

Fortschritt-Berichte VDI

VDI

Reihe 10

Informatik/
Kommunikation

Nr. 852

Dietmar Prestel,
Kempten, M. Sc. M. Sc.

Informationstechnische Verbesserung des Zahnputzvorgangs



FernUniversität in Hagen
Schriften zur Informations-
und Kommunikationstechnik

Fortschritt-Berichte VDI

Reihe 10

Informatik/
Kommunikation

Dietmar Prestel,
Kempten, M. Sc. M. Sc.

Nr. 852

**Informationstechnische
Verbesserung des
Zahnputzvorgangs**



FernUniversität in Hagen
Schriften zur Informations- und Kommunikationstechnik

Prestel, Dietmar

Informationstechnische Verbesserung des Zahnpflegevorgangs

Fortschr.-Ber. VDI Reihe 10 Nr. 852. Düsseldorf: VDI Verlag 2017.

128 Seiten, 57 Bilder, 0 Tabellen.

ISBN 978-3-18-385210-9, ISSN 0178-9627,

€ 48,00/VDI-Mitgliederpreis € 43,20.

Für die Dokumentation: Zahnpflegevorgang – Sensorunterstützte Zahnbürste – Anzeigegerät für den Zahnpflegevorgang

Fertigkeiten für eine gute Mundhygiene bedeuten das Erreichen aller für die Zahn- und Mundgesundheit relevanten Flächen bei der Zahneingabe als auch Zahnpflegetechniken, die gleichermaßen eine hohe Effektivität besitzen und das Weichgewebe vor Verletzung schützen. Mithilfe von Sensordaten aus Beschleunigungsmessungen und deren Verrechnung untereinander und mit der Kombination aus Eingangsdaten verschiedener Geräte wird dargelegt, wie die Bestimmung von Bürstort und elementarer Bürstbewegung gelingen kann. Es werden mehrere Vorschläge entwickelt und diskutiert, die Benutzerführung durch Kombination eines mithilfe der Anzeigegeräte generierten Spiegelbildes mit darüber liegenden transparenten Symbolanzeigen und Texten zu optimieren. Auch Möglichkeiten einer offline erfolgenden nachträglichen Weiterverarbeitung der Sensor- und Videodaten beispielsweise für Forschungszwecke oder für die zahnmedizinische Praxis werden erörtert. Hierbei wird verdeutlicht, dass die entwickelte Technologie nicht nur hohe Praxisrelevanz für den einzelnen Patienten besitzt, sondern ein wertvolles Instrumentarium für Langzeitstudien darstellt, von denen in Zukunft wichtige Forschungsergebnisse erwartet werden können.

Bibliographische Information der Deutschen Bibliothek

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliographie; detaillierte bibliographische Daten sind im Internet unter <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

Bibliographic information published by the Deutsche Bibliothek

(German National Library)

The Deutsche Bibliothek lists this publication in the Deutsche Nationalbibliographie (German National Bibliography); detailed bibliographic data is available via Internet at <http://dnb.ddb.de>.

Schriften zur Informations- und Kommunikationstechnik

Herausgeber:

Wolfgang A. Halang, Lehrstuhl für Informationstechnik
Herwig Unger, Lehrstuhl für Kommunikationstechnik
FernUniversität in Hagen

© VDI Verlag GmbH · Düsseldorf 2017

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe (Fotokopie, Mikrokopie), der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, im Internet und das der Übersetzung, vorbehalten.

Als Manuskript gedruckt. Printed in Germany.

ISSN 0178-9627

ISBN 978-3-18-385210-9

Vorwort

Weiten Teilen der Bevölkerung fehlen Kenntnisse über Anforderungen an die Mundhygiene sowie die Fertigkeiten, gute Mundhygiene aufrecht zu erhalten. Dabei geht es insbesondere um das Erreichen aller für die Zahn- und Mundgesundheit relevanten Flächen bei der Zahnreinigung als auch darum, Zahnpflegetechniken anzuwenden, die gleichermaßen eine hohe Effektivität besitzen und das Weichgewebe vor Verletzung schützen.

Die vorliegende Arbeit dokumentiert, welche Vorteile zukünftige Zahnreinigungssysteme den Benutzern bei der Lösung dieser Aufgaben bieten können. Sie zeigt, wie Visualisierungsgeräte dem Benutzer erlauben können, seinen Mundraum dreidimensional in transparenter Optik mit eingeblendeten Putzstatusinformationen zu erkunden. Dabei wird verdeutlicht, dass sogar eine mit nur wenigen Sensoren ausgestattete manuelle Zahnbürste in Verbindung mit einem Anzeigegerät dem Nutzer erhebliche Fortschritte bieten kann.

Danksagung

Herrn Prof. Dr. Dr. Wolfgang A. Halang, dem Leiter des Lehrgebietes Informationstechnik an der Fernuniversität in Hagen, danke ich sehr herzlich für die freundliche Aufnahme der Arbeit und die konstruktiven Diskussionen über Umfang, Inhalt und sinnvolle Ergänzungen der Dissertation.

Gleichfalls danke ich Herrn Prof. Dr. Arnulf Deinzer sehr herzlich für die Betreuung der Arbeit vor Ort, für fachliche Beratung und für die Erstellung des Zweitgutachtens. Als Ansprechpartner für neue Ideen und Richtungen gab er mir immer die richtigen Impulse.

Weiter danke ich Frau Prof. Dr. Renate Deinzer. Sie hatte stets ein offenes Ohr für mich, gab mir wichtige Hilfestellungen für das wissenschaftliche Arbeiten und war mir als Mittlerin im gesamten psychologischen und zahnmedizinischen Bereich eine sehr große Hilfe.

Herrn Michael Bacher gilt mein Dank für die Beratung in drucktechnischen Fragen.

Widmung

Meiner Mutter Berta Kure, die mich stets im Privaten unterstützte und mich zur Forschung ermutigt hat.

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	1
2	Problemstellungen und Lösungen elektronisch unterstützter Zahnputztvorgänge	7
2.1	Eine sensorunterstützte Zahnbürste	7
2.2	Zahnreinigungssystem mit eingeschränkter Sensorik	9
2.2.1	Technische Lösung	11
2.2.2	Ausführungen	18
2.3	Überwachungssystem für die Zahnhygiene mit erweiterter Sensorik	19
2.3.1	Probleme aktuell verfügbarer Anwendungen	20
2.3.2	Technische Lösung	21
2.3.3	Ausführungen	26
2.4	Anzeigegerät zur Überwachung des Zahnputztvorgangs	27
2.5	Einweisung in elementare Bürstbewegungen	32
2.5.1	Problematik der Bewegungsdetektion bei aktuell verfügbaren Geräten	33
2.5.2	Technische Lösung	34
2.6	Zahnreinigungsgerät mit Flüssigkeit liefernden Borsten	38
2.6.1	Probleme der alternativen Zahnbürstentechnik	39
2.6.2	Technische Lösung	40
2.7	Zahnreinigung mittels Beschuss von Tröpfchen	42
2.7.1	Probleme der aktuell verfügbaren borstenlosen Zahnbürstentechnik	43
2.7.2	Technische Lösung	45
2.8	Zahnreinigungsgerät mit ausfahrbaren Borsten	48
2.8.1	Probleme interdentaler Zahnreinigungssysteme	49
2.8.2	Technische Lösung	50
2.9	Kombinierte Reinigung von Zähnen und zahnärztlicher Prothesen	53
2.9.1	Probleme aktuell angewandter Prothesenreinigung	54

2.9.2	Technische Lösung zur verbesserten Mundhygiene von Betreuten	56
3	Anzeigegerät zur Überwachung des Zahnpflegevorgangs	65
3.1	Erfassung der Messdaten	65
3.2	Auswertungen der aufgenommenen Daten	65
3.3	Auswertungen basierend auf Segmenten mit probabilistischen Schlussfolgerungen	72
3.3.1	Bürsten der Zahnmassenflächen	72
3.3.2	Bürsten mit kreisende Bewegungen	74
3.4	Analysen mit schneller Fourier-Transformation	75
4	Prototypische Realisierung von Funktionen des Anzeigegeräts	81
4.1	Ausgabesymbole für den Bürstort und Anweisungen zur Unterweisung in einer Zahnpflegetechnik	82
4.2	Verwaltung, Zugriff und Ausgabe der Symbole und Anweisungen	86
4.3	Erzeugung eines Spiegelbildes	87
4.4	Überlagerung des Spiegelbildes mit Anweisungen und Symbolen des Bürstortes	88
4.5	Erstellung von Momentaufnahmen überwachter Zahnpflegevorgänge	91
4.6	Erzeugung einer Videoaufnahme des Spiegelbildes	96
4.7	Sicherung und Analyse mehrerer Aufzeichnungsspuren	97
5	Transfer der Technologie	101
5.1	Probleme bei sensorischen Prothesen	102
5.2	Technische Lösung	103
6	Ergebnisse und Ausblick	107
6.1	Zusammenfassung	107
6.2	Erzielte Ergebnisse	108
6.3	Ausblick	113
Literatur		113

Kapitel 1

Einführung

In weiten Teilen der Bevölkerung wird der Pflicht zum regelmäßigen Zähneputzen gewohnheitsmäßig nachgegangen. Anders verhält es sich jedoch mit Kenntnissen um Mundhygiene und Mundhygienetechniken [Dei+09]. Eine Untersuchung der Fertigkeiten zur Zahtreinigung von Studierenden ergab ein hohes Defizit [Har+12b]. Schwierigkeiten hatten die Probanden mit der vollständigen Reinigung aller Zahnoberflächen und Zahnzwischenräumen sowie mit der Wahl des richtigen Anpressdruckes. Dieser sollte unterschiedlich für Zahnfleisch und Zahnschmelz ausfallen. Fehlerbehaftete Anwendung wichtiger Mundhygienetechniken führt auch zu hohen Folgekosten. Zu hoher Anpressdruck führt beispielsweise zu Läsionen oder Defekten des Zahnfleisches oder die gewohnten Bürstbewegungen entfernen die Zahnbelaäge nur ungenügend.

Um richtiges Zähneputzen zu erlernen, bedarf es persönlicher Anweisungen und Betreuung. In einem ersten Schritt wird für fehlerfreie Zahtreinigung vor allem diszipliniertes Bürsten aller Zahnoberflächen verlangt, wobei die Verweildauer pro Zahnoberfläche auf typische zwei Sekunden festgesetzt wird. In einem zweiten Schritt soll der Anpressdruck der Zahnbürste für den Gingivarand, das Zahnfleisch und auf die Zahnoberflächen einzeln abgestimmt werden. Elektrische Zahnbürsten unterstützen zwar durch Anzeigen eines zu hohen Drucks, unterscheiden aber nicht zwischen Zahnoberfläche und Zahnfleisch. Damit wird auch deutlich, dass die einstudierte Disziplin immer wieder überwacht und neu belebt werden sollte. Allzu leichtfertig verliert gewissenhafte Reinigung zugunsten von Eile oder Bequemlichkeit an Boden. Das bedeutet, persönliche Unterweisungen sollten regelmäßig wiederholt werden. Ein geeigneter Ort hierfür wären die halbjährlich stattfindenden Prophylaxebehandlungen. Wegen

der privaten Kostenübernahme ist es jedoch fraglich, ob Patienten diesen Service dauerhaft in Anspruch nehmen.

Neben vollständiger Zahnreinigung gewinnt die korrekte Anwendung von Zahnpflegetechniken immer mehr an Bedeutung. Die zugrunde liegenden Bürstbewegungen sind “kleines Kreisen”, “Schruppen”, “Herauswischen”, “großes Kreisen”, “senkrechtes Schrappen” und “Rütteln”. Im Gegensatz zur herkömmlichen Schrubbewegung in Horizontalrichtung lassen sich mit den verschiedenen Bewegungsformen gezielt Verschmutzungen beseitigen. Mit kreisenden Bewegungen beispielsweise lässt sich Zahnbefall besonders schonend entfernen und das Zahnfleisch wird weniger gereizt. Rütteln beseitigt haftende Essensreste auf den Zahnoberflächen oder in den Zahzwischenräumen. Mit Herauswischen der Zahnbürste zur Kaufläche lassen sich sogar teilweise Speisereste aus den Zahzwischenräumen beseitigen. Auch wenn eine solche Bürstbewegung eine Interdentalbürste nicht ersetzen kann, so bietet doch die sorgsame Anwendung einer manuellen Zahnbürste einen nennenswerten Reinigungsvorteil im Vergleich zur in weiten Teilen der Bevölkerung allein praktizierten Schrubbewegung.

Wissenschaftler kombinierten die oben erwähnten Bürstbewegungen zu Bürsttechniken wie die nach Fones, Stillmann oder Bass ([Fon21], [Rev96], [MB+11], [Sch+10], [Bas54]). Die Erlernung einer ausgewählten Technik macht es jedoch erforderlich, dass angewendete Bürstbewegungen auf ihre Richtigkeit hin überprüft werden und im Falle einer fehlerbehafteten Bürsttechnik dem Anwender diesbezüglich Rückmeldung gegeben wird. Rechnerunterstütztes Training kann hier zu Verbesserungen führen [Har+12a], auch um dem Zahnpflegevorgang die erforderliche Systematik zu verleihen. Das Fehlen einer ausreichenden Rückmeldung über Reinigungsfortschritte kann auch als Grund für die zunehmende Anzahl parodontaler Erkrankungen angesehen werden [Mic]. Natürlich spielt dafür mangelnde Mundhygiene eine große Rolle. Zumindest liegt der Schluss nahe, dass selbst gut antrainierte mundhygienische Fertigkeiten bei fehlender Rückmeldung über einen längeren Zeitraum hinweg wieder degenerieren können.

Die im Handel verfügbaren modernen elektrischen Zahnbürsten verhelfen dem Anwender bereits zu erheblichen Fortschritten in der Zahnpflege. Mit Ultraschall werden Zahnoberflächen gründlich und schonend gereinigt. Der Anpressdruck wird laufend überwacht und bei Geräten der gehobenen Klasse geben externe Minibildschirme Anweisungen über den aktuellen Putzquadranten und kontrollieren mit Hilfe

der Aktivitätsüberwachung des Motors, ob tatsächlich gebürstet wird. Um oben beschriebene Rückmeldungen zu generieren, sind diese Eigenschaften allerdings nicht ausreichend. Um keine Zahnoberflächen auszulassen, müssen diese beim Bürsten einzeln identifiziert werden. Dazu muss die Zahnbürste mit Sensoren ausgestattet werden, um den Bürstort anforderungsgemäß zu bestimmen. Neuere Generationen dieser elektrisch betriebenen Zahnbürsten bieten bereits Konnektivität mit Smartphones oder Tablet-PCs. Damit wird ein flexibler Anzeigebildschirm bereitgestellt, der in weiterentwickelten Produkten wesentlich mehr Informationen zum aktuellen Zahnpflegevorgang offerieren könnte.

Bezüglich der Anwendung verschiedener Zahnpflegetechniken bieten elektrisch betriebene Zahnbürsten noch keine Unterstützung. Der Anwender kann zwischen den unterschiedlichen Vibrationsmodi "Normal", "Sensitiv" und "Massage" wählen. Die Bewegungsformen Rütteln, Herauswischen oder Kreisen sind aber mit den Geräten schwerer durchführbar. Kleine, handliche manuelle Zahnbürsten, wobei sich der größte Teil der Weltbevölkerung nur solche – wenn überhaupt – leisten kann, erlauben, eine neue Zahnpflegetechnik schneller zu erlernen, sofern eine immer wiederkehrende Unterweisung stattfindet, die die Bewegungen stets zugunsten einer Referenzbewegung korrigiert. Ein System aus Rechner, Anzeige und einer mit Sensoren ausgestatteten Zahnbürste könnte für diesen Zweck eingesetzt werden. Auch weist eine Studie [Har+12a] nach, dass rechnerunterstütztes Training mit dem Ziel, den Benutzer systematisch zu verbessertem Zähneputzen zu bewegen, die Qualität des Zahnpflegevorgangs konstant erhöht. In [Mic] wird angemahnt, während des Zahnpflegevorgangs laufend Rückmeldungen über Reinigungsfortschritte auch die angelernten mundhygienischen Fertigkeiten wieder degenerieren können. Mit geeigneten Visualisierungen und Darstellungsgeräten, die Daten aus sensorbestückten Zahnbürsten aufnehmen, verarbeiten und in anschauliche Darstellungen und Korrekturanweisungen übersetzen, könnte dieser Notstand behoben werden.

Welche Vorteile zukünftige Zahnreinigungssysteme den Benutzern bieten können, wird im Kapitel 2 der vorliegenden Arbeit mit Erfindungsbeschreibungen dokumentiert. Visualisierungsgeräte erlauben dem Benutzer, seinen Mundraum dreidimensional in transparenter Optik zu erkunden. Putzstatusinformationen werden direkt durch Einfärbung der entsprechenden Zahnoberflächen kommuniziert. Es wird aufgezeigt, dass eine mit wenigen Sensoren ausgestattete manuelle Zahnbürste in Verbindung mit einem Anzeigegerät dem Nutzer bereits er-

hebliche Fortschritte in der Mundhygiene bieten kann, und das bei günstigsten Herstellungskosten. Einen weiteren Entwicklungsschritt bieten Überwachungssysteme, bei denen die Zahnbürste mit vielen unterschiedlichen Sensoren bestückt ist. Dazu gehören neben Beschleunigungssensoren und Positionssendern auch integrierte Kameras in redundanter Anzahl, die über angewendete Bilderkennungsalgorithmen die Auswertung der Bürstverläufe und das Erlernen aktueller Zahnpflegetechniken zusätzlich unterstützen.

Mithilfe von Sensordaten aus Beschleunigungsmessungen wird im Kapitel 3 dargestellt, über welche Berechnungen und kombinierten Betrachtungen Bürstortbestimmungen durchgeführt werden können. Vor allem Elementarbewegungen beim Führen der Zahnbürste wie Rütteln, Schrappen, Herauswischen und gleichmäßiges Kreisen werden mit der Analyse von Kurvenverläufen identifiziert. Schließlich wird die schnelle Fourier-Transformation herangezogen, um in gleichmäßigen Bürstbereichen Gleicheanteil, Phasen der einzelnen Beschleunigungsgraphen zueinander und Amplitudenbeträge exakt bestimmen zu können.

Beispielhafte Bildschirmausgaben für Bürststatusanzeigen und Korrekturhinweise werden im Kapitel 4 vorgestellt. Die Kombination eines laufenden Spiegelbildes mit darüber liegenden transparenten Symbolanzeigen und Texten wird anhand mehrerer Vorschläge diskutiert. Programmcode aus einer Android-Tablet-PC-Umgebung dient dabei zur Untermauerung der Beispiele. Mit den Sensordaten werden auch einzelne Aufnahmen des Spiegelbildes oder eine komplette Videoaufzeichnung des Bürstvorgangs abgespeichert. Anhand eines Lösungsvorschlags wird dargelegt, wie diverse Datenbereiche mit korrekten Zeitstempeln versorgt werden.

In Kapitel 5 wird anhand sensorischer Prothesen der Transfer der Technologie diskutiert. Abseits von verbauten Sensoren in Zahnbürsten können die Erkenntnisse in anderen medizintechnischen Produkten eingesetzt werden und erzielen somit beispielsweise für die Träger von Prothesen eine erhöhte Lebensqualität. Auch in diesen Einsatzfällen werden Sensorwerte an eine Anzeigeeinheit übertragen und dort ausgewertet. Sie warnen den Träger vor aufkommenden Verletzungen oder zu hohen Belastungen.

Im Kapitel 6 wird aufgezeigt, wie die Bewegungs- und Ortsanalyse während des Zahnpflegevorgangs die Unterweisung unterstützt und die Qualität des Zahnpflegevorgangs optimiert.

gangs damit ständig auf hohem Niveau halten kann. Auch bei nachträglicher Auswertung des Putzvorgangs bietet die Technologie ein Instrument an, um den Zahnputztvorgang als Zusammenfassung von Videoaufnahme, Sensorwerten und berechneten Auswertungen in einem Profilspeicher abzulegen und bei Bedarf auf Qualität hin zu überprüfen. Vor allem für Kinder oder betreute Menschen kann diese Art von Überprüfung des durchgeführten Bürstvorgangs ein wesentlicher Baustein für eine gute Mundhygiene sein. Es wird auch gezeigt, dass die Technologie für Langzeitstudien ein wertvolles Instrument darstellt, womit wichtige Forschungsergebnisse in Zukunft erwartet werden können.

Kapitel 2

Problemstellungen und Lösungen elektronisch unterstützter Zahnpflegevorgänge

Die prototypische Entwicklung einer sensorunterstützten Zahnbürste und eines unterstützenden Anzeigegerätes ist Aufgabenstellung der vorliegenden Dissertation. In den folgenden Kapiteln werden grundlegende Problemfelder bei der informationstechnischen Analyse des Zahnpflegevorgangs identifiziert. Für die erfolgreiche Überwachung und Anzeige des Zahnpflegevorgangs werden einzelne Entwürfe, Geräte, Verfahren und Vorrichtungen vorgeschlagen. Der Schwerpunkt liegt in der Datenaufnahme direkt in der Zahnbürste und den Verfahren, die vom Anzeigegerät verwendet werden, um daraus Statusinformationen und Unterweisungen zu generieren.

2.1 Eine sensorunterstützte Zahnbürste

Für eine informationstechnische Erfassung des Bürstvorgangs wird eine mit Sensoren ausgestattete Zahnbürste benötigt. Die manuelle Zahnbürste gemäß ([Dei+11b]) misst während des Bürstvorgangs relevante Parameter und stellt eine Datensammlung für nachfolgende Auswertungen zu Verfügung. Die Informationen können während des Vorgangs angezeigt und für spätere Berechnungen archiviert werden. Belastbar sind die aufgenommenen Daten, wenn damit berechnet werden kann, ob beispiels-

weise Zahnbeläge nicht zu abrasiv entfernt wurden oder Irritationen des Zahnfleischs eine Grenze nicht überschritten haben. Anvisierte Wirkungsstätten für den Einsatz der Zahnbürste sind die Grundlagenforschung zur Gewinnung neuer Erkenntnisse beim manuellen Zahnpflegevorgang, der pädagogische Einsatz im Privathaushalt und die Unterstützung der Prophylaxe in Zahnarztpraxen. Die Ergebnisse sollen auf der Grundlage folgender Messwerte erzielt werden:

- Orientierung der Borsten zu den Zähnen
- Ort des Bürstenkopfes
- Geschwindigkeit und Anpressdruck der Borsten gegenüber Zahn und Zahnfleisch unter Verwendung von Koordinatenachsen
- Verweildauer pro Zahn
- Biegemomente der Zahnbürste
- Kraft, mit der die Zahnbürste festgehalten wird

Wertebereiche für die idealen Parameter des Putzvorgangs können abgeleitet werden, wenn aus dem zahnärztlichen Vergleich von Vor- und Nachuntersuchung die entsprechenden Erkenntnisse gezogen werden. Die erzielten Ergebnisse können auch zu Konstruktionsänderungen führen: So führt beispielsweise der Einbau eines Federlements im Hals der Zahnbürste zum Schutz des Zahns oder des Zahnfleischs vor zu hohem Anpressdruck.

Für die Entwicklung motorbetriebener Zahnbürsten können die Ergebnisse ebenfalls verwendet werden. Ideale Bewegungsführungen, um Zahnbelag gänzlich zu entfernen, könnten von rotierenden Elementen angenähert werden. Austauschbare Bürstenköpfe sollen Borsten mit unterschiedlicher Härte und Elastizität besitzen, um gleichzeitig Zahnoberflächen und Zwischenzahnbereiche zu erreichen. Die Ortssensoren arbeiten in einer vorgeschlagenen Ausprägung mit einem permanenten, konstanten Magnetfeld. Dabei werden zwei Hall-Sonden an Fixpunkten des Kopfes, beispielsweise in den Gehörgängen, befestigt und ermitteln fortlaufend die relative Position der Zahnbürste zum Kopf.

2.2 Zahnreinigungssystem mit eingeschränkter Sensorik

Falls Zahnbürsten mit vielfältiger Sensorik nicht vorhanden sind, muss ein Überwachungssystem für den Zahnpflegevorgang auf eine Weise konstruiert werden, um auch mit rudimentärer Sensorik werthaltige Ausgaben zu liefern. Ein vorgeschlagenes Gerät ([Dei+14c]) beschreibt Eigenschaften, die es für einen Einsatz als Massenprodukt im Markt für Zahnreinigungssysteme geeignet erscheinen lassen. Die Ausstattung des Überwachungssystems liefert trotz reduzierter Sensorik eine ausreichende Datenmenge für eine erfolgreiche Überwachung und Unterweisung.

Der Nutzen einer mit Sensoren ausgestatteten Zahnbürste in Verbindung mit einer Anzeigeeinheit für den Anwender ist beträchtlich. Sie optimiert nicht nur den Bürstvorgang, sondern überprüft ihn auch auf Vollständigkeit. Außerdem weist ein solches System die Einweisung in eine neue Bürstechnik ein. Voraussetzung hierfür sind eine Anzeigeeinheit mit hochauflösendem Bildschirm, ein leistungsstarker Digitalrechner mit Übertragungseinheit und eine sensorbestückte Zahnbürste. Während Basishardware wie Tablet-PCs oder Smartphones für die Anzeigeeinheit im Handel schon reichlich erhältlich ist, gibt es aus dem Bereich Zahnbürste mit mehreren Sensoren nur wenige Angebote für den Kunden und diese sind meist auf Komplettsysteme beschränkt.

Die Integration einer hohen Anzahl unterschiedlicher Sensoren im Gehäuse einer Zahnbürste stößt im aktuellen Stand der Fertigungstechnik an ihre Grenzen. Es ist anzunehmen, dass eine Auswahl an Sensoren getroffen werden muss. Zusätzlich werden auch Raum für die Rechnereinheit, Übertragungseinheit und Energiespeicher benötigt. Auch wenn die Integration technisch machbar ist, stellt sich die Frage, wann ein solches Produkt für einen attraktiven Preis im Handel angeboten werden kann.

Um das Risiko einer fehlerhaften Markteinführung zu minimieren, bietet sich an, mit einem Modell der Minimalsensorik den Markt zu testen und gleichzeitig einen wettbewerbsfähigen Endkundenpreis zu ermöglichen. Eine Ausstattungsvariante beinhaltet Beschleunigungssensoren in Kombination mit einem Drucksensor. Beide Bausteine sind zu günstigen Einkaufsbedingungen von Zulieferern erhältlich und in ih-

rer Bauform in ein Zahnbürstengehäuse integrierbar. Eine Auswertung der beiden Sensoren liefert Ergebnisse in variabler Genauigkeit bezüglich Ortsbestimmung, Bewegungsform und Anpressdruck. Alternativ dazu wäre eine Variante mit Positions-sensor, der der Anzeigeeinheit stets die aktuelle Position mitteilt. Jedoch verlangt der Sensor nach einem externen Referenzpunkt z. B. an der Stirn, womit der Standardbenutzer bei der Handhabung Schwierigkeiten haben könnte, da die aufwändige Konstruktion eine Kalibrierung erfordert. Der Massenmarkt verlangt nach einem robusten und einfach zu bedienenden Gerät.

Der Umgang mit unterschiedlichen Genauigkeitsstufen der Auswertungsergebnisse erfordert Kreativität. Der Anwender könnte während der Bildschirmausgabe eingreifen und somit den Anzeigehalt korrigieren. Moderne berührungsempfindliche Bildschirme ermöglichen eine solche Einflussnahme. Sollte die Genauigkeitsbewertung nach dem vollendetem Berechnungsvorgang vorliegen, könnte das Überwachungsgerät die Ausgabe entsprechend variabel gestalten.

Während in den Haushaltsgeräteabteilungen der Warenhäuser noch wenige Angebote existieren, die dem Anwender eine umfassende Überwachung seiner Zahnteilreinigung bieten, wurden beim Deutschen Patent- und Markenamt (DPMA) etliche Patentanmeldungen eingereicht, die sich mit einem solchen System auseinandersetzen.

Beispielsweise verwendet [YC07] in der Zahnbürste ebenfalls Sensoren zur Erfassung der Beschleunigungen und des Anpressdrucks. Die Auswertungsergebnisse fließen in die Evaluierung der Zahnpflege- und Reinigungszeit des Anwenders ein. Offen bleibt jedoch, wie mit den Sensordaten einzelne Bewegungsformen innerhalb von Bürsttechniken wie denen nach Fones oder Bass erfasst werden können.

In der Patentschrift [Dei+14c] werden weitere Beispiele zum Stand der Technik genannt – wegen mangelnder Relevanz wurde hier darauf verzichtet.

2.2.1 Technische Lösung

Ein System aus sensorbestückter Zahnbürste und Anzeigegerät (Abbildung 2.1) mit integriertem Rechner erfüllt die Anforderung nach einem elektronischen Hilfsmittel zur Unterstützung einer Bürsttechnik.

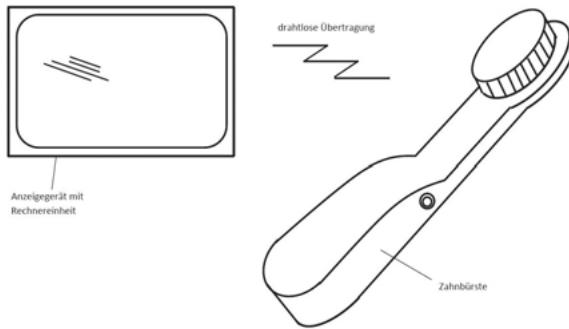


Abbildung 2.1: Zahnsäubersystem bestehend aus Anzeigeeinheit und sensorbestückter Zahnbürste

Damit kann dem Anwender laufend Rückmeldung über den aktuellen Putzvorgang gegeben werden. Die Sensordaten werden drahtlos übertragen, wobei ein üblicher Standard wie Bluetooth oder WLAN Verwendung findet. Die Zahnbürste benötigt neben der Übertragungseinheit einen Digitalrechner mit Informations- und Energiespeichern, um die Sensordaten aus Sicherheitsgründen vor dem Senden zwischenzuspeichern bzw. notwendige Formattanpassungen vorzunehmen (Abbildung 2.2).

Als Energiespeicher in der Zahnbürste bieten sich Akkumulatoren oder Batterien an. Mit dem Taster kann der Nutzer bei Bedarf Einfluss auf den Anzeigebildschirm nehmen, um beispielsweise den angezeigten Putzort zu korrigieren (Abbildung 2.2). Bei variablen Genauigkeiten für verschiedene Auswertungsergebnisse einiger Berechnungen, könnte mit dem Taster eine optionale Kalibrierung bzw. Berichtigung stattfinden.

Der eingebaute Beschleunigungssensor misst Amplitudenwerte der auftretenden Beschleunigungen in drei Achsrichtungen. Heutige günstig verfügbare Bausteine messen gleichzeitig die Amplitudenwerte der Winkelbeschleunigungen, womit der Sensor

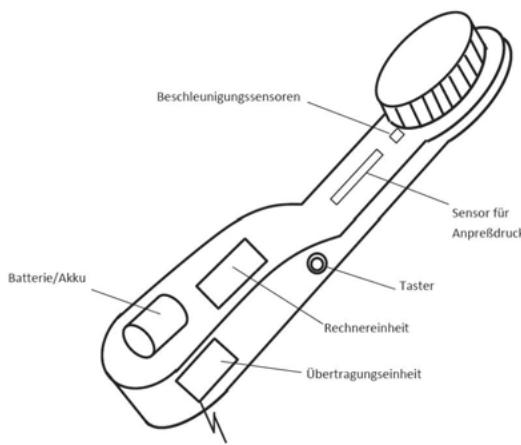


Abbildung 2.2: Sensorbestückte Zahnbürste mit Rechner und Übertragungseinheit

Werte von sechs Freiheitsgraden anbietet. Der Einbau erfordert Kalibrierung und Beschaltung, damit die Messrichtungen zur Längsausrichtung der Zahnbürste (Abbildung 2.3) passen und Bewegungsformen wie Rütteln, Kreisen, Schruppen oder Wischen optimal registriert werden.

Um den Anpressdruck der Borsten auf die Zahnoberflächen zu messen, wird ein Drucksensor in der möglichen Bauform eines Dehnungsmessstreifens (DMS) im Hals der Zahnbürste integriert. Dort kann er entweder auf der Außen- oder der Innenseite des Gehäuses aufgeklebt werden. Die Daten des Sensors spielen bei der Überwachung einer schonenden Reinigung eine große Rolle, weil sie in Abhängigkeit des Bürstortes vor einer zu hohen Abrasion des Zahnbefestigungsbaus warnen oder das Zahnfleisch anstatt zu reizen in Kombination mit einer kreisenden Bewegungsform massieren und somit die Durchblutung des Zahnfleisches anregen.

Das von Beschleunigungswerten während eines Zahnpflegevorgangs gezeichnete Bild bildet einen Signalverlauf mit Frequenzen, Amplituden und Hüllkurvenmustern. Mithilfe von Algorithmen zur Fast-Fourier-Transformation untersucht der Digitalrechner der Anzeigeeinheit das Datenmuster nach auftretenden Frequenzen, deren Amplituden und den Phasen zueinander. Die Signalanalyse wird durch Suchen nach wiederholenden und aussagekräftigen Mustern ergänzt. Mit den Er-

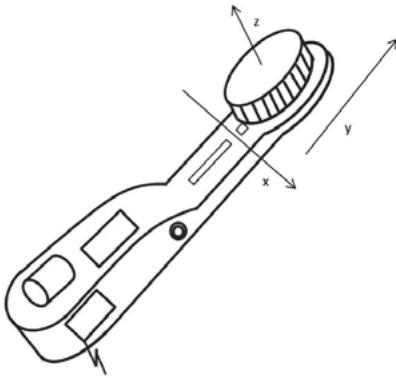


Abbildung 2.3: Messachsen des Achsbeschleunigungssensors

gebniessen lassen sich Rückschlüsse auf Bewegungsformen und auf den Bürstort ziehen. Für die Aufzeichnungsfunktionen bedeutet dies, dass neben den Rohdaten (Sensordaten) auch die Transformationsergebnisse inklusive Zeitstempel abgespeichert werden und somit für spätere Analysen bereits in aufbereiteter Form zur Verfügung stehen. Aus diesen Analysedaten ergeben sich wiederum Bewertungen aufgrund von Gleichmäßigkeit, Länge der Bürstbewegungen, Anpressdruck, Geschwindigkeit und Beschleunigung.

Die Validität von Berechnungsergebnissen hängt streng vom Zeitstempel der zu grunde liegenden Sensordaten ab. Dieser kann bereits während der Erfassung der Messwerte in der Zahnbürste im Datenfeld, bestehend aus den Werten für die Beschleunigungen in den sechs Freiheitsgraden und dem Anpressdruck, mit abgespeichert werden, sofern die Uhren der zwei Rechner in Zahnbürste und Anzeigeeinheit ausreichend synchronisiert sind. Eine einfachere Lösung stellt nachträgliches Zeitstempeln beim Eintreffen der Sensordaten in der Überwachungseinheit dar, vorausgesetzt die Latenzzeit zwischen Messwerterfassung und erfolgreicher Übertragung überschreitet nicht einen zuvor gesetzten Grenzwert.

Mit den Auswertungsergebnissen lässt sich die Unterstützung für den Zähneputzenden sehr flexibel gestalten. Durch Erkennung der aktuell gebürsteten Zahnoberflächen ist der Anwender in der Lage, den angewiesenen Putzort zu verlassen und nach eigenem Geschmack seinen zu bürstenden Kieferabschnitt auszuwählen, wobei ein kooperativer Benutzer dem Anwendungsziel des Systems natürlich entgegenkommt.

Mit der Anzeige wird er lediglich darauf hingewiesen, welche Zahnoberflächen noch der Reinigung bedürfen. Der Überprüfung der angewiesenen Bürstdauer pro Zahnoberfläche liegen auch die Ergebnisse aus der Signalanalyse zugrunde. Darin wird untersucht, ob überhaupt gebürstet oder ob die Zahnbürste nur in der Luft gehalten wird. Die ausschließliche Auswertung des Anpressdrucks genügt nicht für den Nachweis. Zur Unterweisung in einer Bürsttechnik wird die registrierte Bewegungsform mit Referenzparametern verglichen und mit Korrekturanweisungen oder eingebetteten animierten Symbolen dem Nutzer zur Verbesserung verholfen. Mit dem im Gehäuse der Zahnbürste befindlichen Taster oder einer Drucktaste auf dem berührungsempfindlichen Bildschirm der Anzeigeeinheit kann der Benutzer korrigierend auf die Bildschirmausgabe einwirken.

In [Dei+09] wird ein kontinuierlicher Verbesserungsprozess der Zahntreinigung bei Anwendung bekannter Bürsttechniken dokumentiert. Mit der Entwicklung neuer Techniken können in dem Überwachungsgerät die Ergebnisse als neues Softwaremodul übernommen und somit dem Anwender gelehrt werden.

In herkömmlichen Anzeigen zur Überwachung der Zahntreinigung (Abbildung 2.4) wird die Putzortanzeige üblicherweise als Anweisung ausgegeben, einen Quadranten des Kiefers zu bürsten, und eine Zeitanzeige gibt die gesamte Bürstzeit zum Vergleich aus. Die Kontrolle des Bürstvorgangs beschränkt sich auf die Messung des Anpressdrucks und den Test auf elektronische Aktivität der elektrisch betriebenen Zahnbürste.

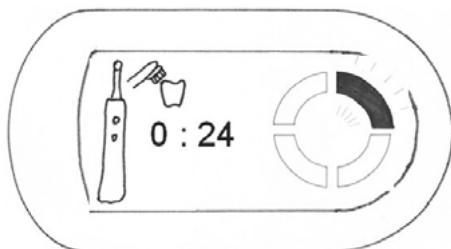


Abbildung 2.4: Herkömmliche Anzeige zur Überwachung der Zahntreinigung

Da vielen Anwendern diese Form der Bildschirmausgabe vertraut ist, bietet sich an, eine auf der Basis der Quadrantenansicht weiterentwickelte Ausgabe vorzusehen. In Abbildung 2.5 sind die Quadranten weiterhin vorhanden und werden in Dodekan-

ten unterteilt. Mit den kleinen Kreisflächen wird der aktuelle Putzort angegeben. Durch Platzierung der Kreisfläche kann hier zwischen Innen-, Kau- und Außenfläche unterschieden werden.

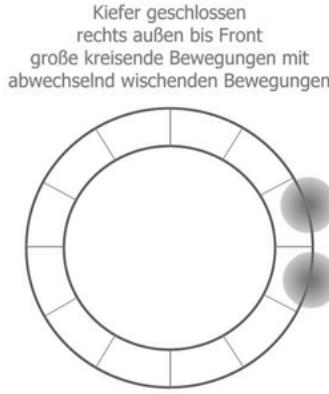


Abbildung 2.5: Anzeige des Putzorts mit eingeblendeten Anweisungen

Darüber befinden sich Textfelder zur Ausgabe von Anweisungen der zu befolgenden Bürstbewegungsform. In dem Beispiel sollen bei geschlossenem Kiefer die rechten Zahnoberflächen in langsamen, kreisenden Bewegungen gebürstet werden. Weil die obere und die untere Zahreihe gleichzeitig gebürstet werden, müssen auch zwei ortsanzeigende Kreisflächen eingeblendet werden. Korrekturanweisungen könnten hier in roter Farbe wiedergegeben werden, um den Benutzer von der Dringlichkeit zu überzeugen.

Als Hardwarebasis für ein Anzeigegerät bieten sich bestehende Produkte der Konsumgüterindustrie wie Tablet-PCs, Notebooks oder Smartphones jeweils mit eingebauter Frontkamera an. Zu Beginn des Putzvorgangs werden die Anwenderprofile geladen. Die Anzeige gibt den berechneten Putzort wieder und blendet gleichzeitig schriftlich Anweisungen in Textfeldern ein. Überlagert wird die Ausgabe mit dem laufenden Kamerabild, das aus der aktivierten Frontkamera gespeist wird. Um die Eigenschaft der Überlagerung zu nutzen, ist es notwendig, die ausgegebenen Symbole in eine transparente Form zu wandeln, bei der bestimmte Bereiche durchsichtig sind, womit das dahinter liegende Kamerabild sichtbar wird.

Damit wird der Benutzer durch das dem seinem Spiegelbild gleichenden Kamerabild und die wechselnden Ausgabeinformationen motiviert, die Anzeige ständig zu beobachten.

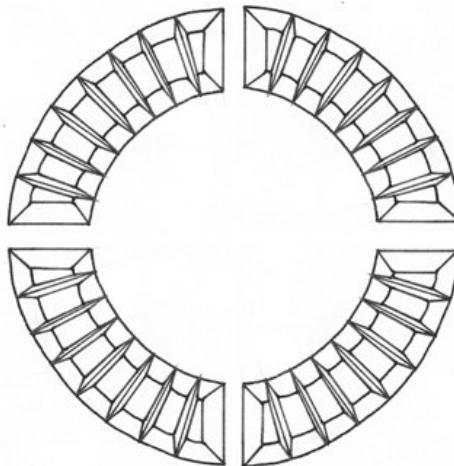


Abbildung 2.6: Symbolansicht der vier Quadranten mit allen Zahnflächen

Alternativ dazu lassen sich aufgrund der komplexen Symbolansicht in Abbildung 2.6 alle Zahnflächen anzeigen: Innen-, Außen-, Seiten- und Kauflächen. In dieser Darstellung könnten die einzelnen Flächen eingefärbt werden, um den aktuellen Bürstort wiederzugeben und mit einer differenzierten Farbe über die Vollständigkeit der Zahnreinigung zu informieren.

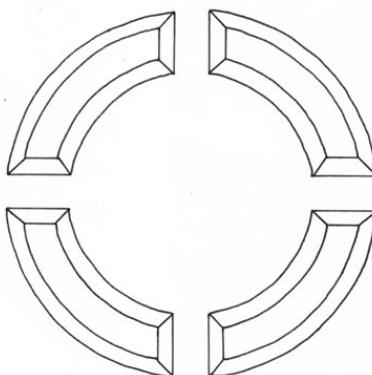


Abbildung 2.7: Symbolansicht der vier Quadranten ohne Zahninnenflächen

In Abbildung 2.7 wird die Komplexität auf Außen-, Innen und Kauflächen reduziert, um den Benutzer nicht überzustrapazieren. Auch diese Darstellung orientiert sich an einer bereits im heutigen Alltag gewohnten Anzeige. Neben statischen Symbolen werden auch variable Typen verwendet, ähnlich analogen Zeigerinstrumenten. Diese lassen den Benutzer durch intuitives Probieren und Beobachten der Anzeige ihre Bürsttechnik schneller verbessern.

Für die Identifikation der Anwender nutzt der Rechner Algorithmen der Gesichtserkennung. Auch hier ist der Benutzer bei Versagen in der Lage, durch Dateneingabe den Benutzernamen zu wählen oder neu anzulegen. Nach erfolgreicher Authentifizierung werden die individuellen Daten aus dem Profilverzeichnis geladen. Neben den historischen Putzverläufen besitzt das System die Möglichkeit, persönliche anatomische Informationen beispielsweise bzgl. Zahnersatz oder Brückengliedern in die Anzeige zu integrieren.

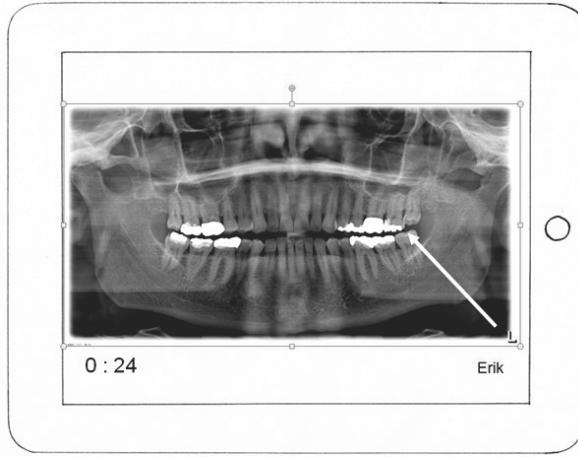


Abbildung 2.8: Persönliche Informationen zur Individualisierung der Anzeige

Für die Individualisierung der Anzeige können Röntgenaufnahmen oder zahnmedizinische Befunde des behandelnden Zahnarztes (Abbildung 2.8) herangezogen werden. Mit den Daten historischer Zahnpflegesitzungen hat der Rechner die Möglichkeit, im asynchronen Modus nach gemeinsamen Mustern bei immer wiederkehrenden Bewegungsabläufen zu suchen. Mittels der daraus zu erzielenden Ergebnisse kann der Rechner beim nächsten Zahnpflegesitzung eine höhere Ortsauflösung und eine individuellere Ausrichtung der Anzeige anbieten.

Die Qualität der Anwendung einer Bürsttechnik wird in aufsteigenden Stufen, ähnlich einer Notenverteilung bewertet. Damit erhält der Anwender für seine Zahnpflegevorgänge eine Note und kann diese mit den Noten anderer Benutzer vergleichen. Der Vergleich mit Freunden und Familienangehörigen soll über den Spaßfaktor die Motivation zusätzlich beflügeln.

Das Überwachungssystem kann mit einem externen Aufzeichnungssystem verbunden werden, das in synchronisierter Form mithilfe von Zeitstempeln Sensordaten, Videoaufnahmen des Zahnpflegenden, die zugehörigen berechneten Statusinformationen, eingeblendete Anweisungen und Symbole parallel in Spuren sichert. Die detaillierten Daten führen zur Entwicklung von Lehrmaterial, dienen als Grundlage zur Gruppenprophylaxe oder werden einer rechenintensiven Analyse für weitergehende Forschungen zugeführt. Falls Bilderkennungsalgorithmen auf die Videosequenzen angewendet werden, können mit optischen Markierungen am Gehäuse der Zahnbürste bestehende Auswertungen unterstützt werden, womit sich die Putzstatusinformationen noch verfeinern lassen.

2.2.2 Ausführungen

Bei Vorhandensein einer großen Menge an Rechenergebnissen ergibt sich die Wahl, welche Auswertungen auf dem Ausgabebildschirm erscheinen sollen. Üblicherweise entscheidet der Anwender, welche Auswertungen er zu finden wünscht.

In der häuslichen Zahnpflege legt der Kunde Wert auf exakte Putzortbestimmungen und erwartet einfache Anweisungen zum Erlernen einer Bürsttechnik, beispielsweise die nach Fones oder Bass. Korrekturanweisungen oder analoge, übergangslos wechselnde Ausgabesymbole erleichtern ihm den Lernvorgang. Im Hintergrund fällt der Rechner permanent Entscheidungen, welche Auswertungen die Genauigkeitsanforderungen erfüllen, bevor er diese in Ausgabesymbole transformiert. Dabei sollte der Rechner in der Lage sein, nach mehreren aufgenommenen Zahnpflegevorgängen eines Benutzers zusätzliche Muster in den Verläufen zu erkennen und damit die Putzstatusinformationen zu verfeinern.

In zahnärztlichen Prophylaxebehandlungen passt das Überwachungssystem die Bürsttechnik individuell an, um die Zahnreinigung während des Behandlungszeit-

raumes anzupassen und nach erfolgreicher Behandlung die Genesung zu optimieren. In weiteren Sitzungen können auch Bürsttechniken nach neuen wissenschaftlichen Erkenntnissen eingeführt werden.

Für Forschungsvorhaben wird die Ausgabefunktion hinsichtlich des Studienziels abgeglichen. Beispielsweise wird für die Untersuchung chaotischen Putzens von einer Unterweisung in eine Bürsttechnik abgesehen. Interessant sind für diesen Einsatzzweck die Aufzeichnungsspuren, mit denen die Auswertung teils maschinell vorgenommen und somit das technisch-wissenschaftliche Personal in erheblichem Umfang entlastet werden kann. Es erübrigen sich Aufsichten und Videoanalysen. Mit einer hohen Anzahl von Überwachungsgeräten der gleicher Konfiguration eröffnet es die Möglichkeit, Studien mit hoher Probandenzahl durchzuführen.

2.3 Überwachungssystem für die Zahnhygiene mit erweiterter Sensorik

Steht eine Zahnbürste mit reichhaltiger Sensorik zur Verfügung, so stellt sich die Frage, welche Erwartungen an ein solches System bestehend aus Zahnbürste und Anzeigegerät gestellt werden können. In einem vorgeschlagenen Informationssystem, beschrieben in der Patentschrift [Dei+14b], werden Zahnbürsten benötigt, die mit vielen unterschiedlich wirkenden Sensoren ausgestattet sind.

Welchen Herausforderungen die dazugehörige Sensorenauswertung begegnet und wie eine Bürste für diesen Zweck aufgebaut ist, ist Gegenstand dieser Lösung:

Während gewöhnliche Fehlerursachen fehlerhafter Zahnreinigungen im Auslassen von Zahnoberflächen, zu hohem Anpressdruck oder dem Vergessen von Zahnzwischenräumen liegen, können bei zu intensivem Bürsten Läsionen oder Defekte auftreten. In der Öffentlichkeit mittlerweile bekannt ist der Umstand, dass Zahneputzen unter Umständen einen Beitrag dazu leistet, dass sich das Zahnfleisch immer mehr zurückzieht. Dies macht deutlich, dass neben halbjährlichen Prophylaxesitzungen

auch eine permanente Instruierung in richtigem Bürsten stattfinden sollte. In der Studie [Har+12b] führte der Einsatz rechnerunterstützten Trainings bereits zu offensichtlichen Verbesserungen.

2.3.1 Probleme aktuell verfügbarer Anwendungen

Moderne Ultraschallzahnbürsten weisen bereits mit der hohen Vibration ihrer Borsten den Anwender an, nur einen minimalen Anpressdruck anzuwenden, weil die hohe Schwingfrequenz der Borsten den Zahnbefestigung automatisch löst. Erste mitgelieferte Anzeigesysteme (Abbildung 2.4 in Abschnitt 2.2.1) warnen umgehend beim Detektieren eines zu hohen Biegemoments des Zahnbürstenhalses. Ob sich damit die signifikante Zunahme parodontaler Erkrankungen ([Mic]) aufhalten lässt, ist fraglich. Es ist anzunehmen, dass ständige Unterweisung in Mundhygienetechniken gepaart mit optimaler Pflege bzw. Stimulation des Zahnfleisches diesem Trend Einhalt gebieten könnte.

Bei sehr hohen Anforderungen an Putzstatusinformationen ergibt sich die Fragestellung, ob diese mit wenigen in der Zahnbüste integrierten Sensoren erfüllt werden kann. Beispielsweise liefert ein Positionssensor, vorausgesetzt an der Stirn des Benutzers befindet sich ein Referenzpunkt, genaue Positionsdaten des Bürstenfelses mit konstanter Aktualisierungsrate. Damit fehlen aber immer noch die auftretenden Kräfte bzw. Beschleunigungen, Kamerabilder ähnlich Endoskopaufnahmen im Mundraum, Daten über den Anpressdruck oder Geschwindigkeiten relativ zu den Zahnoberflächen. Sobald Nachfragen nach sehr detaillierten und vielfältigen Sensorinformationen bestehen, sei es für Forschungsvorhaben oder für Therapiezwecke, müssen mehrere unterschiedliche Sensoren im Gehäuse der Zahnbürste zum Einsatz kommen.

Verwendete Sensoren mit hoher Auflösung können auch zur Erfassung personen-spezifischer Bewegungsmuster herangezogen werden, womit eine Identifikation von Personen ermöglicht wird. Nach [KS07] werden Handbewegungen in einer vorgegebenen Bewegungsfolge während einer begrenzten Zeitdauer mithilfe der Daten von Beschleunigungs- und Drucksensoren aufgezeichnet und ausgewertet, womit eine Person eindeutig identifiziert wird. Weichen die Bewegungsmuster von einem Standardmuster ab, können sogar degenerative Veränderungen des zentralen Nervensystems nachgewiesen werden.

In Hinblick auf die Zunahme parodontaler Erkrankungen werden Überwachungssysteme nachgefragt, die nicht nur Putzort, Anpressdruck und Bewegungsformen registrieren, sondern auch Rückschlüsse auf den Zustand des Zahnfleisches erlauben. Die Forschung benötigt solche Systeme, die mit einer Vielzahl von teilweisen redundanten Sensoren und Kamerasystemen den Weg in neue Forschungsfelder weisen.

2.3.2 Technische Lösung

Die oben vorgeschlagene Zahnbürste mit erweiterter Sensorik besteht ebenso wie die in Abschnitt 2.2 vorgestellte Vorrichtung aus Anzeigeeinheit und einer mit Sensoren bestückten Zahnbürste (Abbildung 2.1). In dem nachfolgend beschriebenen System wird jedoch die Zahnbürste mit einer Vielzahl verschiedener Sensoren ausgestattet, die durch kombinierte Auswertung einen wesentlich genaueren Blick auf das Geschehen während des Zahnpflegevorgangs erlauben.

Beschleunigungssensor und Drucksensor, in einer typischen Bauart als Dehnungsmessstreifen, sind nahe dem Borstenfeld eingebaut (Abbildung 2.2 und Abbildung 2.3), um authentische Messergebnisse der Borstenbewegungen zu erzielen. Die Koordinatenachsen werden wie bei anderen Modellen auch nach der Längsachse der Zahnbürste und orthogonal entsprechend zu den Borstenfasern ausgerichtet. Die Daten aus den Druckmessungen sind unverzichtbar zum Schutz von Zahnfleisch und Zahnschmelz.

Um die Sicherheit der Datenübertragungen zur Anzeigeeinheit zu gewährleisten, aber auch um die Sensordaten nach der Messung in ein angefordertes Format zu transformieren, muss die Zahnbürste neben den Sensoren auch einen Rechner mit Speicher, Akkumulator und Übertragungseinheit aufweisen (Abbildung 2.2). Die Datenkommunikation zwischen Zahnbürste und Anzeigeeinheit erfolgt drahtlos nach einem standardisierten Protokoll wie Bluetooth oder WLAN.

Entlang des Borstenfeldes werden optische Sensoren platziert (Abbildung 2.9). Diese besitzen wie bei einer Lasermaus jeweils eine eigene Lichtquelle und ein kleines CCD-Feld, das Kontrastveränderungen in eine Bewegungsrichtung übersetzt. Damit können permanent Ortsveränderungen der Zahnbürste relativ zu ihrer Umgebung registriert werden. Da Speichel oder Zahnpasta die Ar-

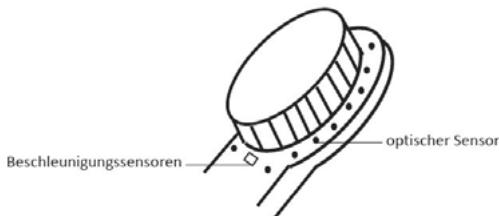


Abbildung 2.9: Optische Sensoren entlang des Borstenfeldes

beit dieser Sensoren beeinträchtigen können, werden sie redundant vorgesehen und gleichmäßig um das Borstenfeld verteilt. Eine in der Zahnbürste verfügbare Auswerteelektronik filtert direkt nach Empfang der Messergebnisse die ungültigen Daten aus und sorgt dafür, dass nur werthaltige Informationen zur Anzeigeeinheit weitergegeben werden.

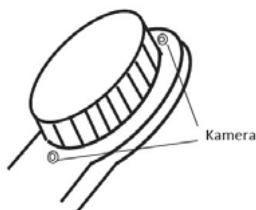


Abbildung 2.10: Mini-Kameras im Gehäuse der Zahnbürste

Endoskopische Videoaufnahmen liefern zwei eingebaute Miniaturkameras, die an den Enden des Borstenfeldes liegen (Abbildung 2.10). Ebenfalls mit eigener Lichtquelle ausgestattet vermögen sie im Mundraum die Umgebung der Zahnbürste aufzuzeichnen. Aus diesen Aufnahmen, die für den Anwender auf dem Anzeigebildschirm eingeblendet werden (Abbildung 2.11), können Rückschlüsse auf den parodontalen Zustand gezogen werden. Wichtige Informationen, beispielsweise über Läsionen, Reizungen oder Rötungen des Zahnfleisches, sind auf den Aufnahmen zu erkennen und können neben dem Nutzer auch von einer Fachkraft per Ferndiagnose gesichtet werden oder stehen für eine spätere Analyse in der Forschung zur Verfügung. Üblicherweise befriedigen die Aufnahmen ein Informationsbedürfnis und werden visuell

analysiert. So kann sich der Anwender über das Bewegen der Zahnbürste ohne zu Bürsten ein Bild von seinem Mundraum machen und daraus wichtige Entscheidungen zur Pflege seines Kiefers treffen.

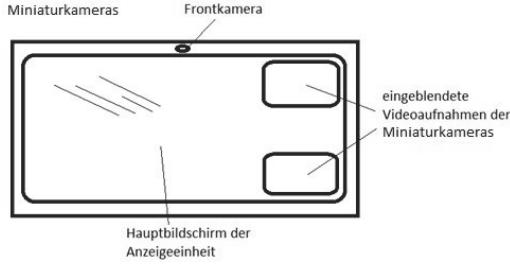


Abbildung 2.11: Anzeigeeinheit mit eingebildeten Videobildschirmen der Miniaturkameras

Markante und bedeutende Muster wie Läsionen können auch über einen Mustervergleich der Bildrahmen einer algorithmische Auswertung erkannt werden und wirken sich nachfolgend mit speziellen Korrekturanweisungen zur Schonung oder Heilung im Ausgabebildschirm aus.

Ein eingebauter Ultraschallsensor besitzt die Fähigkeit, die unmittelbare Nachbarschaft der Zahnbürste zu erfassen und in ein dreidimensionales Abbild im Rechner zu transformieren. In Verbindung mit der Bürstortbestimmung und dem Vergleich mit den abgespeicherten anatomischen Daten des Kiefers erlaubt es der Anzeigeeinheit, Rückschlüsse über den Verschmutzungsgrad zu ziehen. Mit den Informationen gelingt dem Anwender eine effektive Zahnräumigung. Abseits eines Zahnpflegevorgangs ist es mit diesem Sensor auch möglich, den Kiefer des Anwenders zu vermessen und im Benutzerprofil als individuelle anatomische Informationen abzuspeichern.

Für die korrekte Zuordnung des Benutzerprofils wird eine erfolgreiche Authentifizierung des Anwenders benötigt. Die Voraussetzung für ein funktionierendes Informationssystem besteht darin, dass sich der Nutzer auf eine Weise vor dem Bildschirm platziert, die es erlaubt, den Zahnpflegevorgang vollständig aufzuzeichnen. Deshalb können die Einzelbildrahmen auch zur Identifizierung des Nutzers verwendet werden, zu der Algorithmen der Gesichtserkennung auf die Aufnahmen angewendet werden. Im Dialog wird er vor dem Zahnpflegevorgang noch seinen ausgegebenen Benutzernamen bestätigen. Im Benutzerprofil werden neben den Sen-

sordaten und den Videoaufzeichnungen auch die errechneten Putzstatusinformationen mit Anweisungen gesichert. Im Asynchronmodus führt das Informationssystem eine Mustererkennung über die historischen Zahnpflegvorgänge durch und verfeinert mit den Erkenntnissen daraus die Putzstatusinformationen zukünftiger Bürstvorgänge des Anwenders. Individuelle, sich wiederholende Bewegungsabläufe zeichnen ein genaueres Bild und ermöglichen auf den Nutzer zugeschnittene Anweisungen und Statusinformationen.

Parallel zu den abgespeicherten Videoaufzeichnungen fertigt das Informationssystem in regelmäßigen Abständen Schnappschüsse des Anzeigebildschirms an (Abbildung 2.11). Mit solchen aussagekräftigen Aufnahmen ermöglicht es beispielsweise einem behandelnden Zahnarzt, sich über die Fortschritte einer Wundheilung zu informieren, oder Eltern können sich über das disziplinierte Zahnpflegen ihrer Sprösslinge vergewissern. Die Anwendung dieser Technik bietet vor allem bei Engpässen in der Übertragungsbandbreite zu Überwachungsservern eine adäquate Möglichkeit zur Ferndiagnose.

Etliche Sensoren erlauben es, Aussagen über Relativbewegungen zu treffen, welche sich in Differenzlängenbeträgen auf den Koordinatenachsen niederschlagen. Absolute Positionsbestimmungen können von Kamerabildern oder Beschleunigungssensoren abgeleitet werden. Die zugehörigen Rechenprozesse beinhalten jeweils anhaftende Genauigkeitstoleranzen. Ein Positionssender im Kopf der Zahnbürste erlaubt die Erfassung der genauen Borstenposition relativ zum Kiefer. Notwendig für den Einsatz des Sensors ist die Existenz eines Referenzpunktes am Kopf des Anwenders. Dieser kann mithilfe eines Bandes auf der Stirn liegen, über eine Manschette am Kinn befestigt sein oder in den Gehörgängen liegen.

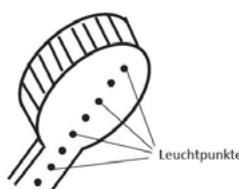


Abbildung 2.12: Leuchtpunkte auf der Rückseite des Bürstengehäuses

Die Frontkamera auf dem Anzeigegerät zeichnet den gesamten Zahnpflegvorgang auf. Neben der Anwendung von Gesichtserkennungsalgorithmen identifiziert das

Gerät markante Punkte des Gesichts. Da die Zahnbürste mit ihren geometrischen Abmessungen als Datensatz im Rechner vorhanden und ein Ausschnitt der Zahnbürste in den Kamerabildern immer sichtbar ist, kann aus den Daten der Bürstort genauer bestimmt werden. Unterstützt wird dieser Vorgang durch reflektierende oder lichtstrahlende Leuchtpunkte (Abbildung 2.12), beispielsweise in der Bauform LED, auf der Rückseite des Bürstengehäuses, deren exakte Koordinaten ebenfalls im Rechner vorhanden sind. Zur Unterscheidung besitzt jeder Leuchtpunkt eine spezifische Farbe.

Bürsttechniken kombinieren verschiedene Bewegungsabläufe wie Ausstreichen zur Kaufläche, kreisend von Zahnfleisch zu Zahnfleisch, rüttelnde oder Schrubbewegungen, um den Zahnpulzvorgang vollständig, zeiteffektiv und schonend durchzuführen. Das Erlernen der Techniken erfordert üblicherweise die Teilnahme an Prophylaxesitzungen, welches neben dem Kosten- auch einem erheblichen zeitlichen Aufwand darstellt. In den Schriften [Fon21], [Rev96], [MB+11], [Sch+10] und [Bas54] werden die Bürsttechniken nach Fones, Stillmann und Bass vorgestellt. Zur Einübung einer definierten Bürstbewegung bedarf es der persönlichen Unterweisung. Aber auch nach korrektem Erlernen degeneriert die Fähigkeit zur korrekten Ausführung eines Bewegungsablaufs nach geraumer Zeit ([Mic]). Ein elektronisches Hilfsgerät könnte diesem Engpass begegnen. Um eine Bewegungsform bestmöglich zu unterweisen und den Vollzug zu überprüfen, bedarf es kombinierter Auswertungen der Daten unterschiedlicher Sensoren. Dem Nutzer ermöglicht eine solche üppige Sensorausstattung nicht nur ein optimales Erlernen der genannten Techniken, sondern auch eine visuelle Rückmeldung in der Form von Kameraaufnahmen des Zahnfleischs und der Zahnoberflächen sowie die Begutachtung der errechneten Auswertungsergebnisse. Zusätzlich kann anhand der Videoaufnahmen eine Fachkraft per Fernüberwachung Hinweise erteilen.

Die Anforderungen an die Geräteausstattung hinsichtlich der Anzeigeeinheit für das Informationssystem sind ähnlich wie für die in Abschnitt 2.2 beschriebene Vorrichtung. Bezuglich der Gestaltung des Ausgabebildschirms werden noch Fenster zur Bildausgabe der in der Zahnbürste eingesetzten Kameras (Abbildung 2.11) eingefügt. Neben einer transparenten Darstellung des Kiefers und des Gesichts des Benutzers können auch Symbolansichten auf das Spiegelbild gelegt werden, um Putzstatusinformationen anwenderfreundlich darzustellen (Abbildung 2.5, Abbildung 2.6 und Abbildung 2.7). Anweisungen und Verbesserungsvorschläge können in Schriftform eingeblendet oder als analoges Symbol ähnlich einem Zeigerinstrument verwendet

werden, um dem Benutzer korrekte bis falsche Anwendung einer Technik in fließen- den Übergängen anzuzeigen. Statt der überlagerten Statusanzeigen kann das Gerät auch reale Zahnoberflächen im Spiegelbild einfärben, um auf diese Weise dem Nutzer sein Fortschreiten kenntlich zu machen.

Für die Gestaltung einer transparenten Sicht auf den Kiefer müssen Informationen über die anatomischen Besonderheiten des Anwenders vorhanden sein. Sollten bei Inbetriebnahme eines neuen Informationssystems die Angaben nicht vorliegen, so können die Darstellung der Zahnreihen nach Standardangaben dargestellt werden. Der Import von individuellen Informationen kann via Röntgenaufnahmen erfolgen (Abbildung 2.8), bei dem Zahnersatz, Füllungen und Form der Zähne über eine grafische Bildauswertung erkannt und in ein dreidimensionales Rechnermodell transformiert werden. Alternativ können zahnärztliche Befunde auch manuell über vorgefertigte Formulare eingegeben werden. Abgespeichert werden diese Daten im Benutzerprofil des Anwenders.

Das Gerät besitzt die Fähigkeit zur Kopplung mit externen Aufzeichnungsgeräten. Diese speichern in mit Zeitstempeln synchronisierten Spuren die parallel auftretenden Sensordaten, berechnete Statusinformationen, Anweisungen und Videoaufzeichnungen ab und erzeugen innerhalb einer Analyse- software eine visuell gestaltete Benutzeroberfläche, die auf Analyseprozesse hin optimiert wurde.

2.3.3 Ausführungen

In der häuslichen Zahnpflege unterstützt obige Lösung den Anwender bei der Zahnräumung und unterweist ihn in der korrekten Ausführung einer Zahnpflegetechnik. Sie informiert ihn über parodontale Gefahrenzustände und erlaubt die Aufschaltung oder Fernüberwachung von Fachpersonal. Über die Vielzahl ausgegebener Informationen wächst sein Wissen und Verständnis für eine wissenschaftlich fundierte Zahnpflege.

In der Forschung erlaubt das Informationssystem die Initiierung vielfältiger Studien mit hoher Probandenanzahl. Die Konfiguration kann individuell an das Studienziel angepasst und die Überwachungsfunktion mit Sofortanalyse gekoppelt werden.

Liegen aussagekräftige Sensorwerte für einen Bürstvorgang vor, so muss entschieden werden, welche Auswertungen an den Nutzer kommuniziert werden. Die im Folgenden beschriebenen Lösungen teilen aktuelle Informationen zum Putzvorgang mit und implementieren ein Verfahren zur Lehre elementarer Bürstbewegungen.

2.4 Anzeigegerät zur Überwachung des Zahnpflegevorgangs

Wegen der Existenz vielfältiger Auswertungen zum aktuellen Bürstvorgang muss ein Weg gefunden werden, um den Zahnpflegenden bei der Beobachtung des Ausgabebildschirms nicht zu überfordern, aber trotzdem sein Informationsbedürfnis weitgehend zu erfüllen.

Die technische Lösung des Problems – basierend auf der Anwendung einer mit Sensoren versehenen Zahnbürste ([Dei+11b]) in der Forschung und als mögliches Massenprodukt – beschreibt Eigenschaften eines Anzeigegerätes für eine Überwachung des Zahnpflegevorgangs mit hohem Informationsgehalt:

Das in [Dei+13] beschriebene Anzeigegerät, welches den Anwender in einer Bürstechnik instruiert und wertvolle Informationen über den aktuellen Putzstatus übermittelt, ist leicht in der Handhabung. Von modernen Rechnern wird erwartet, dass sie dem Nutzer intuitiv ihre Funktionen offenbaren. Ebenso ist es erforderlich, dass der Anwender permanent die Anzeige beobachtet, um auf wertvolle Hinweise rechtzeitig reagieren zu können. Die Visualisierung der Informationen erfolgt auf eine Weise, die dem Nutzer erlaubt, die für ihn wichtigen Informationen ohne große mentale Anstrengung wahrzunehmen. Auch ist genügend Rechenkapazität vorhanden, um die in konstanten Zeitabständen übertragenen Sensordaten zeitgerecht auszuwerten und in die passende Visualisierung zu transformieren. Rohdaten, Auswertungsergebnisse und andere erzeugte Informationen werden auf einem permanenten Speicherträger für eine optionale nachträgliche Analyse sicher abgespeichert. Auch Datenschutz könnte für diese Belange eine Rolle spielen. Wünschenswert ist die Eigenschaft, externe Daten, beispielsweise vom behan-

delnden Zahnarzt oder anatomische Besonderheiten des Anwenderkiefers, in die Darstellung miteinzubinden.

Das Anzeigegerät erhält seine Daten aus einer sensorbestückten Zahnbürste, wie in [Dei+11b] beschrieben. In einer Minimalbestückung liefern ein Beschleunigungssensor und ein Drucksensor Daten über den laufenden Bürstvorgang. In einer Ausprägung nimmt ein Dehnungsmessstreifen das Biegeverhalten des Halses der Zahnbürste auf, welcher den Anpressdruck der Borsten auf eine Zahnfläche wiedergibt. Mit diesen Daten können wichtige Aussagen über die richtige Dosierung des Anpressdrucks auf die Zahnflächen, am Gingivarand oder zur Massage des Zahnfleischs getroffen werden. Der Beschleunigungssensor bietet in einer üblichen Bauform die Amplitudenwerte der Achsbeschleunigungen und Winkelgeschwindigkeiten in insgesamt sechs Freiheitsgraden an. Mit den Achsbeschleunigungswerten lassen sich Positionsbestimmungen durchführen und Rückschlüsse auf die Bewegungsform ableiten. Die Werte der Winkelgeschwindigkeiten lassen beispielsweise zu, Wischbewegungen zu erkennen, die besonders für das Herauswischen von Speiseresten in den Zahnzwischenräumen im Bürstvorgang ihre Entsprechung finden. Weitere integrierte Sensoren könnten in ihrem Zusammenwirken die Auflösung der Ortsbestimmung und die Identifizierung der Bewegungsform maßgeblich erhöhen.

Die abgetasteten Daten müssen ohne länger andauernde Zwischenspeicherung in der Zahnbürste den Weg zur Anzeigeeinheit finden. Die Übertragung kann hierfür entweder drahtgebunden über eine USB-Verbindung oder drahtlos über WLAN- oder Bluetooth-Verbindungen erfolgen. Üblicherweise besitzt ein Datenaufnahmegerät einen kleinen Speicher zur Aufnahme der Sensordaten, um Schwankungen in der Verbindungsqualität ausgleichen zu können.

Die empfangenen Daten werden unverzüglich verarbeitet, um die Auswertungsergebnisse rechtzeitig in Visualisierungen umzuwandeln. Die Entscheidung, wann ein Sensordatum nicht mehr valide ist, wird durch Vergleich der Zeitstempel des Datums durchgeführt. Für eine untere Schwelle einer ausreichenden Genauigkeitsbestimmung beispielsweise des Bürstortes sind eine Mindestanzahl von Messwerten erforderlich. In dem angeführten Fall müssen Mittelwertberechnungen durchgeführt werden, für die eine Mindestanzahl von Sensorwerten Voraussetzung ist. Das Einlesen und Auswerten dieser Werte führt zwangsläufig zu Wartezeiten, welche sich negativ auf die Dynamik der Anzeige auswirken. Alternativ kann auch mit unterschiedlichen Genauigkeitsstufen der Auswertungsergebnisse gearbeitet werden, um dem Anwender

frühest möglich Rückmeldung über seinen Putzvorgang zu geben. Der hierfür maßgebliche Zeitstempel kann bereits bei der Abtastung mit dem Datum verknüpft oder bei Kenntnis der Übertragungslatenzzeit erst beim Eintreffen im Überwachungsgerät erzeugt werden. Falls diese Latenzzeit die Minimalanforderung der Auswertung unterschreitet, kann sie auch mit einem konstanten Wert angenommen oder bei bestimmten Berechnungen vernachlässigt werden.

Die berechneten Auswertungsergebnisse lassen sich auf unterschiedliche Art und Weise visualisieren. Erfolgreich gebürstete Zahnoberflächen können mit einer freundlichen Farbschattierung markiert werden, noch zu reinigende Flächen hingegen mit einer Farbe, die den Benutzer auffordert, den Putzvorgang vollständig durchzuführen. Der aktuelle Anpressdruck sollte in fließenden Farbübergängen münden, um den Nutzer über die Aktivität des Rechners zu informieren. In Abhängigkeit vom Bürstort kommen unterschiedliche Grenzwerte zur Anwendung, die vor zu hohem Abrieb des Zahnschmelzes oder vor Reizung des Zahnfleischs warnen. Falls der Verschmutzungsgrad mithilfe der Sensordaten festgestellt werden kann oder sogar die Existenz einzelner Schmutzpartikel nachgewiesen wird, so lassen sich diese Informationen ebenfalls über geeignete Farbmarkierungen im ausgegebenen Spiegelbild des Anwenders einblenden. Die farbliche Markierung der Zahnoberflächen kann den errechneten Putzort bestimmen oder anweisen, welche Zahnoberfläche gebürstet werden soll. Hinweise zur Bürstechnik, beispielsweise die Aufforderung zu kreisenden Bewegungen, werden über Text- und Grafikeinblendungen unter Umständen sogar animiert. Auch für Korrekturanweisungen bietet sich Text mit entsprechender Schriftfarbe an. Diese könnte auch akustisch via Ton oder Sprache mit einem Imperativ ausgestattet werden, da insbesondere Kinder wenig strenge Aufforderungen gerne ignorieren.

Das Überwachungsgerät ist mit den Komponenten hoch auflösender Bildschirm mit hoher Farbtiefe, Frontkamera und Digitalrechner mit Übertragungseinheit ausgestattet. Das von der Kamera erfasste Bild des zähneputzenden Nutzers wird als Spiegelbild auf dem Bildschirm ausgegeben. Ähnlich dem Zähneputzen vor dem Spiegel ist der Anwender bemüht, sein Gesicht mit dem Putzvorgang auf dem Schirm mittig zu sehen (Abbildung 2.13).

Zur Anzeige der beschriebenen Informationen müssen für den Anwender alle Zähne sichtbar sein. Alternativ könnte der Kiefer ähnlich wie in einer Röntgenaufnahme dargestellt werden ([Sic]). Dies macht es aber für den Nutzer schwierig, die markier-

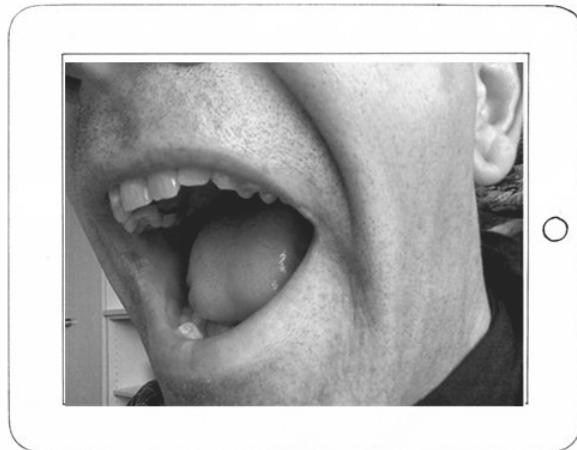


Abbildung 2.13: Ausgegebenes Spiegelbild des Betrachters

ten Zahnflächen mit den seinen zu verknüpfen. Stattdessen wird eine halbtransparente Darstellung des Gesichts und des dahinter liegenden Kieferausschnitts gewählt (Abbildung 2.14). Damit erleichtert sie die Orientierung und der Anwender wählt über seine Lage und den Abstand zur Kamera seine gewünschte Perspektive. Wie beim Abstand zum realen Spiegelbild erzielt er beim Näherkommen zur Kamera eine gewünschte Zoomfunktion und kann die interessierende Partie seines Gesichts näher betrachten.

Das Anzeigegerät besitzt die Möglichkeit, den Kiefer gemäß den anatomischen Details des Anwenders darzustellen. Deshalb können externe anatomische Informationen wie zahnärztliche Befunde oder Röntgenaufnahmen sowie andere zahnmedizinische Informationen importiert werden. Fehlen diese Daten, so modelliert das Überwachungsgerät die Zahnreihen nach Standardangaben und passt sie entsprechend der überlagerten Gesichtspartie an (Abbildung 2.14). Der Import externer Daten setzt voraus, dass die Nutzer eindeutig identifiziert werden. Dies geschieht über Bildverarbeitungsalgorithmen zur Gesichtserkennung oder durch eine optionale Eingabe. Hilfreich können solche anatomischen Details im Anzeigebild auch bei zu erzeugenden Instruktionen wie speziellen Reinigungsanweisungen für Zahnbrücken sein.

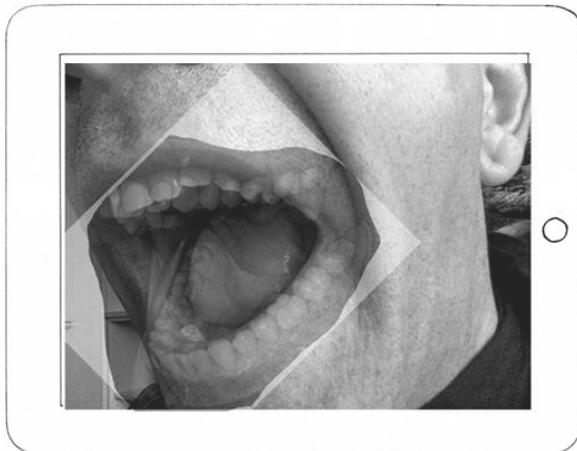


Abbildung 2.14: Halbtransparente Darstellung des Gesichts mit Kiefer

Gespeichert werden die Daten in einem Profilverzeichnis des Anwenders. Dort werden sie zusammen mit den Sensordaten und den berechneten Auswertungsergebnissen sowie den Videoaufnahmen gesichert. Für Forschungsvorhaben können nachträglich genauere Analysen erstellt werden oder das Überwachungsgerät sucht nach gemeinsamen Mustern der bisher vollführten Zahnpflegesitzungen, um in zukünftigen Zahnpflegevorgängen des Benutzers die Auswertungsqualität zu erhöhen und ihn effizienter anzuweisen.

In der häuslichen Zahnpflege unterstützt das Überwachungsgerät den Anwender bei der Ausführung einer vollständigen und zugleich schonenden Zahnpflege. Zum Erlernen einer favorisierten Bürstechnik wie nach Fones oder Bass ([Fon21], [Bas54]) gibt das Gerät Anweisungen bzw. Korrekturanweisungen aus. Mit einem wachsenden Benutzerprofil steigert es zunehmend die Auswertungsgenauigkeit, in dem es die individuellen Bewegungsabläufe des Anwenders kennenzulernen. In der Forschung bietet das Überwachungsgerät die Möglichkeit, zusätzlich zur Videoaufnahme die Sensordaten rechnerunterstützt auszuwerten. Somit eröffnet es den Weg, Studien mit hoher Probandenanzahl durchzuführen. Zahnpflegesitzungen ausgewählte Zahnpflegevorgänge zu untersuchen und dem Patienten noch genauer Hilfestellung für zukünftiges Zahnpflegen zu geben. Hinsichtlich einer neuen Bürstechnik unterstützt es den Patienten mit einer effizienten Einweisung. Als Basisgerät für ein Anzeigegerät mit Frontkamera und

Digitalrechner kann auch ein handelsüblicher Tablet-PC, ein Notebook oder ein Smartphone dienen.

2.5 Einweisung in elementare Bürstbewegungen

Die Interpretation von Zahnpulpa-techniken stellt den Anwender vor große Herausforderungen. Dabei können kleine Abweichungen von der Sollbewegung zu Verletzungen des Zahnfleischs, zu Reizungen oder nicht ausreichendem Putzerfolg führen.

Im folgendem Lösungsvorschlag [Dei+15b] werden elementare Grundbewegungen beim Zähnebürsten, sogenannte “Primitives”, definiert und von einer Vorrichtung unter Heranziehung charakteristischer Messwerte erkannt und in Qualitätsabstufungen eingeteilt. Moderne Bürsttechniken werden anschließend unter Verwendung dieser Bewegungsformen gelehrt.

Die Vorrichtung besteht aus einem manuell oder elektrisch betriebenem und mit Sensoren für Beschleunigung und Druck ausgestattetem Reinigungsgerät für die Mundraumhygiene, beispielsweise in Form einer Zahnbürste, sowie einer drahtlos verbundenen Anzeigeeinheit, denkbar in Form eines handelsüblichen handlichen Telekommunikationsgerätes. Aus den übertragenen Sensordaten berechnet die Anzeigeeinheit laufend die Bewegungsform des aktuellen Reinigungsvorgangs und gibt dem Anwender Anleitung, wie die Geräteführung unter Aspekten wie schonendem Bürsten der Zahnoberflächen, Massage des Zahnfleischs, Bürsten der Zahnzwischenräume und Lösen von Speiseresten verbessert werden kann.

Mit der Identifikation und Abgrenzung der verschiedenen Bewegungsführungen gelingt es neuen Reinigungsgeräten für die Mundhygiene, spezifische Zielsetzungen bei den Reinigungsvorgängen umzusetzen und kontrolliert im Hinblick auf die medizinische Vorgeschiede und anatomischen Begebenheiten anzuleiten. Damit unterstützen sie einen gewünschten Heilungsvorgang und sorgen mit einer umfassenden Zahncleaning für anhaltende Gesundheit des Benutzers.

2.5.1 Problematik der Bewegungsdetektion bei aktuell verfügbaren Geräten

Eine gründliche Zahnreinigung erfordert nicht nur diszipliniertes Abarbeiten aller Zahnoberflächen. Verschiedene Verschmutzungsarten bedingen ein sehr spezielles, darauf abgerichtetes Führen der Zahnbürste. Beispielsweise kann Schruppen kaum Speisereste zwischen den Zähnen entfernen. Auch führt diese Bewegungsform bei eifriger Anwendung am Zahnfleisch zu Läsionen. Anstatt es sanft zu massieren und seine Durchblutung anzuregen, führt es zur Rückbildung des Zahnfleisches. Die oben genannte Vorrichtung beschreibt elementare Bewegungsformen mit der Zahnbürste, deren Zweck die Behandlung spezifischer Verunreinigungen oder Missstände im Mundbereich darstellen.

In [YC07] wird eine Zahnbürste mit Mehrachsenbeschleunigungs-, Dehnungs- und Rotationsmessern beschrieben, die es erlauben soll, die Zahnpflege- und Putztechnik eines Benutzers präzise zu evaluieren. Es fehlt jedoch eine genaue Darstellung der Zahnbürstentechnik bzw. der Bewegungsformen, verbunden mit Angaben, wie die Sensordaten für die Evaluierung der Putzqualität aufzubereiten bzw. die Sensoren entsprechend zu beschalten sind. Auch lässt die Formulierung der Patentansprüche einen Hinweis auf die Analyse der Bewegungsabläufe vermissen.

In [ST02] werden mehrere Positionssensoren verwendet, um den Zahnpflegeort sehr präzise anzugeben. Allerdings lässt die Patentschrift offen, wie Bewegungsabläufe korrekt identifiziert werden, und sie äußert sich nicht zur Darstellung von Informationen, Korrekturanweisungen und Putzfortschritten. Ebenso fehlt die Angabe, mit welchen Mitteln dem Benutzer zur Verbesserung seiner Bürstbewegungen verholfen werden kann.

Für die Unterweisung in Bürsttechniken wie die nach Fones, Stillmann oder Bass ([Rev96], [MB+11], [Fon21], [Bas54], [Sch+10]) gibt es noch keine elektronische Unterstützung, die den Anwender während eines Putzvorgangs gezielt eine Bewegungsform lehrt. Nur durch Befolgen während des Putzvorgangs laufend erteilter Hinweise und Korrekturanweisungen werden das Zahnfleisch in richtiger Weise massiert, alle Zahnoberflächen vollständig und schonend von Zahnbefrag befreit sowie Zahnzwischenräume gereinigt.

2.5.2 Technische Lösung

Die Aufgabe besteht darin, eine Vorrichtung und ein Verfahren bereitzustellen, das die aktuelle Bewegung beim Zahnbürsten erkennt und den Anwender in elementare Bewegungsformen zur Führung der Zahnbürste einweist, ihn dabei kontrolliert und ihn bei seinen Bürstvorgängen korrigierend unterstützt mit dem Ziel, spezifische Verunreinigungen im Mundbereich zu entfernen bzw. dort bestehende gesundheitliche Missstände zu behandeln.

Eine wie in [Dei+11b] oder [Dei+14c] beschrieben mit Beschleunigungssensoren und einem Sensor für Anpressdruck ausgestattete Zahnbürste wird mit einer Anzeigeeinheit kombiniert (Abbildung 2.1), um dem Anwender umfassende Rückmeldungen zu seinem Zahnpflegevorgang geben zu können. Die Anzeigeeinheit kann die aus [Dei+13] bekannten Eigenschaften aufweisen. Der Anwender soll in elementare Bewegungsformen eingewiesen werden, die kombiniert wichtige Bürsttechniken wie die nach Fones, Stillmann, Bass oder neu entwickelte ergeben. Voraussetzung hierfür ist ein Verfahren, das es erlaubt, die vom Anwender ausgeführten Bewegungsformen zu erkennen und unter Mitteilung von Korrekturanweisungen in eine Idealbewegung zu überführen. Als Grundlage hierfür gelten die im Folgenden aufgeführten Bewegungsformen mit auf Sensorwerte abgebildeten Repräsentationen.

Die Bewegungsform (horizontales) "Schruppen" kann durch von Beschleunigungssensoren gelieferte Messwerte nachgewiesen werden. Die Bewegung vollzieht sich entlang der Längsachse der Zahnbürste. Ein streng nach den Koordinatenachsen ausgerichteter eingebauter Beschleunigungssensor (Abbildung 2.3) liefert hohe Werte der Achsbeschleunigung entlang der Längsrichtung der Zahnbürste. Die Achsbeschleunigungen in den beiden anderen Richtungen bleiben ebenso wie die drei Winkelbeschleunigungen niedrig.

Bei der Bewegungsform "kreisend klein" wird die Zahnbürste mit konstant geringem Anpressdruck der Borsten über die Zahnoberflächen gestrichen, wobei die obere und untere Zahnränge getrennt voneinander gebürstet werden. Der Durchmesser des beschriebenen Kreises beträgt nur die Länge einer Zahnoberfläche, weshalb die Zahnbürstenführung im Gegensatz zur Bewegung "kreisend groß" drei deutlich wahrnehmbare Achsbeschleunigungen hervorruft. Mit dem geringen aufgewendeten Anpressdruck der Borsten wird das Zahnfleisch nicht belastet, falls die Borsten darüber streichen. Das mit der Bewegungsform "kreisend klein" primär verfolgte Ziel ist, Zahnbefall

schonend zu entfernen. Charakteristisch für diese Bewegung ist das Fehlen hoher Maximalwerte aller drei Achsbeschleunigungen. Gleichzeitig darf nur ein niedriger Anpressdruck der Borsten auf die Zahnoberfläche ausgeübt werden, der mit einem am Hals der Zahnbürste angebrachten Dehnungsmessstreifensor gemessen wird. Die drei Achsbeschleunigungen verlaufen regelmäßig und sinusförmig und sind gegeneinander phasenverschoben. Gleichzeitig treten nur sehr niedrige Maximalwerte der drei Winkelbeschleunigungen auf.

Bei der Bewegungsform “kreisend groß” wird die Zahnbürste mit konstant geringem Anpressdruck der Borsten mittels langsamen großen Kreisens über die fest aufeinander gepressten Zahnräihen des Ober- und Unterkiefers gestrichen. Der Durchmesser des beschriebenen Kreises beträgt die doppelte Länge einer Zahnoberfläche, weshalb die Bewegung relativ langsam durchgeführt wird und im Gegensatz zur Bewegungsform “kreisend klein” fast nur vernachlässigbare Achsbeschleunigungen auftreten. Mit dem geringen aufgewendeten Anpressdruck der Borsten wird das Zahnfleisch nicht belastet, falls die Borsten darüber streichen. Das mit der Bewegungsform “kreisend groß” primär verfolgte Ziel ist, Zahnbefall schonend zu entfernen. Kennzeichnend für diese Bewegung ist das Fehlen charakteristischer Amplitudenwerte sowohl bei allen drei Graphen der Achs- als auch der Graphen der Winkelbeschleunigungen. Gleichzeitig darf mit den Borsten nur ein niedriger Anpressdruck auf die Zahnoberfläche ausgeübt werden, der mit einem Dehnungsmessstreifensor am Hals der Zahnbürste gemessen wird.

Die Bewegungsform “Klopfen” zeichnet sich durch kurzes Tippen der Borstenspitzen auf die Zahnoberfläche aus. Die entlang der Borsten der Zahnbürste verlaufende Achsbeschleunigung weist sehr hohe und sehr schnell ansteigende und wieder abfallende Maximalwerte auf. Nach jedem Ausschlag tritt eine kurze, der Mechanik der Hand geschuldeten Pause ein.

Zwar sind Zwischenzahnreinigungen mit speziellen Interdentalbürsten möglich, jedoch existiert auch für normale manuelle Zahnbürsten die Bewegungsform “Her-auswischen”, mit der die Räume zwischen den Zähnen gereinigt werden können. Wenn mit dem Handgelenk eine kräftige Drehbewegung mit gleichzeitig starkem Anpressdruck vollführt wird, reichen die Borsten in den Interdentalbereich hinein und fegen Speisereste hinaus. Diese Drehbewegung sollte von außen und von innen durchgeführt werden und wird von einem Gyroskop erfasst. Sie tritt senkrecht zur Längsachse der Zahnbürste auf, wobei sich der Anpressdruck von einem sehr hohen

Wert bis nahezu null schnell verringert. Spontan hohe Maximalwerte der Winkelbeschleunigung und stark abfallender Anpressdruck charakterisieren die auftretenden Sensorwerte dieser elementaren Bewegungsform.

Bei der Bewegungsform "Rütteln" verharrt die Zahnbürste an einer Stelle und dreht kleine Kreise, sodass sich nur der Auftreffwinkel der Borsten auf die Zahnoberfläche verändert. Die drei Achsbeschleunigungen verlaufen gegeneinander phasenverschoben und wegen des Schwingens auf der Stelle und der von der Handgeometrie bedingten Bewegung sinusförmig. Sie sind von mittlerer Stärke. Ebenso verharrt der Druck am Hals der Zahnbürste auf konstant mittlerer Stärke.

Die Bewegungsform "vertikal Bürsten" zeichnet sich durch senkrechttes Schrappen aus (von "rot" nach "rot"). Die mit konstantem Druck angepresste Zahnbürste bewegt sich dabei mit senkrecht stehenden Borsten von der Zahnoberfläche zum Zahnfleisch. Nur die Achsbeschleunigung und die dazugehörige Winkelbeschleunigung senkrecht zur Längsachse der Zahnbürste und senkrecht zu den Borsten nehmen im Zuge ihrer sinusförmigen Verläufe hohe Werte an. Die Bewegung kann unter u.U. auch über zwei Zahnräihen hinweg erfolgen.

Abweichungen bei einer tatsächlich durchgeführten Bürstbewegung gemessener Werte von oben beschriebenen Eigenschaften werden in gewichtete oder gleich große Abstände eingeteilt und dem Benutzer in Form einer Note oder einer Prozentangabe mitgeteilt. In Verbindung mit auf der Anzeigeeinheit ausgegebenen Korrekturanweisungen ist es einem kundigen Anwender somit möglich, die Qualität seiner antrainierten Bürstbewegungen auf hohem Niveau zu halten, und ein Anfänger ist in der Lage, einen Anlernprozess zu durchlaufen, an dessen Ende die Anwendung korrekt durchgeführter Bürsttechniken steht.

In Echtzeit durchgeführte Datenanalyse gestattet es der Vorrichtung, dem Benutzer Rückmeldungen über die angewendete Bewegungsform zu geben. Moderne Bürsttechniken wie die nach Bass, Fones oder Stillmann ([Rev96], [MB+11], [Fon21], [Bas54]) leiten sich aus elementaren Bewegungsformen ab und kombinieren diese im Hinblick auf ein zu erzielendes Ergebnis.

Hinsichtlich der gemessenen Bewegungsformen lässt sich parallel zur Datenaufnahme auch der Bürstort annähernd berechnen, denn durch Überlagerung aller Beschleuni-

gungswerte mit der Erdbeschleunigung kann abhängig von der Lage der Zahnbürste auf den Bürstort geschlossen werden.

Eine auf Redundanz basierende Analyse des Bürstortes und der angewendeten Bewegungsformen, beispielsweise mittels Vergleich der Beschleunigungswerte und Auswertung der Änderungen in den von der Anzeigeeinheit aufgenommenen Bildfolgen, erlaubt eine genauere Bestimmung der tatsächlich vollführten Vorgänge.

Das Bürsten der Frontzähne wird zusätzlich durch eine optische Auswertung unterstützt. Die in der Anzeigeeinheit verfügbare Bildfolge wird nach den optischen Merkmalen der Zahnbürste durchsucht. Nach Erkennung ihrer geometrischen Form wird eine Bewegung dem Profil der bekannten Bewegungsformen zugerechnet. Auch hier können vorab Referenzmessungen durchgeführt werden, die gewichtete Abweichungen bewerten und so dem Nutzer zu Verbesserungen mittels Korrekturhilfen verhelfen.

Ebenfalls durch Auswertung der einzelnen Bildrahmen werden markante Punkte des Gesichtes vermessen und mit gespeicherten Merkmalen verglichen. Aufgrund eines erfolgreichen Vergleichs können die Identität eines Nutzers bestimmt und alle folgenden Messwerte dem richtigen Profil zugeordnet werden.

Weiterhin wird auf demselben Wege die Mimik der identifizierten Person erkannt und über eine Emotionseinstufung kann die Wort- und Bildsprache der Kommunikation mit dem Nutzer angepasst werden. So ist es beispielsweise möglich, bei einem angespannten Gesichtsausdruck mehr Lob in die Kommunikation einzubringen. Sollte der Anwender entspannt sein, so kann über freundliche Aufmunterung die Qualität der Bürstbewegungen verbessert werden.

Mit den beschriebenen Maßnahmen zur Auswertung und Erkennung von Bewegungsformen werden für genauere Analysen historische Bürstverläufe untersucht, die im Profilverzeichnis des Anwenders gespeichert sind. Ergebnisse können Aufschluss darüber geben, unter welchen Umständen die Qualität der Bewegungsformen gelitten hat. Sollte die Einhaltung der Qualität beispielsweise an manchen Wochentagen besonders erschwert sein, so können die Kommunikationsmittel entsprechend angepasst werden.

Ausführungsbeispiele und erreichte Vorteile

In der häuslichen Zahnpflege lässt sich die Vorrichtung in einem Modus betreiben, in dem für verschiedene Hygieneanforderungen des Mundraums die entsprechenden elementaren Bewegungsformen ausgewählt bzw. kombiniert und auf diese Weise dem Benutzer eine komplette Hygienemaßnahme gelehrt werden. Spezielle Anpassungen, beispielsweise während des Zeitraums einer Zahnbehandlung, lassen sich der Hilfestellung einer Fachkraft folgend auswählen und aktivieren.

Mit der Vorrichtung besitzt der Anwender Kontrolle über seine Durchführung der grundlegenden Zahnbürstenführung und wird selbst bei fast korrekter Anwendung darüber informiert, wie die Qualität der Bewegung noch verbessert werden kann. Damit lässt sich ein allmähliches Degenerieren der Bürstbewegung verhindern und die Mundraumhygiene wird aus dieser Perspektive erheblich unterstützt.

Sind in der manuellen Zahnbürste als Zusatzausstattung nur Sensoren neben den Borsten vorhanden, so muss der Nutzer bei Befolgen der ausgegebenen Anweisungen manuell durch entsprechende Bewegungsführungen die anvisierte Wirkung herbeiführen. In den nachfolgend beschriebenen technischen Lösungen wird der Nutzer durch mechanische Erweiterungen der Zahnbürste in Verbindung mit rechnerunterstützten Akten bei der gewünschten Hygienewirkung kräftig unterstützt.

2.6 Zahnreinigungsgerät mit Flüssigkeit liefernden Borsten

Mundspülungen zur Unterstützung der Zahnreinigung haben eine sehr hohe Bedeutung. Sie wirken antiseptisch und beruhigen das Zahnfleisch. Ebenso sorgen sie mit einem Fluoridanteil für die Zahngesundheit. Dazu ist es allerdings notwendig, dass ein Behälter mit der Flüssigkeit ständig mitgeführt wird.

In der jetzt beschriebenen technischen Lösung ([DHP15b]) wird während des Zahnputzvorgangs Mundspülflüssigkeit zugeführt und bei genügend hoher Austrittgeschwindigkeit damit auch die Reinigung unterstützt:

Zahnreinigungen sind fehlerhaft, wenn es bei Anwendung einer Reinigungstechnik nur unzureichend gelingt, Zahnbelaäge zu entfernen und/oder wenn Läsionen und Defekte induziert werden. Dies verursacht Krankheiten im Mundraum und erhebliche Kosten. Neben Zahnoberflächen müssen für eine korrekte Mundraumhygiene auch Zahnzwischenräume und Zahnfleischtaschen gereinigt werden. Die üblichen Werkzeuge bzw. Mittel dafür sind Zahnbürste, Interdentalbürste, Zahnseide und Mundwasser.

Das vorgeschlagene Gerät zur Zahnreinigung und Mundraumhygiene verbindet die Vorteile einer herkömmlichen elektrischen oder manuellen Zahnbürste mit einer Technik, die es erlaubt, Flüssigkeitströpfchen mit hoher Geschwindigkeit auf die Zahnreihen zu schießen. Ein in kleinen Abständen wiederholter Beschuss ermöglicht zusätzlich zum Schruppen der Zahnoberflächen eine Reinigung von Zahnzwischenräumen sowie der Zahnfleischtaschen und unterstützt den Bürstvorgang mit einer Flüssigkeit, die die Eigenschaften eines Mundwassers aufweist.

2.6.1 Probleme der alternativen Zahnbürstentechnik

Um Zahnbelaäge zu entfernen, ist das mechanische Schruppen der Zahnoberflächen eine valide Lösung. Für die Reinigung der Zahnzwischenräume muss der Anwender auf Interdentalbürsten umsteigen. Möchte er zusätzlich die Zahnfleischtaschen von Verschmutzungen befreien, so wendet er Zahnseide an. Mundduschen helfen ihm bei Hygienemaßnahmen für seinen Mundraum. Um seiner Pflicht zur optimalen Pflege seines Mundraums nachzukommen, muss er diese Geräte stets für die Pflege untertags bereit halten, da noch kein Reinigungsgerät zur Verfügung steht, welches die beschriebenen Pflegevorgänge in einem Gerät zusammenfasst.

Elektrisch angetriebene Ultraschallzahnbürsten sind für die Entfernung der Zahnbelaäge technisch ausgereift. Interdentalzahnbürsten können sie jedoch nicht ersetzen.

Mundduschen wiederum können hartnäckigen Zahnbefestigung nicht entfernen, sind aber für die Mundraumhygiene wichtig.

In [GM90] werden hohle Borsten verwendet, um Zahnpflegemittel oder Medikamente in den Mundraum zu transportieren. Die beschriebene Konstruktion ist allerdings nicht in der Lage, einer Flüssigkeit die notwendige Austrittsgeschwindigkeit zu verleihen, um Verschmutzungen zwischen den Zähnen zu beseitigen, da sie lediglich Kapillar- oder Zentrifugalkräfte für den Transport der Flüssigkeiten ausnutzt.

[Lai03] beschreibt das Sprühen von Flüssigkeitsstrahlen aus dem Kopf der Zahnbürste. Allerdings werden hierfür nicht hohle Borsten verwendet, sondern besondere Öffnungen im Gehäuse der Zahnbürste. Auch ist die Abschussvorrichtung nicht geeignet, um hohe Drücke aufzubauen.

In [Göt99] wird ebenfalls eine elektrische Zahnbürste mit der Funktion einer Munddusche verknüpft. Flüssigkeitsstrahlen treten aus dem Kopf der Zahnbürste über Öffnungen aus. Auch hier reicht der im Griffstück produzierte Pumpendruck nicht aus, um Zahnzwischenräume zu reinigen.

Das Mitführen mehrerer Geräte für die Zahnpflege ist nicht nur lästig für den Anwender, sondern führt auch dazu, dass bei Fehlen der Utensilien oder des benötigten Zubehörs der Zahnpflegevorgang nicht vollständig abgeschlossen werden kann. Geräte, die die Funktionen in sich vereinigen, sind am Markt noch nicht verfügbar.

2.6.2 Technische Lösung

Die Aufgabe besteht darin, ein Gerät mit dem Funktionsspektrum von Zahnbürste, Interdentalzahnbürste, Munddusche und Zahnpflege zu entwickeln, um dem Nutzer die Möglichkeit zu bieten, seine Mundraumhygiene an beliebigen Orten und zu jeder Zeit durchzuführen.

Das Zahnpflegegerät ist in der Form einer Zahnbürste ähnlich und besitzt am Kopf mehrere hohle Borsten, welche über ein Leitungsnetz mit einem Flüssigkeitsbehälter im Griffstück des Geräts verbunden sind.

Jeder Borste ist im Kopf eine Abschussvorrichtung (Abbildung 2.15) zugeordnet. Dabei handelt es sich um kleine Behälter, die über einen Piezokristall mit dem Zuleitungssystem verbunden sind. Wird der Piezokristall unter Spannung gesetzt, verringert sich das Volumen des abgetrennten Raums sprunghaft, was einen explosionsartigen Druckanstieg zur Folge hat.

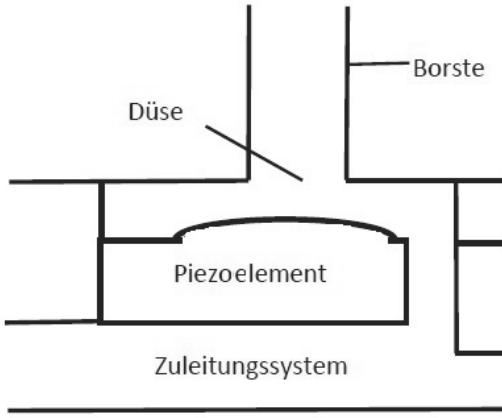


Abbildung 2.15: Abschussvorrichtung

Die Borsten sind ständig mit Flüssigkeit gefüllt. Damit verlässt nach dem Druckanstieg ein Tröpfchen die obere Austrittsöffnung der Borste und trifft mit hoher Geschwindigkeit auf den Zahn (Abbildung 2.16). Auf diese Weise lassen sich die entfernter liegenden Zahnzwischenräume gründlich und schonend reinigen. Als Flüssigkeit werden herkömmliche Mundduschen verwendet. Unter Veränderung der Viskosität kann die Reinigungswirkung optimiert werden. Im Griffstück des Gerätes sind eine Energieeinheit und elektronische Schaltkreise vorhanden, um die Abschussvorrichtungen zu steuern.

Mit dem fortlaufenden Abschießen der Tröpfchen und einer ständig wechselnden Ausrichtung des Bürstenkopfes im Mund werden Speisereste von verschiedenen Seiten beschossen und hinweggeschwemmt. Ebenso können durch geschickte Ausrichtung der Borsten am Zahnfleischrand die Zahnfleischtaschen gereinigt werden, womit das Gerät auch das Funktionsspektrum der Zahnseide übernimmt.

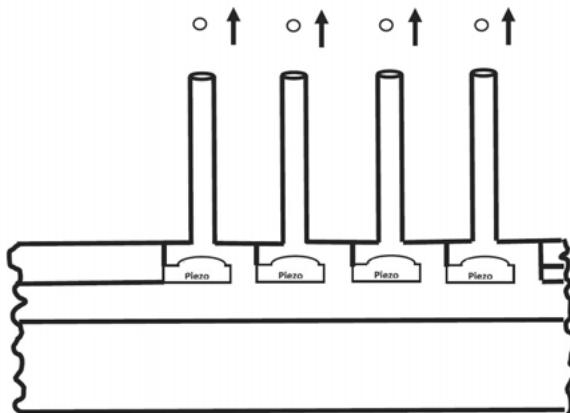


Abbildung 2.16: Zahnreinigungsgerät mit Flüssigkeit liefernden Borsten

Mit der gleichzeitigen Aktivität aller Borsten erniedrigt sich der Zeitaufwand für die Gesamtreinigung erheblich. Das winzige Volumen der Tröpfchen verhindert Verletzungen des Zahnfleisches oder des Zahnschmelzes.

In der häuslichen Zahnpflege können die Energieeinheit und der Flüssigkeitsbehälter wegen der stationären Anwendung größer dimensioniert werden. Dahingehend werden im mobilen Gebrauch diese zwei Einheiten mit weniger Gewicht und weniger Volumen ausgestaltet, damit das Zahnreinigungsgerät beim Aufbewahren in Jacken oder Taschen die Mobilität nicht beeinträchtigt.

2.7 Zahnreinigung mittels Beschuss von Tröpfchen

Die eingelassenen Borsten in der Zahnbürste werden für die Entfernung des Zahnbelaags auf den Zahnoberflächen benötigt. Es treten jedoch auch Gefahren beim mechanischen Schruppen auf: Bei unsachgemäßer Handhabung, beispielsweise bei zu hohem Anpressdruck, drohen Abrieb des Zahnschmelzes oder Verletzungen des Zahnfleisches. Eine neue Technologie könnte hier Abhilfe schaffen.

Die vorgeschlagene Lösung, aus Patentschrift [DHP15a], implementiert eine alternative Konstruktion, in der keine Borsten mehr benötigt werden. Trotzdem gelingt es dem Gerät, Speisereste und Zahnbelag zu entfernen. Damit ist es optimal für den mobilen Einsatz geeignet.

Das Gerät besitzt am Kopf viele, mit unterschiedlichen Winkeln ausgestaltete Austrittsöffnungen, aus denen während des Reinigungsvorgangs Tröpfchen schießen und damit Zahnzwischenräume, Zahnoberflächen und durch die unterschiedlichen Flugrichtungen auch Zahnfleischtaschen von Verschmutzungen befreien. Bei Verwendung von Flüssigkeiten mit kleinen Partikeln wird auch hartnäckiger Zahnbelag entfernt.

2.7.1 Probleme der aktuell verfügbaren borstenlosen Zahnbürstentechnik

Zahnbürsten besitzen zweifellos Vorteile beim Schruppen von Zahnoberflächen. Zwischenräume werden mit Interdentalbürsten gereinigt und Verschmutzungen, die knapp unter das Zahnfleisch gelangen, werden mit Zahnsseide entfernt. Der Mundraum wird schließlich mit Anwendung einer Munddusche gepflegt. Allerdings ist noch kein Gerät bekannt, das alle hier genannten Verschmutzungsarten entfernt.

Moderne elektrische Zahnbürsten bieten viele Eigenschaften für eine gründliche Reinigung. Mit automatischer Rückmeldung über den Anpressdruck und Ultraschall sollen die Zahnoberflächen nicht nur gründlich, sondern auch schonend gereinigt werden. Für die Zahnzwischenräume und für die Zahnfleischtaschen müssen allerdings andere Geräte bemüht werden.

In Zahnarztpraxen werden bei der Prophylaxe Pulver-Luft-Strahlgeräte verwendet, welche wahlweise im abrasiven oder nicht-abrasiven Modus Fissuren vor der Versiegelung von Verfärbungen, Belägen, alten Versiegelungen und Schmelzkaries schonend befreien. Ein weiteres Einsatzgebiet für sie ist die Parodontaltherapie zur schonenden Entfernung von Belägen und Biofilm. Diese Geräte mit ihren vielen Einstellmöglichkeiten dürfen jedoch nur von qualifiziertem Personal bedient werden und sind für den

Privatgebrauch nicht geeignet. Sie ähneln in ihrer Funktionsweise den in Baumärkten verfügbaren Sandstrahlern.

Auftretende Verschmutzungen zwischen Zahnfleisch und Zahn werden bestenfalls unter Verwendung von Zahndeide beseitigt. Andere Geräte für diesen Anwendungsfall sind nicht bekannt. In einer halbjährlichen Prophylaxebehandlung wird schließlich beim Zahnarzt untersucht, ob trotz gründlicher und regelmäßiger Pflege noch Reizungen des Zahnfleisches oder andere Missstände vorliegen. Die professionelle Zahnreinigung kann jedoch kaum in Eigenregie umgesetzt werden.

Obwohl die Vorteile der kombinierten Reinigungswerzeuge durchaus bekannt sind, fehlt es in weiten Teilen der Bevölkerung an Willen, die getrennten Putzvorgänge akribisch zu vollführen. Stattdessen erwägen viele Menschen, sei es aus Zeitmangel oder aus Gründen der Bequemlichkeit, oft zwei Geräte bei der schnellen Zahnreinigung untertags wegzulassen oder sogar ganz darauf zu verzichten. Auch stellt das ständige Mitführen der Kleinwerkzeuge eine logistische Herausforderung dar: Zahndeide geht aus, Interdentalbürsten brechen schnell ab und müssen ersetzt werden oder Mundduschen müssen neu beschafft werden. Bei mehreren Bürstvorgängen am Tag mit unsachgemäßer Handhabung, beispielsweise mit zu hohem Anpressdruck, kann das Zahnfleisch gereizt oder sogar lädiert werden.

[Bry+05] beschreibt eine portable Munddusche mit Flüssigkeitsbehälter im Griffstück und Zuleitungssystem. Sie besitzt am oberen Ende ebenfalls eine Vielzahl von Düsen, welche mithilfe von Piezoelementen Flüssigkeitsstrahlen abgeben. Die Düsen sind jedoch nicht in unterschiedlichen Winkeln ausgestaltet. Es fehlt ebenso ein Kammsystem, um in Verbindung mit der Piezotechnik die Tröpfchen auf sehr hohe Austrittsgeschwindigkeiten zu beschleunigen. Auch wird nicht erwähnt, dass für die Entfernung von Zahnbefall ein schleifender Effekt, beispielsweise durch Beimengen von Partikeln, benötigt wird.

[DG07] beschreibt eine Munddusche mit Vorratsbehälter im Griffstück und Zuleitungssystem. Auch bei dieser Patentanmeldung wird nur normaler Pumpendruck im Zuleitungssystem erzeugt, welche für eine schleifende Wirkung zur Entfernung von Zahnbefall nicht ausreicht. Außerdem fehlen Angaben zu Viskositätsunterschiede in Flüssigkeiten und zu einer möglichen Partikeldichte, um den Effekt Schleifwirkung gezielt zu steuern.

Gängige Mundduschen und elektrische Zahnbürsten können nur Anforderungen eines Teils der Zahtreinigung erfüllen. Damit Nutzer der Pflicht zur vollständigen Mundraumhygiene nachkommen können, fehlt ihnen ein am Markt verfügbares mobiles System, welches zeit- und ortsunabhängig benutzt werden kann.

2.7.2 Technische Lösung

Das in [DHP15a] beschriebene Gerät ermöglicht dem Anwender, mittels elektrischer Unterstützung die Zahnoberflächen, Zahnzwischenräume und die Zahngrenzflächen gründlich und schonend zu reinigen. Über die Verwendung einer geeigneten Flüssigkeit soll das Zahngrenzflächen bei der Regeneration unterstützt und der Zahnschmelz remineralisiert werden.

Das Gerät schießt aus mehreren Abschussvorrichtungen winzige Tröpfchen auf den Kiefer. Es beschleunigt die Tröpfchen auf hohe Geschwindigkeiten. Um eine gründliche Zahtreinigung zu gewährleisten, weist es nicht nur eine Austrittsstelle auf, sondern ähnlich den Anordnungen in einem Tintenstrahldruckerkopf eine Vielzahl von Düsen (Abbildung 2.17).

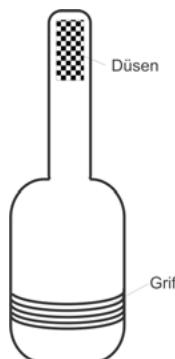


Abbildung 2.17: Vorrichtung zur Zahtreinigung mittels Beschuss von Tröpfchen

Die Abschussvorrichtungen stellen kleine Öffnungen am Kopf des Gerätes dar (Abbildung 2.18). Unter einer solchen Düse liegt ein kleiner Raum, der von einem Piezokristall begrenzt wird. Der Piezokristall trennt den

Kompressionsraum vom Zuleitungssystem, das alle Abschussvorrichtungen mit Flüssigkeit versorgt.

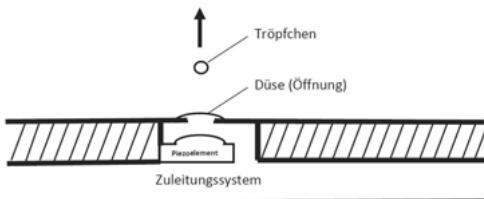


Abbildung 2.18: Abschussvorrichtung

Wird der Piezokristall unter Spannung gesetzt, so verkleinert sich der kleine Raum unter der Düse schlagartig und die Flüssigkeit schießt aus der Düse heraus. Diese trifft auf die Zahnrinne und schwemmt Verschmutzungsteilchen hinweg. Über die Viskosität der Flüssigkeit kann die Reinigungskraft eingestellt werden. Die Flüssigkeit soll die typischen Vorzüge ähnlich der heute verfügbaren Produktreihen von Mundwasser aufweisen.

Die Düsen sind in leicht veränderten Winkeln auf der Oberfläche des Zahnrührungsgeräts angelegt (Abbildung 2.19) und bewirken damit, dass Verschmutzungen von Tröpfchen unter unterschiedlichen Aufprallwinkeln getroffen werden. Durch den massiven Beschuss aus mehreren Richtungen lösen sich Verschmutzungen leichter. Weil ein orthogonaler Auftreffwinkel bei unterschiedlich gelagerten Angriffsflächen als besonders effektiv erachtet wird, werden die Tröpfchen unter variablen Austrittswinkeln abgeschossen (Abbildung 2.19). Ebenso gelangen Tröpfchen knapp unter das Zahnfleisch und reinigen auch diesen Bereich.

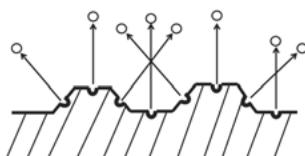


Abbildung 2.19: Abschusswinkel der Tröpfchen

Um die Düsen direkt vor den Zahnrainen positionieren zu können, befinden sie sich am vorderen Ende des Geräts. Im Griffstück (Abbildung 2.17) ist ein Vorratsbehälter eingebaut, der mit Flüssigkeit unterschiedlicher Viskosität oder Partikeldichte

gefüllt sein kann. Der Anwender soll zwischen unterschiedlichen Flüssigkeiten wählen können und damit eine Reinigungswirkung „schonend“ bis „abrasiv“ einstellen. Über das Einmischen von Partikeln, bestehend zum Beispiel aus Salzen, kann eine leicht schleifende Putzwirkung hergestellt werden, die zur Entfernung des Zahnbelaags unbedingt erforderlich ist. Auch können unterschiedliche Korngrößen der Partikel die genannte Wirkung noch feiner steuern.

Im Griffstück des Geräts befinden sich neben den Vorratsbehältern für die Flüssigkeit (Abbildung 2.20), welche das Zuleitungssystem ständig mit Flüssigkeit versorgen, auch Akkumulator/Batterie und elektronische Schaltkreise zur Ansteuerung der Piezokristalle. Alternativ kann der Vorratsbehälter geteilt werden, um Flüssigkeiten unterschiedlicher Konsistenz bzw. Partikeldichte zu speichern. Durch manuelles Umschalten zwischen den Tanks oder durch Anwendung eines Mischventils erzielt der Anwender je nach Bedarf die gewünschte Reinigungswirkung.

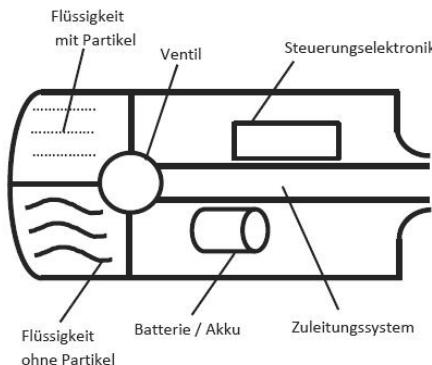


Abbildung 2.20: Vorratsbehälter mit Mischdüse

Der Austausch des gesamten Vorratsbehälters führt zur Wahl gewünschter Reinigungsmodi, die in Abhängigkeit der anvisierten Wirkung und der Materialien des Zahnersatzes noch ein größeres Anwendungsspektrum für den Benutzer offerieren. Auf diese Weise können auch der schnelle Reinigungsvorgang während des Tages schonend und die abendliche Reinigung auf der anderen Seite besonders gründlich gestaltet werden. Wahlmöglichkeiten können sein: Partikeldichte, Partikelmaterial, Flüssigkeit und Viskosität.

Ausführungsbeispiele und erreichte Vorteile

In einer mobilen Version wird auf Gewichtersparnis viel Wert gelegt, damit sich das Mitführen des Geräts nicht belastend auswirkt. Die stationäre Version für die häusliche Zahnpflege kann daher mit größeren Behältern und einer stärkeren Energieeinheit ausgestattet sein. Mit dem Wegfall der mechanischen Komponenten bei der Zahnreinigung und dem Einstellen der Flüssigkeit im Hinblick auf optimale Putzwirkung ermöglicht die oben beschriebene Vorrichtung dem Nutzer, das vollständige Spektrum an Pflegemaßnahmen für die Mundraumhygiene anzuwenden. Die damit verbundene Zeitersparnis begünstigt die notwendigen Reinigungsvorgänge auch während des Tages. Eine übermäßige Reizung des Zahnfleisches und eine Verletzung des Zahnschmelzes sind mit dem Gerät auch bei wiederholter Anwendung durch korrekte Dosierung der Flüssigkeiten nicht zu befürchten.

2.8 Zahnreinigungsgerät mit ausfahrbaren Borsten

Um Zahnzwischenräume zu reinigen, muss separates Gerät wie Interdentalbürsten mitgeführt werden. Wünschenswert wäre es, dass innerhalb von Zahnpflegevorgängen auch die Zahnzwischenräume gereinigt würden.

In der nachfolgend beschriebenen technischen Lösung ([DHP15c]) geht die Informationsverarbeitung einher mit einer konstruktiven Erweiterung der traditionellen Zahnbürste. Sie könnte auch als Vorstufe für den Einsatz von Robotern in der Zahnpflege gesehen werden. Das Gerät soll den Menschen helfen, mit wesentlich weniger Aufwand die notwendige Zahnreinigung gründlich und schnell auszuführen. Eine Zahnbürste, die die Borsten je nach Örtlichkeit mit dem passenden Hub ausfährt und damit auch in die Zahnzwischenräume gelangt und dort auch orthogonal durch Fortsätze reinigt, behebt den Nachteil einer fehlenden Interdentalbürste. Das Gerät misst ständig den Abstand zur Kieferoberfläche und steuert mit den gewonnenen Daten die Hubbewegung jeder einzelnen ausfahrenden Borste.

2.8.1 Probleme interdentaler Zahnreinigungssysteme

Viele Menschen erwägen, sei es aus Zeitmangel oder aus Gründen der Bequemlichkeit, zwei der Geräte Zahnbürste, Zahnseide und Interdentalbürste bei der Zahnreinigung untertags wegzulassen, oder verzichten sogar ganz auf eine Reinigung. Das ständige Mitführen der Kleinwerkzeuge stellt die Menschen vor logistische Herausforderungen: Interdentalbürsten nutzen sich rasch ab oder Zahnseide geht aus und muss deshalb neu beschafft werden. Hier soll die Erfindung den Menschen helfen, mit wesentlich weniger Aufwand notwendige Zahnreinigungen gründlich und schnell auszuführen. Eine Zahnbürste, die die Borsten beliebig ausfährt und damit auch in die Zahnzwischenräume gelangt, behebt den Nachteil des Fehlens einer Interdentalbürste. Dabei wird der Abstand der Borstenspitze zur Kieferoberfläche ständig gemessen und als Wert der Rechnereinheit zugeführt. Zusätzlich erkennt die Steuerelektronik bei der Hubbewegung eine Gegenkraft, falls die Borste gegen eine Zahnoberfläche trifft, und hält die ausfahrende Borste an.

Während elektrische Zahnbürsten die Zahnoberflächen gründlich und schonend reinigen, konnte das Prinzip noch nicht auf den interdentalen Bereich angewendet werden. Manuelle Reinigung leidet aber an Gründlichkeit, weil jeder Zwischenraum gesondert bearbeitet werden muss. Ebenso muss für die Anwendung von Zahnseide erheblich viel Zeit angesetzt werden.

[Wil03] beschreibt eine in eine elektrisch angetriebene Zahnbürste integrierte Interdentalzahnbürste. Die Borsten werden mithilfe einer Antriebswelle und nicht über Abstoßungskräfte zweier Stäbe oder der Bewegung eines Stabes durch Elektromagnetismus bewegt. Damit ist ein individuelles Ausfahren der Borsten kaum implementierbar. Auch besitzen die Borsten keine Fortsätze für eine orthogonale Reinigung.

In [Jap] wird das Ausfahren der Borsten über ein unterhalb der Borsten gelagertes drehbares Element erreicht. Auch bei dieser Patentanmeldung darf bezweifelt werden, ob die Hubbewegung für den interdentalen Bereich ausreicht und eine Gegenkraft detektiert werden kann, um das Zahnfleisch oder eine Zahnoberfläche vor Einstechen zu schützen.

In [Paf00] wird eine Hubbewegung in den Interdentalbereich über einen an einer Welle befestigten Dorn bewerkstelligt. Auch hier fehlt die individuelle Bewegung

einer einzelnen Borste in Abhängigkeit von der Örtlichkeit sowie die Messung der auftretenden Gegenkraft zum Schutz des Zahnbereichs. Außerdem fehlen Fortsätze an den Borsten für eine orthogonale Reinigung.

2.8.2 Technische Lösung

Aufgabe ist es, ein Gerät zu entwickeln, das die geschilderten Nachteile des Standes der Technik beseitigt und eine umfassende Zahncleaning gewährleistet. Es sollen die Zahnoberflächen sowie die Zahnzwischenräume gereinigt werden. Um nicht nur Zahnoberflächen, sondern auch Zahnzwischenräume reinigen zu können, müssen die Borsten eine variable Länge aufweisen. Sie sollen in den Zwischenraum hinein- und wieder herausfahren.

Eine Borste ist aus einer flexiblen Kunststoffhaut mit kleinen Fortsätzen für die orthogonale Reinigung der Zwischenräume und zwei Stäben im Inneren aufgebaut (Abbildung 2.21). Einer davon ist fest im Untergrund der Zahnbürste verankert. Der andere ist mit der Spitze der Borstenhaut verbunden.

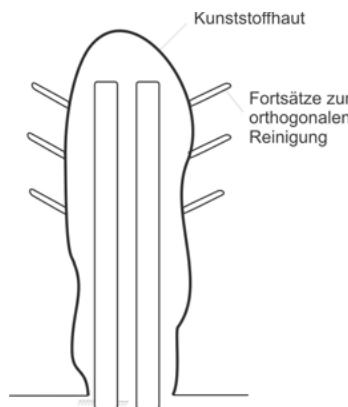


Abbildung 2.21: Innerer Aufbau einer Borste

Um ein teleskopartiges Ausfahren der Borste zu ermöglichen, können folgende Mechanismen angewendet werden:

1. Ein Stab besitzt eine feste Magnetisierung und stellt somit einen Dipol, ähnlich dem eines Stabmagneten, dar. Der andere Stab ist mit dem Bürstenkopf elektrisch verbunden und kann über die elektrische Ansteuerung variabel magnetisiert werden. Bei gleicher Ausrichtung der Ladung bewegt sich der zweite Stab wegen der nun auftretenden Abstoßungskräfte nach oben und gelangt damit mit einer genügenden Ausfahrlänge in den Zahnzwischenraum (Abbildung 2.22).

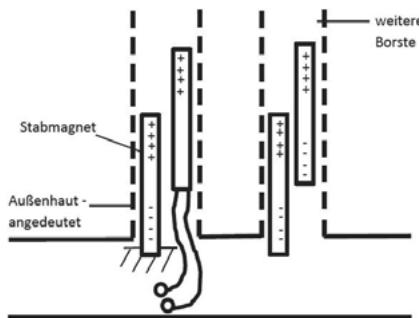


Abbildung 2.22: Teleskopwirkung durch magnetische Abstoßungskräfte

2. In der Borste befindet sich eine magnetische Spule, die über elektrische Kontakte mit dem Bürstenkopf verbunden ist. Wird die Spule unter Strom gesetzt, bewegt sich der darin befindliche Stab gemäß dem Magnetfeld nach oben und verlängert damit die Borste, um in den interdentalen Bereich zu gelangen. Auch in dieser Konstruktion wird die mechanische Struktur mit einer flexiblen Außenhaut gekapselt (Abbildung 2.23).

Die beiden beschriebenen Borsten werden elektrisch gesteuert. Möglich sind gezielte Ausfahrbewegungen oder ständige Schwingbewegungen, sodass der Zahnzwischenraum wiederholt geschrubbt wird. Somit wird auch eine gründliche und schonende Reinigung gewährleistet.

Die Außenhaut der Borste besitzt Fortsätze, die in ihrem Erscheinungsbild den Stacheln eines Kaktus ähneln. Damit kann jede Oberfläche eines Zahnes orthogonal, das heißt unter senkrecht auftretenden Borsten oder Fortsätzen, bearbeitet werden (Abbildung 2.21). Ein bei der Borste befindlicher Abstandssensor unterstützt die Teleskopbewegung der Borste und vermeidet somit ein Einstechen. Zusätzlich

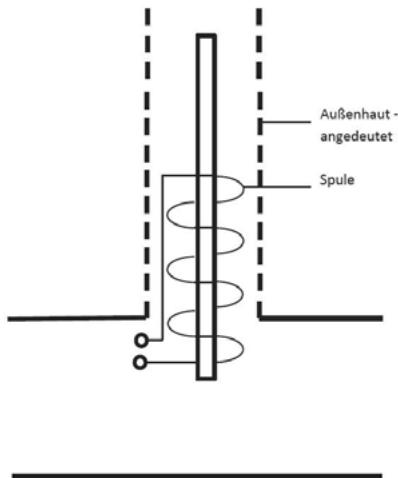


Abbildung 2.23: Teleskopwirkung über Magnetisierung

ist die Spitze der ausfahrbaren Borste aus einem Material beschaffen, das ähnlich den Eigenschaften von Gummi ein Einstechen in das Zahnfleisch bei senkrechtem Auftreffen erschwert. Bei der Hubbewegung jeder einzelnen Borste wird die Gegenkraft von der Steuerelektronik über die Messung der Stromstärke erfasst und veranlasst beim Antreffen der Borstenspitze auf Widerstand das Stoppen der Hubbewegung.

Sensorisch werden die Ausfahrbewegungen erfasst und an einen Rechner in der Zahnbürste gemeldet. Der Rechner ist mit Energieeinheit, Speichereinheit und einer Kommunikationseinheit ausgestattet. Damit ist es ihm möglich, die Ausfahrkräfte und den Hub der ausfahrbaren Borsten zu bestimmen. Die Länge der ausgefahrenen Borste lässt sich über Sensoren genau feststellen. Beispielsweise lässt sich über die Dehnung der Kunststoffhaut deren elektrischer Widerstand beeinflussen, über zwei Kontakte in regelmäßigen Zeitabständen messen und dem Rechner melden. In einer alternativen Ausprägung befindet sich ein Schleifkontakt zwischen den verschiebbaren Stäben, welcher bei Veränderungen der Lage zueinander zu unterschiedlichen Widerstandswerten führt, in der Funktionsweise ähnlich der eines Potentiometers. Auch diese Werte werden laufend an die Rechnerinheit übertragen. Ebenfalls ist es möglich, an einem der beiden Stäbe Markierungen, beispielsweise magnetischer oder optischer Art, anzubringen. Bewegungen des Stabes resultieren in einer von

einem Sensor erfassten Impulsfolge, die der Rechner in Geschwindigkeit und Weg umrechnen kann.

Ausführungsbeispiele

In einer einfacheren Version kann die Kraft für die Hubbewegungen begrenzt sein, damit dem Anwender kein Schaden zugefügt wird. Mit rhythmischen oder oszillierenden Ausfuhrbewegungen reinigt die Zahnbürste die Zahnoberflächen und die Zahnzwischenräume von Zahnbelaug und Speiseresten. Eine mäßig angewandte Kraft und weiche Spitzen der ausfahrbaren Borsten schützen vor Verletzungen.

In einer fortgeschrittenen Ausführung misst der in der Zahnbürste befindliche Rechner laufend den tatsächlichen Hub und die aufgewendete Kraft für jede einzelne ausfahrbare Borste und zielt mit den Informationen auf den Umstand, ob die Borste auf massiven Widerstand der Zahnoberfläche stößt oder ein freies Bewegungsfeld vor sich besitzt. So ist die Zahnbürste in der Lage, abhängig vom Einsatzort jeder einzelnen Borste deren Hubbewegung kontrolliert zu steuern.

Die in den vorangegangenen Erfindungsbeschreibungen angeführten Geräte, Vorrichtungen und Verfahren lassen sich auch auf Anwendungsbereiche außerhalb der Zahnräumigung anwenden. Beispielsweise hilft sie, die Mundhygiene von Betreuten wesentlich zu verbessern oder durch weiterentwickelte Prothesen zu mehr Tragekomfort beizutragen.

2.9 Kombinierte Reinigung von Zähnen und zahnärztlicher Prothesen

Mundhygienemaßnahmen lassen sich für betreute Menschen nur schwer in einer wünschenswerten und befriedigenden Weise umsetzen. In der nachfolgend beschriebenen technischen Lösung aus Patentschrift [Dei+15c] wird die Bürstortanzeige benutzt, um Reinigungsfortschritte von Prothese und natürlichen Zähnen pflegebedürftiger Menschen in der Altenpflege zu dokumentieren. Bei der Vorrichtung handelt es sich um ein medizintechnisches Gerät, das in Pflegeheimen und Krankenhäusern zur Un-

terstützung des Pflegepersonals, aber auch in der häuslichen und mobilen Pflege eingesetzt werden kann. In Massen produziert kann es als Assistenzsystem für selbstbestimmtes Leben im Alter dienen.

Die Mundhygiene in Alters- und Pflegeheimen sowie in Krankenhäusern betreuter Menschen ist oft in sehr schlechtem Zustand. Dies ist dem völlig ungenügenden Zeitbudget geschuldet, das dem Pflegepersonal für die gesamte Morgenroutine zur Verfügung steht. Das Problem wird durch die nicht unbeträchtlichen Rüstzeiten für die Mundhygiene noch verschärft, die das überlastete Pflegepersonal zusätzlich aufzuwenden hätte. Weiterhin fehlen nachvollziehbare Dokumentationen der Maßnahmen zur Mundraumhygiene, sodass diese oft vergessen werden. Direkte Folgen mangelhafter Mundhygiene sind Paradontalerkrankungen und/oder wunder Mundraum (Soor).

Diesem Mangel kann deutlich und dauerhaft begegnet werden, indem die gründliche Reinigung herausnehmbarer Zahnteile innerhalb eines, in einem erfindungsgemäßen, mobilen und mitführbaren Gerät integrierten Reinigungsbehälters parallel zur übrigen Morgentoilette ermöglicht wird. Zur Dokumentation der Reinigungstätigkeit wird eine eindeutige, dauerhafte und maschinell auslesbare Identifikation der Prothesenteile verwendet. Betreuende Pflegekräfte werden bei der – für das Wohl Betreuter dringend erforderlichen – Reinigung des Mundraums einschließlich verbliebener Zähne sowie Entfernung festsitzender Zahnverunreinigungen durch das vom Behälter versorgte und mit Sensoren versehene Handstück des Reinigungsgerätes unterstützt. Weiterhin werden optimale Bewegungsführungen gelehrt. Der gesamte Putzvorgang wird mittels Auswertung und Speicherung der Sensordaten dokumentiert und Betreute werden optisch und akustisch informiert.

2.9.1 Probleme aktuell angewandter Prothesenreinigung

Unter Zahnmedizinern ist bekannt, dass die Mundhygiene in Alters- und Pflegeheimen sowie in Krankenhäusern betreuter Menschen oft sehr schlecht ist: Zwei Drittel und mehr der Patienten haben unzureichend gepflegte Gebisse bzw. Zahnteile ([Jäg+09], [MENGG06], [Glu+10], [Fer+08], [Swe+07]). Dieser Zustand ist dem völlig ungenügenden Zeitansatz für die gesamte Morgenroutine (Waschen, Anziehen und Mundhygiene) geschuldet und wird durch die nicht unbeträchtlichen zusätzli-

chen Rüstzeiten (Herrichten, Spülung, Schale zum Ausspucken, Waschlappen etc.) für die Mundhygiene verschärft.

Direkte Folgen mangelhafter Mundhygiene sind Parodontalerkrankungen und/ oder wunder Mundraum (Soor) mit bis zu handgroßen Entzündungsstellen. Schon deutlich kleinere Entzündungsflächen, beispielsweise durch Wundliegen, werden zu Recht als Indikator für mangelhafte Pflege identifiziert. Eine indirekte Folge einer solchen Entzündungsreaktion kann ein schwierig zu behandelnder Diabetes sein, vor allem weil eine daraus resultierende mangelhafte Kaufunktion die Einhaltung der verordneten Diät unmöglich macht. Üblicherweise verschlechtern Schmerzen im Mundraum die Lebensqualität und den Gesamtzustand. Daraus resultieren als mittelbare Folge häufig Fehl- und Mangelernährung bis hin zur kalorischen Unterernährung.

Der demographische Wandel wird den Zwang zur kosten- und zeitsparenden Pflege verschärfen. Eine weitere Erschwernis besteht in dem schon länger zu beobachtenden Trend, Zähne bis ins höhere Lebensalter zu erhalten. Die Reinigung der natürlichen Zähne und von Teilprothesen gestaltet sich dabei aufwendiger als die von Totalprothesen.

Üblicherweise werden Prothesen in der stationären Pflege manuell mit einer Prothesenbürste gereinigt, die etwas größer als eine Zahnbürste ist. Bei unsachgemäßer Reinigung können die Verankerungselemente, beispielsweise Metallklammern, verbogen oder gar abgebrochen werden. Eine Behandlung mit Reinigungstabletten kann Plaques, bakterieninduzierte Polysaccharide oder Biofilme nicht entfernen. Sie bewirkt bestenfalls eine oberflächliche Reinigung und Desinfektion. Plaques lagern relativ schnell Karbonate ein und sind spätestens nach Bildung von Zahnstein nur professionell im zahntechnischen Labor zu entfernen. Ähnliche Probleme bereiten die vielfach eingesetzten Haftcremes. Prothesenreinigungen im Ultraschallbad befriedigen ebenfalls nicht. Sie können zwar groben Schmutz, beispielsweise Kuchenkrümel, und teilweise anhaftendes Konkrement entfernen, sind aber gegenüber Plaques nur teilweise wirksam. Nach einer Vorreinigung könnten Plaques mithilfe eines enzymatisch wirkenden Reinigers, z.B. während der Schlafenszeit, aufgelöst werden. Solche mehrstufigen und zeitaufwendigen Verfahren kommen aber in der zeit- und kostenoptimierten Pflege nicht in Betracht. Reinigung im Vakuum oder mit Unterdruck ist nicht empfehlenswert, da Prothesenkörper flüssigkeitsgesättigt sind und sich im Vakuum zerlegen würden. (Trocken-) Reinigung mit Putz-

körpern aus Metall oder Keramik, wie sie beispielsweise zum Entgraten oder Polieren in der fertigenden Industrie genutzt wird, scheidet wegen der Gefährdung der bei allen Teilprothesen vorhandenen Verbindungselemente (Metallklammern) ebenfalls aus.

Prothesen werden heutzutage noch nicht eindeutig gekennzeichnet, um sie Trägern zuordnen zu können. Zwar lassen sich Zahnpangen von Kindern mit eingelegten Plättchen, beispielsweise Logos von Automarken oder Fußballvereinen, individualisieren, jedoch haben sich Namens- oder Identifikationsplättchen für Zahnersatz aus folgenden Gründen nicht durchgesetzt. Plättchen lassen sich beim Gießen nicht sicher im Innern einer Prothese fixieren und würden deshalb aus dem Prothesenkörper herausragen oder die Beschriftung wäre nicht lesbar. Fehlende eindeutige Kennzeichnung und damit nicht gegebene Möglichkeiten zur unmittelbaren Zuordnung verbietet aber über hygienische Probleme hinaus die gemeinsame Reinigung der Prothesen mehrerer Patienten, beispielsweise in einer Spülmaschine.

Im Rahmen von Pflegemaßnahmen wird der Mundraum eines Betreuten bestensfalls mit dessen Zahnbürste gereinigt, die ergometrisch zur Bedienung durch einen Dritten eher ungeeignet ist. Ihr Gebrauch induziert Würgereflexe, kann Verletzungen bewirken und bedarf einiger Rüstmaßnahmen wie Bereitstellung von Vor- und Nachspülflüssigkeit, von Ausspuckschale und Waschlappen.

In [Bee+94] werden ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Intensivreinigung von ärztlichen, insbesondere zahnärztlichen Gegenständen beschrieben, die wie bei der gegenständlichen Erfindung mittels Spülflüssigkeit und umliegender Düsen realisiert wird. Es ist jedoch weder die eindeutige Identifizierung der zu reinigenden Gegenstände geregelt, noch verfügt das Gerät über ein Reinigungshandstück für optionale manuelle Reinigung.

2.9.2 Technische Lösung zur verbesserten Mundhygiene von Betreuten

Zwar gibt es Einzellösungen der skizzierten Probleme des schlechten Mundhygienezustandes betreuer alter Menschen, jedoch erfordern die Rahmenbedingun-

gen einer Pflege, die mit immer größerer Knappheit an Personal, Zeit und Geld rechnen muss, einen ganzheitlichen Ansatz. Zur Unterstützung des Pflegepersonals geriatrischer Einrichtungen soll die in [Dei+15c] beschriebene Vorrichtung deshalb ermöglichen, sowohl die externe Reinigung von Zahnersatz als auch die des Mundraums gründlicher, schonender und schneller als mit den gegenwärtig eingesetzten Methoden durchzuführen. Darüber hinaus soll die Erfindung auch in der häuslichen Pflege oder auch nur zur gründlichen Prothesenreinigung eingesetzt werden können.

Ein geeignetes Gerät muss die medizinisch-technischen Hygieneanforderungen erfüllen. Keime dürfen nicht von einer auf andere Prothesen übertragen werden. Kontaminierte Teile müssen einfach und günstig zu reinigen, zu desinfizieren und unter Umständen sogar zu sterilisieren sein. Weiterhin muss das Gerät in feuchter Umgebung zuverlässig arbeiten. Weil die verwendeten Reinigungsflüssigkeiten aggressiv sein können, müssen die betroffenen Teile solchen Umgebungen lange standhalten oder einfach und kostengünstig austauschbar sein. Außerdem muss das Gerät mobil und einfach zu bedienen sein und darf schließlich nicht zu viel kosten.

Weil Bürsten, Putzkörper oder unterstützender Einsatz von Unterdruck aus oben genannten Gründen für die Zahnersatzreinigung nicht in Frage kommen, sollen die im Allgemeinen maximal zwei Prothesenteile pro Betreutem, nämlich Ober- und Unterkieferprothese, mit einem scharfen Wasser- oder Reinigungsmittelstrahl gereinigt werden. Der dabei anzuwendende Druck ist wesentlich höher als der in handelsüblichen Mundduschen oder in Zahnnarzthandstücken angebotene. In der Grundausführung des Gerätes wird eine Prothese horizontal oder vertikal (zeilen- oder spaltenweise) vom Reinigungsstrahl gesäubert, Vorder- und Rückseite werden entweder durch Drehung der Prothese oder der Düse um eine vertikale Achse erreicht. Um Verletzungen der Mundschleimhaut durch den harten Strahl auszuschließen und um Kontamination der Umgebung durch den reflektierten Strahl einschließlich der entfernten Partikel zu verhindern, wird diese Reinigung innerhalb des geschlossenen Gerätes durchgeführt.

Die Prothesenteile (Abbildung 2.24 links, (1)) werden mit einer Prothesenhalterung (2) in einem Behälter (3) fixiert und dieser Behälter wird dann in das Reinigungsgerät (Abbildung 2.25, (4)) eingebracht. Der Behälter selber ist kostengünstig herstellbar und kann deshalb beim Betreuten verbleiben. Vorbereitendes Einwirken ei-

ner Reinigungsflüssigkeit oder eines enzymatischen Reinigers, vorzugsweise während der Nacht, ist in diesem Behälter ebenfalls möglich. Er enthält Ventile (Abbildung 2.24 Mitte, (5)), um die verbrauchte Reinigungslösung in einen Auffangbehälter im Reinigungsgerät zu entsorgen und frische Reinigungsflüssigkeit aus einem Vorratsbehälter (Abbildung 2.25, (8)) im Reinigungsgerät hinzuzufügen. Alternativ können diese Aktionen von einer Absaug- und einer Zuführeinheit (Abbildung 2.24 rechts, (6)) im Reinigungsgerät durchgeführt werden. Die eigentliche Reinigung durch den Flüssigkeitsstrahl findet im entleerten Behälter (3) statt. Die verbrauchte Flüssigkeit des Reinigungsstrahls wird auf demselben Wege wie die oben angesprochene vorbereitende Reinigungsflüssigkeit entfernt.

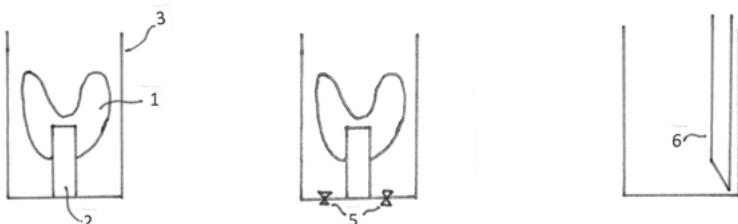


Abbildung 2.24: Prothese fixiert in Halterung mit unterschiedlichen Anschlüssen

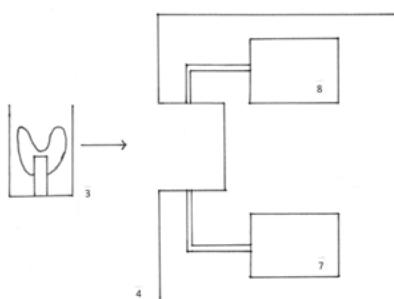


Abbildung 2.25: Prothese mit Halterung wird in Waschbehälter eingeführt

In einer erweiterten Form kann das Gerät neben flächiger Behandlung gesamter Prothesen zusätzlich bekannte Verschmutzungsstellen, insbesondere an den Übergangen von den Zähnen auf das Zahnfleisch oder an den entsprechenden Prothesenstellen, besonders gründlich reinigen. Dies wird durch eine eingebaute Kamera ermöglicht, die auch für die rein flächige Reinigung sinnvoll eingesetzt werden kann. Dann muss

nicht der gesamte Behälterinnenraum, sondern nur die über die Kamera lokalisierte Prothese bzw. das Prothesenteil abgespritzt werden.

Wenn Prothesen wie nachfolgend beschrieben eindeutig identifizierbar sind, nutzt das Gerät diese Identifikation zur Protokollierung der Reinigungsvorgänge und kann zusätzlich das Pflegepersonal und ggf. den Betreuten informieren, wessen Prothese gerade gereinigt wird.

Prothesenteile werden mit Nahfeldkommunikationstranspondern eindeutig gekennzeichnet, die im Laufe des Fertigungsprozesses, typischerweise nach dem Gießen, punktgenau in die Kunststoffsegmente der Prothesen eingebracht werden. So können sie weit genug entfernt von Metallkomponenten platziert werden, die die Datenübertragung stören könnten. Transponder werden in Zahnersatzbohrungen eingesetzt und die entsprechenden Öffnungen anschließend verschlossen. An diesen Stellen müssen die Transponder der permanent vorhandenen Feuchtigkeit des flüssigkeitsgesättigten Kunststoffs standhalten. Ebenfalls müssen sie Temperaturschwankungen zwischen Zimmertemperatur, wie sie bei der nächtlichen Lagerung in Behälter und Reinigungsflüssigkeit herrscht, und maximal 80°C, die während der Reinigung in Spülmaschinen auftreten, aushalten. Diese Anforderungen sind für Nahfeldkommunikationstransponder unproblematisch und werden in vielen Anwendungen erfüllt. Die Transponder werden im Reinigungsgerät automatisch ausgelesen, was selbstverständlich auch mit einem separaten Lesegerät möglich ist, und geben Auskunft über Hersteller einer Prothese, Fertigungsdatum und ihren Träger.

Das Reinigungsgerät dient auch als Basis für ein Handstück (Abbildung 2.26, (9)), das dem Formfaktor nach vergleichbar dem eines Zahnrarztarbeitsplatzes ist. Wie letzteres hat es eine Aufsteckmöglichkeit (10) für Werkzeuge, wobei beim erfindungsgemäßen Mundhygienehandstück primär Wechselbürsten (11) eingesetzt werden. Die Anforderungen an die Rotationsgeschwindigkeit sind beim Mundhygienehandstück deutlich geringer als beim Zahnrarzthandstück, sodass das Mundhygienehandstück auch von einem Elektromotor vor Ort (d.h. im Kopfstück) angetrieben werden könnte. Weiterhin besitzt das Mundhygiene- wie das Zahnrarzthandstück eine Zuführung (12) für Spülflüssigkeit und auch eine Absaugvorrichtung (13) für verbrauchte Spülflüssigkeit und Reizspeichel. Die Flüssigkeiten werden vom Reinigungsgerät aus bereitgestellt bzw. von diesem entsorgt. Verbrauchte Reinigungslösung aus der Prothesenreinigung und die vom Mundhygienehandstück abgesaugte Flüssigkeit werden in einem gemeinsamen Abwassertank (Abbildung 2.25, (7)) des Reinigungsgerätes ge-

sammelt und von dort aus entsorgt. Analog zu dem in [Dei+11b] beschriebenen Verfahren sind im Handstück ebenfalls Sensoren zur Überprüfung und Verbesserung des Reinigungsvorgangs integriert.

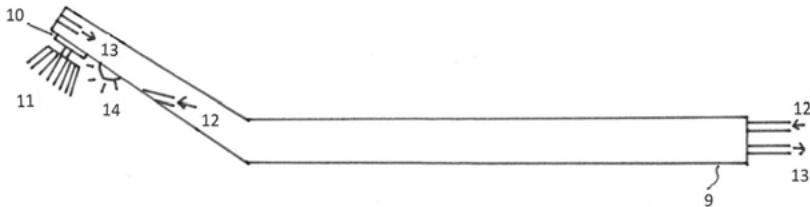


Abbildung 2.26: Handstück zur manuellen Reinigung

Ein vorteilhaftes Zusatzelement für das Mundhygienehandstück kann eine Beleuchtung (Abbildung 2.26, (14)) sein und zwei vorteilhafte Ausprägungen seines Kopfes sind folgende. Der Bürstenkopf (Abbildung 2.26, (11)) wird für einmalige Anwendung ausgelegt, d.h. nach Gebrauch entsorgt, beispielsweise in einen Speicher des Reinigungsgeräts. Das übrige Handstück wird nach jedem Gebrauch im Reinigungsgerät desinfiziert, beispielsweise durch (feuchte) Hitze und/oder UV-Strahlung. Für jeden Betreuten wird ein eigener Aufsatz des Handstücks (Abbildung 2.27, (15)) mit einer Kupplungsvorrichtung (16) vorgesehen, die Stromversorgung sowie Zu- und Ablauf der Flüssigkeiten ermöglicht. Alle Aufsätze werden im Reinigungsgerät mitgeführt und nach Abarbeitung des Reinigungsparcours gereinigt und desinfiziert. Bedienungspersonal und Betreute werden vom Gerät bei jedem Reinigungsvorgang darüber informiert, wessen Aufsatz momentan in Gebrauch ist. Das Gerät kann die Reinigungsvorgänge auch protokollieren.

Das Handstück ist mit dem Reinigungsgerät durch einen flexiblen Schlauch (in Abbildung 2.28 nicht gezeigt) verbunden, der alle Ver- und Entsorgungsleitungen enthält. Das Gerät ist fahrbar (Abbildung 2.28), um vom Pflegepersonal von Betreutem zu Betreutem geschoben werden zu können. Es führt alle Verbrauchsteile wie Bürstenköpfe und Lösungen zur Prothesenreinigung und zur Mundspülung mit und bietet alle erforderlichen Entsorgungsmöglichkeiten, insbesondere Behälter für Schmutzflüssigkeit und ggf. für benutzte Einmalbürstenköpfe. Vor Ort benötigt es nur einen Stromanschluss, wobei auch eine Batterieversorgung denkbar ist.

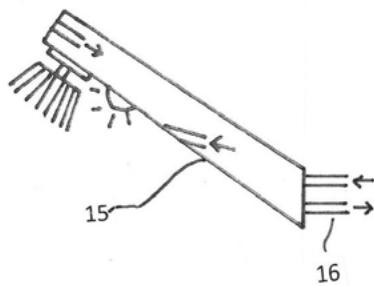


Abbildung 2.27: Aufsatz für das Handstück

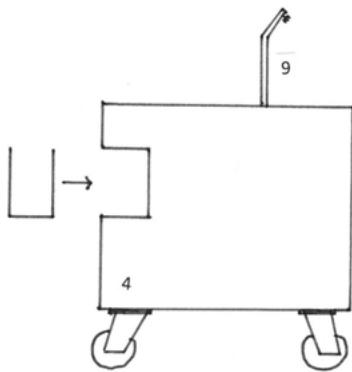


Abbildung 2.28: Prothesenreinigungsbehälter mit Prothesenhalterung und Handstück

Wird das Handstück vom Pflegepersonal zur Reinigung der natürlichen Zähne sowie festsitzenden Zahnersatzes eines zu Pflegenden eingesetzt, so zeigt ein am Reinigungsgerät befindlicher Bildschirm den Putzort an und gibt Anweisungen für anzuwendende Bürstbewegungen aus. Die im Handgerät eingebauten Sensoren zeichnen die Bewegungen als Dokumentation für erfolgreich ausgeführte Mundpflegemaßnahme auf. Das Gerät informiert den Betreuten unmittelbar akustisch über die Reinigungsfortschritte. Die Auswertung der Sensordaten gibt Aufschluss darüber, ob tatsächlich die Zahnoberflächen gebürstet werden, und erlaubt, die aktuell gebürstete Zahnoberfläche zu berechnen. Der Bildschirm wird während der Reinigung so zum Betreuten hingeführt, dass dieser die laufende Aufzeichnung als sein Spiegelbild erkennen kann. In das Kamerabild werden die Bearbeitungsfortschritte hinsichtlich der bereits gereinigten Zahnoberflächen eingeblendet.

Zur Unterweisung eines Betreuenden führt eine Fachkraft, beispielsweise ein Zahnarzt, den Zahnpflegevorgang beim Betreuten durch. Das Gerät zeichnet den Vorgang auf, analysiert Ort und Bewegungsformen und verknüpft den Datensatz mit der Identität des Betreuten. Ebenfalls stuft das Gerät Abweichungen zum Referenzputzvorgang sowohl qualitativ als auch quantitativ gemäß gewichteter Abstände ein, damit die durchführende Betreuungskraft selbst bei gut antrainierten Bewegungen ihre Fertigkeiten ständig verbessern bzw. auf hohem Niveau halten kann. Weitere Betreuende werden anhand der Aufzeichnungen mit auf den Betreuten individuell zugeschnittenen Anweisungen eingewiesen und ggf. korrigiert. Betreuende werden damit hinsichtlich der Vollständigkeit des Putzvorgangs unterstützt und ihnen werden abhängig vom Bürstort die optimalen Bewegungsformen angezeigt bzw. gelehrt.

Ausführungsbeispiele und erreichte Vorteile

In seiner maximalen Ausbaustufe für den professionellen Einsatz in Pflegeeinrichtungen oder Zahnarztpraxen wird das Reinigungsgerät mit großem, auf Rollen stehendem Behälter mit vielen Reinigungsvorgänge erlaubender Kapazität und angeschlossenem, für Zwecke der Dokumentation der Bürstvorgänge an den Kiefern der Betreuten und der Unterweisung ausgestattetem Handstück ausgelegt. Eine reduzierte Version als Konsumentenprodukt für den Hausgebrauch mit geringerem Fassungsvermögen des Behälters und einfacherer Elektronik eignet sich zur Reinigung persönlicher Prothesen und von Zahnpfingen, je nach Bedarf ggf. mehrmals täglich

mit unterschiedlichen Intensitätsstufen. Dafür kann das Handstück für den Gebrauch weniger Personen zugeschnitten werden.

Das vorgestellte Reinigungsgerät löst ein Problem der geriatrischen Pflege in ganzheitlicher Weise. Verwendung von Ultraschallbädern oder Reinigungstabletten sind dagegen nur unzureichende Einzellösungen von Teilproblemen. Alle demographischen Parameter deuten darauf hin, dass sich Probleme in und mit der Pflege alter Menschen massiv verschärfen werden. Bereits jetzt ist ein großer Bedarf an Hilfsmitteln zu erkennen, um immer stärker belastetem Pflegepersonal Unterstützung zu bieten. Der im Bereich der Mundhygiene bestehende Teilbedarf kann erfindungsgemäß verkleinert werden.

Ein Nebeneffekt der Identifikation von Prothesenteilen mit Nahfeldkommunikationstranspondern besteht darin, dass sich der heimische Markt so vor handwerklich fragwürdigen Billigimporten schützen lässt.

Kapitel 3

Anzeigegerät zur Überwachung des Zahnpflegevorgangs

3.1 Erfassung der Messdaten

Um Berechnungen an ersten Messreihen durchzuführen, wurde ein Prototyp mit dem Namen iBrush (Abbildung 3.1) vom BISP-Center ([Bis]) in Regensburg verwendet. Das Gerät liefert mittels eines Beschleunigungssensors (Abbildung 3.1) Daten in sechs Freiheitsgraden und sendet diese über eine schnurgebundene USB-Schnittstelle an einen Windows-Rechner.

Das Gehäuse wurde für den Einsatz von handelsüblichen Aufsteckzahnbürsten ausgerichtet (Abbildung 3.2).

3.2 Auswertungen der aufgenommenen Daten

Der Beschleunigungssensor der verwendeten Zahnbürste stellt Messwerte aller sechs Freiheitsgrade zu Verfügung: Neben den Beschleunigungswerten für die X-, Y-, Z-Achse (Abbildung 3.3) werden auch die Werte für Winkelgeschwindigkeiten geliefert. Die Abtastrate beträgt 300 Messungen pro Sekunde, woraus folgt, dass die Abszisse des verwendeten Diagramms (Abbildung 3.4) als Einheit eine Abtastung von $\frac{1}{300}$ Sekunden verwendet.

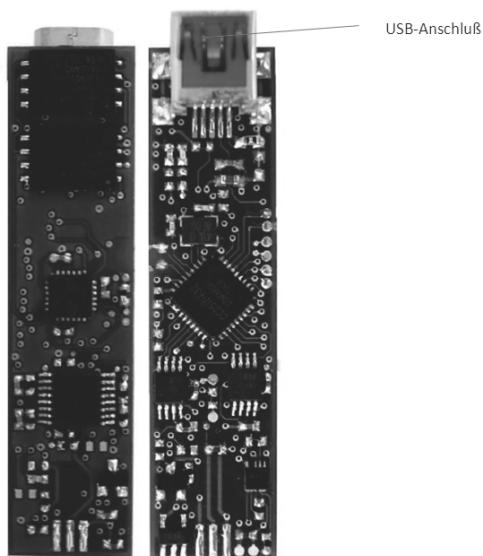


Abbildung 3.1: iBrush-Platine



Abbildung 3.2: iBrush-Komponenten



Abbildung 3.3: Angewendetes Koordinatensystem des Beschleunigungsmessers des iBrush-

Im Diagramm eines Zahnpulzvorgangs unter Anwendung der Bass-Technik (Abbildung 3.4) wurden gleichförmige Bereiche mit einer Ortsbeschreibung versehen. Beim Studium des Graphen fällt umgehend auf, dass Messwertbereiche der Achsbeschleunigungen mit unterschiedlichen Gleichanteilen versehen sind. Die Verschiebung längs der Ordinate des Graphen berechnet sich aufgrund der Überlagerung mit der Erdbeschleunigung g . Im eingezeichneten Koordinatensystem der Zahnbürste (Abbildung 3.3) wird während des Bürstens der Kauflächen der Z-Graph (Achsbeschleunigung) mit der senkrecht verlaufenden Erdbeschleunigung überlagert. Wird die Zahnbürste seitlich gehalten, wie beim Bürsten der Zahnaufßenflächen, so erfährt der X-Graph eine Verschiebung entlang der Ordinate.

Wird auf der anderen Seite des Kiefers gebürstet, so erfährt der X-Graph einen negativen Gleichanteil. Aufgrund dieser Verschiebungen lassen sich erste Annahmen über den Bürstort machen:

- X-Graph mit positivem Gleichanteil → Bürstort links, 1. oder 3. Quadrant Zahnaufßenfläche
- X-Graph mit negativem Gleichanteil → Bürstort rechts, 2. oder 4. Quadrant Zahnaufßenfläche
- Z-Graph mit positivem Gleichanteil → Bürstort oben, 1. oder 2. Quadrant Zahnaufßenfläche
- Z-Graph mit negativem Gleichanteil → Bürstort unten, 3. oder 4. Quadrant Zahnaufßenfläche

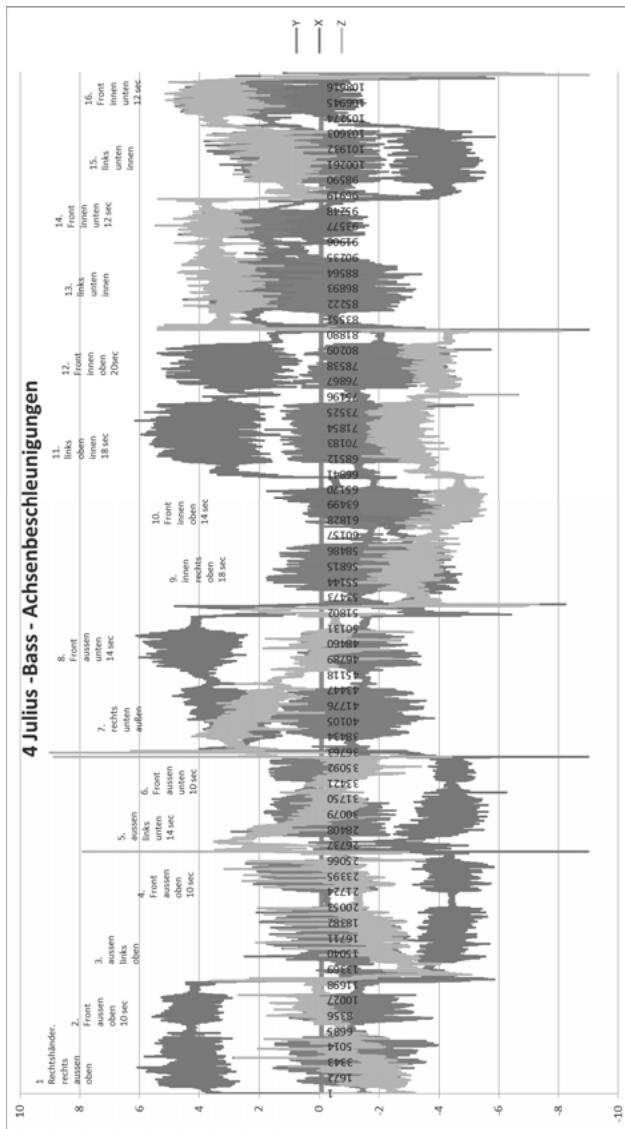


Abbildung 3.4: Diagramm eines Zahnputztzorgangs - Achsbeschleunigungen

Mit den auftretenden Verschiebungen der Graphenanteile sind Auswertungen möglich, aus denen Rückmeldungen für den Anwender generiert werden. Damit können bereits Hinweise auf den Bürstort gegeben werden, bzw. Korrekturanweisungen können den Nutzer wieder auf den angewiesenen Pfad bringen.

Auf einen existierenden Gleichanteil kann bereits beim Eintreffen von ersten Sensorwerten geprüft werden. Die Werte durchlaufen einen digitalen Tiefpass oder kurzzeitige Amplitudenausschläge werden über einen gleitenden Durchschnitt eliminiert. Selbst spontanes Wechseln des Nutzers zwischen den Quadranten kann auf diese Weise registriert werden.

Eine weitere komfortable Auswertung erlaubt, die Bewegung Herauswischen zuweisen. Bei dieser Bewegungsform sollen durch eine kräftige Drehbewegung des Handgelenks Speisereste zwischen den Zähnen beseitigt werden. Vorteile bietet die Bürstbewegung für den Fall, dass Interdentalbürste oder Zahnseide nicht zur Hand sind. Diese Hilfsmittel sind im Allgemeinen obligatorisch für die Reinigung der Zahnzwischenflächen. Neben den Sensorwerten für Achsbeschleunigung liefert der Beschleunigungssensor Werte für die auftretenden Winkelbeschleunigungen. Im zugehörigen Diagramm (Abbildung 3.5) verzeichnet der Ry-Graph die höchsten Ausschläge. Um eine kraftvolle Wischbewegung zu identifizieren, wird nach Werten mit einem entsprechend hohen Betrag gesucht. Liegen diese vor, so erhält der Nutzer eine positive Rückmeldung. Sollte der Betrag zu niedrig sein, so kann der Anwender aufgefordert werden, seine Drehbewegung zu intensivieren.

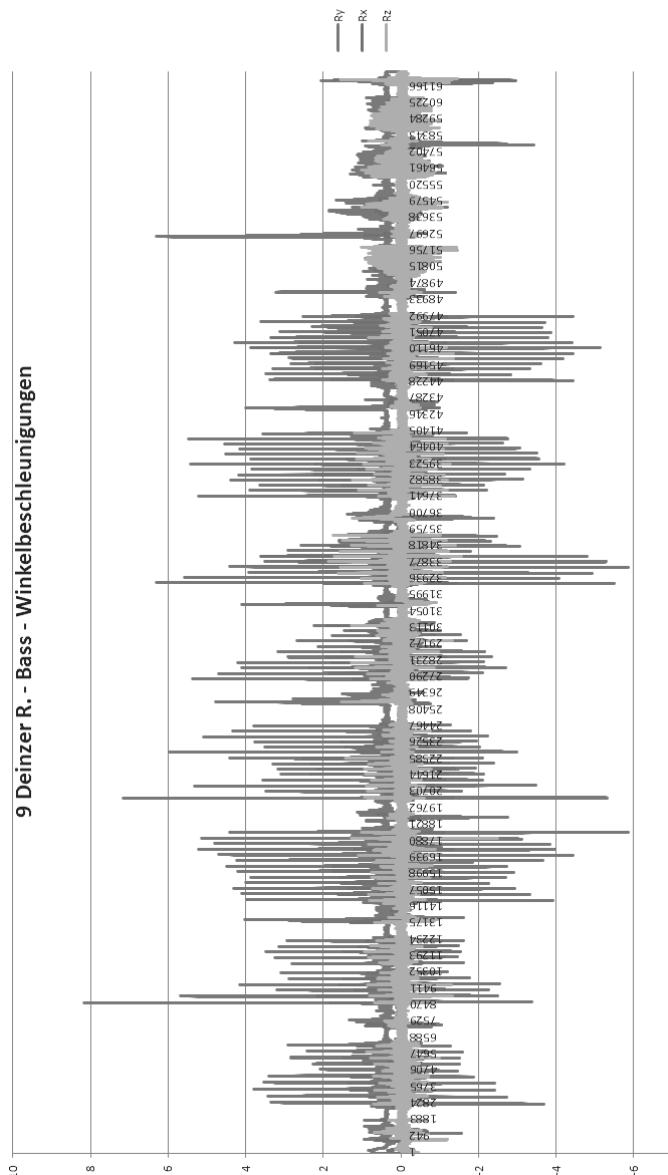


Abbildung 3.5: Diagramm eines Zahnpulzvorgangs – Winkelbeschleunigungen

3.3 Auswertungen basierend auf Segmenten mit probabilistischen Schlußfolgerungen

Während die Auswertungsergebnisse in Abschnitt 3.2 eindeutige Rückschlüsse auf Bewegungsformen oder Bürstbereiche zulassen, können noch weitere Auswertungen vorgenommen werden, die aber nur den Bürstort oder eine Bewegung mit limitierter Wahrscheinlichkeit bestimmen. Dafür werden Abschnitte (Segmente), die sich von benachbarten Abschnitten klar unterscheiden, analysiert und mit probabilistischen Schlußfolgerungen (Klassifikationen) versehen. Soll mit den Berechnungsergebnissen eine Ausgabe geschaffen werden, so müssen Informationen aus weiteren Sensoren oder Berechnungen den Auswertungsprozess bereichern, damit an den Anwender eine klare Aussage kommuniziert werden kann.

3.3.1 Bürsten der Zahninnenflächen

Um die Zahninnenflächen zu bürsten, ist es dem Anwender nicht möglich, die Zahnbürste in einer exakt senkrechten oder waagrechten Ausrichtung zu halten. Der durchschnittliche Nutzer verwendet einen Anschlagwinkel von ca. 45° . Diese Haltung führt dazu, dass zwei Graphen sich den Gleichanteil der Erdbeschleunigung g teilen (Abbildung 3.6). In der Abbildung werden gleichförmige Bereiche (Segmente) mit einer eindeutigen Nummerierung versehen.

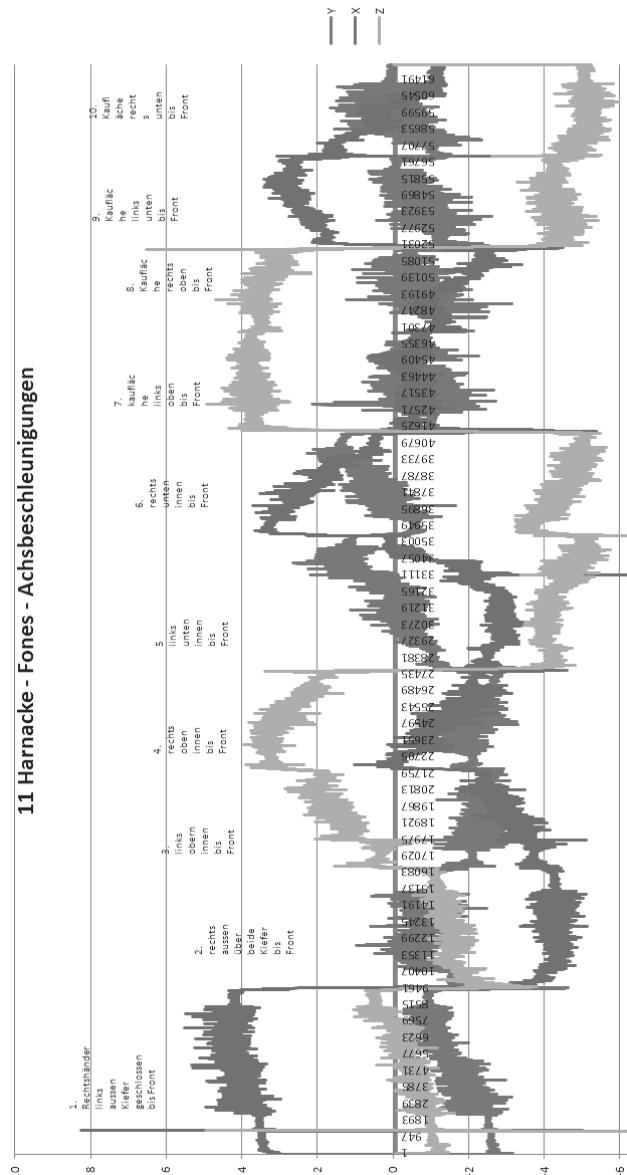


Abbildung 3.6: Diaogramm eines Zahndutzzvorgangs – Achsbeschleunigungen – mit gleichm  igen Bewegungen

Aus den genannten Beobachtungen lassen sich für den gesamten Graphen folgende Gesetzmäßigkeiten ableiten, indem den folgend aufgelisteten gleichförmigen Segmenten entsprechende probabilistische Schlussfolgerungen (Klassifikationen) zugeordnet werden:

- Z-Graph mit positivem Gleichanteil, X-Graph mit negativem Gleichanteil → Bürstort links oben innen , 1. Quadrant Zahnninnenfläche
- Z-Graph mit positivem Gleichanteil, X-Graph mit positivem Gleichanteil → Bürstort rechts oben innen, 2. Quadrant Zahnninnenfläche
- Z-Graph mit negativem Gleichanteil, X-Graph mit negativem Gleichanteil → Bürstort links unten innen, 3. Quadrant Zahnninnenfläche
- Z-Graph mit negativem Gleichanteil, X-Graph mit positivem Gleichanteil → Bürstort rechts unten innen, 4. