

Studienprotokoll

BRUSHALYZE. Den Zahnputzvorgang von Grund auf verstehen

Professionalisierung und Technik des Zähneputzens im Studium (PUTZIS):

Analyse von Zahnmedizinierenden unterschiedlicher Semester mit verschiedenen Technologien

Verantwortlich für die Studiendurchführung:

Univ.-Prof. Dr. Renate Deinzer

Institut für Medizinische Psychologie

Fachbereich Medizin

Justus-Liebig-Universität Gießen

Klinikstr. 29

35392 Gießen

Die Studienplanung und -durchführung erfolgt im Rahmen des von der DFG geförderten Forschungsprojekts Brushalyze: <https://gepris.dfg.de/gepris/projekt/448034414>

1 Theoretische Einführung

Die Prävalenzen für Erkrankungen des Zahnhalteapparates wie Gingivitis oder Parodontitis liegen weltweit und insbesondere auch in der deutschen Bevölkerung bei bis zu 50 % (Eke et al. 2015; Eke et al. 2020; Kassebaum et al. 2017; Jordan und Micheelis 2016) . Verwunderlich sind diese hohen Zahlen angesichts der Tatsache, dass sie durch eine richtige Mundhygiene, wie beispielsweise durch das regelmäßige und gründliche Zähneputzen, eigentlich zu verhindern wären (Meyle und Chapple 2015; Rott 2022; Loe et al. 1967). Diverse Studien zeigen, dass Versuchspersonen nach einem Zahnputzvorgang ihre Plaque-Werte nicht mehr als auf maximal 50 % zu reduzieren vermögen (Deinzer et al. 2019; Deinzer et al. 2018a; Deinzer et al. 2016; Harnacke et al. 2012; Harnacke et al. 2016). Das weist auf Defizite im Gebrauch einer Zahnbürste hin.

Um diese weiter nachvollziehen zu können, muss der Zahnputzvorgang genau erfasst werden, was bislang mit aufwändiger Videoanalyse geschieht. Um diese Analysen zu vereinfachen und zu präzisieren, wurde in Zusammenarbeit mit der Uni Kassel (IES) und der Technischen Hochschule Mittelhessen (THM) eine multisensorisch bestückte Zahnbürste (Brushalyze) entwickelt, die derzeit anhand von Daten aus Zahnputzvorgängen weiter optimiert wird. Aufbauend auf Sensordaten aus Pilotstudien wurden dezidierte KI-Modelle entwickelt und trainiert, die erste Rückschlüsse auf den Putzverlauf zulassen. Die Daten, die in der im Folgenden beschriebenen Studie generiert werden, dienen der weiteren Optimierung der Brushalyze wie auch der Weiterentwicklung initieller KI-Modelle. Mithilfe der wissenschaftlichen Erkenntnisse aus dieser Studie soll die Applikabilität von Inertialsensordaten-gestützte KI-Methoden für die Zahnmedizin weiter erforscht werden.

Während zahnmedizinische Laien Defizite bei der Mundhygiene zeigen, gelingt dies zahnärztlichem Personal sehr gut (Deinzer et al. 2018b). Es scheint im Verlauf der Berufsausbildung des Fachpersonals zu einer Professionalisierung des Zähneputzens zu kommen. Studien mit Studierenden der Zahnmedizin konnten zudem Verbesserungen der Mundgesundheit und Mundhygiene im Verlauf des Studiums feststellen (Karem Hassan et al. 2020; Howat et al. 1979). Welche Komponenten zu dieser Verbesserung beitragen und was den professionellen Zahnputzvorgang von dem eines Laien unterscheidet, ist bisher nicht zufriedenstellend aufgeklärt oder überhaupt nicht erforscht worden. In der geplanten Studie sollen daher Zahnmedizinistudierende aller Semester hinsichtlich ihrer Mundgesundheit, ihrer Mundhygiene und ihres Zahnputzverhaltens untersucht werden. Explorativ werden darüber hinaus externe Faktoren wie die belegten Module im Studium und interne Faktoren wie das Problembewusstsein, die Selbstwirksamkeitserwartung und die feinmotorischen Fähigkeiten untersucht. Die Ergebnisse könnten wertvolle Hinweise darauf liefern, wie sich das „richtige“ Putzen der Zähne gestaltet und welche Komponenten womöglich in Präventionsmaßnahmen berücksichtigt werden müssen, um auch Laien die Kompetenz zum Zähneputzen erfolgreich vermitteln zu können.

Sie sind zugleich geeignet, die KI-gestützte Erfassung des Zahnputzvorgangs mithilfe der Brushalyze Sensoren zu verbessern. Verfahren des maschinellen Lernens, welche für das Brushalyze System verwendet werden, erfordern eine Balance aus Qualität und Quantität von Daten. Die große Bandbreite unterschiedlicher Putzmuster, welche in der geplanten Studie generiert werden, bieten daher eine ideale Lern- und Testumgebung für das Vorhaben, das Zähneputzen automatisiert zu erfassen.

2 Fragestellungen

Primäre Fragestellungen (inhaltlich)

1. Wie unterscheiden sich Zahnmedizinstudierende im ersten und letzten Studienjahr in der unmittelbaren und mittelfristigen Zahnputzeffektivität?
2. Wie unterscheiden sich Zahnmedizinstudierende im ersten und letzten Studienjahr in der unmittelbaren Zahnputzperformanz bei bestmöglichem Putzen?
3. Wie unterscheiden sich Zahnmedizinstudierende im ersten und letzten Studienjahr in der Anwendung von Approximalhygiene?

Sekundäre Fragestellungen (inhaltlich)

4. Lässt sich ein Semester identifizieren, in dem ein Sprung in der unmittelbaren Zahnputzeffektivität feststellbar wird und auf welche Studieninhalte könnten mögliche Veränderungen in der Zahnputzeffektivität zurückführbar sein?
5. Auf welche psychologischen, motorischen und kognitiven Faktoren könnten mögliche Veränderungen in der Zahnputzperformanz zurückführbar sein?

Fragestellungen zu Brushalyze

6. Inwieweit kann ein KI-Modell anhand von Sensordaten beobachtete Verhaltensdaten (Zahnkontaktzeit, Flächen, Sextanten und Quadranten, Bewegungen) bestimmen?
7. Inwieweit lässt sich die Vorhersagegenauigkeit der geputzten Sextanten durch die Zunahme der Magnetometerdaten insbesondere im Hinblick auf sich über Zeit akkumulierende Fehler verbessern?
8. Wie unterscheidet sich die Vorhersagegenauigkeiten der einzelner Verhaltensdaten in Abhängigkeit zueinander?
9. Welche Merkmale lassen sich in den Sensordaten der Brushalyze Zahnbürste identifizieren, die eine Unterscheidung zwischen Zahnmedizinstudierenden im ersten und letzten Studienjahr ermöglichen?

Hypothesen

1. Zur Fragestellung 1

- 1.1. Zahnmedizinstudierende im Abschlussjahr haben unmittelbar nach dem Zähneputzen signifikant weniger Plaqueablagerungen als Zahnmedizinstudierende im ersten Studienjahr.
- 1.2. Zahnmedizinstudierende im Abschlussjahr haben im Durchschnitt signifikant weniger Gingivitiden als Zahnmedizinstudierende im ersten Studienjahr.

2. Zur Fragestellung 2

- 2.1.a) Zahnmedizinstudierende im Abschlussjahr vernachlässigen oral weniger Sextanten beim Putzen als Zahnmedizinstudierende im ersten Studienjahr (primäre Hypothese)
- 2.1.b) Zahnmedizinstudierende im Abschlussjahr verwenden einen prozentual größeren Zeitanteil der Gesamtputzzeit auf das Putzen der oralen Flächen als Zahnmedizinstudierende im ersten Studienjahr (sekundäre Hypothese).

- 2.2.a) Zahnmedizinstudierende im Abschlussjahr verwenden einen prozentual kleineren Zeitanteil der Gesamtputzzeit auf das Putzen mit horizontalen Bewegungen ihrer vestibulären Zahnflächen als Zahnmedizinstudierende im ersten Studienjahr.
- 2.2.b) Zahnmedizinstudierende im Abschlussjahr verwenden einen prozentual kleineren Zeitanteil der Gesamtputzzeit auf das Putzen mit horizontalen Bewegungen ihrer oralen Zahnflächen als Zahnmedizinstudierende im ersten Studienjahr (sekundäre Hypothese).

3. Zur Fragestellung 3

- 3.1.a) Zahnmedizinstudierende im Abschlussjahr verwenden signifikant häufiger Utensilien der Approximalhygiene als Zahnmedizinstudierende im ersten Studienjahr während eines Zahnputzvorgangs im Labor (primäre Hypothese).
- 3.1.b) Zahnmedizinstudierende im Abschlussjahr verwenden signifikant häufiger Utensilien der Approximalhygiene korrekt als Zahnmedizinstudierende im ersten Studienjahr (sekundäre Hypothese).
- 3.1.c) Zahnmedizinstudierende im Abschlussjahr geben im Selbstbericht signifikant häufiger an, Utensilien der Approximalhygiene bei der häuslichen Mundhygiene zu verwenden als Zahnmedizinstudierende im ersten Studienjahr (sekundäre Hypothese).

4. Zur Fragestellung 4

- 4.1. Es lässt sich ein Semester identifizieren, in dem es zu einer signifikant größeren Zunahme der Zahnputzeffektivität kommt als in den davorliegenden oder nachfolgenden Semestern.
- 4.2. Die Beschreibung der Studieninhalte, die zu einer Zunahme geführt haben könnten, erfolgt qualitativ.

5. Zur Fragestellung 5

- 5.1. Die Differenz zwischen der subjektiv wahrgenommenen und der tatsächlich erreichten Freiheit von Plaque ist im ersten Studienjahr signifikant größer als die Differenz beider Werte im Abschlussjahr.
- 5.2. Die Selbstwirksamkeitserwartungen verändern sich im Verlauf des Studiums.
- 5.3. Zahnmedizinstudierende im Abschlussjahr verfügen über eine signifikant größere Fingerfertigkeit als Zahnmedizinstudierende im ersten Studienjahr.

Hypothesen zu Brushalyze

6. Zur Fragestellung 6

- 6.1. Anhand von Inertialsensordaten ungesehener Putzvorgänge kann ein trainiertes KI-Modell die beobachteten Verhaltensdaten innerhalb einer Variablen-abhängigen individuellen Fehlertoleranz bestimmen.

7. Zur Fragestellung 7

- 7.1. Die Hinzunahme von Daten des Magnetometers als Eingabe in das KI-Modell verbessert die Vorhersagegenauigkeit der einzelnen Verhaltensdaten statistisch signifikant.
- 7.2. Die Verbesserung der Vorhersagegenauigkeit steigt insbesondere für Ortsbezogene Verhaltensdaten in Korrelation mit der vergangenen Putzdauer.

8. Zur Fragestellung 8

- 8.1. Es lassen sich wiederkehrende Merkmale in den Inertialsensordaten und Daten des Magnetometers identifizieren, die individuelle Putzverhalten charakterisieren.

8.2. Die Vorhersagegenauigkeit individueller Verhaltensdaten weicht in Abhängigkeit von anderen Verhaltensdaten statistisch signifikant ab.

9. Zur Fragestellung 9

9.1. Es lassen sich wiederkehrende Merkmale in den Daten der Inertialsensoren und des Magnetometers identifizieren, die individuelles Putzverhalten charakterisieren.

9.2. Die Form, Ausprägung, Frequenz und Stabilität einiger der identifizierten Merkmale unterscheiden sich abhängig vom Studienjahr des Putzers.

3 Ethik

Die Studie wird im Einklang mit der Deklaration von Helsinki geplant und durchgeführt.

Ethikvotum

Das Projekt *Brushalyze* und die darin eingebettete Studie *PUTZIS* wurden von der Ethik-Kommission der Justus-Liebig-Universität Gießen, Fachbereich Medizin, positiv begutachtet (AZ 261/19, 27.01.2020, 03.09.2023).

Probandenauswahl, Risiken und Entschädigung

Die Auswahl von Probandinnen und Probanden erfolgt unabhängig von Geschlecht, Ethnie, politischer Einstellung oder religiöser Zugehörigkeit. Gesundheitliche Folgeschäden durch eine Teilnahme an der Studie werden nicht erwartet, auch wenn die geplante zahnärztliche, non-invasive Untersuchung für manche Menschen unangenehm sein kann. Die Teilnehmenden erhalten eine finanzielle Aufwandsentschädigung.

Einwilligung und Datenschutz

Die Teilnehmenden erhalten eine umfangreiche Aufklärung über die Teilnahmebedingungen, den Datenschutz und mögliche Risiken. Eine schriftliche Einwilligung ist erforderlich und wird im Institut verwahrt. Der Datenschutz wird im Sinne der DSGVO eingehalten. Der Umgang mit den Daten erfolgt sorgfältig und gewissenhaft.

Finanzielle Mittel und Interessenkonflikte

Die finanziellen Mittel werden von der DFG bereitgestellt. Interessenkonflikte bestehen keine.

4 Studiendesign

Es handelt sich um eine explorative Studie mit gesunden Freiwilligen, die keiner Intervention zugeordnet, sondern die non-invasiv zahnmedizinisch und psychologisch im Querschnitt untersucht werden. Die Bildung von Gruppen ist qua Semesterzugehörigkeit gegeben. Die Terminwahl für eine Laboruntersuchung treffen die Studierenden selbst.

Probandinnen und Probanden

In einer Vorabbefragung werden potenziell alle Zahnmedizinierenden des Sommersemesters 2023 an der Justus-Liebig-Universität Gießen angesprochen. Sie beantworten an dieser Stelle Fragen zu soziodemographischen Daten, dem persönlichen Mundhygieneverhalten, Relevanz von Inhalten des Zahnmedizinstudiums für ihre persönliche Mundhygiene, ihr Wissen über Aufklärungsgespräche über die optimale Mundhygiene und ihre Selbstwirksamkeitserwartungen hinsichtlich des Zähneputzens. Im Rahmen dieser Befragung werden auch Ein- und Ausschlusskriterien (s. unten) erfasst. Potentiell

geeignete Personen werden eingeladen, einen Termin für die weitere Teilnahme an der Studie zu vereinbaren.

Beschreibung der Brushalyze

Die in dieser Studie zum Einsatz kommende Zahnbürste verfügt über Sensoren, die die zeitlichen Abläufe, Bewegungsmuster und Orte analysieren können sollen. Die Zahnbürste wird, trotz ihrer Ähnlichkeit zu herkömmlichen elektrischen Zahnbürsten, manuell bedient. Die im Handstück der Zahnbürste verbauten Inertialsensoren messen sowohl die Beschleunigung als auch die Rotationsgeschwindigkeit auf mehreren Achsen. Zusätzlich ist ein Magnetometer verbaut, welches die magnetische Flussdichte misst. Wenn Informationen dieser Datenquellen zusammengefügt werden, lassen sich Informationen zur Lage im Raum schätzen welche wiederum Rückschlüsse über die Position des Bürstkopfes im Mund über die Zeit ermöglichen. Darüber hinaus ist es möglich, anhand charakteristischer Muster innerhalb dieser Zeitreihen gemessenes Putzverhalten zu klassifizieren.

Ein- und Ausschlusskriterien

Einschlusskriterien

- Alter ≥ 18 Jahre
- Studierende der Zahnmedizin im Sommersemester 2023 an der JLU Gießen
- ≥ 20 natürliche Zähne

Ausschlusskriterien

- festsitzende kieferorthopädischen Apparaturen (mit Ausnahme von Retainern im Unterkiefer)
- Oralpiercing oder Zahnschmuck
- Schwangerschaft und Stillzeit
- kognitive und körperliche Einschränkungen beim Zähneputzen (z.B. durch Armverletzung)
- PZR oder Zahnpolitur in den vergangenen 4 Wochen
- Nikotinkonsum von mehr als 5 Zigaretten pro Tag (sollte dieses zum Ausschluss von mehr als 20% der prinzipiell verfügbaren Probanden führen, wird die Variable stattdessen als Kontrollvariable in die Analysen integriert)
- akute oder chronische Erkrankungen mit Einfluss auf die Mundhygiene (z.B. Diabetes, HIV, Essstörungen, akute Herpesreaktion, akute Entzündungen im Mundraum)
- Einnahme von Medikamenten, die sich auf die Mundhygiene oder –gesundheit auswirken können (z.B. Medikamente zur Behandlung von Epilepsie, Herzerkrankungen, Immunsuppression)

Erfasste Variablen

Beschreibung der Stichprobe

- Geschlecht
- Alter
- Absolvierte Semester
- Zahnmedizinische Vorerfahrung(en)/Ausbildungen im Bereich/Elternhaus/Praktika
- Häusliches Mundhygieneverhalten (Häufigkeit, genutzte Utensilien)
- Ausmaß des Gebrauchs einer manuellen vs. Elektrischen Zahnbürste
- Vorhandensein eines Retainers im Unterkiefer
- Nikotinkonsum

- DMF-T (vgl. WHO, 2013; Jordan & Micheelis, 2016)

Verhaltensdaten (vgl. Eidenhardt et al. 2021)

- Zahnkontaktzeit
- Flächen
- Sextanten und Quadranten
- Bewegungen

Abhängige Variablen mit Zuordnung zu den jeweiligen Hypothesen

1. Zur Fragestellung 1

- 1.1. Marginaler Plaque-Index (MPI, Deinzer et al. 2014)
- 1.2. Papillen-Blutungs-Index: Blutung Ja/Nein (PBI, Saxer, U. P. & Mühlemann, H.R. 1975)

2. Zur Fragestellung 2

- 2.1.a) The Quality index of toothbrushing regarding brushing time in sextants (QIT-S, Deinzer et al., 2018a) (primäre AV)
- 2.1.b) Prozentualer Anteil der Zahnkontaktzeit, mit dem Innenflächen der Zähne geputzt werden (oral %; vgl. Eidenhardt et al., 2021)
- 2.2.a) Prozentualer Anteil der Zahnkontaktzeit an den vestibulären Flächen, mit dem mit horizontalen Bewegungen geputzt wird (horizontal an vestibulär %; vgl. Eidenhardt et al., 2021)
- 2.2.b) Prozentualer Anteil der Zahnkontaktzeit an den oralen Flächen, mit dem mit horizontalen Bewegungen geputzt wird (horizontal an oral %; vgl. Eidenhardt et al., 2021)

3. Zur Fragestellung 3

- 3.1.a) Approximalhygiene: Ob im Labor Approximalhygiene betrieben wurde (ja/nein)
- 3.1.b) Anzahl der bearbeiteten Interdentalräume, Art der verwendeten Utensilien, Angemessenheit der Zahnseidentchnik (d. h. Führung der Zahnseide zwischen den Zähnen bis zum Zahnfleischrand und C-förmige Biegung der Zahnseide gegen einen Zahn, um den proximalen Zahnbereich zu reinigen)
- 3.1.c) Angabe der Häufigkeit der Nutzung von Approximalhygiene und der Art der verwendeten Utensilien im Selbstbericht (Fragebogen)

4. Zur Fragestellung 4

- 4.1. Primär: Marginaler Plaque-Index (MPI, Deinzer et al., 2014);
Sekundär: Selbstbericht der Studierenden im letzten Studienjahr (Fragebogen)
- 4.1. Studieninhalte (Curriculum Zahnmedizin, WS 2022/23, JLU Gießen)

5. Zur Fragestellung 5

- 5.1. SPOCd (Eidenhardt et al. 2022), MPI (Deinzer et al., 2014)
- 5.2. OHSEE (vgl. Eidenhardt, 2022)
- 5.3. Primär: Anzahl gesetzter Stecker in einem PegBoard (Klove, 1963) innerhalb von 45 Sekunden zur Feststellung des motorischen Geschicks (Fingerfertigkeit); Sekundär: Software zur Feststellung der motorischen Kompetenz von „STABILO Digistift“ (STABILO International GmbH, 2022)

Variablen von Brushalyze

6. Zur Fragestellung 6

6.1. Verhaltensdaten (vgl. Eidenhardt et al. 2021)

7. Zur Fragestellung 7

7.1. Verhaltensdaten (vgl. Eidenhardt et al. 2021)

7.2. Putzdauer, Verhaltensdaten (vgl. Eidenhardt et al. 2021)

8. Zur Fragestellung 8

8.1. Verhaltensdaten (vgl. Eidenhardt et al. 2021)

9. Zur Fragestellung 9

9.1. Verhaltensdaten (vgl. Eidenhardt et al. 2021)

9.2. Studienjahr

Untersuchungsablauf im Labor und erfasste Parameter

- In den Räumen des Instituts für Medizinische Psychologie der JLU Gießen werden an 16-30 aufeinander folgenden Tagen etwa 100 – 150 Zahnmedizinstudierende untersucht.
- Sie werden zunächst über den Ablauf und Datenschutzbelange aufgeklärt und willigen hiernach schriftlich in die Teilnahme und den dargelegten Umgang mit ihren Daten ein.
- Es erfolgt vor dem Zähneputzen die erste klinische Untersuchung zum aktuellen Stand der Mundgesundheit (DMF-T, PBI) durch approbiertes zahnmedizinisches Personal.
- Das Putzen mit der Brushalyze, das über ein Videosystem dokumentiert wird, schließt sich daran an. Die Probanden werden hierfür instruiert, ihre Zähne „so gründlich wie möglich zu reinigen, so dass sie ganz sauber sind“.
- Im Anschluss daran wird durch das approbierte zahnmedizinische Personal der MPI erfasst. Unmittelbar vor der Erfassung werden die Zähne des Oberkiefers durch Pusten trockengelegt und ein Plaquerelevator (Mira-2-Ton) aufgetragen. Nach der Erfassung der Beläge des Oberkiefers erfolgt die Erfassung der Beläge des Unterkiefers (gleicher Ablauf wie im Oberkiefer). Es werden alle angefärbten Beläge erfasst, unabhängig davon, wie hell oder dunkel die Färbung ist.
- Danach beantworten die Probanden Fragebögen (SPOC, Fragen zur Brushalyze) und unterlaufen zwei Tests zur Erfassung ihrer Fingerfertigkeit (PegBoard, STABILO Digistift).
- Hiernach werden die Probanden instruiert, ein erneutes Mal mit der Brushalyze nach einem standardisierten Schema zu putzen, um weitere Daten für das Modelltraining der Brushalyze zu gewinnen.

Kontrollmaßnahmen

Kalibrierung und Standardisierung

Die klinischen Untersuchungen werden von approbiertem zahnärztlichem Personal durchgeführt, das an nicht an der Studie beteiligten Personen kalibriert wird. Die Kalibrierung erfolgt gegenüber einer in der Erhebung der Daten erfahrenen Zahnarzt. Eine Kalibrierung für einen Parameter ist dann abgeschlossen, wenn die erhobenen Daten bei 5 aufeinanderfolgenden Probanden zu jeweils 90%

vollständig übereinstimmen und niemals mehr als einen Grad voneinander abweichen (vgl. Deinzer et al. 2021).

Zur Auswertung der Verhaltensdaten werden die erfolgt die Kalibrierung auf der Basis von bereits analysierten Videos aus einer vorherigen Untersuchung. Die Kalibrierung für einen Verhaltensparameter gilt dann als abgeschlossen, wenn bei 5 aufeinanderfolgenden Videos ein Intraklassenkoeffizient $\geq 0,90$ erreicht wird (vgl. Deinzer et al., 2021).

Sämtliche Abläufe und Instruktionen erfolgen standardisiert und soweit möglich wortgleich für alle Probandinnen und Probanden.

Verblindung

Die Studierenden werden über den Zweck der Studie insofern aufgeklärt, als dass sie transparent über die Forschungszahnbürste „Brushalyze“ in Kenntnis gesetzt werden, für deren Weiterentwicklung ihre Daten genutzt werden. Die Erfassung zusätzlicher klinischer und psychologischer Parameter ist dabei auch in anderen Studien mit der Brushalyze erfolgt. Der geplante Vergleich zwischen Zahnmedizinstudierenden unterschiedlicher Semester und die damit verbundenen Fragestellungen und Hypothesen werden nicht thematisiert.

Sowohl während der Untersuchung als auch bei den Videoanalysen sind die Untersuchenden bezüglich der Zugehörigkeit der Studierenden zu einem Fachsemester verblindet. Es wird zudem darauf geachtet, dass die Prüfer während der Durchführung der Videoanalysen nicht über den klinischen Zustand der Teilnehmer informiert sind.

5 Statistische Datenanalyse

Stichprobenumfangsplanung

Für die Weiterentwicklung der Brushalyze KI-Modelle ist eine möglichst große Stichprobe (pro Semester 10 – 15 Studierende) anzustreben, da die Varianz des individuellen Putzverhaltens aufgrund vorausgehender Pilotstudien als hoch eingeschätzt wird. Bei steigender Varianz im Putzverhalten ist eine größere Stichprobe nötig, um charakteristische Merkmale von Signalrauschen unterscheiden zu können. Zusätzlich erfordern die Hypothesen 6.1, 6.2., und 7.1. die Untersuchung einer Vielzahl von Methoden bzw. Hyperparametern einzelner Methoden, welches die Notwendigkeit einer breiten Datenbasis in Form einer großen Stichprobe hervorhebt. Für die Prüfung der zentralen Forschungshypothesen 1.1.-2.2 werden aufgrund vorausgehender Studien (Deinzer et al. 2018b; Deinzer et al. 2016; Deinzer et al. 2018a; Deinzer et al. 2021; Ebel et al. 2019; Eidenhardt et al. 2021) Effektstärken von $d \geq 3$ erwartet. Diese lassen sich mit einem Stichprobenumfang von $N=4$ pro Gruppe (erstes vs. letztes Studienjahr) mit einer Teststärke von 0.95 detektieren (G*Power, Faul et al. 2007). Damit reicht die angestrebte Zahl von pro Semester 10 – 15 Studierenden aus, um die Hypothesen mit ausreichender Power zu prüfen.

Prüfungen der Merkmalsverteilungen und geplante inferenzstatistische Verfahren

Das Signifikanzniveau wird auf $\alpha = .05$ festgelegt.

Für die Hypothesen 1.1., 1.2., 2.1.a), 2.1.b), 2.2.a), 2.2.b), 3.1.a), 3.1.b), 3.1.c), 5.1 und 5.3 sind Testungen zwischen den Gruppen „1. Studienjahr“ und „5. Studienjahr“ (Abschlussjahr) vorgesehen. Es soll über Chi²-Tests vorab geprüft werden, ob die Gruppenmerkmale annähernd gleich verteilt (d.h. nicht signifikant voneinander verschieden, $p > .05$) sind. Pro Gruppe ist mit $n = 23 - 30$ zu rechnen.

Die angestrebten Gruppenvergleiche erfolgen in der Regel durch - soweit indiziert gerichtete - t-tests für unabhängige Stichproben. Sollten sich signifikante Unterschiede in den Merkmalsverteilungen ergeben (z.B. Gebrauch von elektrischen Zahnbürsten, Retainer), so wird im Folgenden geprüft, ob die betreffenden Merkmale mit den abhängigen Variablen mit $r \geq |0.3|$ korrelieren. In diesem Fall erfolgt der Mittelwertvergleich mittels ANOVA, in die die betreffenden Merkmale als Kovariaten eingehen.

Die Erfassung von Sprüngen in der Zahnputzeffektivität (Hypothese 4.1; Abhängige Variable MPI) und der Veränderung der Selbstwirksamkeitserwartungen (Hypothese 5.2.) erfolgt mittels ANOVA. Hinsichtlich der Abfrage im letzten Studienjahr, zum Semester, in dem sich das eigene Zahnputzverhalten verändert hat wird der Modalwert ermittelt und geprüft,

Datenanalyse Brushalyze

Für die Hypothesen, die sich auf Fragestellungen 6 und 7 beziehen, werden zuerst für die Gruppen „1. Studienjahr“ und „5. Studienjahr“ Trainings-, Validierungs- und Testsplits erstellt. Schließlich werden KI-Modelle gruppenagnostisch wie auch pro Gruppe mithilfe der Trainings- und Validierungsdaten trainiert.

Für die Hypothesen 6.1. und 6.2. werden die Prädiktionen der trainierten KI-Modelle auf den jeweiligen Testdaten mit den korrespondierenden individuellen Putzabläufen, welche durch die ermittelten Verhaltensdaten charakterisiert werden, anhand verschiedener Metriken je nach Kenngröße verglichen. Analog dazu werden für Hypothese 7.1. Vorgehensweisen nach den Standards der KI-Modellierung angewandt, um die Performanz verschiedener KI-Modelle im Hinblick auf die Fragestellung zu erörtern.

Literaturverzeichnis

Deinzer, Renate; Cordes, Oliver; Weber, Julia; Hassebrauck, Lisa; Weik, Ulrike; Krämer, Norbert et al. (2019): Toothbrushing behavior in children - an observational study of toothbrushing performance in 12 year olds. In: *BMC oral health* 19 (1), S. 68. DOI: 10.1186/s12903-019-0755-z.

Deinzer, Renate; Ebel, Stefanie; Blättermann, Helen; Weik, Ulrike; Margraf-Stiksrud, Jutta (2018a): Toothbrushing: to the best of one's abilities is possibly not good enough. In: *BMC oral health* 18 (1), S. 167. DOI: 10.1186/s12903-018-0633-0.

Deinzer, Renate; Harnacke, Daniela; Mengel, Reiner; Telzer, Maria; Lotzmann, Ulrich; Wöstmann, Bernd (2016): Effectiveness of Computer-Based Training on Toothbrush Skills of Patients Treated With Crowns: A Randomized Controlled Trial. In: *Journal of periodontology* 87 (11), S. 1333–1342. DOI: 10.1902/jop.2016.160099.

Deinzer, Renate; Jahns, Stephan; Harnacke, Daniela (2014): Establishment of a new marginal plaque index with high sensitivity for changes in oral hygiene. In: *Journal of periodontology* 85 (12), S. 1730–1738. DOI: 10.1902/jop.2014.140285.

Deinzer, Renate; Schmidt, René; Harnacke, Daniela; Meyle, Jörg; Ziebolz, Dirk; Hoffmann, Thomas; Wöstmann, Bernd (2018b): Finding an upper limit of what might be achievable by patients: oral cleanliness in dental professionals after self-performed manual oral hygiene. In: *Clinical oral investigations* 22 (2), S. 839–846. DOI: 10.1007/s00784-017-2160-9.

Deinzer, Renate; Shankar-Subramanian, Sadhvi; Ritsert, Alexander; Ebel, Stefanie; Wöstmann, Bernd; Margraf-Stiksrud, Jutta; Eidenhardt, Zdenka (2021): Good role models? Tooth brushing capabilities of parents: a video observation study. In: *BMC oral health* 21 (1), S. 469. DOI: 10.1186/s12903-021-01823-6.

Ebel, S.; Blättermann, H.; Weik, U.; Margraf-Stiksrud, J.; Deinzer, R. (2019): High Plaque Levels after Thorough Toothbrushing: What Impedes Efficacy? In: *JDR clinical and translational research* 4 (2), S. 135–142. DOI: 10.1177/2380084418813310.

Eidenhardt, Zdenka; Busse, Sebastian; Margraf-Stiksrud, Jutta; Deinzer, Renate (2022): Patients' awareness regarding the quality of their oral hygiene: development and validation of a new measurement instrument. In: *BMC oral health* 22 (1), S. 629. DOI: 10.1186/s12903-022-02659-4.

