

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

**Visuelle Wahrnehmung des Mundhygienestatus mit Eye-Tracking von
Patienten mit Multibracket-Apparatur durch Jugendliche,
Erziehungsberechtigte und Studierende der Zahnmedizin - Eine Pilotstudie**

D i s s e r t a t i o n
zur Erlangung des Doktorgrades der
Zahnmedizin
der Universitätsmedizin
der Johannes Gutenberg-Universität Mainz
vorgelegt von

Frederic Johann Werner Fuchs
aus Aschaffenburg

Aschaffenburg, 2022

Wissenschaftlicher

Vorstand:

1. Gutachter:

2. Gutachter:

Tag der Promotion: 12.07.2022

Meiner Mutter und Schwester in großer Dankbarkeit gewidmet

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis.....	7
Abbildungsverzeichnis.....	8
Tabellenverzeichnis.....	10
1 Einleitung.....	11
2 Literaturdiskussion.....	13
2.1 Eye-Tracking-System.....	13
2.1.1 Entwicklung des Eye-Trackings.....	13
2.1.2 Begrifflichkeiten.....	14
2.1.3 Technik.....	15
2.1.4 Anwendungsgebiete.....	19
2.1.5 Aktueller Stand der Wissenschaft.....	22
2.2 Prophylaxe.....	24
2.2.1 Plaquentstehung.....	25
2.2.2 Prophylaxemaßnahmen.....	29
2.2.3 Aktueller Stand der Wissenschaft.....	36
3 Material und Methode.....	38
3.1 Material.....	38
3.1.1 Probandenkollektiv.....	38
3.1.2 Fotografie.....	39
3.1.3 Putztechnik und Putzzeit.....	41
3.1.4 Eye-Tracking-System.....	41
3.1.5 Software.....	42
3.1.6 Bewertung der Mundhygiene.....	43
3.2 Methode.....	45
3.2.1 Versuchsablauf.....	45
3.2.2 Datenexport sowie Erhebung der Blickverlaufs- und Betrachtungsdaten	46

3.2.3	Statistische Analyse	50
4	Ergebnisse.....	51
4.1	Objektive Bewertung	51
4.2	Putzzeit	51
4.3	Putztechnik und Geschlecht.....	52
4.4	Zeit bis zur ersten Fixation	52
4.5	Zeit bis zur ersten Fixation einer AOI	54
4.6	Gesamtanzahl an Fixationen.....	56
4.7	Gesamtbetrachtungszeitraum	58
4.8	Fixierungsdauer.....	60
4.9	Blickpfadlänge	62
4.10	Bewertung der Mundhygiene	67
4.11	Zusammenhang zwischen Putzverhalten und Bewertung.....	73
5	Diskussion	77
5.1	Diskussion von Material und Methode.....	77
5.1.1	Probandengut	77
5.1.2	Erhebung von Putzzeit und Putztechnik	78
5.1.3	Eye-Tracking-System als Forschungsinstrument.....	79
5.1.4	Mundhygienebewertung.....	80
5.1.5	Betrachtungszeit	81
5.1.6	Bildmaterial	82
5.2	Diskussion der Ergebnisse	83
5.2.1	Zeit bis zur ersten Fixation	83
5.2.2	Einflussfaktoren auf die erste Fixation in einer AOI	83
5.2.3	Gesamtzahl an Fixationen	84
5.2.4	Gesamtbetrachtungszeitraum	84
5.2.5	Mittlere Fixierungsdauer	85
5.2.6	Blickpfadlänge.....	85

5.2.7 Bewertung der Mundhygiene	86
6 Schlussfolgerung	88
7 Ausblick	89
8 Zusammenfassung	91
9 Literaturverzeichnis	92
10 Anhang	103
11 Danksagung	Fehler! Textmarke nicht definiert.
12 Lebenslauf	Fehler! Textmarke nicht definiert.

Abkürzungsverzeichnis

Abb	Abbildung
AOI	Area of interest
Hz	Hertz
g	Gramm
Kcal	Kilokalorie
KFO	Kieferorthopädie
MBA	Multibracket-Apparatur
Ppm	Parts per million
PR	Plaquerelator
PSA	Panoramaschichtaufnahme
px	Pixel
Tab	Tabelle

Abbildungsverzeichnis

Abb.1: Lichtreflektion an der Cornea (15)

Abb.2: Dark-pupil-Effekt aus (15)

Abb.3: Bright-pupil-Effekt (15)

Abb.4: Richtungsvektor zwischen der Cornealreflektion und Mittelpunkt der Pupille (15)

Abb.5: Plaqueakkumulation anhand der Bewertungsgrade des Attin-Index (97)

Abb.6: Schema der Einflussfaktoren auf die Entstehung von Karies nach Makuch et al. (106)

Abb.7: Unterschiedliche Formen von Fissuren (110)

Abb.8: Einschluss- und Ausschlusskriterien für die jugendlichen Probanden

Abb.9: Beispielaufnahme ohne Plaquerelevatoren

Abb.10: Beispielaufnahme mit Plaquerelevatoren

Abb.11: Aufbau des Eye-Tracking-Systems mit Kinnstütze

Abb.12: Kalibrierungsbildschirm mit Fixierungspunkten und Blickpunkten

Abb.13: Vergrößerung der rechten oberen Ecke, sichtbarer *bright-pupil*-Effekt

Abb.14: Beispielaufnahme mit festgelegten AOIs

Abb.15: Beispielaufnahme für eine sehr gute Mundhygiene

Abb.16: Beispielaufnahme für eine sehr schlechte Mundhygiene

Abb.17: Blickpfadanalyse eines Probanden aus der Gruppe der Eltern

Abb.18: Blickpfadanalyse eines Probanden aus der Gruppe der Jugendliche

Abb.19: Blickpfadanalyse eines Probanden aus der Gruppe der Studenten

Abb.20: Darstellung der heat map eines Probanden aus der Gruppe der Studenten

Abb.21: Darstellung der heat map im Gruppenvergleich, Vergleich der Eltern mit den Jugendlichen

Abb.22: Darstellung der heat map im Gruppenvergleich, Vergleich der Eltern mit den Studenten

Abb.23: Darstellung der heat map im Gruppenvergleich, Vergleich der Jugendlichen mit den Studenten

Abb.24: Zeitspanne bis zur ersten Fixation eines beliebigen Bereiches der Aufnahme in Sekunden

Abb.25: Zeitspanne bis zur ersten Fixation in einer AOI in Sekunden

Abb.26: Anzahl an Fixationen.

Abb.27: Betrachtungsdauer in Sekunden

Abb.28: Fixierungsdauer in Sekunden

Abb.29: Blickpfadlänge in Pixel für jede Aufnahme

Abb.30: Blickpfadlänge in Pixel für jede Aufnahme

Abb.31: Blickpfadlänge in Pixel für jede Aufnahme

Abb.32: Abweichung der subjektiven Bewertung von der objektiven Bewertung in Bewertungsstufen

Abb.33: Die Anwendung eines Plaquerelevators hat Einfluss: subjektive Bewertung der Mundhygiene

Abb.34: Abweichung der subjektiven Bewertung der Mundhygiene von der objektiven

Abb.35: Abweichung der subjektiven Bewertung der Mundhygiene von der objektiven sortiert nach Vergleich nach Putzzeit der Jugendlichen

Tabellenverzeichnis

Tab.1: Objektive Bewertung der Aufnahmen in Bezug auf die Plaqueakkumulation

1 Einleitung

In der kieferorthopädischen Behandlung gilt die Anwendung der Multibracket-Apparatur (MBA) und ihrer Variationen trotz modernerer unsichtbarer Apparaturen noch immer sehr verbreitet(1, 2). Unabhängig von der Wahl der Methode ist das oberste Ziel der kieferorthopädischen Behandlung eine Okklusion und Bisslage mit der Behandlung zu erzielen, die das Kiefergelenk und alle umgebenden Strukturen physiologisch belasten. Allerdings ist dem Patienten vor allem wichtig, dass im Ergebnis ein strahlendes Lächeln erzeugt wird, welches das Selbstbewusstsein zu steigern vermag(3, 4).

Es wird jedoch oft vergessen, dass hierfür auch eine ordnungsgemäße Mundhygiene zur Zeit der Behandlung erforderlich ist. Zurückzuführen ist dies wohlmöglich darauf, dass eine MBA zunächst einmal nur Nachteile für den Patienten hat: Er fühlt sich unsicher, zeigt die Zähne nur ungern und schämt sich dafür. Das Ergebnis dieser Unzufriedenheit schlägt sich auch im Zahnputzverhalten nieder. Die Zähne werden nur noch selten geputzt, die Sorgfalt lässt nach und der Fokus auf die Zahnhygiene rückt in den Hintergrund(5, 6). Da das Tragen der Zahnsperre mit Besuchen beim Kieferorthopäden und Schmerzen verbunden ist, wollen sich viele Patienten nicht auch noch mit der erforderlichen Pflege von Zähnen und Apparatur beschäftigen(7, 8).

Dabei ist es gerade ab dem Alter, in dem die bleibenden Zähne vorhanden sind, umso wichtiger, spätestens jetzt die Weichen für eine gründliche und tägliche Zahnhygiene zu stellen. Vielen ist nicht bewusst, dass in der heutigen Zeit der Stand der Zahnmedizin so weit ist, dass die eigenen Zähne bis ins hohe Alter erhalten werden können(9). Voraussetzung hierfür ist allerdings, dass die Zahnhygiene auch beim Tragen einer MBA weiterhin auf einem konstanten Niveau bleibt, da sonst das Risiko für eine Karies und Parodontalerkrankungen steigt(10).

Um diesen Sachverhalt genauer zu untersuchen, wird sich im Folgenden mit dem Thema der visuellen Wahrnehmung der Mundhygiene beschäftigt. Es wird untersucht, ob sich die visuelle Wahrnehmung der Mundhygiene bei Jugendlichen, deren Eltern und Zahnmedizinstudierenden unterscheidet.

Deshalb war es das Ziel dieser Studie, folgende Hypothesen zu untersuchen:

1. Nullhypothese: Es gibt keinen Unterschied in der visuellen Wahrnehmung der Mundhygiene bei Jugendlichen, deren Eltern und Zahnmedizinstudenten

2. Alternativhypothese: Es gibt einen Unterschied in der visuellen Wahrnehmung der Mundhygiene bei Jugendlichen, deren Eltern und Zahnmedizinstudenten

Zusätzlich wurden folgende **Nebenfragestellungen** untersucht:

1. Welchen Einfluss hat der Einsatz von Plaquerelevatoren auf die Mundhygienewahrnehmung?
2. Welchen Einfluss haben die Putztechnik und -dauer auf die Wahrnehmung der Mundhygiene?

2 Literaturdiskussion

2.1 Eye-Tracking-System

Durch die Verwendung von Eye-Tracking (Okulographie) ergibt sich die Möglichkeit, die Bewegungen des menschlichen Auges zu erfassen, den Blickverlauf sowie die fokussierten Areale zu analysieren.

Apparaturen, welche die Bewegungen der Augen aufzeichnen, werden als Eye-Tracker bezeichnet, wobei heutzutage die meisten Methoden auf die Videoaufzeichnung der Augenbewegung (sog. Video-Okulographie) zurückgreifen und in Verbindung mit einer entsprechenden Software die Analyse der erfassten Daten ermöglichen.

2.1.1 Entwicklung des Eye-Trackings

Als Pionier des Eye-Trackings gilt Ewald Hering, der 1879 beim Untersuchen eines lesenden Probanden klatschende Geräusche feststellte, die auf Muskelkontraktion schließen ließen. Diese Geräusche unterschieden sich je nach zurückgelegter Blickstrecke. Im gleichen Jahr beschrieb Emile Javal(11) erstmals die Begriffe *Fixation* und *Sakkade* und stellte unter den gleichen Bedingungen ebenfalls eine diskontinuierliche Augenbewegung fest. Der Blickverlauf durch eine Zeile setzt sich aus mehreren Sakkaden zusammen, wobei eine Sakkade 15-18 Buchstaben umfasst (12). Javal(11). präsentierte einen der ersten Eye-Tracker, der ein Fixieren des Kopfes und einen direkten mechanischen Kontakt mit der Hornhaut des Probanden erforderte. Diese invasive Technik, bei der das Auge mit Kokain anästhesiert werden musste, wurde durch Rählmann und Huey(13) modifiziert, die mit Kontaktlinsen und einer darauf angebrachten Schreibspitze bzw. mit einem Kymographen arbeiteten. Dodge(14) und Cline revolutionierten das Eye-Tracking 1901, indem sie eine Möglichkeit fanden, ohne direkten mechanischen Kontakt am Auge das von der Hornhaut reflektierte Licht mit Fotopapier zu registrieren. 1948 entwickelten Hartridge et al. (15) den ersten am Kopf des Probanden angebrachten Eye-Tracker, welcher Kopfbewegungen zuließ. Die bestehenden Methoden wurden zum Beispiel durch den Einsatz von Kontaktlinsen oder am Auge angebrachten elektromagnetische Spulen, welche Spannungsdifferenzen erfassen sollten, weiterentwickelt. In den 1970er-Jahren konnte durch die zunehmende Digitalisierung auf neue Möglichkeiten

zurückgegriffen werden, die Augenbewegung mit einer Kamera aufzunehmen und sie auf eine Anzeige zu projizieren. Diese Methodik hat sich in der Folge durchgesetzt, da die meisten Eye-Tracking-Verfahren auf eine Form der Video-Okulographie zurückgreifen.

Cornsweet(16) und Crane gelang es 1973 erstmals die Rotationsbewegung der Augen von der Translationsbewegung zu unterscheiden, indem sie die mehrfach auftretenden Reflexion des Auges sogenannte Purkinje-Bilder interpretieren konnten. So wurde der Grundstein für die heute noch verwendete *bright-pupile Methode* gelegt, die 1974 durch Merchant et al. vorgestellt wurde(17).

2.1.2 Begrifflichkeiten

Bevor das Eye-Tracking-Verfahren erläutert werden kann, müssen zunächst einige allgemeine Begrifflichkeiten geklärt werden.

Die *Fovea centralis*, eine Einziehung im Zentrum des gelben Flecks, ist der Bereich des schärfsten Sehens der Retina(18). Diese enthält verschiedene Rezeptoren zur Wahrnehmung von Helligkeit und Farben. Man unterscheidet Stäbchen und Zapfen, die jeweils auf Änderungen der Lichtverhältnisse spezialisiert sind und diese Informationen an das Gehirn weiterleiten können. Um ein Objekt oder Teile davon scharf abzubilden, wird dieses durch Augenbewegungen immer so fixiert, dass sein Bild auf die Fovea centralis trifft. Jede Bewegung des Auges hat das Ziel, das Licht auf die Fovea centralis zu leiten, damit dort ein Bild scharf abgebildet werden kann(19). Dabei sind zwei Bewegungstypen von Bedeutung: Sakkaden und Fixationen.

Als *Sakkaden* bezeichnet man die schnellen, ruckartigen Bewegungen der Augen zur Erfassung eines neuen Fixationspunktes. Während dieser Blicksprünge, die Winkelgeschwindigkeiten von bis zu 1000Grad/s erreichen können und zwischen 30 und maximal 100ms dauern, kann das Auge keine Informationen verarbeiten und ist daher für kurze Zeit blind. Es werden drei Arten der Sakkaden unterschieden: intern ausgelöste Willkür-Sakkaden, extern ausgelöste Reflex-Sakkaden (als Antwort auf einen visuellen oder akustischen Stimulus) sowie spontane, zufällige Sakkaden. Eine einmal ausgelöste Sakkade kann nicht unterbrochen werden. Das Auge verbleibt in der falschen Position für eine minimale Zeitspanne von 100-200ms und wird durch eine Korrektur-Sakkade auf das ursprüngliche Blickziel bewegt(20).

Fixationen hingegen ermöglichen eine Aufnahme und das Verarbeiten der Bildinformation durch Fixierung eines Punktes. Für den Betrachter scheint es so, als würden die Augen vollkommen stillstehen. Allerdings würde dabei das wahrgenommene Bild durch Lokaladaptation langsam verschwinden, da die Rezeptoren den Eindruck des Eigengraus vermitteln. Daher führt das Auge während der Fixation verschiedene Mikrobewegungen in Form von schnellen Mikrosakkaden, langsamen Driftbewegungen und zitterndem Tremor aus, um auf diese Weise das einfallende Licht auf verschiedene Rezeptoren zu verteilen, welche Änderungen der Lichtverhältnisse verarbeiten können(20).

Auf Grundlage der eben erläuterten Begriffe lässt sich das folgende Phänomen beschreiben: Fällt der Blick des Probanden auf einen zuvor erfassten Fixationspunkt zurück, spricht man von einer *Regression* bzw. einer *Regressionssakkade*.

Als Blickpfad bezeichnet man darüber hinaus die Gesamtheit aller Fixationen und die dazwischenliegenden Sakkaden(21).

2.1.3 Technik

Die modernen Eye-Tracking-Systeme greifen nahezu ausschließlich auf das Grundprinzip der Videookulographie zurück.

Hierbei wird zunächst die Bewegung der Augen beziehungsweise die Lichtreflexionen auf der Pupille und der Hornhaut von einer Kamera aufgezeichnet, bevor die Software des Eye-Tracking-Systems den jeweiligen Blickpunkt anschließend generiert(22). Somit wird der subjektive Blick des Probanden nachvollziehbar und einer Auswertung zugänglich gemacht.

Bezüglich der Verwendung von Eye-Tracking-Systemen wird zunächst zwischen „*passive light*“ und „*active light*“ unterschieden.

Passive light bezeichnet eine Eye-Tracking-Methode, bei der keine zusätzliche Lichtquelle eingesetzt wird, sondern das Umgebungslicht genutzt wird (23).

Im privaten Alltag wird meist mit einfachen Kameras zum Beispiel des Smartphones gearbeitet, worunter die Genauigkeit leiden kann. Im Hinblick auf die Anforderungen, welche an das System gestellt werden, ist die Ungenauigkeit jedoch in Bezug auf das Preis-Leistungsverhältnis hinnehmbar.

Active light hingegen nutzt meist eine Infrarotlichtquelle, um einen höheren Kontrast zu erzielen und auf diese Weise die Präzision des Eye-Trackers zu erhöhen(23).

Ein Vorteil der Nutzung von Infrarotlicht ist, dass dieses für das menschliche Auge nicht sichtbar ist. Der Proband wird somit während der Blickaufzeichnung nicht durch ein von der Apparatur erzeugtes Licht abgelenkt. Hierdurch wird das Risiko einer Verfälschung der gewonnenen Daten minimiert(24).

Im Rahmen der *active light*-Technik kann man sich zweier Methoden bedienen, um die Bewegung der Pupille durch Lichtreflexionen zu erfassen, unterschieden wird hierbei zwischen der *bright-pupil* Methode und der *dark-pupil* Methode.

Beide Methoden beruhen auf dem Prinzip, dass das menschliche Auge bei jedem Lichteinfall einen Teil des einfallenden Lichts zur Lichtquelle reflektiert. Hinsichtlich der Position von Lichtquelle zu Kameraachse unterscheiden sich die Methoden jedoch.

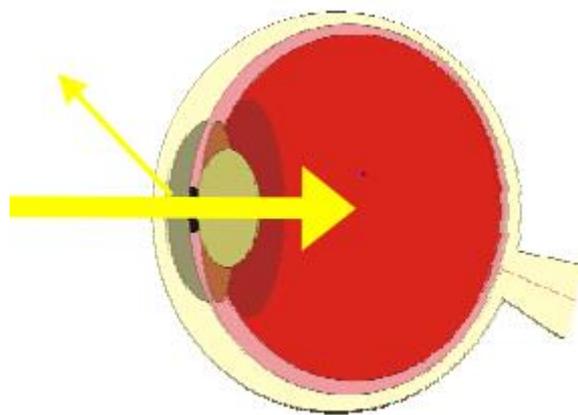


Abb.1: Lichtreflexion an der Cornea (25)

Die Entscheidung, ob der Eye-Tracker den *dark-pupil* oder *bright-pupil* Effekt verwendet, ist von der Umgebungsbeleuchtung abhängig. Entsprechend unterscheidet sich dadurch auch das zugrunde liegende Funktionsprinzip.

Bei der *bright-pupil* Methode befindet sich die Kamera in derselben optischen Achse wie die Lichtquelle. Fällt Licht in das Auge ein, erscheint die Pupille für die Kamera hell. Weichen jedoch die Achse der Lichtquelle und die Kameraachse voneinander ab, wie bei der *dark-pupil* Methode, erscheint die Pupille dunkel(25).

Mobile Eye-Tracker (z.B. in Form einer Brille), welche im direkten Sonnenlicht eingesetzt werden, bedienen sich des *dark-pupil* Effekts. Grund hierfür ist unter anderem, dass durch die Sonneneinstrahlung mit einer erhöhten Infrarotlichtbelastung der Umgebung zu rechnen ist und so ein stärkerer Kontrast entsteht(26).

Stationäre Eye-Tracker hingegen werden unter standardisierten Bedingungen mit konstanten, optimalen Lichtverhältnissen eingesetzt. Infolge der niedrigeren

Infrarotlichtbelastung kann unter diesen Umständen die bright-pupil Methode eingesetzt werden, welche einen besseren Kontrast ermöglicht. Diese Rahmenbedingungen tragen zu einer erhöhten Präzision beim Eye-Tracking bei(22).

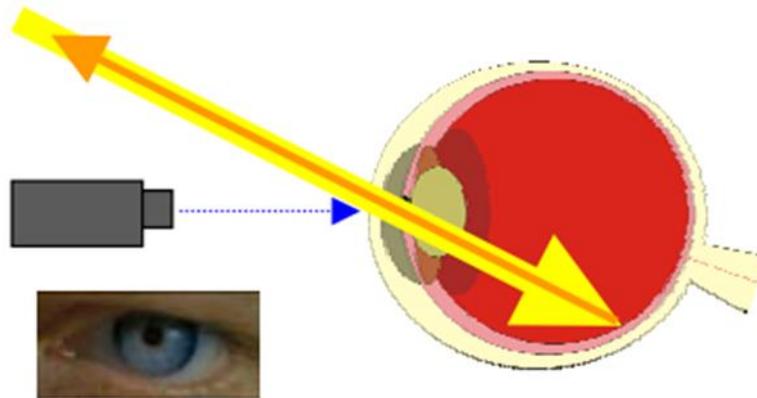


Abb.2: *dark-pupil*-Effekt(25)

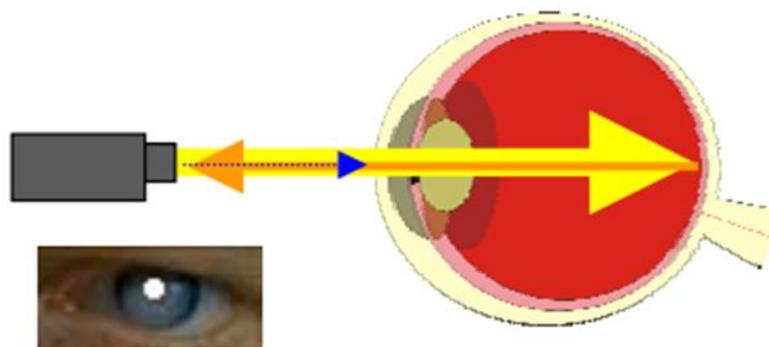


Abb.3: *bright-pupil*-Effekt(25)

Um hieraus anschließend einen Blickpunkt durch die Software errechnen zu lassen, wird ein Fixpunkt benötigt. Dieser entsteht durch die Reflexion des einfallenden Lichtes auf der Cornea und ist ein kleiner, heller Punkt, welcher konstant und unabhängig von der Position der Pupille ist. Mit diesem Punkt und der Position der Pupille wird anschließend eine Richtungsvektor berechnet und der entsprechende Blickpunkt auf dem Stimulus kartographiert. Die Summe der ermittelten Blickpunkte und Aufzeichnung der jeweiligen Fixationsdauer bilden den Blickpfad (22).

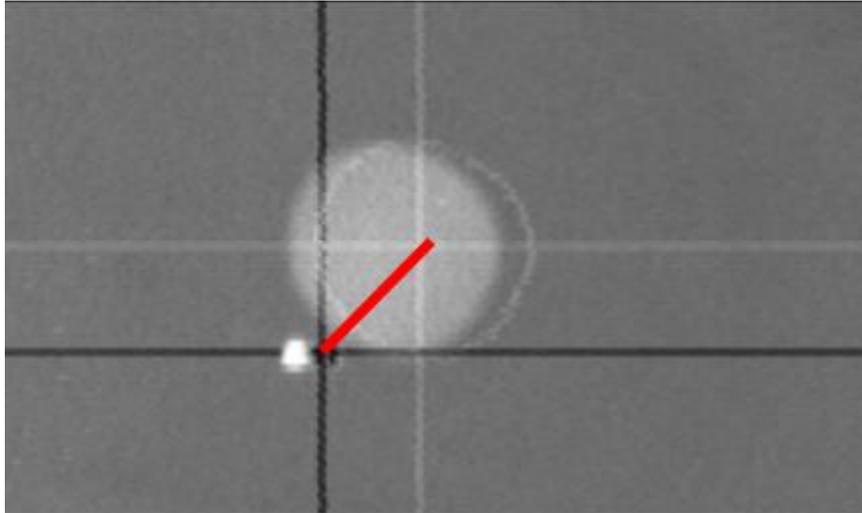


Abb.4: Richtungsvektor (rot) zwischen der Cornealreflektion (linker kleiner, weißer Punkt) und Mittelpunkt der Pupille (größerer grauer Kreis)(25)

2.1.4 Anwendungsgebiete

Die Eye-Tracking-Technik wird in der Herstellung immer günstiger, handlicher sowie benutzerfreundlicher und wird daher nicht mehr ausschließlich für wissenschaftliche Arbeiten verwendet. Außerdem ermöglicht die Portabilität des Eye-Trackers eine größere Reichweite, sodass sich der Anwender nicht mehr zwingend in großen Forschungszentren einfinden muss(27). Sowohl Wirtschaftsunternehmen als auch medizinische Einrichtungen profitieren hiervon. Selbst Privatpersonen können daraus Nutzen ziehen, wie im Folgenden ausgeführt wird.

Die Automobilindustrie setzt mittlerweile auf den Einsatz von Eye-Trackern, womit ein die Anzahl der Verkehrsunfälle und insbesondere der Verkehrstoten gesenkt werden könnte. Weit verbreitet ist auf diesem Gebiet das sog. „*Advanced Driving Assistance System (ADAS)*“, welches den Fahrzeugführer kontinuierlich beaufsichtigt, indem ein Eye-Tracker unter anderem Augenform und deren spezifischen Merkmale sowie die Blinzelrate der Augenlider und Augen- bzw. Kopfbewegungen beim Fahren erfasst(28). Anhand dieser Daten zieht das System Rückschlüsse auf die Aufmerksamkeit und Müdigkeit des Fahrers(29). Diesem wird schließlich im Laufe einer Autofahrt eine Pause zur Erholung angeraten, wenn das System Ermüdung oder schwindende Aufmerksamkeit erkennt(30).

Neben den Veränderungen im Technik-Sektor verwenden Firmen mittlerweile Eye-Tracking, um ihre Marketingkonzepte zu verbessern. Die Außenwirkung von Websites, Apps oder Werbevideos wird hinsichtlich der Benutzerfreundlichkeit überprüft, indem der Fokus des Verbrauchers untersucht wird und so vernachlässigte Bereiche herausgefiltert werden können(31, 32). Auch Verpackungen von Produkten werden per Eye-Tracking analysiert und so konzipiert, dass der Blick des Kunden auf ein bestimmtes Produkt gelenkt wird(33).

Privatpersonen werden in ihrem Alltag, wie oben angedeutet, ebenfalls mit dem Eye-Tracking-System konfrontiert. Die gängigen Smartphones sind heutzutage mit Eye-Trackern ausgestattet, welche durch einen Retina-Scan den Eigentümer identifizieren und das Gerät entsperren können. Außerdem kann man mit einer Augenbewegung mittlerweile durch einen Text scrollen oder die Seite eines eBook „umblättern“(34).

Eine aktuelle Studie von Ramachandra et al.(35) stellte im Rahmen des wegen der Covid-19 Pandemie nötigen Online-Unterrichts ein System vor, mit dem Lerninhalte durch Analyse des Blickverhaltens besser auf Schüler zugeschnitten werden können.

Insbesondere für Personen mit Einschränkungen oder Behinderungen können die Fortschritte auf dem Gebiet des Eye-Trackings erhebliche Erleichterungen im Alltag bringen. Klassischerweise wird bei Personen mit motorischen Einschränkungen zur Fortbewegung und Kommunikation auf Kopfstäbe zum Zeigen, Mundstücke oder individualisierte Griffe zur Steuerung eines Rollstuhls zurückgegriffen. Diese können jedoch aufgrund der Ausprägung der Beeinträchtigung ungeeignet sein und zu Fehl- oder Überbelastung der Nackenmuskulatur und Schäden an den Zähnen führen(36). Dahmani et al.(37) stellte 2020 den Prototyp eines Rollstuhls vor, der über einen Eye-Tracker gesteuert werden kann und Schwächen der bisherigen Möglichkeiten behebt, indem auch Menschen, welche die vorherigen Methoden aufgrund motorischer Einschränkungen nicht nutzen konnten, die Möglichkeit erhalten, sich selbstständig fortzubewegen.

Neben der Unterstützung zur Fortbewegung, gibt es auch Fortschritte auf anderen Gebieten zur Erweiterung eigenständiger Handlungsmöglichkeiten für Menschen mit Einschränkungen. Das sogenannte „*Project IRIS*“ ist ebenfalls ein auf Eye-Tracking basierendes Computerprogramm und ermöglicht Textverarbeitung, Kommunikation oder kreatives Arbeiten an einem Computer. Hierbei wird der Mauszeiger des Computers über die Augen gesteuert und ersetzt damit die motorische Handbewegung, welche dem Anwender nicht möglich ist. Zwar sind Präzision und Geschwindigkeit noch nicht auf dem Niveau der per Hand gesteuerten Maus, jedoch haben Patienten die Chance, einen Computer selbstständig zu bedienen und damit eigenständig zu kommunizieren, was ihrem Wunsch nach Unabhängigkeit und Privatsphäre gerecht wird(36, 38, 39).

Im medizinischen Bereich wird im Rahmen der Diagnostik ebenfalls auf Eye-Tracking-Technologie gesetzt. Da der Prozess des Sehens sehr komplex ist und mehrere Teile des Gehirns daran beteiligt sind, bietet die Verwendung von Eye-Tracking-Technik die Möglichkeit, gleichzeitig mehrere Areale zu untersuchen. Somit können unter anderem neurodegenerative Erkrankungen festgestellt werden.

Im Rahmen der Alzheimerdiagnostik ist es möglich, den schwer identifizierbaren Übergang eines zuvor gesunden Patienten zu einem Patienten mit leichten kognitiven Beeinträchtigungen festzustellen(40). Schreiten diese Beeinträchtigungen voran, bilden sie das Vollbild des Alzheimers aus, welches sich durch vertikale oder hypometrische Sakkaden auszeichnet, die ihr Ziel nicht mehr erreichen oder gar in die entgegengesetzte Richtung laufen(41).

Daneben wird diese Technologie zur Untersuchung weiterer Krankheiten wie Depression, Autismus, Aufmerksamkeitsdefizitstörung, Parkinson und anderen mentalen sowie neuralen Krankheiten verwendet(42). Durch die Registrierung des Blickverlaufs, der Pupillendilatation und der Blinzelrate ergibt sich die Möglichkeit, entscheidende Aspekte der kognitiven Verarbeitung, wie Aufmerksamkeit, Arbeitsgedächtnis, Entscheidungsfindung und Kontrollmechanismen zu erfassen(27). Auch im Bereich der Hals-, Nasen- Ohren- Heilkunde werden mobile Eye-Tracker bei der Untersuchung von Anfallsschwindel im Rahmen der Gleichgewichtsdiagnostik verwendet(43).

Einen großen Fortschritt brachte die Anwendung von Eye-Trackern in der Lehre. Im Bereich der Luft- und Raumfahrttechnik werden Eye-Tracker eingesetzt, um die Effektivität der Ausbildung zu erhöhen. Piloten werden beispielsweise während der Simulation eines unübersichtlichen Notfallszenarios oder bei Flügen unter schweren Wetterbedingungen mit dem Eye-Tracker überwacht, ihre Performance analysiert und Fehler können erkannt und überwunden werden(44). Auf diese Weise können ihre Fähigkeiten perfektioniert werden, wodurch nicht nur Geld gespart wird, sondern vor allem Menschenleben gerettet werden können(31, 45). Darüber hinaus können die gewonnenen Daten bzw. die Aufzeichnung des Blickpfades von Experten während der Simulationen dazu dienen, den Studenten oder Auszubildenden ein Blickmuster für diese Situation zu vermitteln(46).

Dies kommt auch im medizinischen Kontext zur Anwendung, indem Berufseinsteiger vom Blickpfad erfahrener Ärzte zum Beispiel bei der Analyse von Röntgenaufnahmen oder Videountersuchungen lernen können(47-49), da Experten meist eine systematische, schnellere Analyse durchführen und potentiell pathologische Veränderungen oder Strukturen akribischer betrachten(50-55).

2.1.5 Aktueller Stand der Wissenschaft

Im Bereich der Zahnmedizin konzentrieren sich Studien insbesondere auf die Verwendung der Eye-Tracking-Technologie bei der Analyse der Röntgenaufnahmen in Form von Einzelzahnaufnahmen(56, 57), sowie auf die Untersuchung von Panoramaschichtaufnahmen (PSAs), die häufig eine oder mehrere pathologische Veränderungen aufweisen(58-63).

Außerdem wurde in einer aktuelleren Studie aus dem Jahr 2020 von Richter et al.(64) die visuelle Expertise von Zahnmedizinierenden untersucht, wobei ein Vergleich dieser vor und nach einer gebündelten Analysetrainingseinheit angestellt wurde. Hierbei wurde eine Verbesserung der Analysefähigkeit von PSAs festgestellt. Darüber hinaus gibt es eine Studie, die mit Eye-Tracking herausfinden möchte, wie in der Lehre die Fähigkeit zur Befundung von Panoramaschichtaufnahmen verbessert werden kann(65).

