

Aus der Poliklinik für Kieferorthopädie
der Universitätsmedizin der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

Vergleich verschiedener in der Kieferorthopädie angewandter Plaque-Indizes zur
quantitativen Plaque-Bestimmung bei Patienten mit Multibracket-Apparatur

Inauguraldissertation
zur Erlangung des Doktorgrades der
Zahnmedizin
der Universitätsmedizin
der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

Vorgelegt von

Teresa Elisabeth Temming
aus Hamburg

Mainz, 2019

Tag der Promotion:

30. Juni 2020

Inhalt

Abkürzungsverzeichnis	VI
Abbildungsverzeichnis.....	VII
Tabellenverzeichnis.....	IX
1. EINLEITUNG	1
2. ZIEL DER DISSERTATION.....	2
3. LITERATURDISKUSSION	3
3.1 Plaque-Indizes	3
3.2 Plaque-Indizes in der Zahnmedizin.....	4
3.3 Plaque-Indizes in der Kieferorthopädie.....	13
3.3.1 Zahnmedizinische Plaque-Indizes.....	13
3.3.2 Kieferorthopädische Plaque-Indizes.....	17
4. MATERIAL UND METHODE.....	22
4.1 Berechnung des PPI mit der DPIA.....	22
4.1.1 Probandengut.....	24
4.3 Erhebung der konventionellen Plaque-Indizes.....	25
4.3.1 TQH-Index.....	26
4.3.2 Attin-Index	27
4.3.3 mBB-Index	28
4.3 Statistische Auswertung.....	30
4.3.1 Cohens Kappa	31
4.3.2 Bland-Altman-Diagramme	32
4.3.3 Kappa nach Fleiss.....	35

4.3.4 ICC	35
5. ERGEBNISSE	36
5.1 Vergleich der Ergebnisse der Plaque-Indizes	36
5.1.1 Vergleich der Plaque-Indizes mit dem Cohens Kappa	36
5.1.2 Vergleich der Plaque-Indizes mit den Bland-Altman-Diagrammen.....	41
5.2 Interrater-Reliabilität.....	52
5.2.1 Interrater-Reliabilität mit dem Kappa nach Fleiss.....	52
5.2.2 Interrater-Reliabilität mit dem ICC	53
5.2.2.1 Interrater-Reliabilität ohne Berücksichtigung der kieferorthopädischen Erfahrung der Beurteiler	53
5.2.2.2 Interrater-Reliabilität mit Berücksichtigung der kieferorthopädischen Erfahrung der Beurteiler	54
6. DISKUSSION	55
6.1 Diskussion von Material und Methode	55
6.1.1 Wahl der Plaque-Indizes	55
6.1.2 Wahl der Probanden- und Beurteilerzahl	57
6.1.3 Wahl der Zähne.....	59
6.1.4 Anwendung und Wahl des Plaque-Revelators	60
6.1.5 Erhebung der konventionellen Plaque-Indizes mit Fotos	61
6.1.6 Statistische Auswertung.....	62
6.1.6.1 Limitation der statistischen Auswertung von Plaque-Indizes	62
6.1.6.2 Mundhygienekategorien	64
6.1.6.3 Cohens Kappa	65
6.1.6.4 Bland-Altman-Diagramme	66
6.1.6.5 Kappa nach Fleiss	67
6.1.6.6 ICC	67

6.2 Diskussion der Ergebnisse	68
6.2.1 Vergleich der Plaque-Indizes mit dem Cohens Kappa	68
6.2.2 Vergleich der Plaque-Indizes mit den Bland-Altman-Diagrammen.....	69
6.2.2.1 Vergleich der Plaque-Indizes ohne Berücksichtigung der kieferorthopädischen Erfahrung.....	69
6.2.2.1 Vergleich der Plaque-Indizes mit Berücksichtigung der kieferorthopädischen Erfahrung.....	74
6.2.3 Interrater-Reliabilität mit dem Kappa nach Fleiss	74
6.2.4 Interrater-Reliabilität mit dem ICC	75
6.2.4.1 Interrater-Reliabilität ohne Berücksichtigung der kieferorthopädischen Erfahrung.....	75
6.2.4.2 Interrater-Reliabilität mit Berücksichtigung der kieferorthopädischen Erfahrung.....	77
6.3 Gegenüberstellung von konventionellen Plaque-Indizes und der DPIA in der Literatur.....	78
6.4 Empfehlung von Plaque-Indizes für Patienten mit MBA.....	81
7. ZUSAMMENFASSUNG.....	83
8. LITERATURVERZEICHNIS	85
9. DANKSAGUNG.....	94

Abkürzungsverzeichnis

Es folgt eine Auflistung der in der vorliegenden Arbeit verwandten Abkürzungen:

API: Approximaler Plaque-Index

KFO: Kieferorthopädie

KI: Konfidenzintervall

DPIA: digitales bildgebendes Plaque-Analyse-Verfahren (*Digital Plaque Imaging Analysis*)

GMPI: Gingivalsaum-Plaque-Index (*Gingival Margin Plaque Index*)

ICC: Intraklassen-Korrelationskoeffizient

LLOA: Untere Grenze des Übereinstimmungsbereichs (*Lower Limit of Agreement*)

MBA: Multibracket-Apparatur

mBB-Index: modifizierter Bonded Bracket-Index

MOP: modifizierter kieferorthopädischer Plaque-Index (*Modified Orthodontic Plaque Index*)

NPI: Navy-Plaque-Index

OHI: Mundhygiene-Index (*Oral Hygiene Index*)

OHI-S: vereinfachter Mundhygiene-Index (*Simplified Oral Hygiene Index*)

OPI: Ortho-Plaque Index

PHP: Patienten-Hygiene-Performance-Index (*Patient Hygiene Performance Index*)

PPI: Plaque-Index in Prozent (*Percentage Plaque Index*)

RMNPI: modifizierter Navy-Plaque-Index

TQH-Index: modifizierter Turesky-Index

ULOA: Obere Grenze des Übereinstimmungsbereichs (*Upper Limit of Agreement*)

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1 Die Einteilung der Plaque-Akkumulation nach dem OHI (37).....	5
Abb. 2 Einteilung der Plaque-Akkumulation nach dem Quigley-Hein-Index (35).	7
Abb. 3 Die Einteilung der Plaque-Dicke nach dem Silness und Loe-Index (35).....	8
Abb. 4 Die Einteilung der Zahnfläche nach dem PHP mit Anwendungsbeispielen. A: Einteilung der Zahnfläche in 5 Regionen. B: Der PHP ergibt einen Plaque-Wert von 3. C: Der PHP ergibt einen Plaque-Wert von 1.D: Der PHP ergibt einen Plaque-Wert von 4 (40).....	9
Abb. 5 Beispiel für die Erhebung des O'Leary Indexes (36).	9
Abb. 6 Die Einteilung der Zahnfläche nach dem RMNPI (48). Mit den Flächen ABC wird die gingivale Region, mit den Flächen F und D die approximale Region beschrieben.	10
Abb. 7 Die Bewertung der Plaque-Akkumulation nach dem GMPI (48).	11
Abb. 8 Bewertungsgrade des modifizierten Quigley-Hein-Indexes nach Kossack und Jost-Brinkmann (78). Grad 0 - keine Plaque; Grad 1 – vereinzelte Plaque-Areale; Grad 2 – diskrete Plaque-Linien; Grad 3 – Plaque-Ausdehnung $\leq 1/3$ der Zahnfläche, Grad 4 – Plaque-Ausdehnung $\leq 2/3$ der Zahnfläche; Grad 5 – Plaque-Ausdehnung $> 2/3$ der Zahnfläche.	14
Abb. 9 Die Bewertung der Plaque-Akkumulation nach dem BBI nach Aloufi et al. (106).	18
Abb. 10 Bewertungsgrade des kieferorthopädischen Plaque-Indexes nach Beberhold et al. (81).	20
Abb. 11 DPIA-Foto eines Probanden.	23
Abb. 12 DPIA-Foto nach Anwendung der Analyse der Pixel (6).....	23
Abb. 13 Einteilung der vestibulären Zahnfläche nach dem TQH-Index in mesial (m), zentral (c), distal (d) modifiziert nach Clerehugh et al. (97).	26
Abb. 14 Einteilung der Plaque-Akkumulation nach dem Attin-Index (108).	28
Abb. 15 Die Einteilung der vestibulären Zahnfläche nach dem mBB-Index in inzisal (i), distal (d), mesial (m), gingival (g) (97).	29
Abb. 16 Beispiel eines Bland-Altman-Diagramms ohne Berücksichtigung der kieferorthopädischen Erfahrung.	34
Abb. 17 Beispiel eines Bland-Altman-Diagramms mit Berücksichtigung der kieferorthopädischen Erfahrung.	34
Abb. 18 Zusammenfassende Darstellung der Simple Kappa in einem Boxplot-Diagramm. Dargestellt sind die Vergleiche der vier Plaque-Indizes (TQH-, Attin-, mBB-Index, PPI) bezogen auf die Einteilung der Probanden in dieselbe Mundhygienekategorie. Für jeden Beurteiler wurde das Simple Kappa für den Vergleich von zwei Plaque-Indizes bestimmt. Die einzelnen Box-Plots stellen die Verteilung von den Simple Kappas über die Beurteiler mit verschiedenen Paaren von Plaque-Indizes dar.	41
Abb. 19 Das Bland-Altman-Diagramm für den Vergleich der Plaque-Werte des PPI mit den Plaque-Werten des TQH-Indexes.	42
Abb. 20 Das Bland-Altman-Diagramm für den Vergleich der Plaque-Werte des PPI mit den Plaque-Werten des Attin-Indexes.	43
Abb. 21 Das Bland-Altman-Diagramm für den Vergleich der Plaque-Werte des PPI mit den Plaque-Werten des mBB-Indexes.....	44

Abb. 22 Das Bland-Altman-Diagramm für den Vergleich der Plaque-Werte des TQH-Indexes mit den Plaque-Werten des Attin-Indexes.	45
Abb. 23 Bland-Altman-Diagramm für den Vergleich der Plaque-Werte des TQH-Indexes mit den Plaque-Werten des mBB-Indexes.	46
Abb. 24 Bland-Altman-Diagramm für den Vergleich der Plaque-Werte des PPI mit den Plaque-Werten des TQH-Indexes mit Berücksichtigung der kieferorthopädischen Erfahrung der Beurteiler.	47
Abb. 25 Das Bland-Altman-Diagramm für den Vergleich der Plaque-Werte des PPI mit den Plaque-Werten des Attin-Indexes mit Berücksichtigung der kieferorthopädischen Erfahrung der Beurteiler.	48
Abb. 26 Das Bland-Altman-Diagramm für den Vergleich der Plaque-Werte des PPI mit den Plaque-Werten des mBB-Indexes mit Berücksichtigung der kieferorthopädischen Erfahrung der Beurteiler.	49
Abb. 27 Bland-Altman-Diagramm für den Vergleich der Plaque-Werte des TQH-Indexes mit den Plaque-Werten des Attin-Indexes mit Berücksichtigung der kieferorthopädischen Erfahrung der Beurteiler.	50
Abb. 28 Das Bland-Altman-Diagramm für den Vergleich der Plaque-Werte des TQH-Indexes mit den Plaque-Werten des mBB-Indexes mit Berücksichtigung der kieferorthopädischen Erfahrung der Beurteiler.	51

Tabellenverzeichnis

Tab. 1 Beispiel für die Erhebung des OPI modifiziert nach Atassi und Awartani (2).....	19
Tab. 2 Tabelle für die Erhebung des TQH-Indexes; distal (d), zentral (c), mesial (m).	27
Tab. 3 Tabelle für die Erhebung des Attin-Indexes.....	28
Tab. 4 Tabelle für die Erhebung des mBB-Indexes; inzisal (i), distal (d), mesial (m), gingival (g).	29
Tab. 5 Beispiel einer Kreuztabelle.	32
Tab. 6 Kreuztabelle zur Darstellung der Konkordanz und Diskordanz für den Vergleich des PPI mit dem TQH-Index bezogen auf die Einteilung der Probanden in Mundhygienekategorien.	36
Tab. 7 Kreuztabelle zur Darstellung der Konkordanz und Diskordanz für den Vergleich des PPI mit dem Attin-Index bezogen auf die Einteilung der Probanden in Mundhygienekategorien.	37
Tab. 8 Kreuztabelle zur Darstellung der Konkordanz und Diskordanz für den Vergleich des PPI mit dem mBB-Index bezogen auf die Einteilung der Probanden in Mundhygienekategorien.....	38
Tab. 9 Kreuztabelle zur Darstellung der Konkordanz und Diskordanz für den Vergleich des TQH-Indexes mit dem Attin-Index bezogen auf die Einteilung der Probanden in Mundhygienekategorien.	39
Tab. 10 Kreuztabelle zur Darstellung der Konkordanz und Diskordanz für den Vergleich des TQH-Indexes mit dem mBB-Index bezogen auf die Einteilung der Probanden in Mundhygienekategorien.	40
Tab. 11 Bewertung der Übereinstimmung der Mundhygienekategorien unter den Beurteilern mit dem Kappa nach Fleiss.	52
Tab. 12 Bewertung der Übereinstimmung der Plaque-Werte unter den Beurteilern ohne Berücksichtigung der kieferorthopädischen Erfahrung mit dem ICC.	53
Tab. 13 Bewertung der Übereinstimmung der Plaque-Werte unter den Beurteilern mit Berücksichtigung der kieferorthopädischen Erfahrung mit dem ICC.	54

1. EINLEITUNG

Die Mundhygiene spielt für die Zahngesundheit eine herausragende Rolle. Karies zählt zu einer der häufigsten nicht-übertragbaren Krankheiten in der modernen Gesellschaft (1). In Deutschland wurde jedoch in der 2014 veröffentlichten fünften Mundgesundheitsstudie ein Rückgang von Karies und Parodontitis in der Bevölkerung ermittelt (1). Die Zahl der kariesfreien Gebisse von Kindern verdoppelte sich von 1997 bis 2014 und die schweren Parodontalerkrankungen halbierten sich bei den jüngeren Erwachsenen (1). Für kieferorthopädische Patienten, deren Behandlung sich über einen längeren Zeitraum erstreckt, ist die Mundhygiene von besonderer Bedeutung. Studien zeigten, dass kieferorthopädische Patienten mit einer Multibracket-Apparatur (MBA) Schwierigkeiten haben, eine gute Mundhygiene zu erreichen (2-4). Auch der Einsatz von Attachments bei der Therapie mit so genannten Alignern erschwert die Mundhygiene (5). Patienten, die mit MBA therapiert werden, weisen eine erhöhte Plaque-Akkumulation und vermehrt Gingivitis auf (3, 4, 6). Der physiologische Reinigungsmechanismus der oralen Muskulatur und des Speichels wird durch die irreguläre Oberfläche der MBA eingeschränkt (7). Darüber hinaus zeigten Studien eine veränderte mikrobielle Flora bei Patienten mit MBA (4, 8-11). Besondere Prädilektionsstellen für die Plaque-Akkumulation stellen die Bereiche unter Bändern mit ausgewaschenem Zement (12), Kompositflächen angrenzend an der Bracket-Basis, die Bereiche unter den Flügeln und in den Slots von Brackets sowie Grenzflächen zwischen Komposit und Schmelz dar (13). Eine persistierende Plaque-Akkumulation kann die Bildung von Demineralisationen sog. *White-Spot-Läsionen* (14) sowie die Entstehung einer Gingivitis zur Folge haben (15).

Plaque ist ein Biofilm bestehend aus Speichelbestandteilen, bakteriellen Stoffwechselprodukten, Nahrungsbestandteilen und Bakterienzellen. Plaque entsteht durch die Anlagerung von Bakterien an das sekundäre Zahnhäutchen (Pellikel) und anschließende Teilungsvorgänge sowie die Akkumulation von weiteren Bakterien (16). Plaque kann sowohl mechanisch als auch chemisch entfernt werden. Zu der mechanischen Reinigung gehören Zahnbürsten, Zahnseide und Interdentalbürsten (17). Sobald die Plaque mineralisiert, ist die Entfernung der Plaque im Rahmen einer professionellen Zahnreinigung notwendig (18). Verschiedene antibakterielle Substanzen wie Chlorhexidin dienen der chemischen Plaque-Reduktion. Weitere

Produkte wie fluoridhaltige Mundspüllösungen, Gele und Lacke fördern die Kariesprophylaxe durch Remineralisation initialkariöser Läsionen (19).

Plaque-Indizes werden für die Plaque-Bestimmung angewendet. Plaque-Indizes stellen zum einen eine wichtige Methode für die Untersuchung der Effizienz von Mundhygieneprodukten in wissenschaftlichen Studien dar (20-24). Zum anderen begünstigen Plaque-Indizes die Motivation der Patienten zur Verbesserung der Mundhygiene in der täglichen Praxis (25). Patienten mit MBA weisen andere Prädilektionsstellen auf als Patienten ohne MBA. Zu diesem Zeitpunkt liegen nur wenige Studien vor, die die Anwendung von zahnmedizinischen Plaque-Indizes bei Patienten mit MBA untersuchten (26). Bei der Anwendung von kieferorthopädischen Plaque-Indizes fehlt es in klinischen Studien an Daten hinsichtlich der Reliabilität und Reproduzierbarkeit (26). Darüber hinaus wurden zahnmedizinische Plaque-Indizes bisher nur selten mit kieferorthopädischen Plaque-Indizes verglichen (26). Subjektive, konventionelle Plaque-Indizes werden von objektiven, quantitativen Plaque-Bestimmungsmethoden wie dem digitalen bildgebenden Plaque-Analyse-Verfahren (*Digital Plaque Imaging Analysis = DPIA*) unterschieden. Subjektive Plaque-Indizes stellen jedoch die Mehrheit der angewandten Methoden für die Evaluation der Mundhygiene dar (6, 27). Das DPIA-Verfahren kam bisher nur in wenigen Fällen bei kieferorthopädischen Patienten mit MBA zur Anwendung (6, 24).

2. ZIEL DER DISSERTATION

In der vorliegenden Arbeit wurden die Ergebnisse von vier Plaque-Indizes, die zuvor an kieferorthopädischen Probanden mit MBA erhoben wurden, verglichen. Darüber hinaus wurde die Urteilerübereinstimmung sog. Interrater-Reliabilität bei den konventionellen Plaque-Indizes evaluiert und die Auswirkung der kieferorthopädischen Erfahrung der Beurteiler auf die Ergebnisse diskutiert. Untersucht wurden der modifizierte Turesky-Index (TQH-Index), der Attin-Index, der modifizierte Bonded Bracket-Index (mBB-Index) und der Plaque-Index in Prozent (*Percentage Plaque Index = PPI*).

3. LITERATURDISKUSSION

3.1 Plaque-Indizes

Plaque-Indizes dienen der Bestimmung von Plaque-Mengen. In epidemiologischen Studien werden Plaque-Indizes verwendet, um die Ätiologie von parodontalen Erkrankungen zu untersuchen (28). Darüber hinaus haben Plaque-Indizes eine besondere Bedeutung bei der Bewertung der individuellen Mundhygiene von Patienten in der Klinik (28). Bei der Beurteilung der Effektivität von Mundhygieneprodukten in klinischen Studien besitzen sie ebenfalls einen hohen Stellenwert (28). Seit den 1950er Jahren wurden verschiedene Plaque-Indizes entwickelt und modifiziert. Konventionelle Plaque-Indizes unterscheiden sich in den Bewertungsgraden, der Einteilung der Zahnflächen und dem Fokus auf einen Bereich des Zahnes. In den vergangenen Jahren wurden computergestützte Verfahren entwickelt, mit denen die Plaque-Akkumulation prozentual berechnet wurde. Die Wahl eines Plaque-Indexes hängt von dem Ziel der Untersuchung, der Größe der Population und dem verfügbaren Zeitrahmen zur Durchführung einer Studie ab (29). Die Art und die Größenordnung der zu erwartenden Veränderungen in der Plaque-Akkumulation spielen zusätzlich eine Rolle bei der Auswahl (29). Folgende Anforderungen gelten für einen Plaque-Index (30):

- 1) Praktikabilität
- 2) Reliabilität
- 3) Quantifizierbarkeit
- 4) Genauigkeit
- 5) Objektivität

Mandel (28) und Fischman (29) gaben in einem Review einen umfangreichen Überblick über verschiedene Plaque-Indizes in der Zahnmedizin. In einem Review von 2012 nannten Al-Anezi und Harradine (31) die wichtigsten Plaque-Indizes in der Kieferorthopädie. Im Folgenden werden Plaque-Indizes aus dem zahnmedizinischen und kieferorthopädischen Bereich vorgestellt. In der Kieferorthopädie werden sowohl modifizierte zahnmedizinische Plaque-Indizes als auch speziell für die Kieferorthopädie entwickelte Plaque-Indizes verwendet (31).

3.2 Plaque-Indizes in der Zahnmedizin

Einer der ersten Plaque-Indizes wurde 1959 von **Ramfjord** (32) entwickelt. Der Plaque-Index nach Ramfjord stellt den Prototyp der Plaque-Indizes dar (28). Ramfjord (32) entwickelte diesen Plaque-Index, um die ätiologischen Faktoren parodontaler Erkrankungen zu untersuchen. Zusätzlich diente der Plaque-Index der Abschätzung des Behandlungsumfanges und Prophylaxebedarfs eines Patienten. Um eine Zeit- und Aufwandsparnis zu erreichen, schlug Ramfjord für die Beurteilung eine Auswahl an Zähnen vor, die repräsentativ für das gesamte Gebiss stehen. Ramfjord wählte dazu die Zähne 16, 21, 24, 36, 41 und 44 aus. Diese sechs Zähne werden bis dato zur Erhebung von Plaque-Indizes weiterhin in Studien verwendet (33, 34). Die Plaque-Akkumulation wird wie folgt eingeteilt: Grad 0 - keine Plaque; Grad 1 - geringe Menge an Plaque auf den approximalen und gingivalen Zahnflächen; Grad 2 - Plaque auf allen approximalen und gingivalen Zahnflächen, die Plaque bedeckt $\leq 1/2$ der Zahnkrone; Grad 3 - Plaque auf allen approximalen und gingivalen Zahnflächen, die Plaque bedeckt $> 1/2$ der Zahnkrone. Der Fokus dieses Plaque-Indexes wird auf die approximalen und gingivalen Bereiche des Zahnes gelegt, da diese Regionen Prädilektionsstellen für Karies darstellen (28, 35). Nach O'Leary et al. (36) liefern Plaque-Indizes, die nur eine Auswahl an Zähnen berücksichtigen, bei epidemiologischen Studien und bei Studien zur Bewertung von Therapieerfolgen hilfreiche Informationen. In der Klinik weisen derartige Plaque-Indizes jedoch Grenzen auf (36).

Bei dem **Mundhygiene-Index** (*Oral Hygiene Index* = OHI) nach Greene und Vermillion (37) wird sowohl die Plaque- als auch die Zahnsteinakkumulation beurteilt und setzt sich aus dem Debris- und dem Zahnstein-Index zusammen. Der Zahnbogen wird in drei Segmente unterteilt. Jeder Zahn wird vestibulär und lingual auf das Vorkommen von Plaque bzw. Zahnstein untersucht. Pro Segment wird jeweils der höchste Wert für die vestibulären und lingualen Zahnflächen notiert. Die Debris-Akkumulation wird ohne die Anwendung eines Plaque-Revelators beurteilt. Sowohl der Debris- als auch der Zahnstein-Index werden in vier Bewertungsgrade unterteilt. Der Debris-Index wird folgendermaßen eingeteilt (Abb. 1): Grad 0 - kein Debris; Grad 1 - Debris bedeckt \leq

1/3 der Zahnfläche; Grad 2 - Debris bedeckt $\leq 2/3$ der Zahnfläche; Grad 3 - Debris bedeckt $> 2/3$ der Zahnfläche.

Um die Anwendung des OHI zu vereinfachen, wurde der **vereinfachte Mundhygiene-Index** (*Simplified Oral Hygiene Index* = OHI-S) 1964 von Greene und Vermillion (38) entwickelt. Dieser unterscheidet sich von dem ursprünglichen Plaque-Index darin, dass lediglich die Hälfte der Zahnflächen beurteilt wird. Zudem werden sechs einzelne Zähne anstelle der Zahnbogensegmente bewertet (38). Greene und Vermillion (37) bezeichneten den OHI als eine sensitive, einfache und geeignete Methode, um den Mundhygienestatus eines einzelnen Patienten oder einer Patientengruppe zu bewerten. Lange et al. (35) und Fischman (29) kritisierten die unzureichende Bewertung der Plaque-Akkumulation bei dem OHI und dem OHI-S. Silness und Loe (39) zeigten 1964 in einer Studie, dass die Erhebung des Debris-Indexes ohne die Erhebung des Zahnstein-Indexes ausreicht, um den oralen Mundhygienestatus zu bestimmen. Ohne das Anfärben der Plaque mit einem Plaque-Revelator entfällt jedoch der motivierende Effekt für den Patienten (35). Podshadley und Haley (40), O'Leary et al. (36) und Lange et al. (35) beschrieben den OHI-S als geeignete Methode für umfassende epidemiologische Studien. Für Forschung und Klinik wird jedoch ein einfacherer und sensitiverer Plaque-Index als der OHI-S benötigt (40). In der Klinik weist dieser Plaque-Index bei der Beurteilung der Mundhygiene Grenzen auf (36). Ein Grund dafür ist die Bewertung der Plaque-Akkumulation an lediglich bestimmten Zähnen (36). Scannapieco (41) kritisierte 1995 das schwache Unterscheidungsvermögen von geringen Plaque-Mengen mit dem OHI. Zudem wird die Plaque-Akkumulation nahe der Gingiva nur unzureichend bewertet (41). Der OHI ist aus diesem Grund nicht für Studien geeignet, in denen der Zusammenhang zwischen Plaque und Gingivitis untersucht wird (41).

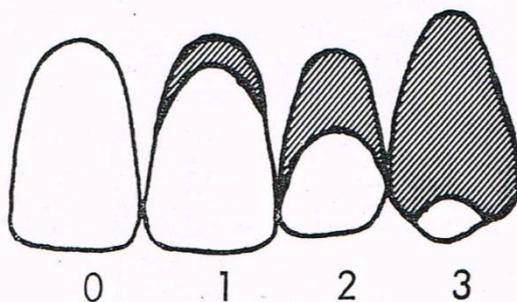


Abb. 1 Die Einteilung der Plaque-Akkumulation nach dem OHI (37).

Der **Quigley-Hein-Index** wurde 1962 entwickelt und legt den Fokus auf den gingivalen Bereich (42). Quigley und Hein (42) modifizierten den OHI nach Greene und Vermillion (37) und erweiterten den OHI um zwei Bewertungsgrade. Die Plaque wird in sechs Bewertungsgrade eingestuft (Abb. 2): Grad 0 - keine Plaque; Grad 1 - Plaque-Inseln entlang des Gingivalsaumes; Grad 2 - dünne Plaque-Linie entlang des Gingivalsaumes; Grad 3 - Plaque bedeckt $\leq 1/3$ der Zahnfläche; Grad 4 - Plaque bedeckt $\leq 2/3$ der Zahnfläche; Grad 5 - Plaque bedeckt $> 2/3$ der Zahnfläche. Im Gegensatz zu dem OHI nach Greene und Vermillion (37) beschreiben drei Bewertungsgrade die Plaque-Akkumulation im gingivalen Bereich (28). Dieser Plaque-Index wurde ursprünglich ausschließlich an der Labialfläche der anterioren Zähne zur Bewertung der koronalen Plaque-Akkumulation erhoben. Lange et al. (35) stellten fest, dass der Quigley-Hein-Index den Effekt mundhygienischer Maßnahmen und die Effizienz von Zahnbürsten gut bewertet. Hinsichtlich der Beurteilung der Plaque-Akkumulation im Sulkusbereich und in den Interdentalräumen ergeben sich jedoch Ungenauigkeiten (35).

Turesky et al. (43) modifizierten 1970 den Quigley-Hein-Index und entwickelten den **Turesky-Index**. Im Gegensatz zu dem Quigley-Hein-Index werden die vestibulären und oralen Flächen aller Zähne beurteilt. Des Weiteren werden die Bewertungsgrade 2 und 3 bei dem Turesky-Index eindeutiger differenziert. Die Plaque-Akkumulation wird nach dem Turesky-Index folgendermaßen eingeteilt: Grad 0 - keine Plaque; Grad 1 - Plaque-Inseln entlang des Gingivalsaumes; Grad 2 - dünne Plaque-Linie (≤ 1 mm) entlang des Gingivalsaumes; Grad 3 - eine Plaque-Linie (> 1 mm) entlang des Gingivalsaumes, die $\leq 1/3$ der Zahnfläche bedeckt; Grad 4 - Plaque bedeckt $\leq 2/3$ der Zahnfläche; Grad 5 - Plaque bedeckt $> 2/3$ der Zahnfläche. Nach Mandel (28) und Fishman (29) eignet sich der Turesky-Index, um die Mundhygiene umfassend zu bewerten. Deinzer et al. (44) bezeichneten den Turesky-Index als internationalen Standard-Plaque-Index. Escribano et al. (45), Iyer et al. (46) und Carter et al. (47) ergänzten, dass der Turesky-Index zu einem der am häufigsten angewandten Plaque-Indizes zählt.

Zur detaillierteren Beschreibung der Plaque-Akkumulation wandten Cugini et al. (48) 2006 in einer Studie eine Modifikation des Turesky-Indexes an. Dabei wurden die vestibulären und oralen Zahnflächen in jeweils drei Flächen (mesial, distal und zentral) unterteilt. Cugini et al. (48) bestätigten die Sensitivität dieser Modifikation.

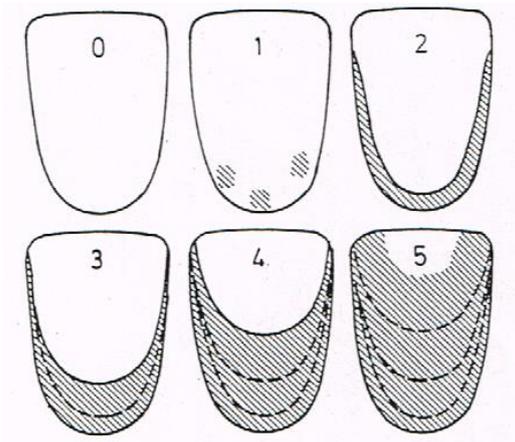


Abb. 2 Einteilung der Plaque-Akkumulation nach dem Quigley-Hein-Index (35).

Der Plaque-Index nach **Silness und Loe** (39) wurde erstmals 1964 beschrieben. Dieser Plaque-Index differenziert zwischen der Bestimmung der Plaque-Menge und der Lokalisation der Plaque (49). Der Silness und Loe-Index ist einer der wenigen Plaque-Indizes, der die Plaque-Dicke bewertet. Die koronale Ausbreitung der Plaque wird nicht berücksichtigt (49). Nach Silness und Loe werden vier Flächen des Zahnes (bukkal, mesial, distal, lingual) bewertet. Die Plaque wird in vier Bewertungsgrade unterteilt (Abb. 3): Grad 0 - keine Plaque; Grad 1 - Plaque-Film auf dem Gingivalsaum und der angrenzenden Zahnfläche, die Plaque ist erst nach Anfärben mit einem Plaque-Revelator oder nach Sondieren sichtbar; Grad 2 - mäßige Plaque-Akkumulation im Sulkus oder im gingivalen Kronenbereich und auf dem Gingivalsaum, die Plaque ist mit bloßem Auge sichtbar; Grad 3 - starke Plaque-Akkumulation im Sulkus und/oder auf dem gingivalen Kronenbereich und Gingivalsaum. Vor der Untersuchung werden die Gingiva und die Zähne getrocknet. Nach Auffassung von Silness und Loe (39) liefert das Sondieren der supra- und subgingivalen Plaque bei der Untersuchung bessere Ergebnisse als ein Plaque-Revelator. Lange et al. (35) hingegen gaben an, dass ohne Anwendung eines Plaque-Revelators mehr Zeit bei der Erhebung eines Plaque-Indexes benötigt werde. Zudem entfalle der motivierende Effekt eines Plaque-Revelators für den Patienten (35). Fischman (29) bezeichnete den Silness und Loe-Index als verlässliche Methode zur Evaluation der Effektivität von Mundhygieneprodukten. Lange et al. (50) erklärten 1973, dass der Silness und Loe-Index für Untersuchungen von ätiologischen Korrelationen zwischen Plaque-Menge und gingivaler Entzündung vielversprechend sei. Zu den Nachteilen dieses Plaque-Indexes zählen die Subjektivität der Bewertung der Plaque-Dicke insbesondere bei

mehreren Beurteilern sowie das geringe Unterscheidungsvermögen bei geringer Plaque-Akkumulation (29, 51).

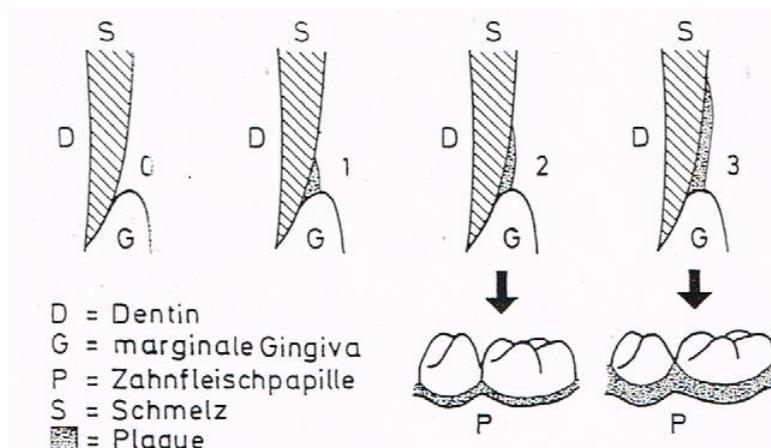


Abb. 3 Die Einteilung der Plaque-Dicke nach dem Silness und Loe-Index (35).

