronkhorst EM, Burgersdijk RC, König KG, Schaeken MJ, Truin GJ. Performance of some diagnostic systems in examinations for small occlusal carious lesions. *Caries Res* 1992;26 (1):59-64.

248. Vieira AR, Kup E. On the etiology of molar-incisor hypomineralization. *Caries research* 2016;50 (2):166-169.
249. Vitorino R, de Moraes Guedes S, Ferreira R, Lobo MJC, Duarte J, Ferrer- Correia AJ, et al. Two- dimensional electrophoresis study of in vitro pellicle formation and dental caries susceptibility. *European journal of oral sciences* 2006;114 (2):147-153.
250. Wang C, Lai G, Xiang H, Wang J, Han Y, Zhang D. Study on near-infrared diffused reflectance imaging for early caries detection. 2023;10.21203.
251. Wang SJ, Briskie D, Hu JCC, Majewski R, Inglehart MR. Illustrated information for parent education: Parent and patient responses. *Pediatric Dentistry* 2010;32 (4):295-303.
252. Watanabe M, Wang DH, Ijichi A, Shirai C, Zou Y, Kubo M, et al. The influence of lifestyle on the incidence of dental caries among 3-year-old Japanese children. *Int J Environ Res Public Health* 2014;11 (12):12611-12622.
253. Weerheijm K. Molar incisor hypomineralization (MIH). *Eur J Paediatr Dent* 2003;4 (3).
254. Wenzel A, Verdonschot EH, Truin GJ, König KG. Accuracy of visual inspection, fiber-optic transillumination, and various radiographic image modalities for the detection of occlusal caries in extracted non-cavitated teeth. *J Dent Res* 1992;71 (12):1934-1937.
255. Wesemann C, Kienbaum H, Thun M, Spies BC, Beuer F, Bumann A. Does ambient light affect the accuracy and scanning time of intraoral scans? *J Prosthet Dent* 2020;125(6).
256. Willershausen-Zönnchen B. Kinderzahnheilkunde: ein Leitfaden für Ärzte und Zahnärzte. *Urban und Schwarzenberg* 1995;158-162.
257. Willomitzer F, Ettl S, Arold O, Häusler G. Flying triangulation-A motion-robust optical 3D sensor for the real-time shape acquisition of complex objects. *AIP Conference Proceedings*; 2013: *American Institute of Physics* 2013;19-26.
258. World Health Organization. Ending childhood dental caries: WHO implementation manual. *World Health Organization* 2019;5-8.
259. Wöstmann B, Rehmann P. Zahnärztliche Prothetik - Analoge vs. digitale Abformtechniken. *Der freie Zahnarzt* 2013;4:78-86.
260. Wöstmann B, Schlenz MA. Digital versus Analog - Ist die konventionelle Abformung obsolet? *Zahnärztliche Mitteilungen* 2020;12:38-43.
261. Yassin OM. In vitro studies of the effect of a dental explorer on the formation of an artificial carious lesion. *ASDC journal of dentistry for children* 1995;62 (2):111-117.
262. Young DA, Featherstone JD. Digital imaging fiber-optic trans-illumination, F-speed radiographic film and depth of approximal lesions. *J Am Dent Assoc* 2005;136 (12):1682-1687.
263. Zadik Y, Bechor R. Hidden occlusal caries: challenge for the dentist. *N Y State Dent J* 2008;74 (4):46-50.

264. Zaruba M, Mehl A. Chairside systems: a current review. *Int J Comput Dent* 2017;20 (2):123-149.
265. Zhao D, Dong B, Yu D, Ren Q, Sun Y. The prevalence of molar incisor hypomineralization: evidence from 70 studies. *International journal of paediatric dentistry* 2018;28 (2):170-179.
266. Zhou Q, Peng C, Qin M. Near infrared light transillumination for detection of incipient proximal caries in primary molars. *Journal of Peking University Health Sciences* 2019;51 (1):59-64.
267. Zimmermann M. Die digitale Abformung mit dem Intraoralscanner: mehr als nur eine Abformung. *ZMK* 2016;32:90-97.
268. Zimmermann M, Ender A, Mehl A. Local accuracy of actual intraoral scanning systems for single-tooth preparations in vitro. *J Am Dent Assoc* 2020;151 (2):127-135.
269. Zimmermann M, Kern M. Intraoralscanner–ein aktueller Überblick. *ZWR-Das Deutsche Zahnärzteblatt* 2016;125 (06):274-282.
270. Zimmermann M, Mehl A, Mormann WH, Reich S. Intraoral scanning systems - a current overview. *Int J Comput Dent* 2015;18 (2):101-129.
271. Zöfel P. Statistik verstehen. *Addison-Wesley Verlag* 2002;71-96, 231-239.

13 Anhang

Table 13.1: Überblick der Beschreibung der Auswertung der verwendeten Untersuchungsmethoden.