Ein weiterer Forschungsbereich befasst sich mit der ästhetischen Wahrnehmung von Gesicht und Zähnen. Diesbezüglich wurden Studien durchgeführt, welche die Wahrnehmung des Gesichtes von Patienten mit Lippen-Kiefer-Gaumenspalten untersuchten, um herauszufinden, ob bei der Betrachtung des Gesichtes Anomalien oder sichtbare Narben im Vordergrund stehen(66-71). Darüber hinaus existieren Studien, welche die Wahrnehmung der Gesichter von Patienten nach rekonstruktiven Eingriffen im Gesicht untersuchen oder den Einfluss des unteren Gesichtsdrittels auf die Fokussierung des Gesichtes(72, 73).

Auch im Bereich der Prothetik und dentalen Ästhetik wurde mit Eye-Tracking untersucht, wie Probanden unterschiedlicher Wissensstände Dentalaufnahmen unter ästhetischen Gesichtspunkten bewerten. Hierbei bestand bei der Bewertung der einzelnen Aufnahmen, unabhängig vom zahnmedizinischen Wissensstand, Einigkeit in Bezug auf die Einschätzung von Symmetrie, Zahnstellung und gesunde Zahn- bzw. Gingivafarbe(74-78).

In der Kieferorthopädie leistete Hickmann(79) Pionierarbeit, da sie im Jahr 2010 erstmals einen Eye-Tracker verwendete. Sie untersuchte dabei, wie stark die Mundpartie nach einer kieferorthopädischen Behandlung bei der visuellen Wahrnehmung im Vordergrund steht und fand heraus, dass auf diesen nur ein geringer Teil der Aufmerksamkeit fällt.

Außerdem wurde der Einfluss von Dysgnathien, Aplasien und Betrachtungswinkel eines Lächelns auf das Betrachtungsmuster sowie die Attraktivität dieser Gesichter begutachtet(80-87).

In der Kieferorthopädie liegen vor allem Studien vor, welche sich mit dem Feststellen eines Behandlungsbedarfs beschäftigen oder damit, ob korrigierte Zähne eine Auswirkung auf die Wahrnehmung des Gesichtes haben(88).

Ansonsten existieren vor allem Studien, die Patienten während einer kieferorthopädischen Behandlung begleiten, in Bezug auf die Veränderung der Lebensqualität während der KFO-Behandlung oder in Bezug auf Schmerzwahrnehmung oder um unterschiedliche kieferorthopädischen Apparaturen in Bezug auf die (Un)-sichtbarkeit zu vergleichen(5-7, 67, 86, 89-93).

Zum jetzigen Zeitpunkt ist keine Studie in der aktuellen Literatur bekannt, die sich in dieser Weise unter Verwendung der Eye-Tracking-Technologie mit der Wahrnehmung der Mundhygiene während der kieferorthopädischen Behandlung beschäftigt.

2.2 Prophylaxe

Vorbeugende Maßnahmen zur Krankheitsverhinderung werden unter dem Begriff Prophylaxe bzw. Prävention zusammengefasst(94).

Hierbei werden verschiedene Stadien der Prävention unterschieden: primäre Prävention beschäftigt sich mit der Verminderung des Auftretens von Krankheitsfällen zum einen durch allgemeine Gesundheitsförderung und durch spezifische protektive Maßnahmen. Die sekundäre und tertiäre Prävention sind zahnmedizinische Teilgebiete, denen sich die Zahnerhaltung und Prothetik schwerpunktmäßig widmen. Der Fokus im Bereich der Kieferorthopädie soll vor allem auf der primären Prävention während der kieferorthopädischen Behandlung liegen. Da die Mundhygienebewertung bei den Probanden im Vordergrund dieser Arbeit steht, soll im Folgenden erläutert werden, welche Prophylaxemaßnahmen aktuell zur Verfügung stehen.

Karies ist noch immer eine der häufigsten chronischen Erkrankungen und steht nach einem Ranking der WHO zu den Behandlungskosten für chronische Erkrankungen weltweit an vierter Stelle(9). Die Fünfte Deutsche Mundgesundheitsstudie(9) stellt nichtsdestotrotz eine sich stetig verbessernde Zahngesundheit fest, bei der sich die Prävalenz von Karies, Parodontalerkrankungen und Zahnverlust im Vergleich zum Jahr 1997 um die Hälfte reduziert hat. In der Zahnmedizin hat das Zeitalter der Vorsorge statt Versorgung angefangen und durch Prävention sind die Zähne länger gesund zu erhalten. Um die Vorreiterstellung, welche Deutschland innehat auszubauen, ist es entscheidend, die Entstehung von Plaque, welche die obligate Vorstufe von Karies und Parodontopathien ist, frühzeitig zu bekämpfen und zu reduzieren(9).

2.2.1 Plaqueentstehung

Plaque ist ein strukturierter Zahnbelag, auch Biofilm genannt, welcher sich aus Speichel- und Nahrungsbestandteilen, bakteriellen Zellen und ihrer Stoffwechselprodukte zusammensetzt(95). Bei Plaque wird zwischen supragingivale und subgingivale Plaque unterschieden.

Subgingivale Plaque liegt unterhalb der Gingivagrenze und spielt vor allem im Rahmen von Parodontopathien eine entscheidende Rolle.

Die *supragingivale Plaque* hingegen findet sich im koronalen Bereich des Zahnes insbesondere an den Kariesprädispositionsstellen, wozu die Fissuren und Grübchen, die approximalen Kontaktfläche sowie das kaudale Drittel der Zahnkrone vom Gingivasaum ausgehend zählen(96). Bei Patienten mit kieferorthopädischen Apparaturen wird die Fläche an Retentionsstellen und gleichzeitig die Möglichkeit der Plaquebildung durch Brackets, Drähte, Attachements etc. noch vergrößert. Dies ist in der nachfolgenden Abbildung anhand der Bewertungsgrade des Attin-Indexes(97), der zur Graduierung von Plaque entsprechend ihrer Akkumulation bei kieferorthopädischen Patienten entwickelt wurde, gut zu erkennen(Abb.5).

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

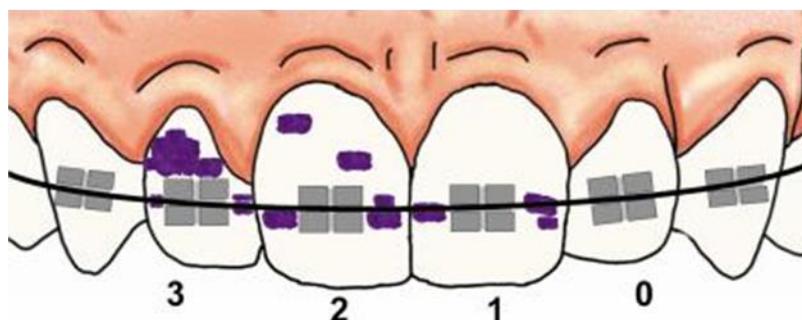


Abb.5: Plaqueakkumulation anhand der Bewertungsgrade des Attin-Index (97)

Die supragingivale Plaqueentwicklung erfolgt in mehreren Schritten:

Auf der gereinigten Zahnoberfläche bindet sich durch Adsorption ein azellulärer, unstrukturierte Film, *acquired pellicle*, welcher hauptsächlich aus Speichelproteinen besteht, und eine semipermeable Membran darstellt. Diese Pellikel besiedeln vor allem Pioniersbakterien wie grampositive Kokken und Aktinomyzeten, denen im Verlauf weitere Streptokokken und Veillonellen folgen(96, 98). Sie bilden das Fundament, auf dem die Spätbesiedler durch Akkumulation weiterer Bakterien ein Wachstum der Plaque bewirken. Zu den Spätbesiedlern zählen *Aggregatibacter actinomycetemcomitans*, *treponema denticola*, *Porphyromonas gingivalis* und *prevotella intermedia*(96, 99). Da nur Frühbesiedler untereinander in Kontakt treten, unter den Spätbesiedlern oder unter Früh- und Spätbesiedlern allerdings kaum Interaktion stattfindet, ist *Fusobakterium nucleatum* als Brückenbakterium von besonderer Bedeutung, da es sowohl mit Früh- als auch mit Spätbesiedlern koaggregieren kann. Mit zunehmendem Alter überwiegen anaerobe Bakterien(100). Ab diesem Moment ist es nicht mehr möglich, die Plaque rein mit den Selbstreinigungskräften der Mundhöhle zu entfernen, wodurch es zur Entstehung von Karies und Parodontopathien kommen kann.

Ursprünglich wurde davon ausgegangen, dass die Menge an Plaque entscheidend für die Ausbildung pathologischer Prozesse der Zahnhartsubstanz bzw. der den Zahn umgebenden Gewebe ist(101). Diese als unspezifische Plaque-Hypothese bezeichnete Theorie wurde durch Loe et al.(102) 1986 widerlegt, der bei einer Studie mit Probanden, die keine Mundhygienemaßnahmen durchführen konnten und daher eine hohe Quantität an Plaque aufwiesen, drei Gruppen feststellte: Probanden mit schnell voranschreitender Parodontopathie, moderat voranschreitender Parodontopathie, aber auch 11% aller Probanden, die weder Anzeichen für Karies, Parodontitis oder sogar Gingivitis aufwiesen. Nach der spezifischen Plaque-Hypothese ist anzunehmen, dass es bestimmte bakterielle Spezies sein müssen, die für die Entstehung verantwortlich sind. Nachdem aber bei Probanden, die nicht an einer Parodontalerkrankung litten, diese spezifischen Bakterien nachgewiesen werden konnten, wurde die noch heute geltende opportunistische Plaquehypothese formuliert(103). Diese geht bei einer gesunden Mundflora von einem Gleichgewicht, von einer Symbiose der Bakterien mit ihrem Wirt aus, welches durch lokale oder genetische Prädispositionen zu einer Imbalance führen kann und auf diese Weise pathologische Prozesse ausgelöst(99).

In kariogener Plaque sind vor allem Streptokokken (v.a. *St. mutans*, *St. sobrinus*, *St. cricetus*, *St. rattus*) nachzuweisen, die sich aufgrund ihrer Fähigkeit in Anwesenheit von Zucker mit spezifischen Glykosyltransferase extrazelluläre Polysaccharide zu synthetisieren an Zahnoberflächen anheften können, wodurch eine adhäsive und hochgradig kariogene Plaque entsteht. Durch anaerobe Glykolyse ist es *St. mutans* möglich, organische Säuren zu bilden (z.B. Laktat, Pyruvat). Durch die Bildung von intrazellulären Polysacchariden als Speicherkohlenhydrat kann der Mikroorganismus auch bei geringer Substratzufuhr seinen Stoffwechsel aufrechterhalten, welche bei längerer Einwirkzeit zu einer Demineralisation der Zahnhartsubstanzen führt(104). Eine Demineralisation der Schmelzoberfläche, auch *white spot lesion* genannt, kann durch eine hochfluoridhaltige Zahnpasta remineralisiert werden(96). Vergrößert sich allerdings der Defekt und dringt in tiefere Zahnschichten ein, ist eine Füllungstherapie indiziert. Falls diese ausbleibt oder die Karies schon im pulpanahen Bereich ist, bleiben lediglich eine Wurzelkanalbehandlung oder die Extraktion des Zahnes als Behandlungsoptionen.

Durch die Einlagerung von Mineralien entsteht aus Plaque Zahnstein, welcher sich vor allem im Bereich der Ausführungsgänge der großen Speicheldrüsen findet. Auf der Oberfläche des Zahnsteins lagert sich folglich Plaque an, die wiederum mineralisiert werden kann, wodurch auch die Bakterien verkalken und inaktiv werden. Breitet sich die Plaque im Sulcus unterhalb des Gingivasaums aus, spricht man von subgingivaler Plaque, verkalkt die Plaque auf der Wurzeloberfläche, wird sie als Konkrement bezeichnet (96).

Mineralisierte Plaque, ob supragingival oder subgingival, ist weder ursächlich für Karies noch für Parodontopathien, allerdings stellen sie Retentionsflächen dar, auf deren Oberfläche sich Mikroorganismen anheften können, welche wie oben beschrieben, durch die Kumulation mehrerer Faktoren, entzündliche Prozesse verursachen können. Diese Entzündungsreaktion wird als Gingivitis bezeichnet, welche eine reversible Entzündung der Gingiva ist, also durch Wiederaufnahme oder Intensivierung der Mundhygiene bekämpft werden kann(105). Wird allerdings nicht reagiert, entsteht ein pathologischer, irreversibler Prozess, der den Zahnhalteapparat und vor allem einen Abbau des Alveolarknochens einschließt.

Das Zusammenspiel verschiedener Faktoren, die für die Entstehung von Karies verantwortlich sind, ist in der folgenden Abb. 6 gezeigt.



Abb.6: Schema der Einflussfaktoren auf die Entstehung von Karies nach Makuch et al (106).

Auf den Wirt bzw. auf die Gene des Wirts können wir keinen Einfluss nehmen, sehr wohl aber können wir Plaque und Substrat kontrollieren und hierauf fußt die Prophylaxe.

2.2.2 Prophylaxemaßnahmen

Entscheidend sind die vier Stützpfeiler, auf denen die Prophylaxe fußt, um die Entstehung von Plaque zu reduzieren, welche die häufigste Ursache von Parodontopathien und Karies ist. Wichtige Aspekte, welche hierbei eine große Rolle spielen, sind die Ernährungsberatung, Fluoridapplikation, die Versiegelung tiefer Fissuren und Mundhygienemaßnahmen, auf welche im Folgenden genauer eingegangen wird(9).

Im Bereich der Ernährungsberatung steht bei der Individualprophylaxe im Vordergrund, den Patienten zu einer bewussteren Ernährung zu bewegen, was in diesem Fall vor allem bedeutet, auf die hohe kariogene Wirkung von niedermolekularen Kohlenhydraten hinzuweisen(94, 107). Lebensmittel, die große Mengen an Zucker enthalten sollten als Genussmittel verstanden werden und nicht den Hauptbestandteil der Ernährung ausmachen(94, 107). Darüber hinaus ist es von Bedeutung, insbesondere auf versteckte Kohlenhydrate in Lebensmitteln aufmerksam zu machen, wie sie zum Beispiel in Dressings, Saucen und Getränken zu finden sind(108). Außerdem sollten Zwischenmahlzeiten vermieden werden, da hierdurch ein kontinuierliches kariogenes Milieu im Biofilm entsteht und die Zahnoberfläche nicht ausreichend remineralisiert werden kann(94).

Nicht zu unterschätzen sind außerdem die Möglichkeiten, Zucker durch kalorische und nicht kalorische Süßungsmittel zu ersetzen, welche das Kariesrisiko stark senken können.

Als nicht kalorische Süßungsmittel oder Süßstoffe werden zum Beispiel Saccharin oder Aspartam bezeichnet, die im Vergleich zu Saccharose eine größere Süßkraft besitzen und daher in deutlich geringere Menge benötigt werden, somit fallen weniger Kalorien beim Konsum an. Dies ist darauf zurückzuführen, dass Aspartam eine um 200-mal größere Süßkraft besitzt, wodurch lediglich 0,5g Aspartam nötig sind, um 100g Saccharose zu substituieren(109). Bei der Verwendung werden damit lediglich 2 kcal im Vergleich zu 400 kcal aufgenommen(109).

Als kalorische Süßungsmittel bezeichnet man Zuckeraustauschstoffe, bei denen es sich vor allem um Zuckeralkohole oder Polyole wie zum Beispiel Erythrit, Sorbit und Xylit handelt(109). Erythrit wird aufgrund seiner Korngröße und seiner Wasserlöslichkeit in der Prophylaxe in Pulver-Wasserstrahl-Geräten eingesetzt. Es hat durch seine nicht kariogenen und wohlschmeckenden Eigenschaften eine gute

Akzeptanz und wirkt im Vergleich zu Sorbit und Xylit am wenigsten abführend(109). Sorbit, welches Bestandteil vieler Pflanzen ist, hat eine Süßkraft, die halb so groß wie die von Glucose ist und führt bei Metabolisierung zu einem geringeren pH-Wertabfall, weshalb es als zahnschonend gilt(96). Xylit, welcher auch als Birkenzucker bekannt ist, wurde lange Zeit nicht nur eine nicht kariogene, sondern eine antikariogene Wirkung zugesprochen, dies wurde allerdings in einer Metaanalyse, die 2015 von Riley et al. durchführten, widerlegt(110). Eine Sonderstellung hat die Stevia-Süße, welche die Stevia-Glykoside synthetisierte und damit der zuvor störende, lakritzartige Geschmack verringert werden konnte, welcher auf die natürlichen Schwankungen des Glykosid-Gehalt zurückzuführen ist(109). Da Stevioglycoside durch die Bakterien der Mundhöhle nicht metabolisiert werden können, ist der Konsum kariologisch betrachtet, unbedenklich(109).

Die Fluorierung zur Kariesprävention steht vor allem in den ersten Lebensjahren bei der Vorsorge, häufig in Zusammenarbeit mit den Kinderärzten, im Vordergrund. Mit dem Durchbruch der ersten Milchzähne nach etwa sechs Monaten, wird mit der Fluoridzufuhr in Form einer systemischen und wichtiger noch mit lokaler Fluoridierung begonnen(111). Diese wird an die Fluoridanamnese angepasst, welche den Konsum von fluoridhaltigem Speisesalz in den Mahlzeiten, die Trinkwasserfluoridierung, die Fluoridsupplementierung und sowie das Alter berücksichtigen, um damit das Risiko der Fluorose zu vermeiden(112).

Etwa ab dem sechsten Lebensjahr sollte im Rahmen der zahnärztlich kontrollierten Individualprophylaxe auf eine Fluoridierung in Form von Lacken, Gelen oder Spüllösungen zurückgegriffen werden. Bei Patienten mit erhöhtem Risiko kann hiermit schon ab dem 30. Lebensmonat begonnen werden(113). Insbesondere bei lokalen Fluoridierungsmaßnahmen, die vor allem durch ihren direkten Kontakt zu der Zahnhartsubstanz ihre Wirkung entfalten, ist die Verwendung einer fluoridhaltigen Zahnpasta unabdingbar. Die Fluoridkonzentration und -menge wird dem Alter entsprechend angepasst und steigert sich von einer erbsengroßen Portion mit 500ppm oder reiskorngroßen Menge mit 1000ppm beim Durchbruch des ersten Milchzahnes bis zu einem Fluoridgehalt von 1000ppm bei erbsengroßer Menge ab dem 2. Lebensjahr. Ab einem Alter von etwa 6 Jahren gilt die Empfehlung von 1450ppm bei einer Menge, die die gesamte Borstenfläche bedeckt(114). Aktuelle Studien stellten fest, dass auch die Menge an Zahncreme einen Einfluss auf die kariesprotektive

Wirkung hat und sind zu dem Ergebnis gekommen, dass sich ab 1,5g Zahnpasta ein positiver Effekt einstellt(115, 116).

Ein weiteres effektives Mittel im Bereich der Prophylaxe ist die Anwendung einer Fissurenversiegelung. Dies ist darauf zurückzuführen, dass lokale Fluoridierungsmaßnahmen vor allem auf Glattflächen die beste Wirkung erzielen, allerdings die kariesprophylaktische Wirkung im Bereich der Fissuren geringer ist. Darüber hinaus ist die Form der Fissuren entscheidend, da es aufgrund der Morphologie teilweise unmöglich sein kann, diese Prädilektionsstellen zu reinigen, wie Abb.7 veranschaulicht.

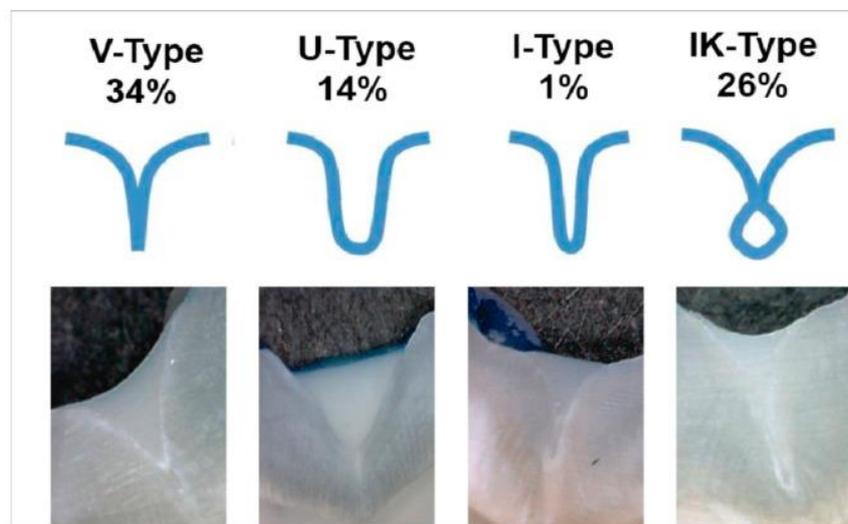


Abb.7: Unterschiedliche Formen von Fissuren(117)

Die Möglichkeit der erforderlichen Reinigung der Fissuren ist jedoch nicht bei jedem Patienten von Natur aus gegeben. Insbesondere die Form der Fissuren ist hierbei entscheidend, je schmaler oder tiefer Fissuren ausgeprägt sind, desto schwieriger ist eine Reinigung, bei ampullenförmiger Anatomie ist die Reinigung fast unmöglich, wodurch das Risiko für einen kariösen Defekt stark erhöht wird(96).

Bei schwierig zu reinigenden Fissuren sollte daher eine adhäsive Versiegelung durchgeführt werden, die halbjährlich kontrolliert und bei Bedarf erneuert werden sollte(118). Im Falle eines Aufkommens von Karies, sind die kariösen Bereiche zusätzlich zu entfernen und mit einer Komposit-Füllung im Sinne einer erweiterten Fissurenversiegelung zu versorgen(119).

Die ordentliche und regelmäßige Reinigung der Zähne ist und bleibt die wichtigste Prophylaxemaßnahme. Diese sollte mindestens zweimal am Tag, idealerweise morgens und abends, stattfinden und mindestens 120 Sekunden dauern(112, 120). Das ist die Vorgabe, die aus der aktuellen Leitlinie „Kariesprophylaxe bei bleibenden Zähnen – grundlegende Empfehlungen“ herauszulesen ist, obwohl eine eindeutige Datenlage nicht vorliegt, wie Attin et al.(121) in einem systematischen Review feststellten. In anderen Studien wird ebenfalls von 2 Minuten Putzzeit ausgegangen, wobei die Plaqueentfernungsrate nach 3 Minuten nicht mehr wesentlich ansteigt(115, 116, 122).

Es wird zwischen mechanischen von chemischen Mundhygienemaßnahmen unterschieden. Im Hinblick auf die mechanische Reinigung ist zuerst zu entscheiden, welche Art von Zahnbürste verwendet wird. Fällt die Wahl auf eine Handzahnbürste, ist eine entsprechende Technik anzuwenden, um eine suffiziente Reinigung zu erreichen.

Die *modifizierte Bass-Technik* wird noch immer als Goldstandard empfohlen. Hierbei wird die Zahnbürste in einem Winkel von 45° zur Zahnlängsachse sowohl auf Zahn als auch Gingiva angesetzt und der Andruck so angepasst, dass die Borsten sich zu biegen beginnen, um durch 10-15 senkrecht rüttelnde, leicht kreisende Bewegungen pro Zahnfläche, die Plaque im Sulcus sowie im Interdentalraum zu entfernen. Diese Technik ist sowohl für Patienten mit gesunden als auch mit krankhaft veränderten Parodontalverhältnissen geeignet(123).

Die *Stillman-Methode*, besser bekannt als „*von-Rot-nach-Weiß-Technik*“ hingegen wird Patienten empfohlen, welche an gingivalen Rezessionen leiden. Durch Ansetzen der Zahnbürste im Bereich der Gingiva und das Ausüben von intermittierendem Druck mit einem weichen Bürstenkopf wird das Zahnfleisch massiert(124). Anschließend erfolgt eine Auswischbewegung durch Drehen der Zahnbürste um die eigene Längsachse ausgehend von der Gingiva in Richtung Zahn(94). Abhängig vom motorischen Geschick des Patienten kann die Auswischbewegung durch Rüttelbewegungen ergänzt werden.

Bei Kindern oder Patienten, denen es nicht möglich ist, die oben beschriebenen Techniken auszuführen, wird die *Fones-Technik* angewandt, bei der kleine, kreisende Bewegungen ausgeführt werden. Hierbei werden bukkal bei geschlossenen Zahnreihen Ober- und Unterkiefer zur selben Zeit und die Okklusal- und Lingualflächen jeweils einzeln gereinigt(125).

Nicht empfohlen, jedoch meist zu beobachten, ist eine horizontale Schrubbertechnik, welche zumeist mit zu hohem Anpressdruck durchgeführt wird, wodurch Putzdefekte und gingivale Rezessionen entstehen können(126).

Elektrische Zahnbürsten werden nach dem Grundprinzip der Bewegung des Bürstenkopfes eingeteilt: rotierend-oszillierende und schallaktive Bürsten.

Rotierend-oszillierende Zahnbürsten führen zusätzlich pulsierende Bewegungen aus. Durch die Pulsationsbewegung wird die Plaque gelöst und durch die rotierenden und oszillierenden Bewegungen schließlich entfernt. Herausragend ist hierbei, dass pro Minute 48.000 Bewegungen durchgeführt werden im Gegensatz zu Handzahnbürsten mit denen man lediglich 600-800 Bewegungen pro Minute erreicht(127, 128).

Hingegen funktionieren schallaktive elektrische Zahnbürsten nach einem anderen Grundprinzip. Dabei werden pro Minute zwischen 30.000 und 60.000 Bewegungen ausgeführt(129). Durch diese Bewegungen entstehen Mikroströmungen im Zahnpasta-Speichel-Gemisch, die zu Scherkräften führen und imstande sind, Bakterien zu entfernen, die mehrere Millimeter von den Borstenenden entfernt sind und so die Reinigung der Approximalräume unterstützen und auf diese Weise einen Transport von Fluorid der Zahnpasta in den Interdentalraum ermöglichen(130).

Nichtsdestotrotz ist auch bei der Verwendung einer elektrischen Zahnbürste ein systematisches Vorgehen entscheidend, um alle erreichbaren Flächen gleichermaßen zu reinigen(131). Grundsätzlich sind elektrische Zahnbürsten, unabhängig welcher Mechanismus zugrunde liegt, der Handzahnbürste in der Plaqueentfernung überlegen. Es gibt zahlreiche Studien(132-137), die dies belegen. In einem systematischen Review konnten van der Sluijs et al.(138) für rotierend oszillierende Zahnbürsten sogar eine statistisch signifikante gründlichere Plaqueentfernung gegenüber Schallzahnbürsten feststellen.

Zwar können somit die leicht zu erreichenden Zahnflächen von Plaque befreit werden, allerdings ist es nicht möglich, den Interdentalraum mit einer Zahnbürste zu reinigen unabhängig davon, ob eine elektrische Zahnbürste oder Handzahnbürste eingesetzt wird.

Um diesen zu reinigen, welcher bis zu 40% der Zahnfläche ausmacht, ist die Verwendung von speziellen Produkten, welche für die Pflege des Interdentalraumes bestimmt und geeignet sind, notwendig. Zu nennen ist hier vor allem Zahnseide,

welche über den Approximalkontakt vorsichtig in den Interdentalraum eingebracht wird und durch Auf- und Abbewegungen entlang der Approximalflächen diese von Plaque befreit(94).

Sollte die Verwendung von Zahnseide nicht möglich sein, weil der Interdentalraum mit der Zahnseide nicht zu erreichen ist oder der Draht einer MBA oder eines Retainers den Zugang nahezu unmöglich macht, gibt es die Möglichkeit, diesen mit Interdentalbürsten zu reinigen. Diese enthält eine Drahtseele, welche von Borsten umgeben ist. Auf diese Weise ist es möglich, Interdentalräume oder befallene Furkationen zu reinigen. Um eine Schädigung am Zahn oder der Gingiva zu verhindern, sollten Form und Größe an jeden Interdentalraum angepasst werden.

Alternativ können bei schwer zu reinigenden Bereichen wie Brückenzwischenglieder, verblockte Zahnkronen oder sehr weite Interdentalräume spezielle Zahnseiden verwendet werden, welche einen starren, bauschigen sowie zahnseideähnlichen Abschnitt aufweisen. Das starre Ende wird dabei unter dem Brückenzwischenglied durchgefädelt, wobei dieses Areal anschließend mit dem bauschigen Mittelteil gereinigt werden kann. Ergänzend zu der mechanischen Reinigung wird laut der aktuellen S3 Leitlinie „*Häusliches chemisches Biofilmmangement in der Prävention und Therapie der Gingivitis*“(139) die zweimal tägliche Verwendung von Mundspüllösungen empfohlen, welche durch die antibakterielle Wirkung eine Plaquereduktion und Gingivitisreduktion erzielt.

Zur Entfernung eingespießter Nahrungsreste und loser Plaque eignen sich Wasserstrahlgeräte, besser bekannt als Mundduschen. Fest anhaftende Plaque lässt sich allerdings nicht auf diese Weise entfernen, hierfür muss auf oben genannte Alternativen zurückgegriffen werden. Wasserstrahlgeräte insbesondere solche, die ein mehrstrahliges Düsenkonzept verwenden, massieren durch ihren pulsierenden Wasserstrahl die Gingiva und können so zu einer Festigung dieser führen(140). Außerdem ist es möglich, auf diese Weise antibakterielle Mundspüllösung zusätzlich in den subgingivalen Bereich zu befördern, da die Mundspüllösung ansonsten nur den supragingivalen Bereich erreichen kann.

Ebenfalls entscheidend ist die Wahl der richtigen Zahnpasta. Die Anforderungen, welche an eine Zahnpasta gestellt werden, um die Karies- und Gingivitisprophylaxe zu unterstützen, sind im Wesentlichen das Reinigen von Plaque und Polieren der Zahnoberfläche sowie Abgabe pharmakologisch wirksamer Substanzen. Um dies zu

erreichen, sollten Abrasivstoffe enthalten sein. Hierbei handelt es sich meist um Carbonate oder Phosphate. Die Abrasionswirkung wird in RDA gemessen, welche den Abrieb von radioaktiv markiertem Dentin im Vergleich zu einem Standardabrasivmedium angibt. RDA-Werte von 0-19 gelten als sehr niedrig und Werte ≥ 100 als sehr hoch(141, 142).

Darüber hinaus enthalten Zahnpasten Aroma-, Farb- und Konservierungsstoffe, sowie Feuchthalte- und Bindemittel aber auch oberflächenaktive Substanzen, um die Oberflächenspannung des Zahnpasta-Speichel-Gemischs zu reduzieren und eine bessere Anlagerung zu erreichen.

An pharmakologisch wirksamen Substanzen enthält Zahnpasta meist Fluoride, welche z.B. in Form von Zinn-, Natrium- und Aminfluorid enthalten sind. Außerdem werden Chlorhexidin, Phenole oder Enzyme wie Amyloglucosidase und Glucoseoxidase beigefügt, um eine antimikrobielle, plaquehemmende Wirkung zu erzielen. Pyrophosphate Phosphonate und Zinkzitat, welche die Ausfällung von Kaliumsalzen inhibieren werden des Weiteren hinzugefügt und damit Zahnsteinbildung vorgebeugt(143).

Darüber hinaus sollte die häusliche Mundhygiene optimalerweise durch eine professionelle Zahnreinigung ergänzt werden. Der Grundstein für das heutige Prophylaxekonzept der *Professionellen Zahnreinigung* wurde bereits 1981 durch Axelsson et al.(144) gelegt, welche die Wirksamkeit im Hinblick auf Prävention von Gingivitis, Parodontitis und Karies erkannten. Bestätigt wurde dies durch die aktuelle Fünfte Deutsche Mundgesundheitsstudie(9). Dadurch können supra- und subgingival gelegene Beläge vollständig entfernt werden. Außerdem können mögliche Putzdefizite aufgezeigt sowie kariöse Läsionen frühzeitig erkannt und entsprechend minimalinvasiv behandelt werden. Bei Kindern ab 6 Jahren beziehungsweise Jugendlichen unter 18 Jahren wird entsprechend eine Individualprophylaxe angeboten, wobei mit Plaquerelevatoren Beläge angefärbt und dabei Putztechniken sowie Interdentalpflege demonstriert werden. Die Tatsache, dass der Übungserfolg kontrolliert wird ermöglicht es, von klein auf zu einer guten Mundhygiene zu motivieren.

Motivation zu einer guten und regelmäßigen Mundhygiene ist sehr wichtig. Ziel sollte es sein, im Kindesalter die Weichen für eine gute Mundhygiene und eine Routine zu stellen, die man idealerweise ein Leben lang beibehält. Insbesondere Jugendliche, die sich in kieferorthopädischer Behandlung befinden, sollten zu einer ordentlichen Zahnpflege motiviert werden. Die Tatsache, in dieser Zeit auch noch eine MBA tragen

zu müssen, welche Spannungs-, Druckgefühle oder auch Schmerzen auslösen kann, führt oft zu einer negativen Einstellung gegenüber diesem Körperbereich, welche sich in mangelnder Mundhygiene zeigt(5, 6, 89, 90). Um diesem Problem entgegenzutreten, gibt es mittlerweile verschiedenste Anbieter digitaler Inhalte, welche das Ziel verfolgen, durch interaktive Inhalte die Motivation bei der Pflege zu steigern. Beispielsweise ermöglichen Anzeigen auf dem Smartphone die Identifizierung von Bereichen, welche noch nicht ausreichend gereinigt wurden, aber auch social media schafft einen „positiven“ Gruppenzwang wodurch zu besserer Mundhygiene aufgerufen wird(145). Es gibt darüber hinaus Apps, welche Musik während der aktiven Putzzeit wiedergeben und Videos zu Zahnputztechniken bereitstellen, wodurch 88% der Probanden angeben, auf diese Weise zu längerem Zähneputzen motiviert worden zu sein(146). Es gibt allerdings auch eine Studie von Saxena et al.(147) die keinen entscheidenden Einfluss von Erinnerungsnachrichten per WhatsApp oder E-Mail auf die Verbesserung der Mundhygiene feststellen konnten.

2.2.3 Aktueller Stand der Wissenschaft

Die Prophylaxe ist ein Teilgebiet in der Zahnmedizin, welches alle Fachrichtungen gleichermaßen tangiert. In der Kieferorthopädie besteht allerdings die Besonderheit, dass nicht nur die Zähne gesundgehalten und gereinigt werden müssen, sondern die Reinigung zusätzlich durch festsitzende Apparaturen wie zum Beispiel MBA, Herbst-Scharnier oder GNE-Elemente erschwert wird. Diese behindern häufig den Zugang zu den Interdentalräumen und stellen zusätzliche Retentionselemente dar.

