

# **Progression von Zahnverschleiß bei jungen Erwachsenen und Analyse von Einflussfaktoren**

Inauguraldissertation

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Zahnmedizin

des Fachbereichs Medizin

der Justus-Liebig-Universität Gießen

vorgelegt von Glatt, Anna Sophia

aus Offenburg

Gießen 2024

Aus dem Fachbereich Medizin der Justus-Liebig-Universität Gießen

Medizinisches Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde

Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik

Gutachterin: Prof. Dr. Maximiliane Schlenz-Helmke, M.Sc.

Gutachter: Prof. Dr. Jan-Frederik Güth

Tag der Disputation: 14. Mai 2025

*Meiner Familie und Simon in Dankbarkeit gewidmet*

# Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung .....	1
2	Ziel der Arbeit .....	3
3	Literaturübersicht .....	4
3.1	Nicht-kariesbedingte Zahnhartsubstanzverluste .....	4
3.1.1	Terminologie.....	5
3.1.2	Entstehung von Erosionen .....	6
3.1.3	Entstehung von Attritionen und Abrasionen .....	7
3.1.4	Entstehung von Kombinationsverlusten .....	9
3.2	Indizes zur Einteilung nicht-kariesbedingter Zahnhartsubstanzverluste.....	11
3.3	Digitale Überwachung von nicht-kariesbedingten Zahnhartsubstanzverlusten..	14
3.3.1	Generierung eines digitalen Scandatensatzes .....	14
3.3.2	Intraorale digitale Abformung .....	15
3.3.3	Technologien der Intraoralscanner .....	16
3.3.4	Verarbeitung von Scandatensätzen.....	18
3.3.5	Überlagerung der digitalen Verlaufscans .....	18
3.4	Aktuelle Studienlage zum Monitoring von nicht-karies bedingten Zahnhartsubstanzverlusten mittels Intraoralscanner .....	21
3.5	Aktuelle Studienlage zum Einfluss von Ernährungsgewohnheiten auf nicht-kariesbedingte Zahnhartsubstanzverluste.....	28
4	Material und Methode .....	35
4.1	Methodikübersicht.....	35
4.2	Erhebung der intraoralen Scandaten .....	37

4.2.1 Rahmenbedingungen .....	38
4.2.2 Probandenauswahl .....	38
4.2.3 Fallzahlberechnung .....	39
4.2.4 Durchführung der intraoralen Untersuchung .....	39
4.2.5 Datensicherung .....	41
4.3 Ernährungsfragebogen .....	42
4.3.1 Aufbau des Ernährungsfragebogens .....	42
4.3.2 Validierung des Ernährungsfragebogens .....	43
4.4 Überlagerung und Analyse der Scandatensätze .....	44
4.5 Auswertung und statistische Analyse der Scandaten .....	46
4.6 Auswertung und statistische Analyse der Ernährungsbögen .....	47
4.6.1 Ernährungsbögen der Hauptstudie .....	47
4.6.2 Validierungsbögen .....	48
5 Ergebnisse .....	49
5.1 Ergebnisse und Auswertungen der Intraoralscans .....	49
5.1.1 Fallzahlen und Morphologie der nicht-kariesbedingten Zahnhartsubstanzverluste .....	49
5.1.2 Progression des maximalen vertikalen Zahnhartsubstanzverlustes .....	53
5.2 Ergebnisse der Ernährungsbögen .....	59
5.2.1 Ernährungsbögen der Hauptstudie .....	59
5.2.2 Validierungsbögen .....	61
5.3 Zusammenfassung der Ergebnisse .....	62
6 Diskussion .....	64
6.1 Methodikdiskussion .....	64

6.1.1	Aufbau der intraoralen Untersuchung .....	64
6.1.2	Probandenauswahl .....	65
6.1.3	Untersuchungszahl .....	67
6.1.4	Durchführung der Intraoralscans .....	68
6.1.5	Quantitative Analyse der Scandatensätze in externer 3D-Software .....	69
6.1.6	Gestaltung und Durchführung der Ernährungsfragebögen .....	70
6.1.7	Statistische Auswertung .....	72
6.2	Ergebnisdiskussion .....	74
6.2.1	Ergebnisse der Intraoralscans .....	74
6.2.2	Ernährungsbogen .....	78
6.3	Schlussfolgerung und klinische Relevanz .....	81
7	Zusammenfassung .....	83
8	Summary .....	84
9	Darstellungsverzeichnis .....	85
9.1	Abbildungsverzeichnis .....	85
9.2	Tabellenverzeichnis .....	87
10	Literaturverzeichnis .....	88
11	Publikationsverzeichnis .....	103
12	Ehrenwörtliche Erklärung .....	104
13	Danksagung .....	105

Zur besseren Lesbarkeit wird in der vorliegenden Arbeit das generische Maskulinum verwendet. Im Sinne der Gleichbehandlung gelten Personenbezeichnungen für alle Geschlechter (m/w/d) gleichermaßen.

# 1 Einleitung

Die Daten der Fünften Deutschen Mundgesundheitsstudie (DMS V) zeigen, dass 17,9 % der zwölfjährigen Kinder mindestens einen bleibenden Zahn mit Erosionsmerkmalen haben. Dies entspricht nahezu der Prozentzahl der Zwölfjährigen, welche in der bleibenden Dentition mindestens einen Zahn mit Karieserfahrung aufzeigten (18,7 %).<sup>1</sup> Im Kindes- und Jugendalter steigt die Prävalenz von nicht-kariesbedingten Zahnhartsubstanzverlusten (NKBZ) auf 30,4 % an und im Erwachsenenalter zwischen 35 und 44 Jahren hat fast jeder Zweite mindestens einen Zahn mit Erosionsmerkmalen (44,8 %).<sup>1</sup> Da die Progression des Zahnverschleißes schon im jungen Alter auftritt, besteht ein großes Interesse der frühzeitigen Erkennung, um präventive Maßnahmen ergreifen zu können und eine Progression des Zahnverschleißes über den langen Nutzungszeitraum der Zähne zu verhindern.<sup>2, 3</sup> Der irreversible Verlust von Zahnhartsubstanz kann nämlich neben ästhetischen Beeinträchtigungen durch eine Reduktion der vertikalen Kieferrelation auch zu kaufunktionellen Einschränkungen und Zahnschmerzen führen. Eine frühzeitige Diagnostik von NKBZ erfordert eine Methode, die ein einfaches Monitoring von NKBZ am Patienten erlaubt.<sup>2, 4</sup> Herkömmlich stehen zur Klassifikation von NKBZ jedoch nur verschiedene klinische Indizes zur Verfügung. Da diese von den Behandlern visuell bestimmt werden, können initiale Läsionen im Mikrometerbereich oft nicht erkannt werden. Zudem ist ein Vergleich der Indizes und des Verlaufs der NKBZ durch die individuelle Betrachtung der Behandler schwierig.<sup>5</sup>

Eine vielversprechende Alternative hierzu stellt das Monitoring anhand von Intraoralscans dar. Diese werden durch eine digitale Abformung mittels Intraoralscanner (IOS) zu verschiedenen Zeitpunkten aufgenommen und können anschließend in einer Software überlagert werden.<sup>6, 7</sup> So lassen sich NKBZ bereits im Mikrometerbereich diagnostizieren und monitoren.<sup>6</sup>

NKBZ sind definiert als Verlust von mineralisierter Zahnhartsubstanz durch physikalische oder chemophysikalische Prozesse, welche nicht durch Karies, Resorptionen oder Trauma verursacht werden.<sup>8</sup> Laborversuche haben gezeigt, dass verschiedene Nahrungsmittel und Getränke zu einer Demineralisierung des Zahnschmelzes führen. Dazu gehören vor allem Getränke mit niedrigem pH-Wert, wie beispielsweise Fruchtsäfte, Softdrinks, Essig und Wein.<sup>9</sup> In-vivo Studien konnten bisher

jedoch noch keinen eindeutigen Zusammenhang zwischen Ernährungsgewohnheiten und Zahnverschleiß herstellen.<sup>10, 11</sup>

Im Jahr 2018 wurde daher eine prospektive, longitudinale, klinische Studie mit Probanden im Alter von 18 bis 25 Jahren begonnen, bei der jährlich der erste Molar im Unterkiefer mittels IOS analysiert wird. Die vollständigen Daten aus zwölf Monaten bzw. Teildaten aus 24 Monaten Beobachtungszeitraum wurden bereits in einer vorangegangenen Dissertation veröffentlicht.<sup>6</sup> In der vorliegenden Arbeit soll daher einerseits die Progression der NKBZ mittels IOS durch Fortführung der klinischen Untersuchung über einen Beobachtungszeitraum von 36 Monaten und andererseits der Einfluss der Ernährungsgewohnheiten mittels Fragebögen untersucht werden.

## 2 Ziel der Arbeit

Das Ziel der vorliegenden Studie war es, nicht-kariesbedingte Zahnhartsubstanzverluste (NKBZ) bei jungen Erwachsenen mittels Intraoralscans über einen Zeitraum von 36 Monaten zu beobachten. Zudem sollte neben der Analyse des Zahnhartsubstanzverlustes auch das unterschiedliche Auftreten der Defektformen untersucht werden. Mittels Ernährungsfragebogen wurde der Verlauf der Ernährungsgewohnheiten über den Untersuchungszeitraum analysiert und die angegebenen Geschmackspräferenzen mit den Konsumhäufigkeiten verglichen. Ein weiteres Ziel bestand darin, zu untersuchen, inwiefern die Aufnahme bestimmter Lebensmittel mit den gemessenen Zahnhartsubstanzverlusten im entsprechenden Beobachtungszeitraum zusammenhängen.

Dabei wurden folgenden Nullhypothesen untersucht:

1. NKBZ kommen an allen untersuchten Stellen des Zahnes zu gleichen Teilen vor.
2. Die untersuchten Defektformen haben an ersten Unterkiefermolaren eine gleich hohe Progressionsrate.
3. Bei den Angaben in den Ernährungsbögen zu den Geschmackspräferenzen besteht kein Zusammenhang zu den Angaben des Konsumverhaltens.
4. Eine hohe Nahrungsaufnahme von sauren Lebensmitteln und Getränken bewirkt keine erhöhte Verschleißrate von Zahnhartsubstanz im entsprechenden Beobachtungszeitraum.

## 3 Literaturübersicht

Im folgenden Abschnitt werden die nicht-kariesbedingten Zahnhartsubstanzverluste (NKBZ) in ihren unterschiedlichen Formen beschrieben und definiert. Anschließend werden die gängigsten Indizes zur Einteilung von NKBZ kurz erläutert und anschließend auf das digitale Monitoring dieser eingegangen. Im letzten Abschnitt werden bisher veröffentlichte Studien zum Monitoring von Zahnverschleiß mittels Intraoralscanner (IOS) und Studien zum Einfluss von Ernährungsfaktoren auf den Zahnverschleiß vorgestellt.

### 3.1 Nicht-kariesbedingte Zahnhartsubstanzverluste

NKZB gewinnen in den letzten Jahren immer mehr an Bedeutung. In der Fünften Deutschen Mundgesundheitsstudie (DMS V) wurden im Vergleich zur DMS IV deutlich mehr Daten zu NKBZ erhoben. Die einzigen Daten zu NKBZ in der DMS IV zeigten, dass 29,3 % der jüngeren Senioren im Jahr 2005 von Erosionen, keilförmigen Defekten oder anderen Mischformen betroffen waren.<sup>12</sup> In der DMS V wiesen 17,9 % der zwölfjährigen Kinder (n = 1468), 44,8 % der jüngeren Erwachsenen im Alter von 35 bis 44 Jahren (n = 961) und 52,1 % der jüngeren Senioren im Alter von 65 bis 74 Jahren (n = 929) mindestens einen Zahn mit einer Erosion auf.<sup>1</sup> Dieser Anstieg der Prävalenz lässt sich unter anderem durch die rückläufige Kariesprävalenz und somit vermehrt unbehandelten Zahnoberflächen erklären, an denen NKBZ über die Lebenszeit kumulieren können.<sup>1</sup> Im Vergleich zur DMS IV ist ein deutlicher Rückgang der *Decayed, Missing, and Filled Teeth* (DMFT)-Werte und ein Anstieg der kariesfreien Gebisse zu sehen. Von der DMS IV zur DMS V stieg der Wert der kariesfreien Gebisse der zwölfjährigen Kinder von 70,1 % (n = 1383) auf 81,3 % (n = 1468) an.<sup>1, 12</sup> Auch bei den jüngeren Erwachsenen und im Seniorenalter ist diese Entwicklung zu beobachten. Folglich werden immer mehr Zähne bis ins hohe Alter erhalten. 2014 fehlten den jüngeren Senioren im Mittel 14,1 Zähne. Im Vergleich zu 2005 konnte dies auf 11,1 Zähne reduziert werden.<sup>1, 12</sup>

Angesichts dieser Entwicklungen rücken kumulierende NKBZ an natürlichen Zähnen immer mehr in das epidemiologische Interesse und nehmen im Praxisalltag eine zunehmende Rolle ein.<sup>1</sup>

### 3.1.1 Terminologie

Aufgrund der erheblichen Weiterentwicklung im Bereich des erosiven Zahnverschleißes sind viele neue Begriffe entstanden. Um Missverständnissen vorzubeugen, hat eine Gruppe von 15 Experten die häufigsten Begriffe für die NKBZ definiert. Diese Gruppe wurde von der *European Organization for Caries Research* (ORCA) und der *Cariology Research Group* der *International Association for Dental Research* (IADR) zusammengestellt.<sup>8</sup>

Im folgenden Abschnitt werden diese Begrifflichkeiten in alphabetischer Reihenfolge erläutert, um eine eindeutige Interpretation der vorliegenden Studie zu gewähren:

- „dental attrition“ (Dentale Attrition):

Nicht-kariesbedingte Zahnhartsubstanzverluste durch physikalischen Verlust von mineralisierter Zahnhartsubstanz, welche durch Zahn-zu-Zahn Kontakte entstehen.

- „dental erosion“ (Dentale Erosion):

Dentale Erosionen entstehen durch Säuren, welche nicht von oralen Bakterien produziert werden. Damit zählen diese zu den chemisch bedingten Zahnhartsubstanzverlusten.

- „erosive tooth wear“ (Erosive Zahnhartsubstanzverluste):

Erosive Zahnhartsubstanzverluste sind Verluste mineralisierter Zahnhartsubstanz mit dentaler Erosion als primären ätiologischen Faktor.

- „tooth wear“ (Nicht-kariesbedingte Zahnhartsubstanzverluste):

Kumulative Verluste von mineralisierter Zahnhartsubstanz, welche durch physikalische und chemophysikalische Prozesse entstehen. Diese entstehen nicht durch die Auswirkungen von Karies, Resorptionen oder Trauma.

### 3.1.2 Entstehung von Erosionen

Sobald die Zähne in die Mundhöhle durchbrechen, sind diese chemischen Substanzen ausgesetzt. Säuren können somit die mineralisierte Zahnhartsubstanz angreifen und Substanzverluste hervorrufen. Diese können entweder durch den Metabolismus von Mikroorganismen entstehen, welche eine Demineralisierung der Zahnhartsubstanz bewirken und zur Kariesentstehung führen, oder durch endogene oder exogene Zufuhr in die Mundhöhle gelangen, welche zu Erosionen führen. Diese beiden Krankheitsbilder unterscheiden sich deutlich in ihrem Pathomechanismus und in ihrem klinischen Erscheinungsbild. Da in dieser Studie der Schwerpunkt auf NKBZ liegt, wird im Folgenden auf die Prävalenz, Pathogenese und Ätiologie von Erosionen eingegangen.

*GANSS et al.* untersuchten 1000 kieferorthopädische Modelle von Kindern im Alter von  $11,4 \pm 3,3$  Jahren. 70,6 % der Kinder wiesen mindestens einen Zahn mit einer Erosionsläsion auf, wovon 26,4 % eine fortgeschrittene Erosionsläsion zeigten.<sup>13</sup> *TSCHAMMLER et al.* untersuchten dentale Erosionsläsionen in deutschen Kindergärten in den Jahren 2004 (n = 432) und 2014 (n = 775). Die Erosionsläsionen wurden nach dem O'Sullivan-Index eingeteilt. Während 2004 31,3 % der Kinder Erosionsläsionen aufwiesen, stieg die Prävalenz 2014 auf 45,4 %.<sup>14</sup>

Global erschwerte die Vielfältigkeit an Indizes und Studiendesigns die Auswertungen in Metastudien.<sup>8, 15</sup> Die Mittelwerte der Prävalenzen reichen von 30-50 % im Milchgebiss und 20-45 % im bleibenden Gebiss.<sup>16</sup> Darunter zeigt auch die Metastudie von *SALAS et al.* eine hohe Prävalenz von 30,4 % im Kindes- und Jugendalter.<sup>17</sup> Longitudinalstudien aus den Niederlanden, Schweden und Brasilien zeigten ebenfalls eine steigende Prävalenz von Erosionsläsionen vor allem bei Jugendlichen und jungen Erwachsenen.<sup>18-20</sup>

Säuren spielen eine entscheidende Rolle bei der Entstehung von Erosionen. Diese gelangen in der Abwesenheit von Plaque direkt an die Zahnhartsubstanz und können diese angreifen und zu deren Auflösung führen.<sup>21</sup> Das Erosionspotential der Säuren hängt von mehreren Faktoren ab.<sup>9, 22</sup> Darunter spielen die strukturellen Merkmale des Zahns, die physiologische Zusammensetzung des Speichels sowie intrinsische und extrinsische Säurequellen eine Rolle.<sup>22</sup> Die Demineralisierung von Zahnhartsubstanz wird sowohl durch den pH-Wert der umgebenden Lösung, als auch durch die Calcium- und Phosphatkonzentration bestimmt.<sup>22</sup> Bei Karies liegt der „kritische pH-Wert“, der zur Demineralisation

der Zahnhartsubstanz führt, bedingt durch die geringe Kalzium- und Phosphatkonzentration in der Plaque bei 5,5. Bei Erosionen ist solch ein kritischer pH-Wert hingegen nicht eindeutig festzulegen, da dieser von der Sättigung der Säure in Bezug auf das Zahnmineral abhängig ist. Je höher die Sättigung ist, desto niedriger ist der „kritische pH-Wert“.<sup>22</sup> Initial zeigt sich eine Erosionsläsion durch eine Zunahme der Rauigkeit an der Oberfläche des Zahnes und in der Abnahme der Mikrohärtigkeit.<sup>23</sup> Im klinischen Bild zeigt sich die Zahnoberfläche seidig, glatt und die Perikymatien sind nicht mehr zu erkennen.<sup>24</sup> Am Zahnfleischrand bleibt ein intakter Schmelzrand bestehen.<sup>25</sup> Durch die Progression kommt es zu Veränderungen der Morphologie des Zahnes und es entstehen Konkavitäten im Schmelz. Typische Erscheinungsbilder sind hierfür Abrundungen der Höcker Spitzen bis hin zum Verschwinden des okklusalen Reliefs.<sup>25</sup> Diese typischen Läsionsformen kommen häufig an den ersten Unterkiefermolaren vor und geben dadurch Aufschluss über den Schweregrad der Zahnerosionen.<sup>13, 26</sup> Dabei ist das Dentin wesentlich anfälliger für Erosionen als der Zahnschmelz.<sup>27</sup> Besteht weiterhin ein stetiger Säureeingriff auf den Zahn, kann dies bis zur Exposition der Pulpa führen. Dadurch können aufwendige Behandlungen wie eine Wurzelkanalbehandlung bis hin zur Extraktion des Zahnes erforderlich sein.<sup>28</sup>

Ätiologisch können Säuren, welche zu einem Erkrankungsbild der Erosionen führen, unterschiedliche Herkunft haben. Unterschieden wird hierbei zwischen den extrinsischen Säuren, welche durch Lebensmittel und Getränke aufgenommen werden<sup>21</sup>, und der intrinsischen Magensäure, welche durch Refluxerkrankungen, Essstörungen, chronischer Alkoholkonsum und in der Schwangerschaft über den Ösophagus in die Mundhöhle gelangen können.<sup>29, 30</sup>

### ***3.1.3 Entstehung von Attritionen und Abrasionen***

Physikalisch bedingte Zahnhartsubstanzverluste werden in folgende zwei Prozessformen unterteilt. Attritionen beschreiben einen physikalischen Substanzverlust durch Zahn-zu-Zahn-Kontakte. Abrasionen entstehen hingegen durch einen physikalischen Zahnhartsubstanzverlust, der durch den Kontakt der Zähne mit externen Objekten entsteht.<sup>8</sup> Ätiologisch lässt sich dies vor allem auf Mundhygienegewohnheiten zurückführen.<sup>31, 32</sup> Eine entscheidende Rolle für die Stärke der Abrasivität spielt hierbei die Zahnpflichtechnik.<sup>32</sup>

Laut *SANGNES et al.* bewirkt eine horizontale Zahnputztechnik eine doppelte bis dreifache Abrasion der Zahnhartsubstanz als eine vertikale Zahnputztechnik.<sup>32</sup> Die Wahl der Zahnbürste und der Zahnpasta kann ebenfalls einen Einfluss auf die Abrasivität haben. *BIZHANG et al.* führten eine Langzeitstimulation von menschlichem Dentin mit einer Kraft von 2 N durch und verglichen im Versuch vier unterschiedliche Zahnbürsten. Dafür wurden zwei elektrische Zahnbürsten und zwei manuelle Zahnbürsten verwendet. Die Studie wurde über einen Zeitraum von acht Jahren und sechs Monaten durchgeführt und umfasste jeweils zwei Putzvorgängen pro Tag. Die manuellen Zahnbürsten zeigten hierbei einen deutlich geringeren Zahnhartsubstanzverlust von  $2,5 \pm 0,43 \mu\text{m}$  im Vergleich zu den zwei elektrischen Zahnbürsten (Sonic  $15,7 \pm 0,85 \mu\text{m}$  und oszillierend-rotierend  $6,1 \pm 1,2 \mu\text{m}$ ) auf.<sup>33</sup> Neben den Zahnbürsten kann auch die verwendete Zahnpasta eine entscheidende Rolle bei Abrasionsläsionen spielen. *DE BOER et al.* zeigten schon 1985, dass eine Zahnpasta mit größeren abrasiven Partikeln zu einer erhöhten Abrasivität führt.<sup>34</sup> Weitere Studien bestätigen diese Erkenntnis.<sup>35-37</sup> Diese abrasiven Partikel werden den Zahnpasten zur Beseitigung von starken Verschmutzungen der Zähne hinzugefügt. Diese führen häufig durch ihre starke Abrasivität zu keilförmigen Zahnhalsdefekten, welche als glatte Abrasionsdefekte, lokalisiert an den bukkalen Schmelz-Zementgrenzen, zu finden sind.<sup>38</sup> Neben abrasiven Faktoren durch Mundhygieneartikel können außerdem weitere Gewohnheiten zu dentalen Abrasionen führen. Darunter kann das Fingernägeln, das Pfeifenrauchen oder berufliche Kontakte mit Zahn und extraoralen Objekten Abrasionsläsionen vor allem an Frontzähnen hervorrufen.<sup>39-41</sup>

Dentale Attritionen entstehen durch Zahn-zu-Zahn-Kontakte. Da die Zähne lebenslang in Funktion sind und während der Nahrungsaufnahme ständig in Kontakt stehen, unterscheiden einige Forscher zwischen einem physiologischen und einem pathologischen Verschleiß der Zahnhartsubstanz.<sup>4</sup> Diese physiologischen Verschleißformen sind in allen Altersgruppen vertreten und steigen mit dem Alter an.<sup>42-44</sup> Die durchschnittliche Verschleißrate wird von *LAMBRECHTS et al.* bei Prämolaren mit circa  $15 \mu\text{m}$  und bei Molaren mit circa  $29 \mu\text{m}$  pro Jahr beschrieben.<sup>45</sup> Pathologische Veränderungen sind schwierig zu definieren und vom physiologischen Zustand abzugrenzen. Wissenschaftlich wurde bisher kein Schwellenwert festgelegt. Dies bleibt in der Beurteilung des Behandlers und wird laut *LOOMANS et al.* als ein Voranschreiten des Zahnverschleißes beschrieben, welcher dem Alter des Patienten nicht entspricht und zu ästhetischen oder funktionellen Problemen oder Schmerzen führen kann.<sup>4</sup>

Klinisch zeigen sich Attritionen durch Schliiffacetten, welche eine glatte glänzende Erscheinung haben mit gut definierbaren Grenzen.<sup>46,47</sup> Dementsprechend häufig können an den Antagonisten solche Facetten ebenfalls diagnostiziert werden. Attritionen können sowohl an den Inzisalkanten der Frontzähne als auch auf den Höckern der Seitenzähne in Richtung der Zahn-zu-Zahn-Bewegung vorkommen.<sup>47</sup>

Einige Studien zeigen einen Zusammenhang zwischen Bruxismus und Zahnverschleiß auf.<sup>46, 48, 49</sup> Bruxismus kommt sowohl im Schlaf, als auch im Wachzustand vor und ist durch eine motorische Störung, die sich durch Zähneknirschen und Zähnepressen bemerkbar macht, gekennzeichnet.<sup>46, 50, 51</sup> Diese Bewegungen erfolgen ohne das Bewusstsein des Patienten durch rhythmische oder statische Kontraktionen der Kaumuskeln.<sup>50, 51</sup> Zu den Risikofaktoren von Bruxismus gehören neben emotionalem Stress, Schlaf- und Angststörungen auch hoher Konsum von Nikotin, Alkohol und Koffein, Drogenmissbrauch, Nebenwirkungen von Medikamenten sowie genetische Einflüsse.<sup>52</sup> Durch die erhöhte Belastung auf die Zähne um das Zwei- bis Zehnfache eines normalen Kauvorgangs und der Verlängerung der Kontaktzeit der Zähne auf 30 bis 180 Minuten pro Tag, weisen Attritionsläsionen bei Patienten mit Bruxismus eine höhere Progrezienz auf.<sup>49, 53-55</sup>

In verschiedenen Studien wurde eine Verbindung zwischen Bruxismus und der für Erosionen prädestinierten gastroösophagealen Refluxkrankheit (GERD) und deren Effekte auf den Zahnverschleiß beobachtet.<sup>56</sup> *LI et al.* konnten GERD als Risikofaktor für Bruxismus identifizieren. Außerdem wurde eine erhöhte Wahrscheinlichkeit für starken Zahnverschleiß an allen Zahnstellen bei Bruxismus-Patienten mit GERD festgestellt.<sup>57</sup> Die initiale Demineralisation der Zahnhartsubstanz mit anschließendem mechanischem Abtrag durch Attrition werden von *LOOMANS et al.* als essenziell für den Zahnhartsubstanzabtrag beschrieben.<sup>4</sup> Dadurch wird gezeigt, dass chemische und physikalische Zahnhartsubstanzverluste nicht immer streng voneinander getrennt beurteilt werden können, sondern auch ein synergetischer Effekt entstehen kann.

### **3.1.4 Entstehung von Kombinationsverlusten**

Säuren können unter bestimmten Umständen zur Auflösung der Zahnhartsubstanz führen. Entscheidend ist dabei der Sättigungsgrad der umgebenden Lösung. Dabei spielt der pH-Wert und die Calcium- und Phosphatkonzentration eine wichtige Rolle. Ist die Calcium- und Phosphatkonzentration gering und die Lösung somit nicht gesättigt, löst sich die

Zahnhartsubstanz auf.<sup>21,22</sup> Dabei wird zunächst die Oberfläche des Zahnes erweicht, welche von einem Volumenverlust gefolgt wird. Auf der Zahnoberfläche verbleibt eine erweichte Schicht.<sup>22</sup> Durch die Verminderung der Oberflächenhärte wird die Zahnhartsubstanz anfälliger für physikalische bedingte Zahnhartsubstanzverluste, wie Attritionen und Abrasionen, und es kommt zur Entstehung von Kombinationsverlusten.<sup>4,25</sup> Diese können unter anderem durch die Kombination von Bruxismus und GERD oder durch Mundhygienemaßnahmen mit abrasiven Zahnpasten kurz nach einer Säureexposition entstehen.<sup>57</sup>

58

## 3.2 Indizes zur Einteilung nicht-kariesbedingter Zahnhartsubstanzenverluste

Zur klinischen Diagnose von nicht-kariesbedingten Zahnhartsubstanzen (NKBZ) stehen verschiedene Indizes zur Verfügung. Die Vielzahl der verfügbaren Indizes erschwert jedoch den Vergleich von verschiedenen Studien und macht das Erstellen von Metaanalysen unmöglich.<sup>16, 59, 60</sup> Dazu kommen diese Indizes aufgrund der Komplexität und Vielfalt der ätiologischen Faktoren und der Interaktion der verschiedenen NKBZ schnell an ihre Grenzen.<sup>61</sup> Im Folgenden wird daher auf die zwei gängigsten Behandlungskonzepte eingegangen, welche dem Ziel eines einheitlichen und vergleichbaren Konzeptes zu Grunde liegen.

### **Tooth Wear Evaluation System**

Das *Tooth Wear Evaluation System* (TWES) wurde 2016 konzipiert und soll sowohl Allgemein Zahnärzten als auch Spezialisten als klinischen Leitfaden für die Diagnostik und Therapie von NKBZ dienen.<sup>2</sup> Um die 2017 publizierten Prinzipien des European Consensus Statement (ECS) zu integrieren, wurde 2020 eine Überarbeitung des TWES veröffentlicht (TWES 2.0).<sup>4, 62</sup> Dabei wird die Unterscheidung zwischen schwerem und pathologischem Zahnverschleiß beachtet. Im Folgenden wird die aktualisierte Version TWES 2.0 näher erläutert.

Zu Beginn des Systems wird ein *Tooth Wear Screening* durchgeführt. Hierbei wird das Gebiss in Sechstanten unterteilt und die Okklusal- und Inzisalfächen werden beurteilt. Der jeweils höchste Grad eines Sextanten wird dokumentiert. Zusätzlich wird der zweite Sextant von palatinal beurteilt. Die Einteilung erfolgt in der folgenden fünfstufigen Skala:

0 = kein Zahnhartsubstanzenverlust

1 = auf den Schmelz begrenzten Zahnhartsubstanzenverlust

2 = Dentin  $\leq \frac{1}{3}$  der Kronenhöhe exponiert

3 = Dentin ist auf  $> \frac{1}{3}$ , aber  $< \frac{2}{3}$  der Kronenhöhe exponiert

4 = Dentin auf  $\geq \frac{2}{3}$  der Kronenhöhe exponiert

Eine Neuerung zu TWES 1.0 zeigt außerdem, dass bei TWES 2.0 ebenfalls Zähne mit Restaurationen in die Beurteilung mit aufgenommen werden.<sup>62</sup>

An das *Tooth Wear Screening* kann eine Erhebung des *Tooth Wear Status* angeschlossen werden. Sobald ein Sextant in Grad 3 oder 4 eingeteilt wird, wird eine Erhebung des *Tooth Wear Status* stark empfohlen. Liegt der höchste Grad bei 2, ist eine Erhebung optional. Die Staturerhebung kann ebenfalls präventiv, bei direktem Erkennen eines schweren / extremen Zahnverschleiß, vor einer Behandlungsplanung oder bei dem Bedarf der Erhebung einer Anamnese und weiterer Fragebögen durchgeführt werden. Die Staturerhebung beinhaltet eine detaillierte Beurteilung aller Zähne nach der fünfstufigen Skala, das Aufdecken von ätiologischen Faktoren und das Dokumentieren von pathologischen Symptomen.<sup>62</sup>

Anschließend werden bei der neu eingeführten Taxonomie alle Einzelbefunde sowie die pathologischen Merkmale in die Diagnose integriert und in die Klassifikation eingeteilt. Hierbei stehen vier unterschiedliche Kategorien zur Verfügung. Diese unterscheiden zwischen generalisiertem, lokalisiertem und pathologischen Zahnverschleiß und deren chemischen oder physikalischen Ursprung. Eine ausführliche Diagnosestellung soll anschließend als Hilfestellung für die Behandlungsentscheidung dienen. Hierbei können Zahnärzte zwischen einer kausalen Therapie mit präventiven Maßnahmen und Monitoring bzw. einer restaurativen Therapie wählen. Ob eine restaurative Therapie indiziert ist, muss individuell zusammen zwischen den Zahnärzten und den Patienten entschieden werden. Dabei spielt zum einen der Schweregrad des Zahnverschleißes eine wichtige Rolle, zum anderen müssen weitere Symptome wie funktionale Probleme, Schmerzen, Sensibilität, Alter des Patienten im Zusammenhang mit dem Vorschreiten des Verschleißes und ästhetische Aspekte in die Entscheidung miteinbezogen werden.<sup>62</sup>

### **Basic Erosive Wear Examination**

Die *Basic Erosive Wear Examination* (BEWE) erfasst pro Sextanten die am stärksten betroffenen Zahnoberflächen. Die Ermittlung dieser Werte erfolgt durch ein Punktesystem. Anschließend werden die aufgenommenen Werte addiert. Dieser Endwert dient als Leitfaden für die folgenden Behandlungsmethoden.<sup>63</sup>

In einem ersten Schritt werden alle Flächen jedes Zahnes (bukkal, okklusal, lingual / palatinal) inspiziert und in folgende Werteskala eingeteilt:

0 = kein Zahnhartsubstanzverlust

1 = anfänglicher Zahnhartsubstanzverlust der Oberflächentextur

2 = Zahnhartsubstanzverlust < 50 % der Zahnoberfläche

3 = Zahnhartsubstanzverlust  $\geq$  50 % der Zahnoberfläche

Anschließend werden nur die höchsten Werte je Sextant dokumentiert und addiert. Dieser Wert dient der Risikobestimmung und gibt an, ob es sich um kein bzw. ein niedriges, mittleres oder hohes Risiko handelt. Mit Hilfe der Risikobestimmung wird gleichzeitig ein Therapieverschlagn gegeben, welcher ein empfohlenes Recallintervall von sechs bis zwölf Monaten, die Elimination von Risikofaktoren und präventive und Überwachungsmaßnahmen beinhaltet.<sup>63</sup>

### 3.3 Digitale Überwachung von nicht-kariesbedingten Zahnhartsubstanzenverlusten

Nicht-kariesbedingte Zahnhartsubstanzenverluste (NKBZ) nehmen im klinischen Alltag eine stetig wachsende Rolle ein und stellen eine neue Herausforderung in der Zahnmedizin dar.<sup>1,3</sup> Diese Krankheitsbilder kommen häufig schon im Kindes- und Jugendalter vor und verstärken sich im Laufe des Alters.<sup>64</sup> Um diese präventiv behandeln zu können, ist eine frühzeitige Erkennung und eine adäquate Diagnosestellung unabdingbar.<sup>65</sup> Zur Quantifizierung von NKBZ stehen bisher in-vitro Verfahren wie die optische Profilometrie zur Verfügung. Diese stellt eine aufwändige Methode dar und lässt sich im Praxisalltag schwer integrieren.<sup>66, 67</sup> Um eine Quantifizierung für NKBZ für den Praxisalltag zu ermöglichen, können Intraoralscans eine neue Möglichkeit zum frühzeitigen Erkennen von Substanzenverlusten im Mikrometerbereich ermöglichen.<sup>11, 68, 69</sup>

In den folgenden Kapiteln wird auf das Erstellen und die Verarbeitung von Scandatensätzen näher eingegangen. Dabei wird das Prinzip des Intraoralscanners (IOS) *Trios 3* (3Shape, Kopenhagen, Dänemark) beschrieben. Zum Ende des Kapitels wird die Datenverarbeitung und die Überlagerung der Scandatensätze erläutert.