Bewertung	Visuelle Inspektion		DIAGNOcam		Trios 4		Emerald S	
Gesund	0	Keine Läsion erkennbar	0	Keine transluzenten Spots erkennbar	0	Keine gelben /roten Läsionen erkennbar	0	Keine transluzenten Spots erkennbar
Kariöse Schmelzläsion	1	Auf den Schmelz begrenzte Läsion erkennbar	1	Erste oder etablierte, auf den Schmelz beschränkte Läsion, kein transluzentes Dentin erkennbar	1	Gelb (Initialläsion)	1	Auf den Schmelz beschränkte Läsion, kein transluzentes Dentin erkennbar
Kariöse Dentinläsion	2	Bis in das Dentin hineinreichende Läsion erkennbar	2	Wenig transluzentes Dentin bis sichtbare Kavität erkennbar	2	Rot (moderate bis umfangreiche Läsion)	2	Wenig transluzentes Dentin bis sichtbare Kavität erkennbar

Tabelle 13.2: Softwareversionen der Untersuchungsprogramme.

Untersuchungsprogramm	Softwareversion	Hersteller
DIAGNOcam	Bis Proband 39: KaVo integrated Desktop: 2.4.2.8000 Ab Proband 40: KaVo integrated Desktop: 3.0.1	KaVo, Biberach
Trios 4	Software TRIOS Diagnostic Aid 20.1.4	3Shape, Kopenhagen, Dänemark
Emerald S	Planmeca Romexis Software 6.0.1.812	Planmeca, Helsinki, Finnland

JUSTUS-LIEBIG

UNIVERSITÄT
GIESSEN

FACHBEREICH 11



MEDIZIN

Ethik-Kommission, Klinikstr. 29 (Alte Chirurgie), D-35385 Gießen

Dr. Maximiliane Schlenz
Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik
Schlangenzahl 14
35392 Gießen

ETHIK-KOMMISSION
des FB Medizin

Vorsitzender: Prof. Dr. H. Tillmanns

Klinikstr. 29 (Alte Chirurgie)
D -35385 Gießen

Tel.: (0641)99-42470
Fax: (0641)99-42479
E-Mail: ethik.kommission@pharma.med.uni-giessen.de
Gießen, den 2. Juli 2020
Dr. Kr./

Votum der Ethik-Kommission AZ 46/20

Sehr geehrte Frau Dr. Schlenz,

das Projekt [46/20: Nicht-invasive Detektion von kariösen Läsionen bei Kindern - vergleichende Untersuchung der herkömmlichen visuellen Diagnostik mittels Intraoralscanner.] wurde außerhalb der Sitzung der Ethikkommission begutachtet (Teilnehmer: M. Brumhard, Dr. J. Pons-Kühnemann, Dr. H.-J. Krämer, Prof. Dr. B. Kretschmer, Prof. Dr. H. Tillmanns).

Hintergrund:

Die Kariesdiagnostik ist ein wichtiger Bestandteil der zahnärztlichen Tätigkeit. Zahnärztliche Therapiekonzepte haben im Laufe der Zeit zunehmend präventive Orientierung erfahren, weshalb der frühzeitigen Diagnose kariöser Läsionen im Allgemeinen eine besondere Bedeutung zukommt. In der letzten Kariesvergleichsstudie (DAJ- Studie) von 2009 lag die Kariesprävalenz mit 43,5% bei 6-bis 7-Jährigen in der 1. Klasse auf einem hohen Niveau. Das Ziel der Studie ist es, die Kariesprävalenz bei Kindern im Alter von 5-10 Jahren mit herkömmlichen nicht-invasiven diagnostischen Methoden zu untersuchen. Darüber hinaus soll ermittelt werden, ob moderne digitale Methoden wie Intraoralscanner zur klinischen Kariesdiagnostik geeignet sind und ein Monitoring über die Zeit möglich ist. Die Ergebnisse der verschiedenen Methoden sollen abschließend vergleichend gegenübergestellt werden. Entscheidend für etablierte und neue Diagnostikverfahren ist es, eine kariöse Läsion frühzeitig und zuverlässig zu erkennen (Detektion), deren Progressionsgrad und Aktivität zu beurteilen (Diagnose), um daraus geeignete Therapiemaßnahmen ableiten zu können. Die präventiv orientierte zahnärztliche Betreuung von Kindern und Jugendlichen fokussiert auf die frühzeitige Kariesdiagnostik, um läsionsbezogen die Entscheidung zwischen einer adäquaten präventiven oder restaurativen Behandlung treffen zu können. Dabei gilt die visuelle Diagnostik des geschulten Auges als Methode der ersten Wahl. Bei der herkömmlichen klinischen Untersuchung sind Spiegel, gute Ausleuchtung, Luft (zum Erreichen trockener Bedingungen) und Sonde notwendige Utensilien. Die taktile Erfassung der Karies durch Hängenbleiben einer in die Fissur eingeführten scharfen Sonde, wie Black (1914) sie postulierte, gilt mittlerweile als antiquiert. Variabilität der Sondierung, Sondierungsdruck, Morphologie der Fissur, sowie Größe und Schärfe der Sondenspitze sind Faktoren, die nicht reproduzierbar sind. Es konnte kein diagnostischer Gewinn im Vergleich zur alleinigen visuellen Befundung festgestellt werden. Außerdem kann die taktile Untersuchung irreversible Zahnhartsubstanzdefekte verursachen. Eine Transmission kariogener Keime von infizierten in

nicht infizierte Fissuren mit der zahnärztlichen Sonde ist ein weiterer Grund, warum diese nicht mehr benutzt werden sollte. Die Lufttrocknung der Zahnoberflächen hat bei der visuellen Untersuchung eine große Bedeutung. Eine erodierte Oberflächenstruktur und eine gewisse Porosität des Schmelzes sind in der Regel mit einer Initialläsion assoziiert. Sie enthalten Wasser, welches durch Lufttrocknung entfernt wird und die Läsion aufgrund des unterschiedlichen Brechungsindex (trockener Schmelz = 1,0 versus feuchter Zahnschmelz = 1,3 bis 1,6) als kreidige Läsionen sichtbar werden lässt.

