

**Inzidentelle Veränderung des Mundhygieneverhaltens der Studierenden durch
Teilnahme an präventivzahnmedizinischen Kursen
– eine retrospektive Analyse –**

INAUGURALDISSERTATION

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Zahnmedizin
des Fachbereichs Medizin der Justus-Liebig-Universität Gießen

vorgelegt von

Dübgen, Lukas

aus Witten

Gießen 2024

Aus dem Fachbereich Medizin der Justus-Liebig-Universität Gießen

Aus der Poliklinik für Zahnerhaltungskunde, Parodontologie und Endodontologie
des Zentrums für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde

Gutachterin: Prof. Dr. Ganß, Carolina

Gutachter: PD Dr. Böttger, Sebastian

Tag der Disputation: 30.4.2025

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	1
1.1 Pathogenese von Karies und Parodontitis	1
1.2 Karies- und Parodontitisprävention	2
1.3 Die Präventivzahnmedizinische Sprechstunde	3
1.4 Ziel der Studie	6
2 Methodik	8
2.1 Ablauf der Auswertung	9
2.1.1 Konvertierung des Dateiformats	11
2.1.2 Import in MeshLab	11
2.1.3 Matchen der 3D-Intraloralscans	13
2.1.4 Entfernung von Artefakten	17
2.1.5 Ausrichtung der 3D-Intraloralscans im Weltkoordinatensystem	18
2.1.6 Achsdefinition für die jeweiligen Zahngruppen	20
2.1.7 Anfertigen der Screenshots	27
2.1.8 Ausschneiden der Zahnflächen	32
2.1.9 Planimetrische Auswertung	36
3 Statistik	38
4 Ergebnisse	40
4.1 Betrachtung der Gesamtplaquewerte	40
4.2 Betrachtung der Plaquewerte nach Kiefer, Zahn und Fläche	41
5 Diskussion	46
5.1 Quantitative Erhebung des dentalen Biofilms	46
5.1.1 Etablierte klinische Plaqueindizes	46
5.1.2 Planimetrische Verfahren	47
5.1.3 Diskussion der Methodik	51
5.2 Mundhygieneinstruktionen	54
5.3 Inzidentelles Lernen	55
5.4 Diskussion der Studienergebnisse	58
6 Schlussfolgerungen und Ausblick	63
7 Zusammenfassung	65
8 Summary	67
9 Literaturverzeichnis	69
10 Anhang	77
10.1 Ehrenwörtliche Erklärung	77
10.2 Danksagung	78

1 Einleitung

Die Zahnoberflächen eines Neugeborenen werden früh von Mikroorganismen kolonisiert und es bildet sich ein dentaler Biofilm. Dieser nimmt von da an eine physiologische Funktion ein, indem er die Besiedelung mit exogenen und potenziell pathologischen Mikroorganismen verhindert (Marsh, 1994).

1.1 Pathogenese von Karies und Parodontitis

Allerdings kann es zu einer ökologischen Verschiebung im dentalen Biofilm kommen, welche Demineralisierungsprozesse und somit Karies fördert, wenn die azidogenen und azidurischen Mikroorganismen, wie *Streptococcus mutans* oder Lactobazillen Überhand gewinnen (Kneist et al., 2012; Marsh, 1994; Nyvad & Kilian, 1987). Dieser Umstand findet in der ökologischen Plaquehypothese, nach der Karies das Resultat dieser ökologischen Verschiebung ist, seinen Ausdruck.

In dem einfachen, aber eindrucksvollen Experiment „Experimental gingivitis in man“ konnten Loe et al. 1965 nachweisen, dass die Akkumulation von Plaque und Gingivitis einen unmittelbaren Zusammenhang aufweisen. So verzichteten zwölf gesunde, junge Menschen für einen Zeitraum von drei Wochen vollständig auf Mundhygiene. Dabei zeigte sich neben der Akkumulation des dentalen Biofilms nach zehn bis 21 Tagen eine Entzündungsantwort der Gingiva, die klinische Zeichen einer Gingivitis aufwies. Das Wiedereinsetzen der Mundhygiene führte wiederum zur Rekonstitution der gingivalen Gesundheit (Loe et al., 1965).

Dentaler Biofilm ist somit Grundvoraussetzung und ätiologische Bedingung für die Entstehung einer Karies oder Parodontalerkrankung (Loe et al., 1972). Es ist daher zu schlussfolgern, dass die Beseitigung des dentalen Biofilms die Mundgesundheit verbessern kann.

1.2 Karies- und Parodontitisprävention

Grundstein für die heutigen Konzepte zur Karies- und Parodontitisprävention ist ein von Axelsson et al. entwickeltes Präventionsprogramm, das über drei Jahrzehnte evaluiert wurde (Axelsson et al., 2004). Dieses Präventionsprogramm erlangte als Karlstad-Studie Bekanntheit. Im Herbst 1971 und Frühjahr 1972 wurden 375 Personen in drei Altersklassen von 20 bis 35, 36 bis 50 und 51 bis 61 Jahre in das Programm eingeschlossen. Nach einer Eingangsuntersuchung und initialen Zahnsanierung wurden die Patienten in den ersten sechs Jahren in ein Recall mit zwei- bis dreimonatigen Abstand eingeladen. Diese Recall-Intervalle wurden nach 6 Jahren je nach Risikoprofil angepasst und für Patientinnen und Patienten mit geringem oder mittlerem Betreuungsbedarf auf einmal bzw. zweimal jährlich verlängert. Nur bei 10% der Patientinnen und Patienten wurden vierteljährliche Termine beibehalten.

Die Intervention bestand in der Veranschaulichung des vorhandenen dentalen Biofilms durch Plaquerevelatoren, der Einübung der Bass-Technik und der Empfehlung von Zahnseide oder Zahnhölzern. Abschließend erfolgte eine professionelle Zahnreinigung mit fluoridhaltiger Prophylaxepaste. Das Programm wurde nach drei, sechs, 15 und abschließend 30 Jahren evaluiert. Zu betonen ist, dass der Schwerpunkt dieser Intervention bei der Umsetzung einer möglichst guten Mundhygiene und nicht auf der regelmäßigen Fluoridanwendung lag.

Der Abschluss der Langzeitbeobachtung hat gezeigt, dass ein gutes Prophylaxekonzept die orale Mundgesundheit maßgeblich verbessern kann, so kam es nach 30 Jahren je nach Alterskohorte nur zu einem Verlust von 0,4 bis 1,8 Zähnen. Dies entspricht einem Verlust von 0,01 bis 0,06 Zähnen pro Jahr. Hauptgrund mit 62% war darüber hinaus nicht etwa Karies oder Parodontitis, sondern Zahnfrakturen. Wiesen im Anfangsbefund noch 60% aller Zahnflächen dentalen Biofilm auf, reduzierte sich dieser in allen Altersgruppen auf weniger 20%, 107 der 257 verbliebenen Patientinnen und Patienten wiesen über den gesamten Zeitraum keine neuen kariösen Läsionen auf.

Bemerkenswert war weiterhin, dass nur wenige Studienteilnehmende aufgrund von fehlendem Interesse aus dem Prophylaxeprogramm ausgeschieden waren, was die Überzeugungskraft dieser Intervention zeigt (Axelsson et al., 2004).

Eine Kritik an der Karlstad-Studie besteht in den für den klinischen Alltag unrealistisch erscheinenden aufwändigen Interventionen in der Anfangszeit. Allerdings hat die Studie gezeigt, dass der Erfolg nach einem anfänglich engmaschigen, intensiven und konsequenten Prophylaxeprogramm schließlich auch bei größeren Recall-Intervallen bestehen blieb. Damit erscheinen die intensiven Bemühungen zu Beginn eine nachhaltige und effektive Strategie für den langfristigen Erhalt der Mundgesundheit ohne intensive Weiterbetreuung zu sein.

Der mit dieser Erkenntnis einhergehende Paradigmenwechsel „Vorsorgen statt Versorgen“ hat sich in der zahnmedizinischen Versorgung in Deutschland bereits vollzogen. Zahnmedizinische Prophylaxe ist neben der kurativen Zahnmedizin heute bereits eine Selbstverständlichkeit. Dies bestätigen die Erfolge bisheriger klinischer Präventionsmaßnahmen zur Vermeidung von Plaque-assoziierten Erkrankungen wie Karies und Parodontitis.

Zwar zeigt die fünfte deutsche Mundgesundheitsstudie (Cholmakow-Bodechtel et al., 2016) einen Rückgang der Kariesprävalenz in allen Altersgruppen, die Prävalenz bleibt dennoch hoch und bestimmte Bevölkerungsgruppen werden nach wie vor anscheinend nicht ausreichend oder nicht nachhaltig durch entsprechende Präventionsprogramme erreicht.

Ist die Fluoridierung eine sicher bestätigt wirksame Maßnahme in der Prävention (Bellini et al., 1981; Marinho et al., 2003; O’Mullane et al., 2016), muss in diesem Zusammenhang die Durchführung und Effektivität von Mundhygienemaßnahmen und °-instruktionen und deren Nachhaltigkeit diskutiert werden (Ganss et al., 2009, 2018, 2019; Macgregor & Rugg-Gunn, 1985; Winterfeld et al., 2015).

1.3 Die Präventivzahnmedizinische Sprechstunde

Um die bisher erzielten Erfolge in der zahnmedizinischen Prävention auszubauen, ist es ein wichtiger Ansatz, bereits in der zahnmedizinischen Lehre Präventionskonzepte nach aktuellem wissenschaftlichem Kenntnisstand zu vermitteln. So ist auch in der Poliklinik

für Zahnerhaltungskunde und Endodontologie an der Justus-Liebig-Universität in Gießen seit Jahrzehnten ein Präventionskonzept im Rahmen der Präventivzahnmedizinischen Sprechstunde (PZS) im Studierendenkurs etabliert. Dieses ist in die vier Abschnitte Mundhygieneinstruktion, Ernährungsberatung, Fluoridierungsmaßnahmen und Remotivation unterteilt und wird unter Supervision erfahrener Zahnärztinnen und Zahnärzten von Studierenden des ersten klinischen Semesters durchgeführt. Die Patientinnen und Patienten werden über ihren Mundhygieniezustand und Möglichkeiten der häuslichen Zahnpflege sowie über den Zusammenhang von Ernährung, Fluorid, dentalem Biofilm und Karies beraten. Zudem erhalten die sie Instruktionen zur Anwendung von Hilfsmitteln zur Mundhygiene. Die Patientinnen und Patienten werden durch Anfärben weicher und harter Beläge in Ober- und Unterkiefer mit Plaquerevelatoren und Demonstration der angefärbten Bereiche der Zahnbögen im Handspiegel motiviert bzw. remotiviert. Der aktuelle Mundhygieniezustand wird dokumentiert und eine gründliche supragingivale Zahnreinigung (professionelle Zahnreinigung /PZR) und Fluoridierung durchgeführt.

Ganss et al. evaluierten 2019 in einer retrospektiven Analyse den Effekt der Präventivzahnmedizinische Sprechstunde an der Zahnklinik der Justus-Liebig-Universität in Gießen nach 15 Jahren. Entgegen den Erwartungen zeigte sich jedoch, dass keine wesentliche Verbesserung der Mundhygiene erreicht werden konnte und sich die Mundhygiene von Patienten mit anfangs guter Mundhygiene gar verschlechterte (Ganss et al., 2019).

In Übereinstimmung mit den unbefriedigenden Resultaten von Ganss et al. 2019 zeigen auch andere Studien, dass sich die Implementierung von Mundhygieneinstruktionen anscheinend deutlich schwieriger gestaltet als erwartet (Schlueter et al., 2010, 2013). Andererseits weisen Studien aber auch darauf hin, dass bereits kleine Änderungen in der Instruktionsweise schon zur Verbesserung der Anwendung von Mundhygienehilfsmitteln führen könnten (Addy et al., 1999; Graetz et al., 2013; Shida et al., 2020). Welche Methode der Mundhygieneinstruktion die effektivste ist, ist jedoch nicht geklärt (Soldani et al., 2018).

Daher wurde für die Präventivzahnmedizinischen Sprechstunde an der Poliklinik für Zahnerhaltungskunde und Endodontologie an der Justus-Liebig-Universität in Gießen ein Mundhygieneprogramm mit einem neuen Konzept erarbeitet, welches eine veränderte Vorgehensweise der Studierenden sowohl bei Motivation und Remotivation von Patientinnen und Patienten als auch bei der Vermittlung von Mundhygieneinstruktionen vorsieht.

Die zunehmende Digitalisierung von Praxis und Wissenschaft ermöglicht, die berührungslose optische Erfassung der Zahnbögen des Ober- und Unterkiefers nach Anfärben des dentalen Biofilms durch einen Intraoralscanner zu verwenden, um ein aus diesen Daten entstehendes dreidimensionales Modell der Kiefer der Patientinnen und Patienten am Monitor abzubilden (Giese-Kraft et al., 2022; Jung et al., 2022). Nun lassen sich anhand dieser 3D-Darstellung des Intraoralscanners die angefärbten Bereiche des Zahnbogens eindeutiger darstellen und verdeutlichen als die herkömmliche Demonstration an einem Handspiegel. Die 3D-Ansicht erlaubt den Studierenden, die gescannten Zahnbögen eindrucksvoll auf dem Bildschirm in alle Richtungen zu drehen. Die Patientinnen und Patienten erhalten die Möglichkeit, alle Bereiche des Zahnbogens einzusehen und somit eine bessere Vorstellung von den Zähnen, die einer gründlicheren Reinigung bedürfen. Zu erhoffen ist dadurch ein nachhaltigerer Effekt der Mundhygieneinstruktionen.

Weiterhin vermitteln die Studierenden nunmehr die Mundhygieneinstruktion nicht nur verbal oder anhand von Modellen, sondern auch über Videos zur Zahnputzsystematik und zur richtigen Anwendung von Zahnseide und mit Zahnputzübungen mit zur Verfügung gestellter oder mitgebrachter Zahnbürste und Zahnpasta. Abschließend werden Zahnstein und hartnäckige Verfärbungen der Zähne professionell gereinigt und eine Schmelzpolitur und Fluoridierung vorgenommen.

Die Studierenden ihrerseits erlernen neben der theoretischen Wissensvermittlung der Prophylaxe durch Seminar, Skript und Bereitstellung von Instruktionvideos unmittelbar vor Beginn der Patientinnen- und Patientenbehandlung in den Einführungswochen am Anfang des Semesters und erneut zum Abschluss des Semesters den Umgang und die effektive Handhabung der Intraoralscanner in

gegenseitigen Übungen (Anfärben des dentalen Biofilms und Erstellen von 3D-Intraoralscans der eigenen Zähne).

Das neue Konzept beinhaltet somit eine substanzielle Umstellung, die den Studierenden die Reflexion der eigenen Mundhygiene ermöglicht und diese in einem viel größeren Maße mit der Selbstwirksamkeit der eigenen Mundhygienekenntnisse konfrontiert. Durch die mehrfache Anwendung in der Patientinnen- und Patientenbehandlung (angefärbter dentaler Biofilm wird auf dem 3D-Intraoralscan den Patienten demonstriert, mit den Patientinnen und Patienten werden Putzübungen durchgeführt, die Patienten werden instruiert und Instruktionsvideos werden gezeigt) werden die Mundhygienekenntnisse vertieft. Die Studierenden wiederum erlernen die individuell angepasste Anwendung der Mundhygieneinstruktionen „en passant“ (Reischmann, 1995).

1.4 Ziel der Studie

Es ergibt sich nun die Frage, in wie weit dieses veränderte aktive Vorgehen die eigene Mundhygiene der Studierenden im Laufe des Semesters verändert. Im besten Fall könnten die Studierenden selbst von diesem Konzept profitieren und ihre eigene Mundhygiene im Laufe des studentischen Kurses verbessern.

Voraussetzung hierfür ist, dass ein inzidentelles Lernen stattfindet. Hierunter versteht man beiläufiges Lernen ohne Lernintention und -instruktion. Inzidentell Erlerntes kann dabei durchaus Eigenschaften expliziten, also bewussten und zielgerichteten Lernens wie Erinnerungsbewusstsein und teilweise verbalisierbare Regelkenntnis beinhalten und grenzt sich so vom impliziten Lernen, also Aneignung unbewusster Lernobjekte, wie z.B. Fahrradfahren oder aber auch Spracherwerb im Kindesalter, ab (Hoffmann & Kintsch, 1996; Röhr-Sendlmeier, 2012).

Im Rahmen dieser Pilotstudie möchten wir also zunächst die Personen in den Fokus nehmen, die das neue Mundhygieneprogramm vermitteln, in diesem Fall die

Studierenden, die an dem Präventivzahnmedizinischen Kurs teilnehmen. Hierzu soll eine retrospektive Datenanalyse zeigen, ob durch die Teilnahme am praktischen Kurs der Präventivzahnmedizinischen Sprechstunde einschließlich der gegenseitigen Übungen, der theoretischen Wissensvermittlung im Seminar und letztendlich der Vermittlung und Anwendung an Patientinnen und Patienten bei den Studierenden ein Lernen bezüglich der von ihnen selbst gegebenen Mundhygieneempfehlungen, also ein inzidentelles Lernen erfolgte und ob dadurch Auswirkungen auf die eigene Mundhygiene, im optimalen Falle einer Verbesserung, erfolgten.

2 Methodik

Die Studie ist eine retrospektive Auswertung von 3D-Intraoralscans, die im Rahmen der gegenseitigen Übungen im Kurs für Zahnerhaltungskunde I entstanden sind. Es liegt ein positives Votum der Ethik-Kommission der Justus-Liebig-Universität vor (AZ 62/22).

Diese gegenseitigen Übungen wurden zu zwei Zeitpunkten durchgeführt:

T0: in den Einführungswochen zu Beginn des Semesters, vor Durchführung des Präventionsprogramms an Patientinnen und Patienten

T1: in den abschließenden Übungswochen zum Ende des Semesters, nach Durchführung des Präventionsprogramms an Patientinnen und Patienten

Nach Anfärben der Plaque mit dem Plaquerevelator Mira-2-Ton (Hager & Werken GmbH & Co KG, Duisburg, Germany) wurden Ober- und Unterkiefer mit dem Intraoralscanner CS 3600 der Firma Carestream Dental (Stuttgart, Deutschland) optisch erfasst.

Insgesamt standen je zwei 3D-Intraoralscans von 30 Studierenden zur Verfügung, die alle ausgewertet werden konnten.

Das folgende Schema stellt den Ablauf des Semesters und die Inhalte der Präventivzahnmedizinischen Sprechstunde dar:

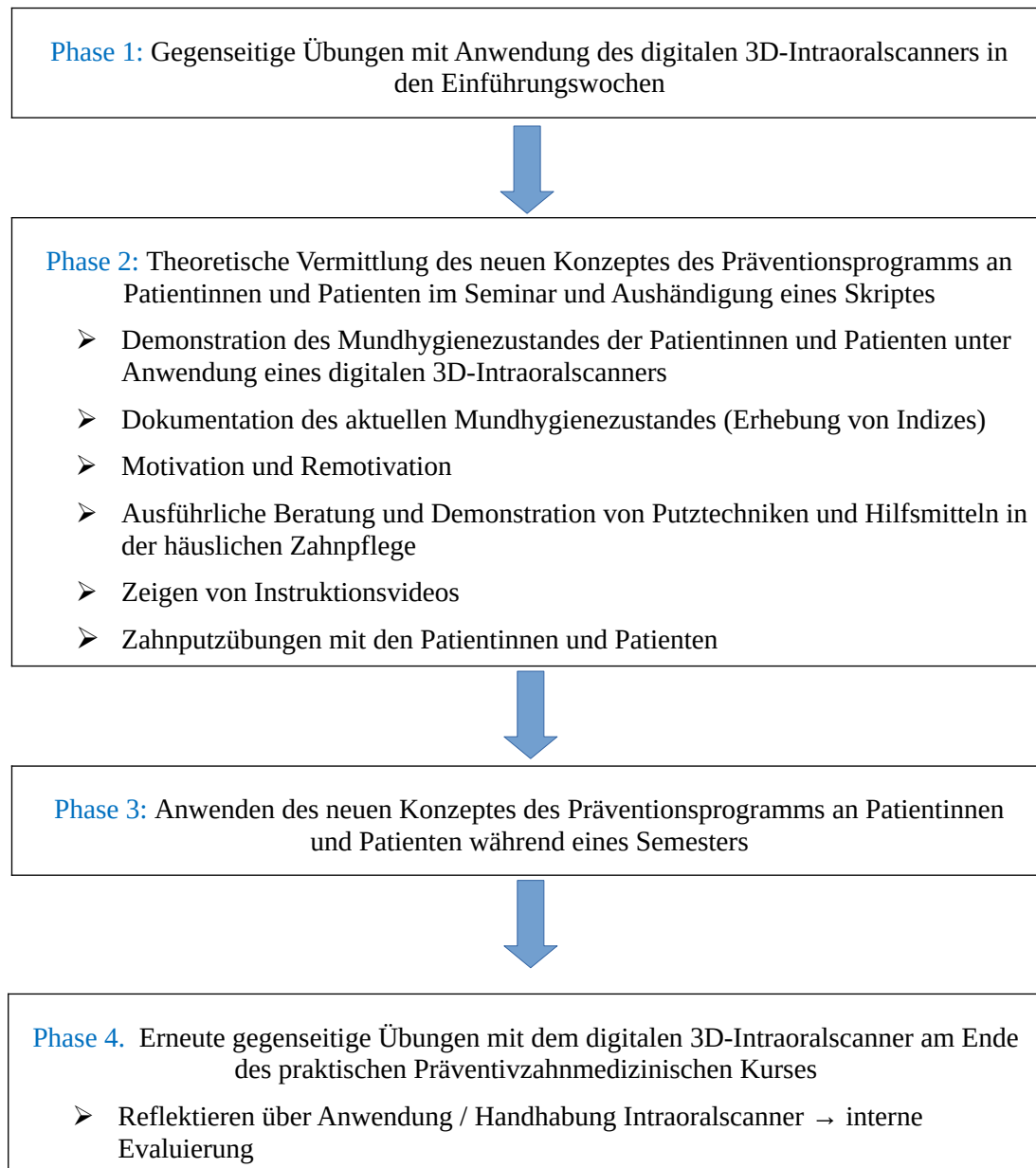


Schaubild 1: Schematische Darstellung des neuen Konzeptes des Präventivzahnmedizinischen Kurses

2.1 Ablauf der Auswertung

Die retrospektive Erhebung der Daten erfolgte, wie oben ausgeführt, an 3D-Intraloralscans der Ober- und Unterkiefer zum Zeitpunkt T0 und T1, die im Rahmen des Präventivzahnmedizinischen Kurses entstanden waren. Dazu wurde die Menge an Plaque für jeden Zahn, außer der Weisheitszähne, vestibulär und oral bestimmt.

Für die planimetrische Analyse wurden 2D-Bilder der Vestibulär- und Oralflächen der Zähne des 3D-Intraoralscans benötigt. Zu diesem Zweck wurden Screenshots angefertigt.

Um gleiche Aufnahmewinkel der Zahnflächen zur Gewährleistung einer hohen intraindividuellen Vergleichbarkeit zu erreichen, wurden die Ober- bzw. Unterkiefer der beiden Zeitpunkte in dem 3D-Geometrieverarbeitungsprogramm MeshLab der Version v2020.09 (Cignoni et al., 2008) geometrisch ineinander gelagert. So konnten analoge Screenshots der entsprechenden Zeitpunkte für die Vestibulär- und Oralflächen jedes Zahnes zum Zeitpunkt T0 und T1 angefertigt werden.

MeshLab hat sich bei der Abbildung dreidimensionaler Strukturen im akademisch-medizinischen Kontext bewährt (Awad et al., 2022; Buschang et al., 2015; Ceylan & Emir, 2023).

Ausführliche Pretests hatten gezeigt, dass die Screenshots der 3D-Intraoralscans standardisiert werden müssen, da Abweichungen durch Rotation in der x-, y- und z-Achse, des Zooms oder der Belichtung einen Einfluss auf die planimetrisch bestimmte Plaquemenge haben. Um eine hohe interindividuelle Vergleichbarkeit zu erreichen, wurden daher Ebenen definiert, die die Aufnahmeeinstellungen zur Anfertigung der Screenshots bestimmten, und ein einheitlicher Zoom und Belichtung gewählt.

Die Zahnflächen der Zeitpunkte T0 und T1 wurden synchron ausgeschnitten. Hierzu wurde das GNU-Bildbearbeitungsprogramm, nachfolgend GIMP genannt, der Version GIMP 2.10.30 (The GIMP Development Team, 2019) genutzt.

Abschließend lagen somit für die vestibulären und oralen Zahnflächen identisch ausgeschnittene Bilder zu den beiden Zeitpunkten T0 und T1 vor. Ein planimetrisches Auswerteprogramm zählte die mit Plaque assoziierten Farbpixel und errechnete den prozentualen Anteil der Pixel, die einem plaquebedeckten Areal zuzurechnen waren, anhand der Gesamtzahl der Pixel.

Im Folgenden wird das Vorgehen im Detail beschrieben.