Ein Großteil der Studien beschäftigt sich daher mit vergleichender Methodik und der Weiterentwicklung bestehender Prophylaxeinstrumente, um die Effektivität der Reinigung, vor allem in kariesprophylaktischer Hinsicht, zu erhöhen. Beispielsweise wurden Studien angestellt, welche die Effektivität verschiedener Arten von Zahnbürsten oder neuartiger Zahnbürstenköpfe hinsichtlich der Plaqueentfernung insbesondere bei kieferorthopädischen Patienten untersuchen(78, 132, 133, 148-156). Außerdem existieren Studien, welche vergleichen, ob die Mundhygiene durch eine Modifikation der MBA zu steigern ist, indem Brackets in Lingualtechnik angebracht werden oder lediglich Attachments auf den Zähnen verbleiben und die entsprechenden Schienen zu Reinigung herausgenommen werden können, wie bei Alignertherapien(153, 156).

Auch aus parodontaler Sicht wird die Anwendung von KFO-Apparaturen untersucht, um das Auftreten von Parodontalmarkern während der Behandlung festzustellen sowie den Einfluss kieferorthopädischen Behandlungskonzepts auf die Ausbildung einer Gingivitis beziehungsweise Parodontitis zu ermitteln(155, 157-161).

3 Material und Methode

3.1 Material

In Vorbereitung auf dieses Forschungsvorhaben wurde der Ethik-Kommission der Landesärztekammer Rheinland-Pfalz das Studiendesign dargelegt, die ein positives Votum erteilte (Bearbeitungsnummer: 10667). Die geltenden Richtlinien, Vorschriften und Gesetze der Deklaration des Weltärztebundes über biomedizinische Forschung am Menschen von 1996, die Berufsordnung der deutschen Ärzte und die entsprechenden Verordnungen und Datenschutzgesetze wurden beachtet.

3.1.1 Probandenkollektiv

Die Probanden dieser Studie werden in zwei Gruppen differenziert:

1. Die Gruppe der Experten wurde überwiegend von Studierenden der Zahnmedizin vertreten, welche sich im Examensemester (SS 2019 bzw. WS 2019/20) befanden oder mindestens das 4. Klinische Semester beendet hatten.
2. Die Gruppe der Laien setzte sich aus der Gruppe der Jugendlichen und deren Erziehungsberechtigten zusammen. Die Jugendlichen stammten alle aus dem Patientenkollektiv der Poliklinik für Kieferorthopädie der Universitätsmedizin der Johannes Gutenberg-Universität Mainz, waren 13,2 (SD=1,4) alt sind und trugen alle eine MBA (Mini Sprint® Brackets, .022 Slot, Forestadent, Pforzheim, Deutschland) im Ober- und Unterkiefer. Jeweils ein Elternteil des Patienten gehörte zu den Repräsentanten der Sicht eines Erwachsenen im Rahmen der Laien.

Zu erwähnen ist, dass in allen drei Gruppen nur ein Proband eine Brille trug. Dieser bestand jedoch in der Kalibrierungsphase den Genauigkeitstest des Eye-Tracking-Programms und somit konnten die erhobenen Daten verwendet werden.

Die folgenden Einschlusskriterien mussten alle Probanden erfüllen:

Um in die Studie eingeschlossen zu werden, musste jeder Proband:

- eine schriftliche Einwilligungserklärung und Patienteninformation, welche er vor der Teilnahme zur Verfügung gestellt bekommen hat, unterzeichnen
- einen guten allgemeinen Gesundheitszustand aufweisen
- ein normales Sehvermögen vorweisen

Um in die Studie eingeschlossen zu werden, musste jeder Patient:

- in kieferorthopädischer Behandlung sein und eine MBA tragen
- zwischen 12 und 17 Jahre alt sein
- eine schriftliche Einwilligungserklärung und Patienteninformation, welche er vor der Teilnahme zur Verfügung gestellt bekommen hat, unterzeichnen
- einen guten allgemeinen Gesundheitszustand haben

Folgende Ausschlusskriterien führten zu einer Ablehnung der Eignung für die Studie:

Von der Studienteilnahme ausgeschlossen wurden Probanden sofern:

- sie nicht kooperationsfähig sind
- sie keine ausreichenden Deutschkenntnisse zum Verständnis des Ablaufs besitzen
- sie im Rahmen dieser Studie als Erziehungsberechtigter aus einem zahnmedizinischen Tätigkeitsfeld stammen

Von der Studienteilnahme ausgeschlossen wurden Patienten falls:

- sie über 18 Jahre alt sind
- sie keine MBA tragen
- sie eine kongenitale Anomalie oder Auffälligkeit im Gesichtsbereich (z.B. Piercing) haben
- falls eine bekannte Unverträglichkeit gegen den Plaquerelevator besteht

3.1.2 Fotografie

Die Fotografien der teilnehmenden Patienten und deren Mundhygienestatus wurden unter standardisierten Bedingungen, gleiche Positionierung und Abstand, aufgenommen. Die Aufnahmen wurden mit einem *Canon EOS D 600* Gehäuse mit entsprechendem *Canon 100* Makroobjektiv und einem *Sigma EM-140 DG* Ringblitz (Canon, Tokio, Japan) hergestellt.

Einerseits wurde eine intraorale Frontalaufnahme ohne weitere Modifikation angefertigt (Abb.9).

Andererseits erfolgte eine Aufnahme nach Applikation des Plaquerelevators Mira-2-Ton® (Hager & Werken GmbH, Duisburg, Deutschland) (Abb.10).

Um eine Homogenität zwischen den Fotos zu schaffen, wurden diese einheitlich zugeschnitten und Abweichungen bei Helligkeit, Belichtung und Ausrichtung mit dem Bildbearbeitungsprogramm Photoshop® Version 23.11 (Adobe®, San José, Kalifornien, USA) korrigiert.

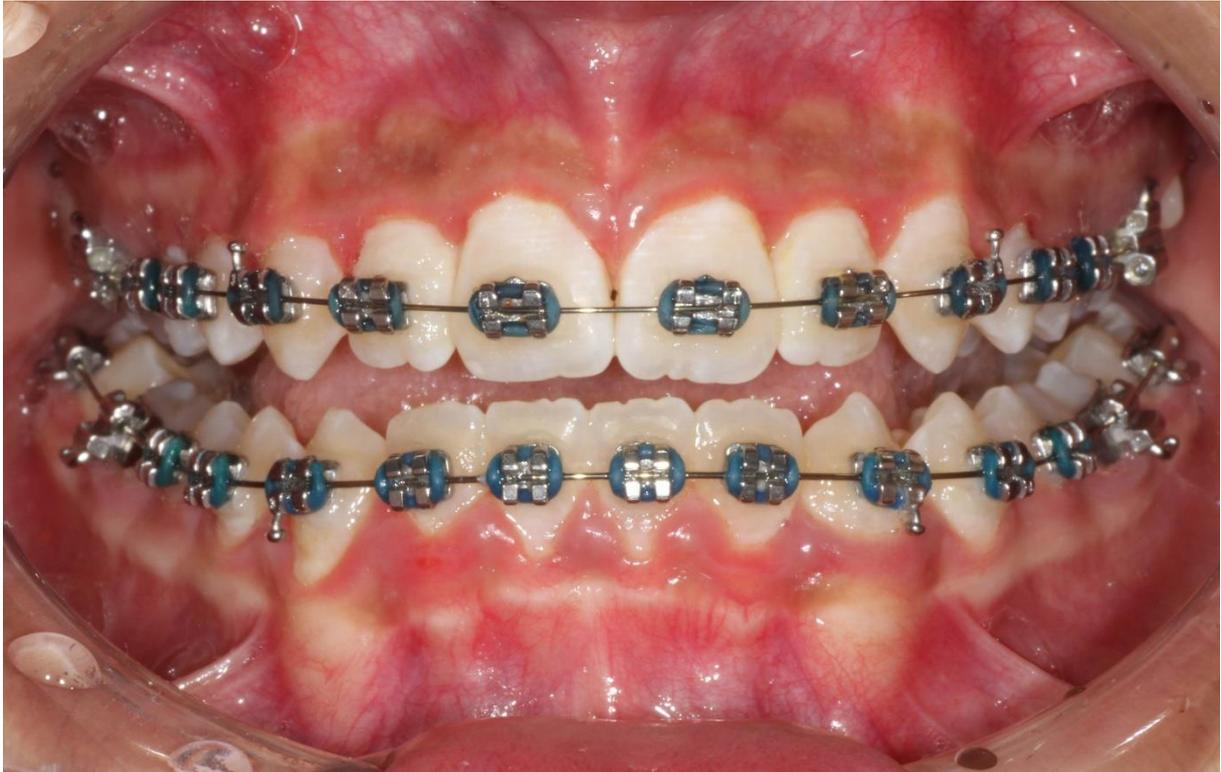


Abb.9: Beispielaufnahme eines Patienten ohne Plaquerelevatoren



Abb.10: Beispielaufnahme desselben Patienten wie in Abb.9 mit Plaquerelevatoren

3.1.3 Putztechnik und Putzzeit

Nachdem die Fotos angefertigt worden sind, wurde den Patienten die Möglichkeit gegeben, sich die Zähne an der Mundhygienestation der Poliklinik für Kieferorthopädie zu putzen. Hierbei wurden sie unauffällig beaufsichtigt, um die Putztechnik und die Putzzeit möglichst unverfälscht zu dokumentieren. Sämtliche Patienten gaben an, zu Hause hauptsächlich mit Handzahnbürsten zu reinigen. Die Dokumentation erfolgte in Form einer Excel-Tabelle, welche sowohl die Putzzeit als auch Putztechnik erfasste.

3.1.4 Eye-Tracking-System

Bei dem verwendeten Eye-Tracking-System handelt es sich um das *Monocular System Eyegaze Edge®* (LC Technologies, Fairfax, Virginia, USA), ein Eye-Tracking-System mit einer Abtastrate von 60 Hz. Dieses verfügt über eine automatische Augenerfassung und verwendet zur Erfassung das *Bright-Pupil Verfahren* (Abb.11-13). Die Messgenauigkeit beträgt laut Hersteller $<0,4^\circ$, der angular error wird mit $0,3^\circ$ - $0,5^\circ$ angegeben. Darüber hinaus durchläuft der Proband eine Kalibrierungsphase, in welcher neun Kalibrierungspunkte erfolgreich zu fixieren sind, um anschließend die Aufführung der Fotografien aller Patienten starten zu können.

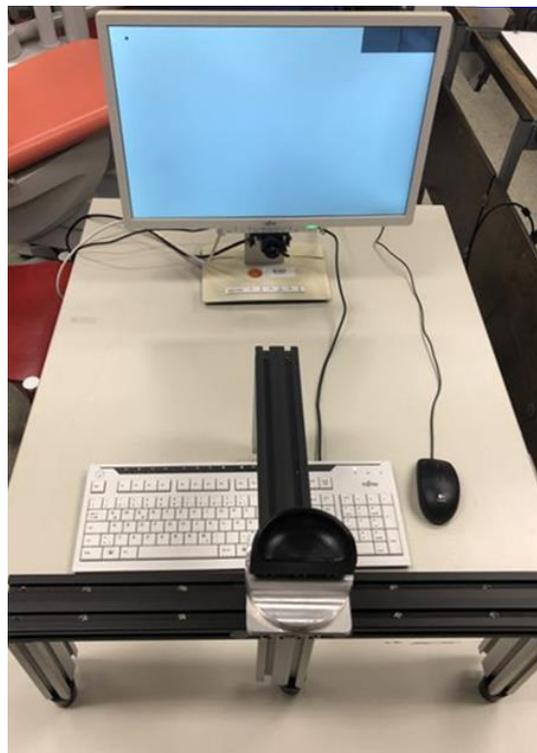


Abb.11: Aufbau des Eye-Tracking-Systems mit Kinnstütze



Abb.12: Kalibrierungsbildschirm mit Fixierungspunkten (rote Kreuze) und Blickpunkten (blaue Punkte)

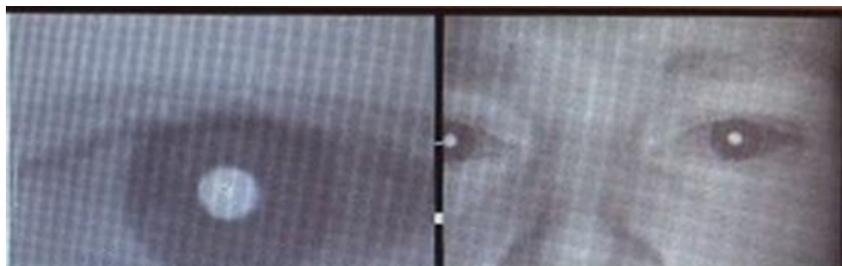


Abb.13: Vergrößerung der rechten oberen Ecke, sichtbarer *bright-pupil*-Effekt

3.1.5 Software

Auf den Fotos der jugendlichen Probanden wurden mit dem Programm *Nyan® 2.0 Eyetracking Analysis Suite* (LC Technologies, Fairfax, Virginia, USA) 24 AOI gesetzt, welche bei der Untersuchung im Vordergrund standen und ausschließlich für den Untersucher sichtbar waren. Diese wurden vor allem in der Frontzahnregion vom Eckzahn rechts 13 bis Eckzahn links 23 im Ober- und von Eckzahn rechts 43 bis Eckzahn links 33 im Unterkiefer konzentriert und entsprechend der Plaqueentstehung bei Patienten mit MBA jeweils ein AOI um das Bracket und ein weiteres am Übergang von Zahn zur Gingiva definiert (Abb.14).

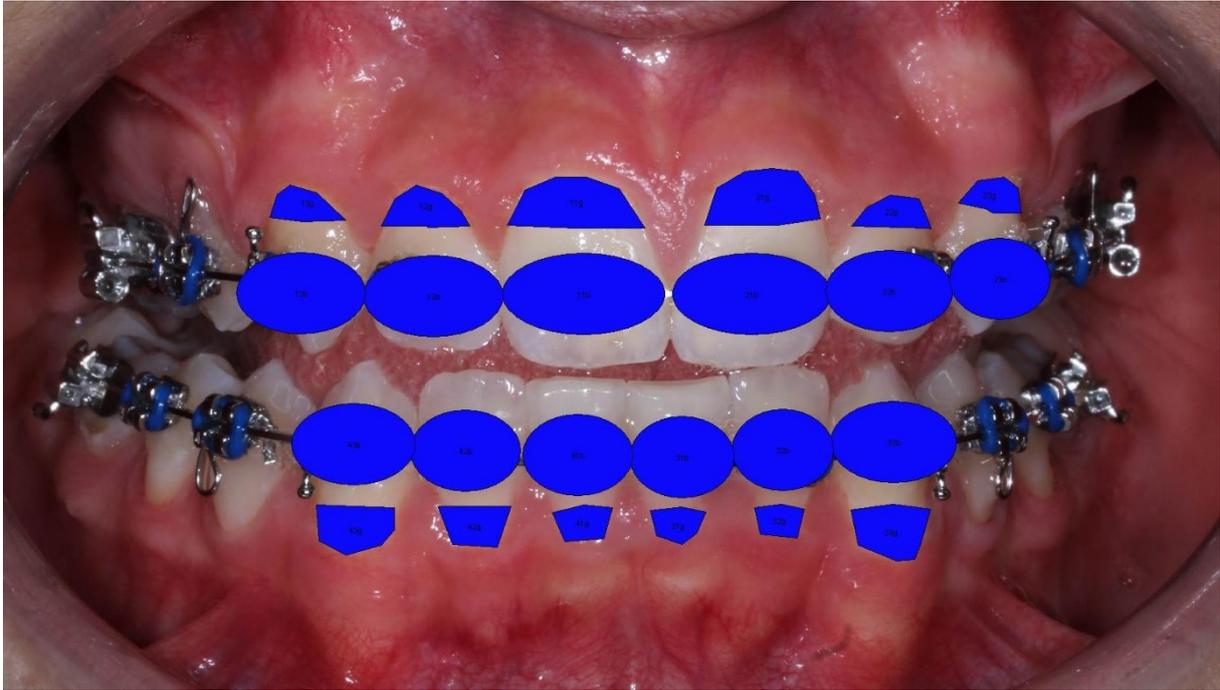


Abb.14: Beispielaufnahme mit festgelegten AOIs

3.1.6 Bewertung der Mundhygiene

Die entstandenen Fotos wurden jeweils einzeln beurteilt und jeder der 12 Frontzähne wurde unter Verwendung des Attin-Indexes bewertet. Anschließend wurde ein Plaque-Index für jedes Bild mit folgender Formel(162) errechnet:

$$\text{Attin-Index (\%)} = \frac{\text{Summe aus den Plaque-Werten jedes Frontzahnes}}{\text{Messpunkte}} \cdot \frac{\text{höchster Graduierungswert}}{100}$$

Auf diese Weise erhielt man eine objektive Bewertung der Bilder in Prozent, um diese mit der Bewertung der Probanden vergleichen zu können. Hierbei stehen die Pole 0% dafür, dass keine Plaque sichtbar war und damit eine sehr gute Mundhygiene vorliegt (Abb. 15) und 100% dafür, dass in jeder Zahn Plaque aufweist und daher eine sehr schlechte Mundhygiene besteht (Abb. 16).



Abb.15: Beispielaufnahme für eine sehr gute Mundhygiene



Abb.16: Beispielaufnahme für eine sehr schlechte Mundhygiene

3.2 Methode

3.2.1 Versuchsablauf

Insgesamt nahmen an der Studie 86 Personen teil. Es handelt sich hierbei um 3 verschiedene Gruppen:

- Die erste Gruppe bilden 28 Patienten, welche sich in kieferorthopädischer Behandlung befanden.
- Zur zweiten Gruppe gehörte jeweils ein Erziehungsberechtigter des Patienten der ersten Gruppe.
- In der dritten Gruppe befanden sich 30 Studierende der Zahnmedizin.

Jede Gruppe betrachtete zunächst randomisiert die von dem Mundhygienestatus angefertigten Aufnahmen der Patienten mit MBA. Zu diesem Zweck wurden den Probanden die Fotos einzeln präsentiert. Dabei befanden sich die Probanden in einem Abstand von 60cm zum Bildschirm, wobei eine Positionsänderung des Kopfes bei der Erfassung des Eye-Trackers durch eine Kinnauflage vermieden werden sollte. Die Aufnahmen durch den Eye-Tracker wurde unter standardisierten Bedingungen unabhängig von Tageslichteinflüssen in einem abgedunkelten Raum nur unter Verwendung der Deckenbeleuchtung sowie frei von Störgeräuschen und ähnlichen Ablenkungen durchgeführt. Den Probanden wurde erklärt, dass sie im Folgenden intraorale Frontalaufnahmen sehen werden und sie wurden gebeten, den Mundhygienestatus zu bewerten. Die Bilder wurden jeweils für 5 Sekunden gezeigt. Zur Bewertung diente eine numerische Rating-Skala von 0 bis 10 in Anlehnung an die visuelle Analogskala, wobei 0 für „sehr gut“ und 10 für „sehr schlecht“ im Hinblick auf den Mundhygienestatus standen. Zu erwähnen sei noch, dass bewusst auf eine visuelle Analogskala verzichtet wurde, bei der die Eintragung durch den Probanden erfolgt, da dieser hierfür nach jedem Bild die Kinnstütze hätte verlassen und diese anschließend erneut hätte eingestellt werden müssen, um Ungenauigkeiten im Versuchsablauf zu vermeiden. Nach jedem Foto teilte der Proband seine Bewertung der Mundhygiene akustisch mit und die Bewertung wurde in einer Excel-Tabelle erfasst. Anschließend wurde ein Fixierungskreuz am oberen Bildrand präsentiert, welches jeder Proband ansah. Damit wurde ein einheitlicher Ausgangspunkt geschaffen, um Ungenauigkeiten bei der Aufzeichnung der Augenbewegung,

verursacht durch Bewegung des Unterkiefers beim Sprechen, zu reduzieren. Nach 30 Aufnahmen wurde eine kurze Pause gemacht und mit den übrigen 30 Bildern auf die gleiche Weise verfahren.

3.2.2 Datenexport sowie Erhebung der Blickverlaufs- und Betrachtungsdaten

Um die Rohdaten zu erhalten, wurde für jedes von einem Probanden betrachtete Foto eine Excel-Tabelle (Excel Version 16.41 für Microsoft Windows, Chicago, Illinois (USA)) erstellt, um die Werte für die zuvor definierten AOIs, Total Fixation Count, Total Gaze Duration, Total Mean Fixation Duration, Time To First Fixation; und die Länge des Blickpfads erfassen zu können. Als Fixation wurde von dem Programm ein fixierter Bereich, der für die Dauer von $\geq 80\text{ms}$ definiert unabhängig davon, ob die Fixation in einem AOI oder einem beliebigen anderen Bereich der Aufnahme lag. Darüber hinaus verfügte das Programm über die Möglichkeit, die Eye-Tracking-Daten auf dem betrachteten Bild zu visualisieren. Dies kann in Form einer Blickpfadanalyse erfolgen wie hier dargestellt (Abb.17). Fixierte Bereiche werden als rot-gelbe Kreise dargestellt, deren Durchmesser die Länge der Fixierung angeben und grüne Linien zeigen den Blickverlauf zwischen diesen an (Abb. 18, 19).



Abb.17: Blickpfadanalyse eines Probanden aus der Gruppe der Eltern



Abb.18: Blickpfadanalyse eines Probanden aus der Gruppe der Jugendlichen

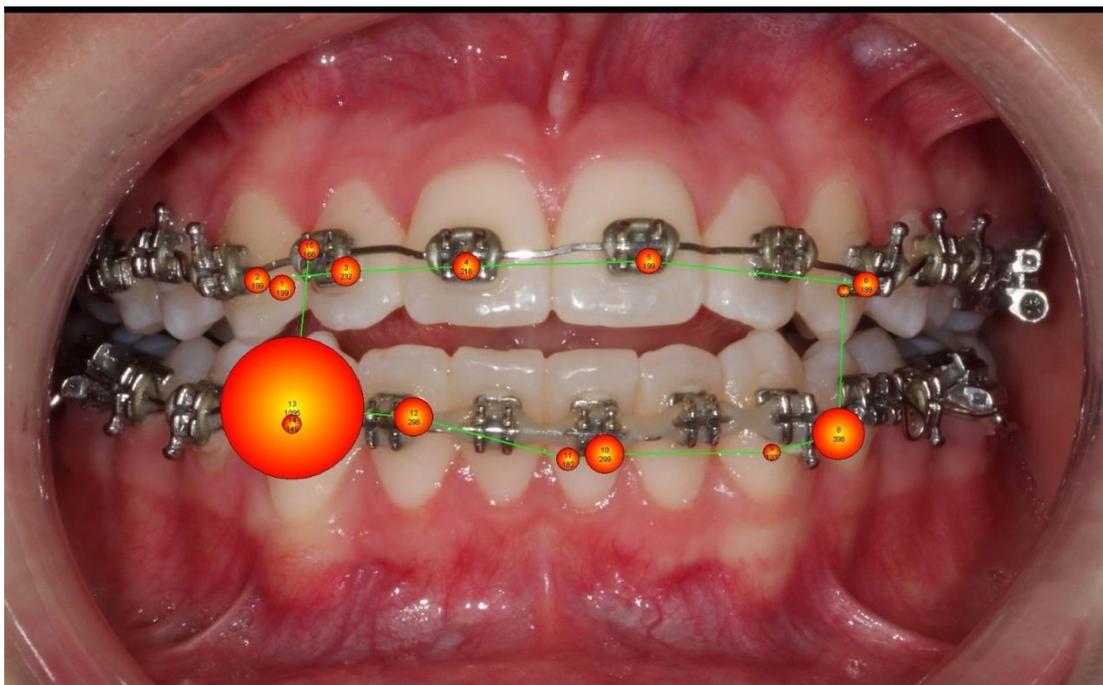


Abb.19: Blickpfadanalyse eines Probanden aus der Gruppe der Studenten

Außerdem gab es die Darstellungsoption der „heat map“, die für jede Gruppe oder für jeden einzelnen Probanden angezeigt werden konnte, um in Form einer Aufmerksamkeitslandschaft zu visualisieren auf welche Bereiche der Fokus bei der Betrachtung entfiel (Abb.20-23).

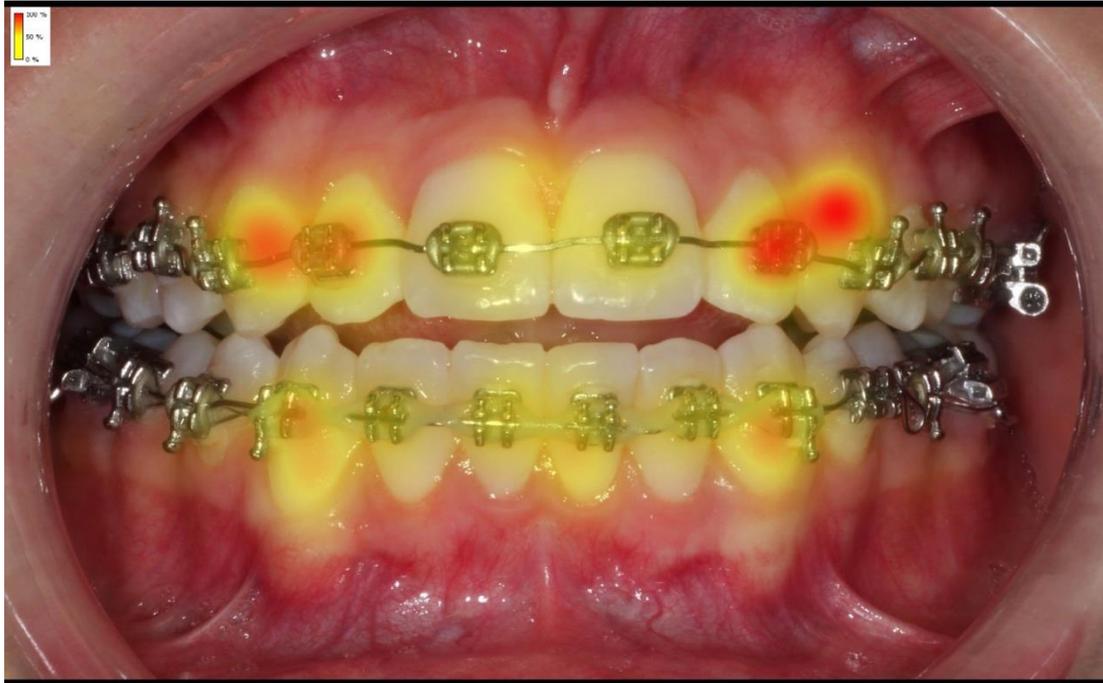


Abb.20: Darstellung der heat map eines Probanden aus der Gruppe der Studenten

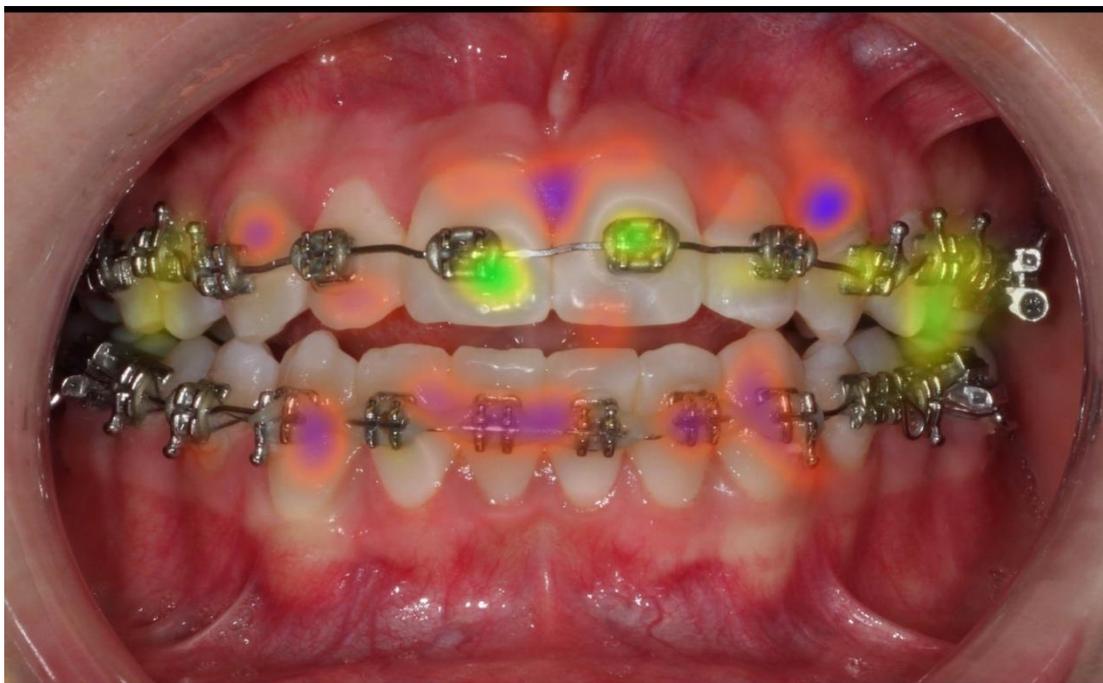


Abb.21: Darstellung der heat map im Gruppenvergleich, Vergleich der Eltern (blau) mit den Jugendlichen (gelb)

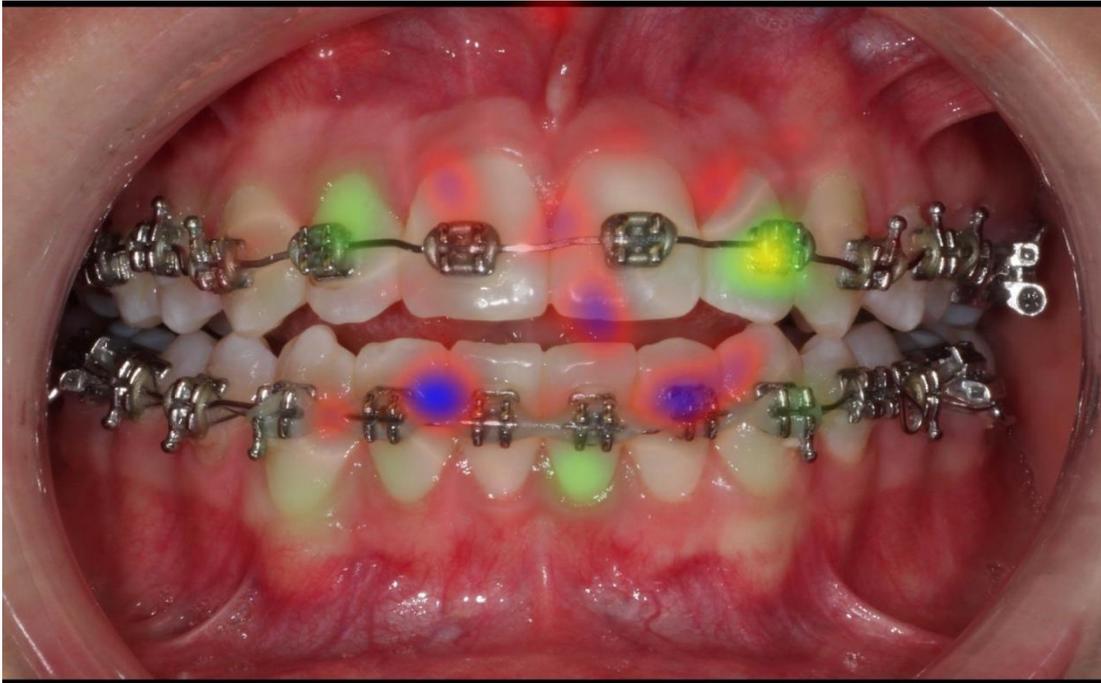


Abb.22: Darstellung der heat map; Vergleich der Eltern (blau) mit den Studenten (gelb)

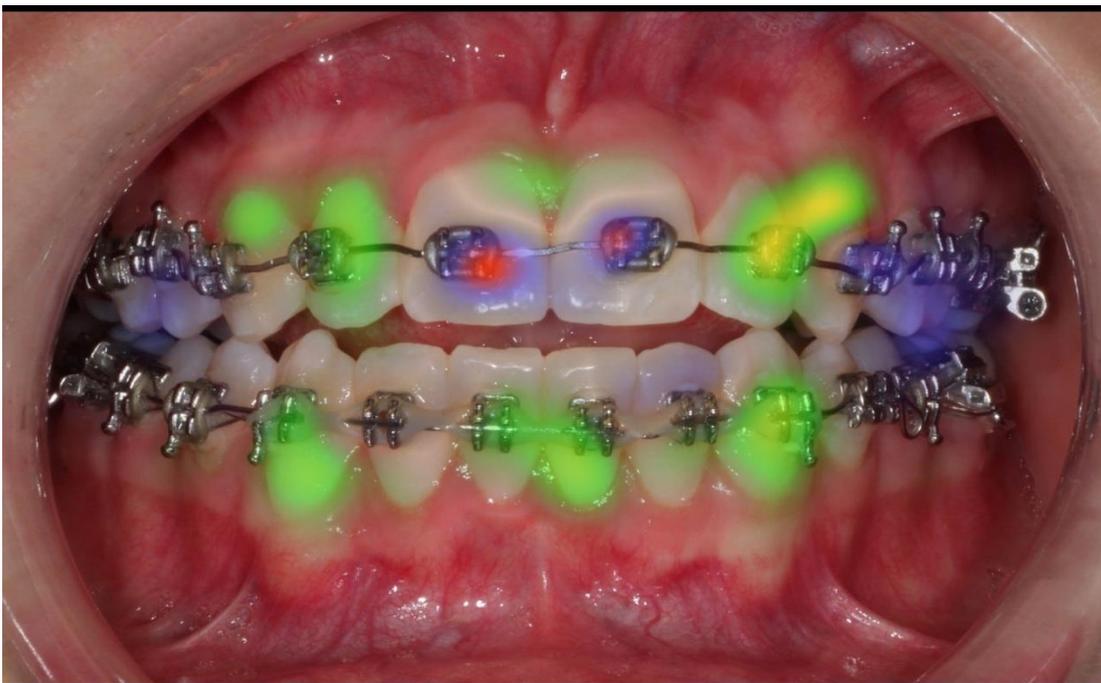


Abb.23: Darstellung der heat map; Vergleich der Jugendlichen (blau) mit den Studenten (gelb)

Die Visualisierungen der Rohdaten dienen allerdings lediglich der Veranschaulichung und wurden nicht zur statistischen Analyse herangezogen. Hierfür wurden die beschriebenen gewonnen Tabellen mit den Werten für die einzelnen AOIs und die Länge der Blickpfade verwendet.