Die lasergestützte Kariesdiagnostik basiert auf den fluoreszierenden Eigenschaften der Bakterien, die für die Karies verantwortlich sind. Der Zahn wird mittels eines Laserlicht einer bestimmten Wellenlänge angeregt zu fluoreszieren; ein gesunder Zahn fluoresziert bei Bestrahlung mittels Laserlicht auf charakteristische Weise. Die Bakterien und deren Stoffwechselprodukte verändern die Zahnhartsubstanz. An kariösen Stellen wird ein Licht anderer Wellenlänge emittiert (Fluoreszenz); mittels des Diagnosegeräts wird diese registriert. Während der gesunde Schmelz grün leuchtet, werden Porphyrine angeregt und senden energieärmeres rotes Licht aus. Diese Art der Befundung gilt als zuverlässig und reproduzierbar. Im Vergleich zum histologischen Ergebnis, dem „Goldstandard“, konnte mit dieser Methode eine Spezifität und Sensitivität von bis zu über 90 Prozent erreicht werden, während die klinische Inspektion bei gleicher oder höherer Spezifität jedoch deutlich geringere Sensitivitätswerte (76,9 Prozent) aufwies.

Bei der Diagnocam® handelt es sich um eine Schwarz-Weiß-Intraoralkamera, welche den Zahn mittels Infrarot-Licht mit der Wellenlänge von 780 nm radikalär beleuchtet. Die Infrarotdioden befinden sich an den inneren Enden der zangenförmigen Arme, welche den Zahn von oral und bukkal fassen. Durch die lichtleitenden Eigenschaften des Zahns wird das Licht nach okkusal transportiert und mit der Kamera aufgezeichnet, die über ein USB-Kabel mit einem Computer verbunden ist. Im Falle einer kariösen, demineralisierten Läsion wird das Licht gestreut und reduziert. Studien zeigen eine Übereinstimmung der Kariesdetektion von 95,3% verglichen mit röntgenologischer Untersuchung.

Seit der Internationalen Dentalschau (IDS 2019) bieten einige Hersteller von Intraoralscannern die Zusatzfunktion Kariesdiagnostik an. Hierbei ist die Fluoreszenztechnologie in das Handstück des Intraoralscanners integriert. Aufgrund der Neuheit dieser Methoden liegen bis jetzt keine in vitro- oder in vivo-Daten zur Anwendung vor.

Ziele der klinischen Prüfung:

Das Ziel der vorliegenden klinischen Studie ist es, die Kariesprävalenz bei Kindern im Alter von 5-10 Jahren mit herkömmlichen nicht-invasiven diagnostischen Methoden zu untersuchen. Darüber hinaus soll geprüft werden, ob moderne digitale Methoden wie Intraoralscanner zur klinischen Kariesdiagnostik geeignet sind und ein Monitoring über die Zeit möglich ist. Die Ergebnisse der verschiedenen Methoden sollen abschließend vergleichend gegenübergestellt werden.

Typ der Studie:

Es handelt sich um eine explorative Studie zur Kariesdiagnostik im Rahmen der etablierten zahnärztlichen Reihenuntersuchungen in Schulen in Gießen und im Lahn-Dill-Kreis.

Beteiligte Zahnkliniken und Kooperationspartner:

1. Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik und Poliklinik für Kinderzahnheilkunde der Justus-Liebig-Universität Gießen;
2. Landesarbeitsgemeinschaft Jugendzahnpflege in Hessen (LAGZ, LAGH)
Koordination: Frau Dr. Andrea Thumeyer, Vorsitzende; Frau Christine Roß-Daum, sowie Jugendzahnärztin Frau Dr. Gonca Ipek-Özdemir, Lahn-Dill-Kreis, öffentliches Gesundheitswesen.

Anzahl der Patienten:

Die Anzahl der für diese Studie erforderlichen Probanden sollte 70 betragen. Diese werden von den an der Studie beteiligten Zahnärztinnen der Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik und

Poliklinik für Kinderzahnheilkunde der Justus-Liebig-Universität Gießen sowie der im Rahmen der zahnärztlichen Reihenuntersuchung tätigen Jugendzahnärztin untersucht.

Wissenschaftliche Fragestellungen:

- Kann eine klinische Kariesdiagnostik bei Kindern im Alter von 5-10 Jahren mittels eines Intraoralscanners durchgeführt werden?
- Besteht eine Korrelation zwischen der herkömmlichen visuellen Diagnostik und den Ergebnissen der Diagnosticscam® und des Intraoralscanners?
- Ist ein Monitoring mittels Intraoralscan analog zur Diagnosticscam® möglich?

Nullhypothesen:

Als Nullhypothese wurde festgelegt, daß kein signifikanter Unterschied zwischen den drei Methoden visuelle Diagnostik, Diagnosticscam® und Intraoralscanner besteht. Darüber hinaus wurde angenommen, daß kein signifikanter Unterschied in Bezug auf die Sensitivität und Spezifität zwischen den verschiedenen Testverfahren vorhanden ist.