2.1.1 Konvertierung des Dateiformats

Die jeweiligen 3D-Intraoralscans lagen nach dem Scanvorgang im proprietären CSZX-Dateiformat vor. Diese ließen sich ausschließlich über den CS Mesh Viewer öffnen. Der CS Mesh Viewer ermöglichte jedoch die Konvertierung in das offene PLY-Format:

Export → Export Format: Export to PLY → Export

Hierbei ist zu erwähnen, dass die Konvertierung des 3D-Intraoralscans in das PLY-Dateiformat auch eine PNG-Datei erzeugte. Dabei beinhaltet die PLY-Datei die geometrische 3D-Struktur, die in Form von Polygonen beschrieben wird sowie hinterlegte assoziierte Datenpfade. Die PNG-Datei enthält die Farbinformation der Oberflächenpolygone der dreidimensionalen Struktur, hier des Zahnbogens, und somit auch die Plaqueakkumulation auf diesem. Die Farbgestaltung wurde der durch die Polygone beschriebenen dreidimensionalen farblosen Struktur übergelegt.

2.1.2 Import in MeshLab

Anschließend wurde die PLY-Datei in das Programm MeshLab importiert:

File → Import Mesh... → Auswählen der Datei im .ply-Format

Die mit der PLY-Datei assoziierte PNG-Datei wird dabei automatisch verknüpft, sofern sich beide Dateien im gleichen Ordner befinden und deren Namen nicht verändert werden.

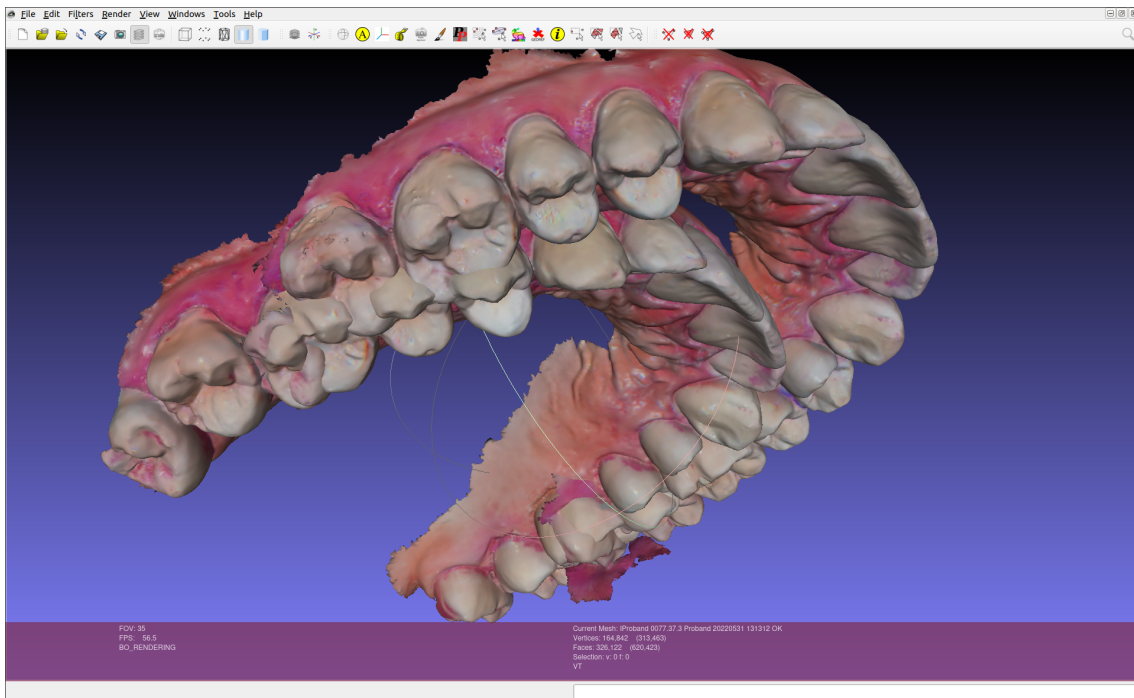


Abbildung 1: In MeshLab importierte Oberkiefer desselben Probanden zum Zeitpunkt T0 und T1

Der Import der 3D-Intraloralscans der jeweiligen Zeitpunkte erfolgte gemäß der zeitlichen Abfolge der Studie:

Zunächst wurde der Scan zum Zeitpunkt T0 hochgeladen und bildete somit auch „Layer00“. Danach wurde der Scan zum Zeitpunkt T1 ausgewählt, welcher von MeshLab somit in zweiter Position als „Layer01“ bezeichnet wurde.

Die beiden importierten Scans des Zahnbogens konnten nun zusammen oder unabhängig voneinander in MeshLab betrachtet werden. Das Ein- und Ausblenden ließ sich über das Augensymbol in anhängender Projektschaltfläche betätigen:

View → Show Layer Dialog

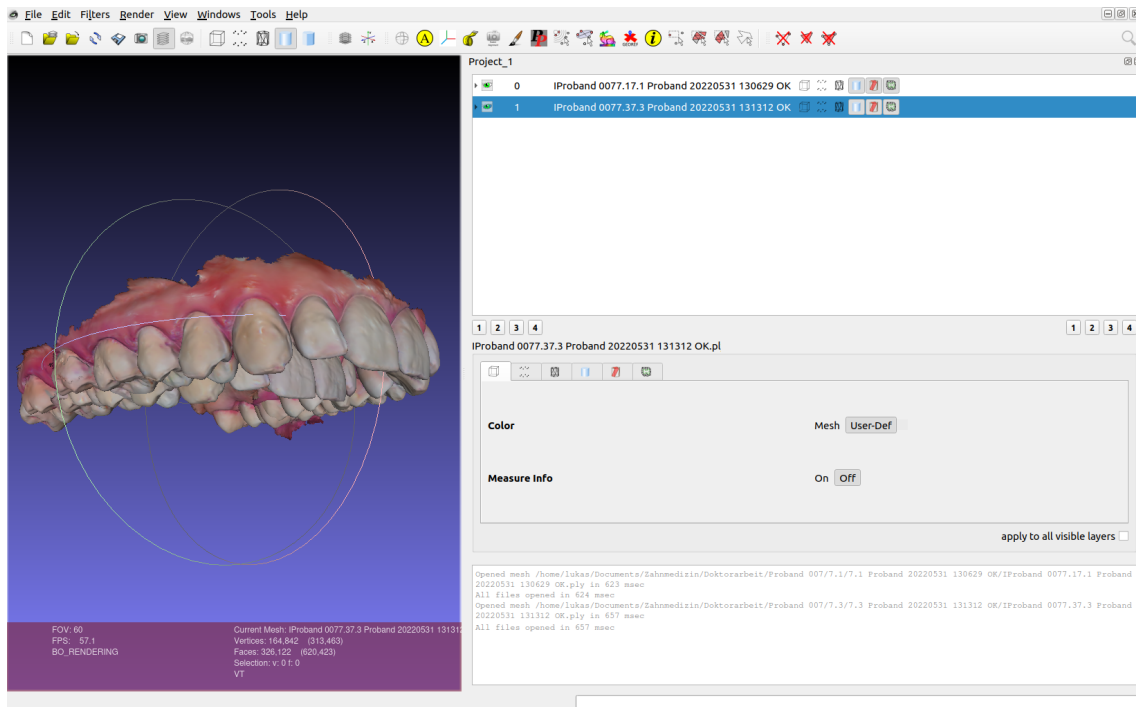


Abbildung 2: Der Layer-Dialog in MeshLab: Über das Augen-Symbol lassen sich die Kiefer einzeln ein- und ausblenden.

2.1.3 Matchen der 3D-Intraloralscans

Gemäß einem dem Programm hinterlegten Algorithmus wurden die 3D-Intraloralscans in MeshLab importiert und geometrisch ausgerichtet. Die bestmögliche intraindividuelle Vergleichbarkeit wird erreicht, wenn die Zahnbögen für die spätere Anfertigung der Screenshots in der gleichen räumlichen Position dargestellt sind. Im nachfolgenden Anfertigen der Screenshots war die Ausrichtung der 3D-Intraloralscans zum Zeitpunkt T0 und T1 dann identisch.

Dazu wurde das das Align-Tool genutzt:

Edit → Align

Über das Align-Tool können beide Kiefer exakt übereinandergelegt werden. Zunächst wurde ein Kiefer als Referenz definiert, an dem sich der andere Kiefer orientierte. In

dieser Studie wurde dazu immer der 3D-Intraloralscan zum Zeitpunkt T0 als Referenzposition gewählt. Dies geschah über *Glue Here Mesh*.

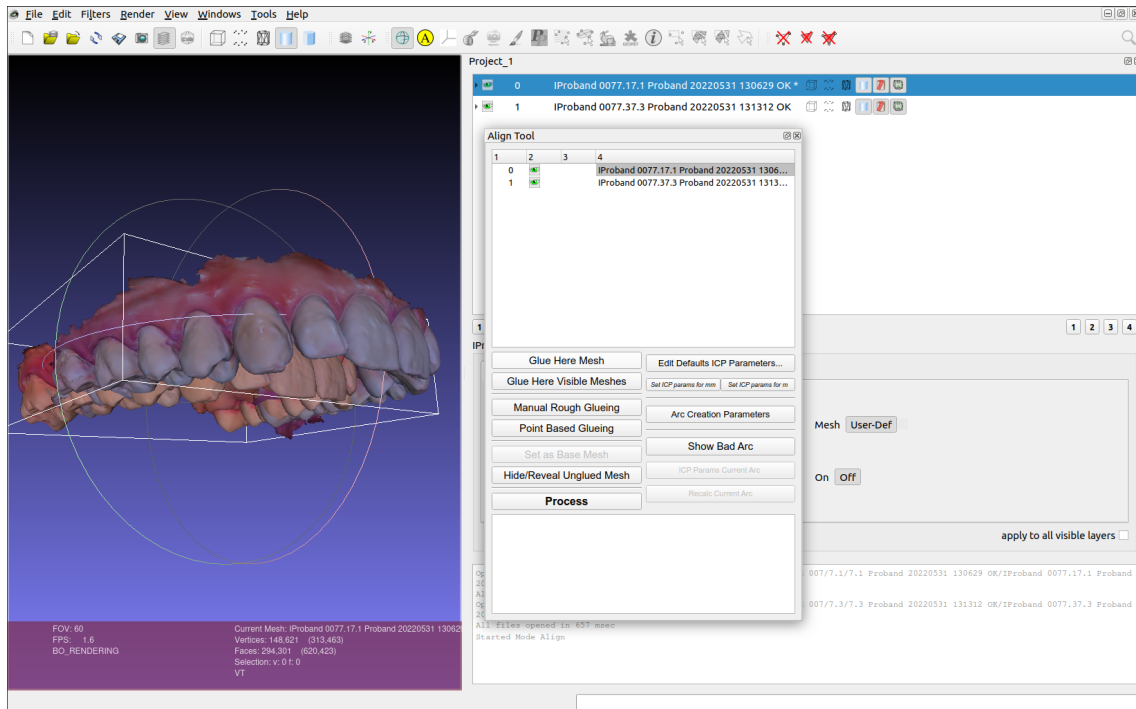


Abbildung 3: Das Align-Tool in MeshLab: Der Oberkiefer zum Zeitpunkt T0 war bereits ausgewählt und konnte nun über "Glue Here Mesh" fixiert werden.

Danach wurde der 3D-Intraloralscan zum Zeitpunkt T1 ausgewählt. Per *Point Based Glueing* eröffnete sich eine neue Benutzeroberfläche, in der die 3D-Intraloralscans gematcht werden konnten:

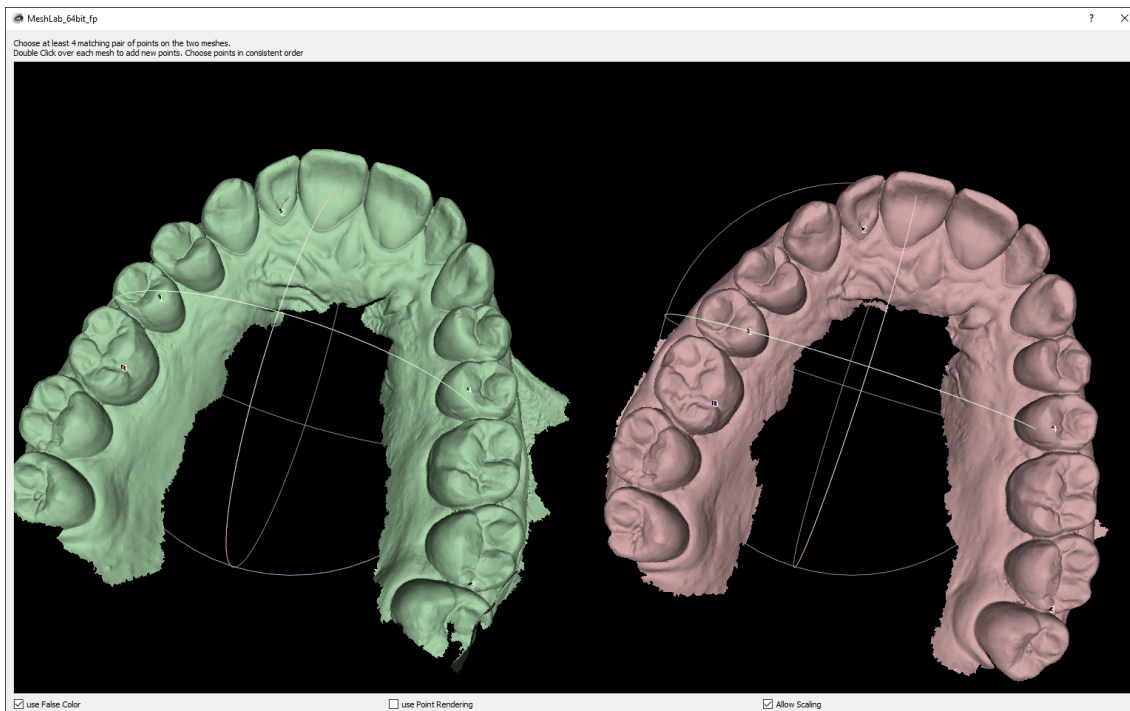


Abbildung 4: Ansicht der Benutzeroberfläche nach Klick auf „Point Based Glueing“: Der Oberkiefer zum Zeitpunkt T0 befindet sich auf der linken und der Oberkiefer zum Zeitpunkt T1 auf der rechten Seite. Die anatomischen Bezugspunkte wurden bereits definiert (s.u.).

Es wurden mindestens vier markante anatomische Bezugspunkte in numerischer Reihenfolge, die auf den Zahnbögen zu den zwei Zeitpunkten gut optisch erfasst worden waren, ausgewählt und per Doppelklick definiert. Es konnten beliebig viele solcher Bezugspunkte gesetzt werden. Da Weichgewebe verschieblich ist und somit größeren Veränderungen zwischen Zeitpunkt T0 und T1 unterliegt, wurden die Bezugspunkte in den Zahnhartsubstanzen gesucht.

Nichtsynchrones Zoomen der beiden Scans wurde über das Häkchen *Allow Scaling* erreicht. Anschließend wurde die Auswahl mit OK bestätigt und unter *Process* wurden die Kiefer anschließend mittels Rotationen und Translationen in Deckung gebracht. In dem darunter liegenden Logdatei-Textfeld konnten die Abweichungen des Matchprozesses abgelesen werden.

Die gematchten 3D-Intraloralscans lagen nun passgenau und in achsengleicher Ausrichtung übereinander. Dargestellt wurden diese automatisch in etwas

unterschiedlicher Farbe, um sie voneinander diskriminieren zu können. Neben der im Textfeld angegebenen Abweichung konnte das Ergebnis also auch optisch kontrolliert werden. Die Zahnoberflächen sollten nach dem Matchvorgang möglichst „marmoriert“ erscheinen. Je stärker die Marmorierung, desto höher ist die Genauigkeit der Überlagerung.

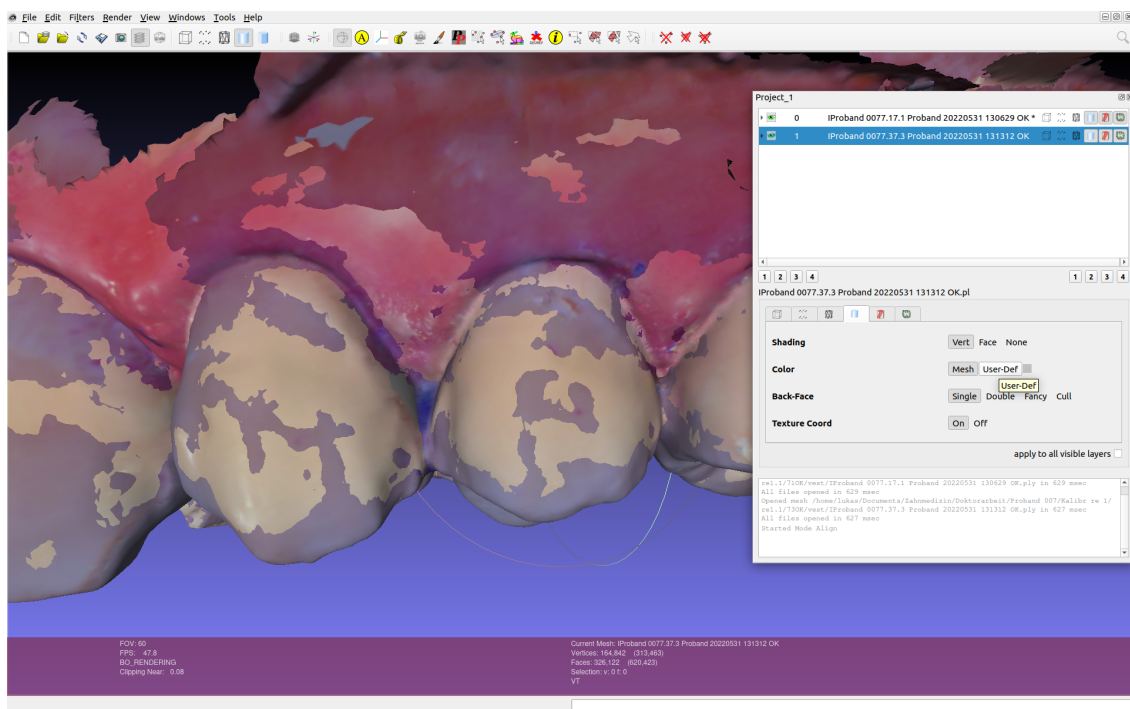


Abbildung 5: Ansicht der gematchten Oberkiefer der Zeitpunkte T0 und T1 in MeshLab mit der typischen Marmorierung. Über die Projektschaltfläche (rechts) kann die ursprüngliche Darstellung wieder eingestellt werden (hervorgehoben).

Sollte der Algorithmus Ungenauigkeiten aufgewiesen haben, so konnte die Ausrichtung des gematchten Kiefers auch manuell über *Manual Rough Glueing* korrigiert werden. Die Darstellung mit unterschiedlicher Färbung wurde in der Projektschaltfläche

View → *Show Layer Dialog* → Reiter: *Vert* → *Color: User-Def*

wieder in die Originaldarstellung geändert.

2.1.4 Entfernung von Artefakten

Sollten Artefakte, Weichteilabbildungen oder bestimmte Scanbereiche die Darstellung für die spätere Anfertigung der Screenshots beeinträchtigt haben, so konnten diese herausgeschnitten werden:

Edit → Select Faces in a rectangular region

Mit dem Mauszeiger wurden quadratische Flächen gezogen und markiert. Diese konnten mit der Taste Strg addiert und mit der Taste Umschalt subtrahiert werden. Die Taste Alt bewirkt das Auswählen der sichtbaren Meshes im Gegensatz zu dem in der Projektschaltfläche angewählten Kiefer.

Durch die Betätigung der Taste Esc kann der Trackball ein- und ausgeblendet und der 3D-Intraloralscan mit der Maus wieder bewegt werden.

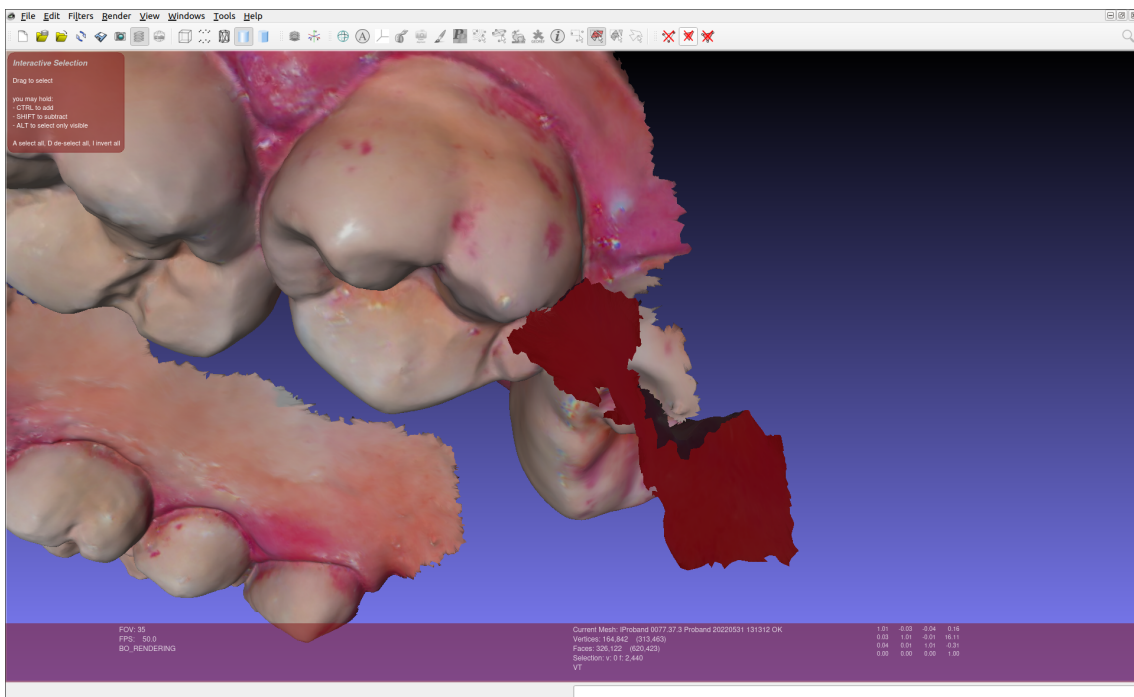


Abbildung 6: Ansicht des Oberkiefers zum Zeitpunkt T1 in MeshLab. Die zu löschende Fläche wurde bereits definiert (rot eingezeichnet).

Per

Filters → Selection → Delete Selected Faces and Vertices

wurden die ausgewählten Bereiche gelöscht. Die ursprüngliche Farbdarstellung gelang dann wieder über

View → Show Layer Dialog → Reiter: Vert → Texture Coord: On

in der Projektschaltfläche.

2.1.5 Ausrichtung der 3D-Intraloralscans im Weltkoordinatensystem

MeshLab ermöglicht es, die 3D-Intraloralscans in alle drei Richtungen (x-, y- und z-Achse) dreidimensional im Weltkoordinatensystem auszurichten. Das Weltkoordinatensystem lässt sich über

Render → Show Axis

einblenden. Die x-Achse wird rot, die y-Achse wird grün und die z-Achse blau dargestellt.

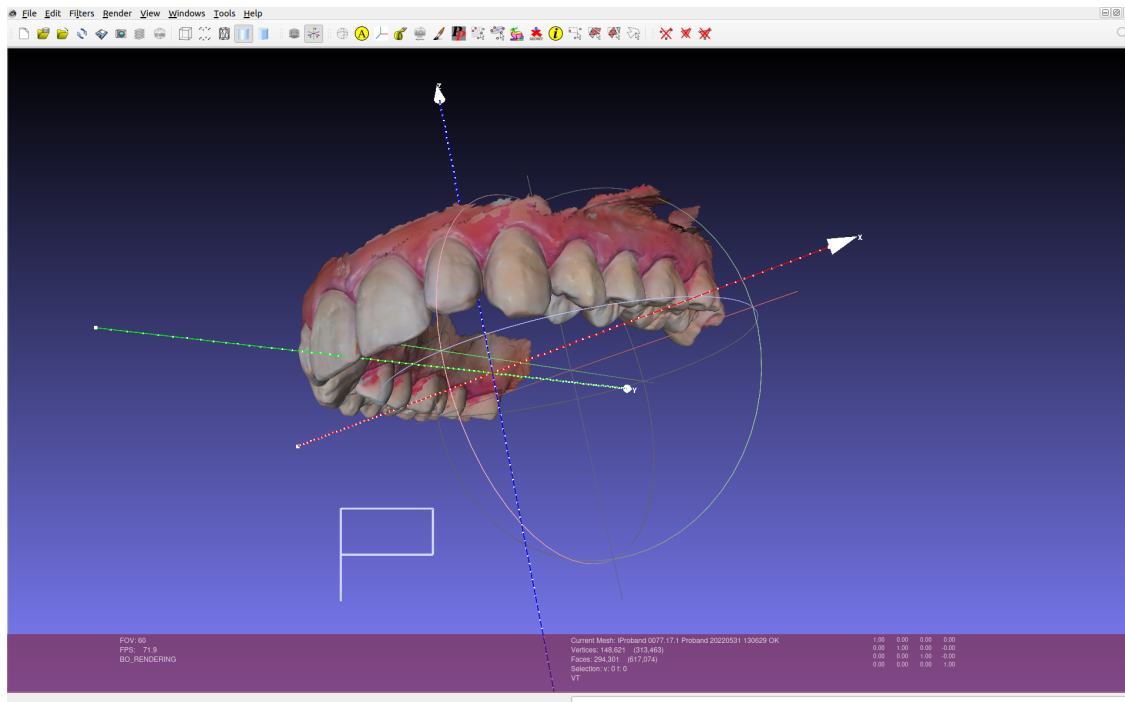


Abbildung 7: Darstellung der Oberkiefer im Weltkoordinatensystems (farbintensive x-, y-, z-Achsen) in MeshLab. Der Trackball ist eingblendet und erscheint blasser. Der Mittelpunkt des Trackballs beschreibt den optischen Bezugspunkt über den sich die Betrachtung der Kiefer mit der linken Maustaste und Bewegen der Maus rotieren lässt. Über Halten der Taste Strg und Bewegen der Maus lässt sich der optische Bezugspunkt verschieben und über Halten der Taste Umschalt oder über das Mausrad vergrößern und verkleinern.