#### 3.3.1 Generierung eines digitalen Scandatensatzes

Zur Erstellung eines digitalen Scandatensatzes sind zwei unterschiedliche Wege möglich. Bei dem indirekten Weg werden zunächst eine konventionelle Abformung und ein anschließendes Gipsmodell hergestellt, welches gescannt wird. Bei dem direkten Weg erfolgt der Scan intraoral im Mund des Patienten. Diese Methode ist deutlich zeitsparender und es werden Fehlerquellen wie Dimensionsänderungen durch den Abbindevorgang des Abformmaterials oder des Gipses verhindert.

Viele Studien nutzten den indirekten Weg, um Zahnverschleiß an den Antagonisten von prothetisch restaurierten Zähnen zu dokumentieren und zu erkennen. Dadurch konnte die Abrasivität von verschiedenen prothetischen Materialien bestimmt und verglichen werden.<sup>70-77</sup> HARTKAMP et al. nutzten 2017 den direkten Weg mittels IOS, um den Zahn-

verschleiß an Antagonisten von polierten Zirkoniumdioxidkronen zu messen.<sup>78</sup> Die Methode des direkten Weges rückt immer mehr in den Vordergrund und wird heutzutage bei vielen Studien angewandt.<sup>69, 79, 80</sup>

### **3.3.2 Intraorale digitale Abformung**

IOS bieten eine alternative Methode zu konventionellen Abformungen und etablieren sich immer mehr im Praxisalltag. Die Anwendung von IOS bietet neben einer Material- auch eine Zeitersparnis und ist in der Genauigkeit mit konventionellen Abformungen vergleichbar.<sup>81-83</sup> Einige Studien beschreiben sogar eine höhere Genauigkeit bei digitalen Abformungen.<sup>84-86</sup> Diese Genauigkeit zeigen IOS vor allem bei kleinspannigem festsitzendem Zahnersatz oder Einzelzahnrestaurationen.<sup>83</sup> *SCHLENZ et al.* zeigten, dass auch die neuesten IOS bei einer digitalen Abformung des gesamten Zahnbogens Einschränkungen bei der Genauigkeit aufwiesen. Dabei wurden fünf IOS und ein konventioneller Polyetherabformung auf Präzision und Genauigkeit von Ganzkieferscans in drei unterschiedlichen Altersgruppen getestet. Die IOS wiesen alle eine Abweichung von unter 100 µm auf, welche allerdings weder durch das Alter noch durch den Zustand des Gebisses (vollbezahnt oder teilbezahnt mit Zahnlücken) beeinflusst wurden.<sup>87</sup>

Um eine möglichst hohe Genauigkeit der digitalen Abformung zu erzielen, müssen einige Faktoren beachtet werden. Zu Beginn sollte eine Kalibrierung des IOS durchgeführt werden, sofern vom Hersteller vorgesehen. *REHMANN et al.* zeigten, dass ohne eine Kalibrierung eine geringere Genauigkeit der Intraoralscans entsteht.<sup>88</sup> Einen weiteren wichtigen Faktor für die Scangenaugigkeit spielt das Umgebungslicht. Dabei ist darauf zu achten, dass das Behandlungslicht vermieden wird.<sup>89, 90</sup> *REVILLA-LEÓN et al.* empfehlen eine Beleuchtungsstärke von maximal 1000 Lux.<sup>91</sup> Anschließend sollten die Oberflächen der Zähne getrocknet werden.<sup>92, 93</sup> *GAVOUNELIS et al.* zeigten in-vitro, dass mithilfe eines bestimmten Scanpfades statistisch gesehen ein genaueres Ergebnis erzielt wird. Dabei werden zunächst die Okklusalfächen der Zähne gescannt, wobei beim Frontzahngebiet labial-orale Schwenkbewegungen durchgeführt werden. Am Ende des Zahnbogens angelangt, werden die Oralflächen und anschließend die Bukkalflächen der Zähne gescannt.<sup>94</sup> Weitere in-vitro Studien zeigten ebenfalls einen Vorteil eines genauen Scanpfades in Bezug auf die Genauigkeit der digitalen Abformung.<sup>95, 96</sup>

### 3.3.3 *Technologien der Intraoralscanner*

Digitale Abformungen können mit unterschiedlichsten Aufnahmeprinzipien erstellt werden. Zu nennen sind die optische Triangulation, die konfokale Mikroskopie und das Active-Wavefront-Sampling. Im Folgenden wird das Aufnahmeprinzip des in der Studie verwendeten *Trios 3* (3Shape) vorgestellt.

#### Konfokale Mikroskopie

Im Jahre 1955 entwickelte und patentierte *Marvin Minsky* das Prinzip der konfokalen Mikroskopie, welches die dritte Dimension in der Mikroskopie ermöglichte.<sup>97</sup> Durch eine Lichtquelle gelangt ein aufgefächerter Strahl durch eine Linse auf ein Objekt. Dieses Objekt reflektiert das Licht und es gelangt über einen Strahlenteiler auf eine Lochblende. Die Blende lässt nur Lichtstrahlen zum Detektor durch, welche vom Fokus des Objekts reflektiert werden. Befinden sich Teile des Objekts nicht im Fokus, so gelangen diese nicht durch die Lochblende und können nicht vom Detektor aufgenommen werden (Abbildung 3.1). Wird das Objekt anschließend in der optischen Achse verschoben, entstehen verschiedene optische Schnitte. Diese können überlagert werden und zu einem tiefen, scharfen Bild führen. Durch das beschriebene Prinzip wird somit die z - Koordinate ermittelt und ergibt zusammen mit den x - und y - Koordinaten aus den Bildpunkten auf dem Detektor ein dreidimensionales Bild.<sup>98, 99</sup>

Um mit einem Scanner ein dreidimensionales Bild nach dem konfokalen Prinzip zu erzeugen, werden stetig Einzelbilder mit hoher Geschwindigkeit aufgenommen. Dadurch entsteht eine hohe Datenmenge, welche zum Teil im Scan-Kopf durch einen hochspezialisierten Bildverarbeitungsrechner verarbeitet werden. Durch diesen notwendigen Bildverarbeitungsrechner sind die Scan-Köpfe dieser Systeme deutlich größer im Vergleich zu Scanköpfen von anderen IOS mit anderen Aufnahmeprinzipien.<sup>100</sup>

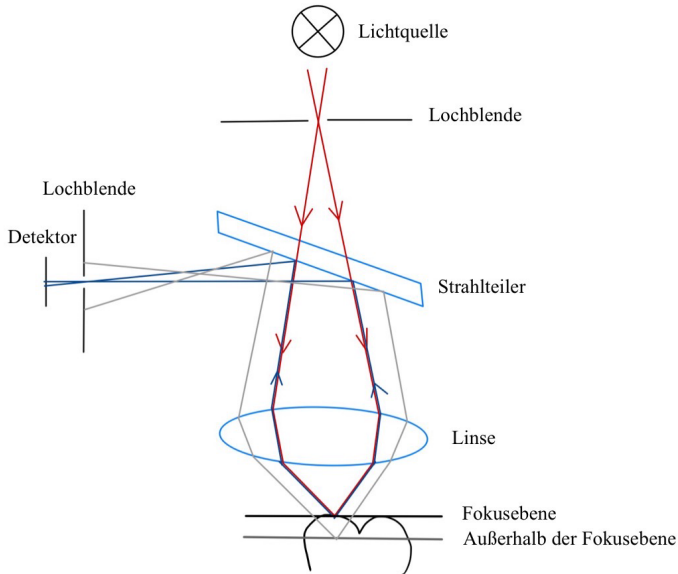


Abbildung 3.1 Schematische Darstellung des Aufnahmeprinzips der konfokalen Mikroskopie

### Trios 3

Der *Trios 3* (3Shape) funktioniert nach dem Aufnahmeprinzip der konfokalen Mikroskopie, wobei die Lichtquelle zu Lichtschwingungen auf dem Objekt führt. Außerdem kann das System die Fokusebene variieren und behält eine feste räumliche Beziehung zwischen Scanner und Objekt ein.<sup>101</sup> Der *Trios 3* wurde 2015 auf den Markt gebracht und ist in einer Cart-Version, als USB-Variante und als integrierte Version mit der Behandlungseinheit erhältlich. Für die Nutzung des IOS ist keine Puderapplikation nötig. 3Shape integrierte dem Scanner außerdem eine digitale Farbbestimmung und eine Ausschneide- und Sperrfunktion von Oberflächen. Der *Trios 3* etablierte sich im Labside-Workflow, bei dem die Daten nur über eine von 3Shape erstellte Cloud-Plattform versendet oder als *Standard Tessellation Language* (STL)-Format ausgelesen werden können.<sup>102</sup>

Der *Trios 3* wurde schon in zahlreichen Studien untersucht und mit anderen IOS verglichen. Dabei zeichnet sich der *Trios 3* unter anderem durch eine schnelle Scanzeit aus.<sup>101</sup> <sup>103</sup> AMORNVIT *et al.* untersuchten in-vitro zehn unterschiedliche Intraoralscanner (IOS). Die Trios-Scanner zeigten die besten Ergebnisse in Präzision und Richtigkeit.<sup>104</sup> Auch

bei Ganzkieferscans konnte mit dem *Trios 3* bessere Ergebnisse und eine bessere Reproduzierbarkeit erzielt werden.<sup>105-107</sup> *SCHMIDT et al.* bestätigen in-vivo geringe Abweichungen zu herkömmlichen Abformungstechniken und eine Verbesserung bei Ganzkieferscans.<sup>108</sup>

### **3.3.4 Verarbeitung von Scandatensätzen**

Der IOS nimmt mehrere Einzelaufnahmen auf, welche später zu einem gemeinsamen Datensatz generiert werden. Zunächst wird eine dreidimensionale Punktwolke erstellt, wobei jeder Punkt durch eine spezifische x -, y - und z - Koordinate bestimmt wird. Zum Zusammenführen dieser Punkte werden unterschiedliche Softwares benutzt. Am häufigsten wird eine Überlagerung mittels Best-Fit-Algorithmus angewandt, wobei die eng aneinander liegenden Punkte bestmöglich übereinandergelegt („*matching*“) und zusammengesetzt („*stitching*“) werden.<sup>109, 110</sup> Für eine fehlerfreie Überlagerung benötigt die Software klar definierte Oberflächen wie beispielsweise Zähne, welche eine eindeutige Zuordnung der Punkte ermöglicht und somit problemlos dargestellt werden können. Im Gegensatz dazu stellt die Mundschleimhaut keine klar definierte geometrische Oberfläche dar und es kommt häufig zu Überlagerungsfehler, da die glatten Flächen die eindeutige Zuordnung der Punkte erschweren. Dies beeinträchtigt somit die Herstellung einer digitalen Abformung für herausnehmbarem Zahnersatz.<sup>110-113</sup> Zu sogenannten *Stitching-Fehlern* kann es außerdem durch langsam aufgezeichnete Scans und lange Aufnahmestrecken führen. Aus den genannten Gründen stoßen IOS bei Ganzkieferscans auf ihre Grenzen.<sup>87, 108, 114, 115</sup>

Für die Weiterverarbeitung in der Software wird die dreidimensionale Punktwolke in ein Flächenmodell überführt. Dazu werden drei benachbarte Punkte zu einem Dreieck verbunden, welche zusammgelegt eine Fläche darstellen. Zur Weitergabe der Daten etablierte sich das STL-Datenformat.<sup>110</sup>

### **3.3.5 Überlagerung der digitalen Verlaufscans**

Zur digitalen Überlagerung von Scandatensätzen stehen unterschiedliche Softwares zur Verfügung. In einigen IOS sind intern firmeneigene 3D-Analysesoftwares zur Überlagerung von Scandatensätze integriert. Darunter zählt beispielsweise der in der vorliegenden

Studie verwendete *Trios 3* (3Shape) oder der *Carestream 3600* (Carestream Dental LLC, Atlanta, GA, USA). Extern stehen Programme wie die *GOM-Inspect* (GOM GmbH, Braunschweig) und die *Geomagic Qualify / Control X* (Geomagic Inc., Morrisville, NC, USA) zur Verfügung. Diese etablierten sich in einigen Studien.<sup>69, 78, 106, 116-119</sup> *O'TOOLE et al.* zeigten 2019 in einer Studie, dass eine für NKBZ speziell entwickelte Software namens *WearCompare* (University of Leeds, UK) ebenfalls zur Quantifizierung des Zahnverschleißes geeignet ist.<sup>120</sup> Diese kam in einigen Studien zur Anwendung.<sup>5, 73, 121</sup> Alle Softwareprogramme erstellen mittels Best-Fit-Algorithmus eine bestmögliche Überlagerung der Scandatenätze. Dies basiert auf dem sogenannten *Closest-Point-Algorithmus*, der einen Punkt auf einer Punktwolke findet, welcher einem bestimmten Punkt am nächsten liegt. Somit kann mittels Translation und Rotation ein minimaler Abstand in allen sechs Freiheitsgraden erzeugt werden.<sup>122</sup> Diese Methode etablierte sich in einigen Studiendesigns.<sup>78, 123, 124</sup> Neben einer Best-Fit-Überlagerung des gesamten Datensatzes kann auch eine Referenz basierte Best-Fit-Überlagerung (RBF) oder eine Landmark basierte Best-Fit-Überlagerung (LBF) durchgeführt werden. Bei einer RBF werden zwei Scandaten übereinander gelagert, indem sich die Überlagerung auf vom Behandler ausgewählten Bereiche beschränkt, welche sich mit einer hohen Wahrscheinlichkeit zum vorherigen Datensatz nicht geändert haben.<sup>76, 125</sup> Bei einer LBF wählt der Behandler gemeinsame Landmarken / Punkte auf beiden Datensätzen aus, welche anschließend von der 3D-Analysesoftware überlagert werden.<sup>126</sup> *O'TOOLE et al.* verglichen die aufgezählten Best-Fit-Überlagerungsmethoden und stellten fest, dass die RBF am wenigsten Überlagerungsfehler im Vergleich mit den anderen Methoden aufwies.<sup>127</sup> Dies bestätigte eine Studie von *REVILLA-LEÓN et al.*, welche die höchste Präzision und die geringsten Überlagerungsfehler bei der Best-Fit-Überlagerung des gesamten Datensatzes und bei der RBF feststellte.<sup>128</sup> *GÜTH et al.* wendeten die iterative Best-Fit-Methode an. In einer Pilot-Studie wurde in einem Zeitraum von zwei Jahren Zahnverschleiß an ersten Molaren durch CAM-Komposite im Vergleich mit Lithiumdisilikat beobachtet. Zur Überlagerung des Basis- und des Verlaufsscans wurden alle unterhalb des Äquators befindlichen Punkte eliminiert und eine erste Best-Fit-Überlagerung durchgeführt. Anschließend wurde das Ergebnis visuell beurteilt und eine weitere Best-Fit-Überlagerung mit Flächen durchgeführt, bei denen die Abweichung unterhalb des ermittelten Überlagerungsfehler waren. Dies wurde so lange wiederholt, bis der Überlagerungsfehler sich nicht mehr veränderte

und unter 15  $\mu\text{m}$  lag. Da die Verschleißareale für die Überlagerung nicht verwendet, sondern abgegrenzt wurden, konnte der Zahnverschleiß möglichst genau angezeigt werden. Somit wurde eine Annäherung der Verschleißareale durch die Software verhindert.<sup>127, 129</sup>

### 3.4 Aktuelle Studienlage zum Monitoring von nicht-karies bedingten Zahnhartsubstanzverlusten mittels Intraoralscanner

In den vergangenen drei Jahren nahmen die Untersuchungen von nicht-kariesbedingten Zahnhartsubstanzverlusten (NKBZ) mithilfe von Intraoralscannern (IOS) deutlich zu. Im Folgenden werden zehn in-vivo (grau hinterlegt) und dreizehn in-vitro Studien zu diesem Thema vorgestellt. *BRONKHORST et al.* und *O'TOOLE et al.* zeigten Ergebnisse über den bisher längsten Zeitraum von 36 Monaten. Beide Studien zeigten jedoch keinen Verlauf über die drei Jahre, sondern ausschließlich zwei Datenaufnahmen von T0 und T1.<sup>69, 130</sup> *BRONKHORST et al.* untersuchten 30 Probanden im Alter von  $38 \pm 8$  Jahren.<sup>69</sup> *O'TOOLE et al.* untersuchten Daten von ebenfalls 30 Probanden im durchschnittlichen Alter von 35,8 Jahren.<sup>130</sup> Alle aufgezeigten Studien zeigen ein großes Potential der Erkennung von Zahnverschleiß mithilfe von IOS.

Studie (Publikations- jahr)	Ziel der Studie	Methodik	Datenerhebung & Auswertung	Hauptergebnisse
<i>WORAGAN JANA-BOON et al.</i> <sup>7</sup> (2024)	Bewertung des maximalen vertikalen Zahn- und Volumenverschleißes von antagonistischem Zahnschmelz sowie von gegenüberliegendem Zahnschmelz von monolithischen Zirkoniumdioxid- oder Lithiumsilikat-kronen	24 Teilnehmer (n = 12) mit Zirkoniumdioxid- (ZDO) oder Lithiumdisilikatkronen (LDS) gegenüber einem natürlichen Backenzahn →  IOS und Polyvinylsiloxan-Abformung der Antagonisten der Kronen und des kontralateralen Backenzahns als Kontrollzahn (KZ) zur Baseline (T0) und nach einem Jahr (T1)	IOS <i>Trios 3</i> (3Shape, Kopenhagen, Dänemark) & <i>GOM Inspect Software</i> (GOM GmbH, Braunschweig)	Keine signifikanten Unterschiede beim Vergleich des Antagonistenschmelzes der Kronen und des natürlichen Schmelzverschleißes  Verschleiß der natürlichen Antagonisten nach einem Jahr:  ZDO: $40,3 \pm 9,1 \mu\text{m}$ KZ: $38,9 \pm 7,1 \mu\text{m}$ LDS: $47,8 \pm 9,4 \mu\text{m}$ KZ: $39,1 \pm 7,9 \mu\text{m}$
<i>LOUMPRI-NIS et al.</i> <sup>131</sup> (2024)	Bewertung verschiedener Methoden zur Überlagerung der Scans zur	Scan von extrahierten menschlichen Zähnen auf Modellen nach eintauchen in Monster-Energydrink und Leitungswasser →	IOS <i>Trios 4</i> (3Shape) &	Ersten statistisch signifikanten Unterschiede zeigten sich nach vier Tage Eintauchen in Monster-Energydrink

	Erkennung erosiven Zahnverschleiß	Scans zu Beginn und zwischen einer Stunde und zwei Wochen Eintauchzeit	<i>Patient Monitoring Version 2.2.3.3 (3Shape)</i>	Unterschiede zwischen den Ausrichtungsmethoden erlangen keine statistische Signifikanz
<b>DÍAZ-FLORES et al.</b> <sup>132</sup> (2024)	IOS zur Messung von Zahnverschleiß und Erkennung von Risikofaktoren	Intraoralscans der gesamten Zahnbögen von 39 Teilnehmern zu Beginn (T0) und nach 12 Monaten (T1), klinische Untersuchungen und Fragebögen	<i>IOS 3M True Definition (3M ESPE, Seefeld)</i> & <i>Geomagic Control X Software (3D Systems, Darmstadt)</i>	Im Oberkiefer mehr Verschleiß als im Unterkiefer, Volumenverlust von über 100 µm auf jeder Zahnoberflächen (bukkal, lingual/ palatinal und inzisal/ okklusal)
<b>DENUCCI et al.</b> <sup>133</sup> (2024)	Digitaler IOS zur Überwachung von nichtkariösen zervikalen Läsionen (NCCL) im Vergleich zu einem optischen 3D-Tischprofilometer (BTS)	n = 150 NCCLs mit unterschiedlichen Schweregraden wurden stimuliert und abgeformt →  Scan der Abformungen mit BTS und IOS, Überlagerung und Auswertung	<i>IOS Trios 4 (3Shape) / BTS ProScan (Scantron, Eagan, USA)</i> & <i>ProForm (Scantron) / WearCompare (Leeds Digital Dentistry, Leeds, UK)</i>	Intraklassen-Korrelation (ICC): 0,96  Sehr hohe Übereinstimmung von IOS und BTS
<b>MURBAY et al.</b> <sup>80</sup> (2023)	Untersuchung von Zahnschmelzverschleiß an drei monolithischen Keramiken mittels zweier Messmethoden	Keramikproben wurden einem 2-Körper-Verschleißtest bei 49 N über 250.000 Zyklen unterzogen →  Erstellung von 3D-Bildern des Schmelzantagonisten mittels Mikro-Computertomographie (CT) und IOS	<b>1:</b> Mikro-CT <i>SkyScan 1172</i> & <i>CTAn Version 1.16.1.0</i> und <i>CTvol Realistic 3D-Visualisation Version 2.3.2.0</i> <b>2:</b> <i>IOS 3M True Definition (3M ESPE)</i> & <i>Materialise Magics 19.01</i>	IOS: Schmelz: Ø 1060 µm Vita Suprinity: Ø 1095 µm Lava Esthetic Zirconia: Ø 1158 µm IPS e.max Press: Ø 1056 µm  Es wurden keine signifikanten Unterschiede der beiden Messmethoden gefunden.
<b>MITRI-RATTANAKUL et al.</b> <sup>68</sup> (2023)	Untersuchung der Genauigkeit des IOS zur Erkennung von Zahnverschleiß an natürlichen	Digitale Abformung mit IOS und Mikro-CT von extrahierten Prämolaren →  Abrasierer Vorgang mit Sandpapier an zwei unterschiedlichen Stellen des	<i>IOS iTero (Align Technology, San José, USA)/ Mikro-CT SkyScan 1173</i> &	IOS: Spezifität: 98 % Positiver prädiktiver Wert: 98 % Genauigkeit: 97 %

	Zähnen mit Mikro-CT als Goldstandard	Zahnes und drei unterschiedlichen Stufen → Scandatenätze mit IOS und Mikro-CT → Überlagerung der Scandatenätze mit interner Scannersoftware	<i>TimeLapse</i>	
<i>LI et al.</i> <sup>134</sup> (2023)	Vergleich der Genauigkeit zweier Best-Fit-Ausrichtungsstrategien mit unterschiedlichen Referenzbereichen zur Verschleißmessung mit einem IOS	Zwei Intraoralscans von acht Zirkondioxidkronen mit anatomischer Kontur → Einer der Scandatenätze wurde mit Verschleißfacetten simuliert → Zwei Best-Fit Ausrichtungen mit unterschiedlichen Referenzbereichen (Okklusal- und Axialfläche, Trueness als Referenzwert)	IOS <i>Trios</i> (3Shape) & <i>Geomagic Studio 2013</i> (Geomagic Inc., Morrisville, NC, USA)	Okklusaler Referenzbereich führte zu einer besseren Ausrichtungsergebnis als mit dem axialen Referenzbereich, Höhenverluste werden meist überschätzt
<b>BRONK-HORST et al.</b> <sup>69</sup> (2023)	Untersuchung der Variabilität des Zahnverschleißverlaufs über einen Zeitraum von drei Jahren mithilfe von 3D-Messungen des Gebisses mit mittelschwerem bis schwerem Zahnverschleiß	Intraoralscans → Überlagerung und Auswertung der Höcker-/ Palatinal-/Inzisalfächen von nicht re-staurierten Zähnen	IOS <i>3M True Definition / 3M Lava Chairside</i> (3M ESPE) & <i>GeoMagic Qualify</i> (3M ESPE)	Höhenverlust pro Jahr nach drei Jahren: Oberkiefer: Mittlere Inzisivi: Ø 107,4 µm Erster Prämolaren: Ø 86,8 µm Unterkiefer: Erster Molar: Ø 137,2 µm Zweiter Molar: Ø 78,6 µm
<b>STÜCK et al.</b> <sup>79</sup> (2022)	Untersuchung des Verhältnisses der Abnutzung von Schmelz-/Schmelzantagonistenzähnen im Vergleich zu benachbarten Lithiumdisilikat-Implantatkronen und ihrer Schmelzantagonistenoberfläche	Intraoralscans nach Implantatinserktion (n = 41), 12 (T1, n = 11) und 24 (T2, n = 10) Monaten → Überlagerung der Datensätze und Auswertung	IOS <i>CEREC Omnicam</i> (Dentsply Sirona, Bensheim) & Python Software Foundation, Wilmington, Delaware, USA, version 3.5.2; Blender Foundation,	Schmelz / Schmelz: T1: Ø 1,0 ± 0,27 µm T2: Ø 1,0 ± 0,28 µm Lithiumdisilikat / Schmelz: T1: Ø 0,73 ± 0,49 µm T2: Ø 0,73 ± 0,51 µm

			Amsterdam, Niederlande, version 2.7	
<b>MARRO et al.</b> <sup>11</sup> (2022)	Untersuchung von Ursachen für das Fortschreiten des erosiven Zahnverschleißes mithilfe von IOS	Baseline Intraoralscan von 70 Jugendlichen (11 - 18 Jahre alt), BEWE-Untersuchung und Fragebogen über Risikofaktoren → Follow-Up Scan nach einem Jahr	IOS <i>Trios 3</i> (3Shape) & <i>WearCompare</i> (Leeds Digital Dentistry)	Volumenverlust $\emptyset - 0,01 \text{ mm}^3$
<b>MACHADO et al.</b> <sup>121</sup> (2022)	Untersuchung von IOS zur Überwachung von erosivem Zahnverschleiß mithilfe verschiedener Ausrichtungssoftwares mit unterschiedlichen quantitativen Messmetriken	Intraoralscan von extra-herierten Rinderkronen (n = 15) nach 24h-Intervallen von Säureexposition (pH - 2,5) (insgesamt 168h) → Überlagerung mit <i>WearCompare</i> und integrierter IOS Software <i>Patient Monitoring</i>	IOS <i>Trios 3</i> (3Shape) & <i>WearCompare</i> (Leeds Digital Dentistry) & <i>PatientMonitoring</i> (3Shape)	Signifikanz im Vergleich zum Ausgangswert (p < 0,05): Volumenverlust nach 72h: Median 11,5 mm <sup>3</sup> Flächenverlust nach 96h: Median 48,7 mm <sup>2</sup> Erosionstiefe nach 144h: Median 0,7 mm
<b>GARCÍA et al.</b> <sup>135</sup> (2022)	Analyse von Sensitivität und Spezifität des IOS zur Messung des Zahnverschleißes sowie die Zufriedenheit der Patienten mit der Verwendung des IOS	Probanden (n = 46) wurden dreimal gescannt (0, 6, 12 Monate) und visuell untersucht	IOS <i>3M™ True Definition</i> (3M ESPE) & <i>Geomatic Software</i> (3D Systems)	IOS zeigte ein gutes Maß an Spezifität und Sensitivität, Probanden zeigten eine hohe Zufriedenheit (40,9 %)
<b>TRAVASOS DA ROSA MOREIRA BASTOS et al.</b> <sup>136</sup> (2021)	Vergleich von Zahnverschleißbewertungen mittels IOS und klinischen und fotografischen Untersuchungen	Klinische Untersuchungen, intraorale Fotos und Scans an 18 Erwachsenen zu Beginn und nach 30 Tagen → Visuelle Beurteilung vom okklusalen Zahnverschleiß vom zweiten bis zum zweiten Prämolaren, die Übereinstimmung wurde innerhalb und zwischen den Untersuchern mit dem gewichteten Cohens Kappa (K) bestimmt	IOS <i>TriosPod</i> (3Shape)	Inhaltliche Übereinstimmung bei klinischen (K = 0,75) und fotografischen Untersuchungen (K = 0,79), mäßige Übereinstimmung bei der IOS-Analyse (K = 0,60); IOS scheint eine solide und zuverlässige

				Methode zur Beurteilung von Zahnverschleiß zu sein
<b>KÜHNE et al.</b> <sup>137</sup> (2021)	Untersuchung der Verschleißmessung von IOS im Vergleich zur optischen Profilometrie	Intraoralscans von Zirkoniumdioxidkronen (FDI26, FDI27) mit drei verschiedenen IOS zu T0 und T1-T3 (drei Stadien des simulierten Verschleißes), optische Profilometrie (OP) als Referenz → Überlagerung und Auswertung	IOS: <i>Cerec Omnicam</i> (Dentsply Sirona), <i>Trios3</i> (Tr3, 3Shape), <i>True Definition</i> (TD, 3M ESPE) & <i>Geomagic Qualify</i> (Geomagic Inc.)	Referenzwerte (OP), geringste und höchste Abweichungen der Messreihen: <b>FDI26:</b> T1: OP: 227 µm Tr3: 223 µm (-2 %) T2: OP: 300 µm OC: 329 µm (+10 %) <b>FDI27:</b> T1: OP: 221 µm TD: 229 µm (+ 4%) T2: OP: 242 µm OC 287 µm (+19 %) IOS stellt mit einfacher Anwendung sinnvolle und schnelle Erfassung von Oberflächenveränderungen dar
<b>O'Toole et al.</b> <sup>130</sup> (2020)	Vergleich von Methoden zur Datenerfassung (IOS mit Laserprofilometrie) und Open-Source- und kommerzielle Software zur Datenanalyse	Digitale Abformung von 30 Probanden mittels IOS und konventionelle Silikonabformungen mit Modellherstellung und anschließendem Scan mittels Präzisionslaserprofilometrie zu Studienbeginn und nach 36 Monaten → Überlagerung und Auswertung des ersten Molaren mit externen Softwares	IOS <i>3M True Definition</i> (3M ESPE) / Präzisionslaserprofilometrie <i>XYRIS 2000TL</i> (Taicaan, Technologies Southampton, UK) & <i>Geomagic Control</i> (3D Systems) /	<b><u>Medianwerte Geomagic:</u></b> <b><u>Profilometrie</u></b> Volumenverlust: 0,37 mm <sup>3</sup> Profilverlust: 55,8 µm <b><u>IOS</u></b> Volumengewinn: 0,51 mm <sup>3</sup> Profilverlust: 43,7 µm

			<i>WearCompare</i> (Leeds Digital Dentistry)	<b><u>Medianwerte Wear-Compare:</u></b> <u>Profilometrie</u> Volumenverlust: 1,2 mm <sup>3</sup> Profilverlust: 43,1 µm <u>IOS</u> Volumengewinn: 0,39 mm <sup>3</sup> Profilverlust: 43,8 µm
<b>MICHOU et al.</b> <sup>138</sup> (2020)	Erkennung und Überwachung von frühem erosivem Zahnverschleiß mithilfe eines IOS mit Unterstützung einer speziellen Software	Intraoralscan von extra- hierten Zähnen vor und nach Erosions-/ Abrasionsprotokoll (1-24 h in Zitronensäurelösung pH 2,7 und anschließendes Zähneputzen 2 min) → Überlagerung in IOS interne Software	<i>IOS Trios3</i> (3Shape) & <i>Patient Monitoring</i> , Version 2.1.1.0 (3Shape)	3h Median: 80 µm Der Medianwert stieg vom Beginn an bis zu 24 h an und zeigte eine starke Korrelation mit der Eintauchzeit in Säure
<b>MARRO et al.</b> <sup>73</sup> (2020)	Untersuchung von intraoralen Scans von Studienmodellen zum Erkennen eines Fortschreitens des erosiven Zahnverschleißes	Digitalisierung mittels IOS der postkieferorthopädischen Behandlungsabformungen von 11-13-Jährigen von zwei aufeinanderfolgenden Terminen im Abstand von 29 Monaten → Beurteilung mit BEWE-Index → Überlagerung der Scandatensätze und Auswertung	<i>Trios</i> (3Shape) & <i>WearCompare</i> (Leeds Digital Dentistry)	Median Volumenverlust: 2,2 mm <sup>3</sup> Mittlerer Profilverlust: 75,2 µm
<b>ESQUIVEL-UPSHAW et al.</b> <sup>139</sup> (2020)	Untersuchung von Messungen des Zahnverschleißes mittels IOS im Vergleich mit Mikro-CT Messungen	Intraoralscan und Mikro-CT von Antagonisten von 30 Einzelkronen mit monolithischer Zirkoniumdioxid- oder Metallkeramikrone nach null, sechs und zwölf Monaten → Bestimmung des maximalen vertikalen Verlustes mit Messsoftware	<i>IOS 3M True Definition</i> (3M ESPE) & <i>Geomagic Control 2014</i> (3D Systems)	Quantitative Übereinstimmung zwischen Tiefen- und Volumenmessungen zwischen IOS und Mikro-CT (99,8 %), IOS können den klinischen Verschleiß genau quantifizieren

<b>ALWADAI et al.</b> <sup>140</sup> (2020)	Untersuchung von quantitativen Ergebnissen als klinischen Indikator für das Fortschreiten des simulierten okklusalen Zahnverschleißes	Intraoralscans, optische Kohärenztomographie mit Kreuzpolarisation (CP-OCT) und Mikro-CT von extrahierten Prämolaren vor und nach Zahnverschleißsimulation (0 / 0,5 / 1 / 1,5 mm)	IOS 3M True Definition (3M ESPE) & Rstudio (RStudio, Inc., Boston, MA, USA)	IOS kann effektiv zur Überwachung des gesamten Zahnverschleißes dienen in Kombination mit zahntopografischen Analysen der resultierenden Punktwolken
<b>KUMAR et al.</b> <sup>141</sup> (2019)	Untersuchung der Empfindlichkeit der IOS zur quantitativen Erkennung von frühzeitigem erosivem Zahnverschleiß	Intraoralscans von bukkalen Schmelzproben zu Beginn und nach Säureeinfluss (10-120 min, pH: 3,2) → Überlagerung und Auswertung	IOS 3M True Definition (3M ESPE) & Geomagic Control (3D Systems)	Max. Profilverlust von 10 min auf 120 min: 33,4 auf 72,8 µm Ø 9,1 auf 18,6 µm Korrelation Verschleiß und Säureexposition
<b>HART-KAMP et al.</b> <sup>116</sup> (2017)	Vergleich von maximalen Höhenverlustwerten auf Basis von optischer Profilometrie und intraoralem Scannen und Analyse von zwei Analyseanwendungen	Scan durch optische Profilometrie und IOS eines Phantomzahns aus Metall zu Beginn und nach Simulation von drei Graden von Zahnverschleiß → Überlagerung und Auswertung	IOS Lava C.O.S. (3M ESPE) & Geomagic Qualify Oracheck	Maximaler Unterschied (abgesehen von Ausreißer 16%): 12,6 %, entspricht 15 µm
<b>HART-KAMP et al.</b> <sup>78</sup> (2017)	Messung des Antagonistenverschleiß durch monolithische Zirkoniumdioxidkronen über einen Zeitraum von 24 Monaten mittels IOS	Intraoralscan zu Beginn, nach 12 (T1) und 24 (T2) Monaten → Überlagerung und Auswertung mit <i>Geomagic Qualify</i>	IOS Lava C.O.S. (3M ESPE) & Geomagic Qualify	T1: Ø 87 ± 41 µm T2: Ø 115 ± 71 µm
<b>MEIRELES et al.</b> <sup>142</sup> (2016)	Vorschlag eines automatisierten und direkten Verfahrens zur intraoralen Zahnabnutzungsbewertung	Intraoralscans von extrahierten Zähnen vor und nach unterschiedlich langer Behandlung mit Säure (1, 5, 10 min) → Überlagerung	IOS LAVA C.O.S. (3M ESPE) & Core 2 Duo-CPU mit 2,0 GHz und 2 GB RAM	Median des Verlustes: 1 min: 0,88 mm <sup>3</sup> 5 min: 4,1 mm <sup>3</sup> 10 min: 9,2 mm <sup>3</sup>

### 3.5 Aktuelle Studienlage zum Einfluss von Ernährungsgewohnheiten auf nicht-kariesbedingte Zahnhartsubstanzverluste

Laborexperimente zeigten, dass erosiver Zahnverschleiß durch Getränke und Lebensmittel mit einem niedrigen pH-Wert entstehen können. Dabei steigt das erosive Potenzial, je niedriger der pH-Wert und je geringer der Sättigungsgrad der Lösung in Bezug auf Zahnmineral ist.<sup>9</sup> Klinische Studien zeigen hingegen oft nur eine geringe Korrelation zwischen Ernährungsgewohnheiten und dem Auftreten von Erosionen auf.<sup>10</sup> Im Folgenden werden in vivo Studien zum Einfluss von Ernährungsgewohnheiten auf nicht-kariesbedingte Zahnhartsubstanzverluste (NKBZ) vorgestellt, wobei die meisten Studien Querschnittstudien darstellen. Um schlüssigere Beweise für den Zusammenhang zu liefern, fehlen qualitativ hochwertige Längsschnittstudien.