Klinische Untersuchung:

Im Rahmen einer explorativen Studie werden 70 Kinder im Alter zwischen 5 und 10 Jahren untersucht. Dabei ist wichtig, daß sich für alle teilnehmenden Kinder durch Aufnahme in die Studie von vornherein ein gesundheitlicher Vorteil ergibt. Die an der Studie teilnehmenden Schulen sind bereits Teil eines etablierten Konzepts der Landesarbeitsgemeinschaft für Jugendzahnpflege Hessen (LAGH/ Jugendzahnpflege Lahn-Dill-Kreis). Dabei sind die Mitarbeiter/innen der Schulen in das Konzept fest integriert. Die Rechtsgrundlage stellen das HGöGD und der § 21 im SGB V, das Hessische Schulgesetz und die zugehörige Verordnung zur Schulgesundheitspflege dar.

Nach der Erstuntersuchung der Kinder ist nach 1 Jahr eine zweite Untersuchung geplant, bei der die Kinder nachuntersucht werden (Monitoring).

Die Termine werden in Absprache mit den Jugendzahnärztlichen Diensten Gießen, Lahn-Dill-Kreis und den Schulen vereinbart.

Begründung für die gewählte Probandenzahl:

Die Probandenzahl ergibt sich durch die Berechnung des Statistikers (Dr. Johannes Herrmann, Statistikberatung Gießen):

Es wird angenommen, daß von jedem Probanden durchschnittlich 12 Zähne untersucht werden können. Dabei wird jeder Zahn als „Beobachtung“ definiert. Es liegt eine statistische Unabhängigkeit vor, da eine Beurteilung jeden einzelnen Zahnes unabhängig vom Ergebnis der Beurteilungen anderer Zähne (gleicher Zähne anderer Probanden oder anderer Zähne desselben Probanden) vorliegt.

Angenommen wird eine relativ starke Übereinstimmung jeweils zwischen den Methoden mit Cohens Kappa = 0,6, dieser Wert soll mit einer hohen Sicherheit validiert werden. Bei einer Wahl des Alpha-Fehlerniveaus von 0,05 und einer Power von 90 % (Beta-Fehlerniveau 0,1) werden zunächst 420 Beobachtungen benötigt, um diesen Wert gegen ein niedrigeres Niveau von Kappa = 0,5 statistisch abzusichern. Diese Kalkulation geht allerdings von einer symmetrischen Verteilung der Häufigkeiten der Kategorien auf der abhängigen Variable aus, was unrealistisch erscheint. Da eine Abschätzung der zu erwartenden Randhäufigkeiten nicht möglich ist, folgen die Antragsteller der Empfehlung von Bujang und Baharum und verdoppeln die benötigte Fallzahl, eine Fallzahl von 840 Beobachtungen wird deshalb angestrebt. Bei durchschnittlich 12 Zähnen pro Kind werden damit mindestens 70 Kinder benötigt. Um sicherzustellen, daß sich die Zuverlässigkeit der verschiedenen Methoden zur Diagnostik von Proband zu Proband nicht unterscheidet, wird zusätzlich berücksichtigt, welche Zähne zu welchem Probanden gehören.

Einschlußkriterium:

- Kinder im Alter von 5-10 Jahren, die im Rahmen der zahnärztlichen Reihenuntersuchung in Hessen untersucht werden.

Ausschlusskriterien:

- Kinder mit schweren Allgemeinerkrankungen;
- Widerspruch der Erziehungsberechtigten gegen die zahnärztliche Reihenuntersuchung.

Patientenaufklärung und -einwilligung:

Die zahnärztlichen Reihenuntersuchungen sind im HGöGD und im § 21 im SGB V, im Hessischen Schulgesetz und in der zugehörigen Verordnung zur Schulgesundheitspflege verankert. Die Gesundheitsämter führen regelmäßige zahnärztliche Untersuchungen in den Schulen durch mit dem Ziel, Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten frühzeitig zu erkennen und auf eine Behandlung hinzuwirken, das heißt, sie beteiligen sich an flächendeckenden Maßnahmen der Gruppenprophylaxe nach § 21 des Fünften Buches, Sozialgesetzbuch vom 20. Dezember 1988 (BGBl. I S. 2477, 2482), zuletzt geändert durch das Gesetz vom 7. September 2007 (BGBl. I S. 2246) in Schulen, Kindergärten und Behinderteneinrichtungen im Zusammenwirken mit den Arbeitskreisen Jugendzahnpflege. Die Ergebnisse der Untersuchungen werden dokumentiert und statistisch ausgewertet. Daher ist eine separate Einwilligung nicht erforderlich. Die Untersuchung durch kalibrierte weitere Untersucher (hier die Antragsteller) erfordert eine separate Einverständniserklärung der Eltern. Die Kinder und ihre Eltern (Sorgeberechtigte) sind nach Paragraph 71 über die Untersuchungen und Testverfahren vorher näher zu informieren, ihnen ist Gelegenheit zur Besprechung der Ergebnisse und zur Einsicht in die Unterlagen zu geben. Dies wird über vorherige Informationsschreiben bewerkstelligt. Selbstverständlich wird bei Widerspruch gegen diese zahnärztliche Reihenuntersuchung keine Untersuchung des Kindes vorgenommen. Ebenso geschieht dies auf der Basis einer freiwilligen Mitarbeit des Kindes und kann jederzeit abgebrochen werden. Die Aufklärungsbögen und Einwilligungen werden über die Antragsteller im Prüfzentrum der Zahnklinik dokumentiert.