Die Ausrichtung erfolgte über:

Edit → Manipulators Tool

Nun wurde der eingblendeten Instruktion gefolgt. Über die Taste T konnte der 3D-Intraloralscan global verschoben werden. Die zusätzliche Taste der Achsenbezeichnungen X, Y oder Z erlaubte die achsenparallele Verschiebung entlang der jeweiligen Achse. Über die Taste R und anschließenden Tastendruck der oben genannten Tasten der Achsenbezeichnungen konnte der 3D-Intraloralscan über die entsprechenden Achsen rotiert werden. Durch die Betätigung der Taste Esc wurde der Trackball ein- und ausgeblendet und eine Bewegung der Ansicht wieder ermöglicht. Taste Enter bestätigte die Bewegung, die Rücktaste machte die Bewegung hingegen rückgängig. Die veränderte Position wurde über

Filters → Normals Curvatures and Orientation → Matrix: Freeze current Matrix

für den jeweils angewählten 3D-Intraloralscan als neue 0-Position definiert und über

File → Export Mesh as...

bei Bedarf gespeichert.

Nachdem der angewählte 3D-Intraloralscan zum Zeitpunkt T0 ausgerichtet worden war, wurde der 3D-Intraloralscan zum Zeitpunkt T1 synchron bewegt. Dies geschah, indem über

Filters → Normals, Curvatures and Orientation → Matrix: Set/Copy Transformation

die Achsenverschiebungen ausgelesen

Read from current layer

und der synchron zu verschiebenden 3D-Intraloralscan ausgewählt und die Achsenverschiebung ausgeführt wurde:

Apply

Die Fixierung und Speicherung der 0-Position des 3D-Intraloralscans zum Zeitpunkt T1 erfolgte analog wie oben beschrieben.

2.1.6 Achsdefinition für die jeweiligen Zahngruppen

Zur Ausrichtung der 3D-Intraloralscan bei der Erstellung der Screenshots wurden für die x- als auch y-Achse jeweils Punkte definiert. Es entstand eine Ebene, welche durch die beiden Achsen zwangsläufig beschrieben wird. Diese Ebene wurde zur Anfertigung

der Screenshots parallel zur Blickebene bzw. orthogonal zur Bildebene ausgerichtet. So wurde eine Abweichung der Betrachtung in x-Achse und y-Achse bestmöglich minimiert. Nur eine Achse, die z-Achse, blieb frei wählbar. Dies war nötig, um die ausgeglichene Betrachtung der mesialen und distalen Anteile des jeweiligen Zahnes zu erlauben.

Für die unterschiedlichen Zahngruppen wurden für den Ober- sowie Unterkiefer unterschiedliche Punkte zur Festlegung der x- und y-Achse definiert, um bei der Ausrichtung der 3D-Intralscans den jeweiligen Zahnformen und Zahnachsen Rechnung zu tragen und eine weitestgehend senkrechte Betrachtung zu gewährleisten.

So wurden beispielsweise für die Oralflächen der oberen Frontzähne die x- und y-Achse so gewählt, dass die typische konkave Form berücksichtigt und eine weitestgehend orthogonale Betrachtung ermöglicht wurde. Wäre für alle Vestibulär- und Oralflächen die gleiche Ausrichtung gewählt worden, wäre für die Oralflächen der oberen Frontzähne ein ungünstiger Betrachtungswinkel zustande gekommen.

Vestibulärflächen der Oberkieferfront- und Seitenzähne

Die y-Achse verlief durch den Kreuzungspunkt zwischen der Tangente der Schneidekante des am weitesten in die Okklusionsebene ragenden mittleren Schneidezahns und der senkrecht verlaufenden Verbindungslinie durch den Kontaktpunkt.

Die x-Achse verlief im Oberkiefer durch die mesio-palatinalen Höckerspitzen der zweiten Molaren.

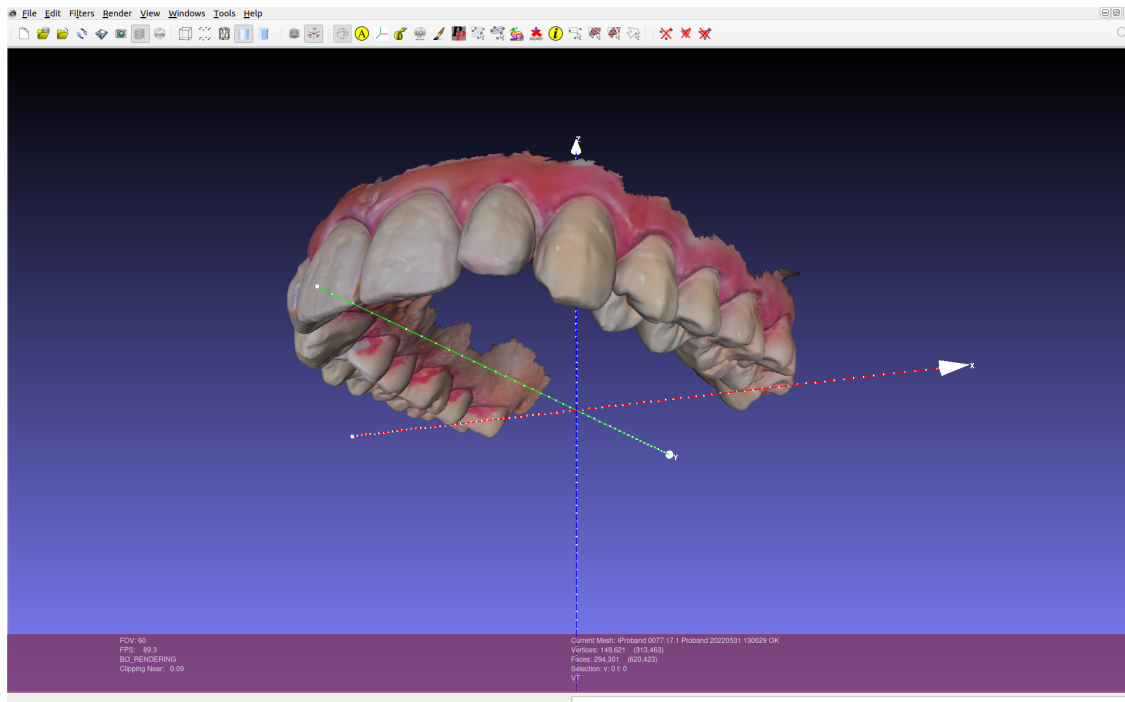


Abbildung 8: Ausgerichteter Oberkiefer des Zeitpunktes T0 für die Anfertigung der Screenshots der Vestibulärflächen

Oralflächen der Oberkieferseitenzähne

Für Oralflächen der Oberkieferseitenzähne wurde für die y-Achse ein weiter apikal liegender Bezugspunkt gewählt: An die apikale Begrenzung des Gingivalsaums auf der oralen Seite der mittleren oberen Schneidezähne wurde eine Tangente gelegt. Durch den Schnittpunkt dieser mit der Orthogonalen zum Kontaktpunkt verlief die y-Achse.

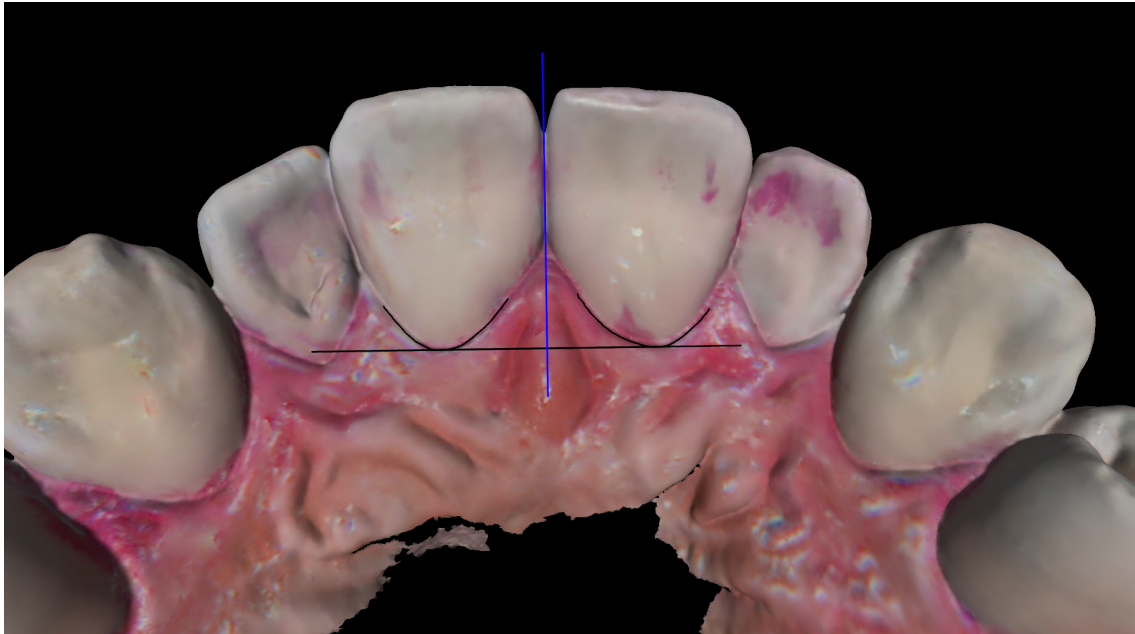


Abbildung 9: Anteriorer Bezugspunkt der y-Achse für die Ebene der Oralflächen der Seitenzähne des Oberkiefers

Die x-Achse verlief durch die mesio-palatinalen Höckerspitzen der ersten Molaren.

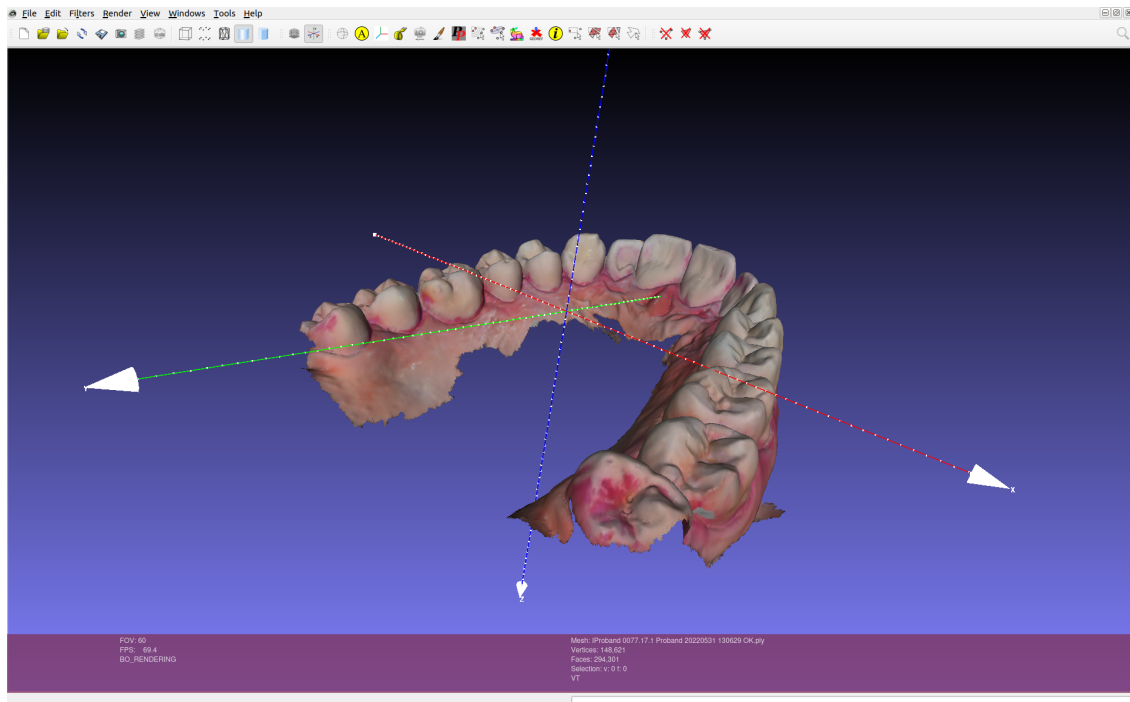


Abbildung 10: Ausgerichteter Oberkiefer des Zeitpunktes T0 für die Anfertigung der Screenshots der Oralflächen der Seitenzähne im Oberkiefer: Anteriorer Bezugspunkt und mesio-palatinale Höcker der ersten Molaren.

Oralflächen der Oberkieferfrontzähne

Zur Anfertigung der Screenshots der Oralflächen der OK-Frontzähne verlief die y-Achse ebenfalls durch die orale, am meisten apikal gelegene Begrenzung des Gingivalsaums, die x-Achse jedoch durch die palatinalen Höckerspitzen der ersten Prämolaren. Wenn diese z.B. wegen kieferorthopädischer Ausgleichsextraktionen fehlten, verlief die x-Achse durch die palatinalen Höckerspitzen der zweiten Prämolaren.

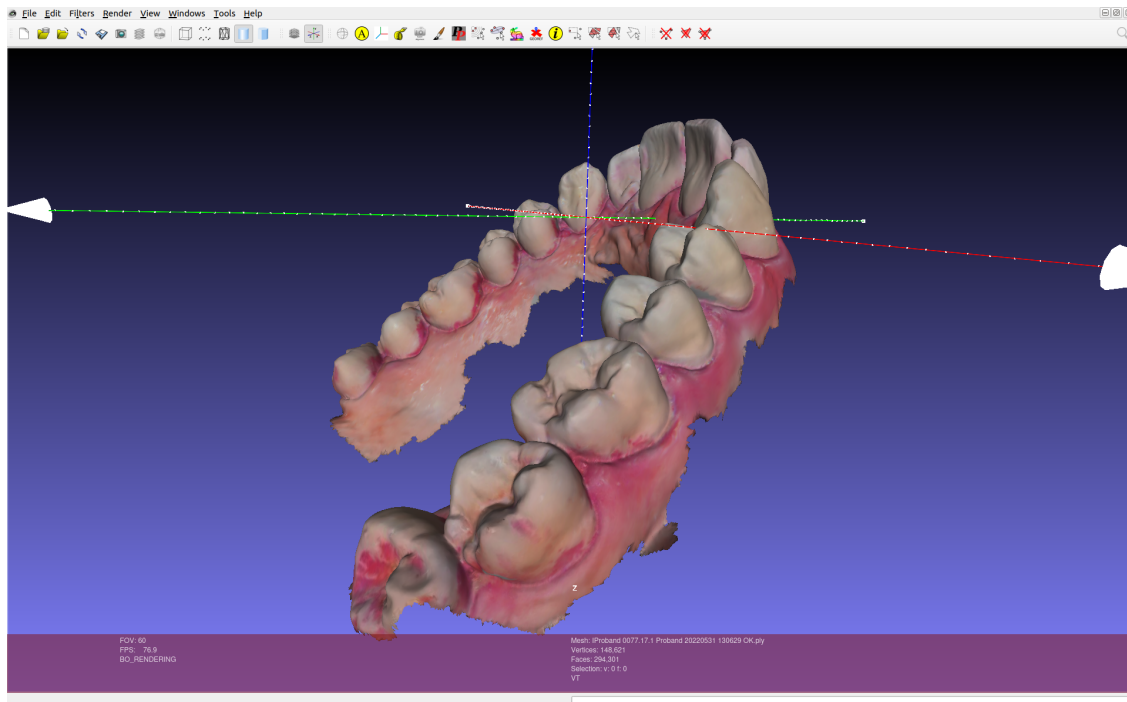


Abbildung 11: Ausgerichteter Oberkiefer des Zeitpunktes T0 für die Anfertigung der Screenshots der Oralflächen der Frontzähne im Oberkiefer: Anteriorer Bezugspunkt und palatinale Höcker der ersten Prämolaren

Vestibulärflächen der Unterkieferzähne und Oralflächen der Unterkieferfrontzähne

Im Unterkiefer wurde für alle Vestibulärflächen der Front- und Seitenzähne als auch die Oralflächen der Seitenzähne die gleiche Einstellung gewählt. Die y-Achse verlief durch den Inzisalpunkt und die x-Achse durch die disto-bukkalen Höckerspitzen der zweiten bleibenden Molaren. Dies entspricht der Okklusionsebene.

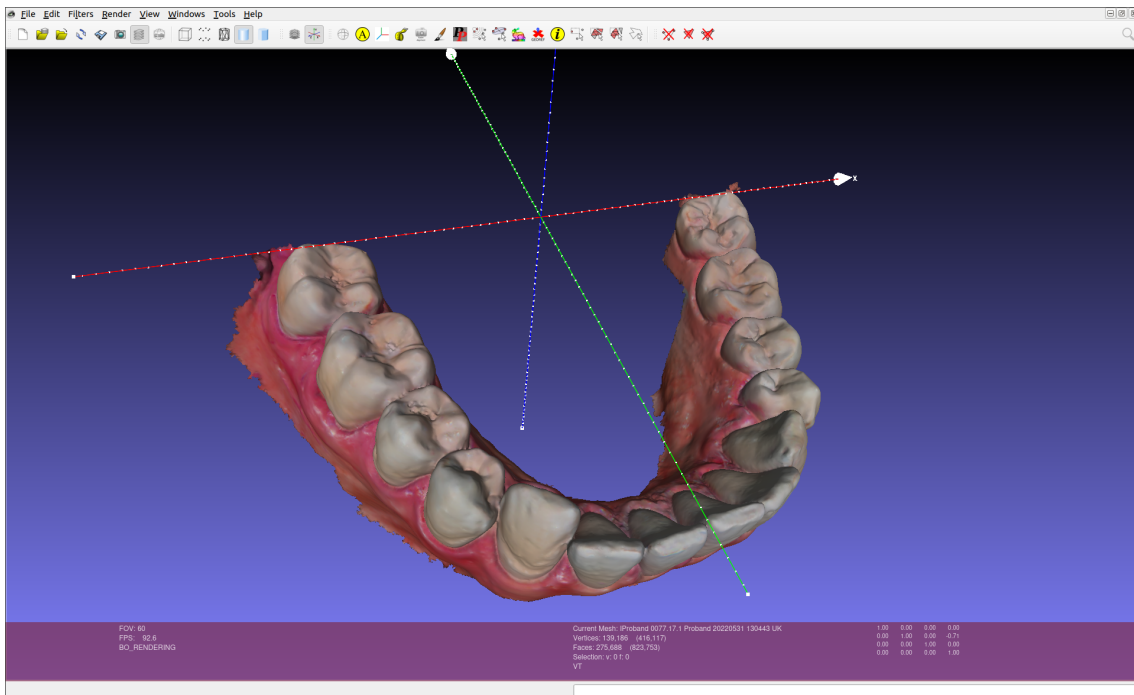


Abbildung 12: Ausgerichteter Unterkiefer des Zeitpunktes T0 für die Anfertigung der Screenshots der Vestibulärflächen und Oralflächen der Seitenzähler: Inzisalpunkt und disto-bukkaler Höcker der zweiten Molaren

Oralflächen der Unterkieferfrontzähne

Um eine gute Darstellung der Plaque der Oralflächen der Unterkieferfrontzähne zu erreichen, verlief die y-Achse durch den Kreuzungspunkt der Tangente der apikalen Begrenzung des lingualen Gingivalrandes der mittleren Schneidezähne und der orthogonal verlaufenden Verbindungslinie durch den Inzisalpunkt. Die x-Achse verlief durch die bukkalen Höckerspitzen der zweiten Prämolaren.

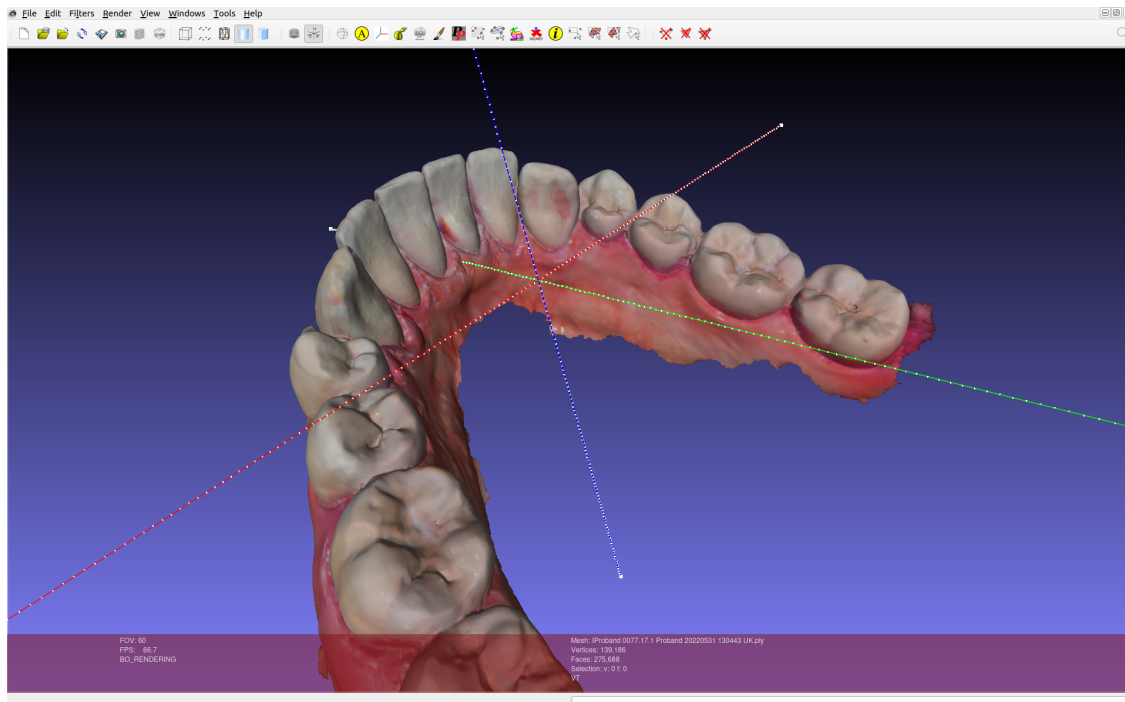


Abbildung 13: Ausgerichteter Unterkiefer des Zeitpunktes T0 für die Anfertigung der Screenshots der Oralflächen der Unterkieferfrontzähne im Unterkiefer: Anteriorer Bezugspunkt und bukkale Höcker der zweiten Prämolaren

2.1.7 Anfertigen der Screenshots

Als Ansichtsprojektionsmodus wurde die orthogonale Projektion gewählt. Dies ermöglichte uns die größengleiche Betrachtung ohne blickgeometrische Verzerrungen:

View → Toggle Orthographic Camera.

Zur Anfertigung der Screenshots wurden die x- und y-Achse nun auf in eine Blickebene gebracht. Über die z-Achse konnte frei rotiert werden, bis die bestmögliche Darstellung der Zahnhartsubstanzen des betreffenden Zahnes erreicht war. Sie stellte somit die einzig frei wählbare Variable bei der Anfertigung der Screenshots dar.

Sie wurde so gewählt, dass bei Betrachtung der Vestibulär- oder Oralflächen der jeweiligen Zahngruppen die mesialen und distalen Approximalbereiche bestmöglich dargestellt wurden.

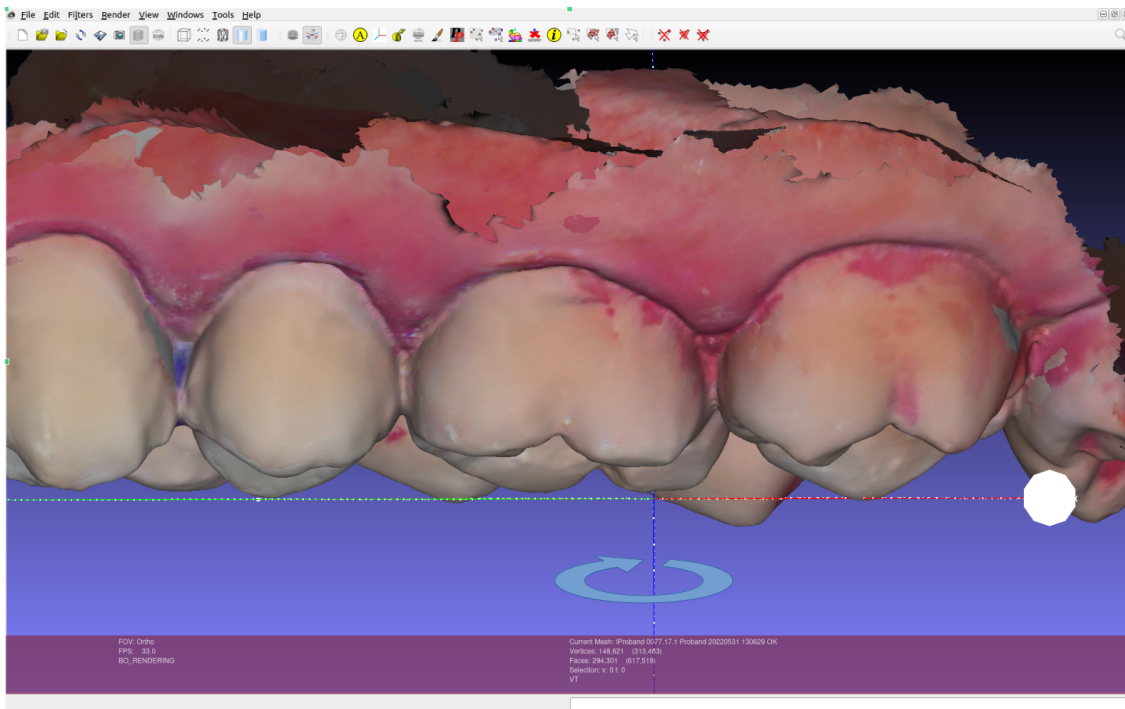


Abbildung 14: Betrachtung des Zahnes 26 zum Zeitpunkt T0 und T1 in MeshLab: Die x- und y-Achse bilden eine Ebene, welche orthogonal zur Bildschirmenebene verläuft. Die freie Rotation über die z-Achse ist mit einem blauen Pfeil illustriert. Der Zoom ist zur Veranschaulichung noch nicht eingestellt (siehe unten).