Podshadley und Haley (40) entwickelten 1968 den **Patienten-Hygiene-Performance-Index** (*Patient Hygiene Performance Index* = PHP). Nach dem PHP wird der Zahn in fünf Flächen unterteilt (Abb. 4). Die Zahnfläche wird senkrecht in Drittel (mesial, zentral, distal) und die zentrale Fläche erneut horizontal in Drittel (gingival, zentral, okklusal) geteilt. Nach Podshadley und Haley (40) wird mit dieser Einteilung der Schwerpunkt auf den zentralen und gingivalen Bereich des Zahnes gelegt. Beide Regionen stellen nach den genannten Autoren die wichtigsten Areale bei der Entstehung von parodontalen Erkrankungen dar. Nach Anfärben der Plaque mit einem Plaque-Revelator wird die Plaque-Akkumulation durch eine Ja-/Nein-Entscheidung bewertet. Podshadley und Haley (40) verglichen in einer Studie den PHP mit dem OHI-S. Der PHP erreichte bessere Ergebnisse in der Interrater-Reliabilität. Ein Grund dafür könnte die einfachere Beurteilung der Plaque-Akkumulation durch das Anfärben der Plaque mit einem Plaque-Revelator sein (40). Auch die Erhebung des PHP war im Vergleich zu dem OHI-S deutlich zeitsparender. Zudem wurde die Anwendung des PHP im Gegensatz zu dem OHI-S von Studienteilnehmern als angenehmer empfunden (40). Auch Mandel (28) beurteilte den PHP besser als den OHI.

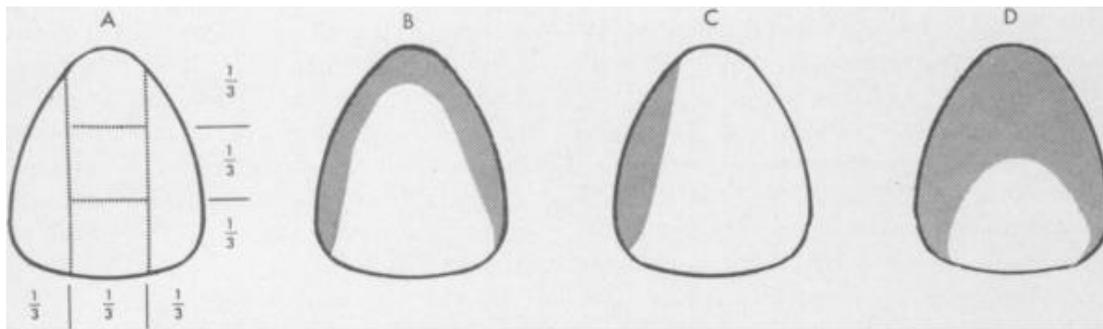


Abb. 4 Die Einteilung der Zahnfläche nach dem PHP mit Anwendungsbeispielen. A: Einteilung der Zahnfläche in 5 Regionen. B: Der PHP ergibt einen Plaque-Wert von 3. C: Der PHP ergibt einen Plaque-Wert von 1. D: Der PHP ergibt einen Plaque-Wert von 4 (40).

Der **O'Leary-Index** wurde erstmals 1972 von O'Leary et al. (36) beschrieben. Dieser Plaque-Index bietet eine einfache Methode, um die Plaque-Akkumulation klinisch zu beurteilen. Die Erhebung des Plaque-Indexes erfolgt nach einem Schema (Abb. 5) und hat somit einen motivierenden Effekt für den Patienten (36). Die Plaque-Akkumulation wird an der dentogingivalen Grenze nicht quantitativ, sondern nach dem Vorhandensein bzw. dem Fehlen von Plaque bewertet. Zur detaillierten Bewertung werden vier Zahnflächen (mesial, distal, vestibulär, lingual) beurteilt. Vorhandene Plaque wird mit einem horizontalen Strich im Schema gekennzeichnet. Fehlende Zähne werden mit einem vertikalen Strich gekennzeichnet. Nach O'Leary et al. (36) führt die quantitative Plaque-Bestimmung in der Klinik zu einem höheren Zeitaufwand, ohne jedoch eine zusätzliche Aussagekraft zu bieten.



Abb. 5 Beispiel für die Erhebung des O'Leary Indexes (36).

Der **Navy-Plaque-Index** (NPI) wurde 1973 von Grossman und Fedi (52) entwickelt. Der gingivale Bereich wird in drei Zonen (mesial, gingival, distal) unterteilt. Die Plaque-Akkumulation wird mit einem Punktesystem beurteilt. Plaque in der mesialen und

distalen Zone wird mit drei Punkten bewertet. Plaque in der gingivalen Zone wird mit zwei Punkten bewertet. Plaque, die sich nicht in Kontakt mit der Gingiva befindet, wird mit einem Punkt bewertet (52). Die Bewertung der Plaque erfolgt nach dem Anfärben mit einem Plaque-Revelator.

Folgende drei **Modifikationen des NPI** wurden entwickelt. Als erstes modifizierten Elliott et al. (53) 1972 den NPI. Die Plaque, die sich in direktem Kontakt mit dem Gingivalsaum befindet, wird im Vergleich zu der Plaque, die auf der koronalen Fläche vorhanden ist, detaillierter beurteilt als bei dem ursprünglichen NPI. Die oralen und vestibulären Zahnflächen werden jeweils in neun Flächen unterteilt (Abb. 6). Im Gegensatz zu einem Punktesystem wird die Plaque nach einer Ja-/Nein-Entscheidung bewertet.

Rustogi et al. (54) entwickelten 1992 den modifizierten Navy-Plaque-Index (RMNPI). Die Einteilung der Zahnfläche in neun Flächen bleibt erhalten. Auch nach Rustogi et al. werden die Flächen lediglich nach der Existenz von Plaque bewertet. Durch die Modifikation wird jedoch die proximale und gingivale Region auf Kosten der inzisalen und zentralen Region des Zahnes detaillierter bewertet. Der RMNPI stellt nach Cugini et al. (48) eine präzise Bewertung der Plaque-Akkumulation sowohl im gingivalen als auch im proximalen Bereich dar.

Claydon und Addy (55) verwendeten 1995 den RMNPI in Kombination mit einer planimetrischen Methode, um die Anwendung des umfangreichen Plaque-Indexes zu vereinfachen. Die Plaque-Akkumulation wurde mit Fotos dokumentiert und anschließend mit einer transparenten Deckschablone evaluiert (55).

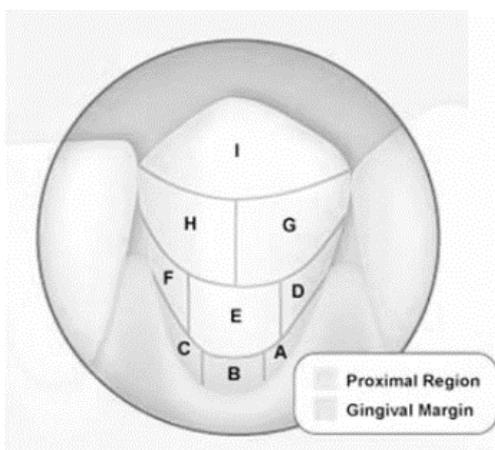


Abb. 6 Die Einteilung der Zahnfläche nach dem RMNPI (48). Mit den Flächen ABC wird die gingivale Region, mit den Flächen F und D die proximale Region beschrieben.

Der **Gingivalsaum-Plaque-Index** (*Gingival Margin Plaque Index* = GMPI) nach Harrap (51) wurde 1974 entwickelt, um die Plaque am Gingivalsaum zu beurteilen. Die Bestimmung der Plaque mit dem GMPI erfolgt eindimensional. Der GMPI ergibt sich aus der prozentualen Länge des Gingivalsaumes, der mit Plaque in Kontakt steht (Abb. 7). Die Plaque-Akkumulation auf der lingualen Zahnfläche sowie die Plaque-Dicke werden nicht bewertet. Für die Erhebung des GMPI werden die Zähne mit einem Plaque-Revelator angefärbt. Nach Harrap (51) berücksichtigt der GMPI im Gegensatz zu dem Silness und Løe-Index auch geringfügige Veränderungen der Plaque-Akkumulation. Addy et al. (56) gaben 1983 jedoch an, dass der GMPI ohne zusätzliche Hilfsmittel wie Fotos oder schematische Darstellungen an Präzision einbüßt. Ein weiterer Nachteil des GMPI besteht in der schwierigen Beurteilung der Plaque-Akkumulation auf dem Dentin im Vergleich zu der Beurteilung auf dem Schmelz. Die Anwendung des GMPI bei Patienten mit starken Rezessionen und somit freiliegendem Dentin ist daher eingeschränkt (51).

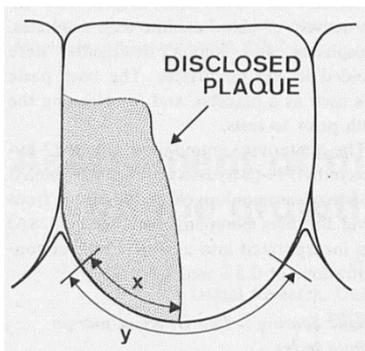


Abb. 7 Die Bewertung der Plaque-Akkumulation nach dem GMPI (48).

Der **Approximale Plaque-Index** (API) nach Lange (57) bewertet ausschließlich die Plaque in den Interdentalräumen, da die Entzündungsreaktion aufgrund der erhöhten Plaque-Retention häufig in dieser Region beginnt. Der API ist ein Plaque-Index, der insbesondere in der Parodontologie häufig angewendet wird (58-60). Bei der Erhebung des API wird die Plaque mit einem Plaque-Revelator angefärbt. Im ersten und dritten Quadranten werden die Interdentalräume von oral, im zweiten und vierten Quadranten von vestibulär untersucht. Die Plaque wird nach einer Ja-/Nein-Entscheidung beurteilt. Die Angabe des Plaque-Indexes in Prozent ermöglicht dem Patienten, den Verlauf der Mundhygiene zu verfolgen und eigenständig zu beurteilen (35).

Sagel et al. (61) führten zwei Gründe auf, weshalb konventionelle Plaque-Indizes begrenzte Informationen liefern. Zum einen variiert die Anwendung von konventionellen Plaque-Indizes seitens des Beurteilers und führt folglich zu ungenauen Ergebnissen. Zum anderen werden aufgrund der Sensitivität der Skalen häufig größere Studien benötigt, um einen Durchschnittswert zu bestimmen (61). Für die Verbesserung der quantitativen Plaque-Bestimmung wurden Fotoanalyse-Verfahren entwickelt.

Die planimetrische Plaque-Messung wurde erstmalig 1977 von Shaw und Murray (62) beschrieben und stellte einer der früh entwickelten quantitativen Plaque-Bestimmungsmethoden dar. Die vestibulären und oralen Zahnflächen wurden mit einer durchsichtigen Schablone in 4 mm² große Quadrate eingeteilt. Die Ausdehnung der Plaque-Akkumulation wurde von einem Beurteiler auf der Schablone markiert und berechnet. Addy et al. (56) modifizierten 1983 die planimetrische Plaque-Bestimmung und verwendeten neben der Schablone ein Planimeter zur Berechnung der Plaque-Akkumulation.

Die quantitative Plaque-Bestimmung wurde durch zahlreiche Studien, in denen verschiedene digitale Fotoanalysen untersucht wurden, weiterentwickelt (47, 63-69). Die Verfahren unterscheiden sich hauptsächlich in dem verwendeten Equipment und in der Auswertung der Fotos. Bei der DPIA handelt es sich um ein digitales bildgebendes Plaque-Analyse-Verfahren, das erstmals 2000 durch Sagel et al. (61) beschrieben wurde. Die DPIA repräsentiert eine standardisierte, sensitive, objektive und reproduzierbare Plaque-Bestimmungsmethode (61, 70), die für Studien zur Untersuchung der Effektivität von Mundhygieneprodukten von wesentlicher Bedeutung ist (71-73). Bellamy et al. (68) modifizierten 2008 das DPIA-Verfahren, in dem anstelle von UV-Licht sichtbares Licht verwendet wurde, wodurch die Durchführung der DPIA für manche klinische Untersuchungsräume vereinfacht wurde. Die Studie der genannten Autoren bewies, dass die modifizierte Methode ähnliche Ergebnisse bei der Plaque-Bestimmung erzielte wie das ursprüngliche DPIA-Verfahren nach Sagel et al. (61). In mehreren Studien wurde das modifizierte DPIA-Verfahren für die Untersuchung der Wirksamkeit von Mundhygieneprodukten verwendet (70, 74-76).

3.3 Plaque-Indizes in der Kieferorthopädie

3.3.1 Zahnmedizinische Plaque-Indizes

Trimpeneers et al. (42) entwickelten 1997 einen Plaque-Index zur Anwendung bei Patienten mit MBA, der auf der Grundlage des **Quigley-Hein-Indexes** (77) basiert. Auch Thienpont et al. (22) wandten diesen modifizierten Plaque-Index 2001 in einer Studie zur Evaluation der Effizienz von Zahnbürsten an. Der Plaque-Index bewertet die Plaque-Menge sowohl auf dem Bracket als auch um die Bracket-Basis. Die Plaque wird in vier Bewertungsgrade eingeteilt: Grad 0 - keine Plaque; Grad 1 - einzelne Plaque-Inseln; Grad 2 - kontinuierliche Plaque-Linie ≤ 1 mm breit; Grad 3 - kontinuierliche Plaque-Linie ≥ 1 mm breit (77). Der Plaque-Index nach Trimpeneers et al. vereinfacht die Anwendung durch die geringere Anzahl an Bewertungsgraden gegenüber dem ursprünglichen Quigley-Hein-Index.

Kossack und Jost-Brinkmann (78) verwendeten 2004 in einer Studie einen weiteren modifizierten Quigley-Hein-Index, um die speziellen Anforderungen von Patienten mit MBA zu beachten. Diese Modifikation berücksichtigt die Plaque-Akkumulation um die Bracket-Basis und unter dem Bogen (Abb. 8). Somit wird nicht nur die gingivale Plaque-Ausdehnung wie bei dem Quigley-Hein-Index, sondern auch die proximale Plaque-Ausdehnung berücksichtigt. Der von Kossack und Jost-Brinkmann verwendete Plaque-Index lehnt sich an einen von Djamchidi (79) zuvor beschriebenen modifizierten Quigley-Hein-Index an, mit dem ausschließlich die proximale Plaque-Akkumulation bewertet wird.

Marini et al. (80) verwandten 2014 in einer Studie den **Turesky-Index**. Die Autoren der Studie befanden den Plaque-Index für kieferorthopädische Studien als ungeeignet, da dieser ursprünglich nicht für Patienten mit MBA entwickelt wurde. Auch Beberhold et al. (81) kritisierten, dass weder mit dem Quigley-Hein-Index noch mit dem Turesky-Index die Prädilektionsstellen der Plaque-Akkumulation bei Patienten mit MBA einbezogen werden. Trotz der genannten Defizite wurde der Turesky-Index in Studien wie beispielsweise von Wenderoth et al. (82), Chen et al. (23), Ashkenazi et al. (83) und Sharma et al. (84) verwendet.

Kronenberg et al. (85) modifizierten 2009 in einer Studie den Turesky-Index. Bei dem modifizierten Plaque-Index wird die Plaque-Akkumulation vornehmlich auf dem

Bracket und um die Bracket-Basis beurteilt. Nur die Plaque-Akkumulation, die sich von der Bracket-Basis zur Gingiva ausbreitet, wird bewertet. Die Plaque, die ausschließlich am Gingivalsaum akkumuliert, wird nicht berücksichtigt (85).

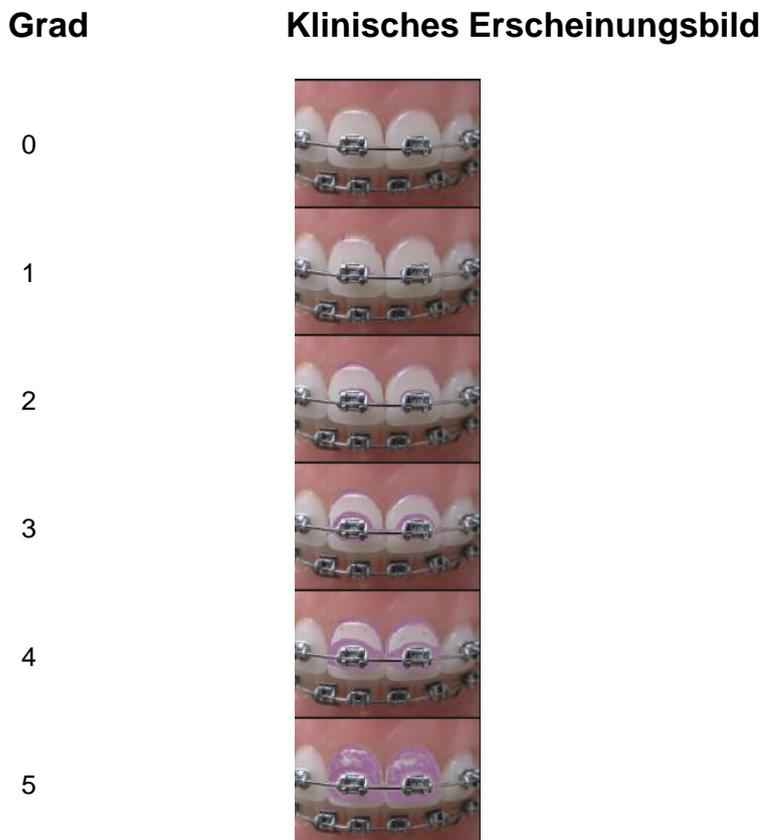


Abb. 8 Bewertungsgrade des modifizierten Quigley-Hein-Indexes nach Kossack und Jost-Brinkmann (78). Grad 0 - keine Plaque; Grad 1 – vereinzelte Plaque-Areale; Grad 2 – diskrete Plaque-Linien; Grad 3 – Plaque-Ausdehnung $\leq 1/3$ der Zahnfläche, Grad 4 – Plaque-Ausdehnung $\leq 2/3$ der Zahnfläche; Grad 5 – Plaque-Ausdehnung $> 2/3$ der Zahnfläche.

Der **Silness und Löe-Index** ist der am häufigsten in kieferorthopädischen Studien angewandte Plaque-Index (31). Der Silness und Löe-Index fand in zahlreichen Studien zur Untersuchung der Gingiva bei Patienten mit MBA-Anwendung (15, 86-89), da der Plaque-Index die Beurteilung der Plaque entlang des Gingivalsaumes erlaubt. Busschop et al. (90) bezeichneten 1985 den Silness und Löe-Index als präzise Methode zur Plaque-Bestimmung, die bereits geringe Veränderungen in der Plaque-Akkumulation bewertet. Mehrere kieferorthopädische Studien verifizierten eine gute bzw. sehr gute Intra- und Interrater-Reliabilität für den Silness und Löe-Index (20, 90-92). Sinclair et al. (93) wandten 1987 den Silness und Löe-Index in modifizierter Form

an. Anstelle von vier Flächen (bukkal, mesial, distal, lingual), wurden sechs Flächen (drei vestibulär, drei oral) auf Plaque untersucht.

Viele zahnmedizinische Plaque-Indizes beschreiben die Plaque-Retention um die Bracket-Basis und unter dem Bogen nur ungenügend. Aus diesem Grund entwickelten Williams et al. (94) 1991 den **modifizierten Silness und Loe-Index**. Dieser modifizierte Plaque-Index wurde speziell für kieferorthopädische Patienten mit MBA entwickelt. Der Fokus wird bei dem Plaque-Index neben dem Gingivalsaum besonders auf die Plaque-Akkumulation um die Bracket-Basis gelegt. Die Zahnfläche wird in vier Regionen (mesial, distal, gingival, inzisal des Brackets) eingeteilt (94). Costa et al. (95) und Sharma et al. (96) verwendeten den modifizierten Plaque-Index nach Williams et al. in ihren Studien. Costa et al. (95) modifizierten diesen Plaque-Index geringfügig. Die vier Zahnflächen werden nach der Existenz von Plaque und nicht nach Bewertungsgraden beurteilt (95). Clerehugh et al. beschrieben 1998 den modifizierten Silness und Loe-Index als einfachen Plaque-Index, der sensitiv genug ist, um Veränderungen in der Plaque-Akkumulation zu untersuchen (97). Auch Marini et al. (80) empfahlen 2014 den modifizierten Silness und Loe-Index für Studien, in denen Patienten mit MBA untersucht werden. Al-Anezi und Harradine (31) bewerteten den Silness und Loe-Index in einem Review über Plaque-Indizes in der Kieferorthopädie als den Plaque-Index mit der größten Aussagekraft.

Der Plaque-Index nach Jackson (98) wurde 1991 für kieferorthopädische Patienten mit MBA entwickelt. Der Plaque-Index lehnt sich an den **PHP** nach Podshadley und Haley (40) an. Die Einteilung der Zahnflächen wurde bei dem Plaque-Index nach Jackson an Patienten mit MBA adaptiert. Die Zahnfläche wird statt in fünf Flächen in vier Flächen in Bezug zu dem Bracket (mesial, distal, okklusal, gingival) unterteilt. Die Plaque-Akkumulation wird wie bei dem PHP nach einer Ja-/Nein-Entscheidung bewertet (98).

Naranjano et al. (11) und Farhadian et al. (99) erhoben den **O'Leary-Index** bei Patienten mit MBA. Auch in weiteren kieferorthopädischen Studien wurde dieser Plaque-Index zur Plaque-Bestimmung verwendet (21, 100). Wilcoxon et al. (101) wandten 1991 eine modifizierte Form des O'Leary-Indexes an. Zur genaueren Bewertung der Plaque-Akkumulation wurden neben den vestibulären auch die oralen Zahnflächen in drei Regionen (mesial, zentral, distal) unterteilt (101).

Heintze et al. (102) berücksichtigten 1996 die spezielle Topografie von Zähnen mit MBA. Der modifizierte O'Leary-Index nach Heintze et al. legt im Gegensatz zu dem modifizierten O'Leary-Index nach Wilcoxon et al. nicht ausschließlich den Fokus auf die dentogingivale Grenze des Zahnes. Nach Heintze et al. (102) wird die Zahnfläche in drei Regionen in Bezug zu dem Bracket (zervikal, mesial, distal) unterteilt. Die oralen Flächen werden dem ursprünglichen O'Leary-Index entsprechend bewertet (102).

Der **RMNPI** wurde 2014 in einer Studie von Paschos et al. (26) mit drei weiteren Plaque-Indizes bei Probanden mit MBA verglichen. Die Einteilung der Zahnfläche in neun Regionen wurde auf die Zahnfläche mit Bracket übertragen. Paschos et al. (26) befanden den RMNPI für Patienten mit MBA als ungeeignet. Darüber hinaus ist der RMNPI in der Anwendung komplex und zeitaufwändig (26).

Zimmer (103) untersuchte 1999 in einer Studie den Effekt verschiedener Prophylaxemethoden hinsichtlich der Demineralisationen während der kieferorthopädischen Therapie mit MBA. Dabei wurde der **API** zur Bestimmung der Plaque-Akkumulation verwendet. Zimmer (103) wies nach, dass der API keine geeignete Methode in Bezug auf die Beurteilung des Demineralisationsrisikos von Patienten mit MBA ist.

Resümierend weisen konventionelle Plaque-Indizes bei Patienten mit MBA Schwächen auf. Die **DPIA** findet nicht nur in der Zahnmedizin, sondern auch in der Kieferorthopädie Anwendung. Klukowska et al. (6) wandten 2011 erstmals die DPIA bei Probanden mit MBA an. Die Studie zeigte bei diesem Patientenkollektiv eine hohe Reproduzierbarkeit für die DPIA. Die Methode ermöglicht eine separate Berechnung der Plaque-Akkumulation verschiedener Regionen der vestibulären Zahnflächen (6). Die DPIA ist zudem eine hilfreiche visuelle Methode, um kieferorthopädische Patienten über die Bedeutung der Mundhygiene aufzuklären und zu motivieren (6). Erbe et al. (24) zeigten 2013 in einer Studie, dass die DPIA sensitiver und präziser für die Bestimmung von Plaque ist als konventionelle Plaque-Indizes. Allerdings wiesen Al-Anezi und Harradine (31) auf die Komplexität der DPIA hin.

3.3.2 Kieferorthopädische Plaque-Indizes

Ciancio et al. (104) entwickelten 1985 den **Bonded Bracket-Index** (BBI). Zu Beginn der Erhebung wird die Plaque mit einem Plaque-Revelator angefärbt. Der BBI nach Ciancio et al. wird in sechs Bewertungsgrade eingeteilt: Grad 0 - keine Plaque auf dem Bracket oder Zahn; Grad 1 - Plaque ausschließlich auf dem Bracket; Grad 2 - Plaque auf dem Bracket und auf der Zahnoberfläche ohne Ausbreitung zur Gingiva; Grad 3 - Plaque auf dem Bracket und auf der Zahnoberfläche mit Ausbreitung zur Gingivapapille; Grad 4 - Plaque auf dem Bracket und auf der Zahnoberfläche, Plaque-Ausbreitung zur Gingiva; Grad 5 - Plaque auf dem Bracket und auf der Zahnoberfläche, vollständige Plaque-Ausbreitung zur Gingiva (104).

Mit dem modifizierten BBI nach Kilicoglu et al. (105) wird sowohl die Plaque-Akkumulation auf der Zahnoberfläche als auch auf der Gingiva bewertet. Kilicoglu et al. (105) nahm folgende Änderung an Grad 4 und 5 vor: Grad 4 - Plaque auf dem Bracket und auf der Zahnoberfläche, ein Teil der Gingiva ist mit Plaque bedeckt; Grad 5 - Plaque auf dem Bracket und auf der Zahnoberfläche, die Gingiva ist vollständig mit Plaque bedeckt. Die Flächen unter dem Bogen, mesial und distal des Brackets, werden weder bei dem BBI nach Ciancio et al. (104) noch bei der Modifikation nach Kilicoglu et al. (105) berücksichtigt. Dadurch wird ausschließlich der gingivale Bereich als Prädilektionsstelle beurteilt (3).

Aloufi et al. (106) modifizierten 2010 den BBI. Der BBI nach Aloufi et al. berücksichtigt die proximale Plaque-Ausbreitung (Abb. 9): Grad 1 - Plaque auf dem Bracket; Grad 2 - Plaque auf dem Bracket und um die Bracket-Basis; Grad 3 - Plaque auf dem Bracket mit Ausbreitung zu dem Approximalraum; Grad 4 - Plaque auf dem Bracket mit kontinuierlicher Ausbreitung zu dem Gingivalsaum (106). Aljabaa et al. (107) verwendeten den BBI nach Aloufi et al. 2016 in einer Studie und erzielten eine hervorragende Intrarater-Reliabilität für den BBI (107).

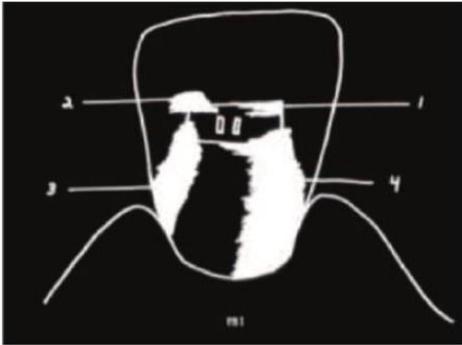


Abb. 9 Die Bewertung der Plaque-Akkumulation nach dem BBI nach Aloufi et al. (106).

Der **Ortho-Plaque-Index** (OPI) wurde von Heintze et al. (3) 1999 für kieferorthopädische Patienten mit MBA entwickelt. Bei Anwendung des OPI wird der zervikale Bereich sowie der Bereich mesial und distal des Brackets unterhalb des Bogens berücksichtigt. Diese Regionen stellen Regionen mit erhöhter Plaque-Akkumulation bei Patienten mit MBA dar (2, 3). Die Zahnfläche wird bei dem OPI in drei horizontale Regionen (zervikal, zentral, okklusale/inzisale) eingeteilt. Nur die Existenz von Plaque wird evaluiert. Zur vereinfachten Anwendung wird nach dem OPI nicht zwischen mesialen und distalen Flächen differenziert. Die positiven Ergebnisse werden für die Motivation des Patienten nach der Zugänglichkeit beim Zähneputzen gewichtet (Tab. 1). Okklusale Flächen lassen sich am leichtesten putzen und erhalten den Faktor 1. Zervikale Flächen sind schwerer zugänglich (Faktor 2). Die mesialen und distalen Flächen unterhalb des Bogens stellen beim Zähneputzen die am schwersten zu reinigenden Bereiche dar (Faktor 3) (3). Atassi und Awartani (2) wandten 2010 den OPI bei Probanden mit MBA an und betonten die gute Anwendbarkeit des OPI bei diesem Patientenkollektiv.

Tab. 1 Beispiel für die Erhebung des OPI modifiziert nach Atassi und Awartani (2).

Oberkiefer																
zervikal	Σ	2x														
zentral	Σ	3x														
Okklusal / inzisal	Σ	1x														
Zahn			7	6	5	4	3	2	1	1	2	3	4	5	6	7
Unterkiefer																
Okklusal / inzisal	Σ	2x														
zervikal	Σ	3x														
zentral	Σ	1x														
Insgesamt:																
OPI = Summe insgesamt – Anzahl der Zähne x 6																

Der **Attin-Index** wurde 2005 für kieferorthopädische Patienten mit MBA entwickelt (108). Bei der Entwicklung dieses Plaque-Indexes stand die einfache Anwendung im klinischen Alltag in dem Vordergrund. Die Einteilung der Plaque-Akkumulation in Bewertungsgrade orientiert sich an der typischen räumlichen Plaque-Ausbildung bei Patienten mit MBA (108). Attin sah basierend auf dem Ergebnis des Attin-Indexes die Einteilung der Patienten in die Mundhygienekategorien nach Lange (109) vor. Auf diese Weise besteht die Möglichkeit, Patienten in ein risikoorientiertes Prophylaxeprogramm einzustufen. Paschos et al. (26) wiesen dem Attin-Index eine gute Reliabilität nach. Beberhold et al. (81) kritisierten jedoch die fehlende Bewertung der Gingiva.

Der **kieferorthopädische Plaque-Index** (*Orthodontic Plaque Index*) wurde 2012 von Beberhold et al. (81) entwickelt. Dieser Plaque-Index berücksichtigt nicht nur die Zahnflächen unterhalb des Bogens, sondern die gesamte Fläche um die Bracket-Basis. Darüber hinaus werden Entzündungszeichen der Gingiva in die Evaluation miteinbezogen. Die Plaque wird mit einem Plaque-Revelator angefärbt. Die Zahnflächen werden nicht in Einzelflächen unterteilt. Die Plaque-Akkumulation wird in fünf Bewertungsgrade eingeteilt (Abb. 10). Grad 0 ergibt sich, wenn keine Plaque um die Bracket-Basis vorhanden ist. Bei Grad 1 befindet sich Plaque auf einer Fläche der

Bracket-Basis und bei Grad 2 auf zwei Flächen der Bracket-Basis. Grad 3 liegt vor, wenn sich Plaque auf drei Flächen der Bracket-Basis befindet. Grad 4 wird durch Plaque auf vier Flächen der Bracket-Basis und/oder gingivale Entzündungsreaktionen charakterisiert. Das Gebiss wird in Sextanten geteilt. Der höchste Wert aller Sextanten ergibt den kieferorthopädischen Plaque-Index für den Patienten. Der Patient wird mit dem Ergebnis des Plaque-Indexes in ein Prophylaxeprogramm eingestuft, um die Motivation des Patienten zu fördern (81).

Grad Klinisches Erscheinungsbild

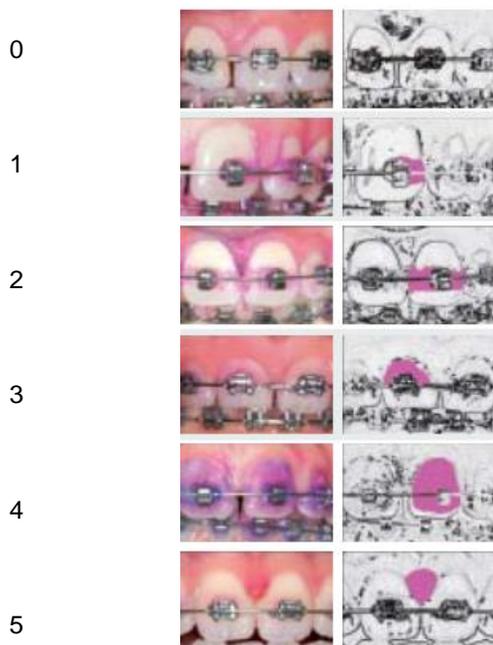


Abb. 10 Bewertungsgrade des kieferorthopädischen Plaque-Indexes nach Beberhold et al. (81).