Durchführung der klinischen Studie:

Befunderhebung:

Im Rahmen der zahnärztlichen Reihenuntersuchungen sollen die Befunde an insgesamt zwei Terminen (Baseline [T0] und nach 12 Monaten [T1]) erhoben werden.

Bei der Eingangsuntersuchung erfolgt im Rahmen der Reihenuntersuchung ein vollständiger zahnärztlicher Befund mit Spiegel und WHO-Sonde nach den Kriterien von Marthaler (1966) bei standardisierter Beleuchtung. Die visuelle Diagnostik wird anhand des dmf-t- bzw. dmf-s-Index durchgeführt.

dmf-t-/s-Index:

Die Zahl der beim einzelnen Kind an Karies erkrankten Einheiten (Zähne und Zahnflächen) wird mit Hilfe des dmf-t - bzw. dmf-s -Index registriert.

Beim dmf-s-Index stellen die Zahnflächen kleinste Beurteilungseinheiten dar. Eine detaillierte Beschreibung der Kriterien für die Diagnosestellung findet sich in der Monographie „Die zahnmedizinische Untersuchung im Rahmen der Gruppenprophylaxe - Ein Leitfadens für die EDV-gestützte Erfolgskontrolle“. Aufgrund des Alters (2 - 5 Jahre) der Patientengruppe entfällt die Erhebung der bleibenden Dentition (DMF-T/DMF-S).

Bei der Diagnose und Aufzeichnung der Karies (D-Komponente) wird häufig zwischen verschiedenen Stadien unterschieden. Marthaler (1966) sowie Möller und Poulsen (1973) differenzieren zwischen vier Kariesstadien, von denen zwei (D1 und D2) auf den Schmelz beschränkt sind, und zwei weitere (D3 und D4) bis ins Dentin reichen. Vor allem an Fissuren ist die Unterscheidung zwischen diesen vier Stadien schwierig. Als Kompromiß zwischen Genauigkeit und Reproduzierbarkeit hat sich daher eine Beschränkung auf zwei Kariesstadien (Schmelz- oder Dentinkaries) bewährt. Deshalb wird in der geplanten Studie diese Variante gewählt.

Die M-Komponente des dmft-Index bezieht sich ausschließlich auf jene Zähne, die aufgrund kariöser Zerstörung extrahiert wurden. Zwischen dem Zahnverlust durch Karies und dem Fehlen eines Zahnes durch ein Trauma oder durch Nichtanlage wird unterschieden, letztere werden nicht als M-Zähne gekennzeichnet.

Die F-Komponente steht für die Zähne, die aufgrund einer Karies definitiv oder temporär mit einer Füllung versehen wurden. Auch hier ist es wichtig, zwischen Zähnen zu unterscheiden, die durch Karies, und solchen, die aus anderen Gründen (z. B. Trauma, Hypoplasie oder Mißbildung) Füllungen aufweisen. Zusätzliche Parameter für die Untersuchungen könnten beispielsweise initiale Veränderungen auf der Zahnoberfläche sein.

Anschließend wird die Karies mit der Diagnocam® (Kavo, Biberach, Deutschland), einem videokamerabasierten System, beurteilt. Hierbei wird der sterilisierbare Scankopf über den zu untersuchenden Zahn gestülpt, und die generierten Daten werden an einen über USB-Kabel angeschlossenen Computer transferiert.

Zum Schluß werden die zu untersuchenden Zähne mit dem auf dem konfokalen Prinzip basierenden, puderfreien Intraoralscanner Trios 4 (3Shape, Kopenhagen, Dänemark) untersucht. Die Aufnahme erfolgt über viele Einzelbilder und ist mit einer Videoaufnahme vergleichbar.

Untersucherkalibrierung:

In der Literatur wird beschrieben, daß bei der Kariesdiagnose große Unterschiede auftreten können. Studien zeigten, daß sogar nach sorgfältiger Festlegung von Normen für die Befundung noch beträchtliche Abweichungen in der Diagnose erscheinen. Deshalb besteht das Ziel der Kalibrierung darin, Untersucher zu befähigen, Diagnosen entsprechend den vorgegebenen Kriterien zu stellen und zu reproduzieren. Das bedeutet:

1. Der einzelne Untersucher muß seine Diagnosen wiederholen können („intra-examiner reliability“) und
2. verschiedene Untersucher müssen zu übereinstimmenden Ergebnissen gelangen („inter-examiner reliability“).

Das Training gliederte sich in einen theoretischen und in einen praktischen Teil. In dem Kurs wurde abschließend durch Übungen am Patienten (insgesamt 10) festgestellt, ob jeder einzelne Untersucher konstant diagnostiziert, und ob die verschiedenen Untersucher übereinstimmende Diagnosen erstellen. Zur statistischen Auswertung wurde der (gewichtete) Cohen-Kappa-Koeffizient als Maß für die Übereinstimmung berechnet.

Kontaktaufnahme mit den Schulen:

Die Kontaktaufnahme mit den Schulen wird über die Jugendzahnärztin des öffentlichen Gesundheitsdienstes vorgenommen.