Pretests hatten außerdem gezeigt, dass Schattierungs- bzw. Belichtungseinstellungen Einfluss auf die Interpretation der Plaqueflächen des planimetrischen Auswerteprogramms haben. So wirkten sich Schattierungen des Modells verfälschend im Sinne falsch-positiver Ergebnisse aus. Jedoch erleichterten Schattierungen die Diskrimination pink-rosa angefärbter Plaque-behafteten Zahnhartsubstanzen gegenüber der blass-rosa Gingiva, da die komplexe dreidimensionale Struktur des Gingivalsaums Schatten warf.

Es wurden die Vorteile beider Schattierungs- bzw. Belichtungseinstellungen kombiniert, indem die Screenshots in der gewählten Position der 3D-Intraloralscans sowohl mit der als *Face* beschriebenen, konstanten Schattierung

View → *Show Layer Dialog* → Reiter: *Vert* → *Shading: Face*

als auch in der ausgeschalteten Schattierung *None*

View → Show Layer Dialog → Reiter: Vert → Shading: None

angefertigt wurden. Bei der Schattierung wurde koaxiales Licht gewählt. Dies ist bei MeshLab voreingestellt, konnte bei Bedarf aber über Tastendruck Strg und Umschalt und Bewegung der Maus verändert werden. Wichtig war, die Betrachtungsansicht zwischen dem Anfertigen der beiden Belichtungseinstellung nicht zu ändern.

Der Zoom wurde formatfüllend auf einem Dell U2412M (16:10, 1920x1200) der Firma Dell Technologies (Texas, USA) eingestellt.

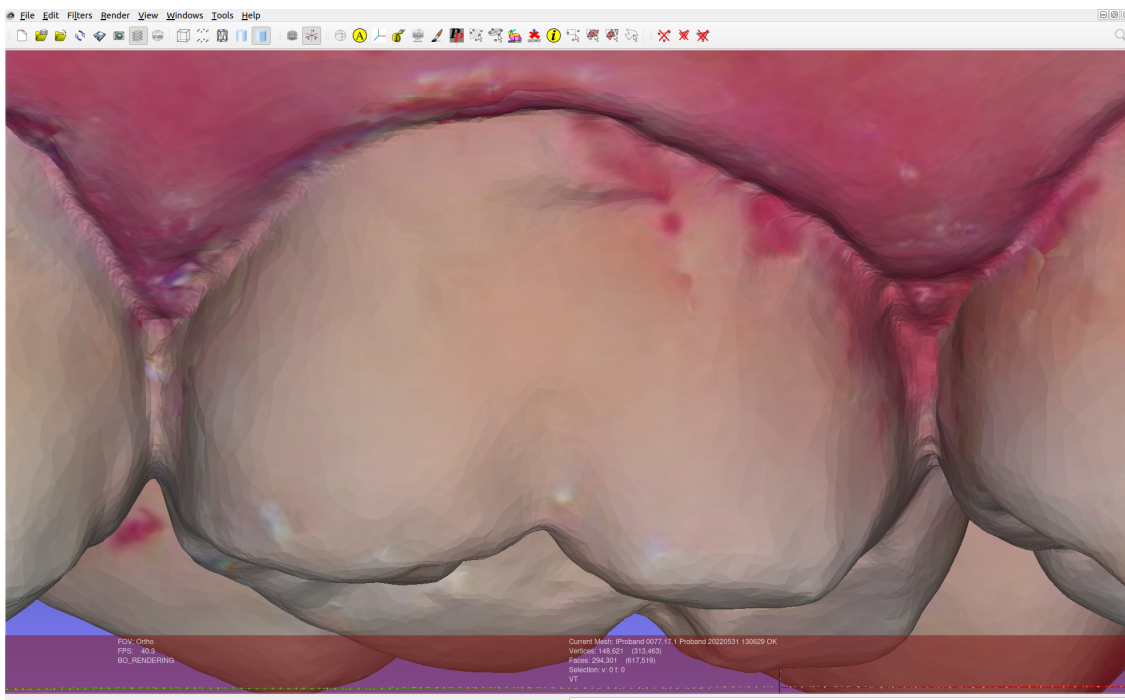


Abbildung 15: Zahn 26 von vestibulär zum Zeitpunkt T0 und T1 in MeshLab: Bereit zur Anfertigung von Screenshots in der Belichtungseinstellung „Face“. Die x- und y-Achse liegen übereinander, die mesialen und distalen Bereiche sind gleichmäßig und der Zoom formatfüllend eingestellt.

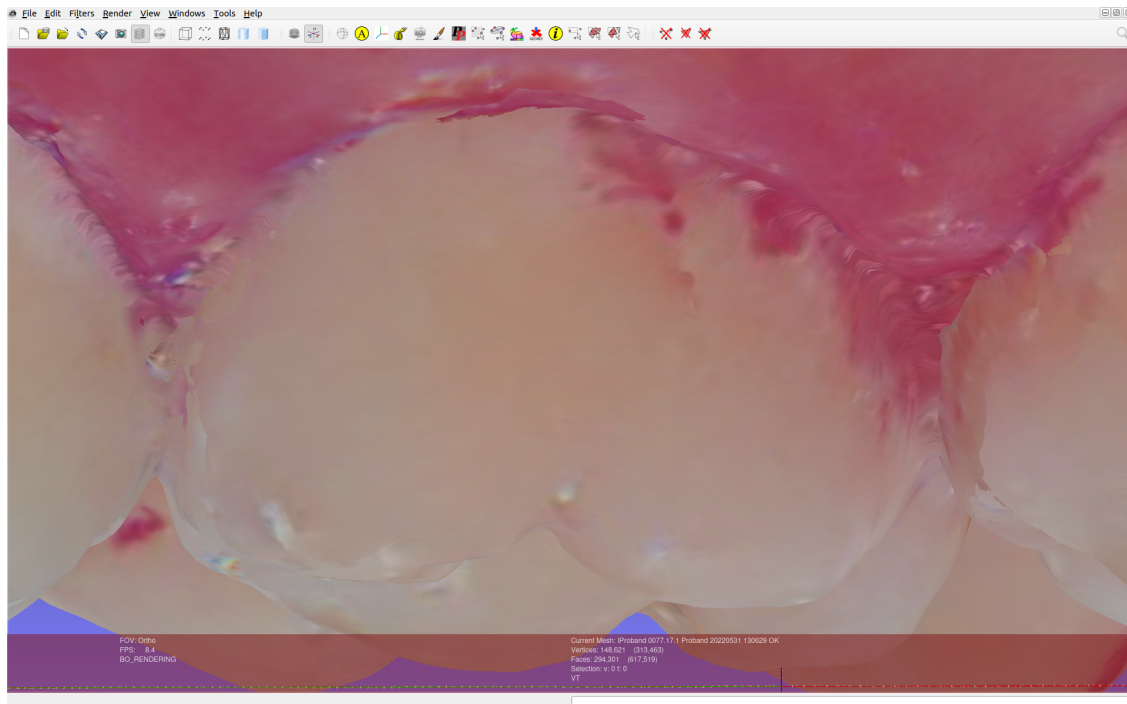


Abbildung 16: Die gleiche Betrachtung des Zahnes 26 von vestibulär in MeshLab wie in Abb. 15, jedoch in der Belichtungseinstellung „None“.

Über

File → *Save Snapshot*

öffnete sich ein Dialogfenster. Nun konnte die jeweilige Belichtungseinstellung abgespeichert werden. Hierzu wurde neben dem Speicherpfad der Screenshot benannt. Der Haken bei *Snap All Layers* musste gesetzt werden, damit die 3D-Intraloralscans zum Zeitpunkt T0 und T1 synchron abgespeichert wurden. Als Hintergrund wurde *Solid Black* gewählt.

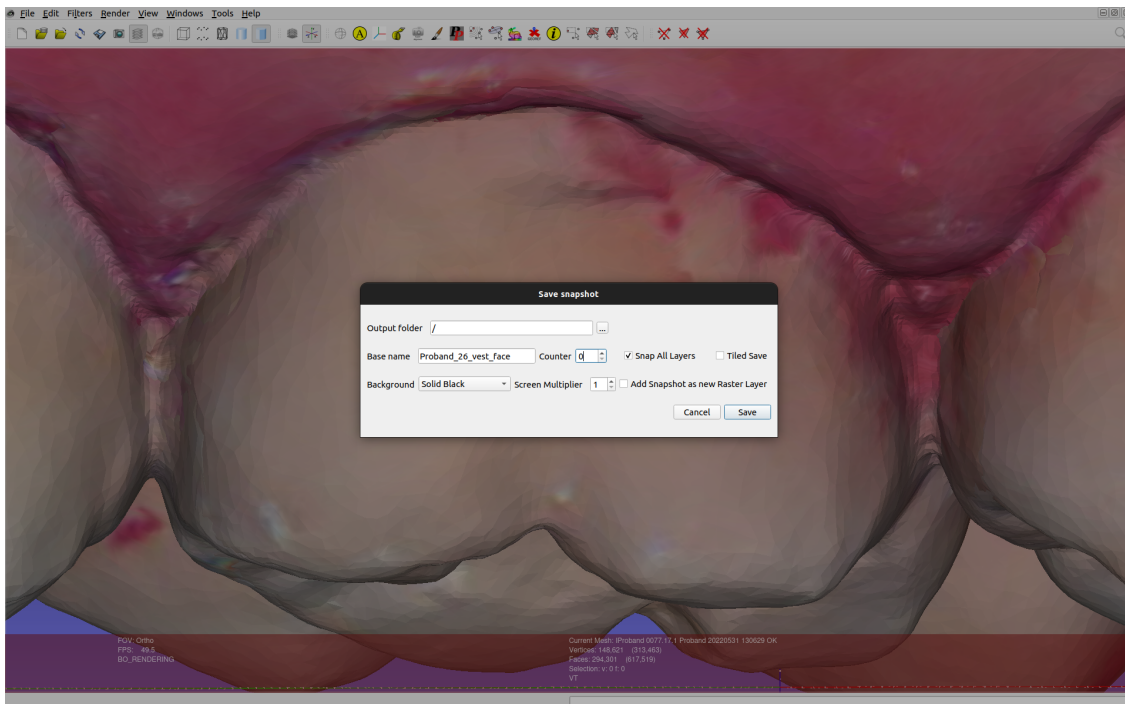


Abbildung 17: Abspeicherung des Screenshots in der Belichtungseinstellung „Face“. Auswählen des Pfades, Benennung des Screenshots und „Snap All Layers“ ist ausgewählt.

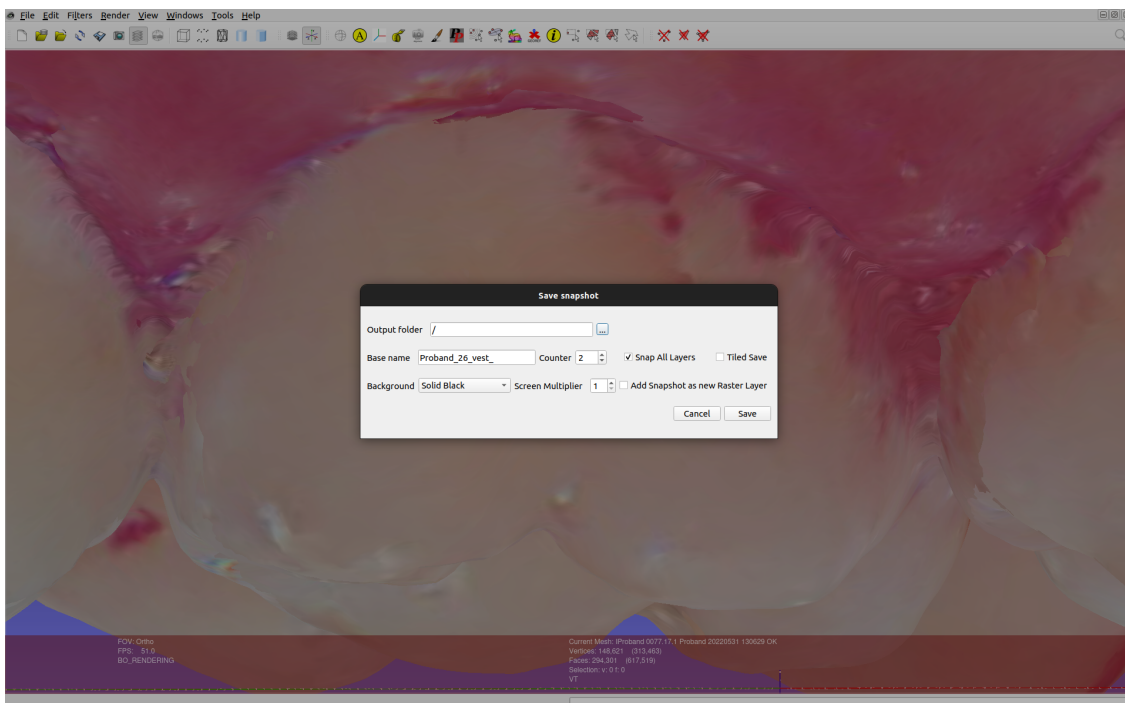


Abbildung 18: Abspeicherung des Screenshots in der Belichtungseinstellung „None“. Auswählen des Pfades, Benennung des Screenshots und „Snap All Layers“ ist ausgewählt.

Es entstanden also pro Zahn vestibulär und oral je vier Screenshots in der gleichen Ausrichtung bzw. Perspektive:

- Screenshot zum Zeitpunkt T0 in konstanter Schattierung
- Screenshot zum Zeitpunkt T1 in konstanter Schattierung
- Screenshot zum Zeitpunkt T0 ohne Schattierung
- Screenshot zum Zeitpunkt T1 ohne Schattierung

2.1.8 Ausschneiden der Zahnflächen

Die Screenshots wurden in das Programm GIMP importiert und auf dem Cintiq 16 Tablet (16:9, 1920x1080) der Firma Wacom (Kazo, Japan) dargestellt:

File → Open as Layers...

Die Screenshots lagen nun in vier Ebenen übereinander. Die beiden Ebenen mit der Belichtungseinstellung *Face* lagen zuoberst. Der Vordergründige davon entsprach dem Zeitpunkt T0 und wurde mit ca. 50%iger Transparenz gezeigt. Die Screenshots mit der Belichtungseinstellung *Face* zum Zeitpunkt T0 und T1 konnten nun durch die Transparenz des vordergründigsten Scans gleichermaßen betrachtet werden. Etwaige Diskontinuitäten, welche im Alignment oder dem Scanprozess begründet waren, konnten nun erkannt werden. Insbesondere den Approximalflächen und dem Gingivalsaum wurde besondere Beachtung geschenkt. War eine Verschiebung des Screenshots des Zeitpunktes T0 nötig, um die Screenshots der Zeitpunkte T0 und T1 kongruent darzustellen, wurde dieser verschoben. Hierzu wurde der Screenshots der Belichtungseinstellung *Face* des Zeitpunktes T0 mit der Belichtungseinstellung *None* des Zeitpunktes T0 zunächst verknüpft. Dazu wurde im Layer-Dialog neben das Augensymbol der entsprechenden Layer geklickt. Die Verknüpfung wurde mit einem Schloss-Symbol angezeigt. Anschließend konnten beide Ebenen kongruent verschoben werden:

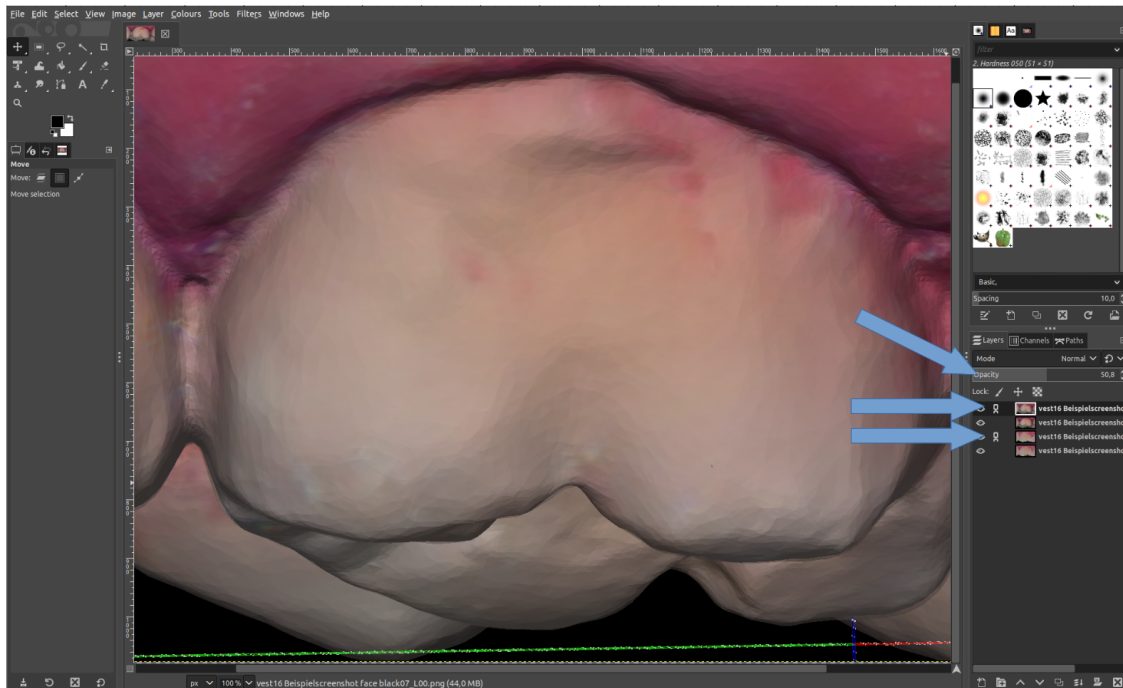
Tools → Transform Tools → Move

Abbildung 19: Ansicht des Bildfensters mit Zahn 26 von vestibulär und des Layer-Dialogs in GIMP. Im Layer-Dialog sind die vier Screenshots als Ebenen zu sehen. Die 50%-ige Transparenz ist bereits eingestellt und die Layer des Zeitpunktes T0 in „Face“ und „None“ sind verknüpft (blaue Pfeile).

Mit Hilfe der *Freien Auswahl* bzw. des *Lassowerkzeuges*

Tools → Selection Tools → Free Select

wurden die Vestibulär- bzw. Oralflächen getract bzw. ausgeschnitten. Es wurden dabei die beiden Screenshots T0 weiterhin mit 50%iger Transparenz und T1 vollständig opak in der Belichtungseinstellung *Face* betrachtet. Der Schnitt ging dabei durch alle übereinandergelegten Screenshots bzw. Ebenen.

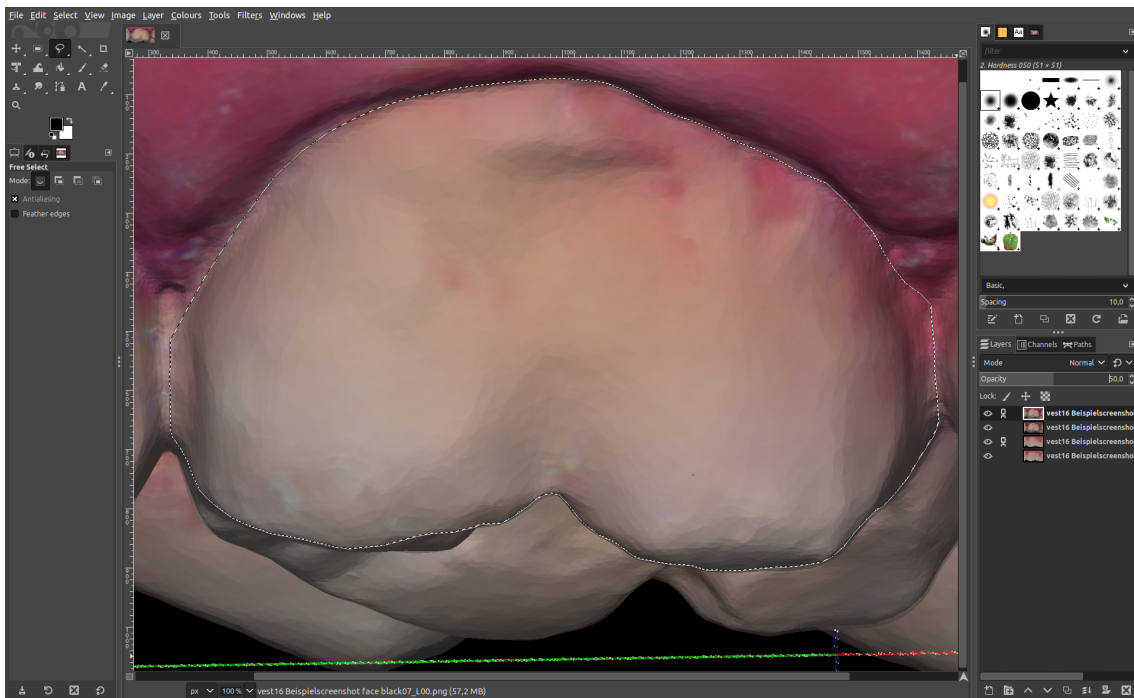


Abbildung 20: Ansicht des Bildfensters mit Zahn 26 von vestibulär und des Layer-Dialogs in GIMP. Mit Hilfe des Lasso-Werkzeugs wurde der Zahn bereits in allen vier Ebenen synchron ausgeschnitten (schwarz-weiße Linie).

Anschließend wurden jeweils die herausgeschnittenen Bereiche der Ebenen der Belichtungseinstellung *None* zum Zeitpunkt T0 und T1 ausgewählt, kopiert

Rechtsklick → Edit → Copy

und diese auf jeweils neue Bilder mit schwarzem Hintergrund gelegt:

*File → New... → Ok und Tools → Paint Tools →
Bucket Fill (schwarze Farbe auswählen)*

Nach dem anschließenden Export im JPG-Format

File → Export As...

lagen die Bilder zur planimetrischen Auswertung bereit vor.

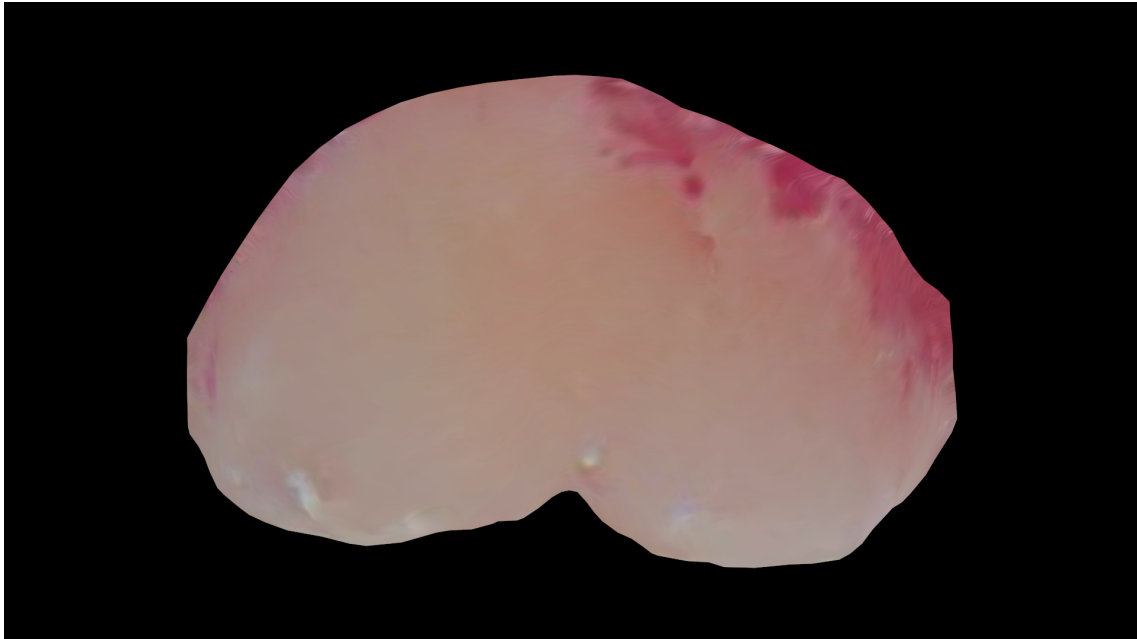


Abbildung 21: Mit GIMP ausgeschnittenes und mit schwarzem Hintergrund versehenes Bild des Zahnes 26 von vestibulär zum Zeitpunkt T0

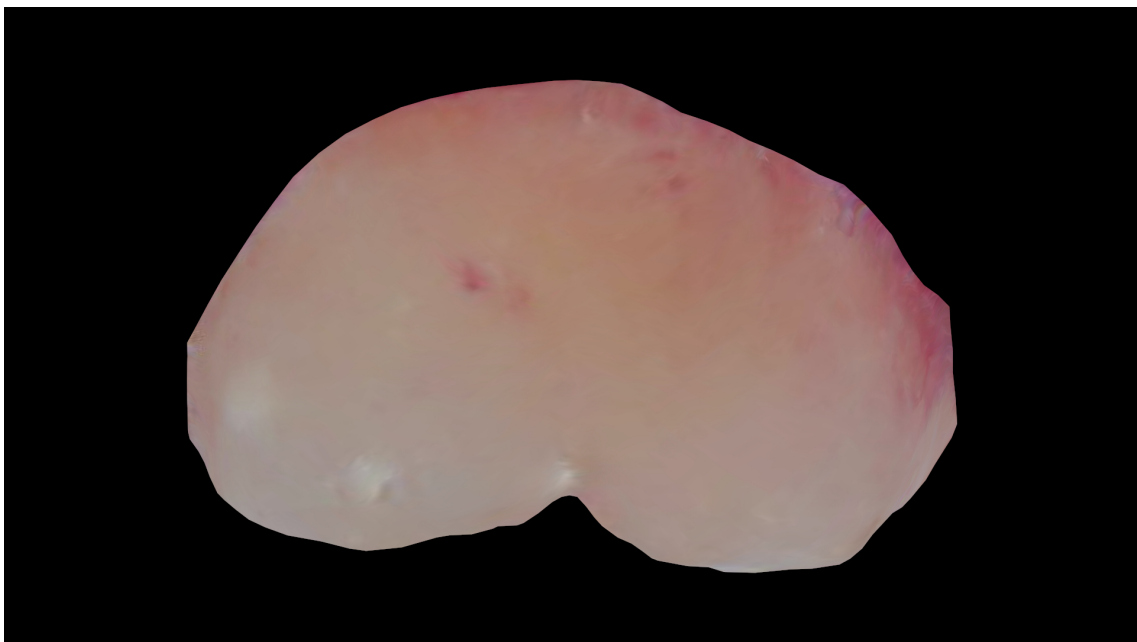


Abbildung 22: Mit GIMP ausgeschnittenes und mit schwarzem Hintergrund versehenes Bild des Zahnes 26 von vestibulär zum Zeitpunkt T1

2.1.9 Planimetrische Auswertung

Ein mit den Paketen ImageMagick und Images, sowie der Programmiersprache Julia (Version 1.6.28) 2022 von Jung et al. entwickeltes Programm wurde für die Quantifizierung der Plaque genutzt (Jung et al., 2022). Das Programm wandelte das JPG-Bild in ein RGB-Bild um. Die Farbwerte Rot, Grün und Blau jedes Pixels wurden ermittelt, in ein 3-Komponenten-Vektorsystem transformiert und separat gespeichert. Zur Berechnung der Plaquebedeckung wurden zwei Filter verwendet. Zunächst entfernte ein Filter alle Pixel des schwarzen Hintergrunds (RGB= 0, 0, 0). Ein weiterer Filter diente der Quantifizierung der Plaquebedeckung und machte sich die individuelle Zusammensetzung der Farbkomponenten (RGB-Farbwert) jedes Pixels zu Nutze. Die Schwellenwerte für Grün und Blau wurden auf 0 gesetzt. Da jedes farbige Pixel Anteile von Rot aufweist, wurde ein Schwellenwert für den roten Anteil definiert, welcher die Plaque beschrieb. Das Programm ermöglichte, die Auswirkung der Änderung des Schwellenwerts am Bildschirm optisch zu verfolgen. Nach Definition des Schwellenwerts wurde ein neues JPG-Bild erzeugt, welches die nicht von Plaque bedeckten Bereiche blau illustrierte.

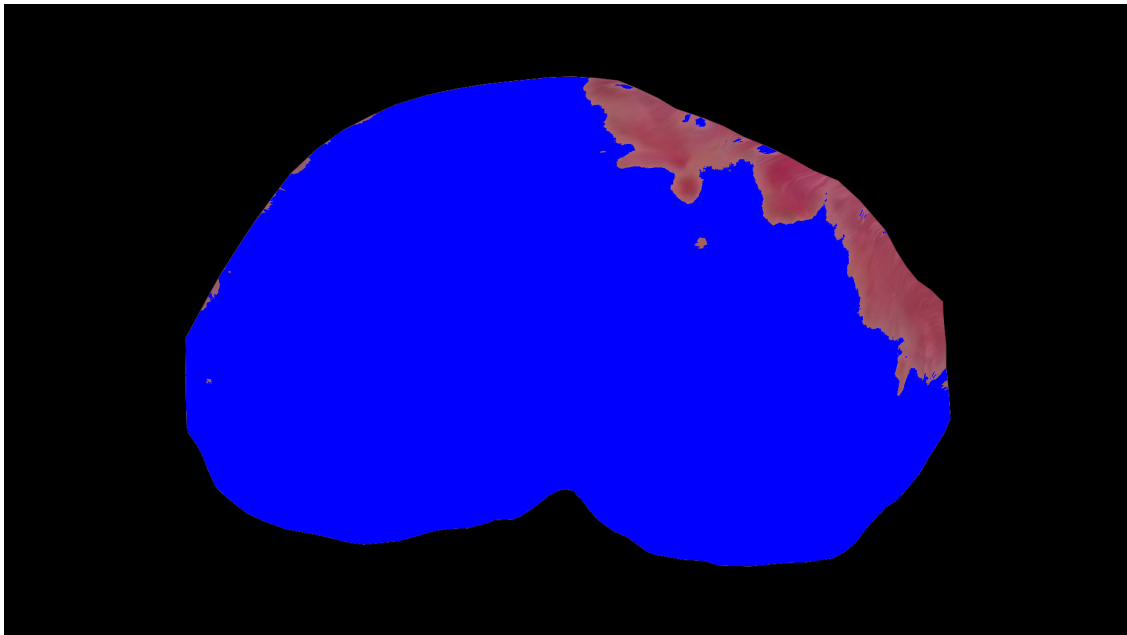


Abbildung 23: Mit ImageMagick ausgewertetes Bild des Zahnes 26 von vestibulär zum Zeitpunkt T0 (degree of coverage [%]: 8,91)

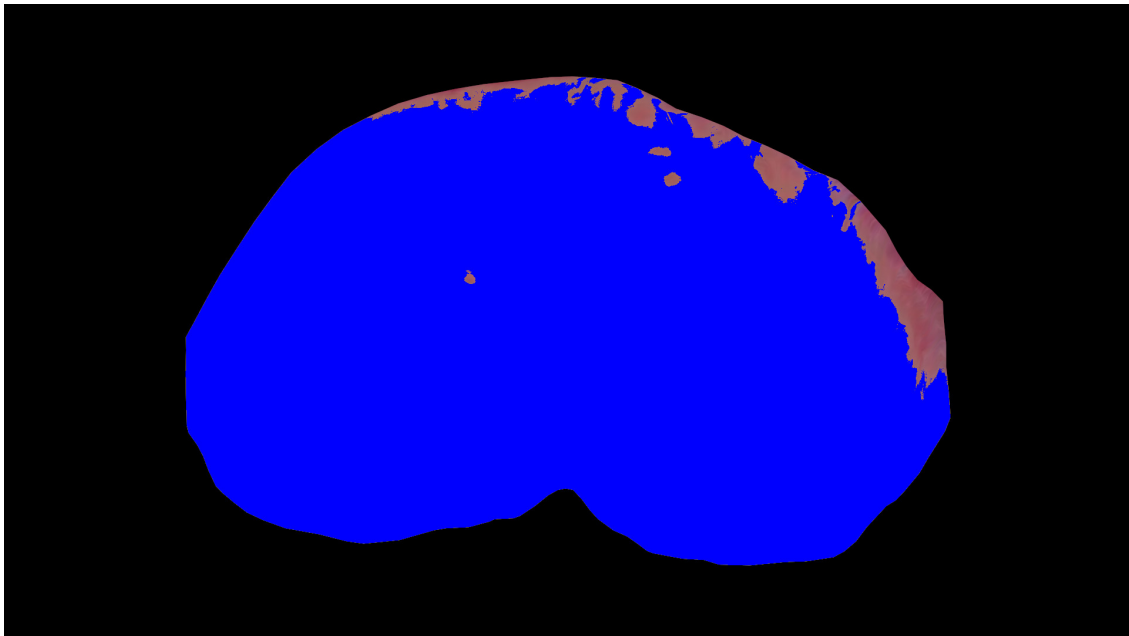


Abbildung 24: Mit ImageMagick ausgewertetes Bild des Zahnes 26 von vestibulär zum Zeitpunkt T1 (degree of coverage [%]: 5,19)

Die Auswertung der Vestibulär- und Oralflächen aller Zähne erfolgte in einer Stapelauswertung. Wo nötig wurde der Schwellenwert geringfügig verändert, um Varianzen Rechnung zu tragen, welche beispielsweise in unterschiedlichen Lichtbedingungen oder Intensität der Anfärbung begründet waren. Der prozentuale Anteil der plaquebedeckten Flächen (P%) wurde aus dem Verhältnis aller Pixel zu den Pixeln berechnet, die unter den individuell festgelegten Schwellenwerten lagen.

3 Statistik

Die statistische Analyse erfolgte mit IBM SPSS Statistics (Version 27; IBM Deutschland GmbH, Böblingen, Deutschland).

Die Daten (Plaqueswerte nach Probandin/Proband) wurden zunächst in Bezug auf ihre Verteilung getestet. Da sich weder für T0 noch für T1 signifikante Abweichungen von der Gauß-Verteilung zeigten (Kolmogorov-Smirnov-Test), wurden generell parametrische Testverfahren verwendet und die Plaqueswerte werden als arithmetischer Mittelwert mit Standardabweichung angegeben.

Inwieweit sich die Plaqueswerte von T0 zu T1 verändern, wurde mit t-Tests für gepaarte Stichproben untersucht. Inwieweit sich Zahngruppen oder Zahnflächen voneinander unterscheiden, wurde mit t-Tests für unabhängige Stichproben analysiert. Inwieweit Plaqueswerte zu T0 und T1 miteinander assoziiert sind, wurde mit der Pearson Korrelation betrachtet.

Das Signifikanzniveau wurde bei 0,05 festgelegt, bei multiplen Vergleichen (Betrachtung nach Zahngruppen und nach Zahn) wurde eine Bonferroni-Adjustierung vorgenommen.

Zur Bestimmung der Reliabilität der Messungen wurde ein Proband nach Zufall gezogen und die Intraoralscans zu T0 und T1 ein zweites Mal ausgewertet. Dies umfasste alle Verarbeitungsschritte, nämlich Matchen, Ausrichten, Screenshots, Ausschneiden der Zahnflächen sowie automatisierte planimetrische Auswertung, und resultierte in je 56 Messwerten für die Plaquebedeckung mit einer Spannweite zwischen 0,45 % und 26,2 %.

Für T0 betrug der Median [95%CI] für die Gesamtplaquebedeckung für die erste Auswertung 5,8 % [3,7;7,1] und für die zweite Auswertung 5,9 % [3,7;7,1] ($p = 0,446$) und für T1 5,4 % [3,5;7,6] und 6,1 % [4,1;7,5] ($p = 0,304$). Die mediane Differenz [95%CI] von erster und zweiter Auswertung betrug 0,002 [-0,05;0,08] für T0 und -0,05 [-0,13;0,03] für T1.

Der Intraklassenkoeffizient (Modell: zweifach gemischt, Typ: absolute Übereinstimmung; 95%CI) betrug 0,999 [0,998;0,999] für T0 und 0,994 [0,989; 0,996]

für T1 (p jeweils $< 0,001$). Das Streudiagramm für alle Messwerte (Abbildung 25) zeigt eine sehr gute Übereinstimmung der Werte in allen Messwertdimensionen.

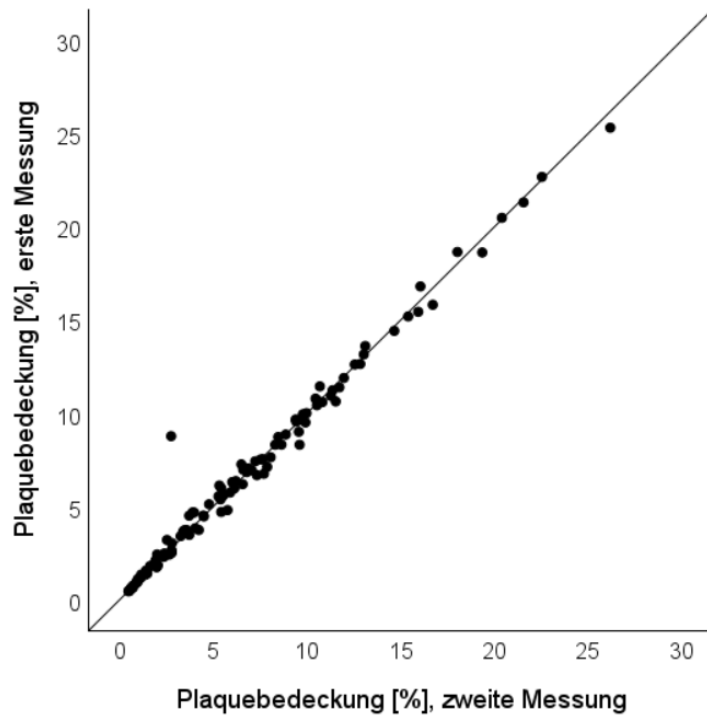


Abbildung 25: Streudiagramm für alle Messwerte für die Plaquesbedeckung ($n = 112$), die Linie repräsentiert $y = x$

4 Ergebnisse

4.1 Betrachtung der Gesamtplaquewerte

Die Probandinnen und Probanden zeigten ein breites Spektrum von Plaquewerten, welches von 6,5 % bis 25,4 % zu T0 und von 5,2 % bis 19,4 % zu T1 reichte (Abbildung 26).

Insgesamt verringerte sich der Plaquewert von $14,5 \pm 4,4$ % zu T0 auf $13,1 \pm 3,7$ % zu T1 (p 0,025).

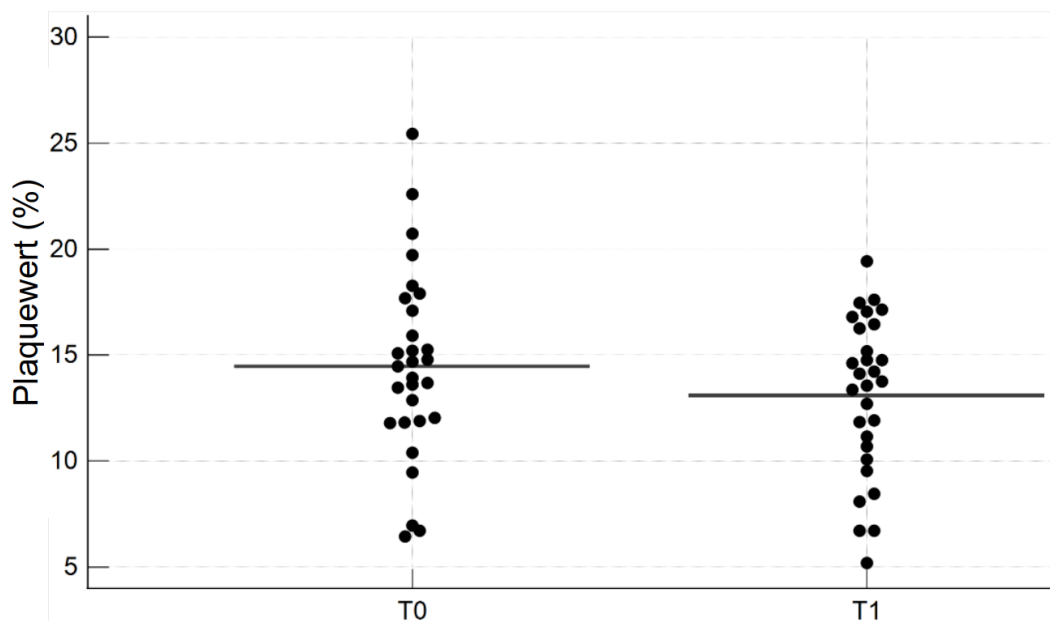


Abbildung 26: Verteilung der Plaquewerte zu T0 und T1, die horizontalen Linien zeigen den arithmetischen Mittelwert.

Die Reduktion der Plaquebedeckung zeigte sich nur bei Personen mit dem höchsten Terzil an Werten. Diese verringerten sich von $19,1 \pm 3,1$ % zu T0 auf $15,1 \pm 2,7$ % zu T1 ($n = 9$; $p < 0,001$). Bei Personen mit Plaquewerten im mittleren ($n = 10$; T0: $14,2 \pm 0,8$ %; T1: $14,6 \pm 2,2$ %; $p = 0,559$) und unteren ($n = 10$; T0: $9,7 \pm 2,4$ %; T1: $9,2 \pm 3,1$ %; $p = 0,631$) Terzil zeigten sich dagegen keine signifikanten Veränderungen.

Insgesamt zeigte sich eine deutliche Korrelation der Plaquewerte zu T0 und T1 ($r = 0,714$; $p < 0,001$; Abbildung 27)

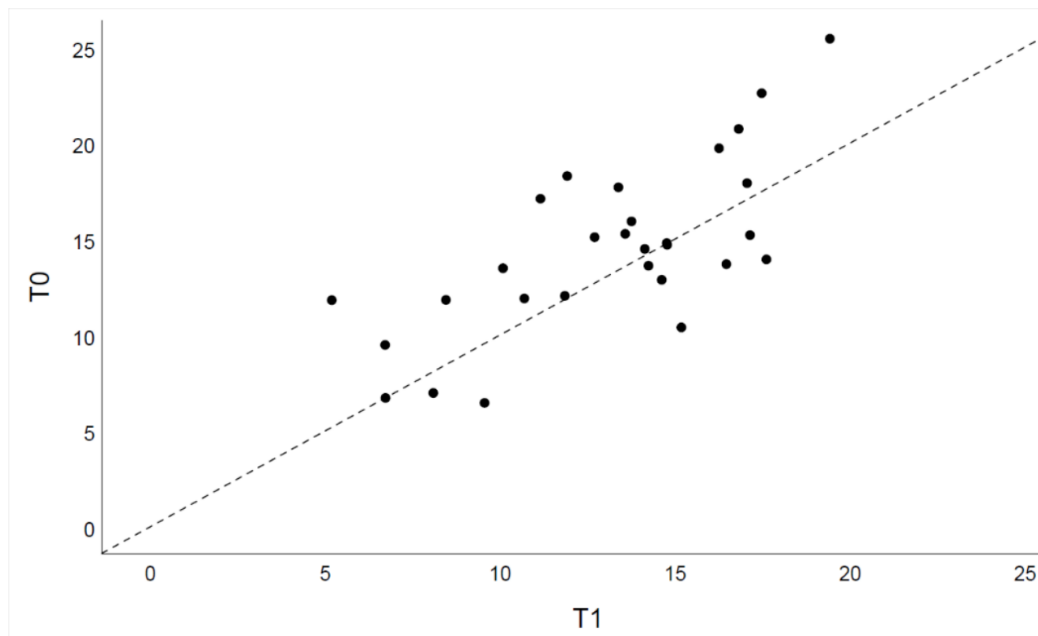


Abbildung 27: Korrelation der Plaquewerte (%) zu T0 und T1; gestrichelte Linie: $y = x$.

4.2 Betrachtung der Plaquewerte nach Kiefer, Zahn und Fläche

Im Oberkiefer lagen die Plaquewerte im Bereich der Vestibulärflächen zu T0 bei $12,8 \pm 9,1$ % und im Bereich der Oralflächen bei $12,3 \pm 13,7$ % ($p = 0,559$) und zu T1 bei $11,3 \pm 8,2$ % bzw. $10,6 \pm 11,2$ % ($p = 0,358$). Der Unterschied der Plaquewerte in beiden Bereichen zu T1 im Vergleich zu T0 erreichte Signifikanz ($je < 0,001$).

Die Verteilung der Plaquewerte nach Zahntyp (Tabelle 1) unterschied sich jedoch deutlich. Vestibulär fand sich bei Molaren deutlich mehr Plaque als bei Prämolaren und schließlich bei Frontzähnen. Oral lag der Plaquewert zu T0 bei den Molaren höher als bei Prämolaren und Frontzähnen, deren Plaquebedeckung sich nicht unterschied. Zu T1 zeigte sich für Molaren und Prämolaren eine ähnliche Plaquebedeckung, ebenso wie für Prämolaren und Frontzähne. Abbildung 28 stellt die Plaquewerte nach Zahn dar.

Während im Bereich der Vestibulärflächen die zweiten Molaren die höchsten Plaquewerte zeigten, welche nach anterior kontinuierlich abnahmen, fand sich bei den Oralflächen eine relativ gleichmäßige Plaquebedeckung. Dieses Verteilungsmuster fand sich sowohl zu T0 als auch zu T1.

Im Unterkiefer lagen die Plaquewerte im Bereich der Vestibulärflächen zu T0 bei $11,6 \pm 11,6 \%$ und im Bereich der Oralflächen bei $17,6 \pm 12,6 \%$ ($p < 0,001$) und zu T1 bei $10,2 \pm 10,1 \%$ bzw. $15,9 \pm 12,4 \%$ ($p < 0,001$). Der Unterschied der Plaquewerte in beiden Bereichen zu T1 im Vergleich zu T0 erreichte wie im Oberkiefer jeweils Signifikanz ($je < 0,001$).

Ähnlich wie im Oberkiefer unterschied sich die Verteilung nach Zahntyp ebenfalls (Tabelle 1). Im Bereich der Vestibulärflächen zeigte sich jeweils eine signifikante Abnahme der Plaquewerte von den Molaren zu den Prämolaren und zu den Frontzähnen. Im Bereich der Oralflächen unterschieden sich die Plaquewerte der Molaren und Prämolaren nicht signifikant, die Plaquebedeckung der Frontzähne war jedoch geringer als bei den beiden anderen Zahngruppen. Dieses Verteilungsmuster fand sich zu T0 und zu T1.

Die Betrachtung der Plaquewerte nach Zahn (Abbildung 28) zeigt für die Vestibulärflächen ähnlich wie im Oberkiefer die höchsten Plaquewerte im posterioren Bereich, welche nach anterior abnahmen. Dieses Muster war jedoch deutlich geringer ausgeprägt als im Oberkiefer. Die höchsten Plaquewerte zeigte der Zahn 47. Im Bereich der Oralflächen fanden sich durchgängig hohe Plaquewerte in verhältnismäßig gleichmäßiger Verteilung mit Ausnahme der Zähne 33 und 32, die deutlich geringere Plaquewerte aufwiesen, als die anderen Zähne. Dieses Verteilungsmuster stellte sich zu T0 und T1 gleichermaßen dar.

Tabelle 1: Plaquedeckung (%; arithmetischer Mittelwert \pm SD) nach Zahngruppe für die Vestibulär- und Oralflächen des Ober- und Unterkiefers. Gleiche Buchstaben bedeuten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Zahngruppen (Signifikanzniveau nach Bonferroni-Adjustierung $< 0,002$)

	T0 vestibulär	T0 oral	T1 vestibulär	T1 oral
Oberkiefer				
Molaren	23,1 \pm 17,6 ^a	16,8 \pm 9,0 ^a	19,3 \pm 13,9 ^a	14,1 \pm 7,4 ^a
Prämolaren	10,4 \pm 8,8 ^b	13,0 \pm 8,0 ^b	10,2 \pm 8,2 ^b	11,4 \pm 7,0 ^{ab}
Frontzähne	6,4 \pm 8,0 ^c	10,0 \pm 8,8 ^b	5,2 \pm 6,4 ^c	9,3 \pm 8,9 ^b
Unterkiefer				
Molaren	15,5 \pm 10,8 ^a	23,8 \pm 10,7 ^a	14,1 \pm 11,2 ^a	22,7 \pm 12,5 ^a
Prämolaren	10,8 \pm 7,3 ^b	26,9 \pm 13,0 ^a	9,7 \pm 7,8 ^b	23,6 \pm 13,7 ^a
Frontzähne	7,8 \pm 7,3 ^c	18,4 \pm 15,2 ^c	6,8 \pm 6,2 ^c	17,1 \pm 14,4 ^c

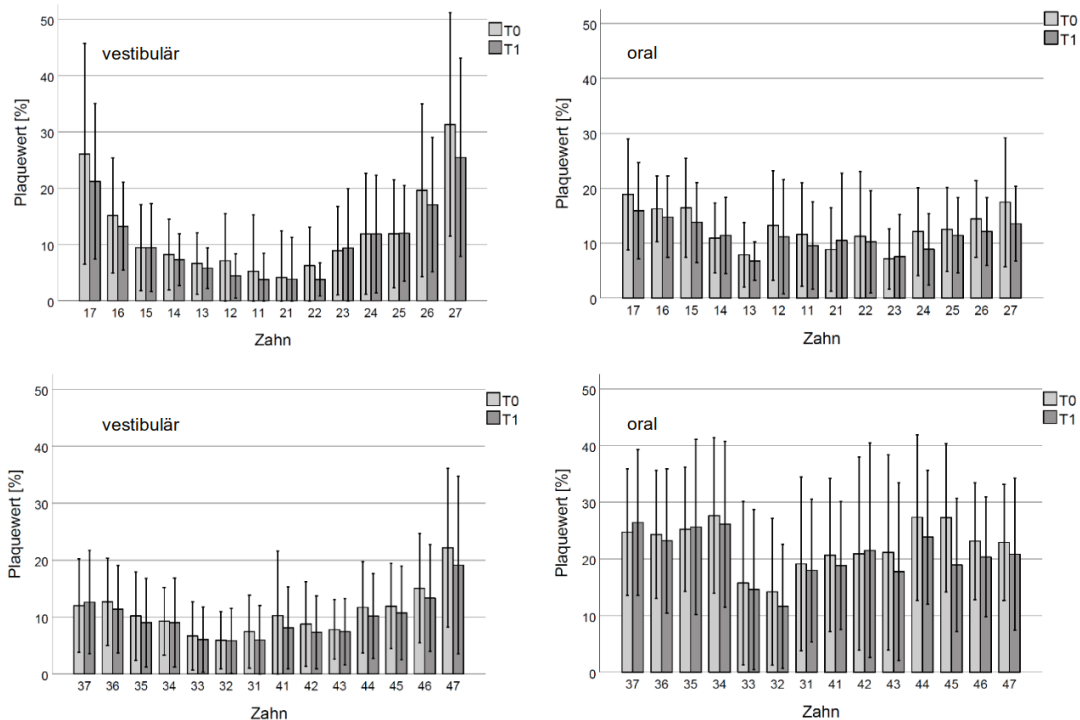


Abbildung 28: Darstellung der Plaquewerte nach Zahn (arithmetischer Mittelwert \pm SD) zu T0 und T1

Tabelle 2 stellt die Dimension der Veränderung der Plaquedeckung für jeden Zahn und nach Fläche dar. Dabei fanden sich für Zähne des Ober-, als auch des Unterkiefers nur sehr geringe Änderungen der Plaquedeckung, welche keine Signifikanz erreichten. Eine Ausnahme bildet die Oralfläche des Zahne 45.