Studie (Publikations- jahr)	Studiendesign	Umfang der Studie, Pro- banden [n]	Hauptergebnisse	
			Prävalenz & quantitative Analyse	Positiv assoziierte Faktoren mit Zahn- verschleiß
<b>DÍAZ-FLORES</b> <i>et al.</i> <sup>132</sup> (2024)	Messung des Zahnverschleißes mittels Intraoralscanner (IOS) und Auswertung von Fragebögen	n = 39 Alter: 20 - 34 Jahre	k. A.	Säurehaltige Getränke, regelmäßiges Schwimmen, Mundtrockenheit, nächtliches Sabbern und Sodbrennen
<b>PIÓRECKA et al.</b> <sup>143</sup> (2023)	Beziehung zwischen Art und Menge der Flüssigkeitsaufnahme und dem Auftreten von erosivem Zahnverschleiß bei gesunden Kindern und Kindern mit Behinderungen, klinische Untersuchung mit Basic Erosive Wear Examination (BEWE)-Index und Fragebögen für die Eltern	n = 44 gesunde Kinder, n = 42 Kinder mit Behinderungen, Alter: 6-17 Jahren	26 % aller Kinder wiesen erosive Zahnabnutzungen auf	Essstörungen, Häufigkeit und Menge des Trinkens von aromatisiertem Wasser oder Wasser mit zugesetztem Sirup/Saft, gesüßte Getränke
<b>PEREIRA CENCI et al.</b> <sup>144</sup> (2023)	Beurteilung des Zahnverschleißes und Erhebung des Tooth Wear Index (TWI) an ersten Molaren und Frontzähnen →	n = 537 Alter: 31 Jahre	61,6 %	Konsum saurer und alkoholischer Getränke

	Auswertung und Untersuchung des Zusammenhangs mit ätiologischen Faktoren			
<b>SEZER et al.</b> <sup>145</sup> (2022)	Fragebögen über mögliche ätiologische Faktoren, Beurteilung des Zahnverschleißes mittels BEWE	n = 126 Zahnmedizinstudierende	k. A.	Säurehaltige Lebensmittel und Verzehr von Alkohol > 4-5-mal / Woche  Negativ assoziierte Faktoren mit Zahnverschleiß:  Milchprodukte, Fruchtsäften und Milch > 4-5-mal / Woche
<b>RUSYAN et al.</b> <sup>146</sup> (2022)	Ermittlung von erosivem Zahnverschleiß mittels BEWE und Abschätzung von Risikofaktoren durch eine Befragung	n = 2639 Alter: 15 Jahre	24,3 % BEWE 1 21,3 % BEWE 2/3 3 %	Saure Ernährung, Geschlecht (Jungen > Mädchen), niedrigerer sozioökonomischer Status gingen mit einer höheren Prävalenz und Schwere erosiver Läsionen einher
<b>METHUEN et al.</b> <sup>147</sup> (2022)	Untersuchung mittels BEWE und Fragebogen zum Konsum von Getränken, Früchten und Beeren sowie zur Häufigkeit des Zähneputzens	n = 328 > 15 Jahre alt	36,9 % benötigen präventive Maßnahmen gegen ETW	Geschlecht (Jungen > Mädchen), erosive Getränke, Früchte oder Beeren
<b>MARRO et al.</b> <sup>11</sup> (2022)	Intraoraler Basisscan und Risikofaktorfragebogen →  Follow-up Scan ein Jahr später und quantitative Analyse des Verschleißfortschritts an den ersten bleibenden Molaren und den oberen mittleren Schneidezähnen	n = 70 (295 Zahnoberflächen)  Alter: 11 - 18 Jahre (Ø 15 Jahre)	Volumenverlust: Ø -0,01 mm <sup>3</sup>	Größerer Volumenverlust bei Jugendlichen mit höheren Ausgangs-BEWE-Werten und bei denen die Eltern über eine geringere Bildung verfügen  Keine Zusammenhänge zwischen Säureaufnahme über die Nahrung und der intrinsischen Säureexposition
<b>LIM et al.</b> <sup>148</sup> (2022)	Fragebogen und klinische Untersuchung (BEWE-Index) von militärischem Personal	n = 1296 Alter: 18-25 Jahre	21,8 %	Gastroösophageale Refluxkrankheit (GERD), craniomandibuläre Dysfunktion (CMD)-Symptome, säurehaltige Lebensmittel und

				Getränke, hohes Kariesrisiko, Zahnbürstenhärte
<i>KANAAN et al.</i> <sup>149</sup> (2022)	Fragebogen zu Soziodemografie, Mundhygiene und Lebensstilverhalten und klinische Untersuchung mittels BEWE-Index	n = 570 Alter: 18 - 34 Jahre (n = 232) 35 - 54 Jahre (n = 256) ≥ 55 Jahre (n = 79)	75 % BEWE-Index (mild: 31 %, moderat: 28 %, schwer: 17 %)	Alter der Probanden, Geschlecht (Männer > Frauen), säurehaltige Getränke, Gesundheitszustände
<i>JÁSZ et al.</i> <sup>150</sup> (2022)	Klinische Untersuchung (BEWE-Index), Fragebogen	n = 579 im Alter von 12 Jahren	21,2% zeigten Anzeichen von Erosionen	Konsum von kohlen-säurehaltigen Erfrischungsgetränken, Bildungsniveau der Mütter
<i>Yu et al.</i> <sup>151</sup> (2021)	Klinische Untersuchung mittels BEWE-Index in verschiedenen Altersgruppen und Anwendung eines Fragebogens nach ätiologischen Faktoren	n = 1806 in Shanghai Altersgruppen: 12, 15, 18 - 35, 36 - 49, 50 - 74 Jahre	Jugendliche: 59,7 % (BEWE ≥ 1) Erwachsene: 93,1 % (BEWE ≥ 2)	Erfrischungsgetränke, alkoholische Getränke, eingelegtes Gemüse und harte Lebensmittel, GERD, Xerostomie und schlechte Zahnpflegewohnheiten Prävalenz und Schweregrad steigt mit dem Alter an, mittlere Schneidezähne und erste Molaren waren am anfälligsten für Zahnverschleiß
<i>MARRO et al.</i> <sup>152</sup> (2021)	Klinische Untersuchung beinhaltete DMFT (Decayed, Missing, Filled Teeth)-Wert, Gingiva-, Plaque- und BEWE-Index, ein Fragebogen wurde zur Beurteilung der Ernährungs- und Mundhygienegewohnheiten verwendet	n = 125 n = 71 fettleibige Jugendliche (11 - 18 Jahre alt) n = 54 normalgewichtige Jugendliche	Prävalenz von erosivem Zahnverschleiß unterschied sich nicht signifikant zwischen beiden Gruppen Adipöse Jugendliche leiden häufiger an Karies, Gingivitis, Plaque und parodontalen Problemen	Assoziation von Adipositas im Zusammenhang mit dem Vorhandensein von Zahnbelag

<b>KAMAL et al.</b> <sup>153</sup> (2020)	Datenanalyse von Teilnehmern der National Health and Nutrition Examination Survey, Fettleibigkeit wurde durch Body-Mass-Index (BMI) bestimmt und Zahnverschleiß durch den modifizierten Zahnverschleißindex, tägliche Aufnahme von verschiedenen Getränken wurde durch zwei Ernährungsprotokolle geschätzt	n = 3541	Mittelschwere bis schwerer Zahnverschleiß: 12,1 % Übergewichtig: 33,7 % Fettleibig: 32%	Fettleibigkeit war positiv mit Zahnverschleiß verbunden, Konsum zuckergesüßter säurehaltiger Getränke konnte diesen Zusammenhang nur teilweise erklären
<b>TSCHAMMLER et al.</b> <sup>154</sup> (2019)	Klinische Untersuchung beinhaltete BEWE-, ICDAS-, DMFT-Index, Fragebogen zu Ernährungsgewohnheiten, Mundhygiene, Fluoridapplikation, medizinischen Hintergrund und sozioökonomischen Faktoren	n = 223 (4 - 17 Jahre alt, 1476 Milch- und 4110 bleibende Zähne)	k. A.	BMI, Alter, Konsum erosiver Snacks / Getränke
<b>LI et al.</b> <sup>155</sup> (2019)	Klinische Untersuchung und Einteilung mittels BEWE-Index,	n = 720 aus zwei verschiedenen Altersgruppen (12 und 15 Jahre), Verhältnis Jungen zu Mädchen 1:1	56,1% zeigten Erosionsläsionen, 26,2% mit Dentinexposition	Jungen häufiger Erosionsläsionen, niedriger sozioökonomischer Status, Einnahme von säurehaltigen Nahrungsmitteln/Getränke vor dem Schlafengehen
<b>SKALSKY JARKANDER et al.</b> <sup>156</sup> (2018)	Klinische Untersuchung und Einteilung der Läsionen in Schweregrade, Fragebogen zu oralen Symptomen sowie Ernährungs- und Verhaltensfaktoren	n = 1071 15- und 17-Jährige, 547 Jungen, 524 Mädchen	28,3 % der 15-Jährigen und 34,3 % der 17-Jährigen zeigten Erosionsläsionen	Konsum von Erfrischungsgetränken, Verwendung von Saft oder Sportgetränken, überempfindliche Zähne beim Essen oder Trinken, Reflux
<b>PEDRÃO et al.</b> <sup>157</sup> (2018)	Klinische Untersuchung und Fragebögen zu Ernährung und Mundpflege	n = 207 (29 Vegetarier, 96 Ovo-Lacto-Vegetarier und 82 Allesesser)	k. A.	Vegetarier und Ovo-Lacto-Vegetarier wiesen statistisch signifikant mehr erosive Zahnabnutzung auf als Allesesser

<b>MARRO et al.</b> <sup>158</sup> (2018)	Klinische Untersuchung durch drei geprüfte Zahnärzte mittels BEWE-Index, Fragebogen zur Identifikation von Risikofaktoren	n = 613 Jugendliche (durchschnittliches Alter: 15,1 Jahre)	48,6 % wiesen mindestens eine Zahnoberfläche mit Zahnverschleiß auf,  14,4 % erzielten BEWE-Summe > 2	Häufiger Konsum von Erfrischungsgetränken, Teilnahme an beruflichen/technischen Ausbildungen
<b>BRUSIUS et al.</b> <sup>20</sup> (2018)	Longitudinalstudie: klinische Untersuchung der permanenten Schneidezähne und der ersten Molaren (BEWE-Index) zu T0 (Baseline) und T1 (nach 2,5 Jahren)	n = 801 (12 Jahre alt)	7,1 % (n = 49) der zu Studienbeginn erosionsfreien Kinder (n = 680) zeigten zu T1 Erosionsläsionen  25,4 % (n = 31) der zu Studienbeginn erosionsbetroffenen Kinder zeigten zu T1 neue oder schwerwiegendere Läsionen auf	Geschlecht (Jungen > Mädchen), Ernährungsverhalten konnte nicht als Risikofaktor identifiziert werden
<b>AL-ZWAYLIF et al.</b> <sup>159</sup> (2018)	Informationen aus 24h-Ernährungsprotokollen zu säurehaltigen Lebensmitteln (Früchte, Fruchtsäfte, alkoholische Getränke, Erfrischungsgetränke) und Zeitpunkt des Verzehr, Bewertung des Zahnverschleißes	n = 3586 (≥ 18 Jahre)	k. A.	Täglicher Verzehr von Erfrischungsgetränken, Verzehr von Erfrischungsgetränken zu den Mahlzeiten  Verzehr von Obst, Fruchtsäften und alkoholischen Getränken konnte nicht in Zusammenhang mit Zahnverschleiß gebracht werden
<b>STRUZYCKA et al.</b> <sup>160</sup> (2017)	Klinische Untersuchung mittels BEWE-Index, Fragebögen	1869 18-Jährige	42,3% zeigten Erosionen  BEWE1: 28,9% BEWE2: 12% BEWE3: 1,4%	Säurehaltige Ernährung, Erkrankungen wie Asthma, Essstörungen und Reflux
<b>LUCIANO et al.</b> <sup>161</sup> (2017)	Klinische Untersuchung und Fragebogen	n = 335 zwischen 12 und 30 Jahren, 60,9 % Frauen	28,7% der Frauen wiesen Zahnerosionen auf	Geringes Einkommen, Kaugummikauen, Konsum von Softdrinks/Säften vor dem Schlafengehen

<i>ANTUNES et al.</i> <sup>162</sup> (2017)	klinische Untersuchung der Hobbysportler und Anwendung eines Fragebogens	n = 108 Läufer (Ø 34,2 Jahre)	19,4 %	GERD, Lauffrequenz pro Woche, Wettkampfzeit  Isotonische Getränke wurden nicht mit Erosionen assoziiert
<i>MULLER-BOLLA et al.</i> <sup>163</sup> (2015)	Klinische Untersuchung und Bewertung Erosionsläsionen mittels BEWE-Index, Fragebögen	n = 331 14-Jährigen	39 % bei einem BEWE-Gesamtscore $\geq 3$	Tägliche Konsum von säurehaltigen Getränken, säurehaltige Süßigkeiten, niedrige sozioökonomische Stellung, sichtbarer dentaler Biofilm
<i>ALVES et al.</i> <sup>164</sup> (2015)	Klinische Untersuchung und Einteilung mittels BEWE-Index, Fragebögen	n = 1528 12-Jährige	15 % der Jugendlichen wiesen Erosionsläsionen auf	Geschlecht (Jungen > Mädchen), täglicher Konsum von Erfrischungsgetränken, täglicher Konsum von Zitronen, Schulform (private Schule)
<i>MULIC et al.</i> <sup>165</sup> (2012)	Klinische Untersuchung und Fragebogen	n = 1456	38 % mindestens einen Zahn mit Erosionen	Geschlecht (Männer > Frauen), max. einmal täglich Zähneputzen, Erbrechen, täglich/wöchentliche Episoden von gastroösophagealem Reflux, mehrmaliger Konsum von Fruchtsaft und zuckerhaltigen Erfrischungsgetränke
<i>MANAF et al.</i> <sup>166</sup> (2012)	Klinische Untersuchung und Einteilung mittels BEWE-Index, Fragebögen	n = 150 Studenten zwischen 19 und 24 Jahre,  33 Männer und 117 Frauen	68 % zeigten Erosionsläsionen auf	Häufigkeit des Milchkonsums und des Tee-/Kaffeekonsums war negativ mit Zahnerosionen verbunden, säurehaltige Lebensmittel, Body-Mass-Index waren nicht signifikant mit dem Risiko von Zahnerosionen verbunden
<i>HUEW et al.</i> <sup>167</sup> (2011)	Untersuchung von möglichen Risikofaktoren für Zahnerosionen, klinische Untersuchung und Fragebogen	n = 791 12-jährige Schulkinder	40,8 % zeigten Erosionsläsionen auf	Zuckerhaltige Fruchtgetränke, Zeitspanne des Konsums säurehaltiger Getränke, Häufigkeit Obstkonsum (außer Bananen)

<p><b>RATNAYAKE et al.</b> <sup>168</sup> (2011)</p>	<p>Risikofaktoren von Zahnverschleiß bei Jugendlichen in Sri Lanka, klinische Untersuchung und Fragebogen</p>	<p>n = 1200 17-Jährige</p>	<p>22 % der Jugendlichen weisen Zahnverschleiß auf</p>	<p>Konsum von Coca-Cola, Äpfeln, Beruf des Vaters und dem Kauen von Vitamin-C-Tabletten waren signifikant mit Dentinverschleiß verbunden</p>
<p><b>GANSS et al.</b> <sup>169</sup> (1999)</p>	<p>Untersuchung der Häufigkeit und Schwere von Zahnerosionen bei Personen, deren Nahrungsaufnahme &gt; 95% aus Rohkost besteht, klinische Untersuchung, Ernährungsfragebögen und Ernährungsprotokoll über sieben Tage</p>	<p>n = 130 Kontrollgruppe: n = 76</p>	<p>37,2 % mindestens einen Zahn mit mäßigen Erosionen, 60,5 % mindestens einen Zahn mit schweren Erosionen</p>	<p>Rohkost Gruppe signifikant mehr Zahnerosionen als Kontrollgruppe</p>

## 4 Material und Methode

### 4.1 Methodikübersicht

Die in der vorliegenden Studie angewandte Methode von frühzeitigem Erkennen von nicht-kariesbedingten Zahnhartsubstanzverlusten (NKBZ) mittels Intraoralscanner (IOS) wurde in einer vorangegangenen Dissertation von SCHLENZ in-vitro untersucht und mit der optischen Profilometrie als Goldstandard verglichen.<sup>6</sup> Anschließend folgte eine klinische Anwendung der Methodik durch die Anwendung von IOS zum Monitoring von NKBZ bei jungen Erwachsenen. Als Untersuchungszahn wurde hierbei einer der ersten Unterkiefermolaren (*Fédération Dentaire Internationale* (FDI) #36 oder #46) ausgewählt, welcher in der Literatur als Markerzahn von NKBZ beschrieben wird.<sup>13, 26, 170</sup> Die Intraoralscans wurden mit dem Trios 3 (3Shape, Kopenhagen, Dänemark) durchgeführt. SCHLENZ untersuchte Intraoralscans von 109 Probanden zu Beginn der Studie (T0, mittleres Alter bei Studienbeginn:  $20,95 \pm 2,19$  Jahre), von 94 Probanden nach zwölf Monaten (T1) und von 52 Probanden nach 24 Monaten (T2). Die vorliegende Arbeit erweitert diese Untersuchungen zum Zeitpunkt T2 auf Intraoralscans von insgesamt 82 Probanden und nach 36 Monaten (T3) von 74 Probanden (mittleres Alter zum Zeitpunkt T3  $23,8 \pm 2,2$  Jahre). Zu jedem Scanzeitpunkt füllten außerdem alle Probanden einen Ernährungsbogen aus.

Zur Analyse wurden die Scandatensätze in eine externe 3D-Analysesoftware (GOM-Inspect, GOM GmbH, Braunschweig) überlagert und untersucht. Dabei wurde der maximale vertikale Zahnhartsubstanzverlust (MVZ) der mesiobukkalen (MB), mesiolingualen (ML), distobukkalen (DB), distolingualen (DL) und distalen (D) Höcker gemessen. Der MVZ wurde außerdem an der distalen Randleiste (DR) und der mesialen Randleiste (MR) bestimmt. Die Defekte wurden in drei verschiedene Läsionsformen aufgeteilt: Delle, Facette und kombinierte Delle-Facette-Läsion (KDFL) (Abbildung 4.1).

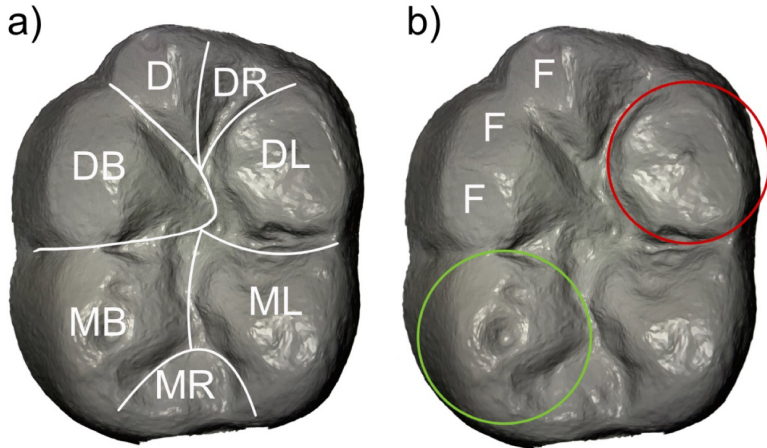


Abbildung 4.1 a) Aufteilung der Okklusalfäche des Molaren in sechs bzw. sieben Areale: mesiobukkaler (MB), mesiolingualer (ML), distobukkaler (DB), distolingual (DL), falls vorhanden distaler (D) Höcker und distale (DR) und mesiale (MR) Randleiste; b) Defektformen: Facette (F), Delle (grüner Kreis), kombinierte Delle-Facette-Läsion (roter Kreis)

An jedem Scantermin füllten alle Probanden einen Ernährungsbogen aus. Dabei gaben diese Angaben zu ihren Ernährungsweisen, die Durchführung ihrer Mahlzeiten, ihren Geschmackspräferenzen und über die Konsumhäufigkeit bestimmter Lebensmittel an. Außerdem wurden Medikamenteneinnahmen, Tragen einer Knirscherschiene, sowie Häufigkeit und Vorkommen von Sodbrennen und Erbrechen angegeben. Eine Validierung der Ernährungsbögen fand mit 29 Probanden an zwei Zeitpunkten innerhalb von sieben Tagen statt.

In den folgenden Kapiteln wird das Vorgehen der klinischen Untersuchung erläutert und die Überlagerung und Auswertung der Scandatensätze beschrieben. Außerdem wird auf das Erstellen des Ernährungsbogens und die Auswertung der Ernährungsinformationen eingegangen. Am Schluss des Kapitels wird die statistische Auswertung der Ergebnisse erläutert.

## 4.2 Erhebung der intraoralen Scandaten

Innerhalb der klinischen Studie sollte mithilfe des Intraoralscanners (IOS) Verschleiß der Zahnhartsubstanz im Mikrometerbereich in Form von nicht-kariesbedingten Zahnhartsubstanzverlusten (NKBZ) erkannt werden. Zu Beginn der Studie wurden 109 Zahnmedizinstudenten der Justus-Liebig-Universität in Gießen im Alter zwischen 18 bis 25 Jahren (mittleres Alter bei Studienbeginn:  $21,0 \pm 2,2$  Jahre) untersucht. Dabei wurde mit dem IOS *Trios 3* (3Shape, Kopenhagen, Dänemark) der erste Molar (*Fédération Dentaire Internationale* (FDI) #36 oder #46) als Markerzahn für NKBZ gescannt.<sup>13, 26, 170</sup> Im Laufe der Follow-up nach 12, 24 und 36 Monaten sind Probanden aufgrund von Studienortwechseln oder Füllungen an den untersuchten Zähnen ausgeschieden, so dass die Anzahl der Probanden zwischen den Untersuchungszeitpunkten abnahm (Abbildung 4.2). Bei jedem Untersuchungstermin wurde ein Intraoralscan des Studienzahnes angefertigt und ein Ernährungsfragebogen von den Probanden ausgefüllt.

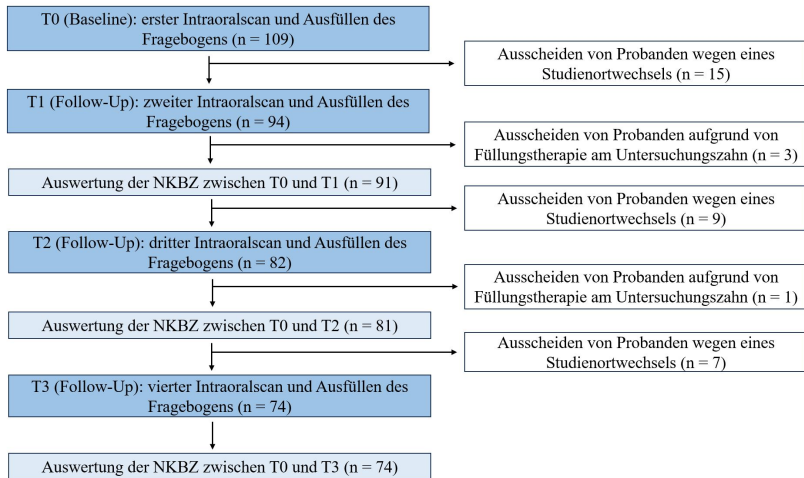


Abbildung 4.2 Flussdiagramm der klinischen Untersuchung

#### **4.2.1 Rahmenbedingungen**

Das Schreiben vom 05.10.2018 bestätigte ein positives Votum der Ethikkommission des Fachbereichs Medizin der Justus-Liebig-Universität in Gießen über die vorliegende klinische Studie (AZ148/18). Eine Registrierung im Deutschen Register Klinischer Studien wurde ebenfalls durchgeführt (DRKS-ID: DRKS00021279).

Die Untersuchungen wurden an freiwilligen Probanden durchgeführt, welche im Rahmen einer Präsentation und eines Videos über die Studie und deren Ablauf aufgeklärt wurden. Offene Fragen wurden anhand eines Aufklärungsbogens, welcher von der Ethikkommission genehmigt wurde, geklärt und durch die Unterschrift der Probanden wurde das Einverständnis zur Teilnahme an der vorliegenden Studie dokumentiert. Jeder Proband konnte jederzeit ohne Angabe von Gründen das Einverständnis widerrufen und aus der Studie austreten. Zum Datenschutz der Probanden wurden alle Aufnahmen und Dokumentationen anonymisiert gespeichert.

Die Aufnahmen der Intraoralscans im Rahmen der Studie wurden vom selben Prüfarzt im Zeitraum vom 07.11.2018 bis zum 22.12.2022 durchgeführt. Dabei lagen die Untersuchungen in einem Abstand von 12 Monaten, wobei der Toleranzbereich bei  $\pm 6$  Wochen lag. Der mittlere Beobachtungszeitraum lag für die Kohorte der 36 Monate ( $n = 74$ ) zwischen T0 und T1 bei  $369 \pm 19$  Tagen, zwischen T0 und T2 bei  $747 \pm 9$  Tagen und zwischen T0 und T3 bei  $1111 \pm 10$  Tagen.

#### **4.2.2 Probandenauswahl**

Zu Studienbeginn (T0) mussten die Freiwilligen im Alter zwischen 18 und 25 Jahren sein, um in die Studie eingeschlossen zu werden. Ein erster Unterkiefermolar musste kariesfrei sein und durfte höchstens eine nicht Höcker bedeckende Restauration haben, welche maximal 1/3 der Okklusalfäche einnahm. Dieser musste in Okklusion mit seinem Antagonisten stehen, welcher die gleichen Kriterien wie der Untersuchungszahn zu erfüllen hatte. Die Probanden mussten eine gute Mundhygiene und einen visuell plaquefreien Untersuchungszahn vorweisen.

Freiwillige mit schweren allgemeinen Erkrankungen, wie beispielsweise Essstörungen oder Bulimie, wurden aus der Studie ausgeschlossen. Ebenfalls führte eine laufende kieferorthopädische Behandlung im Zeitraum der Untersuchungen zum Ausschluss der Studie.

#### **4.2.3 Fallzahlberechnung**

Eine Prävalenz von NKBZ wird in der Literatur zwischen 4-100 % angegeben.<sup>171</sup> In bisher durchgeführte Studien wurden meist bis zu 70 Probanden für das Erkennen von NKBZ untersucht. In der vorliegenden Studie wurde eine Gesamtzahl von 100 Freiwilligen angestrebt, um sowohl die Progression von NKBZ mittels IOS als auch die Auswirkung des Ernährungsverhalten untersuchen zu können.

#### **4.2.4 Durchführung der intraoralen Untersuchung**

Zu Beginn wurde der zu untersuchende Molar im Unterkiefer (FDI #36 oder #46) visuell untersucht, ob er den Einschlusskriterien der Studie entspricht und kein Ausschlusskriterium vorliegt. Kamen beide ersten Unterkiefermolaren für die Studie in Frage, wurde der linke erste Unterkiefermolar (FDI #36) untersucht. In der vorliegenden Studie wurde zum Zeitpunkt T0 65 linke (FDI #36) und 44 rechte (FDI #46) Molaren eingeschlossen. Zum Zeitpunkt T1 konnten noch 54 FDI #36 und 37 FDI #46, zum Zeitpunkt T2 noch 51 FDI #36 und 30 FDI #46 und zum dritten Untersuchungstermin noch 46 FDI #36 und 28 FDI #46 in die Studie mit aufgenommen werden. Für jeden Probanden wurde ein eigener Patientenfall in der systemimmanenten Software des *Trios 3* (3Shape) angelegt. Dieser Fall enthielt nur die Fallnummern der Probanden. Zu jedem der vier Untersuchungszeitpunkte (T0-T3) wurde eine neue Behandlungssitzung angelegt und unter der Fallnummer gespeichert.

Alle Probanden mussten sich vor den Untersuchungsterminen die Zähne putzen, um Speisereste auf den Zähnen und im Interdentalraum zu verhindern. Der Untersuchungszahn wurde mittels Speichelsauger und dentalem Luftpüster relativ trockengelegt.

Alle Intraoralscans wurden mit dem *Trios 3* durchgeführt, welcher nach dem Prinzip der konfokalen Mikroskopie aufnimmt und keine vorherige Puderung benötigt.<sup>100, 172</sup> Der *Trios 3* wurde vor jeder Untersuchung nach Herstellerangaben durch das Aufsetzen einer

Kalibrierspitze kalibriert und durch das Abwarten der vorgegebenen Aufwärmzeit auf Betriebstemperatur hochgefahren.<sup>88</sup> Die Untersuchungsleuchte wurde während der Aufnahme ausgeschaltet.<sup>89, 91</sup> Die digitalen Abformungen erfolgte entlang eines Scanpfades, welcher vom Hersteller und von MÜLLER *et al.* empfohlen wird.<sup>96</sup> Dabei wurde der Studienzahn inklusive Nachbarzähne okklusal von distal nach mesial gescannt. Anschließend wurden die oralen Flächen und daraufhin die bukkalen Flächen der Zähne aufgenommen (Abbildung 4.3). Dabei wurde die Scanspitze parallel zur Zahnoberfläche mit einem Abstand von 1 bis 1,5 cm berührungslos über die Zahnreihe geführt. Anschließend konnten nicht erfasste Bereiche nachgescannt und Artefakte entfernt werden. Die benötigte Zeit für die Aufnahme wurde so kurz wie möglich gehalten. Der Prüfwaharzt hatte während der Aufnahme die Möglichkeit, in Echtzeit ein dreidimensionales Bild der Aufnahme auf dem Bildschirm des IOS zu sehen. Zum Zeitpunkt T0 wurde neben der Aufnahme der Untersuchungszähne und deren Nachbarzähne auch die Antagonisten und der Biss gescannt. Dadurch konnten die benötigten Kontaktpunkte über die systemimmanente Software des *Trios 3* angezeigt und kontrolliert werden. Zum Zeitpunkt T1-T3 wurden ausschließlich die Untersuchungszähne und deren Nachbarzähne gescannt. Zu jedem der vier Untersuchungszeitpunkte füllte jeder Proband den gleichen Ernährungsfragebogen aus. Dieser enthielt Fragestellungen zum Putzverhalten, zum Konsum von säurehaltigen Lebensmitteln und zu geschmacklichen Vorlieben der Probanden.