Paschos et al. (26) entwickelten 2014 den **modifizierten kieferorthopädischen Plaque-Index** (*Modified Orthodontic Plaque Index* = MOP) für Patienten mit MBA. Dieser Plaque-Index stellt eine Kombination aus einem zahnmedizinischen und einem kieferorthopädischen Plaque-Index dar (26). Der MOP bewertet die Plaque-Akkumulation entlang des Gingivalsaumes und um die Bracket-Basis. Die Plaque wird vor der Erhebung mit einem Plaque-Revelator angefärbt. Die Einteilung der Plaque-Akkumulation erfolgt in fünf Bewertungsgrade: Grad 0 - keine Plaque; Grad 1 - Plaque-Akkumulation approximal (mesial und/oder distal) des Brackets; Grad 2 - Plaque-Akkumulation approximal, inzisal und/oder zervikal des Brackets; Grad 3 -

kontinuierliche Plaque-Ausbreitung von dem Gingivalsaum bis zu dem Bracket; Grad 4 - vollständige Bedeckung der Zahnfläche mit Plaque. Die Plaque ist bei den Bewertungsgraden 3 und 4 nicht von dem Bracket oder Gingivalsaum isoliert (26). Paschos et al. (26) bezeichneten den MOP als geeigneten Plaque-Index für kieferorthopädische Patienten mit MBA. In einer Studie der genannten Autoren erzielte der MOP eine gute Reproduzierbarkeit (26). Zudem wurde die Anwendbarkeit bei Patienten mit MBA sehr positiv bewertet (26).

4. MATERIAL UND METHODE

4.1 Berechnung des PPI mit der DPIA

In der vorliegenden Arbeit wurden $n = 50$ Fotos verwendet, die nach dem DPIA-Verfahren nach Klukowska et al. (6) erstellt wurden. Die DPIA-Fotos basierten auf $n = 50$ Probanden (vgl. 4.1.1). Pro Probanden wurde ein Foto verwendet. Das Verfahren ermöglichte die Berechnung des PPI zur Bestimmung der prozentualen Plaque-Akkumulation der Zahnfläche. Die Probanden wurden instruiert, vier Stunden vor der Durchführung von der DPIA auf Essen und Trinken zu verzichten. Zusätzlich wurden die Probanden angewiesen, das Zähneputzen an dem jeweiligen Untersuchungstag auf den Morgen (spätestens 8 Uhr) zu begrenzen. Die Termine fanden alle am Nachmittag statt.

Jeder Proband spülte zu Beginn der Untersuchung mit einer Fluorescein-Lösung zur farblichen Darstellung der Plaque. Die Lösung wurde in folgender Reihenfolge verwendet:

Spülung für 10 Sekunden mit 25 ml Phosphatpuffer

Spülung für 1 Minute mit 5 ml 1240 ppm Fluorescein in Phosphatpuffer

3-mal Spülung für je 10 Sekunden mit 25 ml Phosphatpuffer

Nach Anfärben der Plaque mit der Fluorescein-Lösung wurden alle Fotos innerhalb von zwei Minuten aufgenommen. Die Probanden wurden in einem Abstand von 45,5 cm vor der Kamera positioniert. Zum Schutz der Augen trugen die Probanden eine UV-filternde Brille. Zur Darstellung der Frontzähne wurden zwei Wangenhalter verwendet. Das Kinn wurde zur Stabilisierung und Reproduzierbarkeit in einer Kinnstütze fixiert. Die Kamera enthielt eine Live-Video-Übertragung im Monitor, mit der die Sitzposition der Probanden kontrolliert wurde. Die Live-Video-Übertragung wurde während der Aufnahme des Fotos ausgeschaltet. Alle Aufnahmen wurden unter einheitlichen Raumbedingungen und ohne externes Licht aufgenommen. Abbildung 11 zeigt ein Beispiel eines DPIA-Fotos eines Probanden.

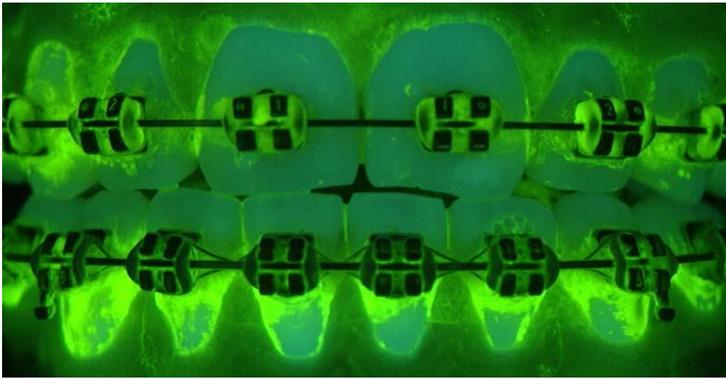


Abb. 11 DPIA-Foto eines Probanden.

Die DPIA-Fotos wurden automatisch auf den Computer transferiert und mit der Optimas Software (Version 6.5.1, Media Cybernetics, Silver Spring, Md) analysiert. Ausschließlich die vestibulären Zahnflächen aller zwölf Frontzähne (sechs Oberkiefer-, sechs Unterkieferzähne) wurden in die Berechnung einbezogen. Die Gingiva, die Zunge und die Wangenhalter wurden aus der zu berechnenden Fläche entfernt. Mit den vorliegenden Fotos rechnet das computergestützte Programm Pixelwerte für jedes einzelne Foto aus. Mit einer Analyse der Pixel basierend auf dem RGB-Farbraum wurden die Pixel vier Klassen zugeordnet. Die Analyse ermöglichte folgende farbliche Abgrenzung vier verschiedener Regionen des Zahnes (Abb. 12):

Gelb: Plaque auf der Zahnoberfläche

Weiß: Zahnfläche

Hellblau: Plaque auf dem Bracket

Dunkelblau: Bracket

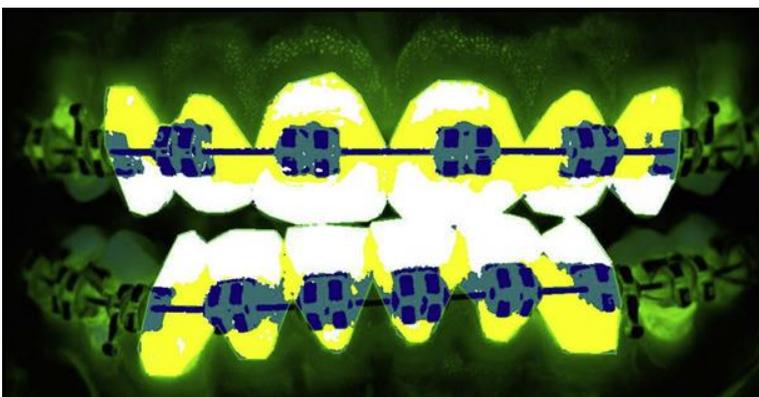


Abb. 12 DPIA-Foto nach Anwendung der Analyse der Pixel (6).

Die Zuordnung der Pixel basierte auf der Berechnung der Distanz des ermittelten Pixels zu dem mittleren RGB-Farbraum einer vorgegeben Klasse. Die Pixel wurden der Klasse mit der geringsten Distanz zugeordnet. Die Fläche der Brackets wurde bei der Berechnung der Plaque nicht beurteilt. Im Vordergrund lag die Beurteilung der Plaque, die sich unmittelbar auf der Zahnoberfläche befand. Die mit Plaque bedeckte Zahnfläche wurde in Korrelation zu der nicht mit Plaque bedeckten Zahnfläche gesetzt und als prozentualer Plaque-Wert errechnet. Diese Berechnung ergab den PPI.

4.1.1 Probandengut

Die genannten n = 50 Probanden hatten ein Durchschnittsalter von $13,9 \pm 1,98$ Jahren und wurden zuvor in der Poliklinik für Kieferorthopädie der Universitätsmedizin der Johannes Gutenberg-Universität Mainz (Rheinland-Pfalz, Deutschland) untersucht. Alle Probanden hatten zu dem Zeitpunkt der Untersuchung eine MBA im Ober- und Unterkiefer in situ. Alle Probanden wurden nach den folgenden Kriterien ausgewählt:

- 1) Alter ≥ 12 Jahre
- 2) MBA im Ober- und Unterkiefer
- 3) Vorlage einer schriftlichen Einverständniserklärung mit ausführlicher Beschreibung des Studienverlaufs inklusive einer Kopie für die Probanden bzw. Erziehungsberechtigten vor Beginn der Studie
- 4) Mindestens 16 angeborene Zähne mit zu bewertenden vestibulären und oralen Zahnflächen
- 5) Auftreten von mindestens einer Blutungsstelle jeweils in der anterioren und posterioren Region oder von insgesamt 15 Blutungsstellen bei Untersuchungsbeginn
- 6) Guter Allgemeinzustand, der vorab von dem Untersucher basierend auf der Anamnese der Probanden geprüft wurde
- 7) Teilnahme an allen Untersuchungsterminen
- 8) Verwendung einer Handzahnbürste

Die Ausschlusskriterien waren:

- 1) Vorliegen einer schweren Parodontitis
- 2) Laufende Parodontitis-Therapie
- 3) Ausgeprägte Malokklusion der Frontzähne
- 4) Einnahme von Antibiotika \leq 2 Wochen vor Untersuchungsbeginn
- 5) Vorliegen einer Krankheit, die die Teilnahme an der Studie beeinträchtigen könnte

Eine Genehmigung der Studie durch die Freiburger Ethik-Kommission International (Baden-Württemberg, Deutschland) ist vorhanden (feki Code 07/2113).

4.3 Erhebung der konventionellen Plaque-Indizes

In der vorliegenden Arbeit wurden der TQH-Index, der Attin-Index und der mBB-Index als konventionelle Plaque-Indizes erhoben. Untersucht wurden die vestibulären Zahnflächen aller zwölf Frontzähne (sechs Oberkiefer-, sechs Unterkieferzähne). Der TQH-, Attin- und mBB-Index wurden von $n = 14$ Beurteilern mit den DPIA-Fotos erhoben. Die Beurteiler wiesen eine unterschiedliche kieferorthopädische Erfahrung auf. Zu dem Untersuchungszeitpunkt befanden sich $n = 10$ Assistenz Zahnärzte in der kieferorthopädischen Weiterbildung und $n = 4$ Beurteiler waren kieferorthopädische Fachzahnärzte der Poliklinik für Kieferorthopädie der Universitätsmedizin der Johannes Gutenberg-Universität Mainz. Die Beurteiler wurden in drei Gruppen entsprechend nach wenig (≤ 1 Jahr), mittlerer (≥ 2 Jahre bis ≤ 5 Jahre) und viel (> 5 Jahre) kieferorthopädischer Erfahrung eingeteilt. Demnach hatten $n = 4$ Beurteiler wenig, $n = 5$ Beurteiler mittlere und $n = 5$ Beurteiler viel kieferorthopädische Erfahrung. Jeder Beurteiler bewertete die Plaque-Akkumulation aller $n = 50$ Probanden und erhob jeden der drei Plaque-Indizes (TQH-, Attin-, mBB-Index) einmal. Die drei Plaque-Indizes wurden innerhalb von zwei Wochen in einem Abstand von mindestens zwei Tagen voneinander erhoben. Alle Beurteiler erhielten für die Evaluation eine schriftliche Beschreibung der Plaque-Indizes zusätzlich zu einer bildlichen Erklärung.

4.3.1 TQH-Index

In der vorliegenden Arbeit wurde der TQH-Index untersucht, der eine Modifikation des Turesky-Indexes nach Cugini et al. (48) darstellte (43). Nach der Modifikation wurde die vestibuläre Zahnfläche in drei Regionen (mesial, zentral, distal) unterteilt (Abb. 13). Bei dem TQH-Index handelte es sich um einen zahnmedizinischen Plaque-Index mit entsprechender Dokumentation in einer Tabelle (Tab. 2).

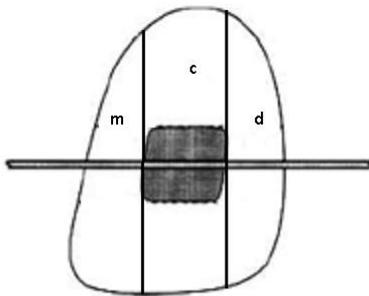


Abb. 13 Einteilung der vestibulären Zahnfläche nach dem TQH-Index in mesial (m), zentral (c), distal (d) modifiziert nach Clerehugh et al. (97).

Die Plaque-Akkumulation wurde in folgende Bewertungsgrade eingeteilt (43):

Grad	Klinisches Erscheinungsbild
0	keine Plaque
1	einzelne Plaque-Inseln entlang des Gingivalsaumes
2	dünne Plaque-Linie (≤ 1 mm) entlang des Gingivalsaumes
3	Plaque-Linie > 1 mm, die Plaque bedeckt $\leq 1/3$ der Zahnfläche
4	Plaque bedeckt $\leq 2/3$ der Zahnfläche
5	Plaque bedeckt $> 2/3$ der Zahnfläche

Tab. 2 Tabelle für die Erhebung des TQH-Indexes; distal (d), zentral (c), mesial (m).

Oberkiefer rechts									
Zahn	13	12	11						
Region	D C M	D C M	D C M						
TQH-Index									

Oberkiefer links									
Zahn	21	22	23	Zahn					
Region	M C D	M C D	M C D	Region					
TQH-Index									

Unterkiefer rechts									
Zahn	43	42	41						
Region	D C M	D C M	D C M						
TQH-Index									

Unterkiefer links									
Zahn	31	32	33	Zahn					
Region	M C D	M C D	M C D	Region					
TQH-Index									

4.3.2 Attin-Index

Der Attin-Index orientierte sich als kieferorthopädischer Plaque-Index an der Plaque-Formation bei Patienten mit MBA (108). Die Plaque-Werte des Attin-Indexes wurden ebenfalls in einer Tabelle notiert (Tab. 3). Die Plaque-Akkumulation wurde in folgende Bewertungsgrade eingeteilt (Abb. 14):

Grad	Klinisches Erscheinungsbild
0	Keine sichtbare Plaque
1	Plaque-Inseln auf den approximalen Flächen
2	Zusätzlich zu den approximalen Flächen Plaque-Inseln zervikal des Brackets
3	Plaque bedeckt > 1/3 der Fläche zervikal des Brackets

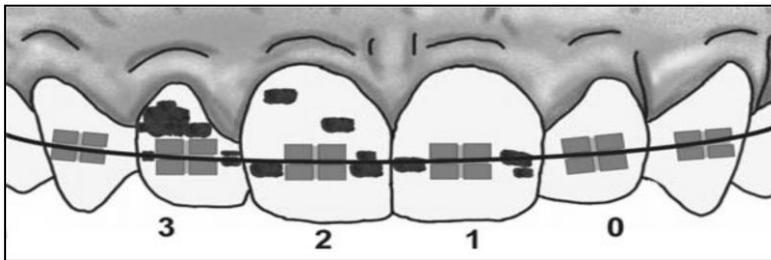


Abb. 14 Einteilung der Plaque-Akkumulation nach dem Attin-Index (108).

Tab. 3 Tabelle für die Erhebung des Attin-Indexes.

Oberkiefer links				Oberkiefer rechts			
Zahn	13	12	11	21	22	23	Zahn
Attin-Index							Attin-Index

Unterkiefer links				Unterkiefer rechts			
Zahn	43	42	41	31	32	33	Zahn
Attin-Index							Attin-Index

4.3.3 mBB-Index

In der vorliegenden Arbeit wurde der mBB-Index nach Delaurenti et al. (110) verwendet. Der Plaque-Index bestand aus einer Kombination von einem zahnmedizinischen und einem kieferorthopädischen Plaque-Index. Die Bewertungsgrade lehnten sich an die von dem OHI nach Greene und Vermillion (37) an. Die Einteilung der vestibulären Zahnflächen orientierte sich an Williams et al. (94). Jeder Zahn wurde in vier Flächen (inzisal, distal, mesial, gingival) unterteilt (Abb. 15). Tabelle 4 zeigt die Tabelle, in der die Beurteiler die Plaque-Werte jedes Probanden notierten.

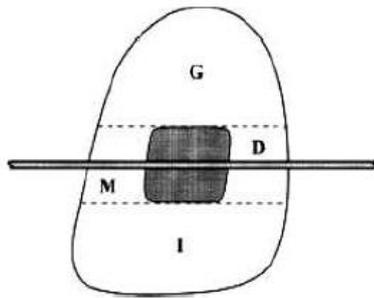


Abb. 15 Die Einteilung der vestibulären Zahnfläche nach dem mBB-Index in inzisal (i), distal (d), mesial (m), gingival (g) (97).

Die Plaque-Akkumulation wurde in folgende Bewertungsgrade eingeteilt:

Grad	Klinisches Erscheinungsbild
0	keine Plaque
1	Plaque bedeckt $\leq 1/3$ der Zahnfläche
2	Plaque bedeckt $\leq 2/3$ der Zahnfläche
3	Plaque bedeckt $> 2/3$ der Zahnfläche

Tab. 4 Tabelle für die Erhebung des mBB-Indexes; inzisal (i), distal (d), mesial (m), gingival (g).

		Oberkiefer rechts									Oberkiefer links															
Zahn		13			12			11			21			22			23			Zahn						
Region		I	D	M	G	I	D	M	G	I	D	M	G	I	M	D	G	I	M	D	G	I	M	D	G	Region
mBB-Index																										mBB-Index

		Unterkiefer links									Unterkiefer rechts															
Zahn		43			42			41			31			32			33			Zahn						
Region		I	D	M	G	I	D	M	G	I	D	M	G	I	M	D	G	I	M	D	G	I	M	D	G	Region
mBB-Index																										mBB-Index

4.3 Statistische Auswertung

In der vorliegenden Arbeit wurden die Ergebnisse der Plaque-Indizes (PPI, TQH-, Attin-, mBB-Index) in Excel 2013 (Microsoft Office 2013, Microsoft Corporation, Redmond, WA, USA) zusammengefasst. Die statistische Auswertung wurde mit der Statistiksoftware SAS 9.4 (SAS Institute, Cary, NC, USA) und R 3.2.3 (The R Foundation for Statistical Computing, 2016, Download: <https://cloud.r-project.org>) durchgeführt. Um die Plaque-Werte des TQH-, Attin- und mBB-Index mit den Plaque-Werten des PPI zu vergleichen, wurden alle Plaque-Werte der konventionellen Plaque-Indizes wie folgt in prozentuale Plaque-Werte umgerechnet:

$$\text{Plaque-Index (\%)} = \frac{\frac{\text{Summe der Plaque-Werte}}{\text{Anzahl der Flächen}}}{\text{höchster Graduierungswert}} \times 100$$

In der vorliegenden Arbeit wurde ausschließlich mit den prozentualen Plaque-Werten gerechnet.

Zusätzlich wurden die prozentualen Plaque-Werte der vier Plaque-Indizes in Mundhygienekategorien eingeteilt. Die Einteilung erfolgte in Anlehnung an die Mundhygienekategorien nach Lange (109):

Mundhygienekategorie	Plaque-Wert
Sehr gut	< 20 %
Gut	20 – 39 %
Moderat	40 – 69 %
Unzureichend	70 – 100 %

In der vorliegenden Arbeit wurden die Ergebnisse der Plaque-Indizes verglichen. Die Übereinstimmung zweier Plaque-Indizes bezogen auf die Einteilung der Probanden in Mundhygienekategorien wurde mit dem Cohens Kappa untersucht. Die Übereinstimmung zweier Plaque-Indizes bezogen auf die prozentualen Plaque-Werte wurde mit den Bland-Altman-Diagrammen evaluiert. Die Untersuchung mit den Bland-Altman-Diagrammen wurde ohne und mit Berücksichtigung der kieferorthopädischen Erfahrung der Beurteiler betrachtet. Bei beiden Analysen wurden dem PPI die drei

konventionellen Plaque-Indizes (TQH-, Attin-, mBB-Index) gegenübergestellt. Darüber hinaus wurde der TQH-Index mit dem Attin- und mBB-Index verglichen.

Zudem wurde die Interrater-Reliabilität bei den konventionellen Plaque-Indizes analysiert. Die Interrater-Reliabilität bezogen auf die Einstufung der Probanden in Mundhygienekategorien wurde mit dem Kappa nach Fleiss ermittelt. Die Interrater-Reliabilität unter Verwendung der prozentualen Plaque-Werte wurde mit dem Intraklassen-Korrelationskoeffizient (ICC) berechnet. Der ICC wurde ohne und mit Berücksichtigung der kieferorthopädischen Erfahrung der Beurteiler ermittelt.

4.3.1 Cohens Kappa

Die Berechnung des Cohens Kappa dient der Bewertung von Urteilsübereinstimmungen mit nominalem Skalenniveau (111). Das Cohens Kappa gibt das Verhältnis zwischen der zufällig zu erwartenden Übereinstimmung und der erreichten Übereinstimmung an (111). In der vorliegenden Arbeit wurde untersucht, inwieweit die Probanden mit zwei verschiedenen Plaque-Indizes einstimmig in dieselbe Mundhygienekategorie (vgl. 4.3) eingestuft wurden.

Das Simple Kappa und das Weighted Kappa wurden berechnet. Das Simple Kappa bewertete ausschließlich die Konkordanz zweier Plaque-Indizes (111). Das Weighted Kappa berücksichtigte zusätzlich die Diskordanz zweier Plaque-Indizes und den Grad der Diskordanz (112). Demnach fielen Werte, die stärker voneinander abwichen, deutlicher ins Gewicht als Werte, die weniger voneinander abwichen.

Das Cohens Kappa wurde im Folgenden nach Landis und Koch (113) interpretiert:

Kappa	Stärke der Übereinstimmung
< 0,00	Mangelhaft
0,00 – 0,20	Gering
0,21 – 0,40	Mäßig
0,41 – 0,60	Gut
0,61 – 0,80	Sehr gut
0,81 – 1,00	Hervorragend

Zur graphischen Darstellung wurden in der vorliegenden Arbeit Kreuztabellen erstellt, in denen jeweils die Einstufung der Probanden in Mundhygienekategorien mit zwei Plaque-Indizes verglichen wurde (Tab. 5). Übereinstimmende Ergebnisse zweier Plaque-Indizes befanden sich auf der Hauptdiagonalen (links oben nach rechts unten), während nicht-übereinstimmende Ergebnisse in den übrigen Zellen notiert wurden. Die Hauptdiagonale wurde in den Tabellen fettgedruckt dargestellt. Je weiter die Ergebnisse von der Hauptdiagonalen entfernt waren, desto geringer fiel die Übereinstimmung zweier Plaque-Indizes aus. Alle Werte wurden in Prozentwerten angegeben. Die Prozentwerte bezogen sich auf 700 Beurteilungen. Die Anzahl der Beurteilungen ergab sich aus den 14 Beurteilern, die jeweils die Plaque-Akkumulation von 50 Probanden bewerteten. Die Gesamtübereinstimmung zweier Plaque-Indizes ergab sich aus der Addition der Werte der Hauptdiagonalen.

Tab. 5 Beispiel einer Kreuztabelle.

PPI	TQH-Index			
	sehr gut	gut	moderat	unzureichend
sehr gut	0,57	1,29	2,14	0,00
gut	0,14	2,29	25,00	2,57
moderat	0,43	1,86	19,71	34,00
unzureichend	0,00	0,00	0,57	9,43

4.3.2 Bland-Altman-Diagramme

Mit den Bland-Altman-Diagrammen wird das Maß der Übereinstimmung zweier Plaque-Indizes beschrieben (114, 115). In den Bland-Altman-Diagrammen wird der Mittelwert zweier Messungen (x-Achse) der Messdifferenz (y-Achse) gegenübergestellt. In der vorliegenden Arbeit wurden der Mittelwert der Messdifferenzen (*Bias*) mit dem zugehörigen Konfidenzintervall (KI) und dem Übereinstimmungsbereich (*Limits of Agreement*) ermittelt. Der Mittelwert der Messdifferenzen ergab sich aus dem Mittelwert aller Messdifferenzen und beschrieb einen systematischen, korrigierbaren Fehler. Je näher der Mittelwert der

Messdifferenzen an 0 lag, desto besser stimmten die Ergebnisse zweier miteinander verglichener Plaque-Indizes im Mittel überein. Der Übereinstimmungsbereich ergab sich aus dem Mittelwert der Messdifferenzen $\pm 1,96 \times$ Standardabweichung. Der Übereinstimmungsbereich definierte einen Bereich, in dem 95 % der zukünftig zu messenden Differenzen zu erwarten waren, unter der Annahme, dass die Messergebnisse einer Normalverteilung entsprachen. Der Übereinstimmungsbereich setzte sich aus einer unteren Grenze (*Lower Limit of Agreement* = LLOA) und einer oberen Grenze (*Upper Limit of Agreement* = ULOA) zusammen. Je schmaler sich der Übereinstimmungsbereich in einem Bland-Altman-Diagramm darstellte, desto geringer war die Streuung der Messdifferenzen zweier Plaque-Indizes. Die statistische Analyse mit den Bland-Altman-Diagrammen ermöglicht, den klinischen Toleranzbereich mit dem Übereinstimmungsbereich zu vergleichen und somit die Vergleichbarkeit für den klinischen Einsatz zu bewerten. Für die vorliegende Arbeit wurde der klinische Toleranzbereich mit $\pm 10 \%$ festgelegt. Die beschriebenen Größen wurden in der gleichen Einheit (in Prozentwerten) wie die Plaque-Werte dargestellt.

In den Bland-Altman-Diagrammen wurden der Mittelwert der Messdifferenzen als durchgezogene Linie, das zugehörige 95 % Konfidenzintervall für den Mittelwert der Messdifferenzen als grauer Balken und der Übereinstimmungsbereich als gestrichelte Linie dargestellt. Jedem Beurteiler wurde ein Symbol für alle Probanden in den Bland-Altman-Diagrammen zugeteilt. In den Bland-Altman-Diagrammen, in denen die kieferorthopädische Erfahrung der Beurteiler nicht berücksichtigt wurde, wurden 50 Plaque-Werte pro Beurteiler eingezeichnet (Abb. 16). Unter Berücksichtigung der kieferorthopädischen Erfahrung wurden die Plaque-Werte der Beurteiler entsprechend der Beurteilergruppe (wenig, mittlere, viel kieferorthopädische Erfahrung) separat voneinander dargestellt (Abb. 17).

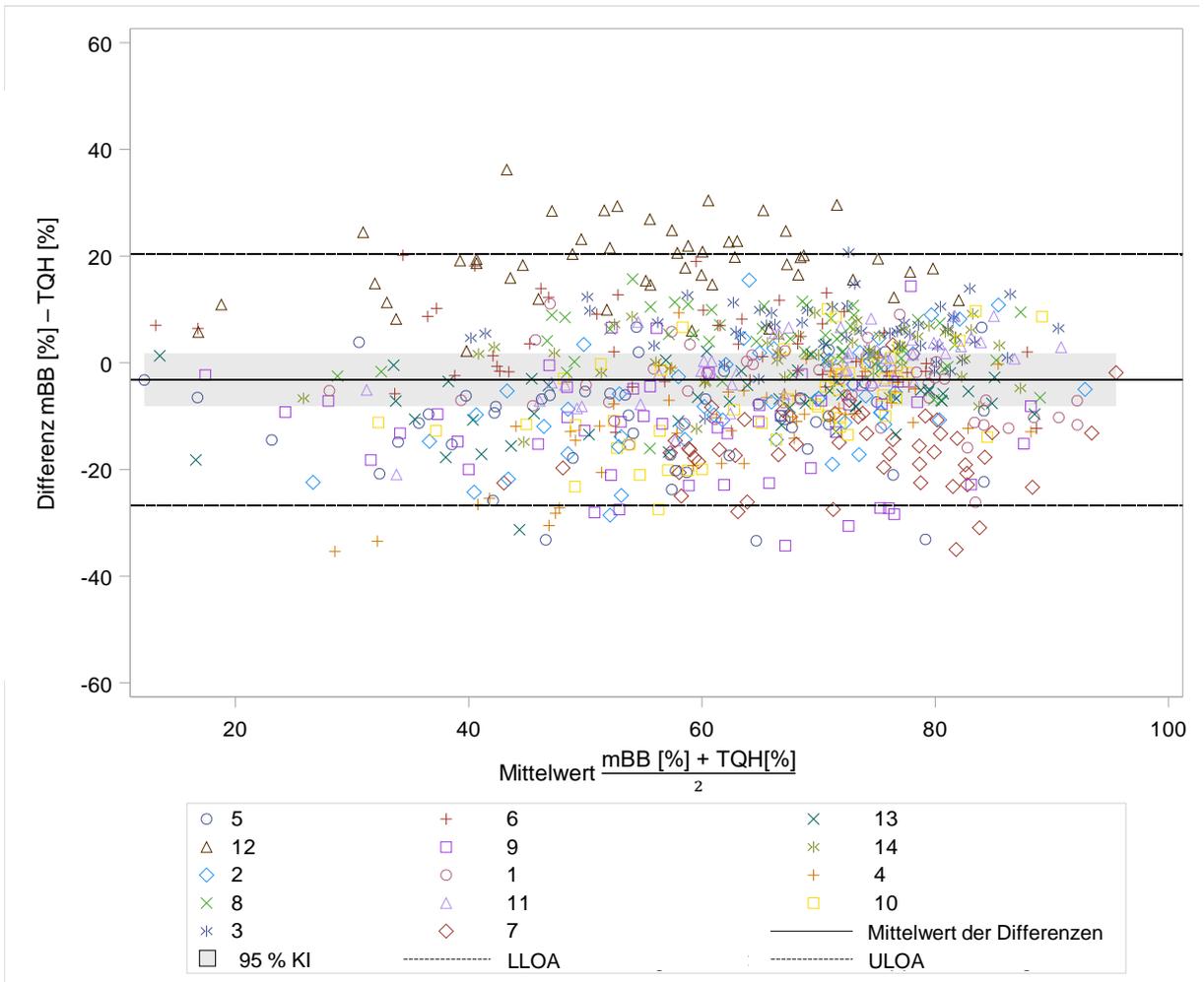


Abb. 16 Beispiel eines Bland-Altman-Diagramms ohne Berücksichtigung der kieferorthopädischen Erfahrung.

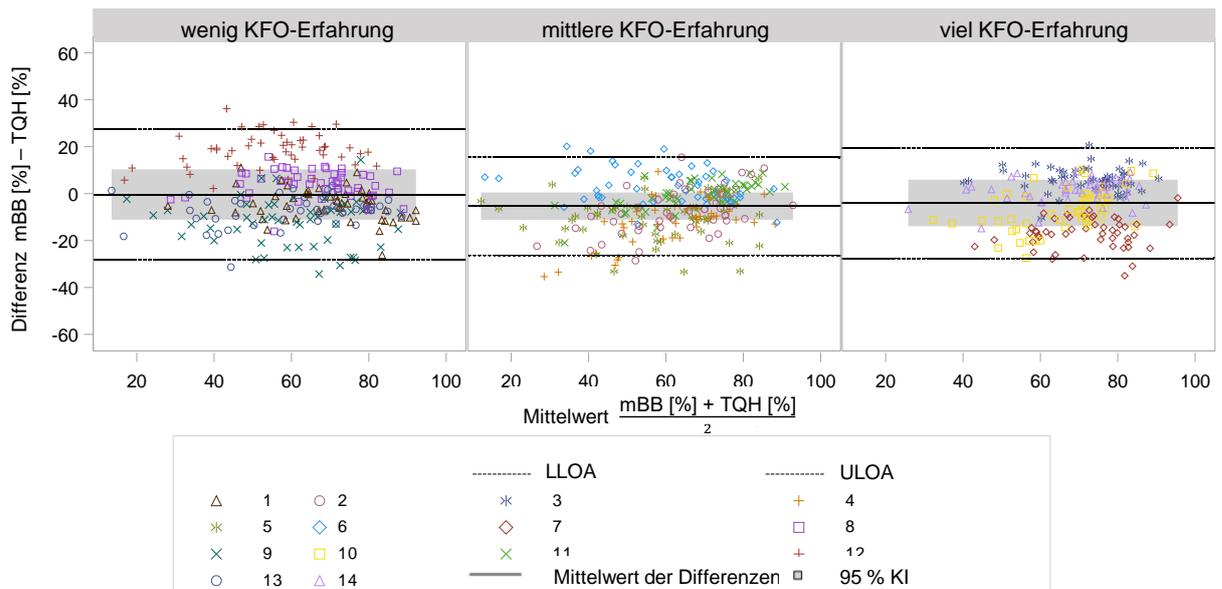


Abb. 17 Beispiel eines Bland-Altman-Diagramms mit Berücksichtigung der kieferorthopädischen Erfahrung.

4.3.3 Kappa nach Fleiss

Das Kappa nach Fleiss (116) diente der Ermittlung der Interrater-Reliabilität der Beurteiler bezogen auf die Einstufung der Probanden in die Mundhygienekategorien mit demselben Plaque-Index. In der vorliegenden Arbeit wurde das Kappa nach Fleiss nach Landis und Koch (113) interpretiert (vgl. 4.3.1).

4.3.4 ICC

Die Berechnung des ICC basiert auf der Analyse der Varianz und verschiedener Varianzkomponenten (117). In der vorliegenden Arbeit wurde der ICC (2,1) berechnet und die Übereinstimmung unter den 14 Beurteilern bezogen auf denselben Plaque-Index bestimmt (118). Der ICC wurde im Folgenden nach Cicchetti (119) interpretiert:

ICC	Stärke der Übereinstimmung
0,00 – 0,40	Unzureichend
0,40 – 0,59	Mäßig
0,60 – 0,74	Gut
0,75 – 1,00	Hervorragend

5. ERGEBNISSE

5.1 Vergleich der Ergebnisse der Plaque-Indizes

5.1.1 Vergleich der Plaque-Indizes mit dem Cohens Kappa

Vergleich des PPI mit dem TQH-Index

Das Simple Kappa -0,01 [95 % -0,06; 0,03] zeigte bei der Gegenüberstellung von dem PPI und dem TQH-Index eine mangelhafte Übereinstimmung. Das Weighted Kappa 0,17 [95 % CI 0,13; 0,21] wies eine geringe Übereinstimmung auf.