Weiterhin zeigte sich für die Oralflächen bei 6 der 14 Oberkieferzähne und bei 9 der 14 Unterkieferzähne eine signifikante Korrelation der Plaquewerte von T0 zu T1, dies waren jeweils zumeist die Frontzähne. Für die Vestibulärflächen fanden sich signifikante Korrelationen für 9 der 14 Oberkieferzähne und für 7 der 14 Unterkieferzähne.

Tabelle 2: Differenzen der Plaquedeckung T0 - T1 (arithmetischer Mittelwert \pm SD) sowie Korrelationen (Korrelationskoeffizient r) der Plaquedeckung zu T0 und T1 für jeden Zahn nach Fläche. Signifikanzwert 1 bezieht sich auf den Vergleich der Plaquewerte zu T0 und T1, Signifikanzwert 2 bezieht sich auf die Korrelation der Plaquewerte zu T0 und T1. Signifikanzniveau nach Bonferroni-Adjustierung = 0,001 (fett hervorgehoben: signifikante Werte; dunkelgrau: Molaren, mittelgrau: Prämolaren, hellgrau: Frontzähne)

Zahn	Plaquewert (%)		Signifikanzwert 1		Korrelation (r)		Signifikanzwert 2	
	oral	vestibulär	oral	vestibulär	oral	vestibulär	oral	vestibulär
Oberkiefer								
17	3,0 \pm 10,6	4,9 \pm 15,2	0,133	0,091	0,376	0,634	0,041	< 0,001
16	1,5 \pm 7,9	1,9 \pm 9,1	0,361	0,216	0,320	0,521	0,085	0,003
15	2,6 \pm 7,5	0,0 \pm 7,1	0,067	0,999	0,597	0,580	< 0,001	< 0,001
14	-0,5 \pm 7,5	0,9 \pm 5,4	0,745	0,383	0,375	0,552	0,049	0,002
13	1,1 \pm 5,4	0,8 \pm 5,3	0,272	0,388	0,431	0,374	0,017	0,042
12	2,1 \pm 8,7	2,7 \pm 7,3	0,206	0,053	0,643	0,501	< 0,001	0,005
11	2,0 \pm 7,4	1,4 \pm 7,3	0,144	0,285	0,648	0,745	< 0,001	< 0,001
21	-1,6 \pm 10,1	0,3 \pm 5,4	0,382	0,761	0,563	0,771	0,001	< 0,001
22	1,0 \pm 10,5	2,4 \pm 5,8	0,610	0,028	0,520	0,554	0,003	0,001
23	-0,4 \pm 4,9	-0,4 \pm 8,5	0,652	0,774	0,772	0,613	< 0,001	< 0,001
24	3,2 \pm 7,8	0,0 \pm 8,0	0,037	0,987	0,439	0,716	0,019	< 0,001
25	1,1 \pm 5,4	-0,1 \pm 5,8	0,281	0,942	0,725	0,793	< 0,001	< 0,001
26	2,3 \pm 7,1	2,6 \pm 12,1	0,085	0,254	0,427	0,634	0,019	< 0,001
27	3,9 \pm 9,9	5,9 \pm 14,9	0,037	0,040	0,544	0,688	0,002	< 0,001
Unterkiefer								
37	-1,7 \pm 15,6	-0,6 \pm 8,9	0,560	0,711	0,161	0,477	0,404	0,009
36	1,1 \pm 10,9	1,3 \pm 6,6	0,576	0,268	0,592	0,631	< 0,001	< 0,001
35	-0,4 \pm 15,4	1,2 \pm 6,7	0,885	0,339	0,356	0,626	0,054	< 0,001

34	1,5 ± 14,0	0,3 ± 6,8	0,572	0,847	0,516	0,533	0,005	0,004
33	1,1 ± 8,0	0,6 ± 5,7	0,438	0,541	0,844	0,514	< 0,001	0,004
32	2,6 ± 6,9	0,1 ± 5,4	0,052	0,919	0,844	0,503	< 0,001	0,005
31	1,2 ± 12,9	1,5 ± 7,0	0,627	0,261	0,590	0,370	< 0,001	0,044
41	1,9 ± 10,5	2,1 ± 9,3	0,338	0,218	0,658	0,571	< 0,001	< 0,001
42	-0,6 ± 10,6	1,5 ± 6,0	0,764	0,914	0,830	0,639	< 0,001	< 0,001
43	3,4 ± 14,4	0,4 ± 4,5	0,203	0,635	0,623	0,678	< 0,001	< 0,001
44	3,5 ± 13,8	1,5 ± 5,6	0,192	0,155	0,473	0,744	0,011	< 0,001
45	8,3 ± 12,4	1,2 ± 5,6	< 0,001	0,254	0,507	0,751	0,004	< 0,001
46	2,8 ± 9,3	1,7 ± 6,2	0,122	0,155	0,601	0,768	< 0,001	< 0,001
47	2,0 ± 11,0	3,0 ± 13,3	0,318	0,219	0,595	0,601	< 0,001	< 0,001

5 Diskussion

5.1 Quantitative Erhebung des dentalen Biofilms

5.1.1 Etablierte klinische Plaqueindizes

Nachdem der ursächliche Zusammenhang zwischen dentalem Biofilm einerseits sowie Karies und Parodontalerkrankungen andererseits erkannt wurde, suchte man Methoden, um Plaquemengen auf Zahnoberflächen zu erfassen und quantitativ zu messen. Daher wurden früh verschiedene klinische Indizes entwickelt, die neben der Anwendung in der zahnärztlichen Praxis im epidemiologischen und wissenschaftlichen Kontext verwendet werden konnten (Ramfjord, 1959). Dabei erfolgte die visuelle Inspektion nach Anfärbung der Plaque durch Plaquerevelatoren. Der Index stellt hier einen numerischen Wert dar, welcher vorher durch eine diagnostische Einteilung definiert wurde.

Nach dem von Ramfjord 1959 entwickelten Index hat sich der Plaqueindex nach Quigley-Hein aus dem Jahre 1962 unter anderen als klinischer Index etabliert, wobei heute zumeist die Modifikation nach Turesky verwendet wird (Turesky et al., 1970). Dabei werden alle Zähne außer den Weisheitszähnen nach Anfärben der Plaque von bukkal und oral in einem sechsstufigen Indexsystem eingeordnet. Grad 0 liegt bei Abwesenheit von Plaque vor, Grad 1 beschreibt einzelne Plaquekolonien entlang des Gingivalsaums, Grad 2 eine dünne kontinuierliche Plaquelinie am Gingivalsaum, die weniger als 1 mm beträgt, Grad 3 gingivanahe Zahnbeläge breiter als 1 mm aber weniger als $\frac{1}{3}$ der Zahnoberfläche, Grad 4 Zahnbeläge zwischen $\frac{1}{3}$ und $\frac{2}{3}$ der Zahnoberfläche, Grad 5 schließlich mehr als $\frac{2}{3}$ der Zahnoberfläche. Auch wenn der Plaqueindex nach Quigley-Hein modifiziert nach Turesky klinisch erprobt und als Index zur Beurteilung der Oralhygiene weitläufig akzeptiert ist, finden sich Nachteile. Zwar werden subtile Plaquemengen im gingivanahen Zahndrittel erfasst, aber klinisch relevanten Bereichen wie zum Beispiel dem Approximalraum ungenügende Beachtung geschenkt.

Ein weiterer häufig verwendeter Plaqueindex ist der Navy-Plaque-Index modifiziert nach Rustogi et al. (Rustogi et al., 1992). Er ist kleinteiliger und legt neben den gingivalsaumnahen Bereichen einen Fokus auf die Approximalbereiche. Er teilt alle Zähne bukkal und oral in neun ungleich große Felder ein. Dabei sind drei Felder (A-C) gingivanah, weitere drei (D-F) sind koronal zu diesen gelegen, zwei Felder (G und H) sind jeweils für den mesialen bzw. distalen Approximalbereich und ein weiteres Feld (I) ist für den Koronalbereich vorgesehen. Jeder Bereich erhält im Sinne einer dichotomen Einordnung nach Anfärben bei Abwesenheit von Plaque die Kategorie 0 und bei Anwesenheit von Plaque die Kategorie 1. Die Summe aller plaquebehafteter Felder durch die Anzahl der bewerteten Felder ergibt den Indexwert. Dabei stellt die gedankliche Einteilung der Zahnflächen, die je nach Zahntyp und -fläche unterschiedlich groß und proportioniert sind, in diese neun Felder jedoch eine Herausforderung dar. Weiterhin ist bei diesem Index auch bei insgesamt geringer Plaquebedeckung schnell der Maximalwert erreicht, was dessen Trennschärfe reduziert. Gemeinsam ist den genannten klinischen Indizes die Subjektivität der Bewertung, der hohe Arbeitsaufwand für Erhebung und inter- und intraindividuelle Kalibrierung. Aufgrund der Dichotomie werden Änderungen der Plaquebedeckung nur ungenügend dargestellt. So ist es möglich, dass Plaque in bestimmten Bereichen z.B. um 50% abnimmt, jedoch weiterhin der gleiche Indexwert besteht. Es sind Indizes mit ordinaler Skalierung (Pretty et al., 2005; Rikvold et al., 2023).

5.1.2 Planimetrische Verfahren

Planimetrische Verfahren beruhen auf der Ermittlung der Plaquebedeckung (ohne dessen räumlichen Einteilung) im Verhältnis zu der gesamten Zahnoberfläche. Die Plaquebedeckung wird so in einer Verhältnisskala angegeben und erlaubt eine kleinteiligere Diskriminierung plaquebedeckter Bereiche als die traditionellen klinischen Indizes. Da es sich um objektive Verfahren handelt, entfällt die aufwändige Kalibrierung von Untersuchern, es wird die reale Plaquemenge erfasst und die

Reproduzierbarkeit der Werte ist hoch (Carter et al., 2004; Quirynen et al., 1991; Rikvold et al., 2023; Smith et al., 2001).

Ein erster Versuch, computergestützte, planimetrische Verfahren zur quantitativen Erhebung dentalen Biofilms zu entwickeln, wurde von Söder et al., 1993 unternommen: Sie entwickelten den „Plaque Percent Index“ (PPI). Zunächst wurden Fotos von den mit Erythrosin angefärbten Zähnen aufgenommen. Diese wurden dann digitalisiert und über ein „computerized image analysis system“ (CIAS) ausgewertet, indem plaquebedeckte und plaquefreie Bereiche nachgezeichnet und deren Farbpixel automatisch gezählt wurden. Der PPI wird durch die folgende Formel berechnet:

$$PPI[\%] = \frac{\text{plaquebedeckter Bereich [Pixel]}}{\text{gesamte Zahnfläche [Pixel]}} \times 100$$

Formel 1: Berechnung des PPI

Als Standardisierung für die Anfertigung der Fotos wurden für die jeweiligen Zahnflächen bestimmte Winkel und Einstellungen des Fotoapparates festgelegt. Die Autoren hoben schon damals die starke Beeinflussung der Ergebnisse durch den Winkel der Aufnahme hervor.

Staudt et al. (2001) modifizierten den PPI, indem sie zunächst die zahnbegrenzten Bereiche manuell mit einer Maske überzogen und anschließend über Farbfilter die plaquefreien Areale ermittelten. Danach wurden diese Masken mit einer definierten Farbe gefüllt und die Pixelzahl zu der übrigen, von Plaque bedeckten Fläche und ihrer Pixelzahl in Verhältnis gesetzt. Außerdem wurde ein intraorales Kamerasystem mit CCD-Sensor (charge-coupled device bzw. ladungsgekoppeltes Bauteil), welcher über eine Schiene intraoral fixiert wurde, entwickelt, um die lingualen Zahnoberflächen mit höherer Reproduzierbarkeit aufzunehmen. Dies ermöglichte erstmals die Einbeziehung linguale Zahnflächen in ein planimetrisches Verfahren.

Um die Reproduzierbarkeit der Fotoaufnahmen zu erhöhen, wurden neben der erwähnten Festlegung von Aufnahmewinkeln und kamerafixierenden Schienen auch cephalometrische Kopfhalter verwendet (Smith et al., 2001).

Mit der quantitativen lichtinduzierten Fluoreszenz (QLF) gab es ein neues Werkzeug der nicht-invasiven Diagnostik von Karies. Dabei wird die sichtbare Autofluoreszenz der Zahnhartsubstanzen ausgewertet. Da kariöse Läsionen aufgrund der Demineralisierung eine im Vergleich zu gesundem Schmelz oder Dentin geringere Autofluoreszenz aufweisen, kann so Karies detektiert werden. Plaque fluoresziert orange-rötlich. Es war daher naheliegend, dass Pretty et al., 2005 eine Pilotstudie durchführten, um die Verwendung der lichtinduzierten Fluoreszenz in der Planimetrie zu untersuchen. Besondere Aufmerksamkeit verdient diesem Verfahren die Tatsache, dass durch die Definition der Farbstufen auch Rückschlüsse auf die Plaquedicke möglich waren, während alle bis dahin bekannten bildbasierten Verfahren lediglich die zweidimensionale Ausbreitung erfassen konnten. Diese Methodik wurde in dem Sinne erweitert, dass diese Methodik auf Seitenzähne ausgedehnt wurde (Ganss et al., 2020). Andere Verfahren nutzten die Eigenfluoreszenz der Zähne aus, die die automatische Konturerkennung ermöglicht (Del Rey et al., 2023; Rikvold et al., 2023). Eine manuelle digitale Einzeichnung war so nicht mehr nötig. Die standardisierte Anfertigung der Fotos gestaltete sich gerade in den stark von Plaque betroffenen posterioren Seitenzähne jedoch weiterhin schwierig.

Die Etablierung von 3D-Intraloralscans im klinischen Alltag liefert ein neues Werkzeug in der optischen Erfassung der Zähne. Sie löst die starke Limitierung der fotografischen Aufnahme der posterioren Seitenzähne auf. Mit Hilfe des 3D-Intraloralscanners können die gesamte Zahnreihe und die angefärbte Plaque in relativ kurzer Zeit erfasst und alle Zahnbereiche gleichmäßig ausgeleuchtet und in einer dreidimensionalen Darstellung erfasst werden. Jung et al. (Jung et al., 2022) untersuchten anhand von 20 Probanden die Validität der Planimetrie auf Basis von 3D-Intraloralscans. Die Ramfjord-Zähne (16, 21, 24, 36, 41 und 44) wurden nach Anfärben der habituellen Plaquedeckung (Zeitpunkt T1), nach 72-stündiger Mundhygieneabstinenz (Zeitpunkt T2) und

anschließendem Zähneputzen (Zeitpunkt T3) sowohl von einer intraoralen Kamera als auch einem 3D-Intraoralscanner vestibulär optisch erfasst. Der ermittelte prozentuale Anteil der plaquebedeckten Flächen (P%) ergab eine hohe Korrelation ($r = 0,876$; $p < 0,001$) in der Bewertung der Zahnflächen. Die Erkennung der Plaque und auch kleinster Plaqueinseln auf Zahnoberflächen ist mit dem 3D-Intraloralscans somit in vergleichbarer Weise möglich wie die Verwendung von Fotografien. Wegen der geometrischen Verzeichnung der distalen und mesialen Anteile und der ungleichen Belichtung eignen sich 3D-Intraloralscans jedoch besser als intraorale Fotografien (Jung et al., 2022).

Verschiedene 3D-Intraoralscanner erzeugen 3D-Intraloralscans mit etwas unterschiedlicher Farbgebung. Inwieweit dies nachfolgend die planimetrische Erfassung der Plaque beeinflusst, wurde von Jung et al. (Jung et al., 2024) untersucht: Die Scanner Dexis IS 3800 W, Medit i700, Primescan und Trios 5 erfassten dabei dieselben Kiefer zum Zeitpunkt T1 nach 72-stündiger Mundhygieneabstinenz und zum Zeitpunkt T2 nach üblicher Mundhygiene. Der Scanner Dexis IS 3800 W nahm dabei die Funktion einer Referenz ein. Ohne Anpassung des Schwellenwerts zur Erkennung der Plaque ergaben sich für alle 3D-Intraloralscanner niedrigere plaquebedeckte Flächen (P%) als die des Referenzmodells. Nach Anpassen des Schwellenwertes für jeden einzelnen 3D-Intraoralscanner ergaben sich ähnliche Werte zu dem Referenzmodell, auch wenn Primescan und Trios5 noch immer eine Tendenz zu geringeren plaquebedeckten Flächen (P%) aufwiesen (Jung et al., 2024).

Als gängige Färbemethode für Plaque wird in den gängigen Studien Mira-2-Ton (Hager & Werken GmbH & Co KG, Duisburg, Deutschland) verwendet. Es färbt die Plaque in einem rötlichen Ton an. Yoshiga et al. untersuchten 2024, inwiefern unterschiedliche Farbtöne die Erkennung der Plaque in der Planimetrie beeinflussen. Dabei wurden Kunststoffzähne mit wasserbasierter Tinte rot, blau und grün bemalt und mit einer Spiegelreflexkamera (EOS 60D; Canon, Tokio, Japan) und einem 3D-Intraloralscanner (TRIOS 3 Basic; 3 Shape, Kopenhagen, Dänemark) optisch erfasst. Zusätzlich wurde in einem klinischen Setting konventionell rötlich angefärbte Plaque am Patienten mit den

oben genannten Methoden aufgenommen. Es konnten keine signifikanten Unterschiede in der quantitativen Erfassung der unterschiedlichen Farben festgestellt werden. Die klinisch erprobte rötliche Anfärbung der Plaque ist somit gerechtfertigt. Jedoch erschien die Farbe in den Aufnahmen des 3D-Intraloralscanners leicht blasser und die Grenzen wegen der geringeren Auflösung der Aufnahmen relativ verwaschener (Yoshiga et al., 2024).

5.1.3 Diskussion der Methodik

Der Betrachtungswinkel und Zoom haben einen maßgeblichen Einfluss auf die berechnete Plaquemenge. Um denselben Kiefer zu zwei Zeitpunkten zu vergleichen, müssen diese vor Erstellung der 2D-Bilder standardisiert werden.

Bislang wurde dies durch standardisiertes Zoomen im scannereigenen Programm und anschließender visueller Ausrichtung jedes Folgescans im Vergleich zum Ausgangsscan erreicht (Jung et al. 2022). Dieses Verfahren liefert zwar gut reproduzierbare Daten, birgt jedoch durch die subjektive Ausrichtung dennoch einen gewissen Grad an Ungenauigkeit.

Ein wesentlicher Aspekt der vorliegenden Arbeit war es daher, das bislang verwendete Verfahren zu optimieren.

Bei der vorliegenden Arbeit wurde vom 3D-Intraloralscanner ein dreidimensionales Objekt erzeugt, welches in MeshLab frei bewegt werden konnte. Indem die Kiefer der Zeitpunkte T0 und T1 genau ineinandergelegt wurden, konnten die Bilder für die Kiefer zum Zeitpunkt T0 und T1 synchron angefertigt werden. Somit entfiel die Variable der standardisierten Fotografie. Die Differenz der Ausrichtung der virtuellen Kamera vor Anfertigung der mit der Fotografie vergleichbaren Screenshots zum Zeitpunkt T0 und T1 stellte die geometrische Varianz im Scan- und Matchprozess dar. Die geometrische Varianz im Scanprozess ist sehr klein (Ting-Shu & Jian, 2015; Zhang et al., 2016). Somit war eine sehr hohe intraindividuelle Vergleichbarkeit gewährleistet. Die freie Bewegung im Raum ermöglichte außerdem, auch weiter distal stehende Zähne wie die zweiten Molaren in Beziehung zu der definierten Ebene zu betrachten. So gestaltete

sich gerade dort in vorangegangenen Studien die Anfertigung von Fotos mit meist orthogonaler Ausrichtung schwierig.

Zähne nehmen konvexe und konkave Formen an. Bei der zweidimensionalen Betrachtung einer dreidimensionalen konvexen Zahnfläche in der Zentralprojektion wie bei einem Foto nehmen die klinisch wichtigen distalen und mesialen Zahnanteile wegen der perspektivischen Verzeichnung unverhältnismäßig kleine Ausmaße an, da diese von der Betrachtungsperspektive weiter entfernt sind. Durch die Einstellung der Parallelprojektion („*Toggle Orthographic Camera*“) in MeshLab können wir die Zähne bzw. Zahnanteile verhältnistreu betrachten und somit später verhältnistreu planimetrisch auswerten.

Der Einfluss des Betrachtungswinkels in Bezug zur interindividuellen Vergleichbarkeit wurde durch die Definition der achsenbestimmenden Bezugspunkte minimiert. Da die Rotation über die y-Achse frei wählbar gewesen war, ergab sich eine etwas niedrigere interindividuelle Vergleichbarkeit.

Nach dem Überlagern der Kiefer in MeshLab und dem synchronen Anfertigen der Screenshots des Zeitpunkts T0 und T1 wurden die Zahnoberflächen in GIMP weiter bearbeitet. Da die Bilder der Zahnoberflächen zum Zeitpunkt T0 und T1 synchron ausgeschnitten worden waren, lagen zwei Bilder mit identischem Zahnumriss zur planimetrischen Auswertung vor. Dies gewährleistete nachfolgend der synchronen Anfertigung der Screenshots weiterhin die hohe intraindividuelle Vergleichbarkeit. Das Ausschneiden der Zahnoberfläche bei etwaigen Artefakten, ungenügendem Scanprozess oder geometrischen Ungenauigkeiten bei der Überlagerung in MeshLab führte zwar zu Verlust von auszuwertender Zahnoberfläche. Da der Schnitt jedoch durch alle Ebenen ging, wurden nur Zahnoberflächen ausgewertet, welche zum Zeitpunkt T0 als auch T1 gut abgebildet worden waren.

Üblich war in den bisherigen Studien die separate Auswertung jedes einzelnen Zahnes und Zeitpunktes. In dieser Studie wurden die Variablen damit stark begrenzt.

Computergestützte, automatisierte Verfahren zur Beurteilung der Plaquemenge sind anderen Methoden in Bezug auf Objektivität, Sensitivität und Reliabilität überlegen (Carter et al., 2004). Diese Feststellung bezieht sich auf die Quantifizierung der Plaque auf Basis von Fotos, welche digitalisiert und so weiter computergestützt mithilfe manueller Detektion der Plaqueareale ausgewertet wurden. Die Erhebung der Daten auf Basis von 3D-Intraoralscans kann als logische Konsequenz eines weiterführenden computergestützten Verfahrens angesehen werden. Der vollautomatisierten Plaquebestimmung auf Grundlage der 2D-Screenshots steht jedoch die weiterhin manuelle Einzeichnung zahnbegrenzter Areale in dieser Studie entgegen.

Die Plaquebedeckung wurde im Verhältnis zur gesamten Zahnoberfläche angegeben. Es wird somit keine Aussage zur Verteilung der Plaque innerhalb der Zahnoberfläche getroffen.

Weiter berechnete die in dieser Studie ermittelte Plaquebedeckung ausschließlich die zweidimensionale Plaqueausdehnung auf der Zahnoberfläche. Es ist somit keine Beurteilung der Dicke bzw. der dreidimensionalen Struktur der Plaque möglich. Mira-2-Ton färbt Plaque in zwei Farbstufen an. Ältere Plaque wird bläulicher, neuere Plaque rötlicher angefärbt. Zwar werden beide Farbstufen der angefärbten Plaque in der planimetrischen Auswertung erkannt, diese jedoch nicht differenziert.

Beide Faktoren, fehlende dreidimensionale Struktur und fehlende Beurteilung der Beschaffenheit der Plaque, führen dazu, dass keine Aussage über die Qualität der detektierten Plaque zu geben ist. So kann es sein, dass Probanden mit geringer Plaquebedeckung hohe Entzündungswerte aufweisen oder anders herum. Neben den rein planimetrischen sollten die mikrobiologischen Aspekte nicht vergessen werden. Eine Studie, die Indizes, welche Entzündungen darstellen können, einbezieht, könnte hier weiter Aufschluss bieten.

Um die Anwendung des planimetrischen Verfahrens zu trainieren, stand ein 3D-Intraoralscan aus einer vorangegangenen Studie zur Verfügung.