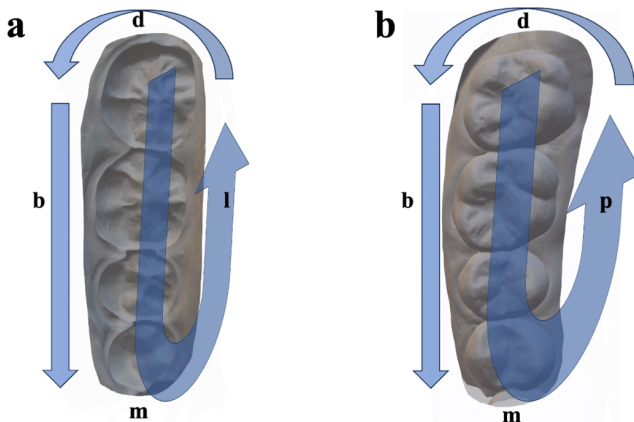


Abbildung 4.3 a) Scanspfad im Unterkiefer; b) Scanspfad im Oberkiefer; b = bukkal, m = mesial, l/p = lingual/palatal, d = distal

#### **4.2.5 Datensicherung**

Die Daten werden über die systemimmanente Software des *Trios 3* (3Shape) über eine Fallnummer gespeichert. Die Speicherung der erzeugten Daten erfolgt über das etablierte Datenformat *Standard Tessellation Language* (STL), welches ausschließlich Informationen über die dreidimensionale Form enthält.<sup>99</sup> Durch die Speicherung auf dem Netzwerk der Zahnärztlichen Prothetik in Gießen müssen die Daten nicht über eine externe Verbindung verschickt werden und durch die Abspeicherung unter der Fallnummer werden diese ausschließlich für die vorliegende Studie verwendet.

### 4.3 Ernährungsfragebogen

Zu jedem Untersuchungstermin füllten alle Probanden den gleichen Ernährungsbogen aus. Der Ernährungsbogen wurde in Zusammenarbeit mit einer erfahrenen Ernährungsberaterin (Dr. Alexandra Jungert) entworfen. Im Vorfeld wurden dafür Vortests und Experteninterviews mit Erwachsenen im Alter von 18 bis 25 Jahren durchgeführt. Bei den kognitiven Vortests fand die Technik des lauten Denkens Anwendung bevor der Fragebogen ausgefüllt wurde. Der Ernährungsbogen wurde den Probanden zu jedem Untersuchungszeitpunkt in Papierform ausgehändigt. Zum Datenschutz der Probanden wurde auf allen Ernährungsbögen nur die Fallnummern notiert, um den Bogen eindeutig den dazugehörigen Intraoralscans zuordnen zu können und die Anonymität der Probanden zu gewährleisten. Außerdem wurde das Geschlecht, das aktuelle Alter, der Untersuchungszeitpunkt (T0/T1/T2/T3) und der Prüfarzt notiert.

Der Ernährungsbogen schließt Fragen zum Ernährungsverhalten und den Geschmackspräferenzen, der Häufigkeit und Dauer der Mahlzeiten, zahnärztliche Fragen zur Mundhygiene und Fragen zur Konsumhäufigkeit von speziellen Getränken und Lebensmitteln ein.

#### *4.3.1 Aufbau des Ernährungsfragebogens*

Alle Probanden füllten Angaben zu ihrem Ernährungsverhalten aus. Außerdem wurde erfragt, ob sie eine besondere Ernährungsweise, wie beispielsweise dem Veganismus oder einer Rohkost-Ernährung, verfolgen. Zudem wurde nach der Häufigkeit der Haupt- und Zwischenmahlzeiten sowie deren Dauer gefragt, und ob Nahrungsergänzungsmittel, zum Beispiel in Form von Brausetabletten, eingenommen werden.

Im weiteren Verlauf gaben die Studienteilnehmer mithilfe einer Fünf-Punkte-Likert-Skala Angaben zu ihren Geschmackspräferenzen, etwa ob sie gerne saure Lebensmittel und Getränke zu sich nehmen, und welcher Stellenwert das Essen sowie die zahngesunde Ernährung in ihrem Leben einnimmt. Bei allen Antwortmöglichkeiten war stets eine Enthaltung möglich.

Im medizinischen und zahnärztlichen Teil des Ernährungsbogens wurden Medikamenteneinnahmen, das Vorkommen von Sodbrennen und das Leiden an einer Essstörung erfragt. Außerdem wurden Angaben zum Tragen einer Knirscherschiene, zum Putzverhalten und zur Anwendung von Zahnpflegeprodukten gegen Zahnerosionen gemacht.

Der darauffolgende Abschnitt enthielt Fragen zur Konsumhäufigkeit verschiedenster Getränke und deren Aufnahmeart. Dabei füllten die Probanden eine Tabelle aus, ob sie verschiedene Getränke aus der Flasche / Packung, aus einem Glas / Tasse / Becher oder mit Strohalm aufnehmen. Darauf folgte eine ausführliche Tabelle verschiedener Getränke inklusive Soft-Drinks, Limonaden, Fruchtsäften, isotonischer Sportgetränke, verschiedenster Teesorten und alkoholische Getränke wie beispielsweise Wein. Für jedes Getränk wurde eine Häufigkeitskategorie angekreuzt, ob bestimmte Getränke nie/ selten, 1-3-mal pro Monat, 1-4-mal in der Woche, 5-6-mal pro Woche, 1-2-mal täglich, 3-4-mal täglich oder  $\geq 5$ -mal täglich aufgenommen werden. Außerdem wurde erfragt, ob Getränke sofort, langsam oder einige Sekunden im Mund verweilen, bevor sie geschluckt werden, und ob anschließend die Zähne geputzt oder der Mund mit stillem Wasser gespült wird.

Im letzten Abschnitt des Ernährungsboogens wurde die Konsumhäufigkeit von bestimmten Lebensmitteln erfragt. Angaben wurden unter anderem zum Verzehr von verschiedenen Obstsorten wie beispielsweise Zitrusfrüchten, Gemüsesorten, saure-ingelegte Lebensmitteln, Salatdressings mit Essig oder sauren Süßigkeiten gemacht. Dabei konnten die Probanden dieselben Häufigkeiten ankreuzen wie bei der Tabelle zum Getränkekonsum.

#### ***4.3.2 Validierung des Ernährungsfragebogens***

Unabhängig von dem Ablauf der Hauptstudie wurde ein erneuter Test mit einer Gruppe von 28 Teilnehmer (12 Frauen, 16 Männern; Alter  $25,8 \pm 5,6$  Jahren) durchgeführt, um die Zuverlässigkeit des Fragebogens zu untersuchen. Die Teilnehmer füllten den Fragebogen zweimal im Abstand von einer Woche unter den gleichen Bedingungen aus. Zum Datenschutz wurde jedem der Teilnehmer eine Fallnummer zugeteilt. Mit diesen Nummern wurden die Ernährungsbögen beschriftet, um die Anonymität der Teilnehmer und eine eindeutige Zuordnung der Ernährungsbögen zu gewährleisten.

## 4.4 Überlagerung und Analyse der Scandatensätze

Die Intraoralscans wurden im STL-Format (*Standard Tessellation Language*) in die GOM-Inspect-Software (Version V8 SR1, GOM GmbH, Braunschweig) zur Überlagerung und Analyse importiert, welche Mess- und Formanalysen von STL-Formaten ermöglicht.<sup>106, 124, 173</sup> Anhand der Fallnummer der Probanden wurde für jede jährliche Überlagerung und Analyse eine eigene Datei erstellt. Dabei wurde der Scan zum Zeitpunkt T0 als SOLL-Datensatz in die Software importiert und alle außerhalb der Kaufläche liegenden Bereiche aus dem Datensatz herausgeschnitten. Anschließend wurde ein Datensatz von T1/T2/T3 als IST-Datensatz hinzugefügt und identisch zum SOLL-Datensatz beschnitten. Eine Vorausrichtung des SOLL- und IST-Datensatzes erfolgte mittels BEST-Fit-Algorithmus (Abbildung 4.4).

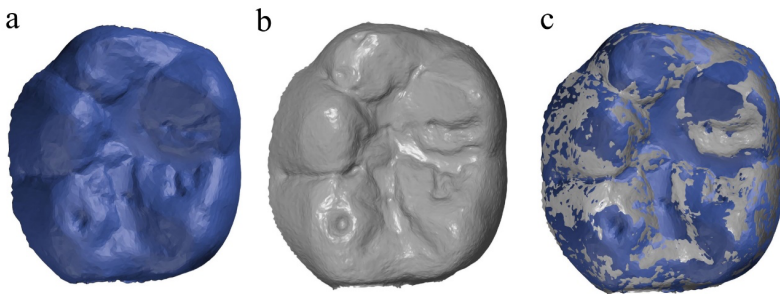


Abbildung 4.4 Angepasste und zugeschnittene Scandatensätze in der externen Analysesoftware (GOM-Inspect): a) SOLL-Datensatz (T0), b) IST-Datensatz (T3), c) Vorausrichtung mit Best-Fit-Algorithmus

Nach der Vorausrichtung erfolgte eine Überlagerung mittels iterativen Verfahrens. Dafür wurde der durchschnittliche Überlagerungsfehler bestimmt und eine neue Überlagerung mit Bereichen durchgeführt, welche eine Abweichung unterhalb des Überlagerungsfehlers anzeigten. Dies wurde so oft wiederholt, bis der Überlagerungsfehler konstant blieb und nicht mehr abnahm. Anschließend wurde der Zahn in sechs bzw. sieben verschiedene Areale aufgeteilt und nach nicht-kariesbedingten Zahnhartsubstanzverluste (NKBZ) untersucht. Dabei wurde zwischen Delle-, Facette- und kombinierten Delle-Facette-Läsionen (KDFL) unterschieden (Kapitel 4.1 Abbildung 4.1). Mit Hilfe des Flächenvergleiches

und durch das benutzerdefinierte Einstellen der Skala konnten somit Areale mit vertikalem Zahnhartsubstanzverlust identifiziert und farblich dargestellt werden. In Abbildung 4.5 ist ein Flächenvergleich mit zwei progredienten Dellen (blaue Pfeile) und zwei progredienten Facetten (rote Pfeile) dargestellt. Die Farbskala reicht vom blauen Bereich (Zahnhartsubstanzverlust) bis in den roten Bereich (Substanzauftrag). Bei den betroffenen Zahnoberflächen wurde der maximale vertikale Zahnhartsubstanzverlust (MVZ) durch die maximale Differenz beider überlagerten Scandatenätze definiert.

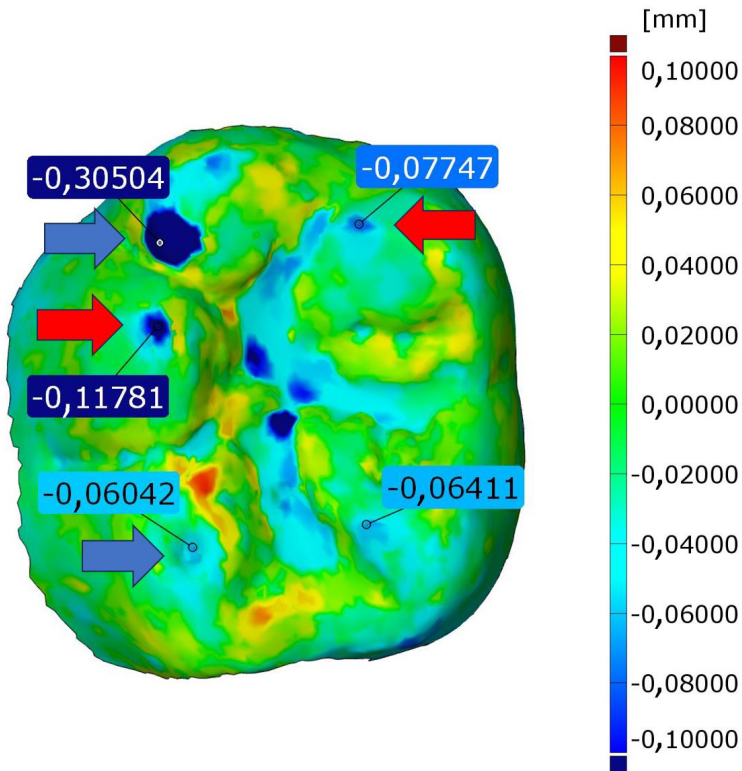


Abbildung 4.5 Flächenvergleich zwischen Beginn des Beobachtungszeitraums (T0) und nach 24 Monaten (T2), zwei progrediente Dellen am mesiobukkalen und distalen Höcker (blaue Pfeile) und zwei progrediente Facetten am distolingualen und distobukkalen Höcker (rote Pfeile); Definierung des MVZ am mesiobukkalen, mesiolingualen, distobukkalen, distolingualen und distalen Höcker, zentral teilweise Verlust der Fissurenversiegelung

## 4.5 Auswertung und statistische Analyse der Scandaten

Die statistische Analyse der klinischen Scandaten wurde mit der Software IBM SPSS Statistics Version 27 (IBM, Armonk, USA) durchgeführt. In die Auswertung wurden 74 Zähne mit 518 Arealen eingeschlossen, welche zu allen vier Untersuchungszeitpunkten Scandatensätze vorwiesen. Eine biometrische Beratung erfolgte durch Dr. Johannes Herrmann (Statistikberatung Gießen).

Die unterschiedlichen Defektformen (Delle, Facette, kombinierte Delle-Facette-Läsion) wurde in der Analyse der Daten berücksichtigt sowie der maximale vertikale Zahnhartsubstanzverlust (MVZ) in den definierten sechs bzw. sieben aufgeteilten Arealen (mesiobukkal, mesiolingual, distobukkal, distolingual, (distal), mesiale Randleiste, distale Randleiste) des Zahnes. Die Morphologie der nicht-kariesbedingten Zahnhartsubstanzverluste (NKBZ) zu den unterschiedlichen Zeitpunkten wird zunächst deskriptiv beschrieben. Aufgrund der signifikanten Abweichung von der Gauß-Verteilung (Kolmogorov-Smirnov-Test) erfolgte eine weitere statistische Analyse mittels nichtparametrischer Tests. Zur Testung auf statistische Signifikanz des unterschiedlichen Auftretens von Zahnhartsubstanzverlusten an den untersuchten Arealen wurde der Cochrans Q-Test durchgeführt. Mittels nichtparametrischer ANOVA mit Messwiederholungen (Friedman-Test) wurde die Progression des Zahnhartsubstanzverlustes an den sieben unterschiedlichen Arealen und den unterschiedlichen Defektformen auf Signifikanz geprüft. Zur Analyse der unterschiedlichen Progression von ZHSV bei Männern und Frauen wurden Mann-Whitney-Tests durchgeführt. Das Signifikanzniveau wurde für die einfachen Testungen auf  $< 0,05$  festgelegt. Um eine Alphafehler-Kumulierung zu verhindern, erfolgte eine Korrektur der p-Werte für multiple Testungen nach der Holm-Bonferroni-Methode, wobei der angepasste p-Wert ebenfalls auf  $< 0,05$  festgelegt wurde.

## 4.6 Auswertung und statistische Analyse der Ernährungsbögen

### 4.6.1 Ernährungsbögen der Hauptstudie

Zur Analyse und Auswertung der Ernährungsfragen wurde die Säurebelastung pro Tag berechnet. Dabei wurden die Ernährungsdaten zur Konsumhäufigkeit von säurehaltigen Getränken und Lebensmitteln verwendet. Bei den Getränken wurden Energy Drinks, Limonaden, Cola / Cola-Mischgetränke, andere Erfrischungsgetränke, Light-Erfrischungsgetränke, Obstsaften, Smoothies, Eistee, Isotonische Sportgetränke, Fruchtt Tee und Wein in die Auswertung miteingeschlossen. Bei den Lebensmitteln wurde auf den Konsum von Citrusfrüchten, Beerenobst, Steinobst, Kernobst, Ananas, sauer eingelegte Lebensmittel, Salatdressings mit Essig und saure Süßigkeiten geachtet. Für jede Häufigkeitskategorie wurde der Mittelwert der jeweiligen Reichweite ermittelt und anschließend in Häufigkeiten pro Tag umgerechnet. Beispielsweise läge der Mittelwert bei der Konsumhäufigkeit „1-4-mal pro Woche“ bei 2,5-mal pro Woche. Auf den Tag umgerechnet ergäbe das 0,36. Anschließend wurden die Werte aller Elemente summiert und ergaben die Gesamtzahl der täglichen Säureeinwirkung. Dies konnte sowohl für Getränke und Lebensmittel separat als auch zusammen berechnet werden.

Anschließend wurden die ermittelten Daten für die statistische Auswertung in das Programm SPSS Statistics Version 28 (IBM) importiert. Von  $n = 74$  Teilnehmern konnten die Daten der Ernährungsbögen in die Auswertung mit aufgenommen werden. Von diesen Teilnahmen waren sowohl Ernährungsdaten als auch Scandaten zur Auswertung von allen vier Untersuchungszeitpunkten (T0-T3) vorhanden. Bei den quantitativen Daten (Zahnhartsubstanzverlust und Anzahl der Säureeinwirkungen) wurde signifikante Abweichungen von der Gaußverteilung festgestellt (Kolmogorov-Smirnov-Test). Daher wurde diese als Median, 25 % - und 75 % - Perzentile angegeben. Zur Analyse wurden nichtparametrische Testverfahren eingesetzt. Das Signifikanzniveau wurde für einfache Testungen auf  $p < 0,05$  festgelegt.

Neben der Konsumhäufigkeit von säurehaltigen Getränken und Lebensmitteln wurden auch die Geschmackspräferenzen der Probanden ausgewertet. Zur Erleichterung der statistischen Analyse und Interpretation der Ergebnisse wurde die Fünf-Punkte-Likert-Skala in drei Kategorien zusammengefasst. Die Kategorien „stimme überhaupt nicht zu“ und „stimme eher nicht zu“ wurden zu „stimme nicht zu“ zusammengefasst, während „stimme

voll und ganz zu“ und „stimme eher zu“ zu „stimme zu“ kombiniert wurden. Die mittlere Kategorie „weder noch“ blieb bestehen.

Der Zusammenhang der Geschmackspräferenzen von T0 bis T3 wurde mithilfe der Kappa-Statistik und dem Intraklassen-Korrelation (ICC) analysiert. Um eine Korrelation zwischen den Aussagen „Ich trinke gerne saure Getränke.“ und „Ich esse gerne saure Lebensmittel.“ zu prüfen, wurde das Kandalls Tau angewandt. Zur Analyse des Verlaufs der Säureimpulse wurden nichtparametrische Friedman-ANOVA durchgeführt. Die Rangkorrelation nach Spearman wurde zur Korrelationsprüfung zwischen Säureimpulsen und dem Zahnverschleiß berechnet. Dies wurde ebenfalls bei der Korrelationsprüfung zwischen den Aussagen der Probanden zu Geschmackspräferenzen und maximalem vertikalen Zahnhartsubstanzverlust (MVZ), dem Zusammenhang zwischen Geschmackspräferenzen und Säureimpulsen und dem Zusammenhang zwischen Kaugummikauen, das Tragen einer Knirscherschiene oder Sodbrennen und dem MVZ durchgeführt.

#### ***4.6.2 Validierungsbögen***

Zur Überprüfung der Zuverlässigkeit der Ernährungsbögen wurde der ICC und deren 95 %-Konfidenzintervalle für die sauren Auswirkungen zu beiden Erhebungszeitpunkten auf der Grundlage eines 2-Wege-Mischeffektmodells mit Einzelbewertung und absoluter Übereinstimmung berechnet. Diese wurden für die sauren Auswirkungen zu beiden Erhebungszeitpunkten erhoben.

## 5 Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse der klinischen Studie erläutert. Erste Ergebnisse wurden bereits in der vorausgegangenen Dissertation von *SCHLENZ* veröffentlicht.<sup>6</sup> In Kapitel 5.1 wird an die Ergebnisse dieser Arbeit angeknüpft und um weitere Ergebnisse der intraoralen Scandaten zum Untersuchungszeitpunkt T2 und T3 ergänzt. In Kapitel 5.2 werden die Ergebnisse der Ernährungsbögen erläutert.

### 5.1 Ergebnisse und Auswertungen der Intraoralscans

Im Follow-up wurde nach 12 Monaten (T1)  $n = 91$  Intraoralscans (637 Flächen), nach 24 Monaten (T2)  $n = 81$  Intraoralscans (567 Flächen) und nach 36 Monaten (T3)  $n = 74$  Intraoralscans (518 Flächen) von ersten Unterkiefermolaren untersucht. Bei allen Untersuchungszeitpunkten wurde der maximalen vertikalen Zahnhartsubstanzverlust (MVZ) an sieben Stellen der ersten Unterkiefermolaren gemessen und die Morphologie der Zahnhartsubstanzverluste bestimmt. Hierbei wurde zwischen Facetten, Dellen und kombinierten Delle-Facette-Läsionen (KDFL) unterschieden.

Im Folgenden wird zunächst auf die Fallzahlen der nicht-kariesbedingten Zahnhartsubstanzverluste (NKBZ) und deren Morphologie eingegangen. Anschließend wird die Progression der NKBZ in Kapitel 5.1.2 beleuchtet.

#### ***5.1.1 Fallzahlen und Morphologie der nicht-kariesbedingten Zahnhartsubstanzverluste***

Zwischen allen Zeitpunkten konnte mittels Cochran Q Test gezeigt werden, dass NKBZ zwischen den untersuchten Arealen nicht zu gleichen Teilen auftritt ( $p < 0,001$ ). Zum Zeitpunkt T2 (24 Monaten) zeigten die tragenden Höcker am häufigsten Anzeichen von NKBZ. Dabei war vor allem der mesiobukkale Höcker betroffen. Die mesialen und distalen Randleisten zeigten nach wie vor am wenigsten Verschleiß. Dies zeigte sich ebenfalls zum Zeitpunkt T3 (36 Monaten). Morphologisch wurden nach 36 Monaten zu 67,1 % aller Flächen Facetten diagnostiziert. An 12,2 % der untersuchten Flächen kamen

außerdem Dellen und KDFL vor, von denen 10,8 % bzw. 33,8 % der mesiobukkalen Höcker betroffen waren (Tabelle 5.1).

Nach 36 Monaten zeigten alle  $n = 74$  untersuchten ersten Unterkiefermolaren makroskopisch Verschleißerscheinungen. Die tragenden Höcker zeigten dabei deskriptiv die meisten NKBZ am mesiobukkalen, gefolgt vom distobukkalen und distalen Höcker. Dies spiegelt sich auch in den Veränderungen der Defektmorphologie wider. Mesiobukkalen Höcker, welche sich zum Zeitpunkt T0 noch ohne Verschleiß darstellten, entwickelten zunächst Facetten. Zeigten diese jedoch schon zum Zeitpunkt T0 Facetten auf, entwickelten sie sich vereinzelt zu KDFL (Tabelle 5.1). Facetten behielten jedoch die Mehrheit der Defektformen. Dies konnte ebenfalls an den distobukkalen und distalen Höckern beobachtet werden. An den nicht-tragenden Höckern konnte ebenfalls eine Progression des Zahnverschleißes vom Zeitpunkt T0 zu T3 beobachtet. Dabei dominierten die Facetten-Läsionen. Am mesiolingualen Höcker konnte auch vereinzelt der Verlauf von keinem Verschleiß über Facetten zu KDFL beobachtet werden (Tabelle 5.1).

Tabelle 5.1 Kreuztabelle der Anzahl [n] und der gesamten prozentualen Verteilung der unterschiedlichen Defektmorphologien (Delle, Facette, kombinierte Delle-Facette-Läsion (KDFL)) der nicht-kariesbedingten Zahnhartsubstanzverluste (NKBZ) zu den Zeitpunkten T0 (Studienbeginn) und zum Zeitpunkt T3 (nach 36 Monaten) für die verschiedenen Arealen: mesiobukkalen (MB), mesiolingualen (ML), distobukkalen (DB), distolingualen (DL), distalen (D) Höcker (falls vorhanden), mesiale (MR) und distale Randleiste (DR)

Areal	Morphologie	Kein Hinweis auf NKBZ (T3)	Delle (T3)	Facette (T3)	Kombinierte Delle-Facette-Läsion (T3)	Gesamt (T0)
<b>MB</b>	Kein Hinweis auf NKBZ (T0)	0	0	5	0	5 (6,7%)
	Delle (T0)	0	8	0	5	13 (17,6%)
	Facette (T0)	0	0	36	3	39 (52,7%)
	KDFL (T0)	0	0	0	17	17 (23%)
	Gesamt (T3)	0 (0%)	8 (10,8%)	41 (55,4%)	25 (33,8%)	74
<b>ML</b>	Kein Hinweis auf NKBZ (T0)	9	0	19	2	30 (40,5%)
	Delle (T0)	0	2	1	0	3 (4,1%)
	Facette (T0)	0	0	38	1	39 (52,7%)

Ergebnisse

	KDFL (T0)	0	0	0	2	2 (2,7%)
	Gesamt (T3)	9 (12,2%)	2 (2,7%)	58 (78,4%)	5 (6,7%)	74
<b>DB</b>	Kein Hinweis auf NKBZ (T0)	2	0	8	0	10 (13,5%)
	Delle (T0)	0	0	0	0	0 (0%)
	Facette (T0)	0	0	55	3	58 (78,4%)
	KDFL (T0)	0	0	0	6	6 (8,1%)
	Gesamt (T3)	2 (2,7%)	0 (0%)	63 (85,1%)	9 (12,2%)	74
	<b>DL</b>	Kein Hinweis auf NKBZ (T0)	6	0	15	0
Delle (T0)		0	2	0	0	2 (2,7%)
Facette (T0)		0	0	47	0	47 (63,5%)
KDFL (T0)		0	0	0	4	4 (5,4%)
Gesamt (T3)		6 (8,1%)	2 (2,7%)	62 (83,8%)	4 (5,4%)	74
<b>D</b>	Kein Hinweis auf NKBZ (T0)	3	0	2	1	6 (10,3%)
	Delle (T0)	0	3	0	0	3 (5,2%)
	Facette (T0)	0	0	46	0	46 (79,3%)
	KDFL (T0)	0	0	1	2	3 (5,2%)
	Gesamt (T3)	3 (5,2%)	3 (5,2%)	49 (84,4%)	3 (5,2%)	58
<b>MR</b>	Kein Hinweis auf NKBZ (T0)	39	0	26	0	65 (87,8%)
	Delle (T0)	0	0	0	0	0
	Facette (T0)	0	0	9	0	9 (12,2%)
	KDFL (T0)	0	0	0	0	0
	Gesamt (T3)	39 (52,7%)	0	35 (47,3%)	0	74
<b>DR</b>	Kein Hinweis auf NKBZ (T0)	43	0	16	0	59 (79,7%)
	Delle (T0)	1	0	0	0	1 (1,4%)
	Facette (T0)	1	0	13	0	14 (18,9%)
	KDFL (T0)	0	0	0	0	0
	Gesamt (T3)	45 (60,8%)	0	29 (39,2%)	0	74

<b>Gesamt</b>	Kein Hinweis auf NKBZ (T0)	102	0	91	3	196 (39%)
	Delle (T0)	1	15	1	5	22 (4,4%)
	Facette (T0)	1	0	244	7	252 (50,2%)
	KDFL (T0)	0	0	1	31	32 (6,4%)
	Gesamt (T3)	104 (20,7%)	15 (3%)	337 (67,1%)	46 (9,2%)	502

Zum Zeitpunkt T0 zeigten 87,8 % der mesialen Randleisten keine Verschleißmorphologie auf. Von diesen entwickelten 40 % bis zum Zeitpunkt T3 eine Facettenläsion. Die distalen Randleisten zeigten einen ähnlichen Verlauf. 79,7 % zeigten zum Zeitpunkt T0 keinen Verschleiß, wovon 27,1 % bis zum Zeitpunkt T3 Facetten entwickelten (Tabelle 5.1). Auffällig war hierbei, dass sowohl bei der distalen als auch bei der mesialen Randleiste fast ausschließlich Facetten auftraten. Vier untersuchte Randleisten zeigten außerdem einen deutlich höheren Zahnhartsubstanzverlust auf ( $> 900 \mu\text{m}$ ), welche sich klinisch und auf den Intraoralscans als Makrofrakturen darstellten.

In Tabelle 5.2 wird das Vorkommen der unterschiedlichen Defektformen an den untersuchten Flächen zu Beginn der klinischen Studie (T0) und deren Entwicklung nach zwölf (T1), 24 (T2) und 36 Monaten (T3) dargestellt.

Tabelle 5.2: Fallzahlen [n] und prozentuale Verteilung der unterschiedlichen Defektmorphologien (Delle, Facette und kombinierte Delle-Facette-Läsion (KDFL)) der nicht-kariesbedingten Zahnhartsubstanzverlusten (NKBZ) zur Baseline (T0), nach 12 Monaten (T1), 24 Monaten (T2) und 36 Monaten (T3) an den sechs bzw. sieben Arealen: mesiobukkaler (MB), mesiolingualer (ML), distobukkaler (DB), distolingualer (DL), distaler (D) Höcker (falls vorhanden), mesiale Randleiste (MR) und distale Randleiste (DR)

Areal	Zeitpunkt	Kein Hinweis auf NKBZ	Delle	Facette	KDFL	Areal nicht angelegt
<b>MB</b>	T0	5 (6,8 %)	13 (17,6 %)	39 (52,7 %)	17 (23 %)	0
	T1	5 (6,8 %)	12 (16,2 %)	40 (54,1 %)	17 (23 %)	0
	T2	1 (1,4 %)	9 (12,2 %)	42 (56,8 %)	22 (29,7 %)	0
	T3	0 (0 %)	8 (10,8 %)	41 (55,4 %)	25 (33,8 %)	0
<b>ML</b>	T0	30 (40,5 %)	3 (4,1 %)	39 (52,7 %)	2 (2,7 %)	0
	T1	26 (35,1 %)	2 (2,7 %)	44 (59,5 %)	2 (2,7 %)	0

	T2	19 (25,7 %)	2 (2,7 %)	50 (67,6 %)	3 (4,1 %)	0
	T3	9 (12,2 %)	2 (2,7 %)	58 (78,4 %)	5 (6,8 %)	0
<b>DB</b>	T0	10 (13,5 %)	0	58 (78,4 %)	6 (8,1 %)	0
	T1	9 (12,2 %)	0	58 (78,4 %)	7 (9,5 %)	0
	T2	3 (4,1 %)	0	63 (85,1 %)	8 (10,8 %)	0
	T3	2 (2,7 %)	0	63 (85,1 %)	9 (12,2 %)	0
<b>DL</b>	T0	21 (28,4 %)	2 (2,7 %)	47 (63,5 %)	4 (5,4 %)	0
	T1	20 (27 %)	2 (2,7 %)	48 (64,9 %)	4 (5,4 %)	0
	T2	13 (17,6 %)	2 (2,7 %)	55 (74,3 %)	4 (5,4 %)	0
	T3	6 (8,1 %)	2 (2,7 %)	62 (83,8 %)	4 (5,4 %)	0
<b>D</b>	T0	6 (8,1 %)	3 (4,1 %)	47 (63,5 %)	3 (4,1 %)	15 (20,3 %)
	T1	4 (5,4 %)	3 (4,1 %)	48 (64,9 %)	4 (5,4 %)	15 (20,3 %)
	T2	4 (5,4 %)	3 (4,1 %)	48 (64,9 %)	4 (5,4 %)	15 (20,3 %)
	T3	3 (4,1 %)	3 (4,1 %)	50 (67,6 %)	3 (4,1 %)	15 (20,3 %)
<b>MR</b>	T0	65 (87,8 %)	0	9 (12,2 %)	0	0
	T1	62 (83,8 %)	0	12 (16,2 %)	0	0
	T2	56 (75,7 %)	0	18 (24,3 %)	0	0
	T3	39 (52,7 %)	0	35 (47,3 %)	0	0
<b>DR</b>	T0	59 (79,7 %)	1 (1,4 %)	14 (18,9 %)	0	0
	T1	55 (74,3 %)	0	19 (25,7 %)	0	0
	T2	52 (70,3 %)	0	22 (29,7 %)	0	0
	T3	45 (60,8 %)	0	29 (39,2 %)	0	0
<b>Gesamt</b>	T0	196 (37,8 %)	22 (4,3 %)	253 (48,8 %)	32 (6,2 %)	15 (2,9 %)
	T1	181 (34,9 %)	19 (3,7 %)	269 (51,9 %)	34 (6,6 %)	15 (2,9 %)
	T2	148 (28,6 %)	16 (3,1 %)	298 (57,5 %)	41 (7,9 %)	15 (2,9 %)
	T3	104 (20,1 %)	15 (2,9 %)	338 (65,2 %)	46 (8,9 %)	15 (2,9 %)

### 5.1.2 Progression des maximalen vertikalen Zahnhartsubstanzerlustes

Der MVZ stieg nach 12, 24 und 36 Monaten an. Jedoch war der MVZ in den ersten 12 Monaten am höchsten. Dieser sank vom Zeitpunkt T1 nach T2 deutlich ab und blieb vom Zeitpunkt T2 nach T3 auf einem ähnlich niedrigen Niveau.