Vorgehen am Probanden:

Vor Beginn der zahnärztlichen Untersuchung sind die Ein- und Ausschlusskriterien durch den Behandler zu überprüfen. Die Instrumente zur Untersuchung sind vorgegeben (WHO-Sonde, nicht zerkratzter Spiegel, Untersuchungslampe [Halux Spot 50 Watt], Watterollen und „Luftpüster“). Dabei ist die Lampe so eingestellt, daß eine Durchleuchtung der approximalen Flächen der Frontzähne mittels eines Spiegels von oral möglich ist. Die Reihenfolge bei der Befunderhebung entspricht dem Schema im Programm. Die Untersuchung mittels Diagnocam und Intraoralscanner wird nach einer Trocknung der Zähne mittels Luftpüster und Watterollen bei Tageslicht ohne Deckenbeleuchtung durchgeführt.

Die zahnärztlichen Befunde werden ausschließlich durch Untersucher/innen erhoben, die zuvor in die Untersuchungsmethodik eingearbeitet und kalibriert wurden. Die ausgefüllten Befundbögen werden zur Eingabe und Dokumentation an die Studienleitung geschickt. Um die mögliche Angst vor der Untersuchung abzubauen, empfiehlt es sich, das Untersuchungsvorgehen an freiwilligen Probanden zu demonstrieren.

Auswertung:

Dateneingabe:

In der durchgeführten Studie werden die erhobenen Daten zunächst vor Ort auf speziellen Befundbögen (siehe Anhang) erfaßt und zusätzlich in dBASE IV als Datenbank-Software übertragen. Bei dem DOS-basierten EDV-Programm dBASE IV handelt es sich um eine speziell für den oralen Befund entwickelte Eingabemaske. Neben ihrer Erfassung und Verwaltung können die im Programm dBASE IV gesammelten Daten einer statistischen

Auswertung unterzogen werden. Die Datenbestände können nach unterschiedlichen Auswahlkriterien, wie z. B. Alter oder Geschlecht der Probanden, selektiert werden.

Datenerfassung und statistische Auswertung:

Das Datenmaterials wird nach Konvertierung in einen SPSS-Datensatz für Windows in tabellarischer und graphischer Form und insgesamt analog zu der statistischen Auswertung der vorangegangenen LAGZ-Studien von 2004, 2009 und 2015/16 deskriptiv ausgewertet; hierdurch ist eine unmittelbare statistische Vergleichbarkeit der Datensätze gewährleistet. Zuerst erfolgt die deskriptive Auswertung univariant in Form von Häufigkeitstabellen und bei den dmf-t/s-Werten, als wichtigster vergleichender Größe. Die statistische Auswertung wird durch Dr. Johannes Herrmann vorgenommen(Statistikberatung Gießen).

Ethik und Datenschutz:

Die untersuchende Institution hat das Studiendesign der Ethikkommission der medizinischen Fakultät der Justus-Liebig-Universität Gießen zur Prüfung vorgelegt.

Die vorliegende Studie stellt eine reine Beobachtungsstudie dar, die weder mit der Gabe von Medikamenten, noch mit invasiven Maßnahmen verbunden ist. Die Teilnahme der Kinder an der Studie ist freiwillig. Die zahnmedizinischen Parameter werden im Rahmen der zahnärztlichen Untersuchungen der Poliklinik für Kinderzahnheilkunde und in den von Jugendzahnärzten betreuten Schulen nach der Zustimmung der Erziehungsberechtigten erhoben. Dabei werden die übliche Beurteilung des Zahnstatus sowie eine Kariesdetektion ausschließlich mittels Diagnocam® und Intraoralscanner durchgeführt. Eine gesundheitliche Gefährdung der Teilnehmer (Risiko) ist mit der Untersuchung nicht verbunden, allenfalls eine geringfügige zeitliche Belastung (5 bis 10 Minuten pro Kind). Wie bereits oben erwähnt, steht für die Aufzeichnung der Befunde ein Dokumentationsblatt zur Verfügung. Als zahnmedizinischer Parameter wird der Zahnstatus (Karies, Füllungen, fehlende Zähne) aufgezeichnet.

Die für die wissenschaftliche Studie wichtigen Daten werden in pseudonymisierter Form gespeichert, ausgewertet und gegebenenfalls weitergegeben, d.h. es kann kein Rückschluß auf die Probanden vorgenommen werden. Die Informationen über Registriernummer und Namen werden in einer separaten Liste geführt, die nur von Prof. Dr. Bernd Wöstmann, Frau Dr. Nelly Schulz-Weidner und Frau Dr. Maximiliane Schlenz eingesehen werden kann und separat von den Untersuchungsdaten aufbewahrt wird. Bei Widerruf der Einwilligung werden die Daten irreversibel anonymisiert. Die Daten sind gegen unbefugten Zugriff gesichert.

Alle erhobenen Daten werden in der Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik in Gießen bis 10 Jahre nach dem Ende der wissenschaftlichen Auswertung dokumentiert. Damit wird gewährleistet, daß die datenschutzrechtlichen Bestimmungen sowie die ärztliche Schweigepflicht im Rahmen dieser Studie strikt eingehalten werden (Datenschutz und ärztliche Schweigepflicht).

Bei der ausführlichen Diskussion wurden keine wissenschaftlichen oder formalen Kritikpunkte erhoben (nach erfolgter Korrektur zuvor aufgefallener Details). Die Ethikkommission hat keine Einwände und stimmt dem klinisch wichtigen Vorhaben zu.

Mit freundlichen Grüßen



Prof. Dr. H. Tillmanns
Vorsitzender der Ethik-Kommission

Fragebogen Milchgebiss

Datum:
Prob.-Nr.:
Untersuchungszeitpunkt: T0
Zentrum: GI

1. Welcher Zahn/ welche Zähne fehlen Ihrem Kind momentan?

Bitte malen Sie den/ die zutreffenden Zahn/ Zähne aus.

Wenn Sie sich nicht sicher sind, welcher Zahn/ welche Zähne fehlt/ fehlen, umkreisen Sie bitte einen Bereich.

Oberkiefer



Rechte Seite

Linke Seite



Unterkiefer

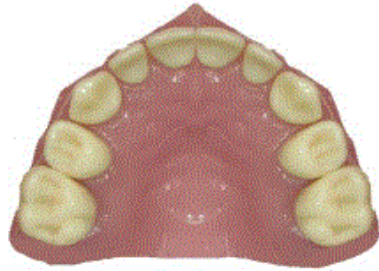
keine Zähne fehlen

2. Welcher Zahn/ welche Zähne müssen bei Ihrem Kind behandelt werden?

Bitte kreuzen Sie den/ die zutreffenden Zahn/ Zähne an.

Wenn Sie sich nicht sicher sind, welcher Zahn/ welche Zähne behandelt werden muss/ müssen, umkreisen Sie bitte einen Bereich.

Oberkiefer



Rechte Seite

Linke Seite



Unterkiefer

kein Zahn muss behandelt werden

3. Wie sieht die Therapie aus?

Bitte kreuzen Sie alle zutreffenden Aussagen an.

- Füllung
- Entfernung
- Reinigung
- Fissurenversiegelung
- Beobachtung
- Überkronung
- Wurzelkanalbehandlung
- Lückenhalter
- Kieferorthopädische Behandlung
- es gibt keinen Therapiebedarf

4. Was glauben Sie, ist die Ursache für den Behandlungsbedarf bei Ihrem Kind?

Bitte kreuzen Sie alle zutreffenden Aussagen an.

- Schlechte Mundhygiene
- Fehlstrukturierung
- Karies
- Unfall/Trauma
- Fehlstellung
- Prophylaxe
- es gibt keinen Behandlungsbedarf

5. a.) Soll die Mundhygiene Ihres Kindes verbessert werden?

Bitte kreuzen Sie die zutreffende Aussage an.

- Ja
- Nein

b.) Wenn ja, in welchem Bereich?

Bitte kreuzen Sie alle zutreffenden Aussagen an.

- Frontzahnbereich – Innen
- Frontzahnbereich – Außen
- Seitenzahnbereich – Innen
- Seitenzahnbereich – Außen
- Seitenzahnbereich – Kauflächen
- Zahnfleischrand
- Zwischen den Zähnen (Zahnseide)

6. Wer hat diesen Fragebogen ausgefüllt?

Bitte kreuzen Sie die zutreffende Aussage an.

- Mutter
- Vater
- Betreuer*in
- Bruder/ Schwester
- Sonstiges: _____

Vielen Dank für Ihre Teilnahme! 😊

Anhang 13.4: Fragebogen für einen Probanden im Milchgebissstadium

Fragebogen Wechselgebiss

Datum:
Prob.-Nr.:
Untersuchungszeitpunkt: T0
Zentrum: GI

1. Welcher Zahn/ welche Zähne fehlen Ihrem Kind momentan?

Bitte malen Sie den/ die zutreffenden Zahn/ Zähne aus.

Wenn Sie sich nicht sicher sind, welcher Zahn/ welche Zähne fehlt/ fehlen, umkreisen Sie bitte einen Bereich.

Oberkiefer



Rechte Seite

Linke Seite



Unterkiefer

keine Zähne fehlen

2. Welcher Zahn/ welche Zähne müssen bei Ihrem Kind behandelt werden?

Bitte kreuzen Sie den/ die zutreffenden Zahn/ Zähne an.

Wenn Sie sich nicht sicher sind, welcher Zahn/ welche Zähne behandelt werden muss/ müssen, umkreisen Sie bitte einen Bereich.

Oberkiefer



Rechte Seite

Linke Seite



Unterkiefer

kein Zahn muss behandelt werden

3. Wie sieht die Therapie aus?

Bitte kreuzen Sie alle zutreffenden Aussagen an.

- Füllung
- Entfernung
- Reinigung
- Fissurenversiegelung
- Beobachtung
- Überkronung
- Wurzelkanalbehandlung
- Lückenhalter
- Kieferorthopädische Behandlung
- es gibt keinen Therapiebedarf

4. Was glauben Sie, ist die Ursache für den Behandlungsbedarf bei Ihrem Kind?

Bitte kreuzen Sie alle zutreffenden Aussagen an.

- Schlechte Mundhygiene
- Fehlstrukturierung
- Karies
- Unfall/Trauma
- Fehlstellung
- Prophylaxe
- es gibt keinen Behandlungsbedarf

5. a.) Soll die Mundhygiene Ihres Kindes verbessert werden?

Bitte kreuzen Sie die zutreffende Aussage an.

- Ja
- Nein

b.) Wenn ja, in welchem Bereich?

Bitte kreuzen Sie alle zutreffenden Aussagen an.