Zur Überprüfung der Reproduzierbarkeit wurde ein zufällig ausgewählter 3D-Intraloralscan, der Teil der Studie war, herangezogen und abermals ausgewertet.

Zur Bestimmung der Interrater-Reliabilität bewerteten Cicchetti, als auch Koo und Li den Intraklassenkorrelationskoeffizienten wie folgt (Cicchetti, 1994; Koo & Li, 2016):

Tabelle 3: Bewertung des Intraklassenkorrelationskoeffizienten nach Cicchetti (1994) und Koo & Li (2016)

	Cicchetti (1994)	Koo & Li (2016)
Schlecht	< 0,4	< 0,5
Durchschnittlich	0,40 – 0,59	0,5 – 0,75
Gut	0,6 – 0,74	0,75 – 0,9
Sehr gut	≥ 0,75	≥ 0,9

Mit einem ermittelten Intraklassenkorrelationskoeffizient von 0,999 [0,998;0,999] für T0 und 0,994 [0,989; 0,996] für T1 (p jeweils < 0,001) wurde eine sehr gute Urteilskonkordanz erreicht.

5.2 Mundhygieneinstruktionen

Das wissenschaftliche Verständnis der Ätiologie und Pathogenese der Karies und Parodontalerkrankungen haben große Fortschritte gemacht. Darauf aufbauend konnten individuelle und bevölkerungsbasierte Prophylaxemaßnahmen eingeführt werden. In Deutschland ist die Kariesprävalenz rückläufig, was zeigt, dass die Prophylaxemaßnahmen greifen (Cholmakow-Bodechtel et al., 2016).

Mundhygieneinstruktionen dienen dazu, die individuellen Mundhygienemaßnahmen zu verbessern und damit eine Plaquerreduktion zu erreichen.

Welche Methode der Mundhygieneinstruktion die effektivste ist, ist nicht geklärt (Soldani et al., 2018). Jedoch verbessert sich die Putztechnik als auch -systematik nach Demonstration am Modell mit verbaler Erklärung oder mit Instruktionsvideos mehr als nach alleiniger schriftlicher Instruktion (Addy et al., 1999; Renton-Harper et al., 1999; Schlueter et al., 2010).

Inwieweit die Verbesserung im Mundhygieneverhalten nachhaltig ist, muss weiter diskutiert werden. Dabei sollte beachtet werden, dass der Erfolg der Mundhygieneinstruktion in Bezug zur Plaquerreduktion vom Alter abhängt. So zeigen Erwachsene im Gegensatz zu neunjährigen Kindern nach sechs Monaten in einem individuellen Prophylaxeprogramm deutliche Verbesserungen des Plaquestatus. Langfristige, über sechs Monate hinausgehende Effekte von singulären Mundhygieneinstruktionen sind nicht belegt (Watt & Marinho, 2005; Zimmer et al., 2001).

Werden die Mundhygieneinstruktionen über mehrere Jahre im Zusammenhang mit der zahnärztlichen Prophylaxe durchgeführt, werden niedrigere Plaquewerte (nach O'Leary) erreicht als nach einmaliger Mundhygieneinstruktion (Furusawa et al., 2011). Es sind aber auch indirekte Lernmethoden denkbar, beispielsweise das implizite oder explizite Übertragen von Wissen und Verhalten von Personen, die an Präventionsprogrammen teilnehmen, an nahestehende Personen. So nehmen Kinder häufig an Aufklärungsprogrammen in der Schule oder Erwachsene eines Haushaltes an Präventionsmaßnahmen in einer niedergelassenen Praxis teil.

Die jeweils im Umfeld lebenden Personen könnten durch die Motivation und positiven Druck der instruierten Personen, durch Beobachtung neu erlernter Putztechniken oder durch neue Zahnpflegeprodukte auch ihr eigenes Verhalten ändern.

5.3 Inzidentelles Lernen

Lernen bedeutet Veränderung im Verhalten, Denken und Fühlen. Somit wird Lernen über eine Verhaltensänderung definiert (Lefrançois, 2015). Um eine Verhaltensänderung zu erreichen, braucht es eine Aneignung von Wissen und Fähigkeiten durch Erfahrungen. Durch Lernen verändert sich also auch das Können und Wissen. Der Lernende behält das Erlernete im expliziten oder impliziten Gedächtnis.

Das explizite Gedächtnis beschreibt das bewusste Gedächtnis. Es besteht zumeist aus bildhaften Informationen und lässt sich in Worte fassen. Es ist verbalisierbar und somit

deklarativ. Das explizite Gedächtnis wird ferner in ein semantisches und episodisches Gedächtnis unterteilt.

Das implizite Gedächtnis beschreibt hingegen das unbewusste Gedächtnis. Es ist nicht verbalisierbar und nondeklarativ (Mazur, 2006).

Dabei beschreibt die Verhaltensänderung nicht nur veränderte Aktivitäten als solche, sondern auch das Potenzial zu veränderten Aktivitäten. So kann das Potenzial einer Verhaltensänderung nach Lernen vorliegen, sich aber keine Gelegenheit zur Verhaltensänderung zeigen. Des Weiteren kann sich auch die Disposition des Lernenden verändern. Mit der Disposition verändert sich die Neigung, bestimmte Aktivitäten auszuführen (Lefrançois, 2015).

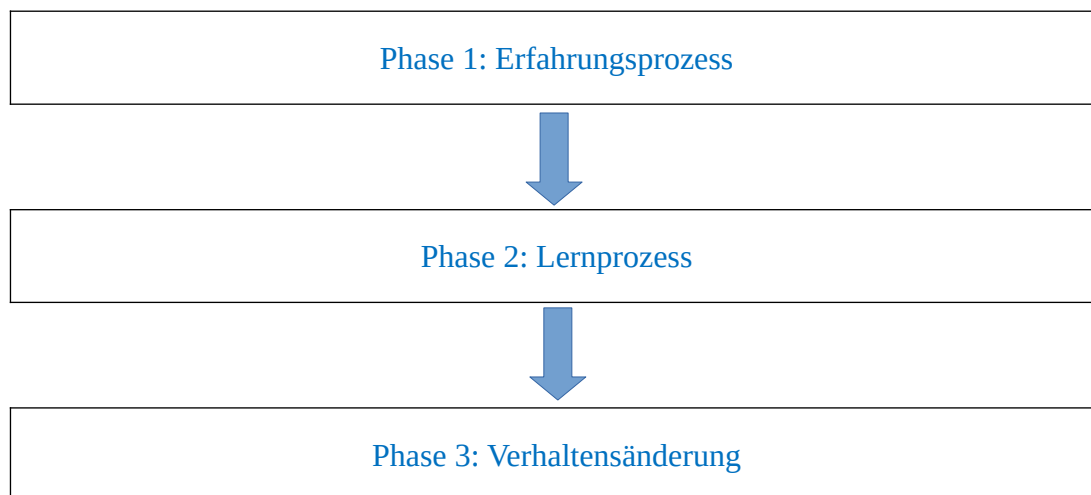


Schaubild 2: Ablauf des Prozesses des Lernens, eigene Darstellung in Anlehnung an (Lefrançois, 2015)

Analog zum Konzept des impliziten Gedächtnisses verhält sich das Konzept des impliziten Lernens. Auch wenn mit dem Lernen meist das aktive, explizite Lernen assoziiert wird, findet Lernen auch unbemerkt und unbewusst statt. Dies wird unter implizitem Lernen verstanden. Es kann auch als intuitiv beschrieben werden. Die darauffolgenden Verhaltensänderungen können folglich auch nicht begründet werden (Röhr-Sendlmeier, 2012). Dabei handelte es sich nicht um dichotome, sich

ausschließende Lernformen. Vielmehr stellen sie ein Kontinuum dar. Eine Form des impliziten Lernens ist die des inzidentellen Lernens.

Inzidentelles Lernen beschreibt das beiläufige Lernen bzw. Lernen „en passant“ (Reischmann, J., 1995). Das Lernen erfolgt dabei wie das implizite Lernen ohne Lernintention und -instruktion und zufällig. So wird bei jeder Tätigkeit implizites Wissen erworben, ohne dass es dem Subjekt bewusst ist.

Dabei geht das Konzept des inzidentellen Lernens in das des impliziten Lernens über. So haben beide Begriffe unterschiedliche theoretische Ursprünge, beschreiben jedoch den gleichen Sachverhalt (Hoh, 2003). Nach Reber ist das inzidentelle Lernen neben dem abstrakten, unbewussten Wissenszuwachs Charakter des impliziten Lernens (Reber, 1989). Betrachten wir das implizite Lernen vom Standpunkt des Gelernten aus, so kann eine Veränderung im Verhalten durch Erfahrungen und mit ihrer einhergehenden unbewussten Erkenntnis und Einsicht erfolgen (Hoffmann & Kintsch, 1996). Der Modus des inzidentellen Lernens geht jedoch keinesfalls ausschließlich mit implizitem Wissen einher (Mazur, 2006).

Die meisten manuellen Fähigkeiten werden inzidentell gelernt. In diesem Zusammenhang wird auch von einem prozeduralen Gedächtnis gesprochen. Wir sind zu Fähigkeiten in der Lage, ohne zu wissen, die Fähigkeiten je erworben zu haben. Dies ist insbesondere bei manuellen Kompetenzen wie zum Beispiel Gewohnheiten und Bewegungsabläufen wie dem Zähneputzen der Fall. Kennzeichen solcher erworbenen manuellen Fähigkeiten ist, dass diese schwer in Worte zu fassen, also nicht verbalisierbar und nicht explizit verfügbar sind. Es ist somit Teil des impliziten Gedächtnisses (Mazur, 2006; Spitzer, 2003).

Das siebte Semester mit dem Kursus der Zahnerhaltungskunde I stellt das erste Semester mit Patientinnen- und Patientenkontakt dar. Dem entsprechend kann von einer gewissen emotionalen Erregtheit ausgegangen werden. Untersuchungen zeigten, dass Emotionalität die Lernerfolge verbessert. So wurden in einer Studie Gruppen Texte mit gleichem Inhalt, aber unterschiedlicher Emotionalisierung vorgelesen. Die Gruppe mit höherer Emotionalisierung erinnerte den Inhalt signifikant besser.

Um dem Mechanismus der Emotionalität weiter auf den Grund zu gehen, wurden dabei auch β -Blocker und Placebo angewandt. Während die Gruppe mit Placebo in Verbindung mit Emotionen weiter höhere Lerneffekte aufwies, war die Gruppe mit β -Blocker und emotionalisierendem Text mit den Gruppen, welche neutrale Texte vorgelesen bekamen, vergleichbar (Cahill et al., 1994; vgl. Spitzer, 2003). Es ist daher nicht verwunderlich, dass Spitzer, 2003 konstatierte: „Oder betrachten wir das Medizinstudium: Junge Menschen kommen an die Universität und wollen Heilen lernen. Aber man ärgert sie zunächst für [...] Jahre damit, dass sie Inhalte lernen müssen, die mit Heilen nur sehr indirekt (oder gar nicht) in Verbindung stehen. Damit nimmt man den Studenten systematisch genau das, was sie zum Lernen dringend brauchen: die emotionale Komponente der zu lernenden Daten und Fakten, das innere Beteiligt-Sein, die Spannung des Dabei-Seins.“

Zu vermuten ist, dass der Faktor des Emotionalen das inzidentelle Lernen in diesem Kursus der Zahnerhaltungskunde I fördert und die Studenten angeregt werden, ihr Mundhygieneverhalten zu verändern.

Weiter ist festzuhalten, dass auch Interesse und Motivation, sowohl die intrinsische als auch extrinsische (Krapp & Prenzel, 1992), Angst und Stress (Spitzer, 2003) im wechselseitigen Einfluss auf Emotionalität, das Lernen im Allgemeinen und inzidentellen Lernen im Speziellen stehen.

Der empirische Nachweis des inzidentellen Lernens gestaltet sich nach wie vor schwierig. So können Anteile expliziten, den Lernerfolg des inzidentellen Lernens beeinflussende Anteile nicht ausgeschlossen werden. Kaum ein Experiment hat inzidentelles Lernen daher je eindeutig nachweisen können (Buchner, 1993). Inwieweit andere, die Mundhygiene verbessernde, explizite Lernprozesse die Ergebnisse dieser Studie beeinflusst haben, ist daher unklar.

5.4 Diskussion der Studienergebnisse

Die Studierenden zeigten zu Beginn des Kurses der Zahnerhaltungskunde I unterschiedliche Plaqueswerte. Während die Zahnoberflächen eines Studierenden über

ein Viertel Plaque aufwiesen, waren bei anderen Studierenden niedrige Plaquewerte von deutlich unter zehn Prozent zu beobachten. Das untersuchte Kollektiv zeigte somit zu T0 ein heterogenes Bild in Bezug auf Plaquewerte.

Stellt man die Plaquewerte der Probanden, die immerhin Studierende der Zahnmedizin waren, einer Studie entgegen, bei der die Probanden aus Studierenden aller Studienfächer rekrutiert wurden, stellt man fest, dass die Höhe der Plaquewerte sich ähnlich verhalten (Jung et al., 2022). Auch wenn der Kursus der Zahnerhaltungskunde I das erste klinische Semester mit intensiver Auseinandersetzung mit Mundhygieneinstruktionen darstellt, hätte man bei Studierenden der Zahnheilkunde eine höhere Sensibilität für die eigene Mundhygiene erwarten können.

Auch das Plaqueverteilungsmuster zeigte sich typisch. Die Molaren des Oberkiefers waren vestibulär zum Zeitpunkt T0 stark von Plaquebedeckung betroffen, Prämolaren und Frontzähne weniger. Es zeigte sich die Zunahme der Plaquebedeckung nach posterior. Die Oralflächen des Oberkiefers waren hingegen relativ gleichmäßig von Plaque betroffen. Im Unterkiefer zeigt sich das Plaqueverteilungsmuster anders, hier waren eher die Oral- als die Vestibulärflächen betroffen. Eine Zunahme nach posterior fand nicht statt, wenn auch die Frontzähne geringere Plaquewerte aufwiesen. Es zeigte sich, dass sich Plaque mit Regelmäßigkeit an bestimmten Stellen bildet.

Das in der vorliegenden Studie aufgetretene Muster der Plaqueverteilung korreliert dabei mit den Ergebnissen weiterer Studien. So konnten auch Furuichi et al. (Furuichi et al., 1992) nach einer zweiwöchigen Beobachtung von zehn Probanden bei unterlassener Mundhygiene bei den Frontzähnen des Oberkiefers unter Anwendung des Plaqueindex nach Silness und Loe eine geringere Plaquebedeckung im Vergleich zu den Seitenzähne feststellen, wobei jedoch die palatinalen Flächen der Seitenzähne relativ gering betroffen waren. Im Unterkiefer waren die Frontzähne auch weniger von Plaque bedeckt als die Seitenzähne des Unterkiefers, der Unterschied fiel jedoch nicht so deutlich aus wie im Oberkiefer. Auch waren die Bukkalflächen im Unterkiefer insgesamt weniger von Plaque bedeckt als die oralen Flächen (Furuichi et al., 1992).

Söder et al. fanden 2003 das oben aufgeführte Plaqueverteilungsmuster ebenfalls vor. Dreiundvierzig Probanden wurden einer professionellen Zahnreinigung unterzogen und führten danach ihre habituelle Mundhygiene für einen Monat fort. Anschließend wurde in einem planimetrischen Verfahren auf Grundlage von Fotos die prozentuale Plaquebedeckung der Probanden ermittelt. Die Frontzähne im Oberkiefer wiesen insgesamt eine geringere Plaquebedeckung auf, während die Oberkieferzähne vestibulär eine höhere Plaquebedeckung als palatinal und die Unterkiefer lingual eine höhere Plaquebedeckung als vestibulär zeigten (Söder et al., 2003).

Dieses typische Plaqueverteilungsmuster ist einerseits den oralen Selbstreinigungskräften insbesondere der Zunge, Wangen und Lippen geschuldet. Diese erreichen alle Oralflächen des Oberkiefers in etwa gleichmäßig, jedoch die Vestibulärflächen der Frontzähne mit nach anterior zunehmender Tendenz. Neben den Selbstreinigungskräften trägt andererseits auch das fest verankerte Zahnputzmuster jedes Individuums zum Plaqueverteilungsmuster bei. So zeigen Videoanalysen, dass die Oralflächen sowohl mit einer Hand- als auch elektrischen Zahnbürste deutlich weniger bis gar nicht geputzt werden (Ganss et al., 2018; Winterfeld et al., 2015).

Die sichtbaren Vestibulärflächen der Frontzähne waren auch bei den Studierenden der Zahnmedizin im siebten Semester am wenigsten betroffen. Die Vestibulärflächen der hinteren Zähne sowohl im Ober- als auch Unterkiefer wurden vernachlässigt. Dies ist in Anbetracht der Tatsache, dass den Studierenden bereits in den vorangegangenen Semestern der Zusammenhang zwischen dentalem Biofilm und Karies erläutert wurde, erstaunlich. Insgesamt zeigte sich eine große Spannweite der Plaquewerte, ein typisches Plaquemuster und eine ähnlich hohe Plaquebedeckung wie bei Studierenden von Fächern ohne Bezug zu Medizin oder Zahnmedizin.

Orale Gesundheit weist wie die allgemeine Gesundheit eine hohe Korrelation zu „soziologischen Schichtungsindikatoren“, insbesondere der Schulbildung, auf (Cholmakow-Bodechtel et al., 2016). Da die Menge der Plaque auch mit der Mundgesundheit korreliert, könnte man bei Studierenden, welche eine hohe Schulbildung mitbringen, von einer guten Mundhygiene ausgehen. Jedoch zeigen die

Molaren bukkal im Oberkiefer und die Molaren oral im Unterkiefer eine teilweise hohe Plaquebedeckung von bis zu fast einem Viertel, wie in den folgenden Abbildungen exemplarisch dargestellt:

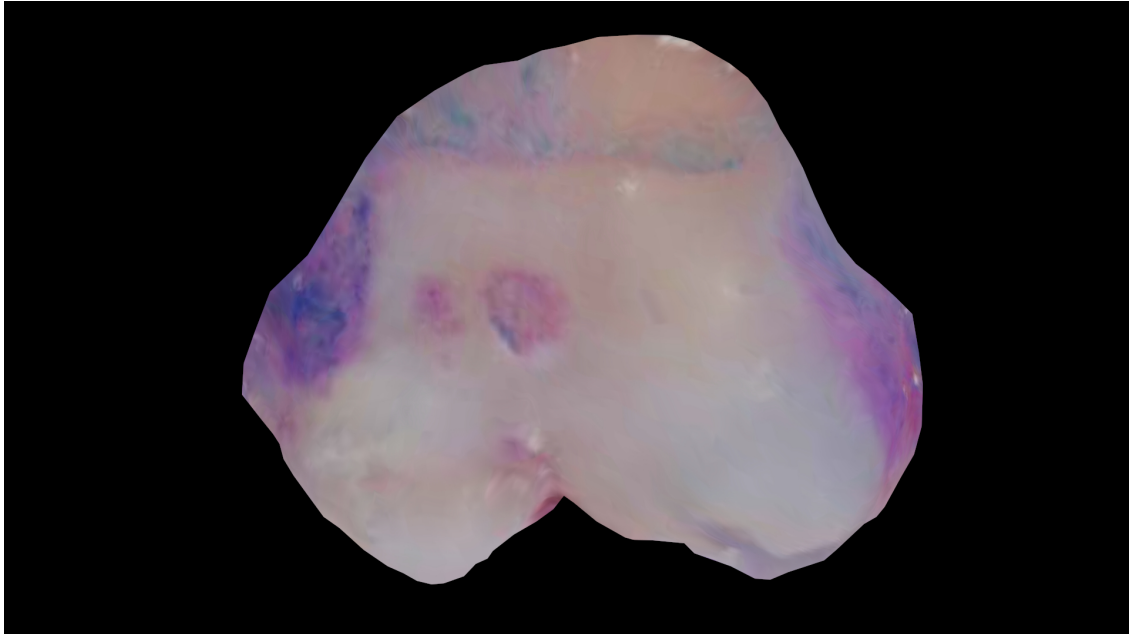


Abbildung 29: Beispielbild des Zahnes 16 von vestibulär zum Zeitpunkt T1 mit einer Plaquebedeckung von 24,2 %, ähnlich dem arithmetischen Mittelwert der Gesamtgruppe für diesen Zahn.

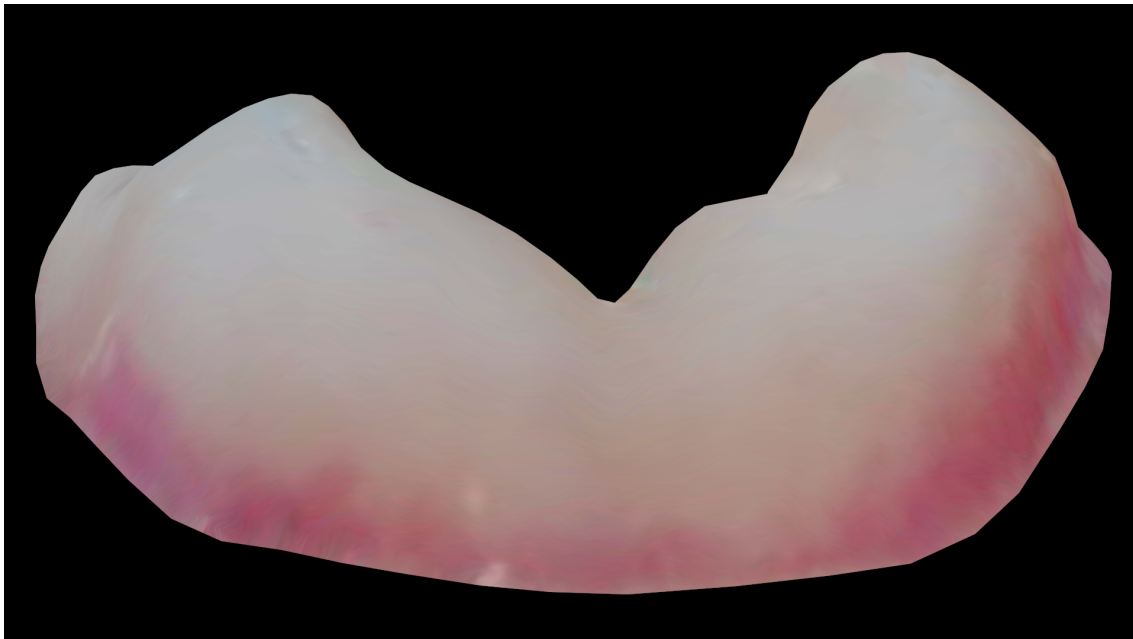


Abbildung 30: Beispielbild des Zahnes 36 von oral zum Zeitpunkt T1 mit einer Plaquebedeckung von 26,9 %, ähnlich dem arithmetischen Mittelwert der Gesamtgruppe für diesen Zahn.

Die Verbesserung vom Zeitpunkt T0 zum Zeitpunkt T1 erreichte insgesamt nur knapp Signifikanz. So verringerte sich der Plaqueswert insgesamt von $14,5 \pm 4,4$ % zu T0 auf $13,1 \pm 3,7$ % zu T1. Eine etwas stärkere, jedoch weiterhin marginale, Verbesserung zeigte sich im Terzil mit den höchsten Plaqueswerten. Hier verringerte sich der Plaqueswert von $19,1 \pm 3,1$ % zu T0 auf $15,1 \pm 2,7$ % zu T1. Dies lässt den Schluss zu, dass sich das Plaquelevel insgesamt nicht verändert hat. So bestand eine hohe Korrelation der Plaqueswerte der Zeitpunkte T0 und T1 (siehe Abbildung 26). Auch die Betrachtung der Plaqueswerte nach Kiefer, Zahn und Fläche, also die Betrachtung des Plaqueverteilungsmusters, zeigt keine wesentlichen Veränderungen von T0 zu T1. Es ergeben sich für die Plaqueswerte jeden Zahnes nach Fläche (siehe Tabelle 2) nur minimale, nicht signifikante Differenzen und fast immer signifikante Korrelationen.

Insgesamt zeigt sich, dass die Studierenden kein gutes Mundhygienieniveau aufwiesen, dieses trotz der genannten Erfahrungen in der Patientenbetreuung und dem Wissenszuwachs durch die begleitenden Vorlesungen zum Zeitpunkt T1 nicht signifikant verbesserten und sich auch das Muster der Plaqueverteilung nicht veränderte.

Die Studienergebnisse sind neben der begrenzten Probandenzahl durch folgende Gegebenheiten limitiert: So wurden die 3D-Intraloralscans mit dem Intraoralscanner CS 3600 der Firma Carestream Dental (Stuttgart, Deutschland) erfasst, dessen Markteinführung im Jahre 2016 war und somit zur Datenerhebung nicht mehr das neueste Modell war. Erschwerend kommt hinzu, dass die Studierenden im ersten zweiten klinischen Semester erst den Umgang mit dem 3D-Intraloralscanner erlernen mussten, auch wenn die Bedienung intuitiv und schnell erlernbar ist. Des Weiteren können die ungenügende Färbung der Plaque oder andere äußere Einflüsse wie zusätzliche Lichtquellen wie die der Behandlungsleuchten, welche unerwünschte Lichtreflexionen auf den Zähnen hervorrufen, die Aufnahme der Plaque und dessen planimetrische Auswertung erschwert haben.

6 Schlussfolgerungen und Ausblick

Aufgrund der vorliegenden Daten ist festzustellen, dass die Studierenden von dem veränderten Vorgehen im Kurs für Zahnerhaltungskunde I nur wenig in Bezug auf ihre eigenen Mundhygiene profitiert haben. Inzidentelles Lernen hat somit nicht stattgefunden.