Einen deutlichen Unterschied der Progression der NKBZ konnte an den verschiedenen Arealen mittels nichtparametrischer ANOVA mit Messwiederholungen (Friedman-Test) von den MVZ zu den Zeitpunkten T0-T1 ( $p < 0,001$ ), T0-T2 ( $p < 0,001$ ), T1-T2 ( $p < 0,001$ ) und T2-T3 ( $p = 0,02$ ) festgestellt werden. Eine Ausnahme bildete die MVZ vom Zeitpunkt T0 nach T3 ( $p = 0,16$ ). Der mesiobukale Höcker wies zu jedem Zeitpunkt den höchsten Median auf gefolgt vom distobukkalen Höcker (Tabelle 5.3). Die mesialen und distalen Randleisten zeigten einen hohen Zahnhartsubstanzverlust zwischen dem Untersuchungszeitpunkt T2 und T3. In diesem Zeitraum entstanden an vier Untersuchungszähnen Zahnhartsubstanzverluste von über 900  $\mu\text{m}$ . Diese konnten klinisch als Makrofrakturen erkannt werden.

Tabelle 5.3 Medianwerte, maximale und minimale Werte, 25 % und 75 % Perzentile der maximalen vertikalen Zahnhartsubstanzverluste (MVZ) [ $\mu\text{m}$ ] für den 12-monatigen (T0-T1), 24-monatigen (T0-T2) und 36-monatigen (T0-T3) Beobachtungszeitraum an den Arealen (mesiobukkaler (MB), mesiolingualer (ML), distobukkaler (DB), distolingualer (DL), ggf. distaler (D) Höcker, mesiale (MR) und distale (DR) Randleiste)

Zeit- raum	Areal	Min.	25%	Median [ $\mu\text{m}$ ]	75%	Max.
T0-T1	MB	0	33	41	53	183
	ML	0	0	36	44	504
	DB	0	26	37	45	120
	DL	0	0	35	47	285
	D	0	0	31	42	287
	MR	0	0	0	0	205
	DR	0	0	0	19	1485
T0-T2	MB	0	40	59	82	178
	ML	0	0	39	53	1213
	DB	0	39	46	62	242
	DL	0	33	44	65	291
	D	0	0	38	49	511
	MR	0	0	0	0	264
	DR	0	0	0	36	237
T0-T3	MB	23	49	66	101	218
	ML	28	43	54	71	1263
	DB	27	44	57	83	206

	DL	19	42	56	80	292
	D	26	40	54	76	1372
	MR	27	47	59	71	1490
	DR	25	49	62	72	247

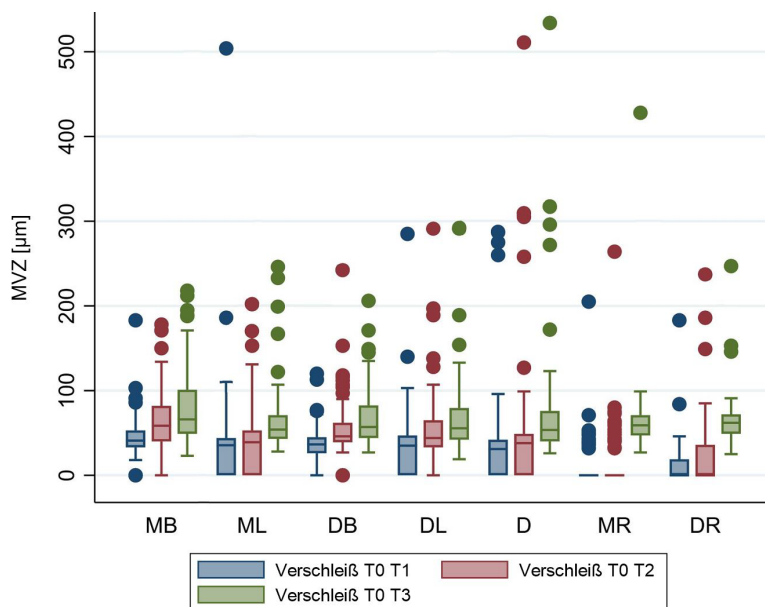


Abbildung 5.1 Boxplot-Diagramm der maximalen vertikalen Zahnhartsubstanzverluste (MVZ) [ $\mu\text{m}$ ] für  $n = 74$  Untersuchungszähne nach 12 Monaten (blau), 24 Monaten (rot) und 36 Monaten (grün) bei den sieben Untersuchungsbereichen (mesiobukkaler (MB), mesiolingualer (ML), distobukkaler (DB), distolingualer (DL) und ggf. distaler (D) Höcker, mesiale Randleiste (MR) und distale Randleiste (DR)); Datenausschnitt bis 500  $\mu\text{m}$

Die Defektformen zeigten unterschiedliche Progressionen von NKBZ. Durch die Berechnungen mittels nichtparametrischer ANOVA nach Kruskal-Wallis konnte ein signifikanter Unterschied bei der Progression von unterschiedlichen Defektformen am mesiobukkalen Höcker vom Zeitpunkt T0-T1, T0-T2 und T0-T3 festgestellt werden ( $p < 0,05$ ). KDFL und Dellen zeigten höhere MVZ als Facetten auf. KDFL zeigten die höchsten MVZ.

Männer erreichten höhere MVZ als Frauen außer im letzten Beobachtungsjahr (zwischen T2 und T3). Diese Unterschiede erreichten mittels Mann-Whitney-Tests zwischen dem Zeitpunkt T0-T2 ( $p = 0,01$ ) und T1-T2 ( $p < 0,001$ ) statistische Signifikanz.

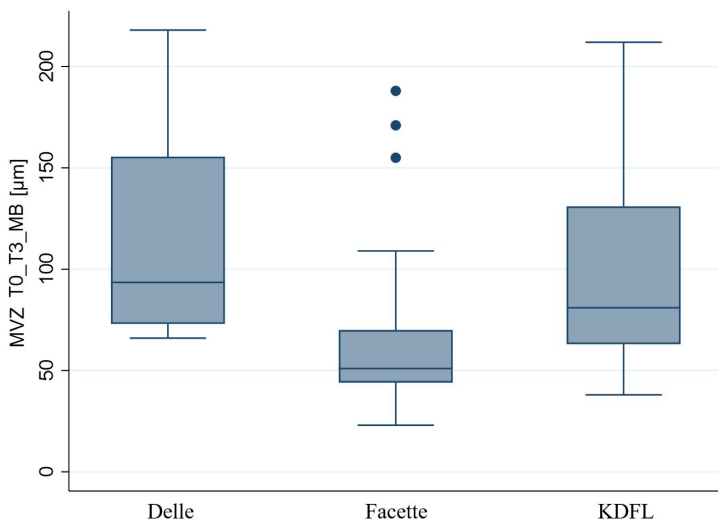


Abbildung 5.2 Maximaler vertikaler Zahnhartsubstanzverlust (MVZ) [ $\mu\text{m}$ ] der unterschiedlichen Läsionsformen (Delle, Facette, kombinierte Delle-Facette-Läsion (KDFL)) am mesiobukkalen (MB) Höcker nach 36 Monaten (T0-T3)

Tabelle 5.4 Deskriptive Statistik für die unterschiedlichen Defektformen (Delle, Facette, kombinierte Delle-Facette-Läsion (KDFL)) zu den unterschiedlichen Untersuchungszeitpunkten (T0-T1, T0-T2, T0-T3) an den sieben Arealen mesiobukkaler (MB), mesiolingualer (ML), distobukkaler (DB), distolingualer (DL), ggf. distaler (D) Höcker, mesiale Randleiste (MR), distale Randleiste (DR), \* kein Wert verfügbar

Areal	Untersuchungszeitraum	Defektform	Anzahl	Min.	25 % Perzentil	Median [ $\mu\text{m}$ ]	75 % Perzentil	Max.
MB	T0-T1	Delle	12	35	39	<b>48</b>	53	69
		Facette	39	18	32	<b>37</b>	49	183
		KDFL	17	24	45	<b>56</b>	64	91
	T0-T2	Delle	9	47	56	<b>60</b>	87	123
		Facette	42	22	37	<b>42</b>	65	178
		KDFL	22	36	61	<b>76</b>	102	150

Ergebnisse

	T0-T3	Delle	8	66	73	<b>94</b>	156	218
		Facette	41	23	44	<b>51</b>	70	188
		KDFL	25	38	63	<b>81</b>	131	212
ML	T0-T1	Delle	2	43	43	<b>67</b>	91	91
		Facette	44	9	36	<b>42</b>	53	504
		KDFL	2	41	41	<b>42</b>	43	43
	T0-T2	Delle	2	97	97	<b>125</b>	153	153
		Facette	50	28	37	<b>50</b>	64	1213
		KDFL	3	36	36	<b>37</b>	37	37
	T0-T3	Delle	2	122	122	<b>184</b>	246	246
		Facette	58	28	42	<b>53</b>	69	1263
		KDFL	5	36	47	<b>49</b>	55	107
DB	T0-T1	Delle	0	/*	/*	/*	/*	/*
		Facette	58	11	31	<b>38</b>	50	120
		KDFL	7	23	40	<b>44</b>	59	77
	T0-T2	Delle	0	/*	/*	/*	/*	/*
		Facette	63	27	39	<b>46</b>	60	242
		KDFL	8	38	50	<b>72</b>	101	112
	T0-T3	Delle	0	/*	/*	/*	/*	/*
		Facette	63	27	43	<b>54</b>	81	206
		KDFL	9	43	56	<b>75</b>	135	149
DL	T0-T1	Delle	2	47	47	<b>67</b>	87	87
		Facette	48	20	33	<b>40</b>	48	285
		KDFL	4	20	33	<b>40</b>	47	50
	T0-T2	Delle	2	74	74	<b>136</b>	197	197
		Facette	55	24	36	<b>46</b>	70	291
		KDFL	4	36	43	<b>53</b>	56	56
	T0-T3	Delle	2	26	26	<b>159</b>	292	292
		Facette	62	19	42	<b>54</b>	79	291
		KDFL	4	45	53	<b>62</b>	71	80
D	T0-T1	Delle	3	44	44	<b>47</b>	52	52
		Facette	48	16	30	<b>34</b>	45	287
		KDFL	4	28	34	<b>46</b>	74	96
	T0-T2	Delle	3	49	49	<b>55</b>	86	86
		Facette	48	14	35	<b>41</b>	51	511

	T0-T3	KDFL	4	41	48	<b>55</b>	91	127
		Delle	3	44	44	<b>67</b>	84	84
		Facette	50	26	39	<b>53</b>	76	1372
		KDFL	3	49	49	<b>57</b>	112	112
MR	T0-T1	Delle	0	/*	/*	/*	/*	/*
		Facette	12	32	39	<b>42</b>	52	205
		KDFL	0	/*	/*	/*	/*	/*
	T0-T2	Delle	0	/*	/*	/*	/*	/*
		Facette	18	32	41	<b>53</b>	64	264
		KDFL	0	/*	/*	/*	/*	/*
	T0-T3	Delle	0	/*	/*	/*	/*	/*
		Facette	35	27	47	<b>59</b>	71	1490
		KDFL	0	/*	/*	/*	/*	/*
DR	T0-T1	Delle	0	/*	/*	/*	/*	/*
		Facette	19	19	31	<b>38</b>	46	1485
		KDFL	0	/*	/*	/*	/*	/*
	T0-T2	Delle	0	/*	/*	/*	/*	/*
		Facette	22	31	42	<b>49</b>	70	237
		KDFL	0	/*	/*	/*	/*	/*
	T0-T3	Delle	0	/*	/*	/*	/*	/*
		Facette	29	25	49	<b>62</b>	72	247
		KDFL	0	/*	/*	/*	/*	/*

## 5.2 Ergebnisse der Ernährungsbögen

### 5.2.1 Ernährungsbögen der Hauptstudie

#### Vergleich der Ernährungsgewohnheiten von T0 bis T3

Zum Zeitpunkt T0 stimmten 44,3 %, zum Zeitpunkt T1 50,0 %, zum Zeitpunkt T2 45,7 % und zum Zeitpunkt T3 48,6 % der Probanden der Aussage „Ich esse saure Lebensmittel gerne.“ zu. Der Friedman Test ergab keinen signifikanten Unterschied bei den Aussagen der verschiedenen Untersuchungszeitpunkte ( $p = 0,44$ ).

Im Rahmen des Vergleichs der Säureimpulse zeigte der Friedman Test ebenfalls keinen signifikanten Unterschied zwischen den Untersuchungszeitpunkten ( $p = 0,30$ ) (Tabelle 5.5).

Tabelle 5.5 Deskriptive Statistik zur Anzahl der Säureimpulse durch Getränke, Speisen und die Gesamtsäureimpulse zu den unterschiedlichen Untersuchungszeitpunkten zu Beginn der Studie (T0), nach 12 Monaten (T1), nach 24 Monaten (T2) und nach 36 Monaten (T3)

	Zeitpunkt	Min.	25 % Perzentil	Median	75 % Perzentil	Max.
<b>Säureimpulse durch Getränke</b>	T0	0,09	0,43	<b>0,97</b>	1,7	10,2
	T1	0,00	0,59	<b>0,95</b>	1,6	11,7
	T2	0,02	0,36	<b>1,1</b>	1,7	7,1
	T3	0,07	0,36	<b>0,94</b>	1,4	10,2
<b>Säureimpulse durch Speisen</b>	T0	0,14	0,86	<b>1,4</b>	2,1	5,4
	T1	0,14	0,93	<b>1,4</b>	2,6	6,2
	T2	0,07	0,79	<b>1,5</b>	2,4	6,2
	T3	0,28	0,86	<b>1,1</b>	2,2	7,6
<b>Säureimpulse insgesamt</b>	T0	0,42	1,5	<b>2,5</b>	4,3	11,5
	T1	0,64	1,9	<b>3,0</b>	4,4	13,9
	T2	0,52	1,7	<b>2,7</b>	4,3	9,1
	T3	0,42	1,5	<b>2,5</b>	4,0	11,1

Der Kappa-Koeffizient für „Ich esse gerne saure Lebensmittel“ und „Ich trinke gerne saure Getränke“ von den vier Untersuchungszeitpunkten beträgt 0,57 (95 % Konfidenzintervall 0,44; 0,69) und 0,40 (95 % Konfidenzintervall 0,26; 0,55). Dies lässt auf einen

moderaten Zusammenhang schließen. Die Kendalls Tau Korrelationsanalyse zeigte eine geringe bis mittlere Korrelation der beiden Aussagen „Ich esse gerne saure Lebensmittel“ und „Ich trinke gerne saure Getränke“. Das Ergebnis zeigte außerdem einen signifikanten Zusammenhang zwischen den beiden Aussagen zum Zeitpunkt T1, T2 und T3 (Tabelle 5.6).

Tabelle 5.6 Ergebnisse der Kendalls Tau Korrelationsanalyse zu den Untersuchungszeitpunkten T0, T1, T2 und T3 mit den Tau b und p Werten

Zeitpunkt	Tau b	p
T0	0,17	0,163
T1	0,35	0,003
T2	0,44	< 0,001
T3	0,55	< 0,001

#### Vergleich der Geschmackspräferenzen mit der Konsumhäufigkeit

Mittels Spearman Korrelationen wurde der Zusammenhang zwischen den Geschmackspräferenzen und den Säureimpulsen auf Signifikanz geprüft. Eine Korrelation wurde lediglich zum Zeitpunkt T0 zwischen der Aussage „Ich verzehre primär säurearme Lebensmittel.“ und mit dem Getränke-Säureimpuls ( $p = 0,03$ ), dem Speisen-Säureimpuls ( $p = 0,04$ ) und dem Gesamt-Säureimpuls ( $p = 0,004$ ) festgestellt. Die Aussage „Ich esse gerne saure Lebensmittel“ hatte nur zum Zeitpunkt T1 eine signifikante Korrelation zum Getränke Säureimpuls ( $p = 0,002$ ). Zu den Aussagen „Ich trinke gerne saure Getränke“, „Saure Lebensmittel sind gesund.“ und „Bei der Lebensmittelauswahl spielt die Auswirkung auf meine Zähne eine große Rolle“ konnte keine Korrelation mit den Säureimpulsen festgestellt werden.

#### Zusammenhang Säureimpulse mit dem Zahnhartsubstanzverlust

Mittels Spearman Korrelationen wurde ebenso ein Zusammenhang zwischen den Säureimpulsen und dem maximalen vertikalen Zahnhartsubstanzverlust (MVZ) überprüft. Dazu wurde der Gesamtverlust als Summe der MVZ an den sieben Arealen mit den Säureimpulsen verglichen. Dies wurde sowohl prospektiv als auch retrospektiv berechnet. Prospektiv wurde der Einfluss des Säureimpulses zum Zeitpunkt T0/T1/T2 auf den im darauffolgenden Zeitraum entstandenen MVZ (bspw. Säureimpulse T0 zu MVZ T0-T1)

berechnet. Retrospektiv wurden der Einfluss von den Säureimpulsen T1/T2/T3 auf den im vorangegangenen Zeitraum entstandenen MVZ (bspw. Säureimpulse T1 zu MVZ T0-T1) berechnet. Der einzige signifikante Zusammenhang konnte zwischen dem Speise-Säureimpuls vom Zeitpunkt T3 zu dem MVZ T2-T3 hergestellt werden ( $p = 0,03$ ).

Auch bei den Berechnungen mittels Spearman Korrelationen zu dem Einfluss von Kaugummikauen, Knirscherschiene oder Sodbrennen, im Verhältnis zum gesamten MVZ, konnte kein signifikanter Zusammenhang nachgewiesen werden. Es konnte nur eine einzige signifikante Korrelation zwischen dem Kaugummikauen zum Zeitpunkt T2 zu dem gesamten MVZ T2-T3 festgestellt werden ( $\rho = -0,28$ ;  $p = 0,02$ ;  $n = 74$ ).

#### Zusammenhang Geschmackspräferenzen mit dem Zahnhartsubstanzverlust

Der Zusammenhang der Geschmackspräferenzen mit dem Zahnhartsubstanzverlust wurde mittels Spearman-Korrelation geprüft. Dabei wurde die Beurteilung der Aussagen „Ich esse gerne saure Lebensmittel.“, „Ich trinke gerne saure Getränke.“ und „Saure Lebensmittel sind gesund.“ mit dem MVZ auf Signifikanz geprüft. Sowohl in der prospektiven als auch in der retrospektiven Analyse wurde keine signifikante Korrelation zwischen dem MVZ und der Zustimmung zu den Aussagen gefunden. Lediglich die Zustimmung der Aussage „Ich trinke gerne saure Getränke“ zum Zeitpunkt T2 (nach 24 Monaten) erreichte eine signifikante Korrelation zu der Summe des MVZ der Messstellen vom Untersuchungszeitpunkt T1-T2 ( $\rho = -0,26$ ;  $p = 0,04$ ;  $n = 60$ ).

### **5.2.2 Validierungsbögen**

Die berechnete Intraklassen-Korrelation (ICC) weist auf eine mäßige bis gute Zuverlässigkeit hin<sup>174</sup>: Säureeinwirkungen durch Getränke: ICC = 0,80 (0,61; 0,90), Säureeinwirkungen durch Lebensmittel: ICC = 0,65 (0,38; 0,82), alle Säureeinwirkungen: ICC = 0,81 (0,63; 0,91). Die Kappa-Werte zeigen ebenfalls eine mäßige Übereinstimmung.<sup>175</sup> Für „Ich trinke gerne säurehaltige Getränke“ betrug der ICC 0,44 und für „Ich esse gerne säurehaltige Lebensmittel“ 0,41.

### 5.3 Zusammenfassung der Ergebnisse

Die deskriptive Statistik zeigte bereits eine unterschiedliche Verteilung der nicht-kariesbedingten Zahnhartsubstanzverluste (NKBZ) an den unterschiedlichen Arealen des Zahnes. Durch die Analyse mittels Cochran-Q-Test kann die erste aufgestellte Nullhypothese abgelehnt und ihre Alternativhypothese angenommen werden: NKBZ kommen an den untersuchten Stellen des Zahnes zu unterschiedlichen Teilen vor. Der mesiobukkale Höcker zeigte zum Zeitpunkt T1 und T2 am häufigsten NKBZ. Zum Zeitpunkt T3 zeigten alle untersuchten Molaren am mesiobukkalen Höcker Zahnhartsubstanzverlust auf. Die distalen und mesialen Randleisten zeigten deskriptiv am wenigsten NKBZ. Zum Zeitpunkt T3 zeigten 39 mesiale und 45 distale Randleisten keine Form von Zahnhartsubstanzverlust. Tragende Höcker zeigten im Vergleich zu nicht tragenden Höckern deutlich häufiger NKBZ. Die Progression der NKBZ zeigten ebenfalls einen signifikanten Unterschied zwischen den sieben untersuchten Arealen. Der mesiobukkale Höcker zeigte im Median die höchsten maximalen vertikalen Zahnhartsubstanzverlust (MVZ).

Morphologisch zeigten die unterschiedlichen Defektformen in ihrer Progression signifikante Unterschiede am mesiobukkalen Höcker im Zeitraum T0-T1, T0-T2 und T0-T3 ( $p < 0,05$ ). Am distobukkalen und mesiolingualen Höcker zeigten nur die Daten von T0-T2 signifikante Unterschiede in der Progression der verschiedenen Defektformen ( $p < 0,05$ ). An allen anderen Arealen zeigte sich zu keinem Zeitpunkt ein signifikanter Unterschied. Somit kann die zweite aufgestellte Nullhypothese nur in Bezug auf den mesiobukkalen Höcker abgelehnt und die Alternativhypothese angenommen werden.

Bei den Auswertungen der Ernährungsbögen zeigten die Validierungsbögen eine mäßige bis gute Zuverlässigkeit der Angaben der Probanden. Bei der Auswertung der Ernährungsbögen der klinischen Studie spiegelten sich die Aussagen der Probanden zu den Geschmackspräferenzen kaum in den Aussagen der Konsumhäufigkeiten mittels Säureimpuls-Index wider. Eine signifikante Korrelation konnte lediglich bei der Aussage „Ich verzehre primär säurearme Lebensmittel.“ im Zusammenhang mit den Säureimpulsen festgestellt werden ( $p < 0,05$ ). Somit kann die dritte Nullhypothese „Bei den Angaben in den Ernährungsbögen zu den Geschmackspräferenzen besteht kein Zusammenhang zu den Angaben des Konsumverhaltens“ nicht abgelehnt werden.

Es wurde ebenfalls kein signifikanter Zusammenhang zwischen der Säureaufnahme der Teilnehmer und dem Verlust der Zahnhartsubstanz festgestellt. Somit kann auch die letzte aufgestellte Nullhypothese nicht abgelehnt werden.

## 6 Diskussion

### 6.1 Methodikdiskussion

In den folgenden Kapiteln wird zunächst der Aufbau der intraoralen Untersuchung (Kapitel 6.1.1), die Probanden- und Zahnauswahl (Kapitel 6.1.2 und 6.1.3) und die Durchführung der Intraoralscans (Kapitel 6.1.4) diskutiert. Anschließend folgt die Diskussion der Analyse der Scandatensätze (Kapitel 6.1.5) und die Gestaltung und Durchführung der Ernährungsfragebögen (Kapitel 6.1.6). Im letzten Kapitel der Methodikdiskussion wird die statistische Auswertung diskutiert (Kapitel 6.1.7).

#### **6.1.1 Aufbau der intraoralen Untersuchung**

Nicht-kariesbedingte Zahnhartsubstanzverluste (NKBZ) zeichnen sich durch einen Zahnhartsubstanzverlust aus, welcher durch chemische oder mechanische Prozesse entsteht.<sup>8</sup> Zur Diagnostik stehen bisher verschiedene Indizes (BEWE, TWES) zur Verfügung.<sup>63, 65</sup> Bei diesen können NKBZ vom Behandelten in unterschiedliche Schweregrade eingeteilt werden. Diese Einteilung findet statt, sobald die NKBZ makroskopisch sichtbar werden und ist subjektiv von der Beurteilung des Behandlers abhängig. Deshalb werden NKBZ in der Regel erst spät erkannt und frühe präventive Maßnahmen sind oft nicht mehr möglich. Intraoralscanner (IOS) können durch ihr Mikrometer-genaues Messen eine frühzeitige Erkennung von NKBZ ermöglichen. Durch die fortschreitende Etablierung der IOS in deutschen Zahnarztpraxen könnte diese Methode gut in den Praxisalltag integriert werden und bietet eine deutlich zeitsparende und unkomplizierte Alternative zu in vitro durchgeführten Messtechniken, wie beispielsweise der optischen Profilometrie. Des Weiteren ist hierdurch eine quantitative Bestimmung von NKBZ möglich und die Beurteilung obliegt nicht mehr der fehleranfälligen subjektiven Betrachtung des Behandelnden.

In der vorliegenden in vivo Studie wurde das Voranschreiten von NKBZ mit Hilfe des IOS *Trios 3* (3Shape, Kopenhagen, Dänemark) gemessen. Dafür wurden 74 erste Unterkiefermolaren von Probanden zur Baseline (T0) und zu drei Recall-Terminen (T1-T3) in einem Zeitraum von 36 Monaten ( $1111 \pm 10$  Tage) untersucht und gescannt. Durch eine Überlagerung in der externen Software *GOM Inspect* (GOM GmbH, Braunschweig) konnte der maximale vertikale Zahnhartsubstanzverlust (MVZ) gemessen werden. Dabei

konnte die Progression auf den verschiedenen Höckern und den Randleisten des Zahnes bestimmt und verglichen werden. Außerdem wurde in der vorliegenden Studie zwischen den unterschiedlichen Defektformen (Delle/Facette/kombinierte Delle-Facette-Läsion) unterschieden. Auf eine Volumenbestimmung mit der frei zur Verfügung stehenden Software *WearCompare* (University of Leeds, UK) wurde aufgrund der eingeschränkten Reproduzierbarkeit verzichtet.<sup>78</sup>

Zur Auswertung der NKBZ wurden ausschließlich die Okklusalflächen der Unterkiefermolaren analysiert und überlagert. Dabei wurde das Auftreten der NKBZ durch ihre typischen Erkennungsmerkmale bestimmt. Alle drei untersuchten Morphologien von Zahnhartsubstanzverlusten können auf den Okklusalflächen von ersten Unterkiefermolaren auftreten. Attritionen kommen durch den nötigen Zahn-zu-Zahn-Kontakt meistens auf den Okklusalflächen der Zähne vor. Abrasionen und dentale Erosionen können ebenfalls mittels typischer Erkennungsmerkmalen auf den Zähnen auftreten. Treten mehrere NKBZ an der gleichen Stelle auf, sprechen wir von einem Kombinationsverlust.

Durch die Speicherung der Daten auf dem lokalen Netzwerk der Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik der Justus-Liebig-Universität in Gießen unter einer Fallnummer, welche dem Probanden zugeteilt wurde, konnte eine Anonymisierung der Daten durchgeführt werden. Diese wurden ausschließlich für die vorliegende Studie verwendet und wurden zu keinem Zeitpunkt Dritten zugänglich gemacht.

### **6.1.2 Probandenauswahl**

Die deutsche Mundgesundheitsstudie untersuchte ca. 4600 Menschen aus unterschiedlichsten Schichten auf orale Erkrankungen. In dieser Studie wurden zwischen Menschen im Alter von 12, 35-44, 65-74 und 75-100 Jahren unterschieden. Eine Altersgruppe der jungen Erwachsenen wurde jedoch nicht berücksichtigt. Konkret betrifft dies die Altersspanne von 12 bis 35 Jahren.<sup>1</sup> 17,9 % der Zwölfjährigen und 44,8 % der 35-44-Jährigen weisen schon mindestens einen Zahn mit dentalen Erosionsmerkmalen auf.<sup>1</sup> Dieser Anstieg lässt vermuten, dass im Alter zwischen 12 und 35 Jahren ein hohes Risiko für das Auftreten und Entstehen von Erosionsläsionen besteht. Vor allem im jungen Erwachsenenalter beginnt mit dem Auszug aus dem Elternhaus eine neuen Lebensphase, welche durch viele Veränderungen und Umstellungen geprägt ist. Dies kann sich im Essensverhalten der jungen Erwachsenen widerspiegeln und Erosionsläsionen begünstigen. Um

diese Altersgruppe genauer zu untersuchen und Erosionsläsionen frühzeitig zu erkennen, wurde das Alter zum Zeitpunkt T0 auf 18 - 25 Jahre begrenzt.

In der Literatur wurde eine höhere Wahrscheinlichkeit von NKBZ bei Männern festgestellt.<sup>1, 176</sup> Zu Beginn der Studie lag der Anteil der männlichen Probanden bei 38 %, zum Zeitpunkt T1 bei 38,5 %, zum Zeitpunkt T2 bei 35,8 % und zum Zeitpunkt T3 bei 37,8 %. Da die Mehrzahl der Studienteilnehmer dem weiblichen Geschlecht angehörte, kann dies zu niedrigeren Fallzahlen und einem geringeren Prozentsatz von NKBZ führen.

Zum Zeitpunkt T0 wurden 109 Intraoralscans von Teilnehmern durchgeführt. Diese Zahl hat sich im zeitlichen Verlauf der Studie reduziert. Aufgrund von Studienortwechslern konnten die Probanden nicht zu den Folgeuntersuchungen erscheinen oder großflächige Füllungen auf dem Untersuchungszahn führten zu einem Ausschluss aus der Studie. Zum Zeitpunkt T1 beläuft sich die Zahl der auswertbaren Intraoralscans auf 91, zum Zeitpunkt T2 auf 81 und zum Zeitpunkt T3 auf 74. Bisher veröffentlichte Studien zur quantitativen Analyse von NKBZ an natürlichen Zähnen mittels IOS weisen eine Teilnehmerzahl von 30-70 auf.<sup>11, 69, 130, 135</sup> Deshalb wird angenommen, dass die Fallzahl von 74 ausreichend ist, um wissenschaftliche Evidenzen aufzuzeigen.

Probanden, welche sich zu einem Untersuchungszeitpunkt in kieferorthopädischer Behandlung befanden und ein Befestigungselement am Untersuchungszahn befestigt war, wurden nicht in die Studie aufgenommen. Da während einer kieferorthopädischen Behandlung keine konstanten Okklusionsverhältnisse vorliegen und ein angeklebtes Befestigungselement die Best-Fit-Überlagerung beeinflusst, kann dies zu abweichenden bzw. fehlerhaften Angaben von Progression von Attritionsläsionen führen. Die Überlagerung der Scandatensätze wäre somit nicht möglich.

Probanden mit Essstörungen wie der Bulimia nervosa wurden ebenfalls aus der Studie ausgeschlossen. *RYTÖMAA et al.* zeigten, dass schwere Erosionen bei Patienten mit Bulimia nervosa häufiger auftreten als bei der Kontrollgruppe.<sup>177</sup> Durch das Einwirken der Magensäure auf den Zahn wird die Zahnhartsubstanz aufgelöst. *BARTLETT et al.* zeigten, dass die Magensäure mit einem mittleren pH-Wert von 2,92 aus der Zahnhartsubstanz mehr Kalzium freisetzt als ein kohlenensäurehaltiges Erfrischungsgetränk mit einem pH-Wert von 2,45.<sup>178</sup>

Alle Probanden befanden sich zu Beginn der Studie im Studium und somit in einer für junge Erwachsenen typischen Wechsel der Lebensphase. Außerdem hatten die Probanden

weder berufsbedingten Ernährungsgewohnheiten noch Allgemeinerkrankungen, die das Ergebnis der Studie beeinflussen könnten. Somit stellten die Probanden eine repräsentative Studiengruppe für junge Erwachsene dar. Zudem zeigten sie eine gute Mundhygiene ohne sichtbaren Zahnstein oder Plaque. Außerdem putzten die Probanden vor jedem Untersuchungstermin die Zähne, damit vorhandene Zahnbeläge die vertikale Dimensionsveränderung der Zähne nicht verfälscht.

### **6.1.3 Untersuchungszahn**

*GANSS et al.* untersuchten die Prävalenz und Inzidenz von Zahnerosionen bei Kindern und Jugendlichen anhand von 1000 kieferorthopädischen Studienmodellen. Dabei stellten sie fest, dass die ersten Unterkiefermolaren am stärksten von Erosionen betroffen waren und daher als Markerzähne für das Auftreten von Zahnerosionen benannt wurden.<sup>13</sup> *KHAN et al.* bestätigte ebenfalls, dass der erste Unterkiefermolar Hinweise auf das Erkrankungsalter und den Schweregrad von Zahnerosionen geben kann.<sup>26</sup> Diese Ergebnisse wurden durch weitere Studien bestätigt.<sup>69, 170, 179</sup> *MARTIGNON et al.* zeigten, dass durch die Bewertung der Markerzähne bei jungen Erwachsenen ein Zusammenhang zwischen dem täglichen Verzehr von Nahrungssäuren und erosivem Zahnverschleiß nachgewiesen werden kann.<sup>179</sup> Aufgrund der genannten Ergebnisse wurde in der vorliegenden Studie jeweils ein erster Unterkiefermolar intraoral gescannt. Erfüllten sowohl Zahn 36 als auch Zahn 46 die Einschlusskriterien der Studie, wurde der Zahn 36 als Untersuchungszahn ausgewählt. Somit wurden nach zwölf Monaten 54 linke (*Fédération Dentaire Internationale* (FDI) #36) und 37 rechte (FDI #46), nach 24 Monaten 50 linke und 31 rechte und nach 36 Monaten 46 linke und 28 rechte erste Unterkiefermolaren gescannt. Bei der Analyse wurde in jeweils sieben Bereichen des Zahnes der MVZ berechnet. Dabei wurde der Zahn in die fünf Höcker (mesiobukkal, mesiolingual, distobukkal, distolingual und distal) und die zwei Randleisten (mesiale und distale Randleiste) unterteilt. Somit können die Zähne selektiv beurteilt werden, was einen Vergleich der Ausprägung von NKBZ zwischen tragenden und nicht-tragenden Höckern ermöglicht. Zudem sollte in dieser Studie NKBZ an Unterkiefermolaren festgestellt werden, die einen natürlichen okkludierten Antagonisten und keine ausgeprägten zahnmedizinischen Restaurationen aufwiesen.