Die Mundhygiene der Probanden wurde bei insgesamt 32 % der Beurteilungen mit dem PPI und dem TQH-Index einstimmig in dieselbe Mundhygienekategorie eingestuft (Tab. 6). Bei 34 % der Beurteilungen wurde zum Beispiel die Mundhygiene der Probanden mit dem PPI als mäßig, mit dem TQH-Index jedoch als unzureichend eingestuft.

Tab. 6 Kreuztabelle zur Darstellung der Konkordanz und Diskordanz für den Vergleich des PPI mit dem TQH-Index bezogen auf die Einteilung der Probanden in Mundhygienekategorien.

PPI	TQH-Index			
	sehr gut	gut	moderat	unzureichend
sehr gut	0,57	1,29	2,14	0,00
gut	0,14	2,29	25,00	2,57
moderat	0,43	1,86	19,71	34,00
unzureichend	0,00	0,00	0,57	9,43

Vergleich des PPI mit dem Attin-Index

Das Simple Kappa -0,05 [95 % CI -0,08; -0,03] zeigte bei der Gegenüberstellung von dem PPI und dem Attin-Index eine mangelhafte Übereinstimmung. Das Weighted Kappa 0,05 [95 % CI 0,03; 0,07] zeigte eine geringe Übereinstimmung.

Die Mundhygiene der Probanden wurde bei insgesamt 15,45 % der Beurteilungen mit dem PPI und dem Attin-Index einstimmig in dieselbe Mundhygienekategorie eingestuft (Tab. 7). Bei 49,79 % der Beurteilungen wurde zum Beispiel die Mundhygiene der Probanden mit dem PPI als mäßig, mit dem Attin-Index jedoch als unzureichend eingestuft.

Tab. 7 Kreuztabelle zur Darstellung der Konkordanz und Diskordanz für den Vergleich des PPI mit dem Attin-Index bezogen auf die Einteilung der Probanden in Mundhygienekategorien.

PPI	Attin-Index			
	sehr gut	gut	moderat	unzureichend
sehr gut	0,29	0,57	3,00	0,14
gut	0,00	0,86	12,45	16,74
moderat	0,29	1,43	4,43	49,79
unzureichend	0,00	0,00	0,14	9,87

Vergleich des PPI mit dem mBB-Index

Das Simple Kappa 0,07 [95 % CI 0,02; 0,12] erreichte bei der Gegenüberstellung von dem PPI und dem mBB-Index eine geringe Übereinstimmung, das Weighted Kappa 0,23 [95 % CI 0,19; 0,28] eine mäßige Übereinstimmung.

Die Mundhygiene der Probanden wurde bei insgesamt 39,57 % der Beurteilungen mit dem PPI und dem mBB-Index einstimmig in dieselbe Mundhygienekategorie eingestuft (Tab. 8). Bei 28,43 % der Beurteilungen wurde zum Beispiel die Mundhygiene der Probanden mit dem PPI als mäßig, mit dem mBB-Index jedoch als unzureichend eingestuft.

Tab. 8 Kreuztabelle zur Darstellung der Konkordanz und Diskordanz für den Vergleich des PPI mit dem mBB-Index bezogen auf die Einteilung der Probanden in Mundhygienekategorien.

PPI	mBB-Index			
	sehr gut	gut	moderat	unzureichend
sehr gut	0,57	2,00	1,43	0,00
gut	0,14	5,14	23,29	1,43
moderat	1,00	1,57	25,00	28,43
unzureichend	0,00	0,00	1,14	8,86

Vergleich des TQH-Index mit dem Attin-Index

Mit einem Simple Kappa 0,32 [95 % CI 0,27; 0,37] und einem Weighted Kappa 0,40 [95 % CI 0,34; 0,45] ergab sich eine mäßige Übereinstimmung zwischen dem TQH- und dem Attin-Index.

Die Mundhygiene der Probanden wurde bei insgesamt 62,67 % der Beurteilungen mit dem TQH- und dem Attin-Index einstimmig in dieselbe Mundhygienekategorie eingestuft (Tab 9). Bei 30,62 % der Beurteilungen wurde zum Beispiel die Mundhygiene der Probanden mit dem TQH-Index als mäßig, mit dem Attin-Index jedoch als unzureichend eingestuft.

Tab. 9 Kreuztabelle zur Darstellung der Konkordanz und Diskordanz für den Vergleich des TQH-Indexes mit dem Attin-Index bezogen auf die Einteilung der Probanden in Mundhygienekategorien.

TQH-Index	Attin-Index			
	sehr gut	gut	moderat	unzureichend
sehr gut	0,29	0,57	0,29	0,00
gut	0,29	1,29	3,15	0,72
moderat	0,00	1,00	15,88	30,62
unzureichend	0,00	0,00	0,72	45,21

Vergleich des TQH-Index mit dem mBB-Index

Das Simple Kappa 0,44 [95 % CI 0,38; 0,49] und das Weighted Kappa 0,51 (95 % CI 0,46; 0,57) zeigten eine gute Übereinstimmung zwischen dem TQH- und dem mBB-Index.

Die Mundhygiene der Probanden wurde bei insgesamt 67,57 % der Beurteilungen mit dem TQH- und dem mBB-Index einstimmig in dieselbe Mundhygienekategorie eingestuft (Tab. 10). Bei 14,57 % der Beurteilungen wurde zum Beispiel die Mundhygiene der Probanden mit dem mBB-Index als mäßig, mit dem TQH-Index jedoch als unzureichend eingestuft.

Tab. 10 Kreuztabelle zur Darstellung der Konkordanz und Diskordanz für den Vergleich des TQH-Indexes mit dem mBB-Index bezogen auf die Einteilung der Probanden in Mundhygienekategorien.

TQH-Index	mBB-Index			
	sehr gut	gut	moderat	unzureichend
sehr gut	0,71	0,29	0,14	0,00
gut	0,71	2,00	2,71	0,00
moderat	0,29	6,43	33,43	7,29
unzureichend	0,00	0,00	14,57	31,43

Zusammengefasst ergab sich ein deutlicher Unterschied zwischen den Vergleichen des PPI mit den konventionellen Plaque-Indizes und den Gegenüberstellungen der konventionellen Plaque-Indizes untereinander (Abb. 18). Bei den Vergleichen der konventionellen Plaque-Indizes untereinander wurde ein höheres Simple Kappa als bei den Vergleichen des PPI mit den konventionellen Plaque-Indizes erreicht. Die unzureichendste Übereinstimmung ergab sich bei dem Vergleich des PPI mit dem TQH-Index bzw. Attin-Index, während der Vergleich zwischen dem TQH- und mBB-Index die beste Übereinstimmung erzielte.

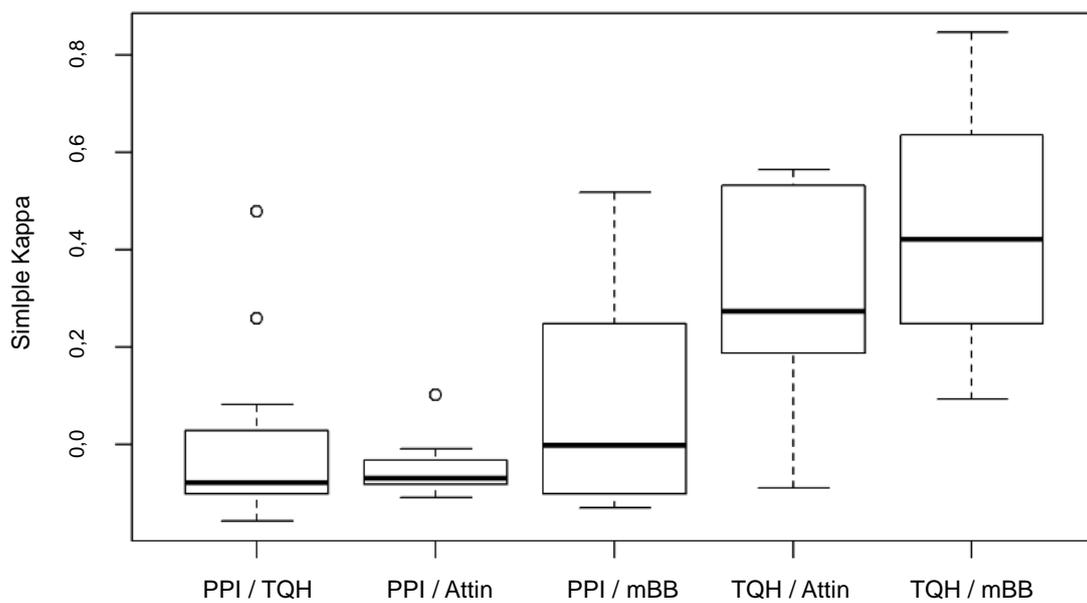


Abb. 18 Zusammenfassende Darstellung der Simple Kappa in einem Boxplot-Diagramm. Dargestellt sind die Vergleiche der vier Plaque-Indizes (TQH-, Attin-, mBB-Index, PPI) bezogen auf die Einteilung der Probanden in dieselbe Mundhygienekategorie. Für jeden Beurteiler wurde das Simple Kappa für den Vergleich von zwei Plaque-Indizes bestimmt. Die einzelnen Box-Plots stellen die Verteilung von den Simple Kappas über die Beurteiler mit verschiedenen Paaren von Plaque-Indizes dar.

5.1.2 Vergleich der Plaque-Indizes mit den Bland-Altman-Diagrammen

5.1.2.1 Vergleich der Plaque-Indizes ohne Berücksichtigung der kieferorthopädischen Erfahrung

Vergleich des PPI mit dem TQH-Index

In dem Bland-Altman-Diagramm (Abb. 19) wurde ein Mittelwert der Messdifferenzen von 15,7 mit dem zugehörigen 95 % Konfidenzintervall [10,8; 20,7] ermittelt. Der Übereinstimmungsbereich ergab sich zu [-11,9; 43,4]. Die Breite des Übereinstimmungsbereichs betrug 55,3. Das Bland-Altman-Diagramm zeigte einen leicht abwärts gerichteten Trend. Die Messpunkte im unteren Bereich der Skala der x-Achse ergaben größere Abweichungen zwischen den zwei Plaque-Indizes als im oberen Bereich der Skala.

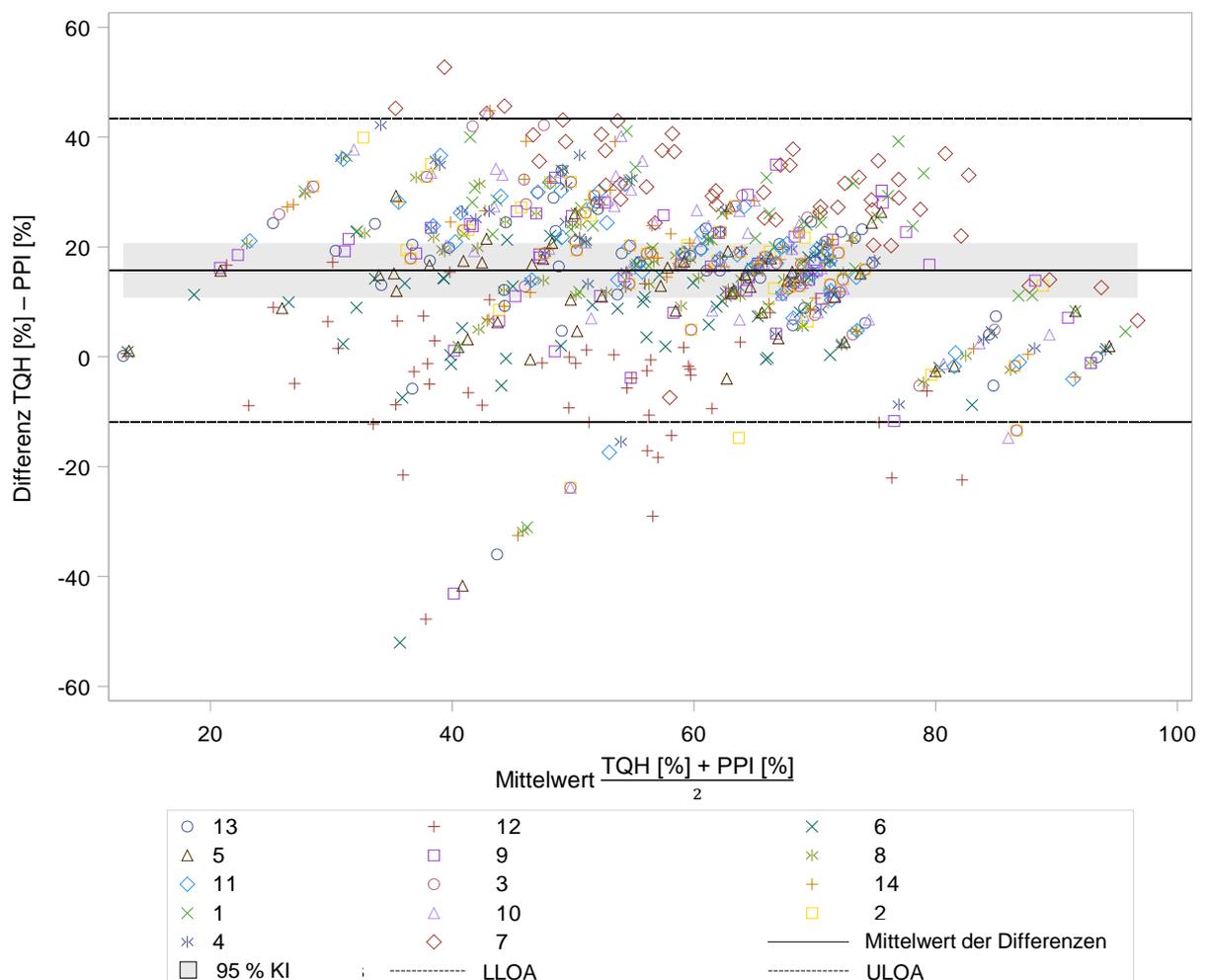


Abb. 19 Das Bland-Altman-Diagramm für den Vergleich der Plaque-Werte des PPI mit den Plaque-Werten des TQH-Indexes.

Vergleich des PPI mit dem Attin-Index

In dem Bland-Altman-Diagramm (Abb. 20) wurde ein Mittelwert der Messdifferenzen von 31,6 mit dem zugehörigen 95 % Konfidenzintervall [26,7; 36,5] ermittelt. Der Übereinstimmungsbereich ergab sich zu [-1,2; 64,4]. Die Breite des Übereinstimmungsbereichs betrug 65,6. Das Bland-Altman-Diagramm wies mit einer pyramidenförmigen Anordnung der Messpunkte im mittleren Messbereich die größten Abweichungen zwischen dem PPI und dem Attin-Index auf. Die Punktwolke des Bland-Altman-Diagramms wurde im oberen Bereich der Skala der y-Achse nicht vollständig abgebildet, da für alle Grafiken ein einheitlicher Maßstab gewählt wurde.

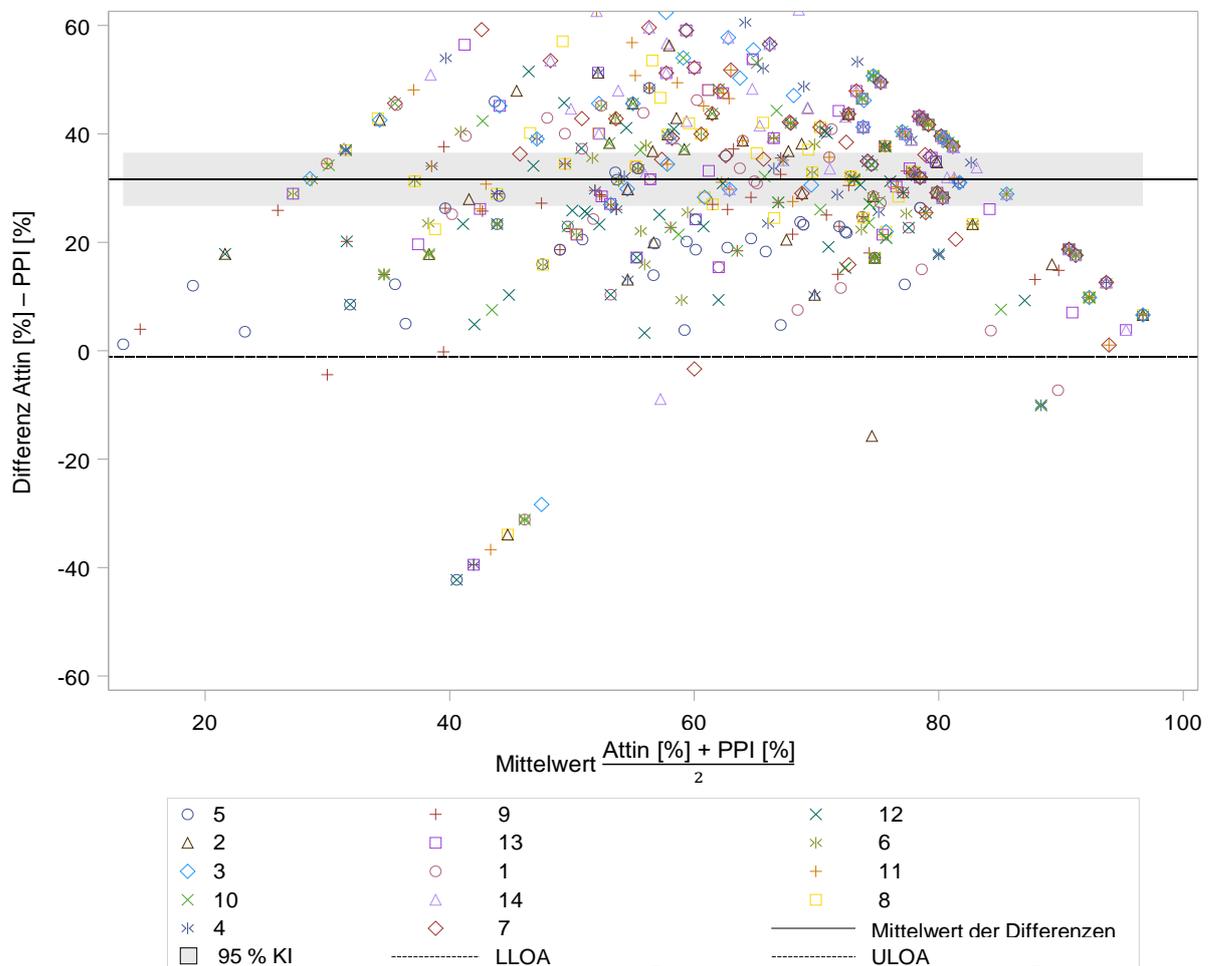


Abb. 20 Das Bland-Altman-Diagramm für den Vergleich der Plaque-Werte des PPI mit den Plaque-Werten des Attin-Indexes.

Vergleich des PPI mit dem mBB-Index

In dem Bland-Altman-Diagramm (Abb. 21) wurde ein Mittelwert der Messdifferenzen von 12,5 mit dem zugehörigen 95 % Konfidenzintervall [7,8; 17,3] ermittelt. Der Übereinstimmungsbereich ergab sich zu [-15,3; 40,4]. Die Breite des Übereinstimmungsbereichs betrug 55,7.

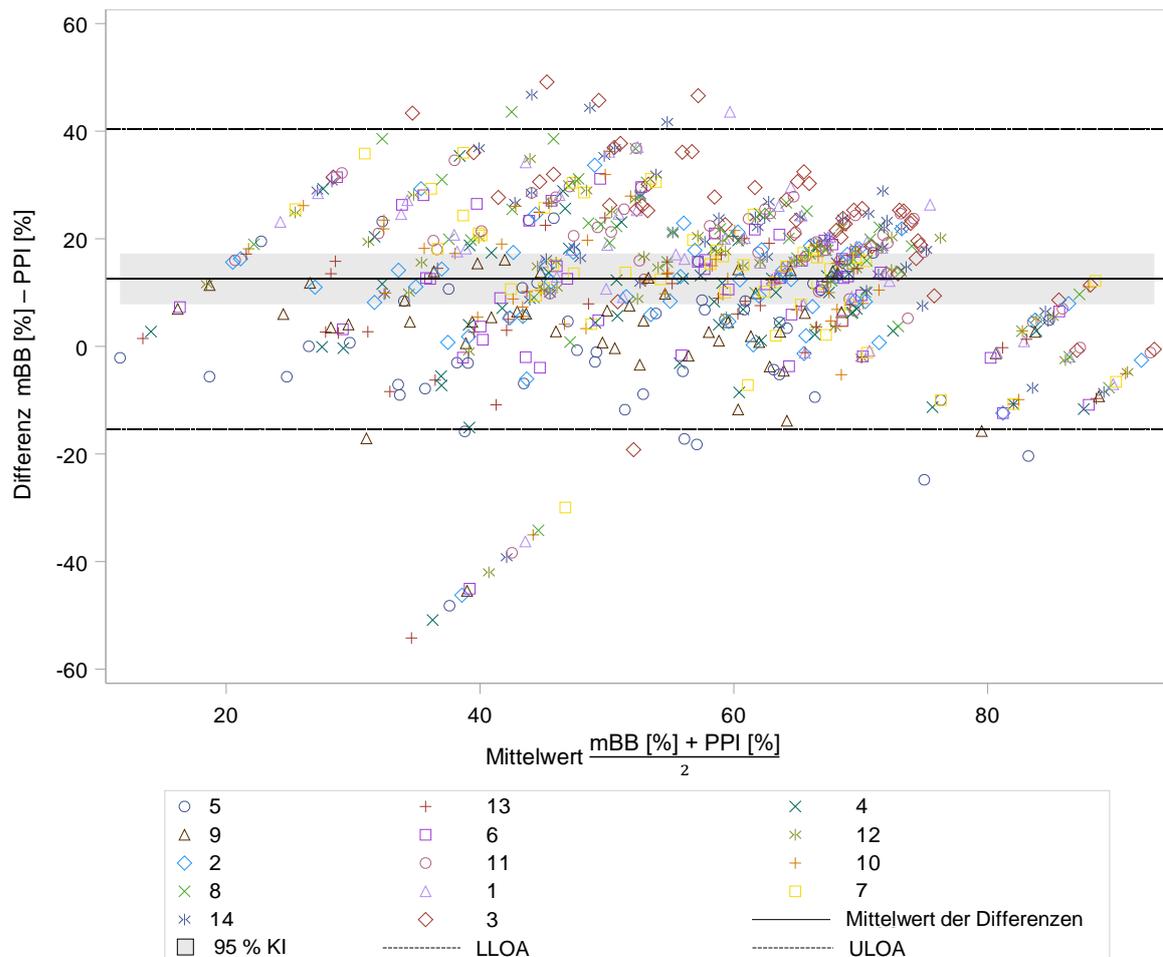


Abb. 21 Das Bland-Altman-Diagramm für den Vergleich der Plaque-Werte des PPI mit den Plaque-Werten des mBB-Indexes.

Vergleich des TQH-Indexes mit dem Attin-Index

In dem Bland-Altman-Diagramm (Abb. 22) wurde ein Mittelwert der Messdifferenzen von 15,9 mit dem zugehörigen 95 % Konfidenzintervall [12,3; 19,4] ermittelt. Der Übereinstimmungsbereich ergab sich zu [-7,2; 39,0]. Die Breite des Übereinstimmungsbereichs betrug 46,2.

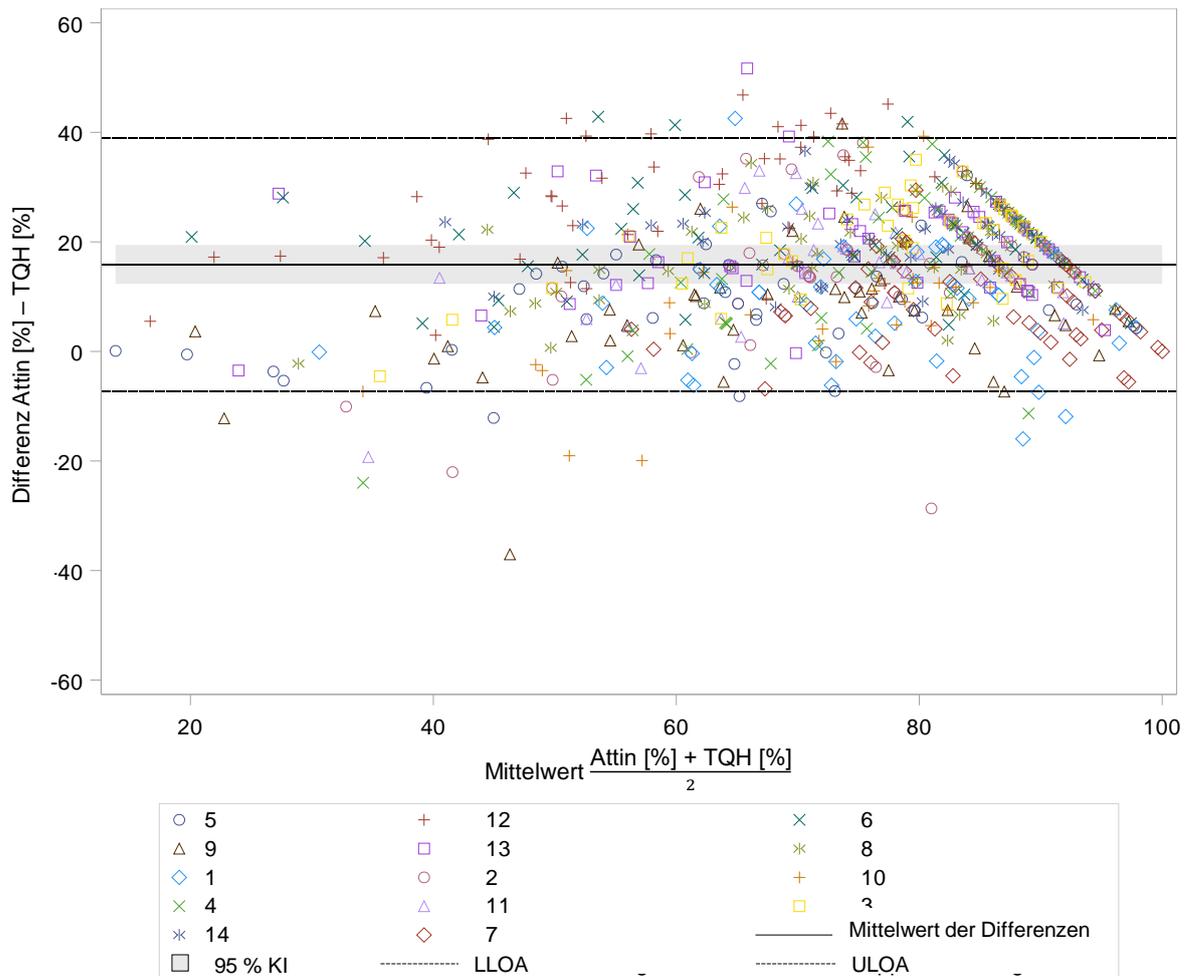


Abb. 22 Das Bland-Altman-Diagramm für den Vergleich der Plaque-Werte des TQH-Indexes mit den Plaque-Werten des Attin-Indexes.

Vergleich des TQH-Indexes mit dem mBB-Index

In dem Bland-Altman-Diagramm (Abb. 23) wurde ein Mittelwert der Messdifferenzen von -3,2 mit dem zugehörigen 95 % Konfidenzintervall [-8,1; 1,8] ermittelt. Der Übereinstimmungsbereich ergab sich zu [-26,7; 20,4]. Die Breite des Übereinstimmungsbereichs betrug 47,1. Die Punktwolke fiel homogen aus.

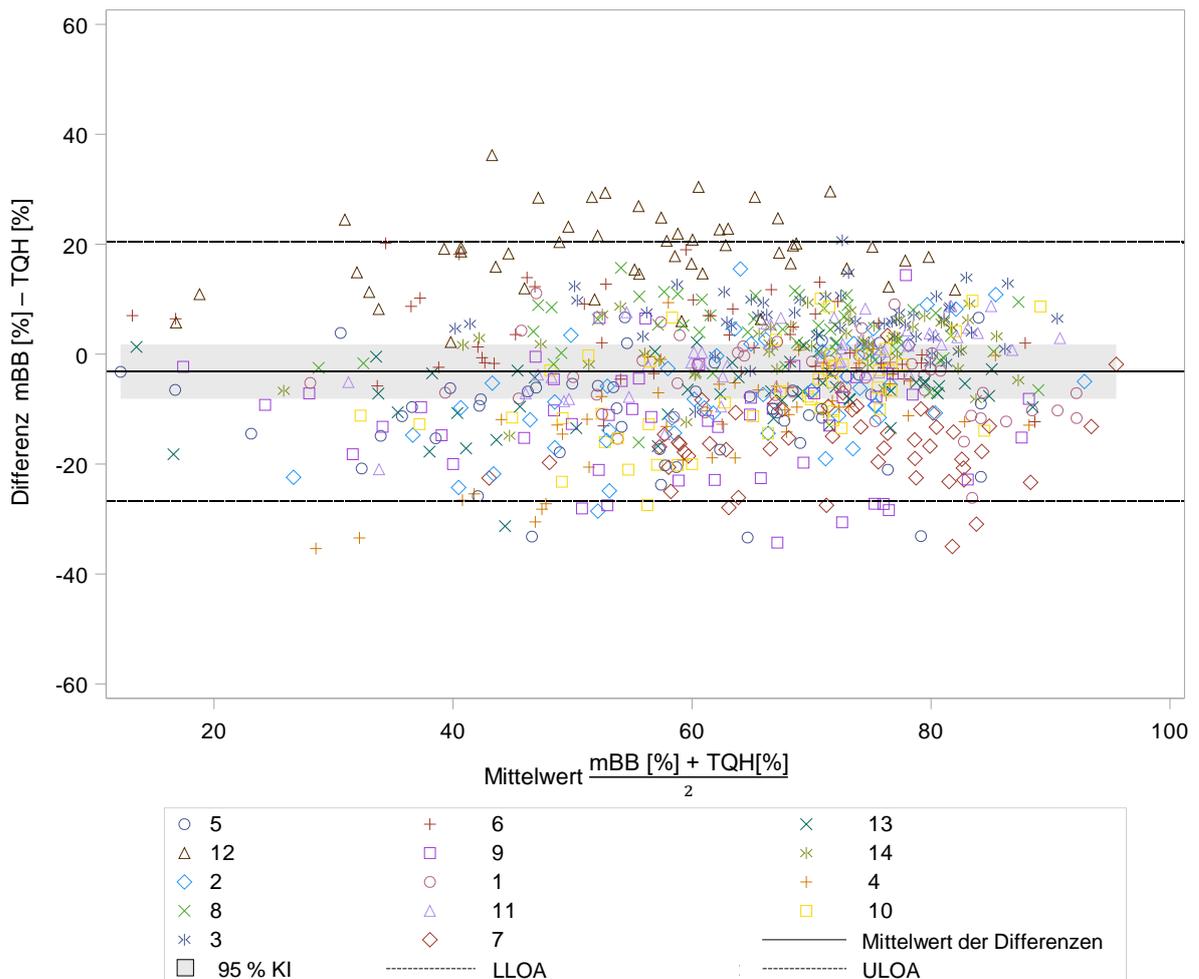


Abb. 23 Bland-Altman-Diagramm für den Vergleich der Plaque-Werte des TQH-Indexes mit den Plaque-Werten des mBB-Indexes.

5.1.2.2 Vergleich der Plaque-Indizes mit Berücksichtigung der kieferorthopädischen Erfahrung

Vergleich des PPI mit dem TQH-Index

In dem Bland-Altman-Diagramm (Abb. 24) ergab der Mittelwert der Messdifferenzen der Beurteiler mit wenig kieferorthopädischer Erfahrung 12,4 mit dem zugehörigen 95 % Konfidenzintervall [3,3; 21,4]. Der Übereinstimmungsbereich [-17,6; 42,4] ergab eine Breite von 60,0.

Bei den Beurteilern mit mittlerer kieferorthopädischer Erfahrung lag der Mittelwert der Messdifferenzen bei 14,5 mit dem zugehörigen 95 % Konfidenzintervall [9,3; 19,6]. Daraus folgt, dass der systematische Fehler zwischen dem PPI und dem TQH-Index bei den Beurteilern mit mittlerer kieferorthopädischer Erfahrung geringfügig größer ausfiel als bei den Beurteilern mit wenig kieferorthopädischer Erfahrung. Der Übereinstimmungsbereich [-9,8; 38,7] fiel mit einer Breite von 48,5 geringer aus als bei den Beurteilern mit wenig kieferorthopädischer Erfahrung.

Der höchste Mittelwert der Messdifferenzen [21,5] der drei Beurteilergruppen wurde bei den Beurteilern mit viel kieferorthopädischer Erfahrung mit dem zugehörigen 95 % Konfidenzintervall [14,8; 28,19] erreicht. Der Übereinstimmungsbereich [-5,3; 48,3] fiel mit einer Breite von 53,6 etwas größer aus als bei der Beurteilergruppe mit mittlerer kieferorthopädischer Erfahrung und etwas kleiner aus als bei der Beurteilergruppe mit wenig kieferorthopädischer Erfahrung.

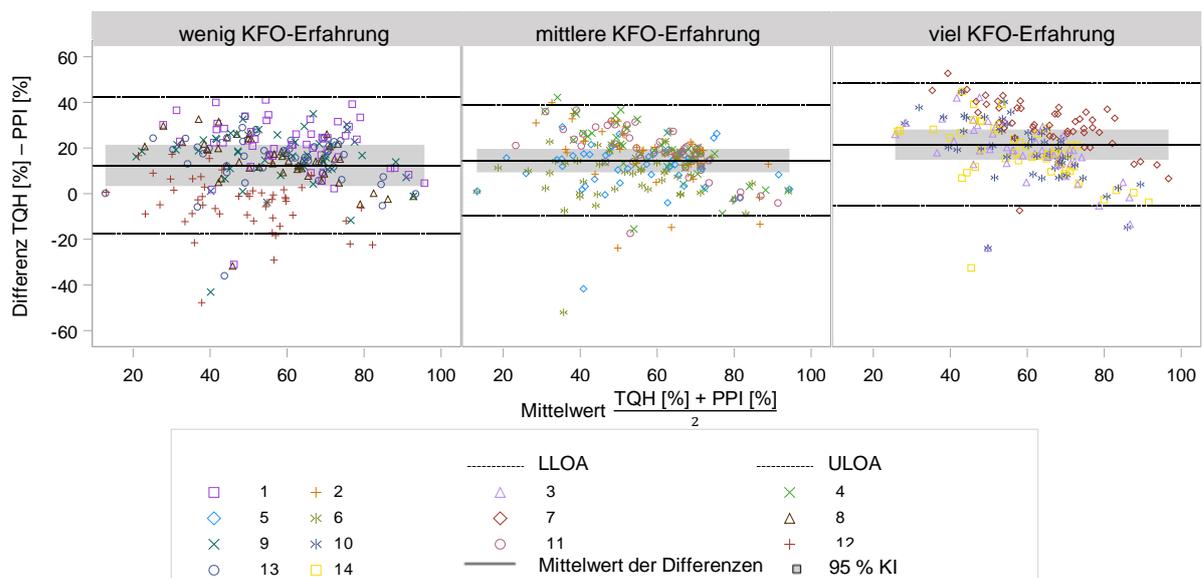


Abb. 24 Bland-Altman-Diagramm für den Vergleich der Plaque-Werte des PPI mit den Plaque-Werten des TQH-Indexes mit Berücksichtigung der kieferorthopädischen Erfahrung der Beurteiler.

Vergleich des PPI mit dem Attin-Index

In dem Bland-Altman-Diagramm (Abb. 25) ergab der Mittelwert der Messdifferenzen der Beurteiler mit wenig kieferorthopädischer Erfahrung 28,7 mit dem zugehörigen 95 % Konfidenzintervall [23,0; 34,5]. Der Übereinstimmungsbereich [-3,0; 60,4] ergab eine Breite von 63,4.

Bei den Beurteilern mit mittlerer kieferorthopädischer Erfahrung lag der Mittelwert der Messdifferenzen bei 30,3 mit dem zugehörigen 95 % Konfidenzintervall [23,8; 36,8]. Der Übereinstimmungsbereich [-3,0; 63,6] zeigte mit einer Breite von 66,6, dass die Streuung der Plaque-Werte bei der Beurteilergruppe mit mittlerer kieferorthopädischer Erfahrung geringfügig größer ausfiel als bei den Beurteilern mit wenig und viel kieferorthopädischer Erfahrung.

Der höchste Mittelwert der Messdifferenzen [36,9] der drei Beurteilergruppen wurde bei den Beurteilern mit viel kieferorthopädischer Erfahrung mit dem zugehörigen 95 % Konfidenzintervall [31,9; 42,0] erzielt. Demzufolge fiel bei den Beurteilern mit viel kieferorthopädischer Erfahrung der systematische Fehler zwischen dem PPI und dem Attin-Index größer aus als bei den Beurteilern mit wenig und mittlerer kieferorthopädischer Erfahrung. Der Übereinstimmungsbereich [5,3; 68,5] fiel mit einer Breite von 63,2 ähnlich wie bei der Beurteilergruppe mit wenig kieferorthopädischer Erfahrung aus.

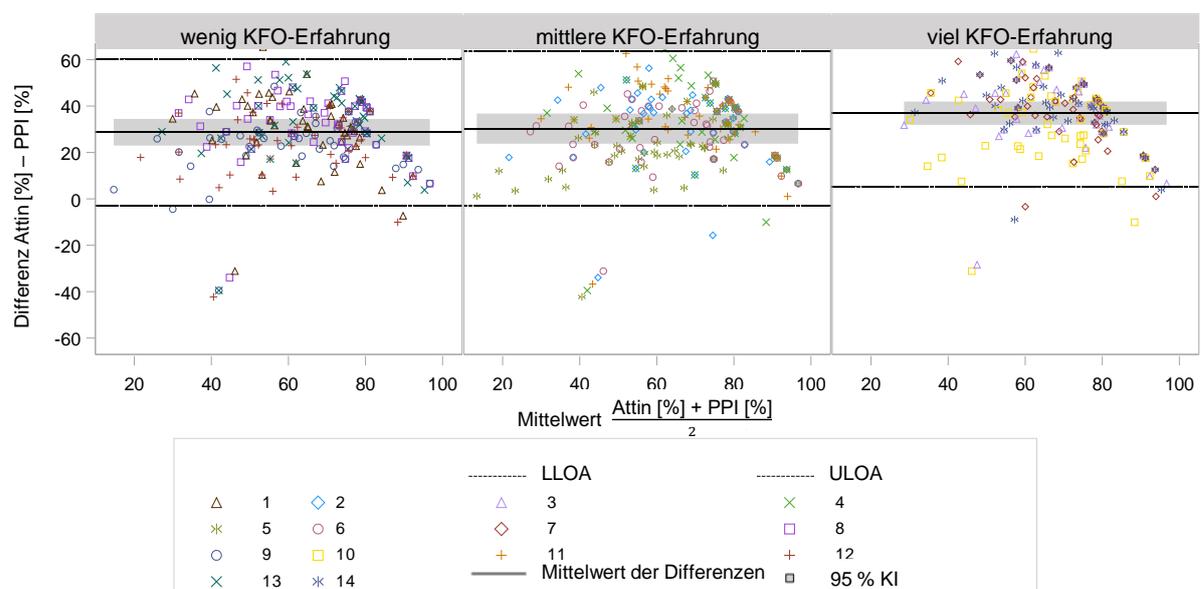


Abb. 25 Das Bland-Altman-Diagramm für den Vergleich der Plaque-Werte des PPI mit den Plaque-Werten des Attin-Indexes mit Berücksichtigung der kieferorthopädischen Erfahrung der Beurteiler.

Vergleich des PPI mit dem mBB-Index

In dem Bland-Altman-Diagramm (Abb. 26) ergab der Mittelwert der Messdifferenzen der Beurteiler mit wenig kieferorthopädischer Erfahrung 12,0 mit dem zugehörigen 95 % Konfidenzintervall [5,6; 18,4]. Der Übereinstimmungsbereich [-15,1; ULOA 39,1] ergab eine Breite von 54,2.

Bei den Beurteilern mit mittlerer kieferorthopädischer Erfahrung lag der Mittelwert der Messdifferenzen bei 9,2 mit dem zugehörigen 95 % Konfidenzintervall [2,7; 15,6]. Daraus folgt, dass sich die Differenzen zwischen den beiden Plaque-Indizes bei den Beurteilern mit mittlerer kieferorthopädischer Erfahrung dezent geringer darstellten als bei den Beurteilern mit wenig und viel kieferorthopädischer Erfahrung. Der Übereinstimmungsbereich [-19,0; 37,3] fiel mit einer Breite von 56,3 geringfügig höher aus als bei den Beurteilern mit wenig und viel kieferorthopädischer Erfahrung.

Der höchste Mittelwert der Messdifferenzen [17,5] mit dem zugehörigen 95 % Konfidenzintervall [11,0; 24,0] wurde bei den Beurteilern mit viel kieferorthopädischer Erfahrung erreicht. Der Übereinstimmungsbereich [-9,6; 44,5] fiel mit einer Breite von 54,1 ähnlich aus wie bei der Beurteilergruppe mit wenig kieferorthopädischer Erfahrung.

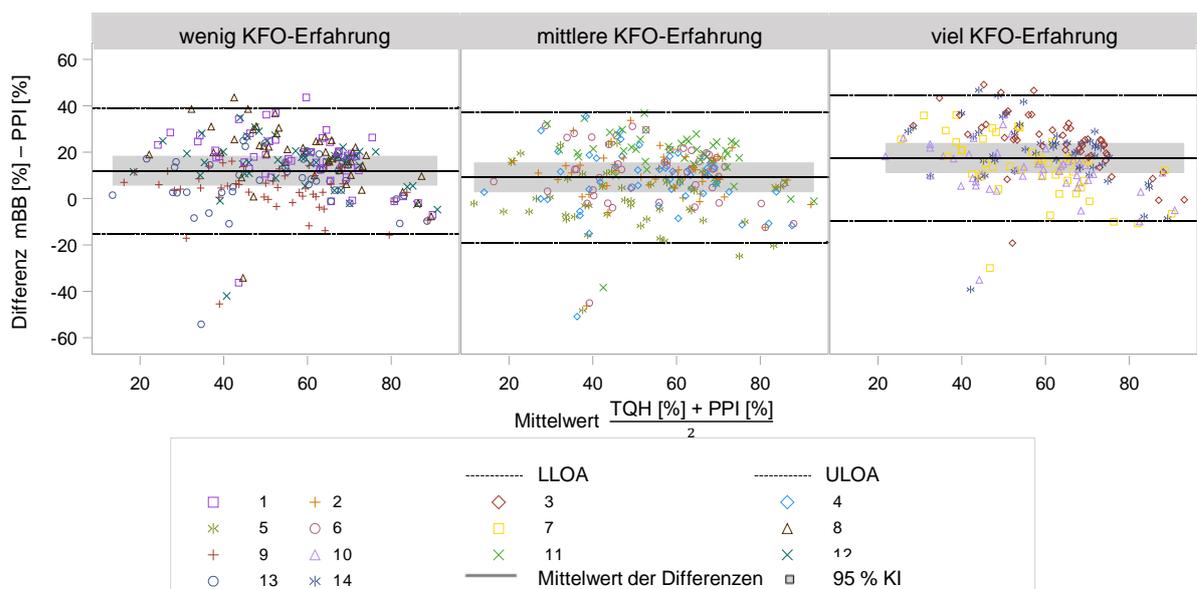


Abb. 26 Das Bland-Altman-Diagramm für den Vergleich der Plaque-Werte des PPI mit den Plaque-Werten des mBB-Indexes mit Berücksichtigung der kieferorthopädischen Erfahrung der Beurteiler.

Vergleich des TQH-Indexes mit dem Attin-Index

In dem Bland-Altman-Diagramm (Abb. 27) ergab der Mittelwert der Messdifferenzen der Beurteiler mit wenig kieferorthopädischer Erfahrung 16,3 mit dem zugehörigen 95 % Konfidenzintervall [8,7; 24,0]. Der Übereinstimmungsbereich [-9,9; 42,6] ergab eine Breite von 52,5.

Bei den Beurteilern mit mittlerer kieferorthopädischer Erfahrung lag der Mittelwert der Messdifferenzen bei 15,8 mit dem zugehörigen 95 % Konfidenzintervall [11,6; 20,0]. Der Mittelwert der Messdifferenzen fiel somit ähnlich wie bei der Beurteilergruppe mit wenig kieferorthopädischer Erfahrung aus. Der Übereinstimmungsbereich [-7,3; 38,9] fiel mit einer Breite von 46,2 geringfügig kleiner aus als bei der Beurteilergruppe mit wenig kieferorthopädischer Erfahrung.

Der Mittelwert der Messdifferenzen der Beurteiler mit viel kieferorthopädischer Erfahrung ergab 15,5 mit dem zugehörigen 95 % Konfidenzintervall [9,5; 21,4]. Demnach fiel bei der Beurteilergruppe mit viel kieferorthopädischer Erfahrung der systematische Fehler zwischen dem TQH- und Attin-Index ähnlich wie bei den Beurteilern mit wenig und mittlerer Erfahrung aus. Der Übereinstimmungsbereich [-5,3; 36,2] zeigte mit einer Breite von 41,4, dass die Streuung der Plaque-Werte bei den Beurteilern mit viel kieferorthopädischer Erfahrung von allen drei Beurteilergruppen am geringsten ausfiel.

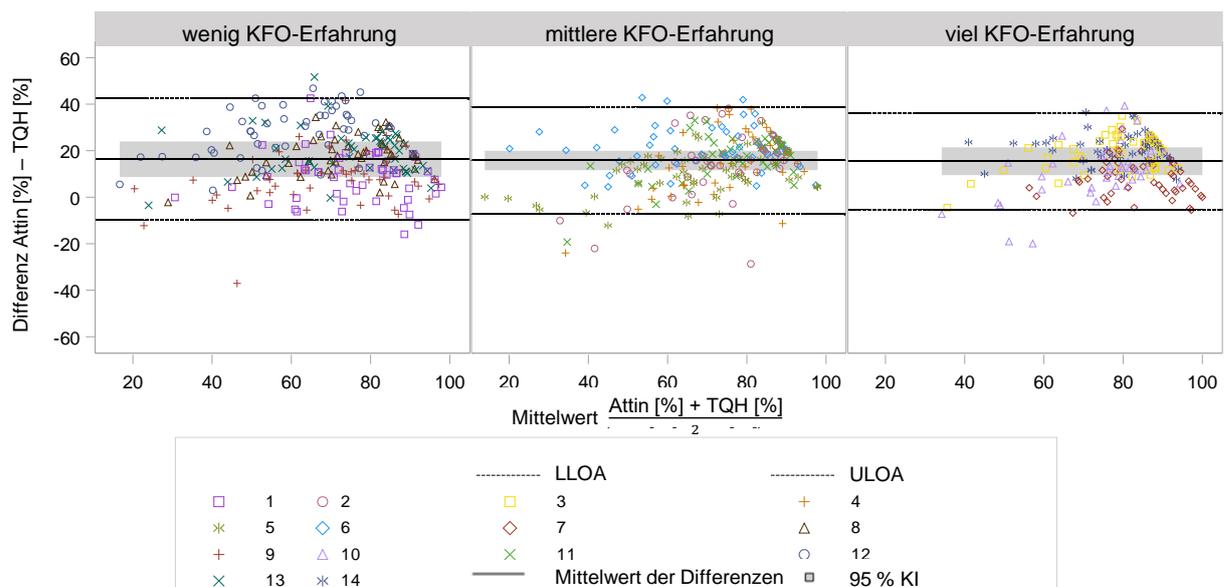


Abb. 27 Bland-Altman-Diagramm für den Vergleich der Plaque-Werte des TQH-Indexes mit den Plaque-Werten des Attin-Indexes mit Berücksichtigung der kieferorthopädischen Erfahrung der Beurteiler.

Vergleich des TQH-Indexes mit dem mBB-Index

In dem Bland-Altman-Diagramm (Abb. 28) ergab der Mittelwert der Messdifferenzen der Beurteiler mit wenig kieferorthopädischer Erfahrung -0,4 mit dem zugehörigen 95 % Konfidenzintervall [-11,1; 10,3]. Der Übereinstimmungsbereich [-28,2; 27,5] ergab eine Breite von 55,7.

Bei den Beurteilern mit mittlerer kieferorthopädischer Erfahrung lag der Mittelwert der Messdifferenzen bei - 5,3 mit dem zugehörigen 95 % Konfidenzintervall [-11,1; 0,5]. Daraus folgt, dass der systematische Fehler zwischen dem TQH- und mBB-Index bei den Beurteilern mit mittlerer kieferorthopädischer Erfahrung geringfügig größer ausfiel als bei den Beurteilern mit wenig und viel kieferorthopädischer Erfahrung. Der Übereinstimmungsbereich [-26,3; 15,6] zeigte mit einer Breite von 41,9, dass die Streuung der Plaque-Werte bei der Beurteilergruppe mit mittlerer kieferorthopädischer Erfahrung unter den drei Beurteilergruppen am geringsten ausfiel.

Der Mittelwert der Messdifferenzen der Beurteilergruppe mit viel kieferorthopädischer Erfahrung lag bei -4,0 mit dem zugehörigen 95 % Konfidenzintervall [-13,9; 5,9]. Der Übereinstimmungsbereich [-27,6; 19,6] fiel mit einer Breite von 47,2 kleiner aus als bei der Beurteilergruppe mit wenig und größer aus als bei der Beurteilergruppe mit mittlerer kieferorthopädischer Erfahrung.

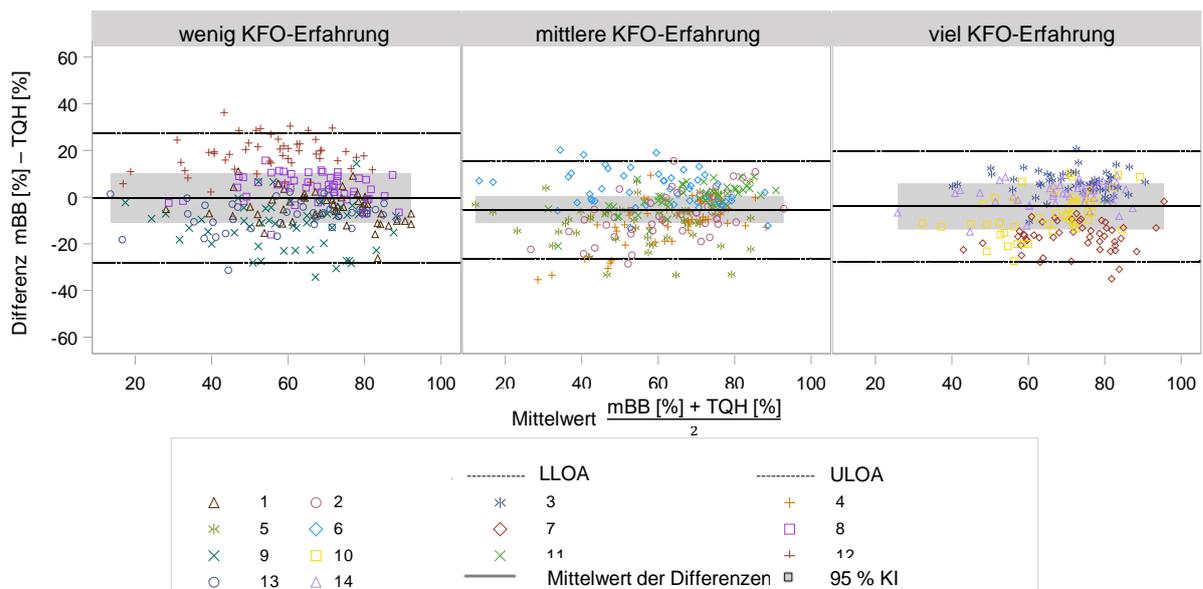


Abb. 28 Das Bland-Altman-Diagramm für den Vergleich der Plaque-Werte des TQH-Indexes mit den Plaque-Werten des mBB-Indexes mit Berücksichtigung der kieferorthopädischen Erfahrung der Beurteiler.

5.2 Interrater-Reliabilität

5.2.1 Interrater-Reliabilität mit dem Kappa nach Fleiss

Das Kappa nach Fleiss zeigte für alle drei Plaque-Indizes (TQH-, Attin-, mBB-Index) nach Landis und Koch (vgl. 4.3.1) eine mäßige Übereinstimmung unter den Beurteilern bezogen auf die Einstufung der Probanden in dieselbe Mundhygienekategorie (Tab. 11). Die Beurteiler stufte die Mundhygiene der Probanden mit dem TQH- und Attin-Index etwas einstimmiger ein als mit mBB-Index.

Tab. 11 Bewertung der Übereinstimmung der Mundhygienekategorien unter den Beurteilern mit dem Kappa nach Fleiss.

Plaque-Index	Kappa nach Fleiss
TQH	0,44
Attin	0,44
mBB	0,38

5.2.2 Interrater-Reliabilität mit dem ICC

5.2.2.1 Interrater-Reliabilität ohne Berücksichtigung der kieferorthopädischen Erfahrung der Beurteiler

Die Beurteiler erreichten mit dem Attin-Index bezogen auf die Kongruenz der Plaque-Werte eine hervorragende Übereinstimmung nach der Interpretation nach Cicchetti (vgl. 4.3.4). Mit dem TQH- und mBB-Index ergab sich eine gute Übereinstimmung unter den Beurteilern (Tab. 12).

Tab. 12 Bewertung der Übereinstimmung der Plaque-Werte unter den Beurteilern ohne Berücksichtigung der kieferorthopädischen Erfahrung mit dem ICC.

Plaque-Index	ICC
TQH	0,66
Attin	0,75
mBB	0,74

5.2.2.2 Interrater-Reliabilität mit Berücksichtigung der kieferorthopädischen Erfahrung der Beurteiler

Die größte Übereinstimmung unter den Beurteilern mit wenig kieferorthopädischer Erfahrung wurde mit dem Attin-Index erzielt (Tab. 13). Im Gegensatz dazu erlangten die Beurteiler mit dem TQH-Index die geringste Übereinstimmung.

Der ICC der Beurteiler mit mittlerer kieferorthopädischer Erfahrung wies bei allen drei Plaque-Indizes eine ähnliche Übereinstimmung unter den Beurteilern auf.

Die Beurteiler mit viel kieferorthopädischer Erfahrung erlangten die am besten übereinstimmenden Plaque-Werte mit dem Attin- und mBB-Index. Mit dem TQH-Index wurde eine geringere Übereinstimmung erzielt.

Tab. 13 Bewertung der Übereinstimmung der Plaque-Werte unter den Beurteilern mit Berücksichtigung der kieferorthopädischen Erfahrung mit dem ICC.

Plaque-Index	KFO-Erfahrung	ICC
TQH	wenig	0,63
	mittel	0,76
	viel	0,68
Attin	wenig	0,81
	mittel	0,74
	viel	0,78
mBB	wenig	0,76
	mittel	0,77
	viel	0,76

6. DISKUSSION

6.1 Diskussion von Material und Methode

6.1.1 Wahl der Plaque-Indizes

In zahnmedizinischen Studien gilt der Turesky-Index als internationaler Standard-Index (44). In kieferorthopädischen Studien kommt hingegen der Silness und Loe-Index am häufigsten zur Anwendung (31). Zahlreiche Studien untersuchten mit dem Silness und Loe-Index den Zustand der Gingiva bei Probanden mit MBA (15, 33, 34, 86, 88, 90, 93, 120-124). Andere Studien evaluierten mit dem Silness und Loe-Index den Effekt von Mundhygieneprodukten auf Gingivitis (87, 92, 125). Der modifizierte Silness und Loe-Index nach Williams et al. (94) wurde für die Bewertung der Plaque-Akkumulation bei Untersuchungen von Mundhygieneprodukten verwendet (95-97).

Grundsätzlich wurde die Anwendung von Plaque-Indizes in kieferorthopädischen Studien weniger häufig als in zahnmedizinischen Studien untersucht. Raggio et al. (126) analysierten 2010 den Silness und Loe-Index und den Turesky-Index bezüglich der Reliabilität und dem Unterscheidungsvermögen in einer zahnmedizinischen Studie. Weiterhin untersuchten Eaton et al. (127) und Kingman et al. (128) die Reliabilität des Silness und Loe-Indexes. Quirynen et al. (129) prüften 1991 das Unterscheidungsvermögen des Quigley-Hein-Indexes, des GMPI nach Harrap (51), von Modifikationen des NPI und einer planimetrischen Plaque-Bestimmungsmethode. Matthijis et al. (130) spezifizierten 2001 die Intrarater-Reproduzierbarkeit des Turesky-Indexes und des NPI nach Elliott et al. (53). Auch Marks et al. (131) analysierten 1993 den Turesky-Index auf Reliabilität und Reproduzierbarkeit. Die Reliabilität und Validierung der DPIA wurde von Smith et al. (66) und Carter et al. (47) untersucht. Rosa und Elizondo (65) entwickelten 2015 ein digitales Fotoanalyse-Verfahren an zahnmedizinischen Probanden und untersuchten die Reliabilität und Validierung dieser Methode im Vergleich zu dem Turesky-Index. Han et al. (64) analysierten 2015 ein weiteres digitales Fotoanalyse-Verfahren zur quantitativen Plaque-Bestimmung, das ohne Anfärben der Plaque mit einem Plaque-Revelator auskommt. Hierbei wurden die Ergebnisse der Fotoanalyse mit dem Turesky-Index und dem Silness und Loe-Index verglichen. Klukowska et al. (6)

untersuchten die DPIA erstmals an kieferorthopädischen Probanden mit MBA. Paschos et al. (26) zählen zu den wenigen Autoren, die die Reliabilität konventioneller Plaque-Indizes bei Probanden mit MBA analysierten. Untersucht wurden in der Studie der kieferorthopädische Attin-Index und der MOP nach Paschos et al. Darüber hinaus wurden in der Studie von Paschos et al. der Quigley-Hein-Index und der NPI nach Clemmer und Barbano (132) als zahnmedizinische Plaque-Indizes an kieferorthopädischen Probanden untersucht.

In der vorliegenden Arbeit repräsentierte jeder der vier untersuchten Plaque-Indizes ein Plaque-Indexsystem. Der TQH-Index stand stellvertretend für zahnmedizinische Plaque-Indizes. Der Attin-Index stand repräsentativ für kieferorthopädische Plaque-Indizes und der mBB-Index für eine Kombination aus einem zahnmedizinischen und kieferorthopädischen Plaque-Index. Der PPI stellte eine objektive, digitale Plaque-Bestimmungsmethode dar.

Der **TQH-Index** ist eine Modifikation des Turesky-Indexes (43). Der Turesky-Index ist, wie zuvor beschrieben, ein international anerkannter Plaque-Index (44) und einer der am häufigsten verwendeten Plaque-Indizes in zahnmedizinischen Studien (45-47). Auch in kieferorthopädischen Studien fanden der Quigley-Hein-Index und der Turesky-Index häufig Anwendung (22, 23, 77, 78, 80, 82-85). Der Turesky-Index stellt einen einfachen und schnell zu erhebenden Plaque-Index dar (46). Mit dem klassischen Turesky-Index wird bei Patienten mit MBA die ganze Zahnfläche bewertet, auch wenn sich die Plaque-Akkumulation auf den mesialen oder distalen Bereich begrenzt (50). Aus diesem Grund wurde in der vorliegenden Arbeit der Turesky-Index modifiziert und an dessen Stelle der TQH-Index verwendet. Nach dem TQH-Index wurde die Zahnfläche in drei vertikale Flächen geteilt und damit eine detailliertere Plaque-Bestimmung als mit dem klassischen Turesky-Index ermöglicht. Iyer et al. (46), Mankodi et al. (133) und Han et al. (64) wandten die gleiche Modifikation des Turesky-Index an zahnmedizinischen Probanden an.

Der **Attin-Index** wurde für kieferorthopädische Patienten mit MBA entwickelt (108). Bei der Entwicklung des Attin-Indexes stand die Anwendung des Plaque-Indexes im klinischen Alltag im Vordergrund. Bei dem Plaque-Index werden die Prädilektionsstellen für die Plaque-Akkumulation bei Patienten mit MBA berücksichtigt.

Dazu zählen die Bereiche mesial, distal und zervikal des Brackets (2, 3, 6, 98, 134). Aus diesen Gründen wurde der Attin-Index in der vorliegenden Arbeit verwendet.

Der **mBB-Index** nach Delaurenti et al. (110) besteht aus einer Kombination eines zahnmedizinischen und kieferorthopädischen Plaque-Indexes. Die Bewertungsgrade des mBB-Indexes repräsentieren die zahnmedizinische Komponente, und die vierteilige Einteilung der Zahnfläche entspricht der kieferorthopädischen Komponente. Die Einteilung der Zahnfläche lehnt sich an die Studien von Williams et al. (94) und Jackson (98) an. Die Bewertungsgrade orientieren sich an den OHI nach Greene und Vermillion (37). Der OHI wurde als geeignete Methode in großen epidemiologischen Studien genannt (35, 36, 40). Für Forschung und Klinik wurde allerdings das geringe Unterscheidungsvermögen des OHI bemängelt (35, 36, 40).

Der **PPI** basiert im Gegensatz zu den konventionellen Plaque-Indizes auf einer objektiven, computergestützten Methode zur quantitativen Plaque-Bestimmung. In der Literatur wurden zahlreiche Fotoanalysen zur quantitativen Plaque-Bestimmung vorgestellt (47, 63-67). Das DPIA-Verfahren gilt als standardisiertes Verfahren (70) und fand vielfach in zahnmedizinischen Studien Anwendung (68, 70-76). Durch Klukowska et al. (6) und Erbe et al. (24) wurde die DPIA erstmals bei der Untersuchung von Probanden mit MBA eingesetzt.

In der vorliegenden Arbeit wurde der PPI mit den konventionellen Plaque-Indizes (TQH-, Attin-, mBB-Index) verglichen. Eine objektive Plaque-Bestimmungsmethode wurde somit subjektiven Plaque-Indizes gegenübergestellt. Darüber hinaus wurde die Übereinstimmung der konventionellen Plaque-Indizes untersucht. Dabei wurde der TQH-Index als internationaler Standard-Plaque-Index mit dem Attin- und dem mBB-Index verglichen.

6.1.2 Wahl der Probanden- und Beurteilerzahl

In der Literatur waren deutlich mehr zahnmedizinische als kieferorthopädische Studien zur Intra- und Interrater-Reliabilität von Plaque-Indizes zu finden. Lange et al. (50) untersuchten 1973 bei n = 100 Probanden zwei Plaque-Indizes und zwei Gingiva-Indizes hinsichtlich der Anwendbarkeit und Korrelation. Quirynen et al. (129)

ermittelten 1991 das Unterscheidungsvermögen von fünf Plaque-Indizes bei $n = 14$ zahnmedizinischen Probanden zwischen 20 und 23 Jahren. Marks et al. (131) evaluierten 1993 sowohl die Intra- als auch die Interrater-Reliabilität von fünf zahnmedizinischen Plaque-Indizes. In der Studie von Marks et al. nahmen $n = 26$ Probanden und $n = 11$ Beurteiler teil. Matthijis et al. (130) beurteilten 2001 die Intrarater-Reproduzierbarkeit von $n = 1$ Beurteiler, der vier zahnmedizinische Plaque-Indizes an $n = 15$ Probanden erhob. Eine Studie von Paschos et al. (26) zu der Evaluation der Intra- und Interrater-Reliabilität von vier Plaque-Indizes zählte zu den wenigen Untersuchungen, die kieferorthopädische Probanden mit MBA einbezogen. In dieser Studie erhoben $n = 12$ Beurteiler vier Plaque-Indizes an $n = 35$ Probanden. Sagel et al. (61) entwickelten 2000 die DPIA zur objektiven, quantitativen Plaque-Bestimmung. An dieser Studie nahmen $n = 10$ Probanden teil. Smith et al. (66) untersuchten 2001 die Reliabilität und Validität einer digitalen Fotoanalyse anhand von $n = 15$ Probanden. Carter et al. (47) untersuchten 2004 $n = 25$ erwachsene Probanden in einer Studie zur DPIA. In einer Studie von Huang und Luang (135) wurden 2016 $n = 30$ Probanden zur quantitativen Plaque-Bestimmung mit der DPIA herangezogen. Han et al. (64) integrierten 2015 $n = 50$ Probanden in einer Studie zur Evaluation der Validität und Reliabilität eines digitalen bildgebenden Plaque-Analyse-Verfahrens basierend auf Autofluoreszenz. Zu den wenigen Studien mit Anwendung der DPIA an kieferorthopädischen Probanden mit MBA zählte die Untersuchung von Klukowska et al. (6) mit $n = 52$ Probanden und Erbe et al. (24) mit $n = 46$ Probanden.

In der vorliegenden Arbeit wurden $n = 50$ Probanden von $n = 14$ Beurteilern untersucht. Die Größe des Probandengutes stellte in klinischen Studien eine repräsentative Zahl dar. Die Anzahl der Beurteiler fiel überdurchschnittlich groß aus.

Hefti und Preshaw (27) wiesen 2012 auf die Bedeutung des Trainings und der Kalibrierung der Beurteiler bei der Erhebung eines Plaque-Indexes in klinischen Studien hin. Von den Autoren wurden diesbezüglich geeignete Verfahren beschrieben (27). In der vorliegenden Arbeit stand dagegen die praktische Anwendbarkeit der Plaque-Indizes im Vordergrund. Ziel der vorliegenden Arbeit war es, die Plaque-Werte verschiedener Plaque-Indizes miteinander zu vergleichen, ohne dass eine

Kalibrierung und ein ausführliches Training der Beurteiler vor Beginn der Studie durchgeführt wurde.

6.1.3 Wahl der Zähne

Die Bewertung der Plaque-Akkumulation an allen Zähnen im Vergleich zu der Bewertung ausgewählter Zähne bzw. Zahngruppen wurde in der Literatur besprochen. Zahlreiche Studien zogen bei der Erhebung von Plaque-Indizes die sechs Ramfjord-Zähne heran (32-34, 136). Nach Hefti und Preshaw (27) ist in Studien zur Reproduzierbarkeit die Beurteilung der Plaque-Akkumulation an allen Zähnen nicht erforderlich. Die Bewertung der Plaque-Akkumulation an allen Zähnen ist zeitaufwändig und führt zu geringem zusätzlichem Informationsgewinn (27). Hefti und Preshaw (27) wiesen zudem darauf hin, dass der durchschnittliche Plaque-Wert des Probanden die Zielvariable in einer Studie zur Reproduzierbarkeit ist. Die Autoren der Studie befanden eine Anzahl von 30 Zahnflächen als eine ausreichend präzise Schätzung des mittleren Plaque-Levels eines Probanden (27). Dunavent et al. (137) verifizierten 2008, dass kein Unterschied in der Bewertung aller Zähne und der Bewertung der Front- und Eckzähne hinsichtlich der Evaluation der Plaque-Akkumulation besteht. Mei et al. (134) argumentierten 2017, dass die größte Plaque-Akkumulation bei Patienten mit MBA an den lateralen Inzisivi und den Canini im Oberkiefer zu finden sei. Folglich ist die Bewertung dieser Zähne besonders wichtig, um Demineralisationen vorzubeugen.

In der vorliegenden Arbeit wurde ausschließlich die Plaque-Akkumulation der Frontzähne im Ober- und Unterkiefer (sechs Oberkiefer-, sechs Unterkieferzähne) bewertet, wie es zahlreich in der Literatur zu der DPIA beschrieben wurde (6, 24, 68, 70, 71, 74-76). Sowohl die Durchführung von der DPIA als auch die Erhebung der konventionellen Plaque-Indizes durch die Beurteiler wurde damit vereinfacht und zeitlich verkürzt. Nach Hefti und Preshaw (27) gingen durch die ausschließliche Bewertung der Frontzähne keine wichtigen Informationen in der vorliegenden Arbeit verloren, da es sich um eine Studie zur Reproduzierbarkeit handelte, in der der durchschnittliche Plaque-Wert jedes Probanden die Zielvariable war.

6.1.4 Anwendung und Wahl des Plaque-Revelators

In der Literatur wurde die Vorgehensweise bei dem Anfärben der Zähne mit Plaque-Revelatoren kontrovers diskutiert. Hefti und Preshaw (27) präferierten das Auftragen des Plaque-Revelators durch den Beurteiler. Diese Vorgehensweise gewährleistet das gleichmäßige Anfärben der Plaque (27). Das orale Spülen des Probanden kann zu einem fehlerhaften Anfärben der posterioren Zähne führen (27). Auch Sagel et al. (61) bemaßen dem Anfärben der Plaque bei einer sensitiven Messmethode wie der DPIA eine große Bedeutung zu. Wird die Plaque unzureichend angefärbt, ergibt sich ein zu geringer Plaque-Wert. Um vergleichbare Ergebnisse zu ermitteln, ist das Anfärben der Plaque immer auf die gleiche Weise zu erfolgen (27, 61). Die Zähne sind demnach zu Beginn einer Studie mehrere Male anzufärben und die Plaque-Akkumulation ist zu messen. Auf diese Weise wird sichergestellt, dass sich bei jedem Färbvorgang die gleiche Plaque-Akkumulation ergibt (61). Carter et al. (47) fanden 2004 in einer Studie heraus, dass Methylenblau im Gegensatz zu Erythrosin und Fluorescein den stärksten Wellenlängenkontrast zu der Farbe der Gingiva und den Zähnen erzielte. Allerdings wurde in der Studie von Carter et al. ein anderes Fotoanalyse-Verfahren verwendet, das auf dem HSI-Farbraum anstelle des RGB-Farbraums bei der Analyse der Pixel basierte. Fluorescein fand vielfach Anwendung in Studien zu der DPIA (6, 24, 61, 68, 70-76). Sagel et al. (61) befanden Fluorescein als sehr gut geeignet für das DPIA-Verfahren.

In der vorliegenden Arbeit wurde Fluorescein für das Anfärben der Plaque verwendet. Die Probanden spülten mit der Fluorescein-Lösung in der gleichen Vorgehensweise wie in der Literatur beschrieben (6, 24, 72, 73). Die wiederholte Durchführung des Plaque-Anfärbens zu Beginn der Studie war in der vorliegenden Arbeit nicht erforderlich. Dies liegt darin begründet, dass die drei konventionellen Plaque-Indizes anhand eines Fotos eines Probanden erhoben wurden. Die Voraussetzungen waren somit für alle Beurteiler gleich. In der vorliegenden Arbeit wurde der Fokus auf den Vergleich der Ergebnisse aller vier Plaque-Indizes bezogen auf ein einzelnes Foto gelegt. Ein Vergleich der Ergebnisse der Fotos untereinander wurde nicht durchgeführt.

6.1.5 Erhebung der konventionellen Plaque-Indizes mit Fotos

In der Literatur waren zahlreiche Studien zu finden, in denen konventionelle Plaque-Indizes mit Fotos erhoben wurden (26, 50, 129, 138). Renton-Harper et al. (138) wiesen 1999 auf die Vorteile von Fotos bei der Erhebung von Plaque-Indizes hin. Fotos ermöglichen eine dauerhafte Dokumentation und eine wiederholte Auswertung von Daten (138). Die Erhebung von Plaque-Indizes ist unabhängig vom klinischen Alltag und von dem Patienten auswertbar. Darüber hinaus ist die Übertragung der Ergebnisse auf andere Plaque-Indexsysteme möglich (138). Renton-Harper et al. (138) schlussfolgerten, dass eine digitale Speicherung der Fotos den Vergleich von Studien mit verschiedenen Plaque-Indizes ermöglicht. Die Erhebung von komplizierteren Plaque-Indizes wird mit Fotos vereinfacht (56). Weiterhin wiesen Ciancio et al. (26) 1985 auf die Verbesserung der Individualprophylaxe durch Fotos hin. Ash (139) beschrieb 1964 jedoch, dass die Bewertung der Plaque mit Fotos zu fehlerhaften Ergebnissen führen kann. Renton-Harper et al. (138) verglichen Plaque-Werte, die mit dem Turesky-Index sowohl intraoral als auch mit Fotos erhoben wurden. Die mit Fotos erhobenen Plaque-Werte fielen signifikant niedriger aus als die intraoral erhobenen Plaque-Werte. Dies zeigt, dass mit Fotos erfasste Daten eventuell ein geringeres Unterscheidungsvermögen aufweisen als intraoral erhobene Daten.

In der vorliegenden Arbeit wurden Fotos im Rahmen der DPIA verwendet. Darüber hinaus wurden die DPIA-Fotos für die Erhebung von drei konventionellen Plaque-Indizes eingesetzt. Durch die Fotos wurden für alle Beurteiler gleiche Voraussetzungen zur Plaque-Bestimmung geschaffen. Die intraorale Erhebung von Plaque-Indizes durch mehrere Beurteiler war aufgrund des zeitlichen Aufwandes an einem Termin nicht möglich. Bei mehreren Terminen hingegen hätte sich der Zustand der Plaque der Probanden verändert. Allerdings brachte die Erhebung der konventionellen Plaque-Indizes mit Fotos auch Nachteile mit sich. In der vorliegenden Arbeit wurden die distalen Zahnflächen der lateralen Inzisivi und Canini im Ober- und Unterkiefer unzureichend dargestellt. Folglich wurden diese Zahnflächen aufgrund der schlechten Darstellung häufig nicht beurteilt. Zudem waren einige Fotos etwas unscharf, wodurch die Bewertung der Plaque zusätzlich erschwert wurde.

6.1.6 Statistische Auswertung

6.1.6.1 Limitation der statistischen Auswertung von Plaque-Indizes

Die statistische Auswertung von konventionellen Plaque-Indizes war in der Literatur ein kontrovers diskutiertes Thema. Hefti und Preshaw (27) verdeutlichten 2012 die ordinale Natur von Plaque-Indizes. Ein Plaque-Wert von 2 x ist nicht mit einer doppelten Plaque-Akkumulation im Vergleich zu einem Plaque-Wert von x gleichzusetzen. Ein Plaque-Wert von 2 x beschreibt lediglich eine höhere Plaque-Akkumulation als ein Plaque-Wert von x (27). Ainamo und Bay (140) setzten sich 1975 kritisch mit der Bewertung von Plaque und Gingivitis auseinander. Die genannten Autoren wiesen ebenfalls auf die schwierige mathematische Rechtfertigung von konventionellen Plaque-Indizes hin. Die Zunahme der Plaque-Akkumulation zwischen Grad 1 und 2 entspricht beispielsweise bei dem Quigley-Hein-Index nicht der Zunahme der Plaque-Akkumulation zwischen Grad 2 und 3. Carter et al. (47) diskutierten, dass durch die Einteilung der Zahnfläche in verschiedene Areale zwei Zähne mit demselben Plaque-Wert und einer gleich großen Zahnfläche unterschiedliche Plaque-Mengen aufweisen können. Auf der anderen Seite können Zähne mit unterschiedlichen Plaque-Werten und einer unterschiedlich großen Zahnfläche die gleiche Plaque-Menge haben. Scannapieco (41) schlussfolgerte 1995, dass Plaque-Indizes nicht linear und semiquantitativ sind.

Quiryneen et al. (129) bestätigten 1991 den allgemeinen Vorzug von parametrischen Methoden für die statistische Analyse in Verbindung mit den Ergebnissen von konventionellen Plaque-Indizes, obwohl die Verwendung von parametrischer Statistik in Verbindung mit ordinalen Daten Kritik verursachte. Pandis et al. (88) kritisierten 2008 die heutzutage weit verbreitete Verwendung von ordinalen Plaque-Indizes als metrisch skalierte Daten in groß angelegten Studien. Pandis et al. (88) und Scannapieco (41) befürworteten die Verwendung von parameterfreien Statistik in Verbindung mit ordinalen Daten.

In der vorliegenden Arbeit wurden die Plaque-Werte der ordinal skalierten Plaque-Indizes (TQH-, Attin-, mBB-Index) in metrisch skalierte Plaque-Werte wie in der Literatur beschrieben umgerechnet (108, 141) und somit quantitativ bewertet. Die

Umrechnung der Plaque-Werte in Prozentwerte (vgl. 4.3) ermöglichte den Vergleich aller vier Plaque-Indizes (TQH-, Attin-, mBB-Index, PPI) trotz ursprünglich unterschiedlicher Skalierung, Bewertungsgrade und Einteilung der Zahnflächen. Die Nachteile der Bildung von Mittelwerten und der mathematischen Umrechnung lagen in dem teilweisen Verlust der klinischen Aussagekraft der einzelnen Plaque-Werte.

Im Folgenden wird diese Problematik anhand von Beispielen erklärt. Bei dem **TQH-Index** entsprach jeder Bewertungsgrad nach der mathematischen Umrechnung einer Plaque-Zunahme um ein Fünftel. Dies hatte zur Folge, dass bei dem TQH-Index beispielsweise einzelne Plaque-Inseln nach der Umrechnung einer Plaque-Akkumulation von 20 % und eine Plaque-Linie ≤ 1 mm einer Plaque-Akkumulation von 40 % entsprachen. Nach der Umrechnung bedeutete Grad 4, dass alle Probanden mit einer Plaque-Akkumulation $> 1/3$ und $\leq 2/3$ der Zahnfläche einen Plaque-Wert von 80 % aufwiesen. Bei dem **Attin-Index** repräsentierte jeder Bewertungsgrad eine Plaque-Zunahme um ein Drittel. Nach der mathematischen Umrechnung bedeutete beispielsweise Grad 3 demnach, dass alle Probanden mit einer Plaque-Akkumulation $> 1/3$ der zervikalen Fläche bis hin zu der gesamten vestibulären Zahnfläche einen Plaque-Wert von 100 % aufwiesen. Bei dem **mBB-Index** repräsentierte jeder Grad ebenfalls eine Plaque-Zunahme um ein Drittel. Dies bedeutete, dass beispielsweise Grad 2, mit dem eine Plaque-Akkumulation $> 1/3$ und $\leq 2/3$ der Zahnfläche beschrieben wurde, einem Plaque-Wert von 66,6 % entsprach.

Zusammengefasst führte die Umrechnung der ordinal skalierten Plaque-Werte in metrisch skalierte Plaque-Werte zu einer Diskrepanz zwischen der klinischen Situation und dem mathematisch umgerechneten Plaque-Wert. Die konventionellen Plaque-Indizes sind teils so konzipiert, dass ein einzelner Bewertungsgrad Graduierungen der Plaque-Akkumulation widerspiegelt. Durch die mathematische Umrechnung wurde allerdings jedem Bewertungsgrad eines konventionellen Plaque-Index ein einzelner prozentualer Plaque-Wert zugeteilt. Die prozentualen Plaque-Werte unterschieden sich somit teils von den klinischen Erscheinungsbildern. Grundsätzlich fielen vor allem bei dem TQH- und Attin-Index nach der mathematischen Umrechnung die prozentualen Plaque-Werte zu hoch aus. Der mBB-Index war am ehesten quantitativ bewertbar und verlor folglich nach der mathematischen Umrechnung am geringsten an klinischen Informationen. Begründet ist dies in den Bewertungsgraden des mBB-Indexes, mit denen die Zunahme der Plaque-Akkumulation in gleichmäßigen Abständen beschrieben wurde.

In zukünftigen Studien ist ein anderes statistisches Verfahren für den Vergleich von Plaque-Werten verschiedener Plaque-Indizes zu verwenden. Das Ziel der Auswahl des statistischen Verfahrens ist es, den Verlust der klinischen Information der Plaque-Werte bei der statistischen Analyse zu vermeiden.

6.1.6.2 Mundhygienekategorien

In der Literatur wurde die Einteilung von Probanden in Mundhygienekategorien zur Beurteilung des Mundhygienestatus und zur Einteilung in ein Prophylaxeprogramm beschrieben. Lange (109) entwickelte 1981 Mundhygienekategorien (vgl. 4.3), die noch heute Anwendung finden (108). Heintze et al. (3) stufte 1999 die Mundhygiene mit dem OPI in folgende Kategorien ein: 0 – 29 % gute Mundhygiene; 30 – 49 % mäßige Mundhygiene; ≥ 50 % unzureichende Mundhygiene. Smiech-Slomkowska und Jablonska-Zrobek (142) teilten 2007 nach Erhebung des Silness und Loe-Indexes die Plaque-Werte in entsprechende Mundhygienekategorien (sehr gut, gut, mäßig, unzureichend) ein. Auch Beberhold et al. (81) verwendeten Mundhygienekategorien, um die Einstufung kieferorthopädischer Probanden mit MBA in Prophylaxeprogramme zu erleichtern. Bewertungsgrade 0 und 1 entsprachen nach Beberhold et al. einer sehr guten bzw. guten Mundhygiene und umfassten ein Prophylaxeprogramm, das Remotivation, Beibehalten des Recall-Intervalls und lokale Fluoridierung beinhaltet. Bewertungsgrad 2 bedeutete eine mäßige Mundhygiene und beinhaltete zusätzlich Mundhygieneinstruktionen sowie eine professionelle Zahnreinigung. Bewertungsgrade 3 und 4 bedeuteten eine unzureichende Mundhygiene und beinhalteten zudem ein kürzeres Recall-Intervall und eine mögliche Chlorhexidin-Anwendung (81).

Ainamo und Bay (140) bezeichneten 1975 die Einteilung der Mundhygiene in subjektive Kategorien wie ‚schlecht‘, ‚mäßig‘ und ‚gut‘ als wenig aussagekräftig. Garnick (136) kritisierte 1973, dass beschreibende Worte für die Mundhygiene zu einer Verzerrung in der Kommunikation zwischen Patient, Prophylaxe-Assistent und dem Zahnarzt führen kann. Garnick beanstandete die vage Aussagekraft von Mundhygienekategorien besonders bei großen Zeitintervallen zwischen Untersuchungen. Es ist darauf hinzuweisen, dass sich die Kritik in der Literatur hinsichtlich Mundhygienekategorien auf beschreibende Kategorien bezog. Die Kritik

galt nicht der Einteilung der Mundhygiene basierend auf einem zuvor erhobenen Plaque-Index-Wert.

Die Einteilung der Plaque in grob unterteilte Mundhygienekategorien ist insbesondere von klinischer Bedeutung. Mundhygienekategorien ermöglichen eine Aussage über den Zustand der Mundhygiene eines Patienten und die Einstufung eines Patienten in ein geeignetes Prophylaxeprogramm. In der Klinik steht die Einstufung der Patienten in ein Prophylaxeprogramm zur Verbesserung bzw. Beibehaltung der Mundhygiene stärker im Vordergrund als der exakt ermittelte Plaque-Wert.

Aus dem zuvor genannten Grund wurde in der vorliegenden Arbeit die Übereinstimmung zweier Plaque-Indizes bezogen auf die Einteilung der Probanden in dieselbe Mundhygienekategorie untersucht. Dabei wurden die Mundhygienekategorien nach Lange et al. (109) verwendet. Um der angeführten Kritik Rechnung zu tragen, basierte in der vorliegenden Arbeit die Einteilung der Probanden in Mundhygienekategorien auf den zuvor ermittelten prozentualen Plaque-Werten. Ein Nachteil der Einteilung der Plaque-Werte in Mundhygienekategorien stellen die Kategoriegrenzen dar. Diese führten dazu, dass zwei Plaque-Indizes weniger übereinstimmten als dies in der Realität der Fall war. Plaque-Werte von 33,3 % und 40 % ergaben beispielsweise zwei verschiedene Mundhygienekategorien, obwohl die beiden Messungen objektiv nicht weit voneinander entfernt lagen. Auf der anderen Seite ergaben zwei Plaque-Indizes mit weiter auseinander liegenden Messungen, z.B. 40 % und 66,6 %, dieselbe Mundhygienekategorie, obwohl die zwei Plaque-Indizes objektiv schlechter übereinstimmten.

6.1.6.3 Cohens Kappa

Hefti und Preshaw (27) veröffentlichten 2012, dass die Kappa-Statistik eine der am häufigsten angewandten Methode bei der statistischen Analyse von Beurteilerübereinstimmungen in zahnärztlichen Studien ist. Die Verwendung des Cohens Kappa wurde von den genannten Autoren als statistische Methode für die Analyse von ordinalen Daten empfohlen (27). Auch nach Matthijs et al. (130) ist das Cohens Kappa hervorragend für die Evaluation der Reliabilität von ordinalen Plaque-Indizes geeignet.

Grundsätzlich war die Verwendung des Cohens Kappa für die Untersuchung der Übereinstimmung zweier Plaque-Indizes bezogen auf die Einteilung der Probanden in dieselbe Mundhygienekategorie in der vorliegenden Arbeit geeignet. Durch die Mundhygienekategorien ergab sich eine Ordinalskala, wodurch das Cohens Kappa als parameterfreie statistische Methode für die Auswertung vertretbar war (143). Allerdings sollte in Zukunft die Einteilung der Mundhygiene der Probanden in Kategorien nicht auf umgerechneten Plaque-Werten wie in der vorliegenden Arbeit basieren. Dies führte, wie zuvor beschrieben, zu einem Verlust der klinischen Information einzelner Plaque-Werte und erschwerte die Interpretation der Ergebnisse. Bei unterschiedlicher Anzahl von Bewertungsgraden der Plaque-Indizes sind auch andere Maße für die Übereinstimmung als die Prozenteinteilung in Betracht zu ziehen.

6.1.6.4 Bland-Altman-Diagramme

Die Bland-Altman-Diagramme wurden in der Literatur vielfach für den Vergleich zweier Messmethoden verwendet (144, 145). Häufig wurden die Bland-Altman-Diagramme für den Vergleich eines etablierten „Goldstandards“ mit einer neuen Messmethode herangezogen (115). Besonders in medizinischen Studien eignen sich die Bland-Altman-Diagramme gut für Methodenvergleiche (146). Der klinische Toleranzbereich bezüglich der Breite des Übereinstimmungsbereichs wird bei den Bland-Altman-Diagrammen eigens festgelegt (114). Bei der Festlegung des klinischen Toleranzbereiches handelt es sich um klinische Überlegungen (147). Die Bestimmung richtet sich danach, inwieweit sich eine klinische Therapieentscheidung basierend auf den Messergebnissen zweier Methoden ändern würde.

In der vorliegenden Arbeit wurden die Bland-Altman-Diagramme für den Vergleich zweier Plaque-Indizes verwendet. Der Toleranzbereich für den Übereinstimmungsbereich wurde auf $\pm 10\%$ festgelegt. Dies ging aus den Überlegungen hervor, dass sich ein Plaque-Wert, der in der Mitte einer Mundhygienekategorie liegt, trotz Zu- oder Abnahme um 10% noch innerhalb derselben Mundhygienekategorie befindet. In der Praxis bedeutet dies, dass der Patient für dasselbe Prophylaxeprogramm eingestuft wird.

Die Vergleiche zweier Plaque-Indizes basierten in der vorliegenden Arbeit auf den zuvor mathematisch umgerechneten Plaque-Werten der konventionellen Plaque-Indizes, um die Plaque-Indizes zu vereinheitlichen. Für zukünftige Studien wird die Verwendung von Bland-Altman-Diagrammen für den Vergleich von Plaque-Werten unterschiedlicher Plaque-Indizes nicht empfohlen, da diese statistische Analyse darauf basiert, dass in den gleichen Einheiten gemessen wird.

6.1.6.5 Kappa nach Fleiss

Das Kappa nach Fleiss (116) wurde als eine Erweiterung des Cohens Kappa entwickelt, um die statistische Auswertung von Ergebnissen von mehr als zwei Beurteilern zu ermöglichen. Hefti und Preshaw (27) betonten, dass das Kappa nach Fleiss gut für die Auswertung von Plaque-Indizes mit Ordinalskala geeignet sei.

Das Kappa nach Fleiss wurde aus den genannten Gründen für die Evaluation der Interrater-Reliabilität von 14 Beurteilern bezogen auf die Einteilung der Probanden in Mundhygienekategorien gewählt.

6.1.6.6 ICC

Der ICC wurde von Hefti und Preshaw (27) als statistische Methode bei der Untersuchung von Übereinstimmungen bei metrisch skalierten Plaque-Indizes empfohlen. In der vorliegenden Arbeit wurde der ICC für die Evaluation der Interrater-Reliabilität der Beurteiler verwendet.

Die geringe Variabilität des Probandengutes in der vorliegenden Arbeit hatte Einfluss auf den ICC (147). Die Übereinstimmung unter den Beurteilern fiel dadurch etwas vermindert aus. Dieser Aspekt ist bei der Interpretation der Ergebnisse zu berücksichtigen. Der Grund für die geringe Variabilität lag in den Einschlusskriterien, die ein Mindestmaß an Gingivitis bei den Probanden vorgaben. Gingivitis steht in

direktem Zusammenhang mit der Plaque-Akkumulation. Dies impliziert, dass alle Probanden eine bestimmte Plaque-Menge aufwiesen.

6.2 Diskussion der Ergebnisse

6.2.1 Vergleich der Plaque-Indizes mit dem Cohens Kappa

Bei dem Vergleich der Plaque-Indizes bezogen auf die Einteilung der Probanden in Mundhygienekategorien wiesen der PPI und der Attin-Index die schlechteste Übereinstimmung auf [Simple Kappa -0,05, Weighted Kappa 0,05]. Das Simple Kappa ergab, dass die Übereinstimmung der Mundhygienekategorien zwischen dem PPI und dem Attin-Index schlechter als der Zufallswert ausfiel. Ähnlich betraf dies auch den Vergleich des PPI mit dem TQH-Index [Simple Kappa - 0,01, Weighted Kappa 0,17]. Der PPI und der mBB-Index erzielten nur eine geringfügig bessere Übereinstimmung [Simple Kappa 0,07, Weighted Kappa 0,23]. Der Vergleich des TQH-Indexes mit dem mBB-Index zeigte die beste Übereinstimmung in der vorliegenden Arbeit [Simple Kappa 0,44, Weighted Kappa 0,51]. Der Vergleich des TQH-Indexes mit dem Attin-Index ergab die zweitbeste Übereinstimmung [Simple Kappa 0,32, Weighted Kappa 0,4]. Zusammengefasst fiel die Übereinstimmung unter den konventionellen Plaque-Indizes deutlich besser aus als die Übereinstimmung des PPI mit den konventionellen Plaque-Indizes.

Shrout (148) legte 1998 fest, dass mit einem Kappa $> 0,8$ eine ausreichende Übereinstimmung zwischen zwei Beurteilungen besteht. Kein Ergebnis der vorliegenden Arbeit erreichte diesen Kappa-Wert. Allerdings sind die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit aufgrund der mathematischen Umrechnung der Plaque-Werte der konventionellen Plaque-Indizes nur unter Vorbehalt zu interpretieren (vgl. 6.1.6.1). Die Mundhygiene der Probanden wurde mit den konventionellen Plaque-Indizes häufig in eine höhere Mundhygienekategorie eingestuft als mit dem PPI. Dies betraf auch den Vergleich des PPI als objektive Plaque-Bestimmungsmethode mit dem TQH-Index als internationalem Standard-Plaque-Index. Bei dem Vergleich der konventionellen

Plaque-Indizes untereinander wurde die Mundhygiene der Probanden mit dem Attin-Index tendenziell in eine höhere Mundhygienekategorie eingestuft als mit dem TQH-Index. Mit dem mBB-Index wurde die Mundhygiene tendenziell in eine niedrigere Mundhygienekategorie als mit dem TQH-Index eingestuft.

Die Differenzen der Plaque-Indizes sind möglicherweise auf die mathematische Umrechnung zurückzuführen. Ein zusätzlicher Grund für die unzureichende Übereinstimmung bestand gegebenenfalls in den Kategoriegrenzen (vgl. 6.1.6.2). Diese führten dazu, dass zwei Plaque-Indizes durch zwei Plaque-Werte, die nah beieinander lagen, aber zwei verschiedenen Mundhygienekategorien zugeordnet wurden, weniger übereinstimmten als in der Realität.

6.2.2 Vergleich der Plaque-Indizes mit den Bland-Altman-Diagrammen

6.2.2.1 Vergleich der Plaque-Indizes ohne Berücksichtigung der kieferorthopädischen Erfahrung

Der Vergleich des PPI mit dem Attin-Index wiesen den größten systematischen Fehler bei den Bland-Altman-Diagrammen auf [Mittelwert der Messdifferenzen 31,6]. Der Vergleich des PPI mit dem TQH-Index [Mittelwert der Messdifferenzen 15,7] ergab einen größeren systematischen Fehler als der Vergleich des PPI mit dem mBB-Index [Mittelwert der Messdifferenzen 12,5]. Der PPI und mBB-Index wiesen demzufolge den kleinsten systematischen Fehler unter den Vergleichen des PPI mit den konventionellen Plaque-Indizes auf.

Unter den konventionellen Plaque-Indizes ergaben der TQH- und mBB-Index die übereinstimmendsten Plaque-Werte. Beide Plaque-Indizes wiesen im Vergleich zu den anderen Gegenüberstellungen den geringsten systematischen Fehler auf [Mittelwert der Messdifferenzen -3,2]. Der mBB-Index maß durchschnittlich nur geringfügig niedrigere Plaque-Werte als der TQH-Index. Der Attin- und TQH-Index stimmten weniger überein [Mittelwert der Messdifferenzen 15,9]. Der Attin-Index ergab durchschnittlich höhere Plaque-Werte als der TQH-Index.

Der Übereinstimmungsbereich traf eine größere Aussagekraft über die Beurteilung der Übereinstimmung zweier Messmethoden als der Mittelwert der Messdifferenzen. Mit dem Mittelwert der Messdifferenzen wurde eine korrigierbare Abweichung beschrieben, während der Übereinstimmungsbereich in der Regel eine nicht-korrigierbare Abweichung darstellte. In der vorliegenden Arbeit fiel bei allen Vergleichen der Übereinstimmungsbereich groß aus. Folglich zeigte die Analyse große Differenzen zwischen den Plaque-Indizes. Die größte Streuung ergab sich bei dem Vergleich des PPI mit dem Attin-Index mit einer Breite des Übereinstimmungsbereichs von 65,6 [-1,2; 64,4]. Der Übereinstimmungsbereich fiel bei dem Vergleich des PPI mit dem TQH-Index [-11,9; 43,4] und bei dem Vergleich des PPI mit dem mBB-Index [-5,3; 40,4] ähnlich groß aus. In der vorliegenden Arbeit ergab sich somit eine unzureichende Korrelation zwischen dem PPI, der objektiven Plaque-Bestimmungsmethode, und dem TQH-Index, einer Modifikation des internationalen Standard-Plaque-Indexes.

Der Vergleich unter den konventionellen Plaque-Indizes ergab geringfügig bessere Ergebnisse. Der Übereinstimmungsbereich fiel bei dem Vergleich des TQH-Indexes mit dem Attin-Index [-7,2; 39,0] und bei dem Vergleich des TQH-Indexes mit dem mBB-Index [-26,7; 20,4] ähnlich aus.

Alle Übereinstimmungsbereiche lagen außerhalb des klinischen Toleranzbereiches. Folglich waren keine der analysierten Plaque-Indizes kongruent. Infolgedessen sind sie untereinander zukünftig nicht austauschbar. Der TQH- und mBB-Index wiesen von allen Vergleichen durch einen kleinen systematischen Fehler und die geringste Streuung die größte Übereinstimmung auf.

Bei der Analyse der zuvor beschriebenen Ergebnisse ist die mathematische Umrechnung der Plaque-Werte der konventionellen Plaque-Indizes zu berücksichtigen. Die mathematische Umrechnung in Zusammenhang mit dem Aufbau der Bewertungsgrade der einzelnen Plaque-Indizes liefert eine Erklärung für die Ergebnisse der Bland-Altman-Diagramme (vgl. 6.1.6.1).

Wie zuvor beschrieben, war der **Attin-Index** am schlechtesten quantitativ zu bewerten und wies somit im Vergleich zu dem PPI die größten Differenzen der drei konventionellen Plaque-Indizes auf. Die größten Abweichungen zwischen dem PPI und dem Attin-Index ergaben sich in dem mittleren Bereich der x-Achse des Bland-

Altman-Diagramms (Abb. 20). Die Anordnung der Punktwolke ergab sich vermutlich daraus, dass mit dem Attin-Index bereits eine geringe Plaque-Akkumulation mit Grad 3 bewertet wurde, aber die mathematische Umrechnung einen Plaque-Wert von 100 % ergab. In diesen Fällen ergab der PPI einen deutlich geringeren prozentualen Plaque-Wert. In dem Bland-Altman-Diagramm zeigte sich folglich eine besonders hohe Messdifferenz im mittleren Bereich der Skala der x-Achse.

Im Vergleich zu dem TQH-Index ergab der Attin-Index ebenfalls höhere Plaque-Werte. Der Grund dafür lag möglicherweise in der präziseren Differenzierung hoher Plaque-Akkumulationen bei dem TQH-Index. Alle Probanden, die eine Plaque-Akkumulation $> 1/3$ der Fläche zervikal des Brackets aufwiesen, wurden mit dem TQH-Index mit Grad 3, 4 oder 5 bewertet, mit dem Attin-Index hingegen ausschließlich mit Grad 3. In allen Fällen, in denen mit dem TQH-Index Grad 3 oder 4 erhoben wurde, ergab sich für den TQH-Index nach der mathematischen Umrechnung ein geringerer prozentualer Plaque-Wert.

Der **TQH-Index** war aufgrund des Aufbaus der Bewertungsgrade ebenfalls schlecht quantitativ bewertbar. Die mathematische Umrechnung bedingte, dass die Plaque-Werte des TQH-Indexes im Vergleich zu dem PPI grundsätzlich zu hoch ausfielen. Dies betraf vor allem geringe Plaque-Akkumulationen. Folglich resultierte eine Verzerrung in dem Bland-Altman-Diagramm, die einen abwärts gerichteten Trend der Punktwolke ergab (Abb. 20). Die Differenzen zu dem PPI fielen im Durchschnitt kleiner aus als bei dem Attin-Index, da erhöhte Plaque-Akkumulationen bei dem TQH-Index, wie zuvor beschrieben, präziser bewertet wurden.

Der **mBB-Index** war, wie zuvor beschrieben, am besten quantitativ bewertbar und erzielte somit die beste Übereinstimmung mit dem PPI. Nach der mathematischen Umrechnung entsprachen die errechneten prozentualen Plaque-Werte des mBB-Index der höchsten Plaque-Akkumulation, die sich klinisch für die jeweiligen Bewertungsgrade ergeben konnte. Bei einer Plaque-Akkumulation, die beispielsweise $\leq 1/3$ der Zahnfläche bedeckte, ergab sich ein errechneter, prozentualer Plaque-Wert von $33,3\bar{3}$ %. In allen anderen Fällen, in denen die Plaque-Akkumulation geringer ausfiel, ergab der mBB-Index nach der mathematischen Umrechnung einen zu hohen Plaque-Wert. Folglich fielen die Plaque-Werte im Gegensatz zu den anderen beiden konventionellen Plaque-Indizes nicht in allen Fällen zu hoch aus. Aus diesem Grund stimmte der mBB-Index trotz Abweichungen besser mit dem PPI überein als die anderen konventionellen Plaque-Indizes.

Aufgrund der Ähnlichkeit der Bewertungsgrade erzielten der mBB- und TQH-Index die übereinstimmendsten Plaque-Werte. Das Bland-Altman-Diagramm wies die homogenste Verteilung der Punktwolke auf (Abb. 23). Die mathematische Umrechnung bedingte, dass die Plaque-Werte des mBB-Indexes in dem Bland-Altman-Diagramm im Durchschnitt geringfügig niedriger als die Plaque-Werte des TQH-Indexes ausfielen. Mit dem mBB-Index ergab die Plaque-Akkumulation, die größer als eine Plaque-Linie war und $\leq 1/3$ der Zahnfläche bedeckte, eine Plaque-Ausbreitung von $33,3\bar{3}$ %, während sich mit dem TQH-Index eine Plaque-Ausbreitung von 60 % ergab. Ausschließlich bei einer geringeren Plaque-Akkumulation in Form von Plaque-Inseln ergab der TQH-Index nach der mathematischen Umrechnung einen niedrigeren errechneten prozentualen Plaque-Wert als der mBB-Index. Letzteres fiel jedoch aufgrund der durchschnittlich hohen Plaque-Akkumulation der Probanden bei der Analyse kaum ins Gewicht.