Dies kann mit dem tief verankerten Bewegungsmuster bei der Mundhygiene, das nur schwer veränderbar ist, zusammenhängen (Schlueter et al., 2010, 2013). Aber auch Faktoren auf psychologischer Ebene können eine Rolle spielen. So ist es denkbar, dass die Studierenden die Mundhygieneinstruktionen im professionellen studentischen Kontext nicht internalisierten. Sie beziehen die gemachten Erfahrungen somit nicht auf sich selbst und die eigene Mundhygiene. Dies ist insbesondere im Anbetracht dessen zu sehen, dass die meisten Studierenden geringe Karieserfahrung bzw. einen niedrigen DMF-T-Index aufweisen und somit möglicherweise keinen Handlungsbedarf zur Änderung der eigenen Mundhygiene sehen. Weiterhin besteht die Frage, ob das implizite Lernen bei einem hohen manuellen Komplexitätsgrad wie der Mundhygiene an seine Grenzen stößt und somit kein Lernen stattfindet. Ob und in welchem Umfang implizite Lernerfahrungen spätere explizite Lernprozesse beeinflussen, muss weiter untersucht werden.

Bezüglich der Methodik lässt sich festhalten, dass die methodische Umsetzung in der Plaquemessung in dieser Arbeit eine substanzielle Veränderung zu etablierten klinischen Indizes darstellt. So muss der Zahn nunmehr nicht gedanklich in bestimmte Bereiche geteilt werden, die zumal unterschiedlich groß sind. Auch bei geringer Plaquebedeckung konnte zuvor schnell der Maximalwert erreicht werden, was die Trennschärfe reduziert. Die Plaquebedeckung wird nunmehr nicht dichotom in ordinaler Skalierung bewertet. Vielmehr wird die Plaquebedeckung nun im Verhältnis zur Oberfläche des Zahnes, also in einer Verhältnisskala, angegeben.

Die Ergebnisse sind reproduzierbar und auf aufwendige Standardisierung bei der Fotografie kann verzichtet werden. Die zugrundeliegenden Screenshots der Zahnoberflächen zum Zeitpunkt T0 und T1 sind identisch in ihrer Ausrichtung und

Betrachtung, sodass sie eine hohe intraindividuelle Vergleichbarkeit ermöglichen. Die schwierige orthogonale fotografische Aufnahme der Molaren entfällt und Varianzen im Winkel und Abstand in den fotografischen Aufnahmen beeinflussen nicht das planimetrische Ergebnis.

Dennoch ist die in dieser Arbeit angewendete Methodik der Planimetrie nicht gänzlich automatisiert. So müssen weiterhin die zahnbegrenzten Anteile der Screenshots händisch eingezeichnet werden. Die in dieser Arbeit angewendete planimetrische Methode kann daher als semi-automatisch bezeichnet werden. Eine automatische Erkennung der zahnbegrenzenden Anteile wäre im Sinne der Effizienz und Objektivität wünschenswert und könnte eine Weiterentwicklung darstellen.

Die Ergebnisse geben weiterhin zwar Aufschluss über die zweidimensionale Ausbreitung der Plaque im Verhältnis zur nicht von Plaque bedeckten Zahnoberfläche. Jedoch wird weder über den Ort der Plaque noch über die Dicke und Qualität der Plaque eine Aussage getroffen. Auch lässt die verwendete Methodik eine Differenzierung der rötlicheren „frischen“ und bläulichen „alten“ Plaque missen, die uns die Färbemethode mittels Mira-2-Ton ermöglichen würde. Diese Faktoren zusammen könnten uns Aufschluss einerseits über die Qualität der Plaque, andererseits dessen Zusammenhang zu Entzündungen des Zahnhalteapparates liefern. Auch hier wäre eine Weiterentwicklung wünschenswert.

7 Zusammenfassung

Zahnärztliche Prophylaxe kann die orale Mundgesundheit nachhaltig verbessern und hat sich im Paradigmenwechsel „Vorsorgen statt Versorgen“ in der zahnmedizinischen Versorgung Deutschlands etabliert.

Die Präventivzahnmedizinischen Sprechstunde in der Poliklinik für Zahnerhaltungskunde und Endodontologie an der Justus-Liebig-Universität in Gießen wurde substanziell mit aktiverer Einbeziehung der Studierenden umgestellt.

Ziel der vorliegenden Arbeit war es zu untersuchen, ob sich die Mundhygiene der Studierenden selber durch das neue Konzept verändert. Voraussetzung hierfür ist, dass ein inzidentelles Lernen stattfindet. Hierunter wird das beiläufige Lernen ohne Lernintention und -instruktion verstanden.

Dazu wurden die 3D-Intraoralscans, welche im Rahmen gegenseitiger Übungen im Kurs für Zahnerhaltungskunde I entstanden sind, einer retrospektiven Analyse unterzogen. Insgesamt standen jeweils 3D-Intraoralscans von 30 Studierenden in den Einführungswochen zu Beginn des Semesters, vor Durchführung des Präventionsprogramms an Patientinnen und Patienten (T0), und in den abschließenden Übungswochen zum Ende des Semesters, nach Durchführung des Präventionsprogramms an Patientinnen und Patienten (T1), zur Verfügung. Für die retrospektive Analyse wurde eine neue Methodik der Planimetrie entwickelt, die Auskunft über die Plaquebedeckung in einer Verhältnisskala gab.

Vor Absolvierung des Kurses für Zahnerhaltungskunde I (T0) zeigte sich ein breites Spektrum von Plaquewerten bei den Studierenden, welches von 6,5% bis 25,4% reichte, sowie ein typisches Plaqueverteilungsmuster.

Obwohl sich das neue Konzept der Präventivzahnmedizinischen Sprechstunde mit der Visualisierung von Plaque im 3D-Bild deutlich von der herkömmlichen Art der Mundhygieneinstruktion unterscheidet, zeigte sich für die Studierenden im Sinne eines inzidentellen Lernens ein nur geringer Effekt. So hat sich nach Absolvierung des Kurses für Zahnerhaltungskunde I (T1) weder das Niveau der Mundhygiene insgesamt noch das Plaqueverteilungsmuster der Studierenden signifikant verändert: Die

prozentuale Plaquebedeckung sank von $14,5 \pm 4,4$ % zu T0 auf $13,1 \pm 3,7$ % zu T1. Das Terzil mit der höchsten Plaquebedeckung konnte eine marginale Verbesserung mit knapper Signifikanz erreichen. Eine substantielle Änderung oder gar Verbesserung der Mundhygiene konnte bei den Studierenden insgesamt nicht beobachtet werden. Die Verteilung der Plaque blieb bestehen und bildete zu beiden Zeitpunkten das typische Plaqueverteilungsmuster ab.

Inzidentelles Lernen hat somit nicht stattgefunden. Dies kann in der fehlenden Internalisierung der Lerninhalte oder im Komplexitätsgrad der Mundhygiene begründet sein. Substantielle Verbesserung brachte die Optimierung des planimetrischen Verfahrens, welche einen höheren Automatisierungsgrad und somit genauere Daten hervorbringt.

8 Summary

Dental prophylaxis can sustainably improve oral health and has established itself in the paradigm shift to “prevention instead of treatment” in dental care in Germany.

The preventive dentistry consultation hours at the Polyclinic for Conservative Dentistry and Endodontology at the Justus Liebig University in Giessen have been substantially reorganized, with more active involvement of the students.

The aim of this study was to investigate whether the students' oral hygiene has changed because of the new concept. The prerequisite for this is that incidental learning takes place. This refers to incidental learning without learning intention and instruction. For this purpose, 3D intraoral scans, which were created as part of reciprocal exercises in the course Dental Conservation I course were subjected to a retrospective analysis. In total, 3D intraoral scans were available from 30 students in the introductory weeks at the beginning of the semester, before the prevention programme was carried out on patients (T0), and in the final practice weeks at the end of the semester, after the prevention programme had been carried out on patients (T1). A new method of planimetry was developed for the retrospective analysis, which provided information on plaque coverage on a ratio scale.

Before completing the course Dental Conservation I (T0), the students showed a wide range of plaque values, ranging from 6.5% to 25.4%, and a typical plaque distribution pattern.

Although the new concept of preventive dental care with the visualisation of plaque in a 3D image differs significantly from the conventional type of oral hygiene instruction, the effect on the students in terms of incidental learning was only slight. Neither the overall level of oral hygiene nor the plaque distribution pattern of the students changed significantly after completing the course Dental Conservation I (T1): the percentage plaque coverage decreased from 14.5 ± 4.4 % at T0 to 13.1 ± 3.7 % at T1. The tercile with the highest plaque coverage achieved a marginal improvement with marginal significance. A substantial change or even improvement in oral hygiene could not be

observed in the students overall. The distribution of the plaque remained the same and reflected the typical plaque distribution pattern at both time points.

Incidental learning therefore did not take place. This may be due to the lack of internalization of the learning content or the degree of complexity of oral hygiene.

Substantial improvement was achieved by optimizing the planimetric procedure, which resulted in a higher degree of automation and thus more accurate data.

9 Literaturverzeichnis

- Addy, M., Renton-Harper, P., Warren, P., & Newcombe, R. G. (1999). An evaluation of video instruction for an electric toothbrush. Comparative single-brushing cross-over study. *Journal of Clinical Periodontology*, 26(5), 289–293.
- Awad, D., Häfner, A., Reinert, S., & Kluba, S. (2022). Plaster casts vs. intraoral scans: Do different methods of determining the final occlusion affect the simulated outcome in orthognathic surgery? *Journal of Personalized Medicine*, 12(8), 1288.
- Axelsson, P., Nyström, B., & Lindhe, J. (2004). The long-term effect of a plaque control program on tooth mortality, caries and periodontal disease in adults. Results after 30 years of maintenance. *Journal of Clinical Periodontology*, 31(9), 749–757.
- Bellini, H. T., Arneberg, P., & Von Der Fehr, F. R. (1981). Oral hygiene and caries. *Acta Odontologica Scandinavica*, 39(5), 257–265.
- Buchner, A. (1993). *Implizites Lernen Probleme und Perspektiven* [PhD Thesis, Zugl.: Bonn, Univ., Diss., 1992].
- Buschang, P. H., Ross, M., Shaw, S. G., Crosby, D., & Campbell, P. M. (2015). Predicted and actual end-of-treatment occlusion produced with aligner therapy. *The Angle Orthodontist*, 85(5), 723–727.
- Cahill, L., Prins, B., Weber, M., & McGaugh, J. L. (1994). Beta-adrenergic activation and memory for emotional events. *Nature*, 371(6499), 702–704.
- Carter, K., Landini, G., & Walmsley, A. D. (2004). Automated quantification of dental plaque accumulation using digital imaging. *Journal of Dentistry*, 32(8), 623–628.

- Ceylan, G., & Emir, F. (2023). Evaluating the accuracy of CAD/CAM optimized stones compared to conventional type IV stones. *PloS One*, *18*(3), e0282509.
- Cholmakow-Bodechtel, C., Institut der Deutschen Zahnärzte, Jordan, A. R., & Micheelis, W. (2016). *Fünfte Deutsche Mundgesundheitsstudie (DMS V)*. Deutscher Zahnärzte Verlag DÄV. <https://katalog.slub-dresden.de/id/0-865955336>
- Cicchetti, D. V. (1994). Guidelines, criteria, and rules of thumb for evaluating normed and standardized assessment instruments in psychology. *Psychological Assessment*, *6*, 284–290.
- Cignoni, P., Callieri, M., Corsini, M., Dellepiane, M., Ganovelli, F., & Ranzuglia, G. (2008). MeshLab: An open-source mesh processing tool. In V. Scarano, R. D. Chiara, & U. Erra (Hrsg.), *Eurographics Italian Chapter Conference*. The Eurographics Association.
- Del Rey, Y. C., Rikvold, P. D., Johnsen, K. K., & Schlafer, S. (2023). A fast and reliable method for semi-automated planimetric quantification of dental plaque in clinical trials. *Journal of Clinical Periodontology*, *50*(3), 331–338.
- Furuichi, Y., Lindhe, J., Ramberg, P., & Volpe, A. R. (1992). Patterns of de novo plaque formation in the human dentition. *Journal of Clinical Periodontology*, *19*(6), 423–433.
- Furusawa, M., Takahashi, J., Isoyama, M., Kitamura, Y., Kashima, T., Ueshima, F., Nakahama, N., Araki, M., Rokukawa, Y., Takahashi, Y., Makiishi, T., & Yatabe, K. (2011). Effectiveness of dental checkups incorporating tooth brushing instruction. *The Bulletin of Tokyo Dental College*, *52*(3), 129–133.
- Ganss, C., Duran, R., Winterfeld, T., & Schlueter, N. (2018). Tooth brushing motion patterns with manual and powered toothbrushes - a randomised video observation study. *Clinical Oral Investigations*, *22*(2), 715–720.

- Ganss, C., Glanz, A., Glanz, T., Schlueter, N., & Ruf, S. (2020). Red fluorescence of plaque in the dentition—a comparison of quantitative light-induced fluorescence-digital (QLF-D) images and conventional images of disclosed plaque. *Photodiagnosis and Photodynamic Therapy*, *32*, 102063.
- Ganss, C., Heins, M., & Schlueter, N. (2019). An oral care programme for adults – Evaluation after 15 years. *PLoS One*, *14*(12), e0223960.
- Ganss, C., Schlueter, N., Preiss, S., & Klimek, J. (2009). Tooth brushing habits in uninstructed adults – Frequency, technique, duration and force. *Clinical Oral Investigations*, *13*(2), 203–208.
- Giese-Kraft, K., Jung, K., Schlueter, N., Vach, K., & Ganss, C. (2022). Detecting and monitoring dental plaque levels with digital 2D and 3D imaging techniques. *PLoS One*, *17*(2), e0263722.
- Graetz, C., Bielfeldt, J., Wolff, L., Springer, C., El-Sayed, K. M. F., Sälzer, S., Badri-Höher, S., & Dörfer, C. E. (2013). Toothbrushing education via a smart software visualization system. *Journal of Periodontology*, *84*(2), 186–195.
- Hoffmann, J., & Kintsch, W. (1996). *Lernen*. Hogrefe. Enzyklopädie der Psychologie Theorie und Forschung Kognition ; Bd. 7 Themenbereich C, Ser. 2. Göttingen
- Hoh, R. (2003). Matthias Rohs (Hrsg.): Arbeitsprozess-integriertes Lernen. Neue Ansätze für die berufliche Bildung. Münster u.a.: Waxmann 2002 (182 S.) [Rezension]. In *Erziehungswissenschaftliche Revue (EWR)* (Bd. 2, Nummer 3).
- Jung, K., Giese-Kraft, K., Fischer, M., Schulze, K., Schlueter, N., & Ganss, C. (2022). Visualization of dental plaque with a 3D-intraoral-scanner—A tool for whole mouth planimetry. *PLoS One*, *17*(10), e0276686.
- Jung, K., Giese-Kraft, K., Schlenz, M. A., Wöstmann, B., & Ganss, C. (2024). Digital plaque monitoring: An evaluation of different intraoral scanners. *Journal of Dentistry*, *145*, 104978.

- Kneist, S., Kubieziel, H., Willershäusen, B., Küpper, H., & Callaway, A. (2012). Modeling of *S mutans* and *A naeslundii* acid production in vitro with caries incidence of low- and high-risk children. *Quintessence International* 43(5), 413–420.
- Koo, T. K., & Li, M. Y. (2016). A guideline of selecting and reporting intraclass correlation coefficients for reliability research. *Journal of Chiropractic Medicine*, 15(2), 155–163.
- Krapp, A. 1940-, & Prenzel, M. (1992). *Interesse, Lernen, Leistung neuere Ansätze der pädagogisch-psychologischen Interessenforschung*. Aschendorff. *Arbeiten zur sozialwissenschaftlichen Psychologie (Auflage 26)*. Münster.
- Lefrançois, G. R. (2015). *Psychologie des Lernens (5. Auflage)*. Seiten 417-442. Springer. Berlin
- Löe, H., Theilade, E., & Jensen, S. B. (1965). Experimental gingivitis in man. *The Journal of Periodontology*, 36, 177–187.
- Löe, H., Von der Fehr, F. R., & Schiött, C. R. (1972). Inhibition of experimental caries by plaque prevention. The effect of chlorhexidine mouthrinses. *Scandinavian Journal of Dental Research*, 80(1), 1–9.
- Macgregor, I. D., & Rugg-Gunn, A. J. (1985). Toothbrushing duration in 60 uninstructed young adults. *Community Dentistry and Oral Epidemiology*, 13(3), 121–122.
- Marinho, V. C., Higgins, J. P., Sheiham, A., & Logan, S. (2003). Fluoride toothpastes for preventing dental caries in children and adolescents. *The Cochrane Database of Systematic Reviews*, 2003(1), CD002278.
- Marsh, P. D. (1994). Microbial ecology of dental plaque and its significance in health and disease. *Advances in Dental Research*, 8(2), 263–271.

- Mazur, J. E.; Steinweg-Fleckner, E. (2006). *Lernen und Verhalten* (6., aktualisierte Auflage). S. 569 – 634. Pearson Studium. München.
- Nyvad, B., & Kilian, M. (1987). Microbiology of the early colonization of human enamel and root surfaces in vivo. *Scandinavian Journal of Dental Research*, 95(5), 369–380.
- O’Mullane, D. M., Baez, R. J., Jones, S., Lennon, M. A., Petersen, P. E., Rugg-Gunn, A. J., Whelton, H., & Whitford, G. M. (2016). Fluoride and oral health. *Community Dental Health*, 33(2), 69–99.
- Pretty, I. A., Edgar, W. M., Smith, P. W., & Higham, S. M. (2005). Quantification of dental plaque in the research environment. *Journal of Dentistry*, 33(3), 193–207.
- Quirynen, M., Dekeyser, C., & van Steenberghe, D. (1991). Discriminating power of five plaque indices. *Journal of Periodontology*, 62(2), 100–105.
- Ramfjord, S. P. (1959). Indices for prevalence and incidence of periodontal disease. *The Journal of Periodontology*, 30(1), 51–59.
- Reber, A. (1989). Implicit learning of tacit knowledge. *Journal of Experimental Psychology: General*, 118, 219–235.
- Reischmann, J. (1995). Lernen „en passant“ – die vergessene Dimension. Grundlagen der Weiterbildung. *Grundlagen der Weiterbildung*, 6. Jg. Heft 4/95, 200–204.
- Renton-Harper, P., Addy, M., Warren, P., & Newcombe, R. G. (1999). Comparison of video and written instructions for plaque removal by an oscillating/rotating/reciprocating electric toothbrush. *Journal of Clinical Periodontology*, 26(11), 752–756.
- Rikvold, P. D., Del Rey, Y. C., Johnsen, K. K., & Schlafer, S. (2023). Semi-automated planimetric quantification of dental plaque using an intraoral fluorescence camera. *Journal of Visualized Experiments: JoVE*, 191.

- Röhr-Sendlmeier, U. M. (2012). *Inzidentelles Lernen: Wie wir beiläufig Wissen erwerben*. in der Reihe Lebenslang Lernen, Band 10 (Auflage 1). Logos Verlag Berlin.
- Rustogi, K. N., Curtis, J. P., Volpe, A. R., Kemp, J. H., McCool, J. J., & Korn, L. R. (1992). Refinement of the modified Navy Plaque Index to increase plaque scoring efficiency in gumline and interproximal tooth areas. *The Journal of Clinical Dentistry*, 3(Suppl C), C9-12.
- Schlueter, N., Klimek, J., & Ganss, C. (2013). Relationship between plaque score and video-monitored brushing performance after repeated instruction—A controlled, randomised clinical trial. *Clinical Oral Investigations*, 17(2), 659–667.
- Schlueter, N., Klimek, J., Saleschke, G., & Ganss, C. (2010). Adoption of a toothbrushing technique: A controlled, randomised clinical trial. *Clinical Oral Investigations*, 14(1), 99–106.
- Shida, H., Okabayashi, S., Yoshioka, M., Takase, N., Nishiura, M., Okazawa, Y., Kiyohara, K., Konda, M., Nishioka, N., Kawamura, T., & Iwami, T. (2020). Effectiveness of a digital device providing real-time visualized tooth brushing instructions: A randomized controlled trial. *PloS One*, 15(6).
- Smith, R. N., Brook, A. H., & Elcock, C. (2001). The quantification of dental plaque using an image analysis system: Reliability and validation. *Journal of Clinical Periodontology*, 28(12), 1158–1162.
- Söder, B. (2003). Percent of plaque on individual tooth surfaces and differences in plaque area between adjacent teeth in healthy adults. *International Journal of Dental Hygiene*, 1(1), 23–28.
- Söder, P. O., Jin, L. J., & Söder, B. (1993). Computerized planimetric method for clinical plaque measurement. *Scandinavian Journal of Dental Research*, 101(1), 21–25.

- Soldani, F. A., Lamont, T., Jones, K., Young, L., Walsh, T., Lala, R., & Clarkson, J. E. (2018). One-to-one oral hygiene advice provided in a dental setting for oral health. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 10. (10):CD007447.
- Spitzer, M. (2003). *Lernen Gehirnforschung und die Schule des Lebens* (Korrigierter Nachdr.). Spektrum, Akad. Verl., Heidelberg
- Staudt, C. B., Kinzel, S., Hassfeld, S., Stein, W., Staehle, H. J., & Dörfer, C. E. (2001). Computer-based intraoral image analysis of the clinical plaque removing capacity of 3 manual toothbrushes. *Journal of Clinical Periodontology*, 28(8), 746–752.
- The GIMP Development Team. (2019). *GIMP* (Version 2.10.30). <https://www.gimp.org>, aufgerufen am 16.02.2024 um 13:31
- Ting-Shu, S., & Jian, S. (2015). Intraoral digital impression technique: A review. *Journal of Prosthodontics*. 24(4), 313–321.
- Turesky, S., Gilmore, N. D., & Glickman, I. (1970). Reduced plaque formation by the chloromethyl analogue of vitamin C. *Journal of Periodontology*, 41(1), 41–43.
- Version 27: IBM Deutschland GmbH, Böblingen, Deutschland. (2017). *IBM SPSS Statistics* (Version 27.0). <https://hadoop.apache.org>, aufgerufen am 16.02.2024 um 13:35
- Watt, R. G., & Marinho, V. C. (2005). Does oral health promotion improve oral hygiene and gingival health? *Periodontology 2000*, 37(1), 35–47.
- Winterfeld, T., Schlueter, N., Harnacke, D., Illig, J., Margraf-Stiksrud, J., Deinzer, R., & Ganss, C. (2015). Toothbrushing and flossing behaviour in young adults—A video observation. *Clinical Oral Investigations*, 19(4), 851–858.
- Yoshiga, C., Doi, K., Oue, H., Kobatake, R., Kawagoe, M., Umehara, H., & Tsuga, K. (2024). Utility of intraoral scanner imaging for dental plaque detection. *Imaging Sci Dent*, 54(1), 43–48.

- Zhang, F., Suh, K.-J., & Lee, K.-M. (2016). Validity of intraoral scans compared with plaster models: An in-vivo comparison of dental measurements and 3D surface analysis. *PloS One*, *11*(6), e0157713.
- Zimmer, S., Bizhang, M., Seemann, R., & Barthel, C. R. (2001). Effective of preventive programs on oral hygiene of adults and school children. *Gesundheitswesen (Bundesverband Der Ärzte Des Öffentlichen Gesundheitsdienstes (Deutschland))*, *63*(2), 98–101.

10 Anhang

10.1 Ehrenwörtliche Erklärung

„Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig und ohne unzulässige Hilfe oder Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Alle Textstellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten oder nichtveröffentlichten Schriften entnommen sind, und alle Angaben, die auf mündlichen Auskünften beruhen, sind als solche kenntlich gemacht. Bei den von mir durchgeführten und in der Dissertation erwähnten Untersuchungen habe ich die Grundsätze guter wissenschaftlicher Praxis, wie sie in der „Satzung der Justus-Liebig-Universität Gießen zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis“ niedergelegt sind, eingehalten. Ich versichere, dass Dritte von mir weder unmittelbar noch mittelbar geldwerte Leistungen für Arbeiten erhalten haben, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen, und dass die vorgelegte Arbeit weder im Inland noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde zum Zweck einer Promotion oder eines anderen Prüfungsverfahrens vorgelegt wurde. Alles aus anderen Quellen und von anderen Personen übernommene Material, das in der Arbeit verwendet wurde oder auf das direkt Bezug genommen wird, wurde als solches kenntlich gemacht. Insbesondere wurden alle Personen genannt, die direkt an der Entstehung der vorliegenden Arbeit beteiligt waren.

Mit der Überprüfung meiner Arbeit durch eine Plagiatserkennungssoftware bzw. ein internetbasiertes Softwareprogramm erkläre ich mich einverstanden.“

Lüneburg, den 18.09.2024

10.2 Danksagung

Danken möchte ich Frau Prof. Dr. Carolina Ganß für das Überlassen des spannenden Themas und die jederzeit kompetente und konstruktive Betreuung bei der Erstellung dieser Arbeit. Außerdem danke ich auch Frau Dr. Katja Giese-Kraft und Frau Dr. Katja Jung für die Betreuung.

Da ich ohne freie, quelloffene Software nicht mit so viel Freude an diese Stelle gekommen wäre, möchte ich mich bei allen Mitwirkenden für freie, quelloffene Software und insbesondere bei den Open Source-Projekten Linux Ubuntu, MeshLab, Blender, GIMP, Zotero, Firefox und LibreOffice bedanken.