- Frontzahnbereich – Innen
- Frontzahnbereich – Außen
- Seitenzahnbereich – Innen
- Seitenzahnbereich – Außen
- Seitenzahnbereich – Kauflächen
- Zahnfleischrand
- Zwischen den Zähnen (Zahnseide)

6. Wer hat diesen Fragebogen ausgefüllt?

Bitte kreuzen Sie die zutreffende Aussage an.

- Mutter
- Vater
- Betreuer*in
- Bruder/ Schwester
- Sonstiges: _____

Vielen Dank für Ihre Teilnahme! 😊

Anhang 13.5: Fragebogen für einen Probanden im Wechselgebissstadium

Fragebogen bleibendes Gebiss

Datum:
Prob.-Nr.:
Untersuchungszeitpunkt: T0
Zentrum: GI

1. Welcher Zahn/ welche Zähne fehlen Ihrem Kind momentan?

Bitte malen Sie den/ die zutreffenden Zahn/ Zähne aus oder kreuzen Sie die zutreffende Aussage an.

Wenn Sie sich nicht sicher sind, welcher Zahn/ welche Zähne fehlt/ fehlen, umkreisen Sie bitte einen Bereich.

Oberkiefer



Rechte Seite

Linke Seite



Unterkiefer

keine Zähne fehlen

2. Welcher Zahn/ welche Zähne müssen bei Ihrem Kind behandelt werden?

*Bitte kreuzen Sie den/ die zutreffenden Zahn/ Zähne oder die zutreffende Aussage an.
Wenn Sie sich nicht sicher sind, welcher Zahn/ welche Zähne behandelt werden muss/
müssen, umkreisen Sie bitte einen Bereich.*

Oberkiefer



Rechte Seite

Linke Seite



Unterkiefer

kein Zahn muss behandelt werden

3. Wie sieht die Therapie aus?

Bitte kreuzen Sie alle zutreffenden Aussagen an.

- Füllung
- Entfernung
- Reinigung
- Fissurenversiegelung
- Beobachtung
- Überkronung
- Wurzelkanalbehandlung
- Lückenhalter
- Kieferorthopädische Behandlung
- es gibt keinen Therapiebedarf

4. Was glauben Sie, ist die Ursache für den Behandlungsbedarf bei Ihrem Kind?

Bitte kreuzen Sie alle zutreffenden Aussagen an.

- Schlechte Mundhygiene
- Fehlstrukturierung
- Karies
- Unfall/Trauma
- Fehlstellung
- Prophylaxe
- es gibt keinen Behandlungsbedarf

5. a.) Soll die Mundhygiene Ihres Kindes verbessert werden?

Bitte kreuzen Sie die zutreffende Aussage an.

- Ja
- Nein

b.) Wenn ja, in welchem Bereich?

Bitte kreuzen Sie alle zutreffenden Aussagen an.

- Frontzahnbereich – Innen
- Frontzahnbereich – Außen
- Seitenzahnbereich – Innen
- Seitenzahnbereich – Außen
- Seitenzahnbereich – Kauflächen
- Zahnfleischrand
- Zwischen den Zähnen (Zahnseide)

6. Wer hat diesen Fragebogen ausgefüllt?

Bitte kreuzen Sie die zutreffende Aussage an.

- Mutter
- Vater
- Betreuer*in
- Bruder/ Schwester
- Sonstiges: _____

Vielen Dank für Ihre Teilnahme! 😊

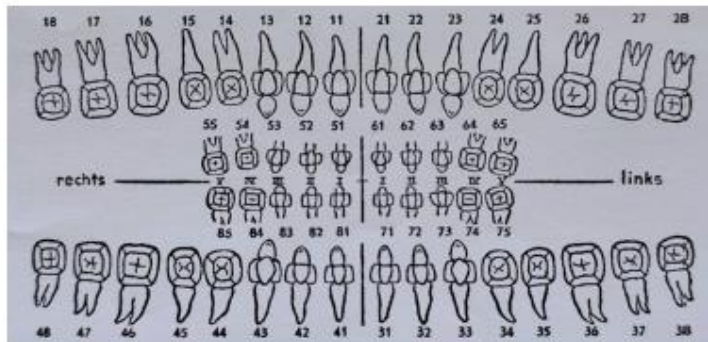
Anhang 13.6: Fragebogen für einen Probanden im Stadium des bleibenden Gebisses

Kontrollfragebogen

Datum:
 Prob.-Nr.:
 Untersuchungszeitpunkt: T0
 Zentrum: GI

1. Welcher Zahn/ welche Zähne wird/ werden wie behandelt?

18	17	16	15/ 55	14/ 54	13/ 53	12/ 52	11/ 51	21/ 61	22/ 62	23/ 63	24/ 64	25/ 65	26	27	28



48	47	46	45/ 85	44/ 84	43/ 83	42/ 82	41/ 81	31/ 71	32/ 72	33/ 73	34/ 74	35/ 75	36	37	38

- Legende:**
 F = Füllung
 X = Extraktion
 PZR = Reinigung
 FV = Fissurenversiegelung
 B = Beobachtung
 K = Überkronung
 WKB = Wurzelkanalbehandlung

4. Worüber wurde aufgeklärt?

- Zahndurchbruch
- Schlechte Mundhygiene
- Fehlstrukturierung
- Karies
- Unfall/Trauma
- Fehlstellung
- keinerlei Aufklärung nötig

Anhang 13.7: Kontrollfragebogen