3.2.3 Statistische Analyse

Die statistische Analyse wurde in Zusammenarbeit mit dem Institut für Medizinische Biometrie, Epidemiologie und Informatik (IMBEI) der Universitätsmedizin an der Johannes Gutenberg-Universität Mainz durchgeführt.

Die statistische Auswertung der Daten erfolgte mit den Programmen SAS (9.4, 2016 SAS Institute Inc., Cary, NC, USA).

Zur deskriptiven statistischen Analyse wurden die üblichen Lage- und Streuungsmaße (Mean = Mittelwert, StdDev = Standardabweichung, Min = Minimum, Q1 und Q3 = Quartile, Median, Max = Maximum) berechnet. Die Darstellung erfolgte in Form von Tabellen und in Form von Box-and Whisker-Plots. Die Plots veranschaulichen die Streubereiche um den Median, der als breiter Strich in der Mitte des Balkens des Diagramms dargestellt wird, ein Symbol markiert den Mittelwert. Für kategoriale Merkmale wurden absolute und relative Häufigkeiten verwendet. Bei der Inferenzstatistik wurden verschiedene Analysemethoden angewendet, unter anderem ein multivariablen Cox-Regressionsmodell für die Untersuchung von Einflussgrößen und ein gemischtes lineares Modell.

Da die Analyse eine explorative Intention hat, sind die p-Werte deskriptiv zu interpretieren. Effekte, die einen p-Wert ≤ 0.05 aufweisen, werden als signifikant bezeichnet. Werte, die kleiner als 0,001 sind, werden im Verlauf als $p < 0,001$ beschrieben. Falls $p \geq 0,001$ werden exakte p-Werte angegeben.

4 Ergebnisse

4.1 Objektive Bewertung

Zunächst wurde untersucht, wie sich der dargestellte Grad der Mundhygiene unter den Aufnahmen unterscheidet. Um die Aufnahmen untereinander vergleichen zu können, wurde eine objektive Bewertung jeder Aufnahme wie unter 3.1.6 beschrieben durchgeführt. Hieraus ergab sich für die jugendlichen Probanden folgende Verteilung der objektiven Mundhygiene, woran die Genauigkeit der 3 Probandengruppen bei der Einschätzung der Mundhygiene (subjektive Bewertung) gemessen wurde (Tab.1).

	N	%
<i>objektive Bewertung mit Attin-Index</i>		
0	4	6.67
1	4	6.67
2	2	3.33
3	8	13.33
4	6	10.00
5	6	10.00
6	14	23.33
7	6	10.00
8	4	6.67
9	4	6.67
10	2	3.33

Tab.1: Objektive Bewertung der Aufnahmen in Bezug auf die Plaqueakkumulation. 0 steht für sehr gute Mundhygiene und 10 steht für sehr schlechte Mundhygiene

4.2 Putzzeit

Darüber hinaus wurden die Putzzeiten der sich in kieferorthopädischer Behandlung befindlichen Probanden ermittelt. Die Putzzeit wurde wie unter 3.1.3 beschrieben bei 28 Jugendlichen gemessen. Der Median der Putzzeit lag bei 78,5s. Die maximale Putzzeit betrug 125s. Die kürzeste Putzzeit betrug 35s.

4.3 Putztechnik und Geschlecht

Zudem wurde die Putztechnik der jugendlichen Probanden erfasst. Hierbei wendeten 10 der 28 Jugendlichen die Schrubbtechnik, die simpelste Putztechnik an. 15 der Probanden reinigten mit der Rotationstechnik, einer fortgeschritteneren Variante. Lediglich 3 Probanden zeigten eine anspruchsvollere Putztechnik, die modifizierte Basstechnik.

Die Jugendlichen zu 75% weiblich und zu 25 % männlich.

4.4 Zeit bis zur ersten Fixation

Der Zeitraum bis zur ersten Fixation eines Punktes auf der intraoralen Frontalaufnahme wurde als Zeit bis zur ersten Fixation definiert.

Die Jugendlichen benötigten am längsten Zeit, bis sie einen beliebigen Bereich außerhalb der AOIs fixierten (0,48s ohne Anwendung eines Plaquerelevators) und 0,56s mit Anwendung eines Plaquerelevators, wohingegen Studierende etwas weniger Zeit benötigten (0,37s ohne Anwendung eines Plaquerelevators und 0,46s mit Anwendung eines Plaquerelevators). Eltern hingegen fixierten am schnellsten außerhalb einer AOI. Der Median betrug hier 0,38s bei Bildern ohne Anwendung eines Plaquerelevators und 0,33s mit Anwendung eines Plaquerelevators (Abb.24).

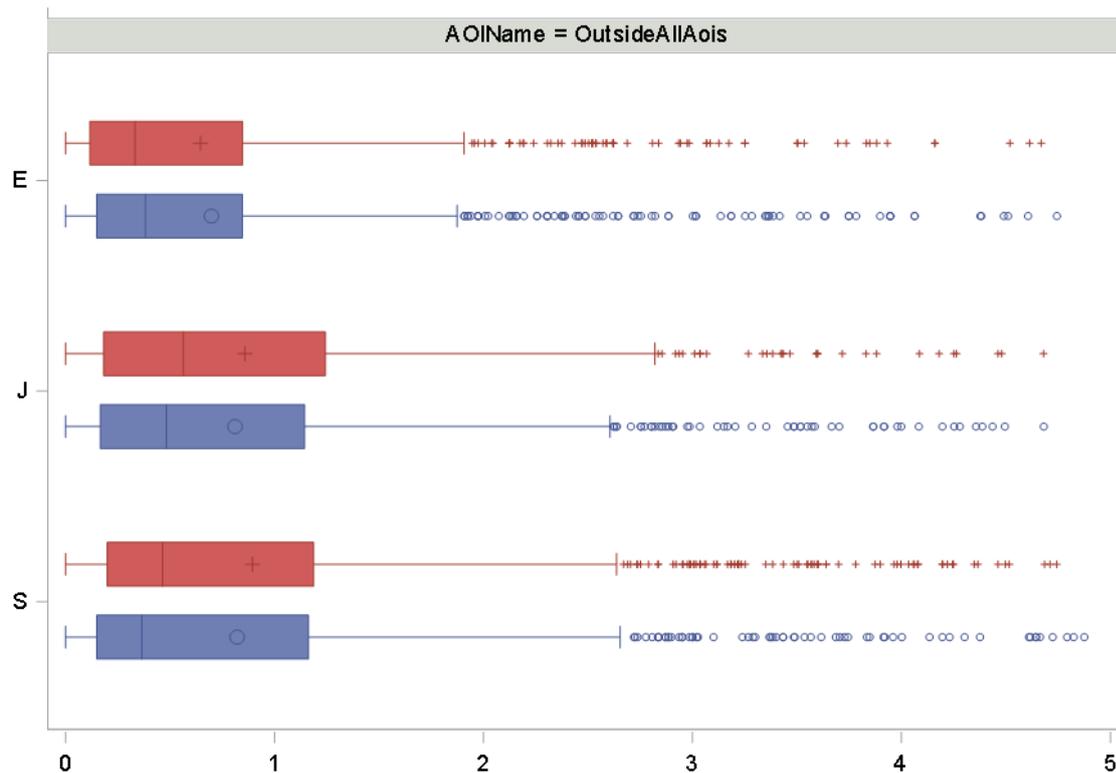


Abb.24: Zeitspanne bis zur ersten Fixation eines beliebigen Bereiches außerhalb der AOIs der Aufnahme in Sekunden. Vergleich zwischen Eltern (E), Jugendlichen (J) und Studierenden (S). Unterschieden wird zwischen Aufnahmen mit Anwendung eines Plaquerelevators (rot) und nativen Aufnahmen (blau)

Im Vergleich dazu fällt auf, dass die Jugendlichen etwas schneller (0,32s ohne Anwendung eines Plaquerelevators und 0,28s mit Anwendung eines Plaquerelevators) eine AOI in Bildern mit angefärbten Zähnen fixierten als Studierende (0,32s ohne Anwendung eines Plaquerelevators und 0,32s mit Anwendung eines Plaquerelevators) und Eltern (0,35s ohne Anwendung eines Plaquerelevators und 0,35s mit Anwendung eines Plaquerelevators), die länger brauchten (Abb. 25).

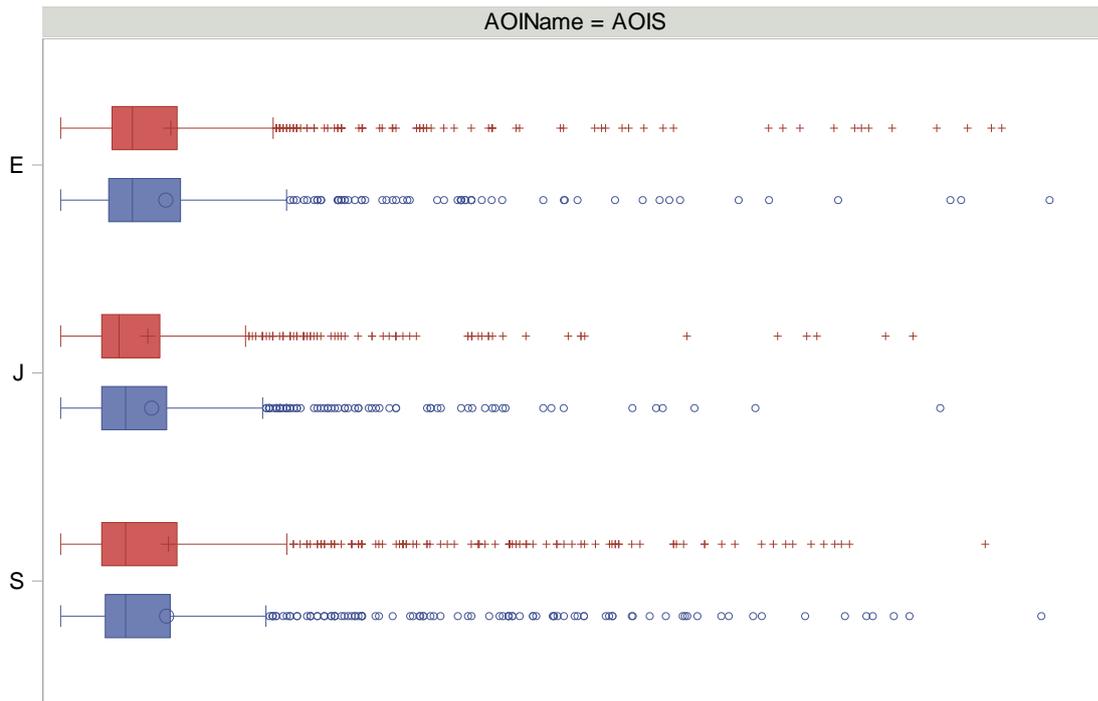


Abb.25: Zeitspanne bis zur ersten Fixation in einer AOI in Sekunden. Vergleich zwischen Eltern (E), Jugendlichen (J) und Studierenden (S). Unterschieden wird zwischen Aufnahmen mit Plaquerelevatoren (rot) und nativen Aufnahmen (blau)

4.5 Zeit bis zur ersten Fixation einer AOI

Anschließend wurden die Einflussgrößen auf die Zeit bis zur ersten Fixation in einer AOI mit einem Cox Proportional Hazard Modell mit Frailty-Parameter analysiert, dabei wurde Proband als zufälliger Effekt berücksichtigt. Als weitere Einflussgrößen wurde die objektive Bewertung, das vorgelegte Bild, Anwendung eines Plaquerelevators (ja/nein), sowie die Probandengruppe betrachtet.

Die Zeit bis zur ersten Fixation in einer AOI abhängig vom dargestellten Grad an Mundhygiene unterschied sich signifikant ($p=0,0373$). Es war kein Einfluss der Verwendung von Plaquerelevatoren auf die Zeit bis zur ersten Fixation in einer AOI erkennbar ($p=0,5663$). Es gab deutliche Unterschiede zwischen den einzelnen Aufnahmen im Hinblick auf die Zeit bis zur ersten Fixation in einer AOI auf ($p<0,0001$). Ebenso war ein Effekt auf die Zeit bis zur ersten Fixation in einer AOI erkennbar durch die Probandengruppe, also die Gruppe der Eltern, Studierenden und Jugendlichen. Es war eine deutliche Variabilität bei den Probanden mit Blick auf die Zeit bis zur ersten Fixation in einer AOI erkennbar ($p<0,001$).

Es wurde zusätzlich verglichen, wie sich die einzelnen Gruppen untereinander in der Zeit bis zur ersten Fixation in einem AOI unterscheiden. Die Eltern fixierten im Vergleich zu den Jugendlichen signifikant später in einem AOI. Die Hazard Ratio beträgt 0,55 mit einem 95%-Konfidenzintervall von [0,36, 0,85]

Die Hazard Ratio für Eltern gegenüber Studierenden beträgt 0,62 mit einem 95%-Konfidenzintervall von [0,40, 0,94]. Daraus geht hervor, dass Eltern signifikant später in einem AOI fixierten als Studierende.

Die Hazard Ratio für Jugendliche versus Studierende ergab 1,11 mit einem 95%-Konfidenzintervall von [0,73, 1,71]. Jugendliche fixierten also etwas früher in einem AOI als Studierende. Dieser Unterschied kann aber nicht als signifikant angesehen werden, da 95%-Konfidenzintervall die 1 enthält.

Ferner wurde untersucht, welchen Einfluss die objektive Bewertung der Bilder also der präsentierte Grad an Mundhygiene auf die Zeit bis zur ersten Fixation in einer AOI hatten. Hierfür wurden die Bewertungsstufen untereinander paarweise verglichen.

Die Hazard Ratio von Bildern mit der Bewertung 2 gegenüber einem Bild mit der Bewertung 7 beträgt 0,80 mit einem 95%-Konfidenzintervall von [0,64, 0,995]. Die Hazard Ratio mit Attin 3 versus Attin 7 beträgt 0,73 mit einem 95%-Konfidenzintervall von [0,59, 0,91]. Die Hazard Ratio mit Attin 4 versus Attin 7 beträgt 0,71 mit einem 95%-Konfidenzintervall von [0,57, 0,88]. Die Hazard Ratio mit Attin 7 versus Attin 10 beträgt 1,29 mit einem 95%-Konfidenzintervall von [1,04, 1,61]. Hieraus ist erkennbar, dass bei einem Bild mit der Bewertungsstufe 7 signifikant schneller in einer AOI fixiert wurde. Bei den übrigen paarweisen Vergleichen konnte keine Bewertungsstufe gefunden werden, bei denen signifikant schneller in einer AOI fixiert wurde.

4.6 Gesamtanzahl an Fixationen

Im Anschluss daran wurde die Gesamtzahl an Fixationen ermittelt. Unter Gesamtanzahl an Fixationen wird die Summe aller Fixationen in einem beliebigen Bereich beschrieben.

In den Bereichen der Aufnahmen außerhalb der AOIs hat die Gruppe der Eltern im Vergleich die meisten Fixationen (im Median 6 ohne Anwendung eines Plaquerelevators und 7 mit Anwendung eines Plaquerelevators). Die Gruppe der Studierenden hat im Median die geringste Anzahl an Fixationen außerhalb der AOI (5 ohne Anwendung eines Plaquerelevators und 5 mit Anwendung eines Plaquerelevators). Die Gruppe der Jugendlichen liegt mit ihrer Gesamtanzahl an Fixationen zwischen den Eltern und Studierenden (6 ohne Anwendung eines Plaquerelevators und 6 mit Anwendung eines Plaquerelevators).

Darüber hinaus wurde untersucht, wie viele Fixationen in den AOI lagen. Eltern fixierten im Median 10 Punkte bei Aufnahmen ohne Anwendung eines Plaquerelevators und 10 Punkte mit Anwendung eines Plaquerelevators. Jugendliche hatten mit 9 Punkten ohne Anwendung eines Plaquerelevators und 10 Punkten mit Anwendung eines Plaquerelevators eine vergleichbare Anzahl an Fixationen in AOIs. Die Gruppe der Studierenden hatte im Median die höchste Anzahl an Fixationen mit 11 Punkten bei Aufnahmen ohne Anwendung eines Plaquerelevators und 11 Punkten bei Aufnahmen mit Anwendung eines Plaquerelevators.

Zusammenfassend lässt sich erkennen, dass mehr Fixationen innerhalb der AOIs als außerhalb dieser in allen drei Gruppen vorlagen. Es stehen 6 Fixierungen in Aufnahmen ohne Plaquerelevatoren und 6 mit Plaquerelevatoren in Bereichen außerhalb der AOIs gegenüber 10 Fixierungen ohne Plaquerelevatoren und 10 mit Plaquerelevatoren in AOIs gegenüber. Die Gruppe der Studierenden hatte den Fokus ihres Blickverlaufs durchschnittlich mehr in AOIs und weniger außerhalb dieser im Vergleich zur Gruppe der Eltern und Jugendlichen.

Insgesamt scheint es, dass die Verwendung von Plaquerelevatoren keinen erheblichen Einfluss auf die Gesamtanzahl an Fixationen hat, da die Werte teils sehr dicht beieinander liegen (Abb. 26)

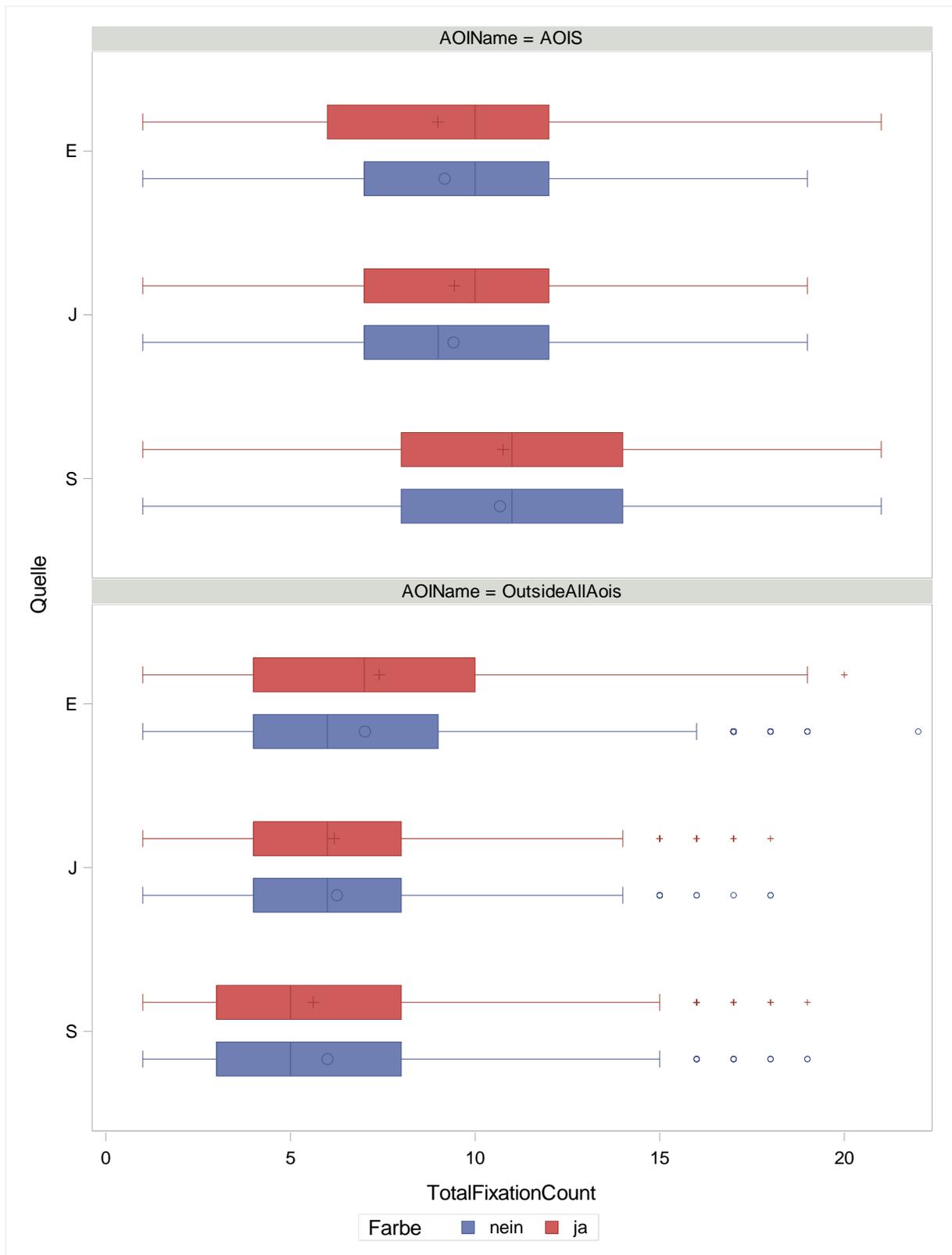


Abb.26: Anzahl an Fixationen. Vergleich zwischen Eltern (E), Jugendlichen (J) und Studierenden (S). Unterschieden wird zwischen Aufnahmen mit Anwendung eines Plaquerelevators (rot) und nativen Aufnahmen (blau)

4.7 Gesamtbetrachtungszeitraum

Es wurde außerdem analysiert, wie lange die Betrachtungszeit betrug und unterschieden, wie viel Zeit auf einen beliebigen Bereich fiel und wie lange in einer AOI verweilt wurde.

In einem beliebigen Bereich der Aufnahme außerhalb der AOIs war die mediane Verweildauer der Eltern am längsten mit einer Zeit von 1,38s ohne Plaquerelevatoren und 1,34s mit Plaquerelevatoren. Bei den Jugendlichen war die Betrachtungszeit außerhalb der AOIs im Median kürzer und lag bei Aufnahmen ohne Anwendung eines Plaquerelevators bei 1,16s und bei Aufnahmen mit Anwendung eines Plaquerelevators bei 1,10s. Im Median die geringste Zeit außerhalb der AOIs wiesen die Studierenden mit 1,08s bei Aufnahmen ohne Anwendung eines Plaquerelevators auf und 0,91s bei Aufnahmen mit Anwendung eines Plaquerelevators. Entsprechend fällt die Verteilung der Betrachtungszeit in AOIs aus. Die Jugendlichen fixierten AOIs eine geringere Zeitspanne 1,97s ohne Anwendung eines Plaquerelevators und 1,92s mit Anwendung eines Plaquerelevators. Eltern betrachteten AOIs im Vergleich dazu länger 2,22s ohne Anwendung eines Plaquerelevators und 1,99s mit Anwendung eines Plaquerelevators. Am längsten fixierte die Gruppe der Studierenden die AOIs mit 2,27s bei Aufnahmen ohne Anwendung eines Plaquerelevators und 2,26s bei Aufnahmen mit Anwendung eines Plaquerelevators. Beim Vergleich der Betrachtungszeit aller Gruppen in einer AOI und von Fokussierungen außerhalb der AOI wird ersichtlich, dass der Blick der Betrachter länger innerhalb der AOIs verweilte (2,16s ohne Anwendung eines Plaquerelevators und 2,06s mit Anwendung eines Plaquerelevators) als außerhalb dieser (1,18s ohne Anwendung eines Plaquerelevators und 1,13s mit Anwendung eines Plaquerelevators).

Grundsätzlich lässt sich sagen, dass Studierende den größten Fokus bei der Betrachtung der Aufnahmen auf die AOIs legen im Vergleich zu den beiden Vergleichsgruppen. Blickt man auf die Verteilung der NMiss, also Anzahl der Proband-Bilder-Kombination, bei denen überhaupt nicht auf Bereiche außerhalb der AOI geblickt wurde, sticht insbesondere die Gruppe der Studierenden hervor, die nur 4-mal in Aufnahmen mit Anwendung eines Plaquerelevators und 8-mal in Aufnahmen ohne Anwendung eines Plaquerelevators kein AOI fixierte. In der Gesamtheit konzentrierten sich alle Gruppen mehr auf die AOIs (Abb. 27).

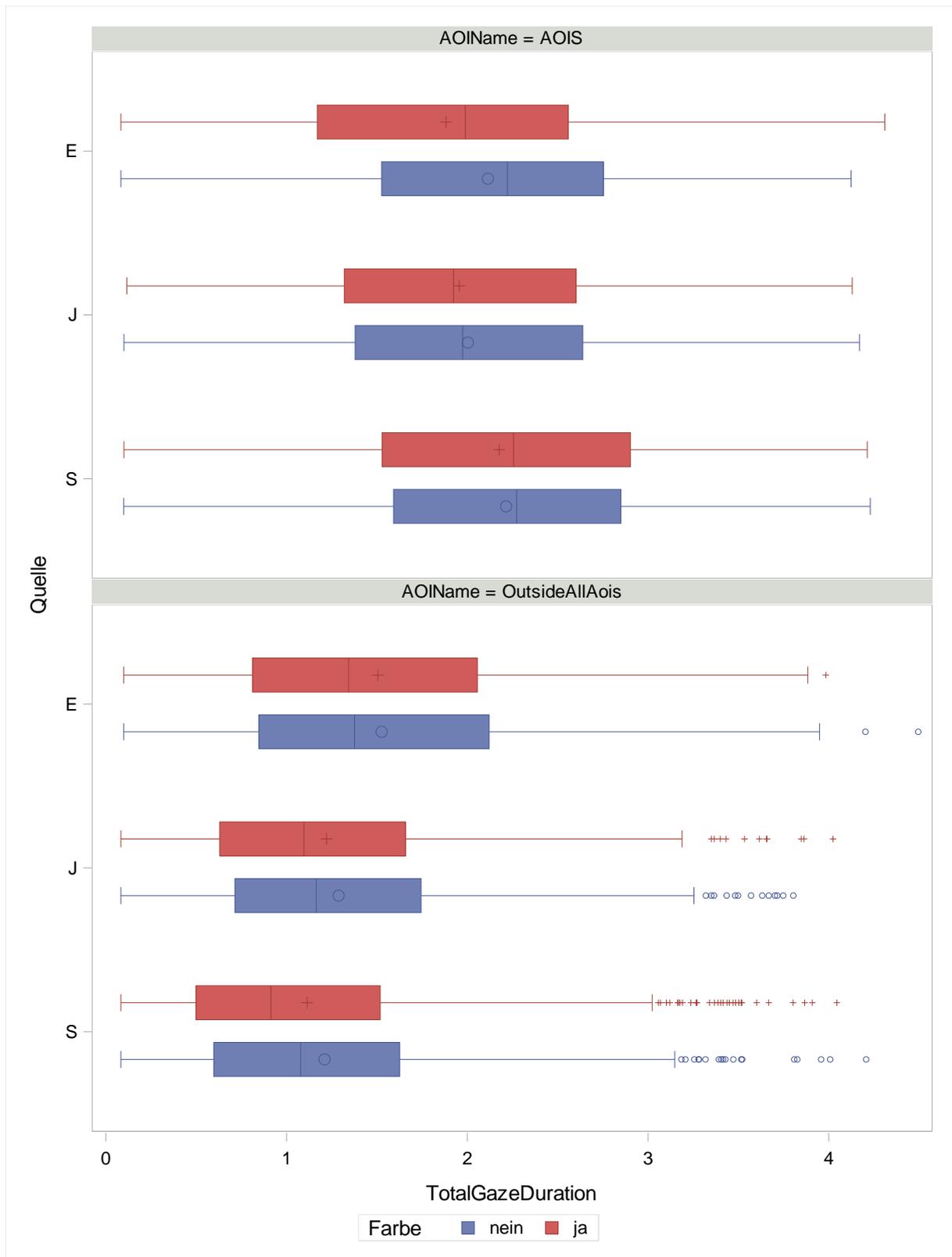


Abb.27: Betrachtungsdauer in Sekunden. Vergleich zwischen Eltern (E), Jugendlichen (J) und Studierenden (S). Unterschieden wird zwischen Aufnahmen mit Anwendung eines Plaquerelevators (rot) und nativen Aufnahmen (blau)

4.8 Fixierungsdauer

Es wurde darüber hinaus noch die Länge der einzelnen Fixierungen in einer Aufnahme aufgenommen. Beim Vergleich der mittleren Fixierungszeit waren Unterschiede erkennbar.

Außerhalb der AOIs dauerte eine Fixierung bei den Eltern im Median 0,22s und 0,20s bei der Betrachtung von Aufnahmen ohne und mit Anwendung eines Plaquerelevators. Jugendliche und Studierende erscheinen gleichauf mit einer medianen Fixierungszeit von 0,20s in Aufnahmen ohne Anwendung eines Plaquerelevators und 0,19s mit Anwendung eines Plaquerelevators.

Beim Vergleich mit der medianen Fixierungsdauer in einer AOI wurde ersichtlich, dass die Dauer in allen Gruppen etwas größer ist. Studierende lagen bei 0,20s ohne und mit Anwendung eines Plaquerelevators. Bei Jugendlichen lagen diese Werte bei 0,21s ohne Anwendung eines Plaquerelevators und 0,20s mit Anwendung eines Plaquerelevators. Die längste mittlere Fixierungsdauer in den AOIs wurde bei den Eltern festgestellt mit einer Dauer von 0,23s bei Aufnahmen ohne Anwendung eines Plaquerelevators und 0,21s mit Anwendung eines Plaquerelevators.

Zusammenfassend erscheint es als wäre die mittlere Fixierungszeit in den AOIs am längsten gewesen und dauerte bei der Gruppe der Eltern im Vergleich zur Gruppe der Jugendlichen und Studierenden länger an (Abb.28).

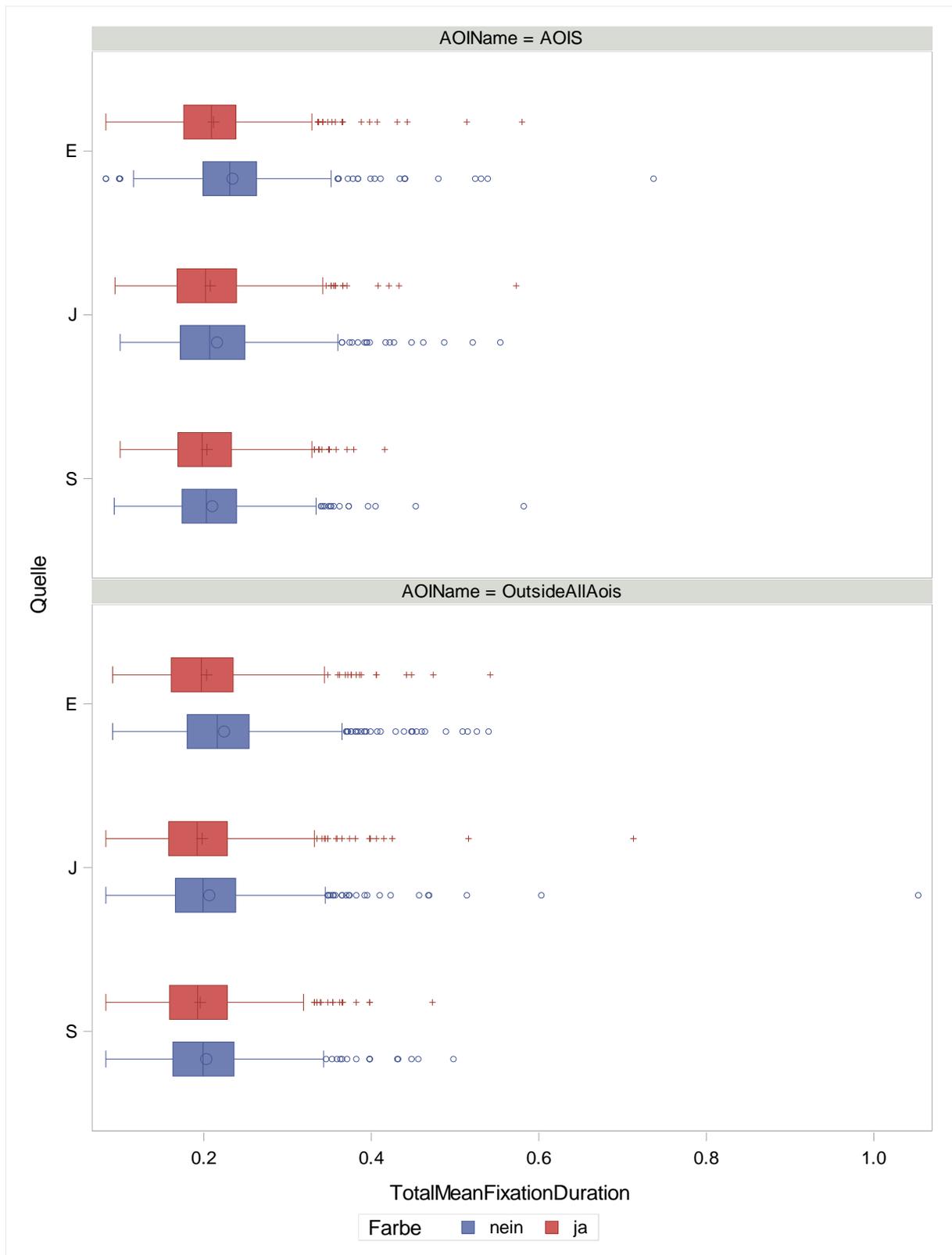


Abb.28: Fixierungsdauer in Sekunden. Vergleich zwischen Eltern (E), Jugendlichen (J) und Studierenden (S). Unterschieden wird zwischen Aufnahmen mit Anwendung eines Plaquerelevatoren (rot) und nativen Aufnahmen (blau)

4.9 Blickpfadlänge

Es wurde zudem die Länge der Blickpfade in Abhängigkeit von Bild, Anwendung eines Plaquerelevators und Probandengruppe in Pixel (px) analysiert.

Zunächst wurden die nativen Aufnahmen verglichen. Eltern weisen in Bezug auf den Median längere Blickpfadlängen zwischen 2802px und 3863px auf. Bei Jugendlichen schien diese Spanne im Median etwas kürzer zu sein und liegt zwischen 2554px und 3832px. Die Gruppe der Studierenden schien bei der Betrachtung der Aufnahmen die kürzesten Blickpfadlängen aufzuweisen, denn diese betragen im Median zwischen 2397px und 3544px. Es war auch erkennbar, dass in allen Gruppen die Aufnahmen mit Anwendung eines Plaquerelevators einen längeren Blickpfad aufwiesen.

Eltern hatten wieder die längsten Blickmuster und die Spanne reichte von 3326px bis 4686px. Bei den Jugendlichen war diese Distanz in Bezug auf die Medianwerte etwas kürzer und betrug zwischen 2601px und 4417px. Bei den Studierenden lag durch die Anwendung eines Plaquerelevators die Länge des Blickpfades zwischen 2613px und 3441px.

Die Studierenden wiesen die kürzesten Blickpfadlängen, gefolgt von den Jugendlichen und deren Eltern, welche die längsten Strecken aufwiesen.

Bei der Gegenüberstellung von Blickpfadlänge und dem Grad der präsentierten Mundhygiene nahm bei den nativen Aufnahmen die Blickpfadlänge ab der Bewertungsstufe 7 ab. Bei Aufnahmen mit Anwendung eines Plaquerelevators schien es vor allem in den sehr guten Bewertungsstufen 0 / 1 und bei der Bewertung 9 vor allem bei den Studierenden zu kürzeren Blickpfadlängen zu kommen (Abb.29, 30).

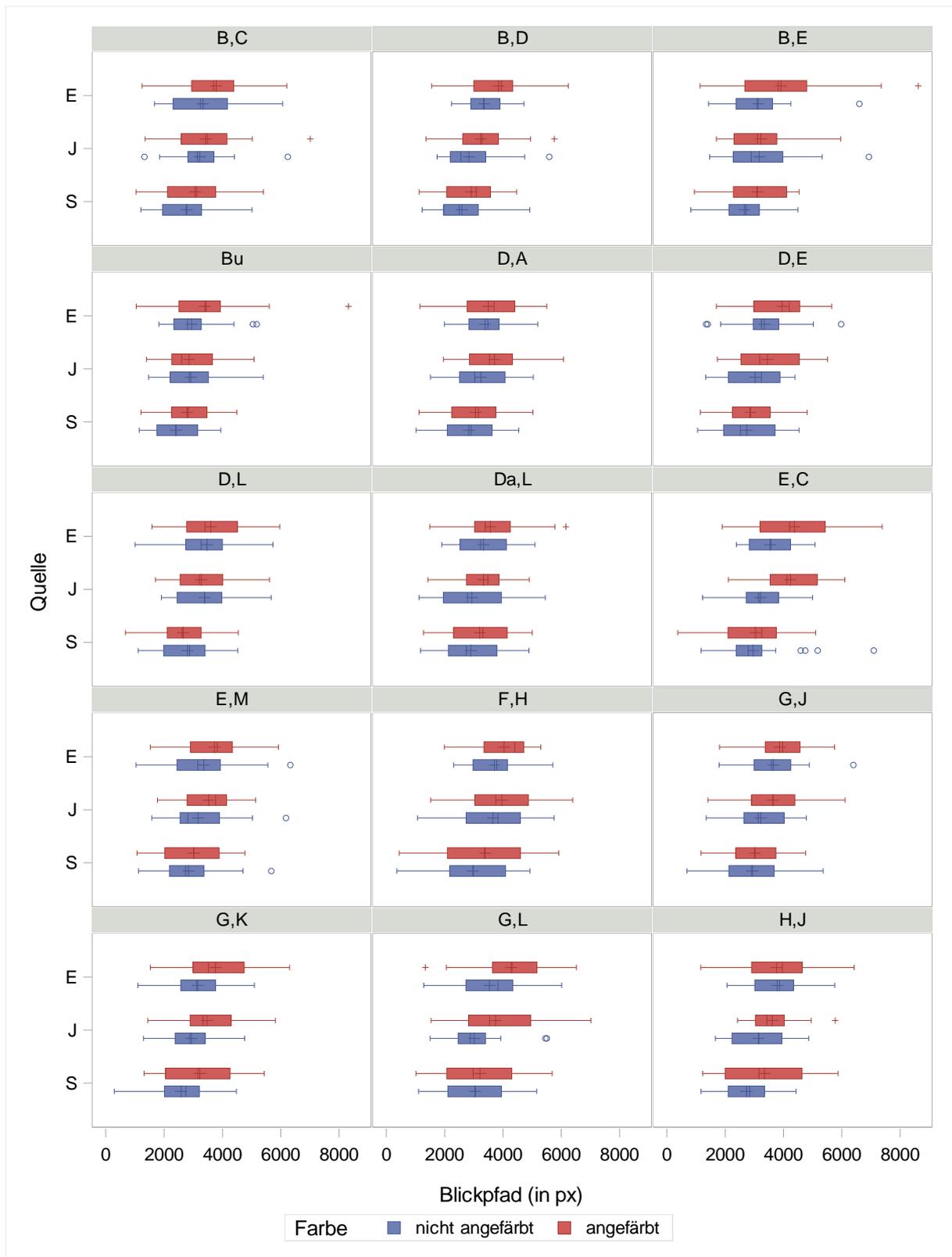


Abb.29: Blickpfadlänge in Pixel für jede Aufnahme. Vergleich zwischen Eltern (E), Jugendlichen (J) und Studierenden (S). Unterschieden wird zwischen Aufnahmen mit Anwendung eines Plaquerelevators (rot) und nativen Aufnahmen (blau)

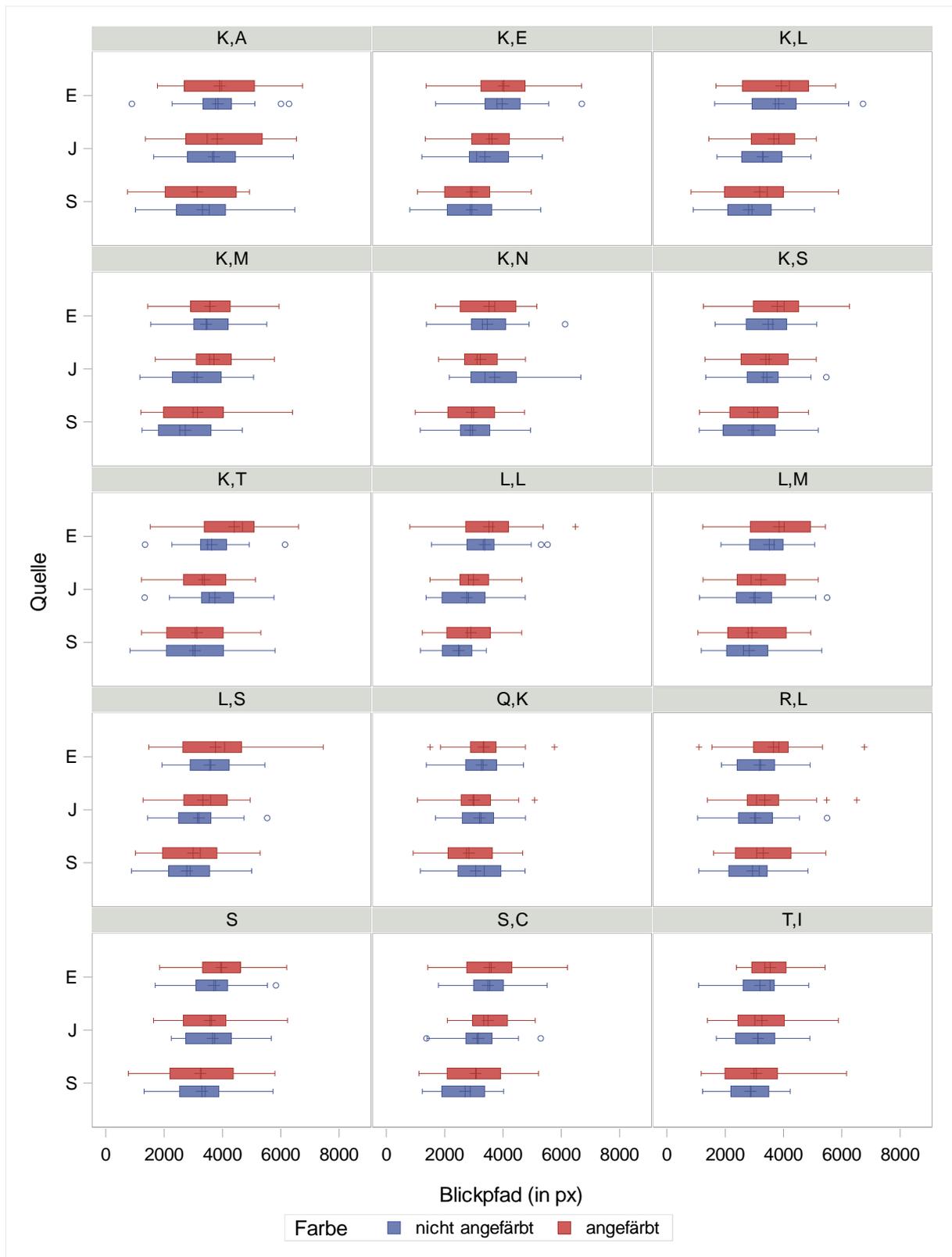


Abb.30: Blickpfadlänge in Pixel für jede Aufnahme. Vergleich zwischen Eltern (E), Jugendlichen (J) und Studierenden (S). Unterschieden wird zwischen Aufnahmen mit Anwendung eines Plaquerelevators (rot) und nativen Aufnahmen (blau)

Die Abhängigkeit der Blickpfadlänge von den potenziellen Einflussgrößen objektive Bewertung, Anwendung eines Plaquerelevators und Probandengruppe wurden in einem gemischten linearen Modell untersucht mit diesen Variablen als festen Effekten. Dabei wurden auch Interaktionen zwischen den Einflussgrößen berücksichtigt. Bild und Proband wurden als zufällig Effekte berücksichtigt. Es ist erkennbar, dass die objektive Bewertung einen signifikanten Einfluss auf die Blickpfadlänge hat ($p = 0,0007$). Der Grad an präsentierter Mundhygiene beeinflusste also die Länge der Blickmuster. Die Verwendung von Plaquerelevatoren ($p < 0,0001$) und die Probandengruppe ($p < 0,0001$) hatten ebenfalls einen signifikanten Einfluss auf die Blickpfadlänge. Mögliche Interaktionen zwischen den Einflussfaktoren sind nicht signifikant, d. h. die Effekte können als additiv betrachtet werden (Abb.31).

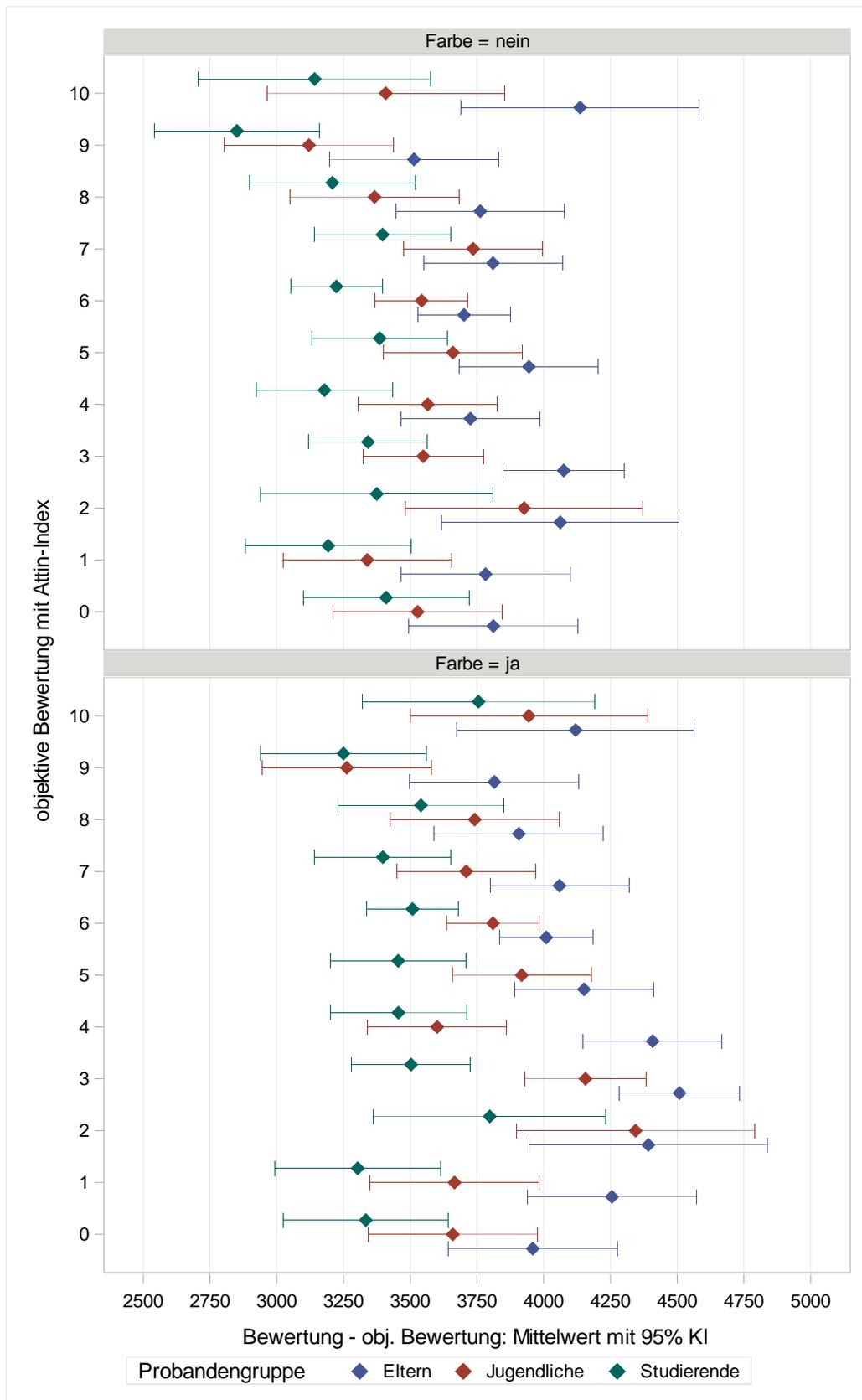


Abb.31: Mittlere Blickpfadlänge in Pixel mit 95%-Konfidenzintervallen. Vergleich zwischen Eltern (blau), Jugendlichen (rot) und Studierenden (grün). Unterschieden wird zwischen Aufnahmen mit Anwendung eines Plaquerelevators (unten) und nativen Aufnahmen (oben) und sortiert nach objektiver Bewertung der Mundhygiene mit Attin-Index

4.10 Bewertung der Mundhygiene

Es wurde die Bewertung des präsentierten Grades an Mundhygiene in jeder Aufnahme und ihre Abweichung von der objektiv festgelegten Bewertung analysiert.

Eltern schienen die Mundhygiene insgesamt als schlechter einzuschätzen. Sie schätzten diese bei einer Aufnahme ohne Anwendung eines Plaquerelevators als sehr treffend ein (Mediane Abweichung = 0), bei der Anwendung eines Plaquerelevators wurde die Mundhygiene im Median um einen Punkt schlechter eingeschätzt. Jugendliche schienen in Bezug auf den Median die Mundhygiene bei Aufnahmen ohne Anwendung eines Plaquerelevators treffend einzuschätzen (Mediane Abweichung = 0) und bei Anwendung eines Plaquerelevators im Median um einen Punkt schlechter. Es ist aber erkennbar, dass der Interquartilsabstand bei den Jugendlichen etwas größer ist (ohne Anwendung eines Plaquerelevators: Q1: -3; Q3: 2 und mit Anwendung eines Plaquerelevators: Q1: -1; Q3: 2) und Eltern eine Tendenz zur treffenderen Bewertung bzw. zu einer strengeren Bewertung haben (ohne Anwendung eines Plaquerelevators: Q1: -2; Q3: 2 und mit Anwendung eines Plaquerelevators: Q1: 0; Q3: 3). Die Mundhygienebewertung der Studierenden erschien im Vergleich zu den Laien am treffendsten zu sein (Mediane Abweichung 0 mit und ohne Anwendung eines Plaquerelevators) mit einem etwas geringeren Interquartilabstand (ohne Anwendung eines Plaquerelevators: Q1: -2; Q3: 1 und mit Anwendung eines Plaquerelevators: Q1: 0; Q3: 2).

Die Anwendung eines Plaquerelevators bei allen Gruppen hatte einen Einfluss auf die Bewertung und die Mundhygiene so als schlechter eingestuft wurde und ohne Anwendung eines Plaquerelevators wurde sie als sauberer eingestuft (1 mit und 0 ohne Anwendung eines Plaquerelevators) (Abb. 32).

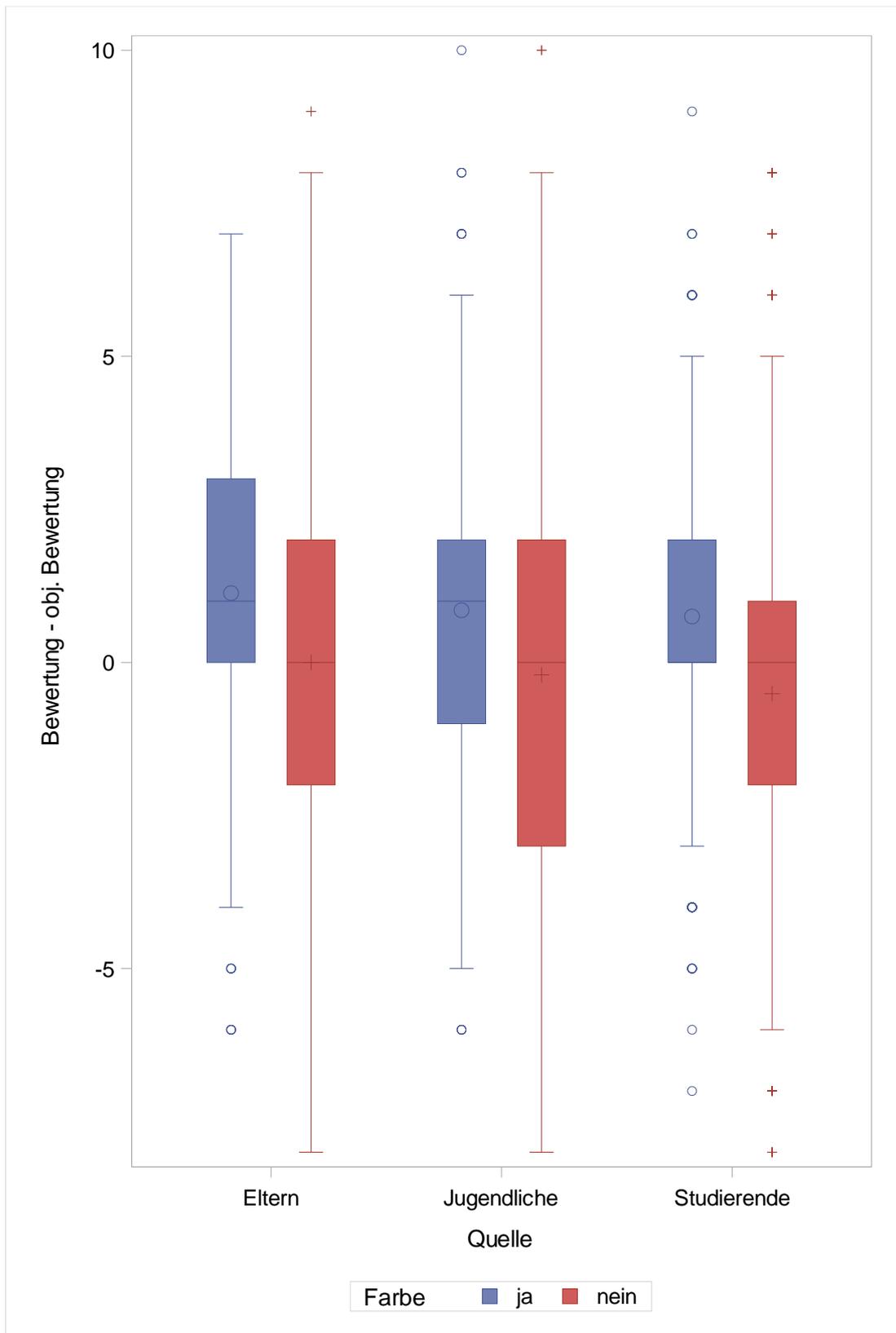


Abb.32: Abweichung der subjektiven Bewertung von der objektiven Bewertung in Bewertungsstufen. Vergleich zwischen Eltern, Jugendlichen und Studierenden. Unterschieden werden Aufnahmen mit Anwendung eines Plaquerelevators (blau) und native Aufnahmen (rot)

Die subjektiven Bewertungen der Probanden im Median wiesen typische Boden- und Deckeneffekte auf. Im Diagramm sind die Ergebnisse der Anpassung eines gemischten linearen Modells für die subjektive Bewertung dargestellt. In diesem Modell sind Anwendung eines Plaquerelevators, Probandengruppe und objektive Bewertung als feste Faktoren berücksichtigt, einschließlich Interaktionen zwischen diesen Faktoren. Bild und Proband wurden als zufällige Faktoren berücksichtigt.

An den Enden der Bewertungsskala sind größere Differenzen zwischen objektiver und subjektiver Bewertung möglich, so dass die Streuung jeweils an den Enden der Bewertungsskala am größten ist. Dies fällt sowohl bei den Aufnahmen ohne Anwendung eines Plaquerelevators als auch bei denen mit auf. Die Anwendung eines Plaquerelevators führte zu einer scheinbar höheren Präzision der Bewertung unter den Eltern, Jugendlichen und Studierenden (Abb.33).

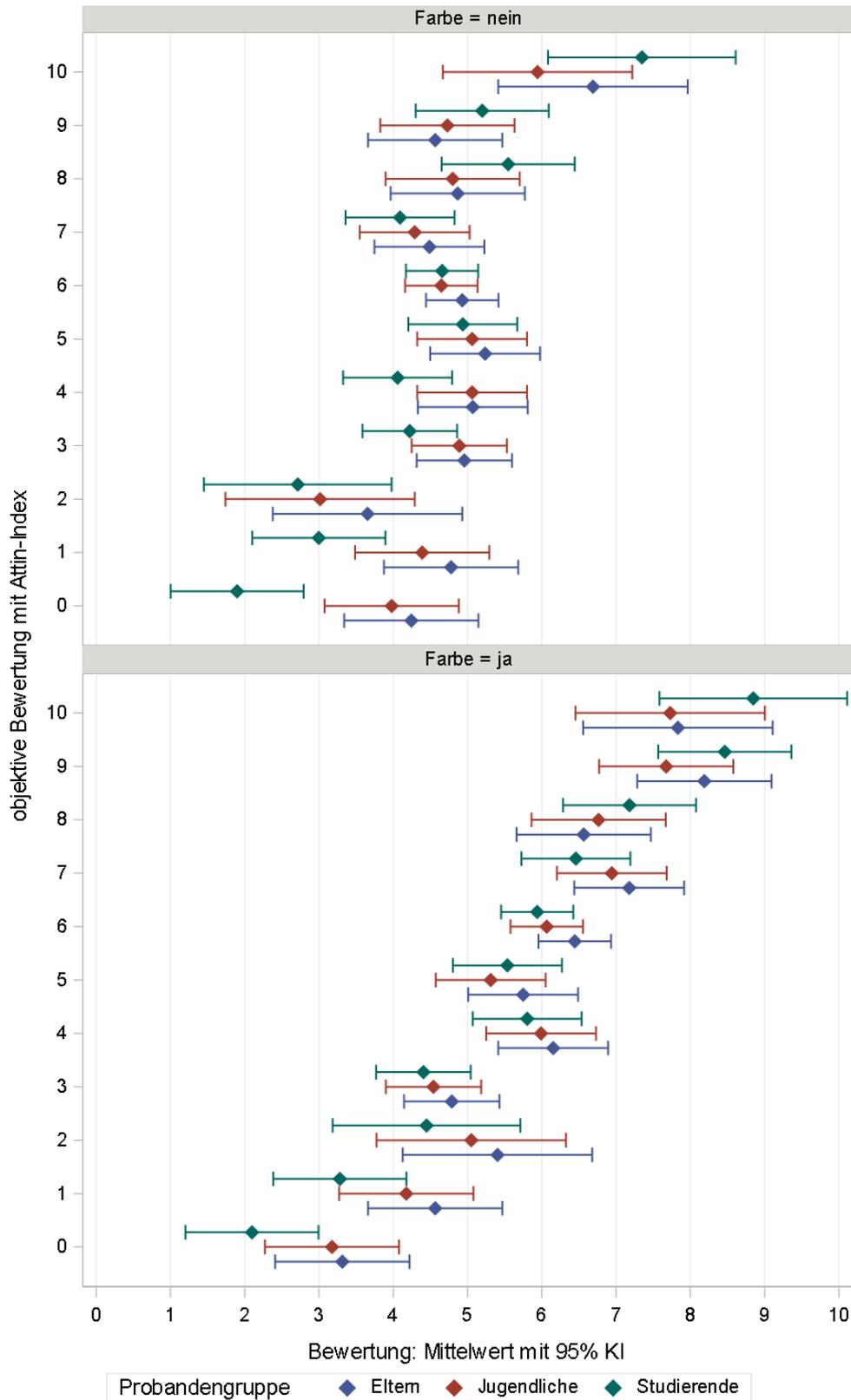


Abb.33: Die Anwendung eines Plaquerelevators hat Einfluss: subjektive Bewertung der Mundhygiene. Vergleich zwischen Eltern (blau), Jugendlichen (rot) und Studierenden (grün). Unterschieden wird zwischen Aufnahmen mit Plaquerelevatoren (unten) und nativen Aufnahmen (oben) und sortiert nach objektiver Bewertung der Mundhygiene mit Attin-Index.

Die objektive Bewertung, also der Grad der präsentierten Mundhygiene, hat einen signifikanten Einfluss ($p < 0,001$) auf die Abweichung von der objektiven Bewertung. Ebenso ist der Einfluss der Anfärbung mit Plaquerelevatoren signifikant ($p < 0,001$). Zwischen der objektiven Bewertung und der Anwendung eines Plaquerelevators besteht eine Wechselwirkung, die signifikant ist ($p < 0,001$). Der Effekt der objektiven Bewertung auf die Abweichung von der objektiven Bewertung ist unterschiedlich je nachdem, ob ein Plaquerelevator angewendet wurde oder nicht. Die Bewertung wird also durch den Grad an präsentierter Mundhygiene und durch Anwendung eines Plaquerelevators nicht einfach additiv beeinflusst. Die unterschiedlichen Probandengruppen haben einen signifikanten Einfluss auf die subjektive Bewertung des präsentierten Grades an Mundhygiene ($p < 0,001$). Es ist eine Wechselwirkung zwischen den verschiedenen Probandengruppen und der objektiven Bewertung der Aufnahmen erkennbar ($p < 0,001$). Offenbar wird die Mundhygiene von den verschiedenen Gruppen abhängig vom Grad der präsentierten Mundhygiene unterschiedlich bewertet. Die Interaktion zwischen der Anwendung eines Plaquerelevators und Probandengruppe ist nicht signifikant ($p = 0,3156$), wodurch verdeutlicht wird, dass die Anwendung eines Plaquerelevators bei allen drei Probandengruppen den gleichen Effekt bei der Betrachtung des präsentierten Grades an Mundhygiene bewirkten. Es gibt keinen Hinweis auf eine 3-Faktor-Wechselwirkung von Anwendung eines Plaquerelevators, Quelle und objektiver Bewertung ($p = 0,6075$).

In Abb. 34 sind die Ergebnisse der Anpassung eines gemischten linearen Modells für die subjektive Bewertung dargestellt. In diesem Modell sind die Anwendung eines Plaquerelevators, Probandengruppe und objektive Bewertung als feste Faktoren berücksichtigt, einschließlich Interaktionen zwischen diesen Faktoren. Bild und Proband wurden als zufällige Faktoren berücksichtigt. Hier wird der Effekt der Anwendung eines Plaquerelevators nochmal deutlich. Die Werte wirken ohne Anwendung eines Plaquerelevators weiter gestreut. Mit Anwendung eines Plaquerelevators verringert sich die Amplitude der Medianwerte und bewegen sich um 0, was eine treffende Bewertung bedeutet.

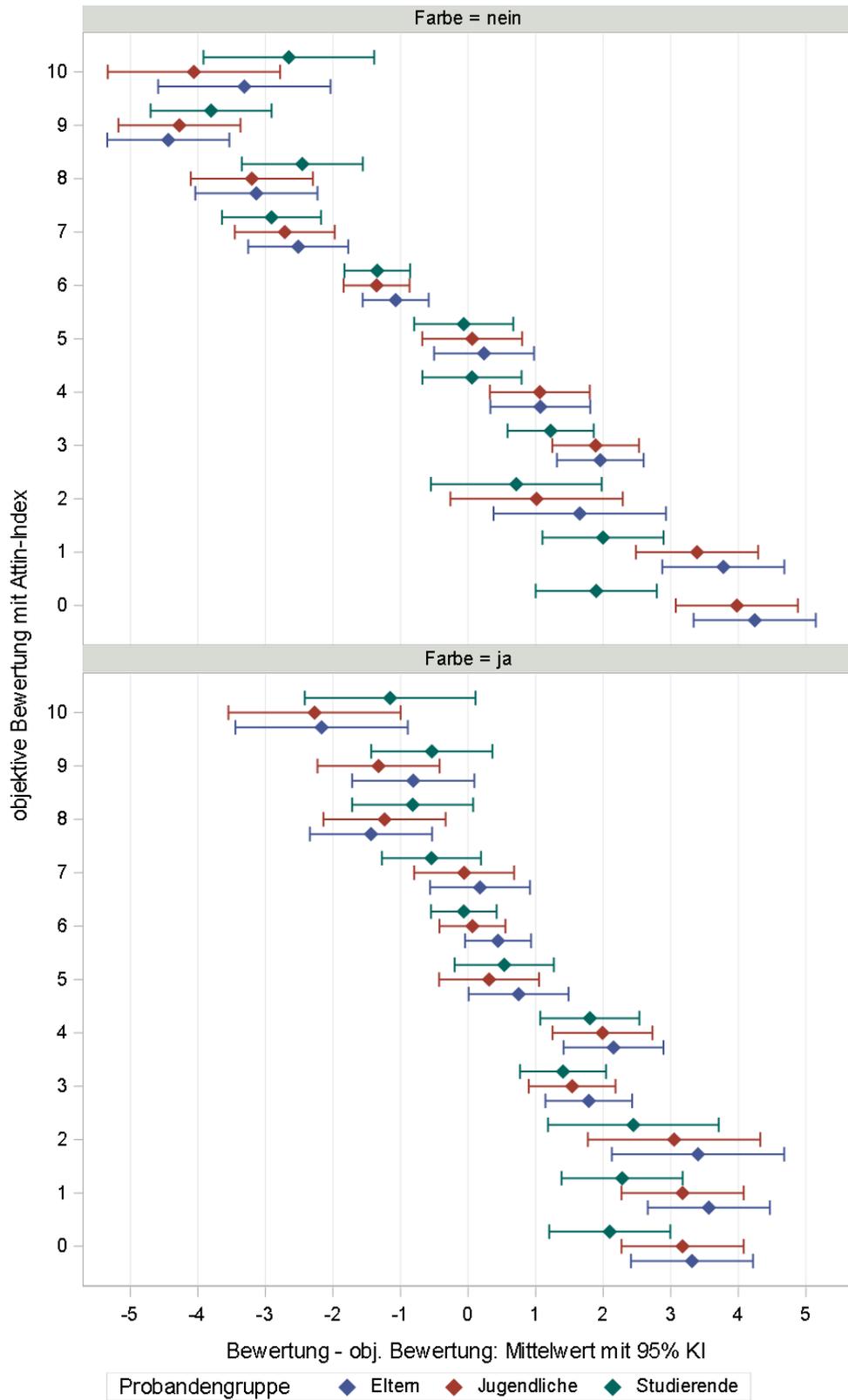


Abb.34: Abweichung der subjektiven Bewertung der Mundhygiene von der objektiven. Vergleich zwischen Eltern (blau), Jugendlichen (rot) und Studierenden (grün). Unterschieden wird zwischen Aufnahmen mit Plaquerelevatoren (unten) und nativen Aufnahmen (oben) und sortiert nach objektiver Bewertung der Mundhygiene mit Attin-Index.

4.11 Zusammenhang zwischen Putzverhalten und Bewertung

Für die Überprüfung des Zusammenhangs zwischen dem Putzverhalten der Jugendlichen und ihrer Bewertung der Aufnahmen wurde ein gemischtes lineares Modell mit Anwendung eines Plaquerelevators, Putztechnik, Putzdauer und objektive Bewertung als festen Faktoren sowie Bild und Proband als zufälligen Faktoren angewandt. Eine Interaktion zwischen der Anwendung eines Plaquerelevators und objektiver Bewertung wurde berücksichtigt. Zielgröße war die Abweichung von der subjektiven von der objektiven Bewertung.

Die Putzdauer hatte einen deutlichen Einfluss auf die Abweichung von der objektiven Bewertung ($p < 0,001$). Die Verwendung der Schrubbtechnik und der modifizierten Basstechnik zeigte keinen signifikanten Einfluss auf die Bewertung. Die Verwendung der Rotationstechnik schien mit der Abweichung von der objektiven Bewertung zu korrelieren.

Es scheint klar erkennbar, dass mit steigender Putzzeit der Jugendlichen die Mundhygiene kritischer bewertet wurde. Ebenso ist hier auch der Effekt der Anwendung eines Plaquerelevators klar erkennbar. Die Gruppe der Jugendlichen, die 120s und länger putzten bewerteten die Aufnahmen am strengsten, und so wie es scheint teils sehr streng, vor allem bei Betrachtung der Aufnahmen mit guter oder sehr guter Mundhygiene. Die Gruppe der Jugendlichen mit einer Putzzeit zwischen 45s und 60s schätzten die Mundhygiene insgesamt als besser ein. War der präsentierte Grad an Mundhygiene gut bis sehr gut, schienen die Jugendlichen diese treffend zu bewerten, wurden jedoch mit sinkendem Niveau des Grades der präsentierten Mundhygiene bei ihrer Bewertung immer wohlwollender. Die Gruppen, die zwischen 60s und 90s putzten und die zwischen 90s und 120s putzten bewerteten mit steigender Putzzeit strenger (Abb.35).

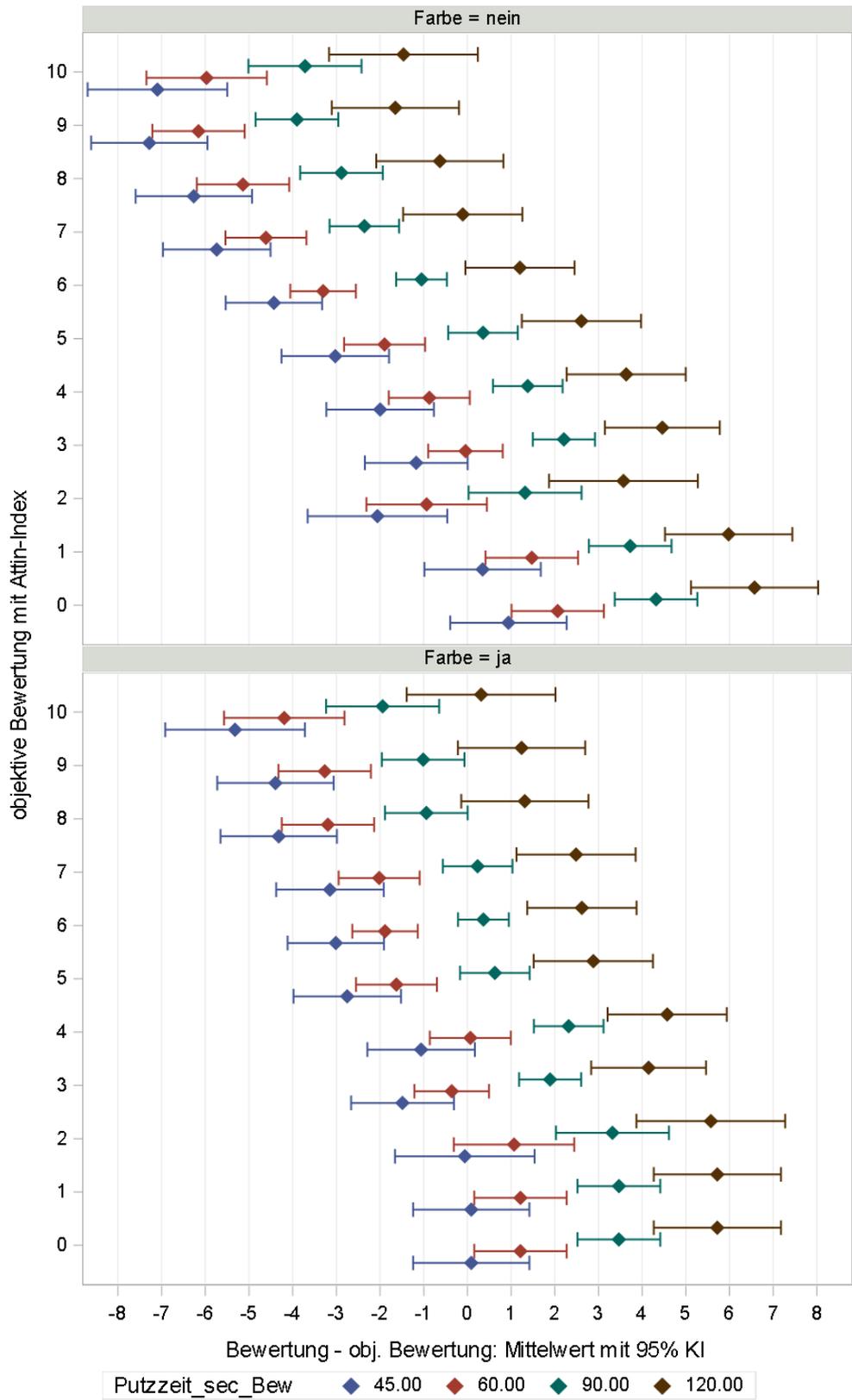


Abb.35: Abweichung der subjektiven Bewertung der Mundhygiene von der objektiven sortiert nach Vergleich nach Putzzeit der Jugendlichen (blau= 45s, rot=60s, grün=90s, braun=120s). Unterschieden wird zwischen Aufnahmen mit Anwendung eines Plaquerelevators (unten) und nativen Aufnahmen (oben) und sortiert nach objektiver Bewertung der Mundhygiene mit Attin-Index.

Zusätzlich wurde untersucht, wie die jugendlichen Probanden ihre eigenen Aufnahmen bewertet haben und ob sich eine Abweichung von der objektiven Bewertung der Mundhygiene mit dem Attin-Index ergibt.

Es scheint eine Tendenz erkennbar zu sein, dass sich Patienten mit einer sehr guten bis guten Mundhygiene, also mit der Bewertung 0-3, ihre nativen Aufnahmen strenger bewerten. Patienten, die eine objektive Bewertung zwischen 4 und 6 aufweisen bewerten ihre Mundhygiene tendenziell als besser. Alle Patienten mit einer objektiven Bewertung ab 7 schätzten ihre Mundhygiene sauberer ein als sie tatsächlich ist.

Bei den Probandengruppen mit sehr guter und sehr schlechter Mundhygiene also 0-3 und 7-10 scheint erkennbar zu sein, dass sich die Einschätzung ihrer Mundhygiene durch den Einsatz von Plaquerelevatoren nicht wesentlich ändert. In der mittleren Gruppe von 4-6 bewerteten insgesamt strenger (Abb.36).

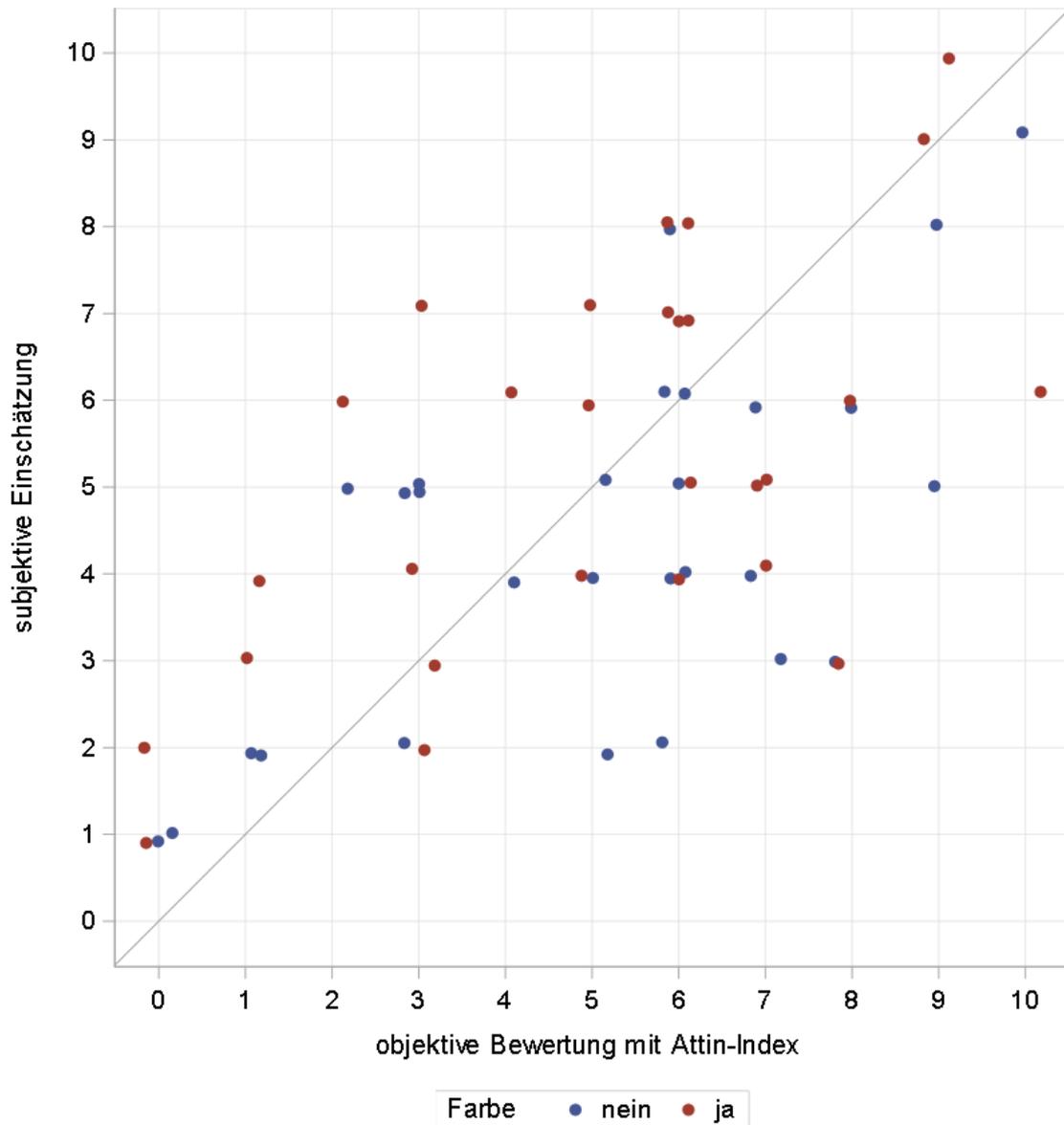


Abb.36: Abweichung der subjektiven Einschätzung von der objektiven Bewertung mit dem Attin-Index. Unterschieden wird zwischen Aufnahmen mit Anwendung eines Plaquerelevators (rot) und nativen Aufnahmen (blau)

5 Diskussion

Aktuell liegt keine Studie vor, die sich mit der visuellen Wahrnehmung des Mundhygienestatus bei Patienten mit einer Multibracket-Apparatur, beschäftigt. Das Ziel dieser Studie war es herauszufinden, ob sich die visuelle Wahrnehmung der Mundhygiene bei Jugendlichen, deren Eltern und Zahnmedizinierenden unterscheidet. Zusätzlich wurde der Einfluss von Plaquerelevatoren bei der Betrachtung und der Bewertung präsentierten des Grades der Mundhygiene untersucht. Außerdem wurde analysiert, ob ein Zusammenhang zwischen dem Putzverhalten und der Mundhygienewahrnehmung besteht.

5.1 Diskussion von Material und Methode

5.1.1 Probandengut

Bei der Auswahl des Probandenguts wurde sich unter Berücksichtigung der Ein- und Ausschlusskriterien darum bemüht, ein möglichst breites Spektrum abzubilden, um so die volle Skala des Attin-Indexes von 0-10 abbilden zu können.

Ursprünglich wurden in Absprache mit dem IMBEI 90 Personen für die Datenerfassung der Studie festgelegt, also 30 Studierende, 30 Jugendliche und 30 Eltern. Demnach war es notwendig, dass nicht nur der jugendliche Proband teilnehmen wollte, sondern auch einer der Erziehungsberechtigten. Bei zwei der vorgesehenen Jugendlichen und deren Eltern konnte auf Grund des Infektionsgeschehens des Coronavirus SARS-CoV-2 und der ab März 2020 eingeführten Hygiene- und Besuchsregeln an der Universitätsmedizin der Johannes Gutenberg-Universität Mainz keine Untersuchung durchgeführt werden.

Bei den Studierenden wurde bei der Auswahl darauf geachtet, dass diese mindestens das 4. klinische Semester abgeschlossen hatten. Wichtig war, dass diese bereits Gelegenheit hatten, den Grad der Mundhygiene bei Patienten zu bestimmen und entsprechend zu therapieren.

Es ergab sich ein Verhältnis von Experten zu Laien von 1:2. Dieses Verhältnis lag auch bei der Studie von Turgeon et al.(61) vor, die die Analysefähigkeit von Studierenden und erfahrenen Radiologen bei der Befundung von Panoramaschichtaufnahmen untersuchten.

Andere medizinische beziehungsweise zahnmedizinischen Studien unter Einsatz der Eye-Tracking-Technologie wiesen ähnliche Teilnehmerzahlen auf. Diese Studien wiesen zwar unterschiedliche Teilnehmeranzahlen auf, welche zwischen 45 und 60 lag. Das Verhältnis von Experten zu Laien bzw. Auszubildenden betrug jedoch immer 1:2(61, 163, 164). Andere Studien hatten ein Teilnehmerverhältnis von 1:1, wobei die Gesamtanzahl zwischen 6 und 140 lag(52, 53, 58, 75, 87, 93, 165-168). Wiederum andere Studien untersuchten nur eine Gruppe von Probanden mit Teilnehmerzahlen zwischen 5 und 95(92, 169, 170).

Im Bereich der Radiologie wurden vor allem Vergleichsstudien mit Probanden unterschiedlicher Erfahrung durchgeführt beziehungsweise der Einfluss von intensiven Trainingseinheiten auf die Befundungsfähigkeit analysiert. Die Anzahl der Probandengruppen variierte zwischen 3-6 Gruppen mit einer Gesamtteilnehmeranzahl zwischen 21 und 48 Teilnehmern(49, 54, 60, 171-173).

In Bezug auf die Teilnehmerzahl sticht eine aktuelle Studie von Asik et al.(86) hervor, die 195 Teilnehmer untersuchte. 4 Gruppen bestehend aus Zahnärzten, Kieferorthopäden, Laien und Patientenangehörigen betrachteten 11 Aufnahmen und es wurde die Wahrnehmung von Mittelliniendeviationen und die Attraktivität des Lächelns bewertet.

5.1.2 Erhebung von Putzzeit und Putztechnik

Die Putzzeit und Putztechnik wurde bei allen Teilnehmern nach Anwendung eines Plaquerelevators der Zähne erfasst. Die Probanden handhabten die Mundhygiene vor dem kieferorthopädischen Termin sehr unterschiedlich. Manche hatten die Zähne schon zu Hause geputzt (n=9), andere reinigten diese an der Hygienestation der Poliklinik für Kieferorthopädie (n=11) und wieder andere hatten die Zähne vor dem Termin nicht geputzt (n=8). Da die Erfassung der Zahnputzdaten möglichst unverfälscht aufgenommen werden sollte, wurden alle Probanden nach erfolgter Applikation des Plaquerelevators instruiert, ihre Zähne zu putzen. Dabei wurden die Teilnehmer unbemerkt über einen Spiegel beobachtet, die Putztechnik analysiert und die Putzzeit unauffällig gestoppt. Ein ähnliches Vorgehen nutzten auch Deinzer et al.(174), die in ihrer Studie das Zahnputzverhalten von 12-jährigen über einen Spiegel mit einer Videokamera aufzeichneten. Die Vorgabe für die Studienteilnehmer war, die Zähne so gut wie möglich zu reinigen. Da in dieser Studie Ziel war, das alltägliche

Putzverhalten zu analysieren, wurde nur die Möglichkeit gegeben, die Zähne nach Anwendung des Plaquerelevators zu reinigen.

Es ist zu diskutieren, ob die Applikation des Plaquerelevators einen Einfluss auf die Putzzeit hatte, da die Plaque für die Probanden nun deutlicher sichtbar war. Dies schien die Probanden allerdings überhaupt nicht zu beeinflussen, sie putzten ihre Zähne offenbar nach gewohntem Muster und beendeten die Reinigung auch wenn die Zähne noch Plaquerelevator zeigten. Es schien die Tendenz erkennbar, dass die Probanden, die eine entsprechend schlechtere Mundhygiene aufwiesen sich auch mit noch verbliebendem Plaquerelevator auf den Zähnen zufriedengaben und entsprechend legten Teilnehmer mit einer besseren Mundhygiene Wert darauf, den Plaquerelevator vollständig zu entfernen.

5.1.3 Eye-Tracking-System als Forschungsinstrument

Wie die meisten Untersuchungsmethoden, ist die Eye-Tracking-Technologie gewissen Grenzen unterworfen, wodurch Messungenauigkeiten oder Messfehler entstehen können.

Als erste mögliche Fehlerquelle muss daher der Eye-Tracker genannt werden, welcher das eine Ende des optischen Gefüges darstellt. Würden die technischen Vorgaben nicht minutiös eingehalten werden, entstünde ein Füllhorn an Verfälschungen. Es wurde sich daher bemüht, die Rahmenbedingungen wie sie unter 3.2.1 beschrieben wurden, zu standardisieren, um Messfehlern vorzubeugen. Insbesondere bei Aufbau und Anwendung des Eye-Tracking-Systems wurde sich an die Protokolle des Herstellers gehalten, um negative Einflüsse auf das optische Gefüge so gering wie möglich zu halten. Deshalb war die Kamera fest mit dem Bildschirm verbunden. Wechselnden Lichtverhältnissen, zum Beispiel bedingt durch unterschiedliche Sonneneinstrahlung, wurden entgegengewirkt, indem der Untersuchungsraum abgedunkelt wurde, sodass lediglich die Deckenbeleuchtung vorhanden war.

Auf der anderen Seite des optischen Gefüges, beim jeweiligen Probanden, wurde eine Umgebung geschaffen, die es ermöglichte, dass ausschließlich dessen Augenbewegung aufgezeichnet wurde. Dafür wurde er in einer bequemen Sitzposition auf einem unbeweglichen Stuhl in einheitlichem Abstand mit einer Kinnstütze stabilisiert, was dazu beitrug, die Ungenauigkeiten durch zusätzliche Kopfbewegungen zu eliminieren. Aus diesem Grund erfolgte die Bewertung der einzelnen Aufnahmen mündlich und nicht beispielsweise schriftlich auf einem Bewertungsbogen.

Zudem wurde im Rahmen der Kalibrierungsphase darauf geachtet, dass die Pupille vom System richtig erfasst wurde. Ohne diese Konfiguration würden sonst die gemessenen Blickpunkte von den tatsächlichen abweichen. Aus diesem Grund wurde die Kalibrierung solange durchgeführt, bis das System die Pupille richtig erkannte und nicht bereits mit dem Positionieren des Patienten mit der Durchführung begonnen. Die Erfassung der Pupille hätte durch eine Laserbehandlung oder das Tragen einer Sehhilfe negativ beeinflusst werden können. Im vorliegenden Probandengut gab es einen Teilnehmer, welcher eine Brille trug, wodurch die Kalibrierungsphase allerdings nicht negativ beeinflusst wurde und der Genauigkeitstest bestanden wurde.

Um Ablenkungen zu vermeiden, wurde die Untersuchung in einem ruhigen Raum durchgeführt und eventuell zu erwartende Störungen mit dem Eintritt einer Person durch ein entsprechendes Hinweisschild an der Eingangstür ausgeschlossen. Externe Reize hätten womöglich zu einer reflexartigen Augen- oder sogar Kopfbewegung führen können.

Bei der Durchführung wurden die Probanden einzeln untersucht, um einen Lerneffekt des wartenden Probanden auszuschließen. Da auch die Anwesenheit des Prüfarztes zu Ungenauigkeiten führen kann, bemühte er sich, standardisiert allen Probanden dieselben Information bei der Vorbereitung auf die Untersuchung zu geben und eine Beeinflussung der Teilnehmer zu vermeiden.

5.1.4 Mundhygienebewertung

Die Mundhygiene der Jugendlichen wurde auf Grundlage der Aufnahmen mit dem Attin-Index bewertet.

In der Zahnmedizin kommt international der Turesky-Index als Goldstandard in Studien zur Anwendung(175). Dieser bewertet allerdings die gesamte Zahnfläche und unterteilt diese nicht. Damit ist er bei kieferorthopädischen Patienten mit MBA zu unspezifisch. In kieferorthopädischen Studien wird nach Al-Anezi et al.(176) am häufigsten der Plaqueindex nach Silness und Loe verwendet. Dieser weist die Besonderheit auf, dass er nicht nur die Lokalisation der Plaque unterscheidet, sondern auch die Plaque-Dicke(151, 152, 177). Er wird aufgrund seiner Genauigkeit vor allem beim Vergleich von Mundhygieneprodukten verwendet sowie zur Untersuchung des Effekts dieser auf Gingivitis bzw. auf die Plaqueentstehung. Attin(97) stellte 2005 einen Plaque-Index vor, der speziell bei Patienten mit einer MBA Anwendung finden soll. Vorteil des Attin-Indexes ist, dass sich dieser auf die Prädilektionsstellen der Plaqueentstehung bei

Patienten mit einer MBA konzentriert und dementsprechend für die Anwendung im klinischen Alltag vorgesehen ist(162).

5.1.5 Betrachtungszeit

Vor jeder Aufnahme wurde ein Fixierungskreuz am oberen Bildschirmrand präsentiert, damit der Startpunkt für jedes Bild derselbe ist. Jedes Bild wurde für 5s gezeigt und danach erschien wiederum das Fixierungskreuz am oberen Bildschirmrand. Während dieses Kreuz anvisiert wurde, teilten die Probanden ihre Einschätzung der Mundhygiene mit und das nächste Bild wurde präsentiert

Bei Eye-Tracking-Studien werden unterschiedliche Präsentationszeiten des Bildmaterials verwendet. Im Bereich der Radiologie gibt es aufgrund der Komplexität der Aufnahmen in den meisten Fällen kein Zeitlimit(49, 52, 58, 61, 87, 164, 166, 169, 170, 172, 173, 178). Studien im Bereich der Mund-Kiefer-Gesichtschirurgie und Zahnmedizin, welche die Wahrnehmung meist unter ästhetischen Gesichtspunkten oder im Hinblick auf die Attraktivität untersuchen, wählen hierfür kurze Zeitfenster von 3s(69, 167), 4s(68, 73, 84, 86) oder 5s(38, 66, 67, 81, 179). Bei anderen Studien liegen die Präsentationszeiten zwischen 7s und 60s(29, 60, 70, 75, 92, 93, 163). Eine Studie von Crowe et al.(168) stach hierbei heraus mit einer Präsentationszeit von nur 1,5s, wobei hierbei erwähnt werden muss, dass es sich bei den Aufnahmen um Schnittbilder einer MRT-Aufnahme handelte.

Entsprechend der Studie von Meyer-Marcotty et al.(66), die sich ebenfalls mit der Wahrnehmung von kieferorthopädischen Patienten, allerdings im Hinblick auf Angle-Klasse III Patienten im Unterschied zu Angle-Klasse I beschäftigten, wurde eine Betrachtungszeit von 5s gewählt. Durch die Wahl der Betrachtungszeit konnte bei der Menge der Aufnahmen einem Abfall der Konzentration und einem Einstellen von Müdigkeit entgegengewirkt werden und wurde durch eine Pause nach den ersten 30 Aufnahmen ergänzt.

5.1.6 Bildmaterial

Bei der Auswahl der Probanden, die als Quelle für die Mundhygieneaufnahmen dienten, wurde darauf geachtet, dass die MBA keine auffälligen Modifikationen aufwies, welche die Aufmerksamkeit der Probanden auf sich gezogen hätte. Auf diese Weise sollte erreicht werden, dass sich die Probanden ausschließlich auf die Mundhygiene konzentrierten.

Die Aufnahmen wurden, wie unter 3.1.2 erläutert, mit derselben Kamera unter standardisierten Bedingungen aufgenommen. Zusätzlich wurden die Aufnahmen mit einem Bildbearbeitungsprogramm einheitlich in Bezug auf Helligkeit, Belichtung und Ausrichtung angepasst.

Insgesamt wurden 60 Bilder präsentiert. Vergleichbare Studien wiesen meist zwischen 20 und 30 Aufnahmen auf(52-54, 58, 60, 61, 75, 87, 164, 170, 171, 173). Andere Studien hatten zwischen 39 und 92 Aufnahmen präsentiert(163, 167, 168, 172, 178). Des Weiteren wurden Studien durchgeführt, die lediglich zwischen 10 und 12 Aufnahmen präsentierten(86, 92, 93, 169). Hinsichtlich der Gesamtanzahl an präsentierten Aufnahmen stachen 2 Studien mit jeweils 120 Aufnahmen hervor, bei beiden Studien wurden Mammographieaufnahmen von Radiologen und angehenden Radiologen untersucht(49, 166).

Aufgrund der Teilnehmerzahl und dem Vergleich von nativen Aufnahmen und Aufnahmen mit Applikation eines Plaquerelevators, ergab sich eine Gesamtzahl von 60 Aufnahmen.

In jeder Aufnahme wurden 24 *areas of interest* festgelegt entsprechend der Plaqueentstehung bei Patienten mit Multibracket-Apparatur, die von den Brackets und vom Gingivasaum ausgeht(154).

5.2 Diskussion der Ergebnisse

5.2.1 Zeit bis zur ersten Fixation

Beim Vergleich der Zeit bis zur ersten Fixation fällt auf, dass die Jugendlichen in Aufnahmen mit Anwendung eines Plaquerelevators am schnellsten (0,28s) eine AOI fixierten. Jugendliche erkannten also die angefärbte Plaque sehr schnell.

Bei Aufnahmen ohne Anwendung eines Plaquerelevators lagen Jugendliche und Studierende gleichauf mit einer ersten Fixation eines AOI nach 0,32s. Dies ist interessant, da die Jugendlichen demnach mit der Gruppe der Experten gleichauf sind. In vergleichbaren Studien ergab die Datenlage meist, dass die Gruppe der Experten zuerst eine AOI fixierten(49, 54, 61, 64, 180).

In dieser Studie schienen zumindest bei Aufnahmen mit Anwendung eines Plaquerelevators die Jugendlichen am schnellsten zu sein, was den Schluss nahelegen könnte, dass das Erkennen der Prädilektionsstellen nicht das Problem der Jugendlichen zu sein scheint.

Unabhängig davon, ob ein Plaquerelevator eingesetzt wurde, wiesen die Eltern mit Abstand die längste Zeit bis zur ersten Fixation auf. Bei Aufnahmen ohne Anwendung eines Plaquerelevators fixierten sie zuerst einen Bereich außerhalb einer AOI.

5.2.2 Einflussfaktoren auf die erste Fixation in einer AOI

In Bezug auf die Fragestellung, wovon eine Fixierung in einer AOI abhängig ist, konnte gezeigt werden, dass der Grad der präsentierten Mundhygiene einen erheblichen Einfluss hatte.

Dies erscheint logisch, da mit schlechter werdender Mundhygiene die Plaqueakkumulation zunimmt und von den Probanden schneller erkannt wurde. Ebenso unterschieden sich die Gruppen und ihre einzelnen Probanden untereinander in der Zeit bis zur ersten Fixierung in einer AOI. Obwohl, wie gerade beschrieben, die Gruppe der Jugendlichen am schnellsten in einer AOI fixierten, wenn die Aufnahme mit Anwendung eines Plaquerelevators erstellt wurde, konnte insgesamt auf alle Gruppen bezogen kein signifikanter Einfluss der Anwendung eines Plaquerelevators auf die Zeit bis zur ersten Fixierung in einer AOI festgestellt werden.

5.2.3 Gesamtzahl an Fixationen

Insgesamt ist ersichtlich, dass mehr Fixationen bei allen Gruppen innerhalb der AOIs lagen, in Bezug auf den Median mit und ohne Anwendung eines Plaquerelevators jeweils 10 Fixierungen als in Bereichen außerhalb dieser mit und ohne Anwendung eines Plaquerelevators je 6 Fixierungen. Die Studierenden wiesen die meisten Fixierungen in AOIs auf und schienen sich somit auf die Prädilektionsstellen für Plaque zu konzentrieren. Zu dieser Erkenntnis sind auch Giovinco et al.(55) gekommen, bei denen die Experten ebenfalls eine höhere Anzahl an Fixationen aufwiesen. Dies widerspricht den Erkenntnissen von Duchowski(181), welcher eine höhere Gesamtzahl an Fixationen eher als Eigenschaft von unerfahreneren Betrachtern zuschreibt, da bestimmte Bereiche nochmal fixiert wurden, was eine Unsicherheit des Betrachters bezüglich des Befundes beziehungsweise der daraus abzuleitenden Diagnose impliziert. Natürlich ist hierbei die Betrachtungszeit zu bedenken. Andere Studien, vor allem im radiologischen Bereich, setzen dem Betrachter bei einer meist deutlich niedrigeren Anzahl an Aufnahmen und deutlich komplexeren Aufnahmen meist kein Zeitlimit, woraus eine deutlich höhere Anzahl an Fixationen erfasst werden und größere Unterschiede gemessen werden können.

5.2.4 Gesamtbetrachtungszeitraum

Es zeigte sich, dass alle Gruppen länger in einer AOI fixierten als in einem Bereich außerhalb dieser. Die Studierenden fixierten sowohl bei Aufnahmen mit und ohne Anwendung eines Plaquerelevators fast die Hälfte der Betrachtungszeit pro Bild eine AOI. Das legt den Verdacht nahe, dass die Studierenden einen großen Fokus auf die relevanten Bereiche legten. Dieses Verhältnis von der Fixierungszeit in einer AOI zur Gesamtfixierungszeit ist vergleichbar mit anderen Studien(66, 67, 81, 93). Allerdings lässt sich ein direkter Vergleich nur schwierig durchführen, da in dieser Studie untersucht wurde, ob Plaque erkannt wird beziehungsweise Bereiche, in denen eine Plaqueakkumulation vorlag, identifiziert werden. Die meisten anderen Eye-Tracking-Studien, welche die Wahrnehmung von Gesichtern, intraoralen Frontalaufnahmen oder von radiologischen Aufnahmen untersuchten, differenzierten auf welche Bereiche zum Beispiel Mund Augen, Nase, Kronenränder, Symmetrie, Zahnfarbe beziehungsweise pathologische Veränderungen die Aufmerksamkeit des Betrachters

entfiel und wie intensiv im Vergleich zu anderen Bereichen der Aufnahme betrachtet wurden(49, 60, 68, 75, 163).

5.2.5 Mittlere Fixierungsdauer

Bei den Daten der mittleren Fixierungsdauer war zu erkennen, dass die mittlere Fixierungszeit in AOIs länger war. Die Studierenden hatten insgesamt die kürzeste mittlere Fixierungszeit, dicht gefolgt von der Gruppe der Jugendlichen. Dies legt den Schluss nah, dass die Gruppe der Experten eine Plaqueakkumulation schneller als solche erkannte und zum nächsten Bereich sprang und keine unnötige Zeit verschwendete. Ähnliche Ergebnisse erzielten auch Assaf et al. bei denen die Gruppe der Experten ebenfalls die kürzeste mittlere Fixierungszeit aufwiesen(53). Zudem entspricht dies den Erkenntnissen von Duchowski(181) zu dem Blickverhalten von Experten und wurde durch andere Studien gleichermaßen bestätigt(87, 170, 180, 182, 183).

5.2.6 Blickpfadlänge

Eltern hatten durchschnittlich einen längeren Blickpfad. Studierende wiesen insgesamt den kürzesten Betrachtungsweg auf.

Studierende folgten anscheinend einer Systematik und analysierten die Aufnahme nach einem gerichteten Muster: AOI erkennen und als solches identifizieren und anschließend zum nächsten Bereich voranschreiten. Bei den Laien, also den Jugendlichen und vor allem den Eltern ist in den Blickpfadanalysen ein eher chaotisches Blickmuster erkennbar. Es wurde an einem Punkt gestartet, zum nächsten Bereich auf der gegenüberliegenden Seite gesprungen, dort ein Bereich erfasst, zurück zum vorherigen Bereich gesprungen und der Blickpfad wurde in diesem nicht nachvollziehbaren Muster fortgesetzt. Dies lässt auf eine Unsicherheit schließen im Hinblick darauf, wie das Gesehene eingeschätzt wurde und daher wurde eine Referenz zur Einordnung gesucht.

Des Weiteren beeinflusste der Grad an präsentierter Mundhygiene die Blickpfadlänge signifikant ($p = 0,0007$). Bei einer größeren Menge an sichtbarer Plaque wurden mehr Bereiche fixiert. Die Anwendung eines Plaquerelevators erzielte offenbar einen ähnlichen Effekt ($p < 0,0001$), wodurch sich die Blickpfade bei allen Gruppen

verlängerten. Durch die verbesserte Sichtbarkeit konnte mehr Plaque identifiziert werden beziehungsweise sich die Blickpfadlänge durch Seitenvergleiche verlängerte. Ein direkter Vergleich dieser Erkenntnisse in Bezug auf die Blickpfadlänge ist nur schwierig möglich. Bei Studien, die eine ähnliche Anzahl an Aufnahmen und eine vergleichbare Betrachtungszeit pro Aufnahme aufwiesen, wurden diese Daten nicht analysiert(66-68, 73, 81, 82, 84, 86, 93, 179). Bei diesen Studien lag im Fokus, wie viel der Betrachtungszeit auf unterschiedliche Bereiche der Aufnahme entfielen oder in welcher Reihenfolge eine Aufnahme betrachtet wurde. In einer Studie von Botelho et al. wurde bei den Experten ebenfalls eine kürzere Blickpfadlänge gemessen(58). Allerdings hatten dort die Probanden die Aufgabe, eine pathologische Veränderung zu identifizieren und im Anschluss wurde die Aufzeichnung sofort gestoppt. Bei Turgeon et al.(61) war der Blickpfad der Experten verglichen mit den Laien länger, sofern keine pathologischen Befunde vorhanden waren und bei Aufnahmen, die pathologische Veränderungen aufwiesen, kürzer. In anderen radiologischen Studien zeugt ein längerer Blickpfad von mehr Erfahrung, da versucht wird, das ganze Bild zu betrachten beziehungsweise die Blickpfadlänge verlängert sich durch Seitenvergleiche zum Beispiel bei CT- oder MRT-Aufnahmen(53-55, 164, 168, 171, 178, 184). Außerdem hatten diese Studien meist kein Zeitlimit, weshalb ein unerfahrener Proband nach Auffinden einer pathologischen Struktur sich schneller zufriedengab und zur nächsten Aufnahme voranschritt als ein Experte, der weitere auffällige Befunde zu identifizieren versuchte.

5.2.7 Bewertung der Mundhygiene

Die Bewertung der Probanden war abhängig vom Grad an präsentierter Mundhygiene. Die Wahrnehmung von guter oder schlechter Mundhygiene unterschied sich in den Gruppen aufgrund ihrer Erfahrung. Es war auch ein signifikanter Einfluss des Plaquerelevators erkennbar. Das Anfärben der Plaque führte zu einer strengeren beziehungsweise präziseren Bewertung der Mundhygiene.

Eine Studie von Mensi et al.(185) untersuchte die Verwendung von Plaquerelevatoren bei professionellen Zahnreinigungen, wodurch im Vergleich zur PZR ohne Plaquerelevatoren eine Plaquereduktion um weitere 60% erzielt werden konnte. Plaquerelevatoren haben also einen Einfluss auf die Erkennung von Plaque und scheinen bei der Reinigung zu unterstützen. In einem Kinderheim in Japan wurde in einer Studie bei Jugendlichen und Anwendung eines Plaquerelevators gezeigt, dass

eine Anpassung des Putzverhaltens und eine verbesserte Plaquerreduktion erzielt werden konnte(186). In weiteren Studien konnten diese Erkenntnisse bestätigt werden(187, 188)

Außerdem war zu erkennen, dass die Gruppe der Eltern die Mundhygiene treffend und sogar eine Tendenz zur strengeren Bewertung hatte. Deshalb ist es wichtig, dass die Eltern ihre Kinder bei der Durchführung ihrer Mundhygiene unterstützen und kontrollieren.

Darüber hinaus ist fraglich, ob die Eltern als Vorbilder kraft überlegenen Wissens dienen können oder selbst Defizite in ihrem Putzverhalten aufweisen. In den beiden parallel durchgeführten Studien von Deinzer et al.(174) und Eidenhardt et al.(189) wurde das Zahnputzverhalten von 66 Eltern-Kind-Paaren aufgezeichnet. Eltern und Kinder schienen die Putzzeiten gut einzuhalten, allerdings unterschied sich die Qualität der Reinigung in Bezug auf Technik und vor allem Reinigung aller Zahnflächen. In jedem Fall waren Eltern ein Vorbild allerdings auch ein schlechtes, da Kinder teils ähnliche Defizite aufwiesen.

Alle Probanden waren dazu angehalten, das bestmögliche Putzverhalten zu zeigen, was bedeutet, dass das alltägliche Zähneputzen anders aussehen könnte(174, 189). Aus diesem Grund ist ein direkter Vergleich der erhobenen Putzdaten schwierig.

Es konnte außerdem ein Zusammenhang zwischen der Putzzeit, dem Putzverhalten und der Bewertung aufgezeigt werden. Je besser das Putzverhalten, insbesondere im Hinblick auf die Putzzeit, desto treffender oder strenger wurde die Mundhygiene insgesamt und auch die eigene Mundhygiene eines jugendlichen Probanden bewertet. In diesem Fall ist es nicht negativ, dass die Probanden durch ihre strengere Bewertung die Mundhygiene nicht treffend bewerten, sondern ein überkritischer Betrachter strebt eine optimale Mundhygiene an und das kann nicht negativ ausgelegt werden. Andere Studien, welche die Selbsteinschätzung der Zähne untersuchten(188, 190-192), konzentrierten sich auf die Zufriedenheit mit den eigenen Zähnen und dem Erscheinungsbild dieser sowie deren Einfluss auf die Lebensqualität. Es wurde überdies untersucht, inwieweit eine Wechselbeziehung zwischen der Selbsteinschätzung der Mundhygiene und Unzufriedenheit mit dem eigenen Körper besteht(193).

6 Schlussfolgerung

Die Eye-Tracking-Technologie stellt eine zuverlässige Methode zum objektiven Vergleich der Beurteilung von Mundhygieneaufnahmen dar. In dieser Studie konnte gezeigt werden, dass sich die visuelle Wahrnehmung der Mundhygiene durch Jugendliche, deren Eltern und Studierenden voneinander unterscheiden. Die Gruppe der Jugendlichen schätzten den Grad an präsentierter Mundhygiene am treffendsten ein, was von der Gruppe der Experten zu erwarten war. Die Eltern gaben eine strengere Bewertung ab als ihre Kinder und daher ist es empfehlenswert, dass Eltern bei der häuslichen Mundhygiene ihre Kinder unterstützen und kontrollieren, um das Zahnputzergebnis zu optimieren.

Als Gruppe präsentierten sich die Jugendlichen bei ihrer Bewertung großzügiger. Beim Vergleich der Jugendlichen untereinander konnte allerdings herausgefunden werden, dass mit steigender Putzdauer die Bewertung treffender beziehungsweise strenger ausfiel. Jugendliche, die Wert auf ein gutes Putzverhalten legten, schienen zu erkennen, wann ein gutes Putzergebnis erzielt wurde beziehungsweise erkannten, dass eine Nachreinigung erfolgen muss.

Die Anwendung eines Plaquerelevators stellte eine große Unterstützung bei der Mundhygiene dar und ist auch im häuslichen Gebrauch zur Optimierung des Putzverhaltens empfehlenswert.

7 Ausblick

Die Eye-Tracking-Technologie findet in der Kieferorthopädie noch zu selten Anwendung. In dieser Studie war sie eine geeignete Methode, um Patienten besser bei ihrer Mundhygiene zu unterstützen.

Weitere Studien könnten das Ziel haben, sich mit dem Selbstbild der Patienten zu beschäftigen und wie sich dieses durch das Tragen einer kieferorthopädischen Apparatur verändert, um einen Einfluss der psychischen Verfassung der Patienten auf das Putzverhalten zu untersuchen.

Diese als Pilotstudie angelegte Studie könnte durch Studien mit Alignern oder Lingualapparaturen ergänzt werden. Des Weiteren könnten nicht nur bei kieferorthopädischen Patienten mit der Eye-Tracking-Technik Defizite beim Zähneputzen aufgezeigt und das Zahnputzverhalten verbessert werden. Auf diese Weise könnten Patienten zu einer optimalen Mundhygiene erzogen werden, welche im besten Fall ein Leben lang als früh erlernte Routine durchgeführt werden würde.

Die Anwendung von Plaquerelevatoren könnte verstärkt im häuslichen Gebrauch eingesetzt werden, um die Erkennung für Laien so zu erleichtern. In Zeiten der Digitalisierung und dem Einzug des Smartphones wäre eventuell eine App in Kombination mit einer Zahnbürste möglich, die diese Zahnputzdefizite direkt im Alltag aufzeigen vermag.

Es wurde gezeigt, dass Experten über ein professionelleres Blickmuster verfügen. Diese Erkenntnisse und erhaltenen Blickmuster könnten in die Lehre miteinbezogen werden. Die Lehre in der Zahnmedizin, die längst optische Hilfsmittel wie Lupenbrillen und Mikroskope in den klinischen Alltag mit eingebunden hat, könnte so verbessert und individualisiert werden, um den angehenden Zahnärzten schon in ihrer Ausbildung einen noch strukturierteren Fokus zu vermitteln, In der Kariesdiagnostik und beim Erkennen von Mundschleimhauterkrankungen ist dies von größter Bedeutung.

Außerdem wäre es möglich, diese Lehransätze im radiologischen Bereich der Zahnmedizin bei der Befundung von Einzelzahnaufnahmen, Panoramaschichtaufnahmen, Fernröntgenseitenbildern und bei der digitalen Volumentomographie einfließen zu lassen. Denn nur durch Erfahrung ist eine korrekte Diagnosestellung möglich. Studierenden könnten klinische Aufnahmen oder Röntgenbilder in Kursen betrachten und im Anschluss das Blickverhalten analysiert und übersehene Bereiche aufgezeigt werden.

Zu guter Letzt sei zu sagen, dass nur durch regelmäßiges Training, das Interesse sich stetig fortzubilden, neue Behandlungsstrategien auszuprobieren und eine detailliertere Fehleranalyse, es einem Behandler möglich ist, Erfahrung zu sammeln und dem Patienten die bestmögliche Behandlung zukommen zu lassen.

8 Zusammenfassung

Ziel:

Das Ziel der Studie war es, die visuelle Wahrnehmung von Patienten, welche während ihrer kieferorthopädischen Behandlung eine MBA tragen, zu analysieren. Zusätzlich wurde der Unterschied in der Wahrnehmung der Mundhygiene bei Jugendlichen, deren Eltern und Zahnmedizinierenden untersucht.

Material und Methode:

Die Probanden wurden in zwei Gruppen aufgeteilt: Die Gruppe der Laien bestand aus 56 Personen, die sich aus 28 Jugendlichen zwischen 12 und 17 Jahren zusammensetzte und jeweils einem dazugehörigen Elternteil. Die zweite Gruppe setzte sich aus 30 Zahnmedizinierenden zusammen, welche die Experten bei der Plaque-Erkennung repräsentierten. Beiden Gruppen wurden randomisiert intraorale Frontalaufnahmen der jugendlichen Probanden mit MBA präsentiert, welche mit und ohne Anwendung eines Plaquerelevators angefertigt wurden. Die Augenbewegung der jeweiligen Person, welche die Bilder auf einer Skala von 1-10 nach dem Status der Mundhygiene bewerten sollte, wurde mit der Eye-Tracking- Methode nachvollzogen.

Ergebnisse:

Die Wahrnehmung der Mundhygiene unterschied sich bei den Probandengruppen. Dies ist insbesondere bei der Bewertung der Mundhygiene durch die Probanden sowie deren Blickpfadlänge zu erkennen. Die Gruppe der Experten, die die Mundhygiene am ehesten treffend eingeschätzt hatten, deckte sich überwiegend mit der Bewertung durch den Attin-Index. Die Eltern gaben tendenziell eine strengere Bewertung ab, als sie objektiv ermittelt wurde. Die Jugendlichen hatten sich überwiegend wohlwollender bewertet und weniger streng als ihre Eltern. Der Blickpfad der Expertengruppe war im Vergleich zu dem der Laiengruppe wesentlich kürzer, welche einen unstrukturierten Blickverlauf aufwiesen.

Bei der Anwendung eines Plaquerelevators wurde die Mundhygiene in allen Gruppen treffender beziehungsweise tendenziell strenger bewertet ($p < 0,001$). Außerdem konnte ein Zusammenhang zwischen der Putzzeit, dem Putzverhalten und der Bewertung aufgezeigt werden. Je besser das Putzverhalten, insbesondere im Hinblick auf die Putzzeit ($p < 0,001$), desto treffender beziehungsweise strenger wurde die Mundhygiene insgesamt bewertet.

Schlussfolgerung:

Die Wahrnehmung der Mundhygiene unterscheidet sich unter den Probandengruppen. Die Studierenden schätzten die Mundhygiene am treffendsten ein. Eltern waren in ihrer Bewertung strenger. Die Gruppe der Jugendlichen insgesamt schätzte die Mundhygiene großzügiger ein. Beim Vergleich der Jugendlichen untereinander fiel auf, dass mit steigender Putzdauer die Bewertung treffender beziehungsweise strenger ausfiel. Die Verwendung von Plaquerelevatoren führte zu einer treffenderen beziehungsweise strengeren Bewertung der Mundhygiene bei allen Gruppen.

9 Literaturverzeichnis

1. Ehrenfeld M, Ahlers MO, Bantleon H-P, Crismani A, Dibbets J, Fuhrmann R, et al. Kieferorthopädie. Stuttgart: Georg Thieme Verlag; 2011. Available from: <http://www.thieme-connect.de/products/ebooks/book/10.1055/b-002-44931>.
2. Frank W PK, Konta B. Mundgesundheits nach kieferorthopädischer Behandlung mit festsitzenden Apparaten. Köln: DIMDI; 2008.
3. Yao J, Li D-D, Yang Y-Q, McGrath CPJ, Mattheos N. What are patients' expectations of orthodontic treatment: a systematic review. *BMC oral health*. 2016;16:19-.
4. Dos Santos PR, Meneghim MC, Ambrosano GM, Filho MV, Vedovello SA. Influence of quality of life, self-perception, and self-esteem on orthodontic treatment need. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2017;151(1):143-7.
5. Kavaliauskiene A, Smaliene D, Buskiene I, Keriene D. Pain and discomfort perception among patients undergoing orthodontic treatment: results from one month follow-up study. *Stomatologija*. 2012;14(4):118-25.
6. Ngan P, Kess B, Wilson S. Perception of discomfort by patients undergoing orthodontic treatment. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 1989;96(1):47-53.
7. Al-Balbeesi HO, Bin Huraib SM, AlNahas NW, AlKawari HM, Abu-Amara AB, Vellappally S, et al. Pain and distress induced by elastomeric and spring separators in patients undergoing orthodontic treatment. *J Int Soc Prev Community Dent*. 2016;6(6):549-53.
8. Pandey V, Chandra S, Dilip Kumar HP, Gupta A, Bhandari PP, Rathod P. Impact of dental neglect score on oral health among patients receiving fixed orthodontic treatment: A cross-sectional study. *J Int Soc Prev Community Dent*. 2016;6(2):120-4.
9. 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.
10. Anuwongnukroh N, Dechkunakorn S, R K. Oral Hygiene Behavior during Fixed Orthodontic Treatment. *Dentistry*. 2017;7.
11. Javal E. Essai sur la physiologie de la lecture. *Annales d'Oculistique*. 1878;80:97-117.
12. Wade NJ. Pioneers of eye movement research. *Iperception*. 2010;1(2):33-68.
13. Huey EB. Preliminary Experiments in the Physiology and Psychology of Reading. *The American Journal of Psychology*. 1898;9(4):575-86.
14. Dodge R, Cline TS. The angular velocity of eye movements. *Psychological Review*. 1901;8:145-57.
15. Yarbus AL. Eye movements and vision. *Neuropsychologia* 1967; 6: 222.
16. Cornsweet TN, Crane HD. Accurate two-dimensional eye tracker using first and fourth Purkinje images. *J Opt Soc Am*. 1973;63(8):921-8.
17. Merchant J, Morrissette R, Porterfield JL. Remote measurement of eye direction allowing subject motion over one cubic foot of space. *IEEE Trans Biomed Eng*. 1974;21(4):309-17.
18. Williams TD, Wilkinson JM. Position of the fovea centralis with respect to the optic nerve head. *Optom Vis Sci*. 1992;69(5):369-77.
19. Edward DP, Kaufman LM. Anatomy, development, and physiology of the visual system. *Pediatr Clin North Am*. 2003;50(1):1-23.
20. <https://eyetracking.ch/glossar> [Stand 28.02.2022]
21. Ishrat M, Abrol P. Image complexity analysis with scanpath identification using remote gaze estimation model. *Multimed Tools Appl*. 2020:1-20.

22. Gneo M, Schmid M, Conforto S, D'Alessio T. A Free Geometry Model-Independent Neural Eye-Gaze Tracking System. *Journal of neuroengineering and rehabilitation*. 2012;9:82.
23. Shehu IS, Wang Y, Athuman AM, Fu X, editors. *Paradigm Shift in Remote Eye Gaze Tracking Research: Highlights on Past and Recent Progress*. Proceedings of the Future Technologies Conference (FTC) 2020, Volume 1; 2021 2021//; Cham: Springer International Publishing.
24. Zhu Z, Ji Q. Robust real-time eye detection and tracking under variable lighting conditions and various face orientations. *Computer Vision and Image Understanding*. 2005;98:124-54.
25. [https:// researchgate.net/ post/attachment/download/eye tracker systems manual asl eye-trac6](https://researchgate.net/post/attachment/download/eye_tracker_systems_manual_asl_eye-trac6). [Stand 28.02.2022]
26. Holmqvist K, Andersson R. *Eye-tracking: A comprehensive guide to methods, paradigms and measures* 2017.
27. Eckstein MK, Guerra-Carrillo B, Miller Singley AT, Bunge SA. Beyond eye gaze: What else can eyetracking reveal about cognition and cognitive development? *Dev Cogn Neurosci*. 2017;25:69-91.
28. Khan MQ, Lee S. Gaze and Eye Tracking: Techniques and Applications in ADAS. *Sensors (Basel)*. 2019;19(24):5540.
29. T Mythily RM, M E Anandan. Accident prevention by eye-gaze tracking using imaging Constraints. *IJSTR*. 2020; 9(2):1731-1735.
30. Carr DB, Grover P. The Role of Eye Tracking Technology in Assessing Older Driver Safety. *Geriatrics (Basel)*. 2020;5(2).
31. Singh J, Modi N. Use of information modelling techniques to understand research trends in eye gaze estimation methods: An automated review. *Heliyon*. 2019;5(12):e03033-e.
32. Eraslan S, Yesilada Y, Harper S. Eye tracking scanpath analysis techniques on web pages: A survey, evaluation and comparison. *Journal of Eye Movement Research*. 2015;9:1-19.
33. Mundel J, Huddleston P, Behe B, Sage L, Latona C. An eye tracking study of minimally branded products: hedonism and branding as predictors of purchase intentions. *Journal of Product & Brand Management*. 2018;27:146-57.
34. Dybdal M, Agustin J, Hansen J. Gaze input for mobile devices by dwell and gestures. 2012.
35. Ramachandra CK, Joseph A. IEyeGASE: An Intelligent Eye Gaze-Based Assessment System for Deeper Insights into Learner Performance. *Sensors*. 2021;21(20):6783.
36. Creed C. Assistive tools for disability arts: collaborative experiences in working with disabled artists and stakeholders. *Journal of Assistive Technologies*. 2016;10(2):121-9.
37. Dahmani M, Chowdhury MEH, Khandakar A, Rahman T, Al-Jayyousi K, Hefny A, et al. An Intelligent and Low-Cost Eye-Tracking System for Motorized Wheelchair Control. *Sensors (Basel)*. 2020;20(14):3936.
38. Hwang CS, Weng HH, Wang LF, Tsai CH, Chang HT. An eye-tracking assistive device improves the quality of life for ALS patients and reduces the caregivers' burden. *J Mot Behav*. 2014;46(4):233-8.
39. Cognolato M, Atzori M, Müller H. Head-mounted eye gaze tracking devices: An overview of modern devices and recent advances. *J Rehabil Assist Technol Eng*. 2018;5:2055668318773991.
40. Molitor RJ, Ko PC, Ally BA. Eye movements in Alzheimer's disease. *J Alzheimers Dis*. 2015;44(1):1-12.

41. Lagun D, Manzanares C, Zola SM, Buffalo EA, Agichtein E. Detecting cognitive impairment by eye movement analysis using automatic classification algorithms. *J Neurosci Methods*. 2011;201(1):196-203.
42. Harezlak K, Kasprowski P. Application of eye tracking in medicine: A survey, research issues and challenges. *Computerized Medical Imaging and Graphics*. 2018;65:176-90.
43. Kazak I, Helling K, Scherer H. Portable Videookulographie. *HNO*. 2003;51(4):321-3.
44. Kaiser MK, Gans NR, Dixon WE. Vision-Based Estimation for Guidance, Navigation, and Control of an Aerial Vehicle. *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*. 2010;46(3):1064-77.
45. Schriver A, Morrow D, Wickens C, Talleur D. Expertise Differences in Attentional Strategies Related to Pilot Decision Making. *Human factors*. 2009;50:864-78.
46. Yu CS, Wang EM, Li WC, Braithwaite G. Pilots' visual scan patterns and situation awareness in flight operations. *Aviat Space Environ Med*. 2014;85(7):708-14.
47. Chetwood AS, Kwok KW, Sun LW, Mylonas GP, Clark J, Darzi A, et al. Collaborative eye tracking: a potential training tool in laparoscopic surgery. *Surg Endosc*. 2012;26(7):2003-9.
48. Tien T, Pucher PH, Sodergren MH, Sriskandarajah K, Yang GZ, Darzi A. Eye tracking for skills assessment and training: a systematic review. *J Surg Res*. 2014;191(1):169-78.
49. Manning D, Ethell S, Donovan T, Crawford T. How do radiologists do it? The influence of experience and training on searching for chest nodules. *Radiography*. 2006;12(2):134-42.
50. Matsumoto H, Terao Y, Yugeta A, Fukuda H, Emoto M, Furubayashi T, et al. Where do neurologists look when viewing brain CT images? An eye-tracking study involving stroke cases. *PLoS One*. 2011;6(12):e28928-e.
51. Ashraf H, Sodergren MH, Merali N, Mylonas G, Singh H, Darzi A. Eye-tracking technology in medical education: A systematic review. *Med Teach*. 2018;40(1):62-9.
52. Kundel HL, La Follette PS, Jr. Visual search patterns and experience with radiological images. *Radiology*. 1972;103(3):523-8.
53. Assaf D, Amar E, Marwan N, Neuman Y, Salai M, Rath E. Dynamic Patterns of Expertise: The Case of Orthopedic Medical Diagnosis. *PLoS One*. 2016;11(7):e0158820-e.
54. Bertram R, Kaakinen J, Bensch F, Helle L, Lantto E, Niemi P, et al. Eye Movements of Radiologists Reflect Expertise in CT Study Interpretation: A Potential Tool to Measure Resident Development. *Radiology*. 2016;281(3):805-15.
55. Giovinco NA, Sutton SM, Miller JD, Rankin TM, Gonzalez GW, Najafi B, et al. A passing glance? Differences in eye tracking and gaze patterns between trainees and experts reading plain film bunion radiographs. *J Foot Ankle Surg*. 2015;54(3):382-91.
56. Hermanson B, Burgdorf G, Hatton J, Speegle D, Woodmansey K. Visual Fixation and Scan Patterns of Dentists Viewing Dental Periapical Radiographs: An Eye Tracking Pilot Study. *Journal of Endodontics*. 2018;44.
57. Burgdorf GC. Periapical Image Scanning Between Levels of Expertise: An Eye-Tracking Study: Saint Louis University; 2017.
58. Botelho MG, Ekambaram M, Bhuyan SY, Yeung AWK, Tanaka R, Bornstein MM, et al. A comparison of visual identification of dental radiographic and nonradiographic images using eye tracking technology. *Clin Exp Dent Res*. 2020;6(1):59-68.
59. Gruenheid T, Hollevoet D, Miller J, Larson B. Visual scan behavior of new and experienced clinicians assessing panoramic radiographs. 2013.

60. Vogel D. Betrachtungsmuster von Panoramaschichtaufnahmen mit unterschiedlichen pathologischen Läsionen: eine Eye-Tracking Studie [Doctoral Thesis]. Mainz: Johannes Gutenberg-Universität Mainz; 2019.
61. Turgeon DP, Lam EW. Influence of Experience and Training on Dental Students' Examination Performance Regarding Panoramic Images. *J Dent Educ.* 2016;80(2):156-64.
62. Bahaziq A, Jadu FM, Jan AM, Baghdady M, Feteih RM. A Comparative Study of the Examination Pattern of Panoramic Radiographs Using Eye-tracking Software. *J Contemp Dent Pract.* 2019;20(12):1436-41.
63. Kuhlberg AJ, Norton LA. Pathologic findings in orthodontic radiographic images. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2003;123(2):182-4.
64. Richter J, Scheiter K, Eder TF, Huettig F, Keutel C. How massed practice improves visual expertise in reading panoramic radiographs in dental students: An eye tracking study. *PLoS One.* 2020;15(12):e0243060.
65. Eder T, Richter J, Scheiter K, Keutel C, Castner N, Kasneci E, et al. How to support dental students in reading radiographs: effects of a gaze-based compare-and-contrast intervention. *Advances in Health Sciences Education.* 2021;26.
66. Meyer-Marcotty P, Gerdes AB, Stellzig-Eisenhauer A, Alpers GW. Visual face perception of adults with unilateral cleft lip and palate in comparison to controls--an eye-tracking study. *Cleft Palate Craniofac J.* 2011;48(2):210-6.
67. Quast A, Waschkau J, Sapschak J, Daratsianos N, Jordan K, Fromberger P, et al. Facial perception of infants with cleft lip and palate with/without the NAM appliance. *J Orofac Orthop.* 2018;79(6):380-8.
68. Dindaroğlu F, Doğan S, Amado S, Doğan E. Visual perception of faces with unilateral and bilateral cleft lip and palate: An Eye-Tracking Study. *Orthod Craniofac Res.* 2017;20(1):44-54.
69. Warne CN, Hallac RR, Kane AA, Derderian CA, Seaward JR. Eye Tracking as a Proxy for Perceptual Evaluation of Repaired Cleft Lip. *J Craniofac Surg.* 2019;30(2):395-9.
70. Boonipat T, Brazile TL, Darwish OA, Montana P, Fleming KK, Stotland MA. Measuring visual attention to faces with cleft deformity. *J Plast Reconstr Aesthet Surg.* 2019;72(6):982-9.
71. Hartmann GC, Guimarães LK, Maggioni CG, Gasparello GG, Júnior SLM, Pithon MM, et al. Social attractiveness perception of a cleft lip repair in an adolescent via eye-tracking. *Journal of Stomatology, Oral and Maxillofacial Surgery.* 2022.
72. Dey JK, Ishii LE, Boahene KDO, Byrne PJ, Ishii M. Measuring Outcomes of Mohs Defect Reconstruction Using Eye-Tracking Technology. *JAMA Facial Plast Surg.* 2019;21(6):518-25.
73. Dindaroğlu F, Doğan S, Yalçın A, Türkan N, Yüvrük E. How are faces with increased and decreased lower facial height perceived visually? *Int J Comput Dent.* 2017;20(4):393-407.
74. Walke T. Zur Bedeutung der Zähne für das Blickverhalten von zahnmedizinisch geschulten und ungeschulten Personen beim Betrachten von Mund und Gesicht [Doctoral Thesis]. Marburg: Philipps-Universität; 2016.
75. Burkard F. Evaluation der Augenbewegung unterschiedlicher Probandengruppen bei der Betrachtung von Frontzahnaufnahmen unter Verwendung eines Eye-Tracking-Systems [Doctoral Thesis]. Mainz: Johannes-Gutenberg-Universität; 2019.
76. Tanaka O, Vitral RWF, Miyoshi CS, Meira TM, Camargo ES, Pithon MM. Laypeople's and dental students' perceptions of a diastema between central and lateral incisors: Evaluation using scanpaths and colour-coded maps. *Orthod Craniofac Res.* 2020;23(4):493-500.

- 77.Miyoshi CS, Rached RN, Meira TM, Allahham A, Saga AY, Tanaka OM. The Eye-Tracking Study of the Impact of the Gingival Margin Height of Maxillary Lateral Incisors. *Int J Periodontics Restorative Dent*. 2020;40(2):261-70.
- 78.Robertsson S, Mohlin B, Thilander B. Aesthetic evaluation in subjects treated due to congenitally missing maxillary laterals. A comparison of perception in patients, parents and dentists. *Swed Dent J*. 2010;34(4):177-86.
- 79.Hickman L, Firestone A, Beck F, Speer S. Eye fixations when viewing faces. *Journal of the American Dental Association (1939)*. 2010;141:40-6.
- 80.Richards MR, Fields HW, Jr., Beck FM, Firestone AR, Walther DB, Rosenstiel S, et al. Contribution of malocclusion and female facial attractiveness to smile esthetics evaluated by eye tracking. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2015;147(4):472-82.
- 81.Fuchs M. Die visuelle Wahrnehmung von erwachsenen Patienten mit einer ausgeprägten Dysgnathie im Vergleich zu Erwachsenen ohne dysgnathe Anomalie: Eine Eye-Tracking Studie [Doctoral Thesis]. Würzburg: Julius-Maximilians-Universität; 2011.
- 82.Kim SH, Hwang S, Hong Y-J, Kim J-J, Kim K-H, Chung CJ. Visual attention during the evaluation of facial attractiveness is influenced by facial angles and smile. *Angle Orthod*. 2018;88(3):329-37.
- 83.Johnson E, Fields H, Beck F, Firestone A, Rosenstiel S. Role of facial attractiveness in patients with slight-to-borderline treatment need according to the Aesthetic Component of the Index of Orthodontic Treatment Need as judged by eye tracking. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2017;151:297-310.
- 84.Huang P, Cai B, Zhou C, Wang W, Wang X, Gao D, et al. Contribution of the mandible position to the facial profile perception of a female facial profile: An eye-tracking study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2019;156(5):641-52.
- 85.Baker RS, Fields HW, Jr., Beck FM, Firestone AR, Rosenstiel SF. Objective assessment of the contribution of dental esthetics and facial attractiveness in men via eye tracking. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2018;153(4):523-33.
- 86.Aşik S, Kök H. Perception of dental midline deviation and smile attractiveness by eye-tracking and aesthetic ratings. *Australasian Orthodontic Journal*. 2021;37:187-96.
- 87.Cheung C. Eye Tracking for Evaluating Esthetics in Treatment of Missing Maxillary Lateral Incisors [Doctoral Thesis]. Toronto: University of Toronto; 2015.
- 88.Oliveira W, Saga A, Ignácio S, Justino E, Tanaka O. Comparative study between different groups of esthetic component of the Index of Orthodontic Treatment Need and eye tracking. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2019;156:67-74.
- 89.Wiedel AP, Bondemark L. A randomized controlled trial of self-perceived pain, discomfort, and impairment of jaw function in children undergoing orthodontic treatment with fixed or removable appliances. *Angle Orthod*. 2016;86(2):324-30.
- 90.Abdelrahman RS, Al-Nimri KS, Al Maaitah EF. Pain experience during initial alignment with three types of nickel-titanium archwires: a prospective clinical trial. *Angle Orthod*. 2015;85(6):1021-6.
- 91.Rahman S, Spencer RJ, Littlewood SJ, O'Dywer L, Barber SK, Russell JS. A multicenter randomized controlled trial to compare a self-ligating bracket with a conventional bracket in a UK population: Part 2: Pain perception. *Angle Orthod*. 2016;86(1):149-56.
- 92.Ferreira JB, Silva LE, Caetano MT, Motta AF, Cury-Saramago AA, Mucha JN. Perception of midline deviations in smile esthetics by laypersons. *Dental Press J Orthod*. 2016;21(6):51-7.

93. Försch M, Krull L, Hechtner M, Rahimi R, Wriedt S, Wehrbein H, et al. Perception of esthetic orthodontic appliances: An eye tracking and cross-sectional study. *Angle Orthod.* 2020;90(1):109-17.
94. KM Lehmann EH, H-J Wenz. Zahnärztliche Propädeutik, Einführung in die Zahnheilkunde: Deutscher Zahnärzte Verlag; 2015. 131 pp.
95. Seneviratne CJ, Zhang CF, Samaranayake LP. Dental plaque biofilm in oral health and disease. *Chin J Dent Res.* 2011;14(2):87-94.
96. E Hellwig JK, T Attin. Einführung in die Zahnerhaltung, Prüfungswissen Kariologie, Endodontologie und Parodontologie: Deutscher Zahnärzte Verlag; 2013. 115-164.
97. Attin R. Vorstellung eines neuen Plaqueindex zur Kontrolle und Motivation kieferorthopädischer Patienten. *Informationen aus Orthodontie & Kieferorthopädie.* 2005;37(04):271-3.
98. Ng HM, Kin LX, Dashper SG, Slakeski N, Butler CA, Reynolds EC. Bacterial interactions in pathogenic subgingival plaque. *Microb Pathog.* 2016;94:60-9.
99. Caton JG, Quiñones CR. Etiology of periodontal diseases. *Curr Opin Dent.* 1991;1(1):17-28.
100. Rosan B, Lamont RJ. Dental plaque formation. *Microbes Infect.* 2000;2(13):1599-607.
101. Theilade E. The non-specific theory in microbial etiology of inflammatory periodontal diseases. *J Clin Periodontol.* 1986;13(10):905-11.
102. Loe H, Anerud A, Boysen H, Morrison E. Natural history of periodontal disease in man. Rapid, moderate and no loss of attachment in Sri Lankan laborers 14 to 46 years of age. *J Clin Periodontol.* 1986;13(5):431-45.
103. Slots J, Emrich LJ, Genco RJ, Rosling BG. Relationship between some subgingival bacteria and periodontal pocket depth and gain or loss of periodontal attachment after treatment of adult periodontitis. *J Clin Periodontol.* 1985;12(7):540-52.
104. Rathee M, Sapra A. Dental Caries. StatPearls. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing
Copyright © 2022, StatPearls Publishing LLC.; 2022.
105. Marsh PD. Microbial ecology of dental plaque and its significance in health and disease. *Adv Dent Res.* 1994;8(2):263-71.
106. Makuch A, Reschke K. Orales Gesundheitsverhalten – ein wichtiges Feld der Prävention und Gesundheitsförderung. In: Tiemann M, Mohokum M, editors. *Prävention und Gesundheitsförderung.* Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2020. p. 1-16.
107. Vale GC, Tabchoury CP, Arthur RA, Del Bel Cury AA, Paes Leme AF, Cury JA. Temporal relationship between sucrose-associated changes in dental biofilm composition and enamel demineralization. *Caries Res.* 2007;41(5):406-12.
108. B Willershausen BS-D, et al. Zahnhartsubstanzen durch säurehaltige Getränke. *Alcopops, Limo und Co. Zahnärztliche Mitteilungen.* 2004; 94 (21): 2774–2782.
109. S Zimmer KWN. Zucker, Zuckeraustauschstoffe und Süßstoffe. *Zahnärztliche Mitteilungen* 2019; 13.
110. Riley P, Moore D, Ahmed F, Sharif MO, Worthington HV. Xylitol-containing products for preventing dental caries in children and adults. *Cochrane Database Syst Rev.* 2015(3):Cd010743.
111. Schiffner U. Use of fluorides for caries prevention. *Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz.* 2021;64(7):830-7.

112. Deutsche Gesellschaft für Zahnerhaltung. S2k-Leitlinie: Kariesprophylaxe bei bleibenden Zähnen – grundlegende Empfehlungen AWMF Register-Nr. 083-021, Stand Juni 2016.
113. Ratka-Krüger P. Individualprophylaxe: Kassenzahnärztliche Vereinigung Hessen; 2005.
114. Splieth C. Anwendung der neuen Fluoridempfehlungen, Zwischen Kariesprävention und Dentalfluorose. Zahnärztliche Mitteilungen 2019; 17.
115. Creeth J, Kelly S, González-Cabezas C, Karwal R, Martínez-Mier E, Lynch R, et al. Effect of toothbrushing duration and dentifrice quantity on enamel remineralisation: An in situ randomized clinical trial. *Journal of Dentistry*. 2016;55.
116. Brignardello-Petersen R. Toothbrushing duration and dentifrice dosage are associated with remineralization of enamel specimens. *J Am Dent Assoc*. 2017;148(4):e39.
117. Cvikl B, Moritz A, Bekes K. Pit and Fissure Sealants-A Comprehensive Review. *Dent J (Basel)*. 2018;6(2).
118. Naaman R, El-Housseiny AA, Alamoudi N. The Use of Pit and Fissure Sealants-A Literature Review. *Dentistry journal*. 2017;5(4):34.
119. Feigal RJ, Donly KJ. The use of pit and fissure sealants. *Pediatr Dent*. 2006;28(2):143-50; discussion 92-8.
120. Creeth JE, Gallagher A, Sowinski J, Bowman J, Barrett K, Lowe S, et al. The effect of brushing time and dentifrice on dental plaque removal in vivo. *J Dent Hyg*. 2009;83(3):111-6.
121. T Attin EH. Tooth brushing and oral health: how frequently and when should tooth brushing be performed?. *Oral Health Prev Dent*. 2005;3(3):135-140.
122. Slot DE, Wiggelinkhuizen L, Rosema NA, Van der Weijden GA. The efficacy of manual toothbrushes following a brushing exercise: a systematic review. *Int J Dent Hyg*. 2012;10(3):187-97.
123. Poyato-Ferrera M, Segura-Egea JJ, Bullón-Fernández P. Comparison of modified Bass technique with normal toothbrushing practices for efficacy in supragingival plaque removal. *Int J Dent Hyg*. 2003;1(2):110-4.
124. Nassar PO, Bombardelli CG, Walker CS, Neves KV, Tonet K, Nishi RN, et al. Periodontal evaluation of different toothbrushing techniques in patients with fixed orthodontic appliances. *Dental Press J Orthod*. 2013;18(1):76-80.
125. Janakiram C, Varghese N, Venkitachalam R, Joseph J, Vineetha K. Comparison of modified Bass, Fones and normal tooth brushing technique for the efficacy of plaque control in young adults- A randomized clinical trial. *J Clin Exp Dent*. 2020;12(2):e123-e9.
126. Ganss C, Schlueter N, Preiss S, Klimek J. Tooth brushing habits in uninstructed adults--frequency, technique, duration and force. *Clin Oral Investig*. 2009;13(2):203-8.
127. <https://www.oralb.de/de-de/mundhygiene/warum-oral-b/warum-elektrische-zahnbuersten/vorteile-einer-elektrischen-zahnbuerste> [Stand 28.02.2022]
128. Adam R, Ram Goyal C, Qaqish J, Grender J. Evaluation of an oscillating-rotating toothbrush with micro-vibrations versus a sonic toothbrush for the reduction of plaque and gingivitis: results from a randomized controlled trial. *Int Dent J*. 2020;70 Suppl 1:S16-s21.
129. <https://schallzahnbuerstencheck.de/funktionsweise-einer-schallzahnbuerste> [Stand 28.02.2022]
130. Hope CK, Wilson M. Effects of dynamic fluid activity from an electric toothbrush on in vitro oral biofilms. *J Clin Periodontol*. 2003;30(7):624-9.

131. Petker-Jung W, Weik U, Margraf-Stiksrud J, Deinzer R. What characterizes effective tooth brushing of daily users of powered versus manual toothbrushes? *BMC Oral Health*. 2022;22(1):10.
132. 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. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2013;143(6):760-6.
133. Erbe C, Klees V, Ferrari-Peron P, Ccahuana-Vasquez RA, Timm H, Grender J, et al. A comparative assessment of plaque removal and toothbrushing compliance between a manual and an interactive power toothbrush among adolescents: a single-center, single-blind randomized controlled trial. *BMC Oral Health*. 2018;18(1):130.
134. Re D, Augusti G, Battaglia D, Gianni AB, Augusti D. Is a new sonic toothbrush more effective in plaque removal than a manual toothbrush? *Eur J Paediatr Dent*. 2015;16(1):13-8.
135. Kurtz B, Reise M, Klukowska M, Grender JM, Timm H, Sigusch BW. A randomized clinical trial comparing plaque removal efficacy of an oscillating-rotating power toothbrush to a manual toothbrush by multiple examiners. *Int J Dent Hyg*. 2016;14(4):278-83.
136. Robinson PG, Deacon SA, Deery C, Heanue M, Walmsley AD, Worthington HV, et al. Manual versus powered toothbrushing for oral health. *Cochrane Database Syst Rev*. 2005(2):Cd002281.
137. Yaacob M, Worthington HV, Deacon SA, Deery C, Walmsley AD, Robinson PG, et al. Powered versus manual toothbrushing for oral health. *Cochrane Database Syst Rev*. 2014;2014(6):Cd002281.
138. van der Sluijs E, Slot DE, Hennequin-Hoenderdos NL, Valkenburg C, van der Weijden F. Dental plaque score reduction with an oscillating-rotating power toothbrush and a high-frequency sonic power toothbrush: a systematic review and meta-analysis of single-brushing exercises. *Int J Dent Hyg*. 2021;19(1):78-92.
139. Deutsche Gesellschaft für Parodontologie. S3-Leitlinie: Häusliches chemisches Biofilmmangement in der Prävention und Therapie der Gingivitis AWMF Register-Nr. 083-016, Stand November 2018.
140. Jahn CA. The dental water jet: a historical review of the literature. *J Dent Hyg*. 2010;84(3):114-20.
141. Hamza B, Attin T, Cucuzza C, Gubler A, Wegehaupt FJ. RDA and REA Values of Commercially Available Toothpastes Utilising Diamond Powder and Traditional Abrasives. *Oral Health Prev Dent*. 2020;18(1):807-14.
142. Barbakow F, Imfeld T, Lutz F, Stookey G, Schemehorn B. Dentin abrasion (RDA), enamel abrasion (REA) and polishing scores of dentifrices sold in Switzerland. *Schweiz Monatsschr Zahnmed*. 1989;99(4):408-13.
143. Cury JA, Tenuta LM. Evidence-based recommendation on toothpaste use. *Braz Oral Res*. 2014;28 Spec No:1-7.
144. Axelsson P, Lindhe J. Effect of controlled oral hygiene procedures on caries and periodontal disease in adults. Results after 6 years. *J Clin Periodontol*. 1981;8(3):239-48.
145. Zotti F, Dalessandri D, Salgarello S, Piancino M, Bonetti S, Visconti L, et al. Usefulness of an app in improving oral hygiene compliance in adolescent orthodontic patients. *Angle Orthod*. 2016;86(1):101-7.
146. Khatoon B. The use of a mobile app to motivate evidence-based oral hygiene behaviour. *Br Dent J*. 2015;219(4):166-7.

147. Saxena K, Gunjal S. Influence of WhatsApp and electronic mail reminders on oral hygiene compliance of orthodontic patients using planimetry : A randomized clinical trial. *J Orofac Orthop*. 2021.
148. Kaiser E, Thurnay S, Markgraf D, Pack S, Grender J, Hengehold D, et al. Brush head wear, subject-perceived and laboratory cleaning performance of two oscillating-rotating electric toothbrush heads over 3 months. *Am J Dent*. 2012;25(2):84-90.
149. Erbe C, Jacobs C, Klukowska M, Timm H, Grender J, Wehrbein H. A randomized clinical trial to evaluate the plaque removal efficacy of an oscillating-rotating toothbrush versus a sonic toothbrush in orthodontic patients using digital imaging analysis of the anterior dentition. *Angle Orthod*. 2019;89(3):385-90.
150. Erbe C, Klukowska M, Timm H, Barker ML, Wielen J, Wehrbein H. A randomized controlled trial of a power brush/irrigator/mouthrinse routine on plaque and gingivitis reduction in orthodontic patients. *Angle Orthod*. 2018;89.
151. Morrow D, Wood DP, Speechley M. Clinical effect of subgingival chlorhexidine irrigation on gingivitis in adolescent orthodontic patients. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 1992;101(5):408-13.
152. 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. *Int J Clin Pediatr Dent*. 2015;8(3):181-9.
153. Migliorati M, Isaia L, Cassaro A, Rivetti A, Silvestrini-Biavati F, Gastaldo L, et al. Efficacy of professional hygiene and prophylaxis on preventing plaque increase in orthodontic patients with multibracket appliances: a systematic review. *Eur J Orthod*. 2015;37(3):297-307.
154. 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. *J Orofac Orthop*. 2005;66(1):20-38.
155. Huber SJ, Vernino AR, Nanda RS. Professional prophylaxis and its effect on the periodontium of full-banded orthodontic patients. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 1987;91(4):321-7.
156. Choi YY. Relationship between orthodontic treatment and dental caries: results from a national survey. *Int Dent J*. 2020;70(1):38-44.
157. Paolantonio M, Pedrazzoli V, di Murro C, di Placido G, Picciani C, Catamo G, et al. Clinical significance of *Actinobacillus actinomycetemcomitans* in young individuals during orthodontic treatment. A 3-year longitudinal study. *J Clin Periodontol*. 1997;24(9 Pt 1):610-7.
158. Azaripour A, Weusmann J, Mahmoodi B, Peppas D, Gerhold-Ay A, Van Noorden CJF, et al. Braces versus Invisalign®: gingival parameters and patients' satisfaction during treatment: a cross-sectional study. *BMC Oral Health*. 2015;15(1):69.
159. Cardoso MdA, Saraiva PP, Maltagliati LÁ, Rhoden FK, Costa CCA, Normando D, et al. Alterations in plaque accumulation and gingival inflammation promoted by treatment with self-ligating and conventional orthodontic brackets. *Dental Press J Orthod*. 2015;20(2):35-41.
160. Abbate GM, Caria MP, Montanari P, Mannu C, Orrù G, Caprioglio A, et al. Periodontal health in teenagers treated with removable aligners and fixed orthodontic appliances. *J Orofac Orthop*. 2015;76(3):240-50.
161. Moolya NN, Shetty A, Gupta N, Gupta A, Jalan V, Sharma R. Orthodontic bracket designs and their impact on microbial profile and periodontal disease: A clinical trial. *J Orthod Sci*. 2014;3(4):125-31.

162. Temming T. Vergleich verschiedener in der Kieferorthopädie angewandter Plaque-Indizes zur quantitativen Plaque-Bestimmung bei Patienten mit Multibracket-Apparatur [Doctoral Thesis]. Mainz: Johannes Gutenberg-Universität Mainz; 2019.
163. Frederking M. Wie betrachten Weiterbildungsassistenten der Kieferorthopädie und Studierende der Zahnmedizin Fernröntgenseitenbilder? – Eine Pilotstudie zum Vergleich unter Verwendung der Eyetracking-Technik [Doctoral Thesis]. Mainz: Johannes Gutenberg-Universität Mainz; 2021.
164. Mallett S, Phillips P, Fanshawe TR, Helbren E, Boone D, Gale A, et al. Tracking eye gaze during interpretation of endoluminal three-dimensional CT colonography: visual perception of experienced and inexperienced readers. *Radiology*. 2014;273(3):783-92.
165. Krupinski EA. Visual scanning patterns of radiologists searching mammograms. *Academic radiology*. 1996;3 2:137-44.
166. Gandomkar Z, Tay K, Brennan PC, Mello-Thoms C. Recurrence quantification analysis of radiologists' scanpaths when interpreting mammograms. *Med Phys*. 2018;45(7):3052-62.
167. Zimmermann D. Die Wahrnehmung von Kindern mit Karies – eine Eye-Tracking-Studie [Doctoral Thesis]. Göttingen: Georg-August-Universität zu Göttingen; 2018.
168. Crowe EM, Gilchrist ID, Kent C. New approaches to the analysis of eye movement behaviour across expertise while viewing brain MRIs. *Cogn Res Princ Implic*. 2018;3(1):12.
169. Celine G, Cho V, Kogan A, Anthonappa R, King N. Eye-tracking in dentistry: What do children notice in the dentist? *J Dent*. 2018;78:72-5.
170. Kammerer S, Schülke C, Leclaire MD, Schwindt W, Velasco Gonzalez A, Zoubi T, et al. Impact of Working Experience on Image Perception and Image Evaluation Approaches in Stroke Imaging: Results of an Eye-Tracking Study. *Rofo*. 2019;191(09):836-44.
171. Brams S, Ziv G, Hooge ITC, Levin O, De Brouwere T, Verschakelen J, et al. Focal lung pathology detection in radiology: Is there an effect of experience on visual search behavior? *Atten Percept Psychophys*. 2020;82(6):2837-50.
172. Hanley J, Warren D, Glass N, Tranel D, Karam M, Buckwalter J. Visual Interpretation of Plain Radiographs in Orthopaedics Using Eye-Tracking Technology. *Iowa Orthop J*. 2017;37:225-31.
173. Kok EM, Jarodzka H, de Bruin AB, BinAmir HA, Robben SG, van Merriënboer JJ. Systematic viewing in radiology: seeing more, missing less? *Adv Health Sci Educ Theory Pract*. 2016;21(1):189-205.
174. Deinzer R, Cordes O, Weber J, Hassebrauck L, Weik U, Krämer N, et al. Toothbrushing behavior in children - an observational study of toothbrushing performance in 12 year olds. *BMC Oral Health*. 2019;19(1):68.
175. Deinzer R, Jahns S, Harnacke D. Establishment of a new marginal plaque index with high sensitivity for changes in oral hygiene. *J Periodontol*. 2014;85(12):1730-8.
176. Al-Anezi SA, Harradine NW. Quantifying plaque during orthodontic treatment. *Angle Orthod*. 2012;82(4):748-53.
177. Löe H. The Gingival Index, the Plaque Index and the Retention Index Systems. *J Periodontol*. 1967;38(6):Suppl:610-6.
178. Gong H, Hsieh SS, Holmes DR, 3rd, Cook DA, Inoue A, Bartlett DJ, et al. An interactive eye-tracking system for measuring radiologists' visual fixations in volumetric CT images: Implementation and initial eye-tracking accuracy validation. *Med Phys*. 2021;48(11):6710-23.

179. Meyer-Marcotty P, Alpers GW, Gerdes AB, Stellzig-Eisenhauer A. How others perceive orthognathic patients: an eye-tracking study. *World J Orthod.* 2010;11(2):153-9.
180. Mukherjee M, Donnelly A, Rose B, Warren DE, Lyden E, Chantziantoniou N, et al. Eye tracking in cytotechnology education: "visualizing" students becoming experts. *J Am Soc Cytopathol.* 2020;9(2):76-83.
181. Duchowski A. *Eye tracking methodology Theory and Practice.* London, England: Springer, 2017.
182. Kelly BS, Rainford LA, Darcy SP, Kavanagh EC, Toomey RJ. The Development of Expertise in Radiology: In Chest Radiograph Interpretation, "Expert" Search Pattern May Predate "Expert" Levels of Diagnostic Accuracy for Pneumothorax Identification. *Radiology.* 2016;280(1):252-60.
183. Brunyé TT, Carney PA, Allison KH, Shapiro LG, Weaver DL, Elmore JG. Eye movements as an index of pathologist visual expertise: a pilot study. *PLoS One.* 2014;9(8):e103447.
184. Ganesan A, Alakhras M, Brennan PC, Mello-Thoms C. A review of factors influencing radiologists' visual search behaviour. *J Med Imaging Radiat Oncol.* 2018;62(6):747-57.
185. Mensi M, Scotti E, Sordillo A, Agosti R, Calza S. Plaque disclosing agent as a guide for professional biofilm removal: A randomized controlled clinical trial. *Int J Dent Hyg.* 2020;18(3):285-94.
186. Nagashima Y, Shigeishi H, Fukada E, Amano H, Urade M, Sugiyama M. Self-check with plaque disclosing solution improves oral hygiene in schoolchildren living in a children's home. *Archives of Public Health.* 2018;76(1):50.
187. Yavan MA, Kocahan S, Özdemir S, Sökücü O. The Effects of Using Plaque-Disclosing Tablets on the Removal of Plaque and Gingival Status of Orthodontic Patients. *Turk J Orthod.* 2019;32(4):207-14.
188. Furrer C, Bättig R, Votta I, Bastendorf KD, Schmidlin PR. Patient acceptance of Guided Biofilm Therapy. *Swiss Dent J.* 2021;131(3):229-34.
189. Eidenhardt Z, Ritsert A, Shankar-Subramanian S, Ebel S, Margraf-Stiksrud J, Deinzer R. Tooth brushing performance in adolescents as compared to the best-practice demonstrated in group prophylaxis programs: an observational study. *BMC Oral Health.* 2021;21(1):359.
190. Lee IC, Shieh TY, Yang YH, Tsai CC, Wang KH. Individuals' perception of oral health and its impact on the health-related quality of life. *J Oral Rehabil.* 2007;34(2):79-87.
191. Trickett-Shockey A. *Oral Health Self-Perception.* 2017.
192. Halvari A, Halvari H, Bjørnebekk G, Deci E. Oral health and dental well-being: Testing a self-determination theory model. *Journal of Applied Social Psychology.* 2012;43.
193. Banu A, Şerban C, Pricop M, Urechescu H, Vlaicu B. Dental health between self-perception, clinical evaluation and body image dissatisfaction – a cross-sectional study in mixed dentition pre-pubertal children. *BMC Oral Health.* 2018;18(1):74.

10 Anhang

Tab.2: Putzzeit der Probanden in Sekunden

	N	NMiss	Mean	Std	Min	Q1	Median	Q3	Max
Putzzeit (s)	28	0	80.82	24.19	35.00	66.00	78.50	99.50	125.00

Tab.3: Putztechnik und Geschlecht der Probanden

	N	%
Schrubbtechnik		
nein	18	64,29
ja	10	35,71
Rotationstechnik		
nein	13	46,43
ja	15	53,57
Mod. Basstechnik		
nein	25	89,29
ja	3	10,71
Summe		
weiblich	21	75,00
männlich	7	25,00

Tab.4: Verteilung der Zeitspanne bis zur ersten Fixation in Sekunden. Vergleich zwischen Eltern, Jugendlichen und Studierenden. Unterschieden nach Farbe und Fixation in einer AOI oder einem beliebigen Bereich

				N	NMiss	Mean	Min	Q1	Median	Q3	Max	
Zeit bis zur ersten Fixation	AOIs	Eltern	nein	749	91	0.51	0.00	0.23	0.35	0.58	4.79	
			ja	748	92	0.53	0.00	0.25	0.35	0.56	4.56	
		Jugendliche	nein	748	92	0.44	0.00	0.20	0.32	0.51	4.26	
			ja	804	36	0.42	0.00	0.20	0.28	0.48	4.13	
		Studierende	nein	892	8	0.51	0.00	0.22	0.32	0.53	4.75	
			ja	896	4	0.52	0.00	0.20	0.32	0.56	4.48	
		Gesamt	Farbe	nein	2389	191	0.49	0.00	0.22	0.33	0.55	4.79
				ja	2448	132	0.49	0.00	0.22	0.32	0.53	4.56
		Außerhalb der AOIs	Eltern	nein	833	7	0.70	0.00	0.15	0.38	0.85	4.74
	ja			825	15	0.65	0.00	0.12	0.33	0.85	4.67	
	Jugendliche		nein	799	41	0.81	0.00	0.17	0.48	1.14	4.68	
			ja	797	43	0.86	0.00	0.18	0.56	1.24	4.68	
	Studierende		nein	872	28	0.82	0.00	0.15	0.37	1.16	4.88	
			ja	870	30	0.89	0.00	0.20	0.46	1.19	4.74	
	Gesamt		Farbe	nein	2504	76	0.78	0.00	0.15	0.40	1.06	4.88
				ja	2492	88	0.80	0.00	0.15	0.43	1.11	4.74

Tab.5: Testergebnisse im Proportional Hazard-Modell mit Proband als zufälligem Effekt (Frailty-Term)

Type 3 Tests					
Effekt	Wald-Test	Freiheitsgrade	p-Wert	Adjustierte Freiheitsgrade	Adjustierter p-Wert
Objektive Bewertung	19.2384	10	0.0373	9.9959	0.0373
Bild	149.3397	19	<.0001	18.9925	<.0001
Farbe	0.3284	1	0.5666	0.9993	0.5663
Probandengruppe	8.1301	2	0.0172	0.05637	0.0001
ProbandNr	1360.4930	.	.	80.6434	<.0001

Tab.6: Einfluss der Probandengruppe (Quelle) auf die Zeit bis zur ersten Fixation in einer AOI. Hazard Ratio, 95%-Konfidenzintervall

Hazard Ratios für Vergleich der Probanden gruppen			
Vergleich	Hazard Ratio	95% Wald Konfidenzgrenzen	
Eltern vs Jugendliche	0.553	0.358	0.854
Eltern vs Studierende	0.616	0.401	0.944
Jugendliche vs Studierende	1.113	0.727	1.705

Tab.7: Einfluss der objektiven Bewertung der Mundhygiene auf die Zeit bis zur ersten Fixation in einer AOI. Hazard Ratio, 95%-Konfidenzintervall

Hazard Ratios für objektive Bewertung mit Attin-Index			
Beschreibung	Hazard Ratio	95% Wald Konfidenzgrenzen	
objektive_Bewertung_mit_Attin_In 0 vs 1	1.069	0.859	1.331
objektive_Bewertung_mit_Attin_In 0 vs 2	1.088	0.875	1.352
objektive_Bewertung_mit_Attin_In 0 vs 3	1.189	0.956	1.478
objektive_Bewertung_mit_Attin_In 0 vs 4	1.236	0.994	1.537
objektive_Bewertung_mit_Attin_In 0 vs 5	1.047	0.842	1.300
objektive_Bewertung_mit_Attin_In 0 vs 6	1.034	0.832	1.287
objektive_Bewertung_mit_Attin_In 0 vs 7	0.871	0.701	1.083
objektive_Bewertung_mit_Attin_In 0 vs 8	1.070	0.861	1.331
objektive_Bewertung_mit_Attin_In 0 vs 9	0.877	0.705	1.090
objektive_Bewertung_mit_Attin_In 0 vs 10	1.126	0.905	1.400
objektive_Bewertung_mit_Attin_In 1 vs 2	1.017	0.818	1.264
objektive_Bewertung_mit_Attin_In 1 vs 3	1.112	0.894	1.383
objektive_Bewertung_mit_Attin_In 1 vs 4	1.156	0.929	1.438
objektive_Bewertung_mit_Attin_In 1 vs 5	0.979	0.787	1.216
objektive_Bewertung_mit_Attin_In 1 vs 6	0.967	0.778	1.203
objektive_Bewertung_mit_Attin_In 1 vs 7	0.815	0.655	1.013
objektive_Bewertung_mit_Attin_In 1 vs 8	1.001	0.805	1.245
objektive_Bewertung_mit_Attin_In 1 vs 9	0.820	0.659	1.020
objektive_Bewertung_mit_Attin_In 1 vs 10	1.053	0.846	1.310
objektive_Bewertung_mit_Attin_In 2 vs 3	1.093	0.880	1.358
objektive_Bewertung_mit_Attin_In 2 vs 4	1.136	0.914	1.412
objektive_Bewertung_mit_Attin_In 2 vs 5	0.962	0.775	1.194
objektive_Bewertung_mit_Attin_In 2 vs 6	0.951	0.765	1.181
objektive_Bewertung_mit_Attin_In 2 vs 7	0.801	0.644	0.995
objektive_Bewertung_mit_Attin_In 2 vs 8	0.984	0.792	1.222

Hazard Ratios für objektive Bewertung mit Attin-Index			
Beschreibung	Hazard Ratio	95% Wald	
		Konfidenzgr enzen	
objektive_Bewertung_mit_Attin_In 2 vs 9	0.806	0.648	1.002
objektive_Bewertung_mit_Attin_In 2 vs 10	1.035	0.833	1.286
objektive_Bewertung_mit_Attin_In 3 vs 4	1.040	0.836	1.292
objektive_Bewertung_mit_Attin_In 3 vs 5	0.880	0.709	1.093
objektive_Bewertung_mit_Attin_In 3 vs 6	0.870	0.700	1.081
objektive_Bewertung_mit_Attin_In 3 vs 7	0.733	0.589	0.911
objektive_Bewertung_mit_Attin_In 3 vs 8	0.900	0.724	1.119
objektive_Bewertung_mit_Attin_In 3 vs 9	0.737	0.593	0.916
objektive_Bewertung_mit_Attin_In 3 vs 10	0.947	0.761	1.177
objektive_Bewertung_mit_Attin_In 4 vs 5	0.847	0.681	1.052
objektive_Bewertung_mit_Attin_In 4 vs 6	0.837	0.673	1.040
objektive_Bewertung_mit_Attin_In 4 vs 7	0.705	0.567	0.876
objektive_Bewertung_mit_Attin_In 4 vs 8	0.866	0.696	1.076
objektive_Bewertung_mit_Attin_In 4 vs 9	0.709	0.570	0.882
objektive_Bewertung_mit_Attin_In 4 vs 10	0.911	0.732	1.133
objektive_Bewertung_mit_Attin_In 5 vs 6	0.988	0.796	1.228
objektive_Bewertung_mit_Attin_In 5 vs 7	0.832	0.670	1.034
objektive_Bewertung_mit_Attin_In 5 vs 8	1.023	0.823	1.270
objektive_Bewertung_mit_Attin_In 5 vs 9	0.838	0.675	1.040
objektive_Bewertung_mit_Attin_In 5 vs 10	1.076	0.866	1.336
objektive_Bewertung_mit_Attin_In 6 vs 7	0.842	0.677	1.047
objektive_Bewertung_mit_Attin_In 6 vs 8	1.035	0.833	1.286
objektive_Bewertung_mit_Attin_In 6 vs 9	0.847	0.681	1.054
objektive_Bewertung_mit_Attin_In 6 vs 10	1.088	0.875	1.354
objektive_Bewertung_mit_Attin_In 7 vs 8	1.229	0.988	1.527
objektive_Bewertung_mit_Attin_In 7 vs 9	1.006	0.810	1.251
objektive_Bewertung_mit_Attin_In 7 vs 10	1.292	1.038	1.608
objektive_Bewertung_mit_Attin_In 8 vs 9	0.819	0.659	1.018
objektive_Bewertung_mit_Attin_In 8 vs 10	1.052	0.846	1.308
objektive_Bewertung_mit_Attin_In 9 vs 10	1.284	1.032	1.597

Tab.8: Verteilung der Anzahl der Fixationen. Vergleich zwischen Eltern, Jugendlichen und Studierenden. Unterschieden nach Farbe und Fixation in einer AOI oder einem beliebigen Bereich

				N	NMiss	Mean	StdDev	Min	Q1	Median	Q3	Max	
Gesamtanzahl an Fixationen	AOIs	Eltern	Quelle	Farbe									
			nein	749	91	9.17	3.79	1.00	7.00	10.00	12.00	19.00	
		ja	748	92	8.99	4.16	1.00	6.00	10.00	12.00	21.00		
		Jugendliche	nein	748	92	9.42	3.54	1.00	7.00	9.00	12.00	19.00	
			ja	804	36	9.44	3.55	1.00	7.00	10.00	12.00	19.00	
		Studierende	nein	892	8	10.67	3.89	1.00	8.00	11.00	14.00	21.00	
			ja	896	4	10.76	4.29	1.00	8.00	11.00	14.00	21.00	
		Gesamt	Farbe										
			nein	2389	191	9.81	3.81	1.00	7.00	10.00	12.00	21.00	
			ja	2448	132	9.80	4.09	1.00	7.00	10.00	13.00	21.00	
	Außerhalb der AOIs	Eltern	Quelle	Farbe									
			nein	833	7	7.02	4.07	1.00	4.00	6.00	9.00	22.00	
		ja	825	15	7.40	3.99	1.00	4.00	7.00	10.00	20.00		
		Jugendliche	nein	799	41	6.26	3.29	1.00	4.00	6.00	8.00	18.00	
			ja	797	43	6.18	3.44	1.00	4.00	6.00	8.00	18.00	
		Studierende	nein	872	28	6.00	3.73	1.00	3.00	5.00	8.00	19.00	
			ja	870	30	5.61	3.67	1.00	3.00	5.00	8.00	19.00	
		Gesamt	Farbe										
			nein	2504	76	6.42	3.74	1.00	4.00	6.00	8.00	22.00	
			ja	2492	88	6.38	3.78	1.00	3.00	6.00	9.00	20.00	

Tab.9: Verteilung der Betrachtungsdauer in Sekunden. Vergleich zwischen Eltern, Jugendlichen und Studierenden. Unterschieden nach Farbe und Fixation in einer AOI oder einem beliebigen Bereich

				N	NMiss	Mean	StdDev	Min	Q1	Median	Q3	Max		
Gesamtbetrachtungszeitraum	AOIS	Eltern	nein	749	91	2.11	0.88	0.08	1.53	2.22	2.75	4.12		
			ja	748	92	1.88	0.92	0.08	1.17	1.99	2.56	4.31		
		Jugendliche	nein	748	92	2.00	0.85	0.10	1.38	1.97	2.64	4.17		
			ja	804	36	1.96	0.86	0.12	1.32	1.92	2.60	4.13		
		Studierende	nein	892	8	2.21	0.88	0.10	1.59	2.27	2.85	4.23		
			ja	896	4	2.18	0.93	0.10	1.53	2.26	2.90	4.21		
		Gesamt	Farbe											
			nein	2389	191	2.12	0.87	0.08	1.49	2.16	2.75	4.23		
			ja	2448	132	2.02	0.91	0.08	1.33	2.06	2.71	4.31		
		Außerhalb der AOIs	Eltern	Quelle	Farbe									
				nein	833	7	1.53	0.87	0.10	0.85	1.38	2.12	4.50	
			Jugendliche	ja	825	15	1.50	0.88	0.10	0.81	1.34	2.06	3.98	
				nein	799	41	1.29	0.76	0.08	0.71	1.16	1.74	3.80	
			Studierende	ja	797	43	1.22	0.74	0.08	0.63	1.10	1.66	4.02	
	nein			872	28	1.21	0.80	0.08	0.60	1.08	1.63	4.21		
	Gesamt		ja	870	30	1.11	0.80	0.08	0.50	0.91	1.52	4.05		
			Farbe											
			nein	2504	76	1.34	0.82	0.08	0.71	1.18	1.81	4.50		
			ja	2492	88	1.28	0.83	0.08	0.63	1.13	1.74	4.05		

Tab.10: Verteilung der Fixierungszeit in Sekunden. Vergleich zwischen Eltern, Jugendlichen und Studierenden. Unterschieden nach Farbe und Fixation in einer AOI oder einem beliebigen Bereich

				N	NMiss	Mean	StdDev	Min	Q1	Median	Q3	Max	
Fixierungsdauer	AOIS	Eltern	Quelle	Farbe									
			nein	749	91	0.23	0.06	0.08	0.20	0.23	0.26	0.74	
		ja	748	92	0.21	0.05	0.08	0.18	0.21	0.24	0.58		
		Jugendliche	nein	748	92	0.22	0.06	0.10	0.17	0.21	0.25	0.55	
			ja	804	36	0.21	0.06	0.09	0.17	0.20	0.24	0.57	
		Studierende	nein	892	8	0.21	0.05	0.09	0.17	0.20	0.24	0.58	
			ja	896	4	0.20	0.05	0.10	0.17	0.20	0.23	0.42	
		Gesamt	Quelle	Farbe									
			nein	2389	191	0.22	0.06	0.08	0.18	0.21	0.25	0.74	
			ja	2448	132	0.21	0.05	0.08	0.17	0.20	0.24	0.58	
	Außerhalb der AOIs	Eltern	Quelle	Farbe									
			nein	833	7	0.22	0.07	0.09	0.18	0.22	0.25	0.54	
		ja	825	15	0.20	0.06	0.09	0.16	0.20	0.24	0.54		
		Jugendliche	nein	799	41	0.21	0.07	0.08	0.17	0.20	0.24	1.05	
			ja	797	43	0.20	0.06	0.08	0.16	0.19	0.23	0.71	
		Studierende	nein	872	28	0.20	0.06	0.08	0.16	0.20	0.24	0.50	
			ja	870	30	0.20	0.05	0.08	0.16	0.19	0.23	0.47	
		Gesamt	Quelle	Farbe									
			nein	2504	76	0.21	0.06	0.08	0.17	0.20	0.24	1.05	
			ja	2492	88	0.20	0.06	0.08	0.16	0.19	0.23	0.71	

Tab.11: Testergebnisse im gemischten linearen Modell für Blickpfadlänge

Type 3 Tests				
Effekt	Num DF	Den DF	F Value	Pr > F
Objektive Bewertung	10	5074	3.04	0.0007
Farbe	1	5074	65.74	<.0001
Farbe*objektive Bewertung	10	5074	1.33	0.2084
Probandengruppe	2	5074	120.04	<.0001
Probandengruppe*objektive Bewertung	20	5074	1.18	0.2593
Farbe*Probandengruppe	2	5074	0.29	0.7450
Farbe*Probandengruppe*objektive Bewertung	20	5074	1.07	0.3775

Tab.12: Verteilung der Abweichung der subjektiven Bewertung von der objektiven Bewertung in Bewertungsstufen. Vergleich zwischen Eltern, Jugendlichen und Studierenden.

		Bewertung - obj. Bewertung								
		N	NMiss	Mean	StdDev	Min	Q1	Median	Q3	Max
Probanden- gruppe	Farbe									
	nein	840	0	-0.00	3.14	-8.00	-2.00	0.00	2.00	9.00
	ja	840	0	1.13	2.40	-6.00	0.00	1.00	3.00	7.00
Jugendliche	nein	840	0	-0.20	3.18	-8.00	-3.00	0.00	2.00	10.00
	ja	840	0	0.85	2.41	-6.00	-1.00	1.00	2.00	10.00
Studierende	nein	900	0	-0.51	2.72	-8.00	-2.00	0.00	1.00	8.00
	ja	900	0	0.75	2.10	-7.00	0.00	0.00	2.00	9.00
Gesamt	Farbe									
	nein	2580	0	-0.24	3.02	-8.00	-2.00	0.00	2.00	10.00
	ja	2580	0	0.91	2.31	-7.00	-1.00	1.00	2.00	10.00

Tab.13: Testergebnisse im gemischten linearen Modell für subjektive Bewertung

Type 3 Tests of Fixed Effects				
Effekt	Num DF	Den DF	F Value	Pr > F
Objektive Bewertung	10	5074	29.70	<.0001
Farbe	1	5074	398.69	<.0001
Farbe*objektive Bewertung	10	5074	39.87	<.0001
Probandengruppe	2	5074	17.01	<.0001
Probandengruppe*obj ektive Bewertung	20	5074	6.58	<.0001
Farbe*Probandengrup pe	2	5074	1.15	0.3156
Farbe*Probandengrup pe*objektive Bewertung	20	5074	0.88	0.6075

Tab.14: Testergebnisse im gemischten linearen Modell für die Abweichung zwischen subjektiver und objektiver Bewertung der Jugendlichen

Type 3 Tests				
Effekt	Num DF	Den DF	F Value	Pr > F
Objektive Bewertung	10	1573	32.98	<.0001
Farbe	1	1573	113.96	<.0001
Farbe*objektive Bewertung	10	1573	15.11	<.0001
Putzzeit[sec]	1	1573	26.94	<.0001
Putzzeit[sec] ²	1	1573	41.71	<.0001
Schrubbertechnik	1	1573	0.00	0.9481
Rotationstechnik	1	1573	6.70	0.0097
Mod. Basstechnik	1	1573	1.20	0.2729