Eidenhardt, Zdenka; Ritsert, Alexander; Shankar-Subramanian, Sadhvi; Ebel, Stefanie; Margraf-Stiksrud, Jutta; Deinzer, Renate (2021): Tooth brushing performance in adolescents as compared to the best-practice demonstrated in group prophylaxis programs: an observational study. In: *BMC oral health* 21 (1), S. 359. DOI: 10.1186/s12903-021-01692-z.

Eke, Paul I.; Borgnakke, Wenche S.; Genco, Robert J. (2020): Recent epidemiologic trends in periodontitis in the USA. In: *Periodontology 2000* 82 (1), S. 257–267. DOI: 10.1111/prd.12323.

Eke, Paul I.; Dye, Bruce A.; Wei, Liang; Slade, Gary D.; Thornton-Evans, Gina O.; Borgnakke, Wenche S. et al. (2015): Update on Prevalence of Periodontitis in Adults in the United States: NHANES 2009 to 2012. In: *Journal of periodontology* 86 (5), S. 611–622. DOI: 10.1902/jop.2015.140520.

Faul, Franz; Erdfelder, Edgar; Lang, Albert-Georg; Buchner, Axel (2007): G*Power 3: a flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. In: *Behavior research methods* 39 (2), S. 175–191. DOI: 10.3758/bf03193146.

Harnacke, Daniela; Mitter, Simona; Lehner, Marc; Munzert, Jörn; Deinzer, Renate (2012): Improving oral hygiene skills by computer-based training: a randomized controlled comparison of the modified Bass and the Fones techniques. In: *PloS one* 7 (5), e37072. DOI: 10.1371/journal.pone.0037072.

Harnacke, Daniela; Stein, Kathrin; Stein, Patrick; Margraf-Stiksrud, Jutta; Deinzer, Renate (2016): Training in different brushing techniques in relation to efficacy of oral hygiene in young adults: a randomized controlled trial. In: *Journal of clinical periodontology* 43 (1), S. 46–52. DOI: 10.1111/jcpe.12489.

Howat, A.; Trabelsi, I.; Bradnock, G. (1979): Oral hygiene levels and behaviour in pre-clinical and final-year dental students. In: *J Clin Periodontol* 6 (3), S. 177–185. DOI: 10.1111/j.1600-051X.1979.tb02197.x.

Jordan, Rainer; Micheelis, Wolfgang (Hg.) (2016): Fünfte Deutsche Mundgesundheitsstudie (DMS V). Köln: Deutscher Zahnärzte Verlag DÄV (35). Online verfügbar unter https://www.idz.institute/fileadmin/content/publikationen-pdf/jordan-2018-die_fuenfte_deutsche_mundgesundheitsstudie.pdf.

Karem Hassan, Ban; Banaz Jabbar, Ali; Alyamama Mahmood, Alwan; Raed A, Badeia (2020): Self-reported oral health attitudes and behaviors, and gingival status of dental students. In: *Clinical, Cosmetic and Investigational Dentistry* (12), S. 225–232.

Kassebaum, N. J.; Smith, A. G. C.; Bernabé, E.; Fleming, T. D.; Reynolds, A. E.; Vos, T. et al. (2017): Global, Regional, and National Prevalence, Incidence, and Disability-Adjusted Life Years for Oral Conditions for 195 Countries, 1990-2015: A Systematic Analysis for the Global Burden of Diseases, Injuries, and Risk Factors. In: *Journal of dental research* 96 (4), S. 380–387. DOI: 10.1177/0022034517693566.

Klove, H. (1963): Clinical neuropsychology. In: F. M. Forster (Ed.), *The Medical Clinics of North America* (pp. 1647–1658). New York: WB Saunders.

Löe, Harald; Theilade, Else; S. Borghlum, Jensen; C. Rindom, Schiott (1967): Experimental gingivitis in man. In: *Journal of periodontal research* (2), S. 282–289.

Meyle, Joerg; Chapple, Iain (2015): Molecular aspects of the pathogenesis of periodontitis. In: *Periodontology 2000* 69 (1), S. 7–17. DOI: 10.1111/prd.12104.

Rott, Thea (2022): Innovative Aufklärungskonzepte in der Prävention. Partizipative Auswahl von Mundhygienehilfsmitteln und -techniken. In: *Innovationen in der Wirtschaft*, S. 281–291.

Saxer, U. P. & Mühlemann, H.R. (1975): Motivation und Aufklärung. In: *Schweizerische Monatsschrift für Zahnheilkunde = Revue mensuelle suisse d'odonto-stomatologie* 85 (9), S. 905–919.

WHO (2013): Oral Health Surveys. Basic Methods. 5. Aufl. Geneva: World Health Organization.