#### 6.1.4 Durchführung der Intraoralscans

Die klinischen Untersuchungstermine wurden in einem Abstand von zwölf Monaten mit einem Toleranzbereich von  $\pm$  sechs Wochen durchgeführt. Zwischen T0 und T1 lag der mittlere Beobachtungszeitraum bei  $369 \pm 19$  Tage, zwischen T0 und T2 bei  $747 \pm 9$  Tagen und zwischen T0 und T3 bei  $1111 \pm 10$  Tagen. Insgesamt wurden vier Untersuchungstermine mit 74 Probanden durchgeführt und ausgewertet. Bisher veröffentlichte Längsschnittstudien zum Monitoring von Zahnverschleiß am natürlich bezahnten Gebiss zeigten eine Recallintervallsspanne von sechs bis 36 Monaten.<sup>11, 69, 72, 75, 77, 130, 135, 180-182</sup> Die meisten Studienmodelle führten jedoch nur einen Recalltermin nach der Baseline-Untersuchung durch. Dabei kann zwar ein Zahnverschleiß zwischen den zwei Untersuchungsterminen festgestellt werden, jedoch ist eine quantitative Analyse der Entwicklung und des Verlaufs des Zahnverschleißes über einen längeren Zeitraum nicht möglich.

Bei allen Untersuchungsterminen wurde zunächst der Untersuchungszahn nach möglichen Ausschlusskriterien, beispielsweise neuen Füllungen und möglichen Plaqueablagerungen, untersucht. Anschließend wurden die Untersuchungszähne durch Speichelsauger und Luftpüster relativ trockengelegt, um eine Lichtreflektion im Speichel und eine Veränderung der Oberflächenstruktur zu verhindern.<sup>183</sup> Daraufhin wurde die digitale Abformung mittels IOS durchgeführt. Zu Beginn der klinischen Studie zeigte der *Trios 3* (3Shape) im Vergleich zu anderen IOS die beste Präzision und Richtigkeit.<sup>107, 184, 185</sup> Aktuelle Studien zeigten, dass viele IOS auf kurzen Strecken eine hohe Präzision und Richtigkeit aufweisen. Omnicam (Dentsply Sirona, Bensheim) und Primescan (Dentsply Sirona) zeigten eine ähnliche Präzision wie Laborscanner.<sup>186</sup> Um eine gleichbleibende Qualität zu erzielen und eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu ermöglichen, wurde der IOS während der klinischen Studie nicht gewechselt. Software-Updates wurden während der Studie ebenfalls nicht durchgeführt, um eine potenzielle Fehlerquelle und Verfälschungen der Ergebnisse zu verhindern.

Vor der Benutzung des IOS wurde dieser auf Betriebstemperatur hochgefahren und nach Herstellerangaben kalibriert, wodurch die Genauigkeit der Intraoralscans signifikant gesteigert wird.<sup>88</sup> Vor dem Scanvorgang wurde außerdem die Behandlungsleuchte ausgeschaltet. *REVILLA-LEON et al.* zeigten, dass durch das Ausschalten der Behandlungsleuchte die Scangenaugigkeit des *Trios 3* erhöht wird.<sup>91</sup> Im selben Jahr veröffentlichten *WESEMANN et al.* jedoch eine Studie, die zeigte, dass das Umgebungslicht keine Veränderung der generierten Scandatensätze des *Trios 3* bewirkte.<sup>90</sup> Allerdings konnte die

Scanzeit bei 500 Lux minimiert werden. Da die Scanzeit die Präzision der digitalen Abformung beeinflussen kann, wurde letztendlich auf den Einsatz der Behandlungsleuchte verzichtet.<sup>187</sup>

Während des Scanvorgangs wurde der vom Hersteller empfohlener Scanpfad eingehalten (Kapitel 4.2.4 Abbildung 4.3). Durch das Einhalten des Scanpfades werden Ungenauigkeiten minimiert und eine hohe Präzision gewährleistet.<sup>94, 96, 188</sup> Dabei wurde die Zeitspanne der Aufnahme so gering wie möglich gehalten, um Scanfehler durch häufige Verknüpfungen der Einzelbilder zu verhindern und die Genauigkeit der Intraoralscans zu erhöhen.<sup>105</sup> Alle durchgeführten Intraoralscans wurden vom selben Präfzahnarzt erstellt. Dadurch können Unterschiede der Intraoralscans durch einen Zahnarztwechsel ausgeschlossen werden.<sup>96</sup>

Dem in der vorliegenden Studie angewandten direkten Scanverfahren, das intraoral durchgeführt wird, steht das extraorale, indirekte Verfahren gegenüber. Dieses Verfahren wurde in zahlreichen Studien zur Messung von Zahnhartsubstanzverlusten angewandt. Beim indirekten Verfahren werden zunächst konventionelle Abformungen mit anschließender Modellherstellung durchgeführt, bevor das Modell mittels Scanner digitalisiert und in einer externen Software analysiert werden kann.<sup>45, 66, 72, 75, 77, 180-182</sup> Aufgrund der notwendigen Zwischenschritte führen die Abbindereaktionen der Abformmaterialien und des Gipses zu Dimensionsänderungen. Diese beeinflussen die quantitative Analyse der Zahnhartsubstanzverluste. Durch die direkte Methode des IOS können diese verfahrenstechnischen Fehler umgangen werden und die intraorale Situation wird auf direktem Wege digitalisiert und anschließend in einer externen 3D-Analysesoftware ausgewertet. Dabei erreichen digitale Abformungen genauere Ergebnisse als konventionelle Abformungen und punkten mit einer Material- und Zeitersparnis, welche die Integration und Anwendung in den Praxisalltag erleichtert.<sup>85, 189-194</sup>

### ***6.1.5 Quantitative Analyse der Scandatensätze in externer 3D-Software***

Zur quantitativen Analyse der Scandatensätze wurde in der vorliegenden Studie die externe *GOM Inspect* Software (GOM GmbH) verwendet. Diese zeigte in Voruntersuchungen von *SCHLENZ* die besten Ergebnisse im Vergleich zu der internen Software des *Trios 3* (3Shape) und des *CS3600*.<sup>6</sup> Einige Studien verwendeten zur dreidimensionalen Überlagerung und Auswertung von Zahnhartsubstanzdefekten *Geomagic Control* (ehemals

*Geomagic Qualify*) (3D Systems, Darmstadt)<sup>69, 78, 116, 130, 137, 139, 141</sup> oder *Wear Compare* (Leeds Digital Dentistry, Leeds, UK)<sup>73, 121, 130</sup>. *O'TOOLE et al.* verglichen diese 3D-Analysesoftwares und zeigten auf, dass die Wahl der verwendeten Software einen erheblichen Einfluss auf das Ergebnis haben kann. So wies *Wear Compare* einen deutlich größeren Volumenverlust als *Geomagic Control* auf. Die Analysesoftwares zeigten jedoch keinen Unterschied bei dem maximalen vertikalen Punktverlust.<sup>130</sup> Zum frühzeitigen Erkennen von Zahnverschleißerkrankungen können somit verschiedene 3D-Analysesoftwares verwendet werden. Zu prüfen ist jedoch, welche 3D-Analysesoftware durch einfache und zeitsparende Anwendung gut in den Praxisalltag integriert werden kann.

Zur quantitativen Analyse wurde in vielen Studien eine Überlagerung mittels Best-Fit-Algorithmus durchgeführt.<sup>78, 123, 124</sup> Dabei wird der absolute Abstand zwischen zwei Punktwolken auf ein Minimum reduziert und versucht, beide Datensätze möglichst deckungsgleich übereinander zu lagern. Durch diese Annäherung der Punkte kommt es zu einer Abschwächung der maximalen vertikalen Zahnhartsubstanndefekte.<sup>122, 127</sup> *O'TOOLE et al.* führten Untersuchungen zu verschiedenen Überlagerungsverfahren durch und fanden heraus, dass die referenzbasierte Best-Fit-Ausrichtung signifikant geringere Überlagerungsfehler aufwies als der Best-Fit-Algorithmus. Da in der Mundhöhle solch ein Referenzkörper fehlt, wurde das von *GÜTH et al.* vorgestellte iterative Verfahren zur Best-Fit-Überlagerung gewählt.<sup>129</sup>

### **6.1.6 Gestaltung und Durchführung der Ernährungsfragebögen**

Da zum Start der Studie in der Literatur kein einheitlicher Ernährungsbogen zum Identifizieren von Ernährungsfaktoren bei erosivem Zahnverschleiß empfohlen wurde, wurde in Zusammenarbeit mit der Ernährungswissenschaftlerin *A. Jungert* ein Ernährungsbogen mit neuen Ansätzen entwickelt. Bisher veröffentlichte Studien befragten die Probanden nach deren Konsumverhalten anhand der Einordnung in verschiedene Kategorien wie beispielsweise Fruchtsäfte, Energy Drinks, Softdrinks, isotonische Getränke, alkoholische Getränke und Früchte.<sup>144-147, 151</sup> Diese Befragungen wandten wir in unserem Fragebogen ebenfalls an, errechneten jedoch im Anschluss tägliche Säureimpulse aus den angegebenen Konsumhäufigkeiten erosiver Lebensmittel. Dadurch konnte der Zusammenhang zwischen der Säureeinwirkung durch Getränke, Speisen oder dem Gesamtwert mit dem Zahnhartsubstanzenverlust betrachtet werden.

2022 stellten *AVILA et al.* einen entwickelten Fragebogen zur Identifizierung von Ernährungsfaktoren im Zusammenhang mit erosivem Zahnverschleiß vor. Nach der Validierung der Fragebögen wurde dieser von insgesamt 73 Fragen auf 24 Fragen reduziert, die Aspekte zur allgemeinen Mundgesundheitsgeschichte, zu Ernährungsgewohnheiten und zu Mundpflegegewohnheiten abdeckten.<sup>195</sup> Ob dieser Fragebogen für klinische Studien geeignet ist und einen Zusammenhang zwischen Ernährungsgewohnheiten und Zahnverschleiß zeigen kann, muss in klinischen Studien erforscht werden.

Objektive Angaben zum Ernährungsverhalten können durch verschiedene Fehler verzerrt dargestellt werden. Systemische Fehler können durch Erinnerungsverzerrungen auftreten, wenn Probanden das Konsumieren bestimmter Artikel vergessen.<sup>196</sup> Zudem können aufnahmebezogenen Verzerrungen dazu führen, dass die tatsächlich aufgenommene Menge im Ernährungsbogen falsch wiedergegeben wird.<sup>197</sup> Soziale Erwünschtheitsverzerrungen führen zu einer Unter- oder Überberichtserstattung aufgrund wahrgenommener Gesundheitsförderlichkeiten.<sup>198-200</sup> Durch diese Verzerrungen können die Ergebnisse von Ernährungsbögen maßgeblich beeinflusst werden.<sup>201</sup> Um eine Kategorie einzubringen, welche durch systemische Fehler nicht beeinflusst wird, wurde in den Ernährungsbogen der vorliegenden Studie nach Geschmackspräferenzen gefragt. Geschmackspräferenzen können Anhaltspunkte zu grundlegenden Ernährungsverhalten und Vorlieben liefern und aussagekräftig für unsere Forschungsfrage sein.

Ein weiterer möglicher Fehler kann durch eine Verhaltensänderung der Probanden aufgrund der Teilnahme an der Studie entstehen. Dieser Fehler würde im Vergleich zu Erinnerungsverzerrungen und sozialer Erwünschtheit eine tatsächliche Änderung des Ernährungsverhalten implizieren.<sup>201</sup> Zum Zeitpunkt T0 waren alle Probanden in den Studiengang Zahnmedizin an der Justus-Liebig-Universität in Gießen eingeschrieben. Daher ist eine Änderung des Ernährungsverhaltens im Laufe der Studie aufgrund eines erhöhten Wissens über Ernährung im Zusammenhang mit NKBZ vorstellbar. *THAKUR et al.* zeigen jedoch, dass das Wissen über eine gesunde Ernährung nur geringe Auswirkungen auf das Ernährungsverhalten hat.<sup>202</sup>

Des Weiteren beeinflussen individuelle Faktoren und das soziale Umfeld das Ernährungsverhalten.<sup>203</sup> Zum Zeitpunkt T0 waren alle Teilnehmer der Studie im Alter zwischen 18 und 25 Jahre alt und am Beginn ihres Studiums. In diesem Zeitraum ändert sich häufig der Lebensraum und das soziale Umfeld der jungen Erwachsenen. Individuelle Faktoren wie beispielsweise Gesundheitskenntnisse, Kenntnisse über Lebensmittelzubereitung,

Zeitfaktoren und demografische Faktoren wie das Einkommen können einen Einfluss auf die Ernährung haben. Des Weiteren spielen zwischenmenschliche Faktoren wie sozialer Einfluss, soziale Unterstützung (z.B. von Eltern) und kulturelle Erkenntnisse eine Rolle.<sup>203</sup> Die steigenden Preise für gesunde Lebensmittel, der Zeitmangel aufgrund des Studiums und fehlende gesunde Mahlzeiten in der Kantine beeinflussen somit die Ernährung der Studenten. Damit kann es zu einer Veränderung des Ernährungsverhaltens während ihres Studiums und zu einer dynamischen Entwicklung desselbigen kommen.<sup>204</sup> Biologische Faktoren wie das Geschmacksempfinden der jungen Erwachsenen kann trotz des Wechsels der Lebensphase als eine mögliche Kontinuität angesehen werden. Aufgrund dessen wurde die bereits erwähnte Kategorie der Geschmackspräferenzen in den Ernährungsbogen aufgenommen. Es wird von einem grundsätzlichen Einfluss der Geschmackspräferenzen auf das Ernährungsverhalten ausgegangen.

Der Ernährungsbogen wurde zu allen vier Untersuchungsterminen (T0-T3) durchgeführt. Da die Probanden den Fragebogen immer auf der Grundlage deren Ernährung innerhalb der letzten vier Wochen ausfüllen sollten, können die angegebenen Ernährungsdaten sowohl prospektive als auch retrospektive Auswirkung auf den Zahnverschleiß haben. Bisher veröffentlichte Studien waren vermehrt Querschnittsstudien. Dadurch wurden die Ernährungsgewohnheiten nur zu einem Zeitpunkt dokumentiert und es konnte kein Verlauf der Ernährungsgewohnheiten und Progression von Zahnhartsubstanzverlust festgestellt werden.<sup>144-149, 151, 152, 154, 162</sup> Da bei jungen Erwachsenen vermehrt Veränderungen des Ernährungsverhaltens auftreten, wurde in der vorliegenden Studie mit insgesamt vier Untersuchungszeitpunkten innerhalb von drei Jahren die Progression von Zahnverschleiß und die Ernährungsgewohnheiten zu jedem Zeitpunkt für jeden Proband dokumentiert und ausgewertet.

### ***6.1.7 Statistische Auswertung***

Die Auswertung der Intraoralscans wurde mit einer Fallzahl von 74 (518 Arealen) pro Untersuchungszeitpunkt durchgeführt. Die Fallzahl liegt somit leicht über den Fallzahlen der bisher veröffentlichten Studien zur quantitativen Analyse von NKBZ an natürlichen Zähnen mittels IOS.<sup>11, 69, 130, 135</sup>

Die statistische Analyse erfolgte zunächst mittels deskriptiver Statistik. Anschließend wurden einige nichtparametrische Tests zur genaueren Auswertung durchgeführt. Auf

komplexere generalisierte gemischte lineare Modelle mit transformierten Daten und Residuengewichtung wurde aus Gründen der Übersicht und der vereinfachten Darstellung verzichtet. Das Signifikanzniveau wurde für die einfachen Testungen auf  $p < 0,05$  festgelegt.

Die p-Werte wurden für multiple Testungen nach der Holm-Bonferroni-Methode korrigiert, um eine potenzielle Alphafehler-Kumulierung zu berücksichtigen. Diese problematische Interpretation wurde bereits von *VICTOR et al.* bei multiplen Tests ohne Korrektur beschrieben.<sup>205</sup> Der angepasste p-Wert wurde bei multiplen Testungen ebenfalls auf  $< 0,05$  festgelegt.

Zur statistischen Auswertung der Validierungsernährungsbögen wurde der ICC und deren 95 % - Konfidenzintervalle durchgeführt. Bei den Ernährungsbögen der Hauptstudie wurde der Säureimpuls pro Probanden und pro Tag berechnet, um die statistischen Berechnungen durchzuführen. Mittels Kolomogrov-Smirnov-Tests wurde eine signifikante Abweichung von der Gaußverteilung festgestellt und deshalb die Daten im Median, 25 %- und 75 %-Perzentile angegeben. Die Analyse wurde mit nichtparametrischen Testverfahren durchgeführt, da die Daten keine Normalverteilung aufzeigten.

Die Kappa-Statistik wurde zur Analyse der Geschmackspräferenzen durchgeführt. Die Korrelation nach Kendall (Tau B) wurde aufgrund der wenigen Kategorien der Variablen der Spearmans Korrelation vorgezogen und zum Vergleich der Geschmackspräferenzen und der täglichen Säureimpulse genutzt.

## 6.2 Ergebnisdiskussion

Im Folgenden werden zunächst die Ergebnisse der Intraoralscans (Kapitel 6.2.1) und anschließend die Ergebnisse der Ernährungsbögen (Kapitel 6.2.2) diskutiert.

### **6.2.1 Ergebnisse der Intraoralscans**

Die vorliegende Studie stellt eine Längsschnittstudie dar, welche über einen Zeitraum von 36 Monaten nicht-kariesbedingte Zahnhartsubstanzverluste (NKBZ) zwischen zwei natürlichen Molaren untersuchte. Dabei wurden zu vier Zeitpunkten mit einem Abstand von zwölf Monaten erste Unterkiefermolaren mittels Intraoralscanner (IOS) gescannt und die Daten anschließend in einer externen Software (GOM Inspect) übereinander gelagert und der maximale vertikale Zahnhartsubstanzverlust (MVZ) gemessen. Dies ist im Vergleich zu anderen Studien eine Besonderheit, da diese oft nur Querschnittsstudien sind oder nur zwei Untersuchungszeitpunkte mit einem Abstand von 12 bis 36 Monaten aufweisen. Zudem unterscheidet keine bislang veröffentlichte Studie in der Messung des Zahnhartsubstanzverlusts zwischen den verschiedenen Morphologieformen. In der vorliegenden Studie wird dieser Aspekt jedoch berücksichtigt.

In vivo Studien zeigten an Molaren in einem Untersuchungszeitraum von zwölf Monaten einen MVZ von 0,95 - 39,1  $\mu\text{m}$ .<sup>7, 75, 79, 180</sup> Nach einem Zeitraum von 24 Monaten zeigte *STOBER et al.* einen MVZ von 19 - 26  $\mu\text{m}$ .<sup>77</sup> Nach 36 Monaten wurde ein MVZ an Molaren von 43,6  $\mu\text{m}$  angegeben.<sup>130</sup> In der vorliegenden Studie werden unabhängig von der Morphologie der NKBZ ähnliche Werte angegeben. Zum Zeitpunkt T1 (zwölf Monate) wurde ein MVZ (Median) von 31 - 41  $\mu\text{m}$ , zum Zeitpunkt T2 (24 Monate) 38 - 59  $\mu\text{m}$  und zum Zeitpunkt T3 (36 Monate) 54 - 66  $\mu\text{m}$  berechnet. Im Vergleich zu den genannten Werten scheinen die Werte aus der Pilotstudie von *STÜCK et al.* zu niedrig, welche einen MVZ von 0,95  $\mu\text{m}$  nach zwölf Monaten und 1,0  $\mu\text{m}$  nach 24 Monaten zeigten. Dabei untersuchten sie nach zwölf Monaten neun und nach 24 Monaten acht natürliche Schmelzantagonisten, welche an eine Implantatkrone angrenzten.<sup>79</sup>

Bei der vorliegenden Studie wurde zwischen der unterschiedlichen Morphologie der NKBZ unterschieden. Dabei wurden der Zahnverschleiß an Facetten, Dellen und kombinierte Delle-Facette-Läsionen (KDFL) betrachtet. *LOOMANS et al.* beschreiben die Ent-

stehung der Facetten durch Zahn-zu-Zahn-Kontakte (Attritionen) oder durch das Einwirken eines dritten Faktors wie beispielsweise eines Speisebolus (Abrasion). Dellen hingegen treten bei Erosionen auf, welche durch chemische Einflüsse verursacht werden. Wirken sowohl chemische als auch physikalische Ursachen auf den Zahn ein, treten kombinierte Delle-Facette-Läsionen (KDFL) auf.<sup>4</sup>

Zum Zeitpunkt T3 (36 Monaten) zeigten alle Untersuchungszähne mindestens eine Facettenläsion. Somit lag die Prävalenz bei 100 %. Dies lässt sich dadurch erklären, dass Facettenläsionen durch Kaukräfte und Nahrungsaufnahme physiologisch auftreten können. *LAMBRECHTS et al.* sprechen von einem physiologischem Zahnverschleiß bei Molaren von bis zu 29 µm pro Jahr.<sup>45</sup>

Dellen hatten zum Zeitpunkt T3 eine deutlich geringere Prävalenz von 13,5 %, wohingegen für KDFL eine Prävalenz von 45,9 % ermittelt wurde. Zusammengefasst zeigten 41 Probanden (54,7 %) zum Zeitpunkt T3 mindestens eine Delle oder eine KDFL auf. Die *Fünfte Deutsche Mundgesundheitsstudie* gibt in der Altersgruppe von jungen Erwachsenen keine Prävalenz von Erosionsläsionen an. In der Gruppe der 35–44-Jährigen wurde eine Prävalenz von 44,8 % für Erosionen einschließlich Mischformen von Abrasion und Erosion angegeben.<sup>1</sup> Die erhöhte Prävalenz in der vorliegenden Studie kann durch die genauere Diagnostikmethode mittels Intraoralscanner begründet werden. In der Fünften Deutschen Mundgesundheitsstudie wurden die Probanden visuell durch den Behandler untersucht und es erfolgte eine Einteilung in Erosionsgrade. Durch die Anwendung des Intraoralscanners und anschließende Überlagerung der IOS konnten bereits Zahnhartsubstanzdefekte im Mikrometerbereich diagnostiziert werden, welche visuell schwer zu erkennen sind.

Die Progression der NKBZ zeigte sich bei Dellen und KDFL am stärksten. Es wird davon ausgegangen, dass Dellen vor allem durch Erosionen und die Kombination aus Erosionen und Attritionen oder Abrasionen entstehen.<sup>8, 22</sup> Dentin hat eine geringere Mineralisation als der Zahnschmelz und stellt somit die weichere Zahnhartsubstanz dar.<sup>206</sup> Kommt das Dentin bei Dellen und KDFL zum Vorschein, lässt sich durch den geringeren Anteil an Hydroxylapatit die stärkere Progression von Zahnhartsubstanzverlust im Vergleich zu Facetten erklären. Dies setzt jedoch voraus, dass Dellen ausschließlich bei Freilegung des Dentins entstehen. Dies wurde von der *in vitro* Studie von *RUBEN et al.* zumindest experimentell widerlegt.<sup>207</sup>

In der vorliegenden Studie wurde außerdem zwischen der Lokalisation der NKBZ auf den unterschiedlichen Höckern und Randleisten unterschieden. Auffällig war, dass NKBZ verstärkt auf den tragenden Höckern vorkamen und die Progression auf den Arealen unterschiedlich stark voranschritt. Der mesiobukkale Höcker zeigte am häufigsten Verschleißerscheinungen und im Median die stärkste Progression. Die Progression der Läsionen unterscheidet sich jedoch individuell sehr stark. Somit können Läsionen über einen Zeitraum stagnieren und sich zeitgleich auf einem anderen Areal des Zahnes neue Läsionen bilden. Somit kann nicht eindeutig ein Markerareal identifiziert werden, welches bei NKBZ betroffen ist. In der vorliegenden Studie wurde ebenfalls keine Korrelation zwischen den Verschleißraten der drei Beobachtungszeiträume festgestellt. Somit kann keine Aussage über den zukünftigen Verschleiß getätigt werden, wenn ein Patient eine hohe Verschleißrate in einem Zeitraum gezeigt hat. Hierfür variierten die Progression und das Stagnieren von Läsionen zu stark. *BRONKHORST et al.* stellten ebenfalls eine große Variabilität bei der Progression von Zahnverschleiß innerhalb und zwischen den Patienten fest. Somit kann die Progression von Zahnverschleiß individuell sehr unterschiedlich stark und lokal begrenzt sein.<sup>69</sup>

Durch die vier Beobachtungszeitpunkte konnten die Veränderungen der verschiedenen Morphologie der NKBZ über drei Jahre lang beobachtet werden. Da die meisten bisher veröffentlichten Studien Querschnittsstudien darstellen oder nur zwei Untersuchungszeitpunkte aufweisen, ist über die Veränderung der Morphologie der NKBZ bisher kaum etwas bekannt. Durch die Überlagerung der vier Intraoralscans konnte bei einem Untersuchungszahn, welcher bereits zu Beginn der Studie deutliche NKBZ aufwies, einige neue NKBZ zu den Folgeuntersuchungen festgestellt werden, während die zu Beginn vorhandenen NKBZ teilweise stagnierten. Bei einem anderen Probanden konnte bei der Entwicklung einer Facettenläsion, welche in den ersten zwölf Monaten stagnierte, eine Weiterentwicklung zur KDFL nach 24 Monaten und deren Progression nach 36 Monaten beobachtet werden (Abbildung 6.1). Somit konnte festgestellt werden, dass in Bereichen ohne Verschleiß zunächst eine Facette entsteht, welche sich zu einer zu einer KDFL weiterentwickeln kann.

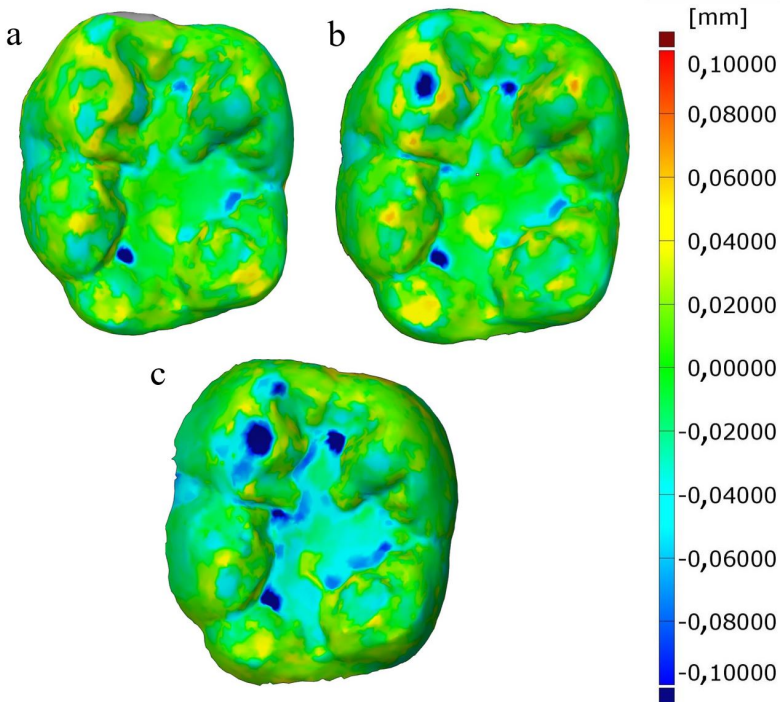


Abbildung 6.1 Beispiel eines Studienzahns #36 mit Entwicklung von einer Facetten-Läsion zu einer kombinierten Delle-Facette-Läsion (KDFL) mit Farbskala auf der rechten Seite a) Überlagerung der Scandatensätze T0 und T1 mit einer stagnierenden Facettenläsion nach 12 Monaten auf dem mesiobukkalen Höcker b) Überlagerung der Scandatensätze T0 und T2 mit einer Entwicklung zur KDFL nach 24 Monaten auf dem mesiobukkalen Höcker c) Überlagerung der Scandatensätze T0 und T3 mit Voranschreiten der KDFL nach 36 Monaten auf dem mesiobukkalen Höcker; zentral teilweise Verlust der Fissurenversiegelung

Bisher veröffentlichte Studien zeigen, wie die Erweichung der Zahnhartsubstanz durch erosive Stoffe die Läsionsbildung von Facetten durch Abrasionen oder Attritionen begünstigt.<sup>22, 208</sup> Durch die Okklusion und Parafunktionen erleiden die Zähne eine mechanische Belastung, die zu Ermüdungsschäden wie Rissen und sogar Brüchen führen kann.<sup>209, 210</sup> Diese Schäden können zudem die Demineralisierung mittels erosiver Substanzen begünstigen. Bisher wurde dieses Vorgehen vor allem bei zervikalen Läsionen beschrieben.<sup>210</sup> Überträgt sich diese Theorie auf die Okklusalfächen der Molaren, können Ermüdungsrisse ebenfalls zu Abfraktionen von Zahnhartsubstanz führen, die klinisch als Dellen sichtbar werden. Diese Überlegung legt nahe, dass nicht nur Erosionen Abrasions- und Attritionsläsionen beeinflussen, sondern auch Abrasionen und Attritionen das

Fortschreiten von Erosionen begünstigen können. Somit würde chemischer und physikalischer Zahnverschleiß einen synergistischen Effekt bewirken. Dies könnte dazu führen, dass zunächst Facetten entstehen, welche sich durch Mikrorisse, Ermüdungsmechanismen und Schmelzabplatzungen im Laufe der Zeit zu KDFL entwickeln und eine Progression der Läsionen durch Erosionen entsteht.<sup>209-211</sup>

Diese Theorie erklärt auch, warum Männer einen stärkeren Zahnverschleiß als Frauen aufweisen. Männer haben eine deutlich stärkere Kaukraft, die zu verstärkten Ermüdungserscheinungen und Rissbildungen führen kann.<sup>212, 213</sup> Dadurch könnten verstärkt Schmelzabplatzungen entstehen, was die Progression beschleunigt.

### **6.2.2 Ernährungsbogen**

Bei der Auswertung der Ernährungsbögen wurde der Zusammenhang zwischen Geschmackspräferenzen und der Konsumhäufigkeit sowie deren Beziehung zum MVZ der vier Untersuchungszeitpunkte geprüft. Diese Berechnungen konnten sowohl prospektiv als auch retrospektiv durchgeführt werden.

Bei dem Vergleich der Geschmackspräferenzen über die vier Untersuchungszeitpunkte konnte mittels Kappa-Koeffizient zumindest ein moderater Zusammenhang der Aussagen festgestellt werden. Somit behielten einige Probanden über den Zeitraum ihre Geschmackspräferenzen, während andere diese jedoch wechselten. Dieser Wechsel der Geschmackspräferenzen kann aufgrund des Zuwachses an Wissen über Zahngesundheit in Zusammenhang mit der Ernährung entstanden sein. Nur eine geringere bis mittlere Korrelation konnte jedoch bei der Aussage „Ich trinke gerne saure Getränke.“ und „Ich esse gerne saure Lebensmittel.“ festgestellt werden. Somit kann häufig nicht von einer generellen Vorliebe von sauren Lebensmitteln und Getränken ausgegangen werden.

Bei dem Vergleich der Geschmackspräferenzen mit der Konsumhäufigkeit konnten keine signifikanten Korrelationen festgestellt werden. Die signifikanten Korrelationen zum Zeitpunkt T0 von „Ich verzehre primär säurearme Lebensmittel.“ und dem Getränke-, Speise- und dem Gesamt-Säureimpuls und zwischen der Aussage „Ich esse gerne saure Lebensmittel“ zum Zeitpunkt T1 und dem Getränke-Säureimpuls stellen einen Widerspruch dar und sind somit für die weiteren Auswertungen nicht brauchbar. Diese widersprüchlichen Korrelationen kann durch ein mögliches Missverständnis der Formulierung der Frage entstehen. Die in dem Fragebogen formulierte Frage nach dem Konsum von

sauren Getränken und Lebensmittel implizieren Lebensmittel und Getränke, die im chemischen Sinne sauer sind und einen niedrigen pH-Wert aufweisen. Dieser niedrige pH-Wert spiegelt allerdings oft nicht das Geschmacksempfinden wider. Teilnehmer einer Studie bewerteten beispielsweise die Intensität der Süße von zwei Erfrischungsgetränken von 10 % Zuckergehalt als hoch, wobei das eine Getränk einen pH-Wert von 6,3 und das andere von 2,1 aufwies.<sup>214</sup> Somit kann die Frage nach der Geschmackspräferenz nach sauren Getränken und Speisen falsch verstanden werden und somit auch zu irreführenden Ergebnissen führen. Bei weiteren Studien sollte deshalb auf die Begrifflichkeit saurer Getränke und Speisen verzichtet werden, um dieses Missverständnis zu umgehen. Ob andere Geschmacks- oder Konsumpräferenzen geeigneter sind, um einen Zusammenhang zu Gewebeverlusten herzustellen, bleibt herauszufinden.

Ein signifikanter Zusammenhang konnte zu den meisten Untersuchungszeitpunkten weder zwischen den Säureimpulsen und dem MVZ noch zwischen den Geschmackspräferenzen und dem MVZ hergestellt werden. Dies kann zum einen an der langen Zeitspanne zwischen den Untersuchungszeitpunkten liegen. Aufgrund der Heterogenität und Dynamik des Ernährungsverhaltens bei den Probanden im jungen Erwachsenenalter<sup>204, 215</sup> kann es sinnvoll sein, die Ernährungsdaten zu mehreren Zeitpunkten und in kürzeren Abständen die Ernährungsdaten aufzunehmen und auszuwerten. Des Weiteren ist in Frage zu stellen, inwiefern Ernährungsfragebögen eine wahrheitsgetreue Abbildung des Ernährungsverhalten bieten.

Die realitätsnahe Aufnahme von Ernährungsdaten stellt eine Herausforderung dar. Ernährung wird als mehrdimensional beschrieben, welches die Komplexität, die gegenseitige Abhängigkeit und Synergie der zahlreichen Eigenschaften der Nahrungsaufnahme beschreibt.<sup>216</sup> Diese Komplexität der Nahrungsaufnahme spielt in der vorliegenden Studie eine entscheidende Rolle. Beispielsweise kann das erosive Potenzial eines Lebensmittels durch die gleichzeitige Aufnahme von Kalzium, beispielsweise durch die Kombination von Obst mit Milchprodukten, verringert werden.<sup>22</sup> Des Weiteren spielen die Häufigkeit und Dauer der Aufnahme von säurehaltigen Lebensmitteln eine entscheidende Rolle. Die Ernährung zeigt ein dynamisches Verhalten, beispielsweise in Abhängigkeit von Jahreszeiten, wodurch die Häufigkeit der Aufnahme von periodisch verzehrten Lebensmitteln stark schwanken kann und sich im Laufe der Zeit und des Lebens verändert.<sup>216</sup> Diese periodischen Schwankungen können durch einen Ernährungsbogen nicht abgebildet werden, da die Angaben auf Erinnerungen der Probanden über ihr Ernährungsverhalten in

den vergangenen vier Wochen basiert. Aufgrund der aufgeführten Punkte ist die Erfassung der Ernährungsdaten mittels Ernährungsfragebogen als geeignete Methode zur Überprüfung der Forschungshypothese in Frage zu stellen. Es ist zu prüfen, ob andere Aufnahmemethoden detailliertere Daten liefern können.

Bei allen Aufnahmemethoden zur Selbsteinschätzung der Ernährungsfaktoren kann es jedoch zu Messfehlern und somit zu einer Abweichung zwischen einem tatsächlichen und aufgenommenen Wert kommen (vgl. Kapitel 6.1.6).<sup>201, 217</sup> Vor allem die soziale Erwünschtheitsverzerrung kann in der vorliegenden Studie erheblichen Einfluss auf die Ergebnisse haben, da alle Probanden im Laufe der Studie aufgrund ihres Zahnmedizinstudium ein Wissenszuwachs über Folgen von säurehaltiger Nahrung hinsichtlich Zahngesundheit hatten.

Eine weitere entscheidende Ursache für NKBZ könnte die Kombination aus Erosionen und Attritionen sein. Dieser mögliche synergistische Effekt, wie im Kapitel 6.2.1 beschrieben, würde eine untergeordnete Rolle des Ernährungsverhaltens bei der Entstehung von NKBZ bedeuten. Durch die Bildung von Dellen aufgrund von Mikrorisse und den Abplatzungen, die durch Attritions- und Abrasionsbelastungen entstehen, könnten die Auswirkungen von Säuren aus der Ernährung bei den untersuchten Morphologien vernachlässigt werden.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass NKBZ durch multifaktorielle Einflüsse entstehen. Eine isolierte Betrachtung der Säureeinflüsse durch die Ernährung im Hinblick auf die Komplexität der Entstehung von Läsionen ist nahezu unmöglich und aufgrund der genannten Punkte nicht sinnvoll.

### 6.3 Schlussfolgerung und klinische Relevanz

Die vorliegende Studie zeigt ein starkes Voranschreiten von nicht-kariesbedingten Zahnhartsubstanzverlusten (NKBZ) schon im jungen Erwachsenenalter. Dies zeigt die bereits in der Literatur aufgeführte Dringlichkeit von frühzeitiger Erkennung und Prävention von NKBZ.

Die Ergebnisse der Intraoralscans zeigten, dass nach 36 Monaten alle Probanden von makroskopisch sichtbarem Zahnverschleiß betroffen sind und die kumulierten Verlustwerte von Jahr zu Jahr anstiegen. Durch den Aufbau der longitudinalen Studie ist es gelungen, die Morphologie von NKBZ über einen Zeitraum von 36 Monaten zu beobachten. Durch diesen langen Beobachtungszeitraum war es möglich, Veränderungen und Entwicklungen der Morphologie zu erkennen. Zu Beginn zeigen sich NKBZ zunächst als Facette, welche sich im fortschreitenden Verlauf zu einer Delle oder einer kombinierten Delle-Facette-Läsion (KDFL) entwickeln können. Bei der vorliegenden Studie konzentrierten wir uns auf die Okklusalfäche eines einzelnen Zahnes. NKBZ können jedoch an allen Zähnen im Kiefer auftreten. Um ein frühzeitiges Erkennen von NKBZ im klinischen Alltag zu ermöglichen, sollten weitere Studien zur Untersuchung des gesamten Gebisses stattfinden. Des Weiteren wurde in der vorliegenden Studie der maximale vertikale Zahnhartsubstanzverlust gemessen. Dies gibt nur begrenzte Auskunft über das Ausmaß der NKBZ in Bezug auf das Volumen und deren horizontale Ausbreitung. Um weitere Informationen über NKBZ zu bekommen, sollte neben dem Maximalwert auch der Bereich des Verschleißes eine Rolle spielen. Zuletzt sollte die Anwendung für den klinischen Alltag erleichtert, optimiert und ermöglicht werden. Durch die Weiterentwicklung der Intraoralscanner und deren Monitoring Programme, sollte auf eine aufwendige Auswertung der Intraoralscans in einer externen Software verzichtet werden können. Dies könnte den Workflow in einer Zahnarztpraxis erleichtern und den Intraoralscanner für weitere Anwendungsbereiche in der Vorsorge attraktiv machen.

Die Auswertung der Ernährungsbögen zeigten zu fast allen Untersuchungszeitpunkten weder zwischen den Säureimpulsen und dem Vorkommen noch zwischen den Säureimpulsen und der Progression von NKBZ einen Zusammenhang. Dies lässt darauf schließen, dass die Ernährung bei der Entstehung von NKBZ eine untergeordnete Rolle spielt und vielmehr das Zusammenwirken von mehreren ätiologischen Faktoren zu Zahnverschleiß

führen. Außerdem lässt sich die Theorie aufstellen, dass Dellen auf den Höckern möglicherweise kein valides Diagnosekriterium für erosiven Zahnverschleiß sind.

## 7 Zusammenfassung

Das Ziel der vorliegenden Arbeit war es, die Längsschnittstudie von *SCHLENZ* fortzuführen <sup>6</sup> und nicht-kariesbedingte Zahnhartsubstanzverluste (NKBZ) in deren morphologischer Entwicklung und Progression zu beobachten. Des Weiteren wurden vermutete ätiologische Faktoren mittels Ernährungsfragebogen untersucht.

Von 74 jungen Erwachsenen wurden innerhalb von 36 Monaten ( $1111 \pm 10$  Tage) zu vier Untersuchungsterminen in einem Untersuchungsintervall von zwölf Monaten  $\pm$  sechs Wochen jeweils die Okklusallflächen von einem der ersten Unterkiefermolaren (FDI #36 oder #46) gescannt (Trios 3, 3Shape, Kopenhagen, Dänemark). Die Intraoralscans von T1 (nach zwölf Monaten), T2 (nach 24 Monaten) und T3 (nach 36 Monaten) wurden in einer externen 3D-Analysesoftware (GOM Inspect) über den Baseline-Scan (T0) überlagert. Anschließend wurde auf den fünf Höckern (mesiobukkal, mesiolingual, distobukkal, distolingual und distal) und auf den zwei Randleisten (mesiale und distale Randleiste) der maximale vertikale Zahnhartsubstanzverlust (MVZ) ( $\mu\text{m}$ ; Median, 25 % und 75 % Perzentile) gemessen. Die Morphologien wurden in Delle (D), Facette (F) und kombinierte Delle-Facette-Läsion (KDFL) eingeteilt. Ätiologische Faktoren wurden mittels Ernährungsfragebogen zu allen Untersuchungszeitpunkten bewertet.

Zwischen T0 und T1 war die Progression der NKBZ am höchsten, nahm zwischen T1 und T2 ab und blieb zwischen T2 und T3 auf einem ähnlich niedrigen Niveau. Die Progression war bei Männern höher als bei Frauen, stand aber in keinem Zusammenhang mit den angenommenen ätiologischen Faktoren. D und KDFL zeigten signifikant höhere Verlustwerte als F. Zu Beginn zeigten sich NKBZ meist als Facettenläsion, welche sich mit fortschreitender Progression zu D und KDFL entwickelten.

Die Ergebnisse aus der vorliegenden Arbeit bestätigen die Zunahme der NKBZ auch im jungen erwachsenen Alter. Durch den longitudinalen Beobachtungszeitraum konnten neuen Erkenntnisse zur Entwicklung der Morphologie der NKBZ und deren Progression erlangt werden. Dies eröffnet neue Blickwinkel auf die Theorien zu den Ursachen und der Diagnose von NKBZ.

## 8 Summary

The objective of the present study was to continue the longitudinal study by *SCHLENZ*<sup>6</sup> and to observe the morphological development and progression of tooth wear. Furthermore, suspected etiologic factors were investigated using a dietary questionnaire.

The occlusal surfaces of one of the first mandibular molars (FDI #36 or #46) of 74 young adults were scanned (Trios 3, 3Shape, Copenhagen, Denmark) at four examination appointments within 36 months ( $1111 \pm 10$  days) in a follow-up interval of twelve months  $\pm$  six weeks. The intraoral scans of T1 (after twelve months), T2 (after 24 months), and T3 (after 36 months) were superimposed on the baseline scan (T0) in an external 3D analysis software (GOM Inspect). The maximum vertical tissue loss ( $\mu\text{m}$ ; median, 25 %, and 75 % percentile) was then measured on the five cusps (mesiobuccal, mesiolingual, distobuccal, distolingual, and distal) and the two marginal ridges (mesial and distal marginal ridge). The morphologies were categorized into cupping (C), facet (F), and combined cupping-facet (CF). Etiologic factors were assessed using a dietary questionnaire at all examination appointments.

Progression of tooth wear was highest between T0 and T1, decreased between T1 and T2, and remained at a similarly low level between T2 and T3. Progression was higher for male than for female participants but showed no relation to the nutrition derived from the dietary questionnaire. C and CF showed significantly higher loss values than F. Initially, tooth wear mostly appeared as F, which developed into C and CF as progression continued.

The results of the present study confirm the increase in tooth wear, even in young adults. The longitudinal observation period provided new insights into the development of the morphology and progression of tooth wear. This opens new perspectives on the theories of the causes and diagnosis of tooth wear.

## 9 Darstellungsverzeichnis

### 9.1 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 3.1 Schematische Darstellung des Aufnahmeprinzips der konfokalen Mikroskopie .....	17
Abbildung 4.1 a) Aufteilung der Okklusalfäche des Molaren in sechs bzw. sieben Areale: mesiobukkaler (MB), mesiolingualer (ML), distobukkaler (DB), distolingual (DL), falls vorhanden distaler (D) Höcker und distale (DR) und mesiale (MR) Randleiste; b) Defektformen: Facette (F), Delle (grüner Kreis), kombinierte Delle-Facette-Läsion (roter Kreis).....	36
Abbildung 4.2 Flussdiagramm der klinischen Untersuchung.....	37
Abbildung 4.3 a) Scanpfad im Unterkiefer; b) Scanpfad im Oberkiefer; b = bukkal, m = mesial, l/p = lingual/palatalinal, d = distal.....	40
Abbildung 4.4 Angepasste und zugeschnittene Scandatensätze in der externen Analysesoftware (GOM-Inspect): a) SOLL-Datensatz (T0), b) IST-Datensatz (T3), c) Vorausrichtung mit Best-Fit-Algorithmus .....	44
Abbildung 4.5 Flächenvergleich zwischen Beginn des Beobachtungszeitraums (T0) und nach 24 Monaten (T2), zwei progrediente Dellen am mesiobukkalen und distalen Höcker (blaue Pfeile) und zwei progrediente Facetten am distolingualen und distobukkalen Höcker (rote Pfeile); Definierung des MVZ am mesiobukkalen, mesiolingualen, distobukkalen, distolingualen und distalen Höcker, zentral teilweise Verlust der Fissurenversiegelung.....	45
Abbildung 5.1 Boxplot-Diagramm der maximalen vertikalen Zahnhartsubstanzverluste (MVZ) [ $\mu\text{m}$ ] für n = 74 Untersuchungszähne nach 12 Monaten (blau), 24 Monaten (rot) und 36 Monaten (grün) bei den sieben Untersuchungsbereichen (mesiobukkaler (MB), mesiolingualer (ML), distobukkaler (DB), distolingualer (DL) und ggf. distaler (D) Höcker, mesiale Randleiste (MR) und distale Randleiste (DR)); Datenausschnitt bis 500 $\mu\text{m}$ .....	55
Abbildung 5.2 Maximaler vertikaler Zahnhartsubstanzverlust (MVZ) [ $\mu\text{m}$ ] der unterschiedlichen Läsionsformen (Delle, Facette, kombinierte Delle-Facette-Läsion (KDFL)) am mesiobukkalen (MB) Höcker nach 36 Monaten (T0-T3).....	56

Abbildung 6.1 Beispiel eines Studienzahns #36 mit Entwicklung von einer Facetten-Läsion zu einer kombinierten Delle-Facette-Läsion (KDFL) mit Farbskala auf der rechten Seite a) Überlagerung der Scandatensätze T0 und T1 mit einer stagnierenden Facettenläsion nach 12 Monaten auf dem mesiobukkalen Höcker b) Überlagerung der Scandatensätze T0 und T2 mit einer Entwicklung zur KDFL nach 24 Monaten auf dem mesiobukkalen Höcker c) Überlagerung der Scandatensätze T0 und T3 mit Voranschreiten der KDFL nach 36 Monaten auf dem mesiobukkalen Höcker; zentral teilweise Verlust der Fissurenversiegelung ..... 77

## 9.2 Tabellenverzeichnis

Tabelle 5.1 Kreuztabelle der Anzahl [n] und der gesamten prozentualen Verteilung der unterschiedlichen Defektmorphologien (Delle, Facette, kombinierte Delle-Facette-Läsion (KDFL)) der nicht-kariesbedingten Zahnhartsubstanzverluste (NKBZ) zu den Zeitpunkten T0 (Studienbeginn) und zum Zeitpunkt T3 (nach 36 Monaten) für die verschiedenen Arealen: mesiobukkaler (MB), mesiolingualer (ML), distobukkaler (DB), distolingualer (DL), distaler (D) Höcker (falls vorhanden), mesiale (MR) und distale Randleiste (DR) .....	50
Tabelle 5.2: Fallzahlen [n] und prozentuale Verteilung der unterschiedlichen Defektmorphologien (Delle, Facette und kombinierte Delle-Facette-Läsion (KDFL)) der nicht-kariesbedingten Zahnhartsubstanzverlusten (NKBZ) zur Baseline (T0), nach 12 Monaten (T1), 24 Monaten (T2) und 36 Monaten (T3) an den sechs bzw. sieben Arealen: mesiobukkaler (MB), mesiolingualer (ML), distobukkaler (DB), distolingualer (DL), distaler (D) Höcker (falls vorhanden), mesiale Randleiste (MR) und distale Randleiste (DR) .....	52
Tabelle 5.3 Medianwerte, maximale und minimale Werte, 25 % und 75 % Perzentile der maximalen vertikalen Zahnhartsubstanzverluste (MVZ) [ $\mu\text{m}$ ] für den 12-monatigen (T0-T1), 24-monatigen (T0-T2) und 36-monatigen (T0-T3) Beobachtungszeitraum an den Arealen (mesiobukkaler (MB), mesiolingualer (ML), distobukkaler (DB), distolingualer (DB), ggf. distaler (D) Höcker, mesiale (MR) und distale (DR) Randleiste).....	54
Tabelle 5.4 Deskriptive Statistik für die unterschiedlichen Defektformen (Delle, Facette, kombinierte Delle-Facette-Läsion (KDFL)) zu den unterschiedlichen Untersuchungszeitpunkten (T0-T1, T0-T2, T0-T3) an den sieben Arealen mesiobukkaler (MB), mesiolingualer (ML), distobukkaler (DB), distolingualer (DL), ggf. distaler (D) Höcker, mesiale Randleiste (MR), distale Randleiste (DR), * kein Wert verfügbar.....	56
Tabelle 5.5 Deskriptive Statistik zur Anzahl der Säureimpulse durch Getränke, Speisen und die Gesamtsäureimpulse zu den unterschiedlichen Untersuchungszeitpunkten zu Beginn der Studie (T0), nach 12 Monaten (T1), nach 24 Monaten (T2) und nach 36 Monaten (T3) .....	59
Tabelle 5.6 Ergebnisse der Kendalls Tau Korrelationsanalyse zu den Untersuchungszeitpunkten T0, T1, T2 und T3 mit den Tau b und p Werten.....	60

## 10 Literaturverzeichnis

1. Jordan AR, Micheelis W. Fünfte Deutsche Mundgesundheitsstudie (DMS V). Deutscher Zahnärzterverlag DÄV, Köln. 2016.
2. Wetselaar P, Lobbezoo F. The tooth wear evaluation system: a modular clinical guideline for the diagnosis and management planning of worn dentitions. *Journal of oral rehabilitation*. 2016;43:69-80.
3. Lussi A, Carvalho TS. Erosive tooth wear: a multifactorial condition of growing concern and increasing knowledge. *Monographs in oral science*. 2014;25:1-15.
4. Loomans B, Opdam N, Attin T, Bartlett D, Edelhoff D, Frankenberger R, et al. Severe Tooth Wear: European Consensus Statement on Management Guidelines. *The journal of adhesive dentistry*. 2017;19:111-119.
5. O'Toole S, Marro F, Loomans BAC, Mehta SB. Monitoring of erosive tooth wear: what to use and when to use it. *British dental journal*. 2023;234:463-467.
6. Schlenz M. Digitales Monitoring von Zahnhartsubstanzverlusten bei jungen Erwachsenen. Edition scientifique. 1. Auflage ed. Giessen2021.
7. Woraganjanaboon P, Anunmana C. 3D quantitative analysis and SEM qualitative analysis of natural antagonist enamel opposing CAD-CAM monolithic zirconia or lithium disilicate tooth-supported crowns versus enamel opposing natural enamel. *The journal of advanced prosthodontics*. 2024;16:12-24.
8. Schlueter N, Amaechi BT, Bartlett D, Buzalaf MAR, Carvalho TS, Ganss C, et al. Terminology of Erosive Tooth Wear: Consensus Report of a Workshop Organized by the ORCA and the Cariology Research Group of the IADR. *Caries research*. 2020;54:2-6.
9. Barbour ME, Lussi A, Shellis RP. Screening and prediction of erosive potential. *Caries research*. 2011;45 Suppl 1:24-32.
10. Chan AS, Tran TTK, Hsu YH, Liu SYS, Kroon J. A systematic review of dietary acids and habits on dental erosion in adolescents. *International journal of paediatric dentistry*. 2020;30:713-733.
11. Marro F, O'Toole S, Bernabé E, Bartlett D, Aránguiz V. Associated risk factors with quantitative erosive tooth wear progression. *Journal of dentistry*. 2022;123:104179.
12. Micheelis W, Schiffner UH. Vierte Deutsche Mundgesundheitsstudie (DMS IV). Deutscher Zahnärzterverlag DÄV, Köln. 2006.
13. Ganss C, Klimek J, Giese K. Dental erosion in children and adolescents--a cross-sectional and longitudinal investigation using study models. *Community dentistry and oral epidemiology*. 2001;29:264-271.
14. Tschammler C, Müller-Pflanz C, Attin T, Müller J, Wiegand A. Prevalence and risk factors of erosive tooth wear in 3-6 year old German kindergarten children-A comparison between 2004/05 and 2014/15. *Journal of dentistry*. 2016;52:45-49.
15. Kreulen CM, Van 't Spijker A, Rodriguez JM, Bronkhorst EM, Creugers NH, Bartlett DW. Systematic review of the prevalence of tooth wear in children and adolescents. *Caries research*. 2010;44:151-159.
16. Schlueter N, Luka B. Erosive tooth wear - a review on global prevalence and on its prevalence in risk groups. *British dental journal*. 2018;224:364-370.

17. Salas MM, Nascimento GG, Huysmans MC, Demarco FF. Estimated prevalence of erosive tooth wear in permanent teeth of children and adolescents: an epidemiological systematic review and meta-regression analysis. *Journal of dentistry*. 2015;43:42-50.
18. El Aidi H, Bronkhorst EM, Huysmans MC, Truin GJ. Dynamics of tooth erosion in adolescents: a 3-year longitudinal study. *Journal of dentistry*. 2010;38:131-137.
19. Hasselkvist A, Johansson A, Johansson AK. A 4 year prospective longitudinal study of progression of dental erosion associated to lifestyle in 13-14 year-old Swedish adolescents. *Journal of dentistry*. 2016;47:55-62.
20. Brusius CD, Alves LS, Susin C, Maltz M. Dental erosion among South Brazilian adolescents: A 2.5-year longitudinal study. *Community dentistry and oral epidemiology*. 2018;46:17-23.
21. Ganss C, Lussi A, Schlueter N. Dental erosion as oral disease. Insights in etiological factors and pathomechanisms, and current strategies for prevention and therapy. *American journal of dentistry*. 2012;25:351-364.
22. Lussi A, Schlueter N, Rakhmatullina E, Ganss C. Dental erosion--an overview with emphasis on chemical and histopathological aspects. *Caries research*. 2011;45:2-12.
23. Nekrashevych Y, Stösser L. Protective influence of experimentally formed salivary pellicle on enamel erosion. An in vitro study. *Caries research*. 2003;37:225-231.
24. Lussi A, Hellwig E, Zero D, Jaeggi T. Erosive tooth wear: diagnosis, risk factors and prevention. *American journal of dentistry*. 2006;19:319-325.
25. Lussi A, Jaeggi T. Erosion--diagnosis and risk factors. *Clin Oral Investig*. 2008;12:5-13.
26. Khan F, Young WG, Law V, Priest J, Daley TJ. Cupped lesions of early onset dental erosion in young southeast Queensland adults. *Australian dental journal*. 2001;46:100-107.
27. Hooper S, West NX, Pickles MJ, Joiner A, Newcombe RG, Addy M. Investigation of erosion and abrasion on enamel and dentine: a model in situ using toothpastes of different abrasivity. *Journal of clinical periodontology*. 2003;30:802-808.
28. Bartlett D. A new look at erosive tooth wear in elderly people. *Journal of the American Dental Association (1939)*. 2007;138:21-25.
29. Wilder-Smith CH, Materna A, Martig L, Lussi A. Longitudinal study of gastroesophageal reflux and erosive tooth wear. *BMC gastroenterology*. 2017;17:113.
30. Moazzez R, Bartlett D. Intrinsic causes of erosion. *Monographs in oral science*. 2014;25:180-196.
31. Oudkerk J, Grenade C, Davarpanah A, Vanheusden A, Vandenput S, Mainjot AK. Risk factors of tooth wear in permanent dentition: A scoping review. *Journal of oral rehabilitation*. 2023;50:1110-1165.
32. Sangnes G. Traumatization of teeth and gingiva related to habitual tooth cleaning procedures. *Journal of clinical periodontology*. 1976;3:94-103.
33. Bizhang M, Schmidt I, Chun YP, Arnold WH, Zimmer S. Toothbrush abrasivity in a long-term simulation on human dentin depends on brushing mode and bristle arrangement. *PloS one*. 2017;12:e0172060.

34. De Boer P, Duinkerke AS, Arends J. Influence of tooth paste particle size and tooth brush stiffness on dentine abrasion in vitro. *Caries research*. 1985;19:232-239.
35. Wiegand A, Schwerzmann M, Sener B, Magalhaes AC, Roos M, Ziebolz D, et al. Impact of toothpaste slurry abrasivity and toothbrush filament stiffness on abrasion of eroded enamel - an in vitro study. *Acta odontologica Scandinavica*. 2008;66:231-235.
36. Kumar S, Kumar Singh S, Gupta A, Roy S, Sareen M, Khajuria S. A Profilometric Study to Assess the Role of Toothbrush and Toothpaste in Abrasion Process. *Journal of dentistry (Shiraz, Iran)*. 2015;16:267-273.
37. Macdonald E, North A, Maggio B, Sufi F, Mason S, Moore C, et al. Clinical study investigating abrasive effects of three toothpastes and water in an in situ model. *Journal of dentistry*. 2010;38:509-516.
38. Levitch LC, Bader JD, Shugars DA, Heymann HO. Non-cariious cervical lesions. *Journal of dentistry*. 1994;22:195-207.
39. Gupta BN. Occupational diseases of teeth. *The Journal of the Society of Occupational Medicine*. 1990;40:149-152.
40. Faulkner KD. Bruxism: a review of the literature. Part I. *Australian dental journal*. 1990;35:266-276.
41. Kovacevic M, Belojevic G. Tooth abrasion in workers exposed to noise in the Montenegrin textile industry. *Industrial health*. 2006;44:481-485.
42. Rius-Bonet O, Roca-Obis P, Zamora-Olave C, Willaert E, Martinez-Gomis J. Prevalence of dental attrition and its relationship with dental erosion and salivary function in young adults. *Quintessence International*. 2023;54:168-175.
43. Smith BG, Robb ND. The prevalence of toothwear in 1007 dental patients. *Journal of oral rehabilitation*. 1996;23:232-239.
44. Strausz T, Ahlberg J, Lobbezoo F, Restrepo CC, Hublin C, Ahlberg K, et al. Awareness of tooth grinding and clenching from adolescence to young adulthood: a nine-year follow-up. *Journal of oral rehabilitation*. 2010;37:497-500.
45. Lambrechts P, Braem M, Vuylsteke-Wauters M, Vanherle G. Quantitative in vivo wear of human enamel. *Journal of dental research*. 1989;68:1752-1754.
46. Ahmed KE. Quantitative analysis of tooth wear in-vivo using 3D scanning technology. [PhD Thesis]: University of Glasgow; 2014.
47. Khan F, Young WG, Daley TJ. Dental erosion and bruxism. A tooth wear analysis from south east Queensland. *Australian dental journal*. 1998;43:117-127.
48. Kitagawa K, Kodama N, Manda Y, Mori K, Furutera H, Minagi S. Effect of masseter muscle activity during wakefulness and sleep on tooth wear. *Journal of prosthodontic research*. 2022;66:551-556.
49. Martins IM, Alonso LS, Vale MP, Abreu LG, Serra-Negra JM. Association between the severity of possible sleep bruxism and possible awake bruxism and attrition tooth wear facets in children and adolescents. *Cranio : the journal of craniomandibular practice*. 2022:1-7.
50. Bader G, Lavigne G. Sleep bruxism; an overview of an oromandibular sleep movement disorder. REVIEW ARTICLE. *Sleep medicine reviews*. 2000;4:27-43.

51. Lobbezoo F, Ahlberg J, Glaros AG, Kato T, Koyano K, Lavigne GJ, et al. Bruxism defined and graded: an international consensus. *Journal of oral rehabilitation*. 2013;40:2-4.
52. Peroz I, Peroz S. Bruxismus - die S3-Leitlinie zu Diagnostik und Therapie. *der junge Zahnarzt*. 2020;11:35-39.
53. Lavigne GJ, Khoury S, Abe S, Yamaguchi T, Raphael K. Bruxism physiology and pathology: an overview for clinicians. *Journal of oral rehabilitation*. 2008;35:476-494.
54. Rees JS, Jagger DC. Abfraction lesions: myth or reality? *Journal of esthetic and restorative dentistry*. 2003;15:263-271.
55. Xhonga FA. Bruxism and its effect on the teeth. *Journal of oral rehabilitation*. 1977;4:65-76.
56. Nota A, Pittari L, Paggi M, Abati S, Tecco S. Correlation between Bruxism and Gastroesophageal Reflux Disorder and Their Effects on Tooth Wear. A Systematic Review. *Journal of clinical medicine*. 2022;11:1107.
57. Li Y, Yu F, Niu L, Hu W, Long Y, Tay FR, et al. Associations among Bruxism, Gastroesophageal Reflux Disease, and Tooth Wear. *Journal of clinical medicine*. 2018;7:417.
58. Attin T, Siegel S, Buchalla W, Lennon AM, Hannig C, Becker K. Brushing abrasion of softened and remineralised dentin: an in situ study. *Caries research*. 2004;38:62-66.
59. Jaeggi T, Lussi A. Prevalence, incidence and distribution of erosion. *Monographs in oral science*. 2014;25:55-73.
60. Berg-Beckhoff G, Kutschmann M, Bardehle D. Methodological considerations concerning the development of oral dental erosion indexes: literature survey, validity and reliability. *Clinical oral investigations*. 2008;12:51-58.
61. Margaritis V, Nunn J. Challenges in assessing erosive tooth wear. *Monographs in oral science*. 2014;25:46-54.
62. Wetselaar P, Wetselaar-Glas MJM, Katzer LD, Ahlers MO. Diagnosing tooth wear, a new taxonomy based on the revised version of the Tooth Wear Evaluation System (TWES 2.0). *Journal of oral rehabilitation*. 2020;47:703-712.
63. Bartlett D, Ganss C, Lussi A. Basic Erosive Wear Examination (BEWE): a new scoring system for scientific and clinical needs. *Clinical oral investigations*. 2008;12:65-68.
64. Carvalho TS, Lussi A, Jaeggi T, Gambon DL. Erosive tooth wear in children. *Monographs in oral science*. 2014;25:262-278.
65. Roehl JC, Jakstat HA, Becker K, Wetselaar P, Ahlers MO. Tooth Wear Evaluation System (TWES) 2.0-Reliability of diagnosis with and without computer-assisted evaluation. *Journal of oral rehabilitation*. 2022;49:81-91.
66. Bartlett DW, Blunt L, Smith BG. Measurement of tooth wear in patients with palatal erosion. *British dental journal*. 1997;182:179-184.
67. Schlueter N, Ganss C, De Sanctis S, Klimek J. Evaluation of a profilometrical method for monitoring erosive tooth wear. *European journal of oral sciences*. 2005;113:505-511.

68. Mitrirattanakul S, Neoh SP, Chalarmchaichaloenkit J, Limthanabodi C, Trerayapiwat C, Pipatpajong N, et al. Accuracy of the Intraoral Scanner for Detection of Tooth Wear. *International dental journal*. 2023;73:56-62.
69. Bronkhorst H, Bronkhorst E, Kalaykova S, Pereira-Cenci T, Huysmans MC, Loomans B. Inter- and intra-variability in tooth wear progression at surface-, tooth- and patient-level over a period of three years: A cohort study: Inter- and intra-variation in tooth wear progression. *Journal of dentistry*. 2023;138:104693.
70. Esquivel-Upshaw JF, Rose WF, Jr., Barrett AA, Oliveira ER, Yang MC, Clark AE, et al. Three years in vivo wear: core-ceramic, veneers, and enamel antagonists. *Dental materials : official publication of the Academy of Dental Materials*. 2012;28:615-621.
71. Ahmed KE, Whitters J, Ju X, Pierce SG, MacLeod CN, Murray CA. A Proposed Methodology to Assess the Accuracy of 3D Scanners and Casts and Monitor Tooth Wear Progression in Patients. *The International journal of prosthodontics*. 2016;29:514-521.
72. Ahmed KE, Whitters J, Ju X, Pierce SG, MacLeod CN, Murray CA. Clinical Monitoring of Tooth Wear Progression in Patients over a Period of One Year Using CAD/CAM. *The International journal of prosthodontics*. 2017;30:153-155.
73. Marro F, Jacquet W, Martens L, Keeling A, Bartlett D, O'Toole S. Quantifying increased rates of erosive tooth wear progression in the early permanent dentition. *Journal of dentistry*. 2020;93:103282.
74. Lohbauer U, Reich S. Antagonist wear of monolithic zirconia crowns after 2 years. *Clinical oral investigations*. 2017;21:1165-1172.
75. Mundhe K, Jain V, Pruthi G, Shah N. Clinical study to evaluate the wear of natural enamel antagonist to zirconia and metal ceramic crowns. *The Journal of prosthetic dentistry*. 2015;114:358-363.
76. Stober T, Bermejo JL, Rammelsberg P, Schmitter M. Enamel wear caused by monolithic zirconia crowns after 6 months of clinical use. *Journal of oral rehabilitation*. 2014;41:314-322.
77. Stober T, Bermejo JL, Schwindling FS, Schmitter M. Clinical assessment of enamel wear caused by monolithic zirconia crowns. *Journal of oral rehabilitation*. 2016;43:621-629.
78. Hartkamp O, Lohbauer U, Reich S. Antagonist wear by polished zirconia crowns. *International journal of computerized dentistry*. 2017;20:263-274.
79. Stück AV, Raith S, Reich S. Twenty-four months in vivo wear of enamel antagonists to lithium disilicate implant crowns - a pilot study. *Journal of dentistry*. 2022;124:104215.
80. Murbay S, Yeung SKW, Yip CY, Pow EHN. Assessing Enamel Wear of Monolithic Ceramics With Micro-CT and Intra-oral Scanner. *International dental journal*. 2023;73:496-502.
81. Patzelt SB, Lamprinos C, Stampf S, Att W. The time efficiency of intraoral scanners: an in vitro comparative study. *Journal of the American Dental Association (1939)*. 2014;145:542-551.

82. Kong L, Li Y, Liu Z. Digital versus conventional full-arch impressions in linear and 3D accuracy: a systematic review and meta-analysis of in vivo studies. *Clinical oral investigations*. 2022;26:5625-5642.
83. Ahlholm P, Sipilä K, Vallittu P, Jakonen M, Kotiranta U. Digital Versus Conventional Impressions in Fixed Prosthodontics: A Review. *Journal of prosthodontics*. 2018;27:35-41.
84. Marshaha NJ, Azhari AA, Assery MK, Ahmed WM. Evaluation of the trueness and precision of conventional impressions versus digital scans for the all-on-four treatment in the maxillary arch: An in vitro study. *Journal of prosthodontics*. 2024;33:171-179.
85. Bosniac P, Rehmann P, Wöstmann B. Comparison of an indirect impression scanning system and two direct intraoral scanning systems in vivo. *Clinical oral investigations*. 2019;23:2421-2427.
86. Chochlidakis KM, Papaspyridakos P, Geminiani A, Chen CJ, Feng IJ, Ercoli C. Digital versus conventional impressions for fixed prosthodontics: A systematic review and meta-analysis. *The Journal of prosthetic dentistry*. 2016;116:184-190.
87. Schlenz MA, Stillersfeld JM, Wöstmann B, Schmidt A. Update on the Accuracy of Conventional and Digital Full-Arch Impressions of Partially Edentulous and Fully Dentate Jaws in Young and Elderly Subjects: A Clinical Trial. *Journal of clinical medicine*. 2022;11:3723.
88. Rehmann P, Sichwardt V, Wöstmann B. Intraoral Scanning Systems: Need for Maintenance. *The International journal of prosthodontics*. 2017;30:27-29.
89. Ochoa-López G, Cascos R, Antonaya-Martín JL, Revilla-León M, Gómez-Polo M. Influence of ambient light conditions on the accuracy and scanning time of seven intraoral scanners in complete-arch implant scans. *Journal of dentistry*. 2022;121:104138.
90. Wesemann C, Kienbaum H, Thun M, Spies BC, Beuer F, Bumann A. Does ambient light affect the accuracy and scanning time of intraoral scans? *The Journal of prosthetic dentistry*. 2021;125:924-931.
91. Revilla-León M, Subramanian SG, Att W, Krishnamurthy VR. Analysis of Different Illuminance of the Room Lighting Condition on the Accuracy (Trueness and Precision) of An Intraoral Scanner. *Journal of prosthodontics*. 2021;30:157-162.
92. Chen Y, Zhai Z, Li H, Yamada S, Matsuoka T, Ono S, et al. Influence of Liquid on the Tooth Surface on the Accuracy of Intraoral Scanners: An In Vitro Study. *Journal of prosthodontics*. 2022;31:59-64.
93. Kurz M, Attin T, Mehl A. Influence of material surface on the scanning error of a powder-free 3D measuring system. *Clinical oral investigations*. 2015;19:2035-2043.
94. Gavounelis NA, Gogola CC, Halazonetis DJ. The Effect of Scanning Strategy on Intraoral Scanner's Accuracy. *Dentistry journal*. 2022;10:123.
95. Passos L, Meiga S, Brigagão V, Street A. Impact of different scanning strategies on the accuracy of two current intraoral scanning systems in complete-arch impressions: an in vitro study. *International journal of computerized dentistry*. 2019;22:307-319.
96. Müller P, Ender A, Joda T, Katsoulis J. Impact of digital intraoral scan strategies on the impression accuracy using the TRIOS Pod scanner. *Quintessence international*. 2016;47:343-349.

97. Minsky M. Microscopy apparatus US patent 3013467. USP Office, Ed US. 1961;658.
98. Hellmuth T. Neuere Methoden in der konfokalen Mikroskopie. *Physikalische Blätter*. 1993;49:489-491.
99. Schweiger J, Kieschnick A. Datenerfassung. In: Schweiger J, Kieschnick A, Hrsg. *CAD/CAM in der digitalen Zahnheilkunde*. 1. Auflage: teamwork media GmbH; 2017. S. 15-46.
100. Wöstmann B, Rehmann P. Zahnärztliche Prothetik. *Der Freie Zahnarzt*. 2013;57:78-86.
101. Logozzo S, Zanetti EM, Franceschini G, Kilpelä A, Mäkynen A. Recent advances in dental optics—Part I: 3D intraoral scanners for restorative dentistry. *Optics and Lasers in Engineering*. 2014;54:203-221.
102. Zimmermann M, Mehl A, Mörmann WH, Reich S. Intraoral scanning systems - a current overview. *International journal of computerized dentistry*. 2015;18:101-129.
103. Kim J, Park JM, Kim M, Heo SJ, Shin IH, Kim M. Comparison of experience curves between two 3-dimensional intraoral scanners. *The Journal of prosthetic dentistry*. 2016;116:221-230.
104. Amornvit P, Rokaya D, Sanohkan S. Comparison of Accuracy of Current Ten Intraoral Scanners. *BioMed research international*. 2021;2021:2673040.
105. Resende CCD, Barbosa TAQ, Moura GF, Tavares LDN, Rizzante FAP, George FM, et al. Influence of operator experience, scanner type, and scan size on 3D scans. *The Journal of prosthetic dentistry*. 2021;125:294-299.
106. Sacher M, Schulz G, Deyhle H, Jäger K, Müller B. Accuracy of commercial intraoral scanners. *Journal of medical imaging (Bellingham, Wash)*. 2021;8:035501.
107. Michelinakis G, Apostolakis D, Tsagarakis A, Kourakis G, Pavlakis E. A comparison of accuracy of 3 intraoral scanners: A single-blinded in vitro study. *The Journal of prosthetic dentistry*. 2020;124:581-588.
108. Schmidt A, Klusmann L, Wöstmann B, Schlenz MA. Accuracy of Digital and Conventional Full-Arch Impressions in Patients: An Update. *Journal of clinical medicine*. 2020;9:688.
109. Park S, Kang HC, Lee J, Shin J, Shin YG. An enhanced method for registration of dental surfaces partially scanned by a 3D dental laser scanning. *Computer methods and programs in biomedicine*. 2015;118:11-22.
110. Reich S, Wöstmann B. Digitale Abformmethoden. In: Rosentritt M, Ilie N, Lohbauer U, Hrsg. *Werkstoffe in der Zahnmedizin - Moderne Materialien und Technologien*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag KG; 2018. S. 409-423.
111. Saravi B, Ilbertz J, Vach K, Kohal RJ, Patzelt SBM. Accuracy of Computerized Optical Impression Making in Fabrication of Removable Dentures for Partially Edentulous Jaws: An In Vivo Feasibility Study. *Journal of functional biomaterials*. 2023;14:458.
112. Andriessen FS, Rijkens DR, van der Meer WJ, Wismeijer DW. Applicability and accuracy of an intraoral scanner for scanning multiple implants in edentulous mandibles: a pilot study. *The Journal of prosthetic dentistry*. 2014;111:186-194.

113. Patzelt SB, Vonau S, Stampf S, Att W. Assessing the feasibility and accuracy of digitizing edentulous jaws. *Journal of the American Dental Association* (1939). 2013;144:914-920.
114. Rhee YK, Huh YH, Cho LR, Park CJ. Comparison of intraoral scanning and conventional impression techniques using 3-dimensional superimposition. *The journal of advanced prosthodontics*. 2015;7:460-467.
115. Schmidt A, Benedickt CR, Schlenz MA, Rehmann P, Wöstmann B. Torsion and linear accuracy in intraoral scans obtained with different scanning principles. *Journal of prosthodontic research*. 2020;64:167-174.
116. Hartkamp O, Peters F, Bothung H, Lohbauer U, Reich S. Optical profilometry versus intraoral (handheld) scanning. *International journal of computerized dentistry*. 2017;20:165-176.
117. Ender A, Zimmermann M, Mehl A. Accuracy of complete- and partial-arch impressions of actual intraoral scanning systems in vitro. *International journal of computerized dentistry*. 2019;22:11-19.
118. Donmez MB, Mathey A, Gäumann F, Mathey A, Yilmaz B, Abou-Ayash S. Effect of intraoral scanner and fixed partial denture situation on the scan accuracy of multiple implants: An in vitro study. *Clinical implant dentistry and related research*. 2023;25:502-510.
119. Liczmanski K, Stamm T, Sauerland C, Blanck-Lubarsch M. Accuracy of intraoral scans in the mixed dentition: a prospective non-randomized comparative clinical trial. *Head & face medicine*. 2020;16:11.
120. O'Toole S, Osnes C, Bartlett D, Keeling A. Investigation into the validity of WearCompare, a purpose-built software to quantify erosive tooth wear progression. *Dental materials*. 2019;35:1408-1414.
121. Machado AC, Phillips TS, Zimmerman R, Scaramucci T, Amaechi BT. Monitoring erosive tooth wear with intraoral 3D scanner: A feasibility study. *American journal of dentistry*. 2022;35:49-54.
122. Besl PJ, McKay ND. Method for registration of 3-D shapes. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. 1992;14:239-256.
123. Stawarczyk B, Lümkeemann N, Eichberger M, Wimmer T. Accuracy of Digitally Fabricated Wax Denture Bases and Conventional Completed Complete Dentures. *Dentistry journal*. 2017;5:36.
124. Kuhr F, Schmidt A, Rehmann P, Wöstmann B. A new method for assessing the accuracy of full arch impressions in patients. *Journal of dentistry*. 2016;55:68-74.
125. Heintze SD, Zellweger G, Sbicego S, Rousson V, Muñoz-Viveros C, Stober T. Wear of two denture teeth materials in vivo-2-year results. *Dental materials : official publication of the Academy of Dental Materials*. 2013;29:191-204.
126. Becker K, Wilmes B, Grandjean C, Drescher D. Impact of manual control point selection accuracy on automated surface matching of digital dental models. *Clinical oral investigations*. 2018;22:801-810.
127. O'Toole S, Osnes C, Bartlett D, Keeling A. Investigation into the accuracy and measurement methods of sequential 3D dental scan alignment. *Dental materials : official publication of the Academy of Dental Materials*. 2019;35:495-500.

128. Revilla-León M, Gohil A, Barmak AB, Zandinejad A, Raigrodski AJ, Alonso Pérez-Barquero J. Best-Fit Algorithm Influences on Virtual Casts' Alignment Discrepancies. *Journal of prosthodontics*. 2023;32:331-339.
129. Güth JF, Erdelt K, Keul C, Burian G, Schweiger J, Edelhoff D. In vivo wear of CAD-CAM composite versus lithium disilicate full coverage first-molar restorations: a pilot study over 2 years. *Clinical oral investigations*. 2020;24:4301-4311.
130. O'Toole S, Bartlett D, Keeling A, McBride J, Bernabe E, Crins L, et al. Influence of Scanner Precision and Analysis Software in Quantifying Three-Dimensional Intraoral Changes: Two-Factor Factorial Experimental Design. *Journal of medical Internet research*. 2020;22:17150.
131. Loumprinis N, Michou S, Rahiotis C. Different Methods of Scan Alignment in Erosive Tooth Wear Measurements: An In Vitro Study. *Dentistry journal*. 2024;12:34.
132. Díaz-Flores García V, Freire Y, David Fernández S, Gómez Sánchez M, Tomás Murillo B, Suárez A. Intraoral Scanning for Monitoring Dental Wear and Its Risk Factors: A Prospective Study. *Healthcare (Basel, Switzerland)*. 2024;12:1069.
133. Denucci GC, Alzahrani L, O'Toole S, Turssi CP, Hara AT. Objective assessment of simulated non-cariou cervical lesion by tridimensional digital scanning - An in vitro study. *Journal of dentistry*. 2024;142:104851.
134. Li R, Zhang R, Zhou Y, Peng J. Accuracy of two best-fit alignment strategies with different reference areas for wear measurement with an intraoral scanner: an in vitro study. *International journal of computerized dentistry*. 2023;26:331-337.
135. García VD, Freire Y, Fernández SD, Murillo BT, Sánchez MG. Application of the Intraoral Scanner in the Diagnosis of Dental Wear: An In Vivo Study of Tooth Wear Analysis. *International journal of environmental research and public health*. 2022;19:4481.
136. Travassos da Rosa Moreira Bastos R, Teixeira da Silva P, Normando D. Reliability of qualitative occlusal tooth wear evaluation using an intraoral scanner: A pilot study. *PloS one*. 2021;16:0249119.
137. Kühne C, Lohbauer U, Raith S, Reich S. Measurement of Tooth Wear by Means of Digital Impressions: An In-Vitro Evaluation of Three Intraoral Scanning Systems. *Applied Sciences*. 2021;11:5161.
138. Michou S, Vannahme C, Ekstrand KR, Benetti AR. Detecting early erosive tooth wear using an intraoral scanner system. *Journal of dentistry*. 2020;100:103445.
139. J FE-U, Hsu SM, Bohórquez AC, Abdulhameed N, Scheiffele GW, Kim M, et al. Novel methodology for measuring intraoral wear in enamel and dental restorative materials. *Clinical and experimental dental research*. 2020;6:677-685.
140. Alwadai GS, Roberts G, Ungar PS, González-Cabezas C, Lippert F, Diefenderfer KE, et al. Monitoring of simulated occlusal tooth wear by objective outcome measures. *Journal of dentistry*. 2020;102:103467.
141. Kumar S, Keeling A, Osnes C, Bartlett D, O'Toole S. The sensitivity of digital intraoral scanners at measuring early erosive wear. *Journal of dentistry*. 2019;81:39-42.
142. Meireles AB, Vieira AW, Corpas L, Vandenberghe B, Bastos FS, Lambrechts P, et al. Dental wear estimation using a digital intra-oral optical scanner and an automated

3D computer vision method. *Computer methods in biomechanics and biomedical engineering*. 2016;19:507-514.

143. Piórecka B, Jamka-Kasprzyk M, Niedźwiadek A, Jagielski P, Jurczak A. Fluid Intake and the Occurrence of Erosive Tooth Wear in a Group of Healthy and Disabled Children from the Małopolska Region (Poland). *International journal of environmental research and public health*. 2023;20:4585.

144. Pereira Cenci T, Cademartori MG, Dos Santos LG, Corrêa MB, Loomans B, Horta BL, et al. Prevalence of tooth wear and associated factors: A birth cohort study. *Journal of dentistry*. 2023;128:104386.

145. Sezer B, Giritlioğlu B, Sıddıkoğlu D, Lussi A, Kargül B. Relationship between erosive tooth wear and possible etiological factors among dental students. *Clinical oral investigations*. 2022;26:4229-4238.

146. Rusyan E, Grabowska E, Strużycka I. The association between erosive tooth wear and diet, hygiene habits and health awareness in adolescents aged 15 in Poland. *European archives of paediatric dentistry*. 2022;23:271-279.

147. Methuen M, Kangasmaa H, Alaraudanjoki VK, Suominen AL, Anttonen V, Vähänikkilä H, et al. Prevalence of Erosive Tooth Wear and Associated Dietary Factors among a Group of Finnish Adolescents. *Caries research*. 2022;56:477-487.

148. Lim SN, Tay KJ, Li H, Tan KBC, Tan K. Prevalence and risk factors of erosive tooth wear among young adults in the Singapore military. *Clinical oral investigations*. 2022;26:6129-6137.

149. Kanaan M, Brabant A, Eckert GJ, Hara AT, Carvalho JC. Non-Biological and Biological Risk Indicators for Tooth Wear Outcomes in Adults. *Caries research*. 2022;56:407-418.

150. Jász M, Szóke J. Dental Erosion and Its Relation to Potential Influencing Factors among 12-year-old Hungarian Schoolchildren. *Oral health & preventive dentistry*. 2022;20:95-102.

151. Yu T, Tao DY, Lu HX, Zhu JL, Xie CY, Bartlett D, et al. Prevalence and Associated Factors of Tooth Wear in Shanghai. *The Chinese journal of dental research*. 2021;24:95-103.

152. Marro F, De Smedt S, Rajasekharan S, Martens L, Bottenberg P, Jacquet W. Associations between obesity, dental caries, erosive tooth wear and periodontal disease in adolescents: a case-control study. *European archives of paediatric dentistry*. 2021;22:99-108.

153. Kamal Y, O'Toole S, Bernabé E. Obesity and tooth wear among American adults: the role of sugar-sweetened acidic drinks. *Clinical oral investigations*. 2020;24:1379-1385.

154. Tschammler C, Simon A, Brockmann K, Röbl M, Wiegand A. Erosive tooth wear and caries experience in children and adolescents with obesity. *Journal of dentistry*. 2019;83:77-86.

155. Li J, Fan W, Lu Y, Xuan D, Liu Z, Huang S, et al. A survey on the prevalence and risk indicators of erosive tooth wear among adolescents in Guangzhou, South China. *Journal of oral rehabilitation*. 2019;46:493-502.

156. Skalsky Jarkander M, Grindefjord M, Carlstedt K. Dental erosion, prevalence and risk factors among a group of adolescents in Stockholm County. *European archives of paediatric dentistry*. 2018;19:23-31.
157. Pedrão AMN, Andrews Portes L, Padilha Gomes E, Figueira Teixeira FC, da Costa Pereira A, de Oliveira NC. Erosive Tooth Wear and Dietary Patterns: A Clinical Study. *Oral health & preventive dentistry*. 2018;16:145-151.
158. Marro F, Jacquet W, Bottenberg P, Martens L. The Influence of Behavioural and Sociodemographic Risk Indicators on Erosive Tooth Wear in Flemish Adolescents, Belgium. *Caries research*. 2018;52:119-128.
159. Al-Zwaylif LH, O'Toole S, Bernabé E. Type and timing of dietary acid intake and tooth wear among American adults. *Journal of public health dentistry*. 2018;78:214-220.
160. Strużycka I, Lussi A, Bogusławska-Kapała A, Rusyan E. Prevalence of erosive lesions with respect to risk factors in a young adult population in Poland-a cross-sectional study. *Clinical oral investigations*. 2017;21:2197-2203.
161. Luciano LCO, Ferreira MC, Paschoal MA. Prevalence and factors associated with dental erosion in individuals aged 12-30 years in a northeastern Brazilian city. *Clinical, cosmetic and investigational dentistry*. 2017;9:85-91.
162. Antunes LS, Veiga L, Nery VS, Nery CC, Antunes LA. Sports drink consumption and dental erosion among amateur runners. *Journal of oral science*. 2017;59:639-643.
163. Muller-Bolla M, Courson F, Smail-Faugeron V, Bernardin T, Lupi-Pégurier L. Dental erosion in French adolescents. *BMC oral health*. 2015;15:147.
164. Alves LS, Brusius CD, Damé-Teixeira N, Maltz M, Susin C. Dental erosion among 12-year-old schoolchildren: a population-based cross-sectional study in South Brazil. *International dental journal*. 2015;65:322-330.
165. Mulic A, Skudutyte-Rysstad R, Tveit AB, Skaare AB. Risk indicators for dental erosive wear among 18-yr-old subjects in Oslo, Norway. *European journal of oral sciences*. 2012;120:531-538.
166. Manaf ZA, Lee MT, Ali NH, Samynathan S, Jie YP, Ismail NH, et al. Relationship between food habits and tooth erosion occurrence in Malaysian University students. *The Malaysian journal of medical sciences*. 2012;19:56-66.
167. Huew R, Waterhouse PJ, Moynihan PJ, Kometa S, Maguire A. Dental erosion and its association with diet in Libyan schoolchildren. *European archives of paediatric dentistry*. 2011;12:234-240.
168. Ratnayake N, Ekanayake L. Risk indicators for tooth wear in Sri Lankan adolescents. *Caries research*. 2010;44:14-19.
169. Ganss C, Schleichriemen M, Klimek J. Dental erosions in subjects living on a raw food diet. *Caries research*. 1999;33:74-80.
170. O'Toole S, Lau JS, Rees M, Warburton F, Loomans B, Bartlett D. Quantitative tooth wear analysis of index teeth compared to complete dentition. *Journal of dentistry*. 2020;97:103342.
171. Lussi A, Kohler N, Zero D, Schaffner M, Megert B. A comparison of the erosive potential of different beverages in primary and permanent teeth using an in vitro model. *European journal of oral sciences*. 2000;108:110-114.

172. Zimmermann M. Die digitale Abformung mit dem Intraoralscanner: mehr als nur eine Abformung. Zahnheilkunde, Management, Kultur: ZMK. 2016.
173. Matta RE, Bergauer B, Adler W, Wichmann M, Nickenig HJ. The impact of the fabrication method on the three-dimensional accuracy of an implant surgery template. *Journal of cranio-maxillo-facial surgery*. 2017;45:804-808.
174. Koo TK, Li MY. A Guideline of Selecting and Reporting Intraclass Correlation Coefficients for Reliability Research. *Journal of chiropractic medicine*. 2016;15:155-163.
175. Landis JR, Koch GG. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*. 1977;33:159-174.
176. Van't Spijker A, Rodriguez JM, Kreulen CM, Bronkhorst EM, Bartlett DW, Creugers NH. Prevalence of tooth wear in adults. *The International journal of prosthodontics*. 2009;22:35-42.
177. Rytömaa I, Järvinen V, Kanerva R, Heinonen OP. Bulimia and tooth erosion. *Acta odontologica Scandinavica*. 1998;56:36-40.
178. Bartlett DW, Coward PY. Comparison of the erosive potential of gastric juice and a carbonated drink in vitro. *Journal of oral rehabilitation*. 2001;28:1045-1047.
179. Martignon S, López-Macías AM, Bartlett D, Pitts N, Usuga-Vacca M, Gamboa LF, et al. The use of index teeth vs. full mouth in erosive tooth wear to assess risk factors in the diet: A cross-sectional epidemiological study. *Journal of dentistry*. 2019;88:103164.
180. Tang Z, Zhao X, Wang H. Quantitative analysis on the wear of monolithic zirconia crowns on antagonist teeth. *BMC oral health*. 2021;21:94.
181. Esquivel-Upshaw JF, Kim MJ, Hsu SM, Abdulhameed N, Jenkins R, Neal D, et al. Randomized clinical study of wear of enamel antagonists against polished monolithic zirconia crowns. *Journal of dentistry*. 2018;68:19-27.
182. Al-Omiri MK, Sghaireen MG, Alzarea BK, Lynch E. Quantification of incisal tooth wear in upper anterior teeth: conventional vs new method using toolmakers microscope and a three-dimensional measuring technique. *Journal of dentistry*. 2013;41:1214-1221.
183. Agustín-Panadero R, Moreno DM, Pérez-Barquero JA, Fernández-Estevan L, Gómez-Polo M, Revilla-León M. Influence of type of restorative materials and surface wetness conditions on intraoral scanning accuracy. *Journal of dentistry*. 2023;134:104521.
184. Imburgia M, Logozzo S, Hauschild U, Veronesi G, Mangano C, Mangano FG. Accuracy of four intraoral scanners in oral implantology: a comparative in vitro study. *BMC oral health*. 2017;17:92.
185. Vandeweghe S, Vervack V, Dierens M, De Bruyn H. Accuracy of digital impressions of multiple dental implants: an in vitro study. *Clinical oral implants research*. 2017;28:648-653.
186. Spagopoulos D, Kaisarlis G, Spagopoulou F, Halazonetis DJ, Güth JF, Papazoglou E. In Vitro Trueness and Precision of Intraoral Scanners in a Four-Implant Complete-Arch Model. *Dentistry journal*. 2023;11:27.
187. Cordaro M, Sailer I, Zarauz C, Liu X, Karasan D. The Accuracy of Full-Arch Intraoral Optical Impressions (IOS): Clinical Pilot Study of the Influence of the Scan

Strategy, Operator, and Intraoral Scanner. *The International journal of prosthodontics*. 2023;36:689-696.

188. Jamjoom FZ, Aldghim A, Aldibasi O, Yilmaz B. Impact of intraoral scanner, scanning strategy, and scanned arch on the scan accuracy of edentulous arches: An in vitro study. *The Journal of prosthetic dentistry*. 2023;131:1218-1225.

189. Schlenz MA, Schubert V, Schmidt A, Wöstmann B, Ruf S, Klaus K. Digital versus Conventional Impression Taking Focusing on Interdental Areas: A Clinical Trial. *International journal of environmental research and public health*. 2020;17:4725.

190. Zarbakhsh A, Jalalian E, Samiei N, Mahgoli MH, Kaseb Ghane H. Accuracy of Digital Impression Taking Using Intraoral Scanner versus the Conventional Technique. *Frontiers in dentistry*. 2021;18:6.

191. Tomita Y, Uechi J, Konno M, Sasamoto S, Iijima M, Mizoguchi I. Accuracy of digital models generated by conventional impression/plaster-model methods and intraoral scanning. *Dental materials journal*. 2018;37:628-633.

192. Gallardo YR, Bohner L, Tortamano P, Pigozzo MN, Laganá DC, Sesma N. Patient outcomes and procedure working time for digital versus conventional impressions: A systematic review. *The Journal of prosthetic dentistry*. 2018;119:214-219.

193. Alikhasi M, Siadat H, Nasirpour A, Hasanzade M. Three-Dimensional Accuracy of Digital Impression versus Conventional Method: Effect of Implant Angulation and Connection Type. *International journal of dentistry*. 2018;2018:3761750.

194. Güth JF, Runkel C, Beuer F, Stimmelmayer M, Edelhoff D, Keul C. Accuracy of five intraoral scanners compared to indirect digitalization. *Clinical oral investigations*. 2017;21:1445-1455.

195. Avila V, Díaz-Báez D, Beltrán EO, Castellanos J, Martignon S. Validation of an erosive tooth wear risk factors questionnaire for adolescents. *Clinical oral investigations*. 2022;26:3573-3584.

196. Thompson FE, Subar AF. Chapter 1 - Dietary Assessment Methodology. In: Coulston AM, Boushey CJ, Ferruzzi MG, Delahanty LM, Hrsg. *Nutrition in the Prevention and Treatment of Disease (Fourth Edition)*: Academic Press; 2017. S. 5-48.

197. Naska A, Lagiou A, Lagiou P. Dietary assessment methods in epidemiological research: current state of the art and future prospects. *F1000Research*. 2017;6:926.

198. Miller TM, Abdel-Maksoud MF, Crane LA, Marcus AC, Byers TE. Effects of social approval bias on self-reported fruit and vegetable consumption: a randomized controlled trial. *Nutrition journal*. 2008;7:18.

199. Klesges LM, Baranowski T, Beech B, Cullen K, Murray DM, Rochon J, et al. Social desirability bias in self-reported dietary, physical activity and weight concerns measures in 8- to 10-year-old African-American girls: results from the Girls health Enrichment Multisite Studies (GEMS). *Preventive Medicine*. 2004;38:78-87.

200. Hebert JR, Clemow L, Pbert L, Ockene IS, Ockene JK. Social Desirability Bias in Dietary Self-Report May Compromise the Validity of Dietary Intake Measures. *International Journal of Epidemiology*. 1995;24:389-398.

201. Kirkpatrick SI, Baranowski T, Subar AF, Toozé JA, Frongillo EA. Best Practices for Conducting and Interpreting Studies to Validate Self-Report Dietary Assessment Methods. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*. 2019;119:1801-1816.

202. Thakur S, Mathur P. Nutrition knowledge and its relation with dietary behaviour in children and adolescents: a systematic review. *International journal of adolescent medicine and health*. 2022;34:381-392.
203. Stok FM, Renner B, Clarys P, Lien N, Lakerveld J, Deliëns T. Understanding Eating Behavior during the Transition from Adolescence to Young Adulthood: A Literature Review and Perspective on Future Research Directions. *Nutrients*. 2018;10:667.
204. Hilger J, Loerbroks A, Diehl K. Eating behaviour of university students in Germany: Dietary intake, barriers to healthy eating and changes in eating behaviour since the time of matriculation. *Appetite*. 2017;109:100-107.
205. Victor A, Elsässer A, Hommel G, Blettner M. Judging a plethora of p-values: how to contend with the problem of multiple testing--part 10 of a series on evaluation of scientific publications. *Deutsches Arzteblatt international*. 2010;107:50-56.
206. Meredith N, Sherriff M, Setchell DJ, Swanson SA. Measurement of the microhardness and Young's modulus of human enamel and dentine using an indentation technique. *Archives of oral biology*. 1996;41:539-545.
207. Ruben JL, Roeters FJM, Truin GJ, Loomans BAC, Huysmans M. Cup-Shaped Tooth Wear Defects: More than Erosive Challenges? *Caries research*. 2019;53:467-474.
208. Ganss C, Klimek J, Borkowski N. Characteristics of tooth wear in relation to different nutritional patterns including contemporary and medieval subjects. *European journal of oral sciences*. 2002;110:54-60.
209. Krusic JJ, Hoffman M, Arsecularatne JA. Fatigue and wear of human tooth enamel: A review. *Journal of the mechanical behavior of biomedical materials*. 2023;138:105574.
210. Roberts WE, Mangum JE, Schneider PM. Pathophysiology of Demineralization, Part I: Attrition, Erosion, Abfraction, and Noncarious Cervical Lesions. *Current osteoporosis reports*. 2022;20:90-105.
211. Lussi A, Jaeggi T, Zero D. The role of diet in the aetiology of dental erosion. *Caries research*. 2004;38 Suppl 1:34-44.
212. Calderon Pdos S, Kogawa EM, Lauris JR, Conti PC. The influence of gender and bruxism on the human maximum bite force. *Journal of applied oral science : revista FOB*. 2006;14:448-453.
213. Shiga H, Komino M, Yokoyama M, Sano M, Arakawa I, Nakajima K, et al. Relationship between age and occlusal force in adults with natural dentition. *Odontology*. 2023;111:487-492.
214. Odake S. Sweetness intensity in low-carbonated beverages. *Biomolecular engineering*. 2001;17:151-156.
215. Michels N, Man T, Vinck B, Verbeyst L. Dietary changes and its psychosocial moderators during the university examination period. *European journal of nutrition*. 2020;59:273-286.
216. Reedy J, Subar AF, George SM, Krebs-Smith SM. Extending Methods in Dietary Patterns Research. *Nutrients*. 2018;10:571.

217. Thompson FE, Kirkpatrick SI, Subar AF, Reedy J, Schap TE, Wilson MM, et al. The National Cancer Institute's Dietary Assessment Primer: A Resource for Diet Research. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*. 2015;115:1986-1995.

## 11 Publikationsverzeichnis

Folgende Publikationen sind aus der vorliegenden Studie hervorgegangen:

Glatt AS, Schlenz MB, Wöstmann B, Ganss C, Schlenz MA, Monitoring von nicht-kariesbedingten Zahnhartsubstanzverlusten mittels Intraoralscanner: Klinische Ergebnisse nach 24 Monaten (Poster 5. Science Day JLU 2022, Gießen, 11.11.2022)

Schlenz MA, Schlenz MB, Glatt AS, Haas J, Wöstmann B, Ganss C, Digitales Monitoring von nicht-kariesbedingten Zahnhartsubstanzverlusten durch Intraoralscanner: Daten nach 36 Monaten (Vortrag DGPro Jahrestagung 2023, Würzburg, 12.-13.05.2023)

Haas J, Glatt AS, Schlenz MB, Wöstmann B, Ganß C\*, Schlenz MA\*, Monitoring von nicht-kariesbedingten Zahnhartsubstanzverlusten mittels Intraoralscanner: Klinische Ergebnisse nach 36 Monaten (Poster 6. Science Day JLU 2023, Gießen, 17.11.2023)

\*gleichberechtigte Autorenschaft

Schlenz MB, Digitales Monitoring von nicht-karies bedingten Zahnhartsubstanzverlusten bei jungen Erwachsenen. Edition scientifique. 1. Auflage ed. Giessen2021.

Schlenz MA, Schlenz MB, Wöstmann B, Jungert A, Glatt AS, Ganss C. The Suitability of Questionnaires for Exploring Relations of Dietary Behavior and Tooth Wear. *Nutrients*. 2022 Mar 10;14(6): 1165.doi: 10.3390/nu14061165.

Schlenz MA, Schlenz MB, Wöstmann B, Glatt AS, Ganss C. Intraoral scanner-based monitoring of tooth wear in young adults: 24-month results. *Clin Oral Investig*. 2023 Jun;27(6):2775-2785. doi: 10.1007/s00784-023-04858-x.

Schlenz MA, Schlenz MB, Wöstmann B, Glatt AS, Ganss C. Intraoral scanner-based monitoring of tooth wear in young adults: 36-month results. *Clin Oral Investig*. 2024 Jun 1;28(6):350. doi: 10.1007/s00784-024-05740-0.

## 12 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.“

---

Ort, Datum

---

Unterschrift

## 13 Danksagung

Ich danke dem Direktor der Zahnklinik und Leiter der Zahnärztlichen Prothetik *Prof. Dr. Bernd Wöstmann* für die Möglichkeit, die klinischen Untersuchungen in der Abteilung durchführen zu können.

Ein besonderer Dank gilt *Priv.-Doz. Dr. Maximiliane Schlenz* für die stetige Unterstützung bei der Durchführung der Studie, der guten Betreuung und der wertvollen Hilfe bei allen aufgetretenen Herausforderungen.

Ebenfalls gilt ein großer Dank *Prof. Dr. Carolina Ganß* für die Unterstützung bei allen Anliegen, für die stetige Ansprechbarkeit sowie die Themenfindung.

*Dr. Moritz Schlenz* danke ich für das Überlassen und die Unterstützung bei der Übergabe der Studie.

Für die zuverlässige Unterstützung und schnellen Hilfeleistungen bei der statistischen Auswertung bedanke ich mich bei *Dr. Johannes Herrmann*.

Der Dank gilt ebenfalls allen Mitarbeitern der Abteilung für Prothetik, für die Unterstützung bei der Durchführung der klinischen Studie.

Der größte Dank gilt meiner Familie und meinen Freunden. Ein besonderer Dank geht an meinem Papa, der mir stets als Vorbild dient, und an meine Mama, die mir jederzeit seelische Unterstützung gab. Meinem Bruder Alex danke ich für seine Unterstützung und seinen Rückhalt in schwierigen Situationen. Einem besonderen Dank gilt auch meinem Freund Simon, der mir immer den Rücken freigehalten hat, für die vielen Aufmunterungen und seine Geduld.