In der Literatur wurden konventionelle Plaque-Indizes mit digitalen quantitativen Plaque-Bestimmungsmethoden ebenfalls verglichen. Soder et al. (149) stellten 1993 in einer Studie zur computergestützten planimetrischen Plaque-Messung die Ergebnisse des PPI dem Turesky-Index gegenüber. Für jeden Grad des Turesky-Indexes ergab sich für den PPI ein großer Bereich an Plaque-Werten. Der variable Bereich des PPI nahm mit zunehmender Graduierung des Turesky-Indexes zu (149). Der Grund lag in dem Aufbau der Bewertungsgrade des Turesky-Indexes, mit dem kleine Plaque-Akkumulationen präziser beurteilt wurden als größere Plaque-Akkumulationen. Die Ergebnisse von Soder et al. unterstützten die zuvor genannten Aspekte zu dem Aufbau ordinaler Plaque-Indizes (vgl. 6.1.6.1). In der vorliegenden Arbeit galt die Aussage von Soder et al. besonders für den Attin-Index, dessen Bewertungsgrade, insbesondere Grad 3, von allen drei konventionellen Plaque-Indizes am ungenauesten waren. Folglich wichen die Ergebnisse des Attin-Indexes am stärksten von dem PPI ab. Die Studie von Han et al. (64) ergab eine moderate Korrelation zwischen dem PPI und dem Turesky-Index bzw. dem Silness und Loe-Index. Allerdings fand ein anderes digitales Fotoanalyse-Verfahren Verwendung, das ohne den Einsatz eines Plaque-Revelators arbeitete und auf Autofluoreszenz basierte. Zudem wurde für den Vergleich des PPI mit dem Turesky-Index eine andere statistische Analyse als in der vorliegenden Arbeit verwendet. Darüber hinaus wurde der Turesky-Index ausschließlich von $n = 2$ Beurteilern erhoben. Im Gegensatz zu der

vorliegenden Arbeit ermittelten Rosa und Elizondo (126) eine starke Korrelation zwischen dem PPI und dem Turesky-Index. Wie bei Han et al. wurde jedoch eine andere statistische Analyse verwendet, und nur n = 1 Beurteiler führte die Erhebung des Turesky-Indexes durch. Zudem unterschied sich das Equipment bei der Durchführung der digitalen Fotoanalyse deutlich von dem Equipment des DPIA-Verfahrens, das in der vorliegenden Arbeit verwendet wurde. Carter et al. (47) verglichen die Ergebnisse der DPIA mit dem RMNPI nach Rustogi et al. (54). Bei dem Vergleich der beiden Plaque-Bestimmungsmethoden ergab sich eine relativ geringe Korrelation. Allerdings wurde bei der digitalen Fotoanalyse der HSI-Farbraum und nicht der RGB-Farbraum wie in der vorliegenden Arbeit verwendet. Dennoch unterstützten Carter et al. die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit und schlussfolgerten, dass der konventionelle Plaque-Index die Plaque-Akkumulation nicht quantitativ bewertete. Carter et al. (47) gaben stattdessen an, dass der konventionelle Plaque-Index die räumliche Plaque-Ausbreitung auf der Zahnfläche unabhängig von der Quantität bewertete.

Des Weiteren wurden in der Literatur konventionelle Plaque-Indizes miteinander verglichen. Cugini et al. (48) untersuchten 2006 die Korrelation zwischen dem Turesky-Index und dem RMNPI nach Rustogi et al. (54). Die Plaque-Werte des RMNPI fielen höher aus als die Plaque-Werte des Turesky-Indexes. Cugini et al. (48) sahen den möglichen Grund in der höheren Anzahl an evaluierten Zahnflächen bei dem RMNPI gegenüber dem Turesky-Index. In der vorliegenden Arbeit wurde jedoch mit dem Attin-Index die Zahnfläche als Ganzes und mit dem TQH-Index die Zahnfläche als dreigeteilte Fläche bewertet. Bei dem mBB-Index wurde die Zahnfläche in vier Flächen unterteilt. Trotzdem ergab der Attin-Index in der vorliegenden Arbeit höhere und der mBB-Index niedrigere Plaque-Werte als der TQH-Index. Die Ergebnisse von Cugini et al. stimmten demnach nicht mit den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit überein. Allerdings ist die mathematische Umrechnung in der vorliegenden Untersuchung zu berücksichtigen.

6.2.2.1 Vergleich der Plaque-Indizes mit Berücksichtigung der kieferorthopädischen Erfahrung

Die kieferorthopädische Erfahrung der Beurteiler beeinflusste die Ergebnisse der Bland-Altman-Diagramme nur geringfügig. Die Beurteiler mit viel kieferorthopädischer Erfahrung wiesen durchschnittlich einen größeren Mittelwert der Messdifferenzen auf als die Beurteiler mit wenig bzw. mittlerer kieferorthopädischer Erfahrung. Der mögliche Grund lag in den höheren Plaque-Werten, die die Beurteiler mit viel kieferorthopädischer Erfahrung erhoben haben. Je höher die von den Beurteilern erhobenen Plaque-Werte waren, desto größer fiel die mathematische Umrechnung der Plaque-Werte aufgrund des Aufbaus der Bewertungsgrade der Plaque-Indizes ins Gewicht (vgl. 6.1.6.1). Dies spiegelte sich in größeren Differenzen vor allem zwischen dem PPI und den konventionellen Plaque-Indizes wider.

Die Beurteiler mit wenig kieferorthopädischer Erfahrung wiesen durchschnittlich einen etwas größeren Übereinstimmungsbereich auf als die Beurteiler mit mittlerer bzw. viel kieferorthopädischer Erfahrung. Somit fiel die Streuung bei den Vergleichen zweier Plaque-Indizes bei den Beurteilern mit wenig kieferorthopädischer Erfahrung größer aus als bei den übrigen Beurteilergruppen.

6.2.3 Interrater-Reliabilität mit dem Kappa nach Fleiss

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit zeigen, dass eine übereinstimmende Erhebung von konventionellen Plaque-Indizes durch mehrere Beurteiler schwierig war. Die Beurteiler stimmten mit dem TQH- und Attin-Index bezogen auf die Einteilung der Probanden in dieselbe Mundhygienekategorie von allen drei Plaque-Indizes am besten überein [Kappa nach Fleiss 0,44]. Mit dem mBB-Index erreichten die Beurteiler im Vergleich eine leicht geringere Übereinstimmung [Kappa nach Fleiss 0,38].

Die Interrater-Reliabilität des TQH-Indexes fiel im Vergleich zu dem mBB-Index besser aus als bei der nachfolgenden Analyse mit dem ICC (vgl. 6.2.4.1). Aufgrund der höheren Anzahl an Bewertungsgraden des TQH-Indexes war die Wahrscheinlichkeit der Übereinstimmung der Mundhygienekategorien der Probanden mit dem TQH-Index höher als mit dem mBB-Index. Mit dem TQH-Index wurden die Probanden mit einer

durchschnittlichen Plaque-Akkumulation von Grad 2 oder 3 (Plaque-Wert 40 % bzw. 60 %) bzw. Grad 4 oder 5 (Plaque-Wert 80 % bzw. 100 %) in dieselbe Mundhygienekategorie eingestuft. Bei dem mBB-Index hingegen wurde die Mundhygiene der Probanden nur dann einstimmig in dieselbe Kategorie eingestuft, wenn derselbe Bewertungsgrad erhoben wurde. Dies ist möglicherweise der Grund dafür, dass der TQH-Index im Vergleich zu dem mBB-Index bei der Analyse der Interrater-Reliabilität mit dem Kappa nach Fleiss ein besseres Ergebnis erzielte als bei der nachfolgenden Analyse mit dem ICC.

Die Kalibrierung von mehreren Beurteilern spielt bei der Erhebung von Plaque-Indizes in der Praxis im Gegensatz zu Studien eine untergeordnete Rolle (136). Die vorliegende Arbeit zeigte allerdings, dass die Probanden durch die Beurteiler nur mit unzureichender Übereinstimmung in dieselbe Mundhygienekategorie eingestuft wurden. Folglich führt die Kalibrierung von Beurteilern in der Praxis möglicherweise zu einer einstimmigeren Einstufung der Patienten in dieselbe Mundhygienekategorie. Die Mundhygiene der Patienten könnte auf diese Weise im klinischen Alltag während der kieferorthopädischen Behandlung mit MBA bestmöglich beibehalten, oder verbessert werden.

6.2.4 Interrater-Reliabilität mit dem ICC

6.2.4.1 Interrater-Reliabilität ohne Berücksichtigung der kieferorthopädischen Erfahrung

In der vorliegenden Arbeit erzielte der TQH-Index als zahnmedizinischer Plaque-Index die schlechteste Übereinstimmung unter den Beurteilern [ICC 0,66]. Der Attin-Index zeigte als kieferorthopädischer Plaque-Index die beste Übereinstimmung unter den Beurteilern [ICC 0,75]. Der mBB-Index demonstrierte als kombinierter zahnmedizinischer und kieferorthopädischer Plaque-Index ebenfalls eine sehr gute Übereinstimmung [ICC 0,74].

Die Ergebnisse zeigten, dass ein kieferorthopädischer Plaque-Index und ein kombinierter zahnmedizinischer und kieferorthopädischer Plaque-Index für die

Beurteiler geeigneter waren als ein zahnmedizinischer Plaque-Index. Im Vergleich zu der dreiteiligen, vertikalen Einteilung der Zahnfläche des TQH-Indexes ließ die vierteilige Einteilung des mBB-Indexes möglicherweise eine bessere Beurteilung der Plaque-Akkumulation zu. Darüber hinaus deuteten die Ergebnisse darauf hin, dass der mBB-Index mit einer niedrigeren Anzahl an Bewertungsgraden einfacher zu erheben war als der TQH-Index. Allerdings büßte der mBB-Index damit an Präzision ein. Es ist zu berücksichtigen, dass der ICC in der vorliegenden Arbeit durch die geringe Variabilität des Probandenguts vermindert ausfiel (147).

In der vorliegenden Arbeit wurde die Interrater-Reliabilität der Plaque-Indizes ohne Kalibrierung der Beurteiler evaluiert. Es ist davon auszugehen, dass eine Kalibrierung der Beurteiler zu einer besseren Interrater-Reliabilität führt. Die Kalibrierung ist folglich bei der Erhebung von konventionellen Plaque-Indizes in Studien von herausragender Bedeutung.

In der Literatur fanden sich zahlreiche Untersuchungen zur Reliabilität von Plaque-Indizes in der Zahnmedizin (48, 129, 131, 132). Es liegen jedoch nur wenige Studien zur Reliabilität von Plaque-Indizes in der Kieferorthopädie vor. Paschos et al. (26) untersuchten 2014 die Anwendung von vier Plaque-Indizes bei Probanden mit MBA. In der Studie wurden unter anderem der Attin-Index, der Quigley-Hein-Index und der MOP verwendet (vgl. 3.3.2). Der Quigley-Hein-Index repräsentierte, wie in der vorliegenden Arbeit der TQH-Index, einen zahnmedizinischen Plaque-Index. Der MOP bestand ähnlich wie der mBB-Index der vorliegenden Arbeit aus einer Kombination eines zahnmedizinischen und eines kieferorthopädischen Plaque-Indexes. Die Ergebnisse von Paschos et al. waren mit den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit vergleichbar. Die Studie von Paschos et al. ergab für den Attin- und MOP-Index ebenfalls eine bessere Reliabilität als für den Quigley-Hein-Index. Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit und der Studie von Paschos et al. stimmten mit der Literatur dahingehend überein, dass zahnmedizinische Plaque-Indizes ungeeignet für Patienten mit MBA sind (6, 80, 94, 104). Auch Matthijs et al. (130) wiesen 2001 auf Schwierigkeiten bei der Erhebung des Turesky-Indexes hin. Die genannten Autoren untersuchten die Intrarater-Reliabilität des Turesky-Indexes an zahnmedizinischen Probanden. In der Studie wurde diskutiert, dass der Beurteiler die Kriterien für die Erhebung des Plaque-Indexes zwischen zwei Messungen änderte. Matthijs et al. (130) gaben als Grund die Bewertungsgrade des Turesky-Indexes an. In einer Studie von Marks et al. (131) ergab der Turesky-Index, der von n = 11 Beurteilern erhoben wurde,

einen ICC 0,70 (131). Der Grund für die etwas bessere Korrelation bei Marks et al. im Vergleich zu der vorliegenden Arbeit war möglicherweise das ausführliche Training und Kalibrierungsverfahren der Beurteiler. Zudem wurde die Studie an zahnmedizinischen Probanden durchgeführt. Der Turesky-Index ist ein zahnmedizinischer Plaque-Index und folglich für zahnmedizinische Probanden geeigneter als für kieferorthopädische Probanden.

6.2.4.2 Interrater-Reliabilität mit Berücksichtigung der kieferorthopädischen Erfahrung

In der vorliegenden Arbeit war der Attin-Index für die Beurteiler mit wenig kieferorthopädischer Erfahrung am besten geeignet (ICC 0,81). Für die Beurteiler mit mittlerer kieferorthopädischer Erfahrung ergab sich kein wesentlicher Unterschied zwischen den einzelnen Plaque-Indizes (ICC 0,74-0,77). Für die Beurteiler mit viel kieferorthopädischer Erfahrung waren der Attin-Index (0,78) und der mBB-Index (ICC 0,76) am besten geeignet.

Die kieferorthopädische Erfahrung zeigte keinen bedeutenden Einfluss auf die Interrater-Reliabilität. Grundsätzlich war die Übereinstimmung aller Beurteilergruppen bei dem mBB- und Attin-Index besser als bei dem TQH-Index. Ausschließlich bei der Beurteilergruppe mit mittlerer kieferorthopädischer Erfahrung wurde mit dem TQH-Index eine ähnliche Übereinstimmung wie mit dem mBB- und Attin-Index erzielt. Die Beurteiler mit wenig kieferorthopädischer Erfahrung erzielten mit dem Attin-Index die übereinstimmendsten Ergebnisse. Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit deuteten darauf hin, dass möglicherweise die Anzahl an zu bewertenden Zahnflächen eine Rolle spielte. Der Attin-Index, der die gesamte Zahnfläche bewertete, war scheinbar für die Beurteiler mit wenig kieferorthopädischer Erfahrung einfacher zu erheben als der mBB- und TQH-Index, die mehrere Flächen eines Zahnes beurteilten.

Die Studie von Paschos et al. (26) untersuchte 2014 verschiedene Plaque-Indizes bei Probanden mit MBA ebenfalls hinsichtlich der kieferorthopädischen Erfahrung. Die Studie ergab, dass der Quigley-Hein-Index als zahnmedizinischer Plaque-Index

sensitiver bezogen auf den Ausbildungsstand war als ein kieferorthopädischer bzw. kombinierter zahnmedizinischer und kieferorthopädischer Plaque-Index.

6.3 Gegenüberstellung von konventionellen Plaque-Indizes und der DPIA in der Literatur

Die Wahl eines Plaque-Indexes richtet sich nach Paschos et al. (26) nach dem Ziel einer Studie, nach den Beurteilern und den Probanden. Dabei unterscheiden Paschos et al. zwischen dem Fokus auf Demineralisationen und dem auf Entzündungen der Gingiva. Williams et al. (94) ergänzten, dass die Wahl eines Plaque-Indexes von der Zweckmäßigkeit, der Methode und den Kosten einer Studie abhängt. In Studien zur Untersuchung der Effizienz von Mundhygieneprodukten sind Plaque-Indizes eine unerlässliche Untersuchungsmethode (41). Konventionelle Plaque-Indizes werden seit geraumer Zeit in Studien zur Bewertung der Plaque-Akkumulation verwendet und gelten als Standardmethode (6, 27). Die Vorteile von konventionellen Plaque-Indizes liegen in der praktischen, einfachen Anwendung und dem geringen instrumentellen und zeitlichen Aufwand (41).

Die Anwendung von konventionellen Plaque-Indizes birgt jedoch zahlreiche Nachteile. Nach Sagel et al. (61) variiert die Anwendung von subjektiven Plaque-Indizes häufig und führt aus diesem Grund zu ungenauen Ergebnissen. Dies gilt besonders für klinische Langzeitstudien (61). Auch Heintze et al. (3) führten auf, dass die konventionellen Plaque-Indizes unspezifische Ergebnisse liefern und Diagnosen erschweren. Bei der Verwendung von konventionellen Plaque-Indizes werden ergänzend größere Studien für den Ausgleich der Variabilität der Ergebnisse und für die Ermittlung eines durchschnittlichen Plaque-Wertes bei unzureichender Sensitivität der Plaque-Indizes benötigt (61). Beides hat höhere Kosten und ein aufwändigeres Studiendesign zur Folge (61). Scannapieco (41) untersuchte 1999 zahlreiche Plaque-Bestimmungsmethoden. Dabei kritisierte Scannapieco neben der Subjektivität das geringe Unterscheidungsvermögen von konventionellen Plaque-Indizes insbesondere bei geringen und großen Plaque-Mengen. Auch Renton-Harper et al. (138) verifizierten dies. Darüber hinaus ist der statistischen Auswertung von konventionellen Plaque-Indizes besondere Beachtung zu schenken (27, 88, 129, 140).

Folgende psychologische Effekte treten bei der subjektiven Bewertung der Plaque-Akkumulation mit Plaque-Indizes auf. Der Halo-Effekt wurde erstmals durch Thorndike (150) beschrieben. Der Halo-Effekt beschreibt, dass Beurteiler bei Probanden mit sehr guter Mundhygiene bessere Plaque-Werte erheben als bei Probanden mit schlechter Mundhygiene, obwohl die Plaque-Akkumulation objektiv gleich ist. Die Tendenz zur Milde bzw. zur Strenge wurde von Saal und Landy (151) beschrieben. Dabei neigen die Beurteiler trotz erhöhter Plaque-Akkumulation zu niedrigen Plaque-Werten bzw. trotz niedriger Plaque-Akkumulation zu hohen Plaque-Werten. Ein weiterer Effekt stellt die zentrale Tendenz dar (152). Dabei neigen die Beurteiler dazu, ausschließlich den mittleren Bereich der Bewertungsskala von Plaque-Indizes zu verwenden und Extremwerte zu vermeiden. Diese psychologischen Effekte zeigen, dass die Subjektivität bei konventionellen Plaque-Indizes einen bedeutenden Nachteil darstellt und den Vergleich von Plaque-Werten, die durch mehrere Beurteiler erhoben wurden, erschwert.

Weiterhin warf die Verwendung von Plaque-Indizes bei Patienten mit MBA Diskussionen in der Literatur auf. In der Literatur wurde die Erhebung von zahnmedizinischen Plaque-Indizes in der Kieferorthopädie vielfach kritisiert. Nach Williams et al. (94) sind konventionelle, nicht-modifizierte Plaque-Indizes für kieferorthopädische Patienten ungeeignet. Marini et al. (80) wandten 2014 den Quigley-Hein-Index in einer Studie an. Die Autoren gaben an, dass in zukünftigen Studien ein speziell für Patienten mit MBA entwickelter Plaque-Index zu verwenden ist. Ciancio et al. (104) belegten ebenfalls, dass zahnmedizinische Plaque-Indizes die Plaque-Akkumulation bei Patienten mit MBA unzureichend beschreiben und ungeeignet für kieferorthopädische Patienten mit MBA sind. Auch Paschos et al. (26) verifizierten, dass konventionelle Plaque-Indizes nicht für Patienten mit MBA geeignet sind.

Die zuvor erwähnten Nachteile konventioneller Plaque-Indizes werden durch die Anwendung der DPIA vermieden. Die DPIA eignet sich als hervorragende Methode für die quantitative Plaque-Bestimmung in vivo (6, 24, 61, 72, 73) und erzielt eine gute Reproduzierbarkeit (6, 61). Erbe et al. (24) erklärten, dass die DPIA bei der Plaque-Bestimmung sensitiver und präziser ist als konventionelle Plaque-Indizes. Sagel et al.

(61) erläuterten, dass mit der DPIA die klinischen Studien verlässlicher, weniger Probanden benötigt werden und geringere Kosten anfallen. Zudem handelt es sich bei der DPIA um eine nicht-invasive Methode zur Plaque-Bestimmung (73). Durch die DPIA werden Fehler bei der Bewertung der Plaque-Akkumulation vermieden und die Variabilität der Ergebnisse vermindert (61). Besonders hervorzuheben ist bei der DPIA die geringe Beteiligung von Fachpersonal. Lediglich die Standardisierung der Analyseregeln für die Zuordnung der Pixel bedarf einer Festlegung durch eine Fachperson. Anschließend erfolgt die computergestützte Berechnung der Plaque-Akkumulation. Die Plaque-Bestimmung erfolgt somit ohne die subjektive Einschätzung durch klinisches Fachpersonal (73). Ein weiterer Vorteil besteht in der digitalen Speicherung der Fotos und folglich in der Verwendung für Längsschnittstudien (47). Die Skala der Plaque-Werte bleibt während der gesamten Studie einheitlich, so dass der Vergleich der Ergebnisse verschiedener Studien vereinfacht wird (6, 61). Zudem konzentrieren sich zahlreiche konventionelle Plaque-Indizes wie beispielsweise der Silness und Loe-Index, O'Leary-Index, API und GMPI auf bestimmte Regionen des Zahnes, während die DPIA die gesamte Fläche des Zahnes in die Bewertung einbezieht (72). Bellamy et al. (75) gingen näher auf die Zeitersparnis bei der Plaque-Bestimmung durch die DPIA ein und unterstrichen den Aspekt, dass die DPIA in Studien die Erhebung von großen Datenmengen in kurzer Zeit ermöglicht. Ergänzend wiesen Klukowska et al. (6) auf die DPIA als hilfreiche visuelle Methode hin, um kieferorthopädische Patienten über die Bedeutung der Mundhygiene aufzuklären und zu motivieren.

Trotz zahlreicher Vorteile bestehen bei der Plaque-Bestimmung mit dem DPIA-Verfahren auch Nachteile. Al-Anezi und Harradine (31) verwiesen auf die Komplexität der Methode. Darüber hinaus wurden bei der DPIA bis dato ausschließlich die Frontzähne in die Bewertung einbezogen (6, 24, 68, 70, 71, 74). Staudt et al. (67) und Carter et al. (47) verwandten andere Fotoanalyse-Verfahren, in denen schwer erreichbare Regionen wie die oralen Zahnflächen und posterioren Zähne bei der quantitativen Plaque-Bestimmung eingeschlossen wurden. Diese Studien lassen vermuten, dass mit einem weiterentwickelten DPIA-Verfahren zukünftig auch die Bewertung der Seitenzähne und schwer zugänglicher Zahnflächen möglich sein wird. Klukowska et al. (6) gaben an, dass die DPIA aufgrund unzuverlässiger Auswertungen nicht bei Patienten mit zahncfarbenen Brackets anzuwenden ist. Dieser Aspekt ist weniger zu berücksichtigen, da die Mehrzahl der Patienten in Deutschland

metallfarbene Brackets aufgrund der Kostenübernahme der gesetzlichen Krankenkassen trägt (6). Dennoch nimmt das Bewusstsein für die Ästhetik in der Bevölkerung zu und lässt in Zukunft eine erhöhte Nachfrage von Keramikbrackets vermuten (153). Auch die Farbe der Alastics erschwert nach Klukowska et al. (6) die Diagnostizierung von Plaque. In zukünftigen Studien gilt es, die DPIA zu verbessern, um an schwer zugänglichen Zahnflächen sowie bei Patienten mit zahnfarbenen Brackets und farbigen Alastics zuverlässige Ergebnisse zu erhalten.

6.4 Empfehlung von Plaque-Indizes für Patienten mit MBA

Nach der Literatur und den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit zu urteilen, brachte die Verwendung des DPIA-Verfahrens in Studien zahlreiche Vorteile gegenüber konventionellen Plaque-Indizes mit sich. Die vorliegende Arbeit wies auf den schwierigen Vergleich der Plaque-Werte von der DPIA und konventionellen Plaque-Indizes hin. Zudem wurde die Problematik von subjektiven, konventionellen Plaque-Indizes aufgezeigt. Auf Basis der Ergebnisse der vorliegenden Arbeit wird zur quantitativen Plaque-Bestimmung die Verwendung der DPIA-Methode für wissenschaftliche Studien empfohlen. Als objektive, echte quantitative und sensitive Methode ermöglicht die DPIA eine präzise Untersuchung der Effizienz von Mundhygieneprodukten unabhängig von den Bewertungen einzelner Beurteiler. Die DPIA ist besonders für Längsschnittstudien besser als konventionelle Plaque-Indizes geeignet. Einen großen Vorteil gegenüber konventionellen Plaque-Indizes stellt die einfache statistische Auswertung dar. Die DPIA-Methode ermöglicht somit einen problemlosen Vergleich von Ergebnissen verschiedener Studien.

Falls aufgrund von Aufwand und Kosten dennoch ein konventioneller Plaque-Index in wissenschaftlichen Studien gewählt wird, wird die Verwendung eines kieferorthopädischen Plaque-Indexes oder eines für Patienten mit MBA modifizierten zahnmedizinischen Plaque-Indexes empfohlen. In der vorliegenden Arbeit wird der mBB-Index empfohlen. Der mBB-Index ließ von allen drei konventionellen Plaque-Indizes den besten Vergleich zu dem PPI zu. Darüber hinaus wies der mBB-Index eine gute Übereinstimmung unter den Beurteilern auf. Der TQH-Index, der internationale

Standard-Plaque-Index, erzielte die schlechteste Übereinstimmung unter den Beurteilern und wird daher nicht für Patienten mit MBA empfohlen. Allerdings war das geringe Unterscheidungsvermögen von geringen Plaque-Mengen bei dem mBB-Index im Vergleich zu dem TQH-Index als nachteilig anzusehen. Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit deuten darauf hin, dass eine vierteilige Einteilung der Zahnfläche für Patienten mit MBA besser als eine dreiteilige vertikale Einteilung geeignet ist. Grundsätzlich ist bei der Verwendung von konventionellen Plaque-Indizes in wissenschaftlichen Studien besonders auf die Kalibrierung der Beurteiler zu achten.

In kieferorthopädischen Studien ist der Silness und Loe-Index der am häufigsten angewandte Plaque-Index (31). Der Silness und Loe-Index wurde wie andere Plaque-Indizes für kieferorthopädische Patienten von Williams et al. (94) modifiziert. Bei dem Silness und Loe-Index wird im Gegensatz zu allen anderen konventionellen Plaque-Indizes die Dicke der Plaque beurteilt. Folglich steht die Erhebung des Silness und Loe-Indexes vermutlich in Zusammenhang mit der Bewertung der Reife und somit der Pathogenität der Plaque (64). In der Literatur existieren bis dato keine Studien, die die Evaluation der Dicke der Plaque der Bewertung der koronalen Plaque-Ausbreitung gegenüberstellte (64). Silness und Loe (39) gaben an, dass die Methode der Wahl für die Unterscheidung von Grad 1 und 2 des Silness und Loe-Indexes die Verwendung einer Sonde ist. Folglich ist die Erhebung des Silness und Loe-Indexes mit Fotos eingeschränkt. Zudem ist die Erhebung dieses Plaque-Indexes durch mehrere Beurteiler erschwert, da die Verwendung einer Sonde zu einer Beschädigung des Plaque-Filmes führt (127). Aus diesen Gründen stellt der mBB-Index für Studien eine gute Alternative zu dem Silness und Loe-Index dar.

In der Praxis steht die schnelle, einfache Anwendung von Plaque-Indizes im Vordergrund. Besonders bei Patienten mit MBA sind die Evaluation der Mundhygiene und die Motivation des Patienten von herausragender Bedeutung. Aufgrund der Ergebnisse der vorliegenden Arbeit wird der Attin-Index für die Verwendung in der Praxis empfohlen. Der Attin-Index wurde speziell für den täglichen Gebrauch in der Klinik und nicht für epidemiologische und experimentelle Untersuchungen entwickelt (108). Der Attin-Index erzielte in der vorliegenden Arbeit bei der Evaluation der Interrater-Reliabilität vergleichbare Ergebnisse wie der mBB-Index. Im Gegensatz zu dem mBB-Index wird ein Plaque-Wert pro Zahn erhoben. Dies vereinfacht die praktische Anwendung. Der Attin-Index ist somit für die kieferorthopädische Praxis für Patienten mit MBA sehr geeignet.

7. ZUSAMMENFASSUNG

Karies zählte 2010 zu den am weitesten verbreiteten Erkrankungen weltweit und betraf 2,4 Millionen Menschen (154). Obwohl die Zahl der Karies-Erkrankungen in den letzten Jahren gesunken ist, ist die Mundhygiene bei Patienten mit einer kieferorthopädischen Multibracket-Apparatur (MBA) erschwert und somit von herausragender Bedeutung. Für die Bestimmung der Plaque-Akkumulation werden Plaque-Indizes verwendet.

In der vorliegenden Arbeit wurden die Ergebnisse von vier Plaque-Indizes (modifizierter Turesky-Index, Attin-Index, modifizierter Bonded Bracket-Index, Plaque-Index in Prozent (*Percentage Plaque Index*)) verglichen. Darüber hinaus wurde die Interrater-Reliabilität bei den konventionellen Plaque-Indizes evaluiert und die Auswirkung der kieferorthopädischen Erfahrung der Beurteiler auf die Ergebnisse untersucht. In die Untersuchung wurden n = 50 Fotos von n = 50 Probanden mit einer MBA im Ober- und Unterkiefer einbezogen. Die Fotos wurden mit dem digitalen bildgebenden Plaque-Analyse-Verfahren (*Digital Plaque Imaging Analysis = DPIA*) erstellt und der Plaque-Index in Prozent berechnet. Die konventionellen Plaque-Indizes wurden von n = 14 Beurteilern mit den DPIA-Fotos erhoben. Die Beurteiler wiesen unterschiedliche kieferorthopädische Erfahrungen auf: n = 4 Beurteiler hatten wenig, n = 5 Beurteiler mittlere und n = 5 Beurteiler viel kieferorthopädische Erfahrung.

Die größte Übereinstimmung unter den 14 Beurteilern wurde mit dem Attin-Index [ICC 0,75] und dem modifizierten Bonded Bracket-Index [0,74] erzielt. Der modifizierte Turesky-Index ergab die schlechteste Übereinstimmung unter den Beurteilern [0,66]. Die kieferorthopädische Erfahrung hatte keinen bedeutenden Einfluss auf die Urteilerübereinstimmung. Die Beurteiler mit wenig kieferorthopädischer Erfahrung erzielten mit dem Attin-Index die übereinstimmendsten Ergebnisse, die Beurteiler mit viel kieferorthopädischer Erfahrung mit dem Attin- und dem modifizierten Bonded Bracket-Index. Bei den Beurteilern mit mittlerer kieferorthopädischer Erfahrung wurde kein Unterschied zwischen den drei konventionellen Plaque-Indizes beobachtet.

In der vorliegenden Arbeit wurden folgende drei Hauptlimitationen bei der Anwendung von konventionellen Plaque-Indizes festgestellt: 1) Unterschiedliche Bewertungsgrade und unterschiedliche Einteilungen der Zahnflächen erschwerten den Vergleich der Plaque-Indizes untereinander. 2) Zur Vereinheitlichung der Plaque-Indizes wurden die ordinalen, konventionellen Plaque-Indizes quantitativ bewertet. Dies führte zu einem

Verlust der klinischen Information der Plaque-Werte und folglich zu einer unzulänglichen Interpretation der Ergebnisse. 3) Die Subjektivität der konventionellen Plaque-Indizes stellte durch die hohe Anzahl an Beurteilern eine weitere Schwierigkeit dar. In der vorliegenden Arbeit wurde gezeigt, dass die Plaque-Akkumulation mit den Plaque-Indizes unterschiedlich bewertet wurde und die Plaque-Indizes somit nicht austauschbar sind.

In wissenschaftlichen Studien ist die DPIA als präzise, objektive, echte quantitative Methode zur Plaque-Bestimmung den konventionellen Plaque-Indizes überlegen. Falls dennoch ein konventioneller Plaque-Index in Studien zur Anwendung kommt, ist die Verwendung eines kieferorthopädischen Plaque-Indexes oder ein für Patienten mit MBA modifizierter zahnmedizinischer Plaque-Index empfehlenswert. In der vorliegenden Arbeit wurde gezeigt, dass der modifizierte Turesky-Index, ein zahnmedizinischer Plaque-Index, der als internationaler Standard-Plaque-Index gilt, für Patienten mit einer MBA weniger geeignet ist. In der vorliegenden Arbeit wird der modifizierte Bonded Bracket-Index empfohlen, da dieser Plaque-Index eine gute Übereinstimmung unter den Beurteilern erzielte. Der modifizierte Bonded Bracket-Index war am ehesten quantitativ bewertbar und wich somit von allen konventionellen Plaque-Indizes am geringsten von dem objektiv beurteilbaren Plaque-Index in Prozent ab. Das Training und die Kalibrierung von mehreren Beurteilern sind für Studien von außerordentlicher Bedeutung. Deshalb muss vor Beginn einer geplanten Studie sichergestellt werden, dass die Beurteiler trainiert und kalibriert sind.

Für den klinischen Praxisalltag wird in der vorliegenden Arbeit der Attin-Index empfohlen, da der Plaque-Index eine gute Interrater-Reliabilität erzielte und schnell und einfach zu erheben war. Der Attin-Index wurde für kieferorthopädische Patienten mit MBA entwickelt, wodurch die Prädilektionsstellen für die Plaque-Bildung speziell bei diesen Patienten Berücksichtigung finden. Damit stellt der Attin-Index in der Praxis eine geeignete Methode für die Bewertung der Plaque-Akkumulation dar und trägt in Kombination mit der Einteilung der Patienten in ein Prophylaxeprogramm zu der Prävention von Demineralisationen und Gingivitis bei.

In zukünftigen wissenschaftlichen Studien ist der Schwerpunkt auf die statistische Auswertung der Ergebnisse von konventionellen Plaque-Indizes zu legen. Darüber hinaus ist abhängig von dem Ziel der Untersuchung die einheitliche Verwendung eines geeigneten Plaque-Indexes für Patienten mit MBA anzustreben, um den Vergleich von Studien zu vereinfachen und eine Homogenität unter den Studien zu gewährleisten.

8. LITERATURVERZEICHNIS

1. Jordan RA, Bodechtel C, Hertrampf K, Hoffmann T, Kocher T, Nitschke I, et al. The Fifth German Oral Health Study (Fünfte Deutsche Mundgesundheitsstudie, DMS V) - rationale, design, and methods. *BMC oral health*. 2014;14:161.
2. Atassi F, Awartani F. Oral hygiene status among orthodontic patients. *The journal of contemporary dental practice*. 2010;11(4):E025-32.
3. Heintze SD, Jost-Brinkmann PG, Finke C, Miethke RR. *Oral Health for the Orthodontic Patient*. 1st ed. Chicago: Quintessence; 1999.
4. Liu H, Sun J, Dong Y, Lu H, Zhou H, Hansen BF, et al. Periodontal health and relative quantity of subgingival *Porphyromonas gingivalis* during orthodontic treatment. *The Angle orthodontist*. 2011;81(4):609-15.
5. Azaripour A, Weusmann J, Mahmoodi B, Peppas D, Gerhold-Ay A, Van Noorden CJ, et al. Braces versus Invisalign(R): gingival parameters and patients' satisfaction during treatment: a cross-sectional study. *BMC oral health*. 2015;15:69.
6. Klukowska M, Bader A, Erbe C, Bellamy P, White DJ, Anastasia MK, et al. Plaque levels of patients with fixed orthodontic appliances measured by digital plaque image analysis. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics : official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics*. 2011;139(5):e463-70.
7. Karabekiroglu S, Unlu N, Kucukyilmaz E, Sener S, Botsali MS, Malkoc S. Treatment of post-orthodontic white spot lesions with CPP-ACP paste: A three year follow up study. *Dental materials journal*. 2017;36(6):791-7.
8. Freitas AO, Marquezan M, Nojima Mda C, Alviano DS, Maia LC. The influence of orthodontic fixed appliances on the oral microbiota: a systematic review. *Dental press journal of orthodontics*. 2014;19(2):46-55.
9. Turkkahraman H, Sayin MO, Bozkurt FY, Yetkin Z, Kaya S, Onal S. Archwire ligation techniques, microbial colonization, and periodontal status in orthodontically treated patients. *The Angle orthodontist*. 2005;75(2):231-6.
10. Yanez-Vico RM, Iglesias-Linares A, Ballesta-Mudarra S, Ortiz-Ariza E, Solano-Reina E, Perea EJ. Short-term effect of removal of fixed orthodontic appliances on gingival health and subgingival microbiota: a prospective cohort study. *Acta odontologica Scandinavica*. 2015;73(7):496-502.
11. Naranjo AA, Trivino ML, Jaramillo A, Betancourth M, Botero JE. Changes in the subgingival microbiota and periodontal parameters before and 3 months after bracket placement. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics : official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics*. 2006;130(3):275.e17-22.
12. Mizrahi E. Enamel demineralization following orthodontic treatment. *American journal of orthodontics*. 1982;82(1):62-7.
13. Gwinnett AJ, Ceen RF. Plaque distribution on bonded brackets: a scanning microscope study. *American journal of orthodontics*. 1979;75(6):667-77.
14. Gorelick L, Geiger AM, Gwinnett AJ. Incidence of white spot formation after bonding and banding. *American journal of orthodontics*. 1982;81(2):93-8.
15. Zachrisson S, Zachrisson BU. Gingival condition associated with orthodontic treatment. *The Angle orthodontist*. 1972;42(1):26-34.
16. Hellwig E, Klimek J, Attin T. *Einführung in die Zahnerhaltung*. 5th ed. Köln: Deutscher Zahnärzte Verlag; 2009. 16-7 p.
17. Hellwig E, Klimek J, Attin T. *Einführung in die Zahnerhaltung*. 5th ed. Köln: Deutscher Zahnärzte Verlag; 2009. 532-4 p.
18. Hellwig E, Klimek J, Attin T. *Einführung in die Zahnerhaltung*. 5th ed. Köln: Deutscher Zahnärzte Verlag; 2009. 537 p.

19. Fontana M, Walsh LJ, Amaechi BT, Ngo HC. Aids to Remineralization. In: Mount GJ, Hume WR, Ngo HC, Wolff MS, editors. *Preservation and Restoration of Tooth Structure*. 3rd ed. Chichester: John Wiley & Sons Limited; 2016. p. 67-77.
20. Madlena M, Banoczy J, Gotz G, Marton S, Kaan M, Jr., Nagy G. Effects of amine and stannous fluorides on plaque accumulation and gingival health in orthodontic patients treated with fixed appliances: a pilot study. *Oral health and dental management*. 2012;11(2):57-61.
21. Silvestrini Biavati A, Gastaldo L, Dessi M, Silvestrini Biavati F, Migliorati M. Manual orthodontic vs. oscillating-rotating electric toothbrush in orthodontic patients: a randomised clinical trial. *European journal of paediatric dentistry : official journal of European Academy of Paediatric Dentistry*. 2010;11(4):200-2.
22. Thienpont V, Dermaut LR, Van Maele G. Comparative study of 2 electric and 2 manual toothbrushes in patients with fixed orthodontic appliances. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics : official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics*. 2001;120(4):353-60.
23. Chen Y, Wong RW, Seneviratne CJ, Hagg U, McGrath C, Samaranayake LP. The effects of natural compounds-containing mouthrinses on patients with fixed orthodontic appliance treatment: clinical and microbiological outcomes. *International journal of paediatric dentistry / the British Paedodontic Society [and] the International Association of Dentistry for Children*. 2013;23(6):452-9.
24. Erbe C, Klukowska M, Tsaknaki I, Timm H, Grender J, Wehrbein H. Efficacy of 3 toothbrush treatments on plaque removal in orthodontic patients assessed with digital plaque imaging: a randomized controlled trial. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics : official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics*. 2013;143(6):760-6.
25. Machen DE. Legal aspects of orthodontic practice: risk management concepts. Oral hygiene assessment: plaque accumulation, gingival inflammation, decalcification, and caries. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics : official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics*. 1991;100(1):93-4.
26. Paschos E, Bucher K, Huth KC, Crispin A, Wichelhaus A, Dietl T. Is there a need for orthodontic plaque indices?--diagnostic accuracy of four plaque indices. *Clinical oral investigations*. 2014;18(4):1351-8.
27. Hefti AF, Preshaw PM. Examiner alignment and assessment in clinical periodontal research. *Periodontology 2000*. 2012;59(1):41-60.
28. Mandel ID. Indices for measurement of soft accumulations in clinical studies of oral hygiene and periodontal disease. *Journal of periodontal research Supplement*. 1974;14:7-30.
29. Fischman SL. Current status of indices of plaque. *Journal of clinical periodontology*. 1986;13(5):371-4, 9-80.
30. Gilbert AD. A review of the role of Epidemiology and the use of indices in periodontal research. *Primary dental care : journal of the Faculty of General Dental Practitioners (UK)*. 1994;1(1):14-9.
31. Al-Anezi SA, Harradine NW. Quantifying plaque during orthodontic treatment. *The Angle orthodontist*. 2012;82(4):748-53.
32. Ramfjord SP. Indices for Prevalence and Incidence of Periodontal Disease. *Journal of periodontology*. 1959;30(1):51-9.
33. Levrini L, Mangano A, Montanari P, Margherini S, Caprioglio A, Abbate GM. Periodontal health status in patients treated with the Invisalign((R)) system and fixed orthodontic appliances: A 3 months clinical and microbiological evaluation. *European journal of dentistry*. 2015;9(3):404-10.
34. Ristic M, Vlahovic Svabic M, Sasic M, Zelic O. Clinical and microbiological effects of fixed orthodontic appliances on periodontal tissues in adolescents. *Orthodontics & craniofacial research*. 2007;10(4):187-95.
35. Lange DE, Plagmann H-C, Eenboom A, Promesberger A. Klinische Bewertungsverfahren zur Objektivierung der Mundhygiene. *Dtsch zahnärztl Z*. 1977;32:44-7.
36. O'Leary TJ, Drake RB, Naylor JE. The plaque control record. *Journal of periodontology*. 1972;43(1):38.

37. Greene JC, Vermillion JR. The oral hygiene index: a method for classifying oral hygiene status. *Journal of the American Dental Association*. 1960;61:172-9.
38. Greene JC, Vermillion JR. The Simplified Oral Hygiene Index. *Journal of the American Dental Association (1939)*. 1964;68:7-13.
39. Silness J, L oe H. Periodontal Disease in Pregnancy. II. Correlation between Oral Hygiene and Periodontal Condition. *Acta odontologica Scandinavica*. 1964;22:121-35.
40. Podshadley AG, Haley JV. A method for evaluating oral hygiene performance. *Public health reports*. 1968;83(3):259-64.
41. Scannapieco FA. Monitoring the efficacy of plaque control methods. *Periodontology 2000*. 1995;8:24-41.
42. Quigley GA, Hein JW. Comparative cleansing efficiency of manual and power brushing. *Journal of the American Dental Association (1939)*. 1962;65:26-9.
43. Turesky S, Gilmore ND, Glickman I. Reduced plaque formation by the chloromethyl analogue of vitamin C. *Journal of periodontology*. 1970;41(1):41-3.
44. Deinzer R, Jahns S, Harnacke D. Establishment of a new marginal plaque index with high sensitivity for changes in oral hygiene. *Journal of periodontology*. 2014;85(12):1730-8.
45. Escribano M, Figuero E, Martin C, Tobias A, Serrano J, Roldan S, et al. Efficacy of adjunctive anti-plaque chemical agents: a systematic review and network meta-analyses of the Turesky modification of the Quigley and Hein plaque index. *Journal of clinical periodontology*. 2016;43(12):1059-73.
46. Iyer N, Chandna S, Dhindsa A, Damle D, Loomba A. Plaque removal efficacy of Colgate 360 toothbrush: A clinical study. *Contemporary clinical dentistry*. 2016;7(3):317-21.
47. Carter K, Landini G, Walmsley AD. Automated quantification of dental plaque accumulation using digital imaging. *Journal of dentistry*. 2004;32(8):623-8.
48. Cugini M, Thompson M, Warren PR. Correlations between two plaque indices in assessment of toothbrush effectiveness. *The journal of contemporary dental practice*. 2006;7(5):1-9.
49. L oe H. The Gingival Index, the Plaque Index and the Retention Index Systems. *Journal of periodontology*. 1967;38(6):Suppl:610-6.
50. Lange DE, Lubbert H, Alai-Omid W. [Usefulness and correlation of various gingivitis and plaque indices]. *Deutsche Zahn rztliche Zeitschrift*. 1973;28(12):1239-46.
51. Harrap GJ. Assessment of the effect of dentifrices on the growth of dental plaque. *Journal of clinical periodontology*. 1974;1(3):166-74.
52. Grossman FD, Fedi PF. Navy periodontal screening examination. *The Journal of the American Society for Preventive Dentistry*. 1973;3(6):41-5.
53. Elliott JR, Bowers GM, Clemmer BA, Rovestad GH. Evaluation of an oral physiotherapy center in the reduction of bacterial plaque and periodontal disease. *Journal of periodontology*. 1972;43(4):221-4.
54. Rustogi KN, Curtis JP, Volpe AR, Kemp JH, McCool JJ, Korn LR. Refinement of the Modified Navy Plaque Index to increase plaque scoring efficiency in gumline and interproximal tooth areas. *The Journal of clinical dentistry*. 1992;3(Suppl C):C9-12.
55. Claydon N, Addy M. The use of planimetry to record and score the modified Navy index and other area-based plaque indices. A comparative toothbrush study. *Journal of clinical periodontology*. 1995;22(9):670-3.
56. Addy M, Willis L, Moran J. Effect of toothpaste rinses compared with chlorhexidine on plaque formation during a 4-day period. *Journal of clinical periodontology*. 1983;10(1):89-99.
57. Lange DE. [Aimed pretreatment before systematic periodontal therapy]. *Zwr*. 1975;84(8):366-72.
58. Lange DE. Die gezielte Vorbehandlung vor der systematischen Parodontalbehandlung *Zwr*. 1975;84(8):366-70.

59. Stawinska N, Kochanowska I, Zietek M. A new specific and useful tool in differential diagnosis of periodontitis. *Journal of physiology and pharmacology : an official journal of the Polish Physiological Society*. 2009;60 Suppl 8:73-5.
60. Reichert S, Machulla HK, Fuchs C, John V, Schaller HG, Stein J. Is there a relationship between juvenile idiopathic arthritis and periodontitis? *Journal of clinical periodontology*. 2006;33(5):317-23.
61. Sagel PA, Lapujade PG, Miller JM, Sunberg RJ. Objective quantification of plaque using digital image analysis. *Monographs in oral science*. 2000;17:130-43.
62. Shaw L, Murray JJ. A new index for measuring extrinsic stain in clinical trials. *Community dentistry and oral epidemiology*. 1977;5(3):116-20.
63. Arici S, Alkan A, Arici N. Comparison of different toothbrushing protocols in poor-toothbrushing orthodontic patients. *European journal of orthodontics*. 2007;29(5):488-92.
64. Han SY, Kim BR, Ko HY, Kwon HK, Kim BI. Validity and reliability of autofluorescence-based quantification method of dental plaque. *Photodiagnosis and photodynamic therapy*. 2015;12(4):587-91.
65. Rosa GM, Elizondo ML. New portable system for dental plaque measurement using a digital single-lens reflex camera and image analysis: Study of reliability and validation. *Journal of Indian Society of Periodontology*. 2015;19(3):279-84.
66. Smith RN, Brook AH, Elcock C. The quantification of dental plaque using an image analysis system: reliability and validation. *Journal of clinical periodontology*. 2001;28(12):1158-62.
67. Staudt CB, Kinzel S, Hassfeld S, Stein W, Staehle HJ, Dorfer CE. Computer-based intraoral image analysis of the clinical plaque removing capacity of 3 manual toothbrushes. *Journal of clinical periodontology*. 2001;28(8):746-52.
68. Bellamy PG, Jhaj R, Mussett AJ, Barker ML, Klukowska M, White DJ. Comparison of a stabilized stannous fluoride/sodium hexametaphosphate dentifrice and a zinc citrate dentifrice on plaque formation measured by digital plaque imaging (DPIA) with white light illumination. *The Journal of clinical dentistry*. 2008;19(2):48-54.
69. Sagel PA, Gerlach RW. Application of digital imaging in tooth whitening randomized controlled trials. *American journal of dentistry*. 2007;20 Spec No A:7a-14a.
70. Bellamy PG, Boulding A, Farmer S, Day TN, Mussett AJ, Barker ML. Clinical comparison of plaque inhibition effects of a novel stabilized stannous fluoride dentifrice and a chlorhexidine digluconate dentifrice using digital plaque imaging. *The Journal of clinical dentistry*. 2011;22(5):144-8.
71. He T, Barker ML, Biesbrock AR, Eynon H, Milleman JL, Milleman KR, et al. Digital plaque imaging evaluation of a stabilized stannous fluoride dentifrice compared with a triclosan/copolymer dentifrice. *American journal of dentistry*. 2013;26(6):303-6.
72. White DJ. Effect of a stannous fluoride dentifrice on plaque formation and removal: A digital plaque imaging study. *The Journal of clinical dentistry*. 2007;18(1):21-4.
73. White DJ, Kozak KM, Gibb R, Dunavent J, Klukowska M, Sagel PA. A 24-hour dental plaque prevention study with a stannous fluoride dentifrice containing hexametaphosphate. *The journal of contemporary dental practice*. 2006;7(3):1-11.
74. Bellamy PG, Boulding A, Farmer S, Day TN, Mussett AJ, Barker ML. Randomized digital plaque imaging trial evaluating plaque inhibition efficacy of a novel stabilized stannous fluoride dentifrice compared with an amine fluoride/stannous fluoride dentifrice. *The Journal of clinical dentistry*. 2012;23(3):71-5.
75. Bellamy PG, Khera N, Day TN, Barker ML, Mussett AJ. A randomized clinical trial to compare plaque inhibition of a sodium fluoride/potassium nitrate dentifrice versus a stabilized stannous fluoride/sodium hexametaphosphate dentifrice. *The journal of contemporary dental practice*. 2009;10(2):1-9.
76. Bellamy PG, Prendergast M, Strand R, Yu Z, Day TN, Barker ML, et al. Can anti-erosion dentifrices also provide effective plaque control? *International journal of dental hygiene*. 2011;9(3):223-8.
77. Trimpeneers LM, Wijgaerts IA, Grogard NA, Dermout LR, Adriaens PA. Effect of electric toothbrushes versus manual toothbrushes on removal of plaque and periodontal status during orthodontic treatment. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics : official publication*

of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics. 1997;111(5):492-7.

78. Kossack C, Jost-Brinkmann PG. Plaque and gingivitis reduction in patients undergoing orthodontic treatment with fixed appliances - comparison of toothbrushes and interdental cleaning aids. A 6-month clinical single-blind trial. *Journal of orofacial orthopedics = Fortschritte der Kieferorthopädie : Organ/official journal Deutsche Gesellschaft für Kieferorthopädie*. 2005;66(1):20-38.

79. Djamchidi C. Untersuchung über die Reinigungswirkung von Super-floss und Orthofloss bei Multibracketpatienten und eine auf den Ergebnissen basierende Neuentwicklung eines Zahnseidehalters – Eine In-vivo-Studie [Doctoral Thesis]. Berlin: Humboldt University; 2001.

80. Marini I, Bortolotti F, Parenti SI, Gatto MR, Bonetti GA. Combined effects of repeated oral hygiene motivation and type of toothbrush on orthodontic patients: a blind randomized clinical trial. *The Angle orthodontist*. 2014;84(5):896-901.

81. Beberhold K, Sachse-Kulp A, Schwestka-Polly R, Hornecker E, Ziebolz D. The Orthodontic Plaque Index: an oral hygiene index for patients with multibracket appliances. *Orthodontics : the art and practice of dentofacial enhancement*. 2012;13(1):94-9.

82. Wenderoth CJ, Weinstein M, Borislow AJ. Effectiveness of a fluoride-releasing sealant in reducing decalcification during orthodontic treatment. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics : official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics*. 1999;116(6):629-34.

83. Ashkenazi M, Salem NF, Garon S, Levin L. Evaluation of Orthodontic and Triple-headed Toothbrushes When Used Alone or in Conjunction with Single-tufted Toothbrush in Patients with Fixed Lingual Orthodontic Appliances. A Randomized Clinical Trial. *The New York state dental journal*. 2015;81(3):31-7.

84. Sharma NC, Lyle DM, Qaqish JG, Galustians J, Schuller R. Effect of a dental water jet with orthodontic tip on plaque and bleeding in adolescent patients with fixed orthodontic appliances. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics : official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics*. 2008;133(4):565-71; quiz 628.e1-2.

85. Kronenberg O, Lussi A, Ruf S. Preventive effect of ozone on the development of white spot lesions during multibracket appliance therapy. *The Angle orthodontist*. 2009;79(1):64-9.

86. Polson AM, Subtelny JD, Meitner SW, Polson AP, Sommers EW, Iker HP, et al. Long-term periodontal status after orthodontic treatment. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics : official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics*. 1988;93(1):51-8.

87. Morrow D, Wood DP, Speechley M. Clinical effect of subgingival chlorhexidine irrigation on gingivitis in adolescent orthodontic patients. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics : official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics*. 1992;101(5):408-13.

88. Pandis N, Vlachopoulos K, Polychronopoulou A, Madianos P, Eliades T. Periodontal condition of the mandibular anterior dentition in patients with conventional and self-ligating brackets. *Orthodontics & craniofacial research*. 2008;11(4):211-5.

89. Alves de Souza R, Borges de Araujo Magnani MB, Nouer DF, Oliveira da Silva C, Klein MI, Sallum EA, et al. Periodontal and microbiologic evaluation of 2 methods of archwire ligation: ligature wires and elastomeric rings. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics : official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics*. 2008;134(4):506-12.

90. Busschop JL, Van Vlierberghe M, De Boever J, Dermaut L. The width of the attached gingiva during orthodontic treatment: a clinical study in human patients. *American journal of orthodontics*. 1985;87(3):224-9.

91. Burch JG, Lanese R, Ngan P. A two-month study of the effects of oral irrigation and automatic toothbrush use in an adult orthodontic population with fixed appliances. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics : official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics*. 1994;106(2):121-6.

92. Hannah JJ, Johnson JD, Kuflinec MM. Long-term clinical evaluation of toothpaste and oral rinse containing sanguinaria extract in controlling plaque, gingival inflammation, and sulcular bleeding during orthodontic treatment. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics : official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics.* 1989;96(3):199-207.
93. Sinclair PM, Berry CW, Bennett CL, Israelson H. Changes in gingiva and gingival flora with bonding and banding. *The Angle orthodontist.* 1987;57(4):271-8.
94. Williams P, Clerehugh V, Shaw WC. Comparison of two plaque indices for use in fixed orthodontic appliance patients [abstract 276]. *J Dent Res.* 1991;70:703.
95. Costa MR, Silva VC, Miqui MN, Sakima T, Spolidorio DM, Cirelli JA. Efficacy of ultrasonic, electric and manual toothbrushes in patients with fixed orthodontic appliances. *The Angle orthodontist.* 2007;77(2):361-6.
96. Sharma R, Trehan M, Sharma S, Jharwal V, Rathore N. Comparison of Effectiveness of Manual Orthodontic, Powered and Sonic Toothbrushes on Oral Hygiene of Fixed Orthodontic Patients. *International journal of clinical pediatric dentistry.* 2015;8(3):181-9.
97. Clerehugh V, Williams P, Shaw WC, Worthington HV, Warren P. A practice-based randomised controlled trial of the efficacy of an electric and a manual toothbrush on gingival health in patients with fixed orthodontic appliances. *Journal of dentistry.* 1998;26(8):633-9.
98. Jackson CL. Comparison between electric toothbrushing and manual toothbrushing, with and without oral irrigation, for oral hygiene of orthodontic patients. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics : official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics.* 1991;99(1):15-20.
99. Farhadian N, Bidgoli M, Jafari F, Mahmoudzadeh M, Yaghobi M, Miresmaeili A. Comparison of Electric Toothbrush, Persica and Chlorhexidine Mouthwashes on Reduction of Gingival Enlargement in Orthodontic Patients: A Randomised Clinical Trial. *Oral health & preventive dentistry.* 2015;13(4):301-7.
100. Hadler-Olsen S, Sandvik K, El-Agroudi MA, Ogaard B. The incidence of caries and white spot lesions in orthodontically treated adolescents with a comprehensive caries prophylactic regimen - a prospective study. *European journal of orthodontics.* 2012;34(5):633-9.
101. Wilcoxon DB, Ackerman RJ, Jr., Killoy WJ, Love JW, Sakumura JS, Tira DE. The effectiveness of a counterrotational-action power toothbrush on plaque control in orthodontic patients. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics : official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics.* 1991;99(1):7-14.
102. Heintze SD, Jost-Brinkmann PG, Loundos J. Effectiveness of three different types of electric toothbrushes compared with a manual technique in orthodontic patients. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics : official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics.* 1996;110(6):630-8.
103. Zimmer B. Systematic decalcification prophylaxis during treatment with fixed appliances. *Journal of orofacial orthopedics = Fortschritte der Kieferorthopädie : Organ/official journal Deutsche Gesellschaft für Kieferorthopädie.* 1999;60(3):205-14.
104. Ciancio SG, Cunat JJ, Mather ML, Harvey DH. A comparison of plaque accumulation in bonded vs banded teeth [abstract 1664]. *J Dent Res.* 1985;64.
105. Kilicoglu H, Yildirim M, Polater H. Comparison of the effectiveness of two types of toothbrushes on the oral hygiene of patients undergoing orthodontic treatment with fixed appliances. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics : official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics.* 1997;111(6):591-4.
106. Aloufi F, Giancio S, Shibley O. Plaque Accumulation in Adolescent Orthodontic Patients: bonded versus banded teeth. *Dental Learning.* 2010;4(6 (suppl 1)).
107. Aljabaa A, McDonald F, Newton JT. A Randomized Controlled Trial to Compare 3 Methods Designed to Enhance Adherence among Orthodontic Patients. *JDR Clinical & Translational Research.* 2016;1(1):59-68.
108. Attin R. Vorstellung eines neuen Plaqueindex zur Kontrolle und Motivation kieferorthopädischer Patienten. *Inf Orthod Kieferorthop.* 2005:271-3.

109. Lange DE. Parodontologie in der täglichen Praxis. 1st ed. Berlin: Quintessenz-Verlags-Gesellschaft; 1981.
110. Delaurenti M., Putt M.S., Milleman J.L., Jenkins W., Wei J., J. S. Plaque Removal by Sonicare and Manual Toothbrushes in Orthodontic Subjects. The IADR 86th General Session & Exhibition July 2-5, 2008; Toronto, Canada: J Dent Res; 2008.
111. Cohen J. A Coefficient of Agreement for Nominal Scales. Educational and Psychological Measurement. 1960;20(1):37-46.
112. Cohen J. Weighted kappa: nominal scale agreement with provision for scaled disagreement or partial credit. Psychological bulletin. 1968;70(4):213-20.
113. Landis JR, Koch GG. The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data. Biometrics. 1977;33(1):159-74.
114. Bland JM, Altman DG. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. Lancet (London, England). 1986;1(8476):307-10.
115. Bland JM, Altman DG. Measuring agreement in method comparison studies. Statistical methods in medical research. 1999;8(2):135-60.
116. Fleiss JL. Measuring nominal scale agreement among many raters. Psychological bulletin. 1971;76(5):378-82.
117. Bartko JJ. The intraclass correlation coefficient as a measure of reliability. Psychological reports. 1966;19(1):3-11.
118. Shrout PE, Fleiss JL. Intraclass correlations: uses in assessing rater reliability. Psychological bulletin. 1979;86(2):420-8.
119. Cicchetti DV. Guidelines, criteria, and rules of thumb for evaluating normed and standardized assessment instruments in psychology. Psychological Assessment. 1994;6(4):284-90.
120. Huber SJ, Vernino AR, Nanda RS. Professional prophylaxis and its effect on the periodontium of full-banded orthodontic patients. American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics : official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics. 1987;91(4):321-7.
121. Alexander SA. Effects of orthodontic attachments on the gingival health of permanent second molars. American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics : official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics. 1991;100(4):337-40.
122. Demling A, Demling C, Schwestka-Polly R, Stiesch M, Heuer W. Influence of lingual orthodontic therapy on microbial parameters and periodontal status in adults. European journal of orthodontics. 2009;31(6):638-42.
123. Karkhanechi M, Chow D, Sipkin J, Sherman D, Boylan RJ, Norman RG, et al. Periodontal status of adult patients treated with fixed buccal appliances and removable aligners over one year of active orthodontic therapy. The Angle orthodontist. 2013;83(1):146-51.
124. Abbate GM, Caria MP, Montanari P, Mannu C, Orru G, Caprioglio A, et al. Periodontal health in teenagers treated with removable aligners and fixed orthodontic appliances. Journal of orofacial orthopedics = Fortschritte der Kieferorthopädie : Organ/official journal Deutsche Gesellschaft für Kieferorthopädie. 2015;76(3):240-50.
125. Brightman LJ, Terezhalmay GT, Greenwell H, Jacobs M, Enlow DH. The effects of a 0.12% chlorhexidine gluconate mouthrinse on orthodontic patients aged 11 through 17 with established gingivitis. American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics : official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics. 1991;100(4):324-9.
126. Raggio DP, Braga MM, Rodrigues JA, Freitas PM, Imparato JC, Mendes FM. Reliability and discriminatory power of methods for dental plaque quantification. Journal of applied oral science : revista FOB. 2010;18(2):186-93.
127. Eaton KA, Rimini FM, Zak E, Brookman DJ, Newman HN. The achievement and maintenance of inter-examiner consistency in the assessment of plaque and gingivitis during a multicentre study based in general dental practices. Journal of clinical periodontology. 1997;24(3):183-8.

128. Kingman A, Loe H, Anerud A, Boysen H. Errors in measuring parameters associated with periodontal health and disease. *Journal of periodontology*. 1991;62(8):477-86.
129. Quirynen M, Dekeyser C, van Steenberghe D. Discriminating power of five plaque indices. *Journal of periodontology*. 1991;62(2):100-5.
130. Matthijs S, Sabzevar MM, Adriaens PA. Intra-examiner reproducibility of 4 dental plaque indices. *Journal of clinical periodontology*. 2001;28(3):250-4.
131. Marks RG, Magnusson I, Taylor M, Clouser B, Maruniak J, Clark WB. Evaluation of reliability and reproducibility of dental indices. *Journal of clinical periodontology*. 1993;20(1):54-8.
132. Clemmer BA, Barbano JP. Reproducibility of periodontal scores in clinical trials. *Journal of periodontal research Supplement*. 1974;14:118-28.
133. Mankodi S, Chaknis P, Panagakos FS, DeVizio W, Proskin HM. Comparative investigation of a dentifrice containing triclosan/copolymer/sodium fluoride and specially-designed silica and a dentifrice containing 0.243% sodium fluoride in a silica base for the control of established supra-gingival plaque and gingivitis: a 6-month clinical study. *American journal of dentistry*. 2011;24 Spec No A:21a-7a.
134. Mei L, Chieng J, Wong C, Benic G, Farella M. Factors affecting dental biofilm in patients wearing fixed orthodontic appliances. *Progress in orthodontics*. 2017;18(1):4.
135. Huang Z, Luan QX. [Evaluation of dental plaque by quantitative digital image analysis system]. *Beijing da xue xue bao Yi xue ban = Journal of Peking University Health sciences*. 2016;48(2):320-3.
136. Garnick JJ. Use of indexes for plaque control. *Journal of the American Dental Association (1939)*. 1973;86(6):1325-8.
137. Dunavent JM, Barker ML, Gerlach RW, Singh M, Papas AS. Partial Versus Whole Mouth Grading of Disclosed Plaque [abstract 1280]. *J Dent Res*. 2008;87.
138. Renton-Harper P, Claydon N, Warren P, Newcombe RG, Addy M. Conversion of plaque-area measurements to plaque index scores. An assessment of variation and discriminatory power. *Journal of clinical periodontology*. 1999;26(7):429-33.
139. Ash MM. A Review of the Problems and Results of Studies on Manual and Power Toothbrushes. *Journal of periodontology*. 1964;35(3):202-13.
140. Ainamo J, Bay I. Problems and proposals for recording gingivitis and plaque. *International dental journal*. 1975;25(4):229-35.
141. Bock NC, von Bremen J, Kraft M, Ruf S. Plaque control effectiveness and handling of interdental brushes during multibracket treatment - a randomized clinical trial. *European journal of orthodontics*. 2010;32(4):408-13.
142. Smiech-Slomkowska G, Jablonska-Zrobek J. The effect of oral health education on dental plaque development and the level of caries-related *Streptococcus mutans* and *Lactobacillus* spp. *European journal of orthodontics*. 2007;29(2):157-60.
143. Fleiss JL, Cohen J. The equivalence of weighted kappa and the intraclass correlation coefficient as measures of reliability. *Educational and Psychological Measurement*. 1973;33:613-9.
144. Cook VC, Timock AM, Crowe JJ, Wang M, Covell DA, Jr. Accuracy of alveolar bone measurements from cone beam computed tomography acquired using varying settings. *Orthodontics & craniofacial research*. 2015;18 Suppl 1:127-36.
145. EzEldeen M, Van Gorp G, Van Dessel J, Vandermeulen D, Jacobs R. 3-dimensional analysis of regenerative endodontic treatment outcome. *Journal of endodontics*. 2015;41(3):317-24.
146. Bland JM, Altman DG. Measurement in Medicine: the Analysis of Method Comparison Studies. *The Statistician*. 1983;32(3):307-17.
147. Bland JM, Altman DG. A note on the use of the intraclass correlation coefficient in the evaluation of agreement between two methods of measurement. *Computers in biology and medicine*. 1990;20(5):337-40.
148. Shrout PE. Measurement reliability and agreement in psychiatry. *Statistical methods in medical research*. 1998;7(3):301-17.
149. Soder PO, Jin LJ, Soder B. Computerized planimetric method for clinical plaque measurement. *Scandinavian journal of dental research*. 1993;101(1):21-5.

150. Thorndike EL. A constant error in psychological ratings. *Journal of Applied Psychology*. 1920;4(1):25-9.
151. Saal FE, Landy FJ. The Mixed Standard Rating Scale: An Evaluation. *Organizational Behavior and Human Performance*. 1977;18(1):19-35.
152. Greve W, Wentura D. *Wissenschaftliche Beobachtung. Eine Einführung*. 2nd ed. Weinheim: Psychologie Verlags Union; 1997.
153. Tayebi A, Fallahzadeh F, Morsaghian M. Shear bond strength of orthodontic metal brackets to aged composite using three primers. *Journal of clinical and experimental dentistry*. 2017;9(6):e749-e55.
154. Kassebaum NJ, Bernabe E, Dahiya M, Bhandari B, Murray CJ, Marcenes W. Global burden of untreated caries: a systematic review and metaregression. *J Dent Res*. 2015;94(5):650-8.

9. DANKSAGUNG

Besonders bedanke ich mich bei meinen Eltern und meiner Schwester für ihre warmherzige und unermüdliche Unterstützung während der Promotion und des Studiums.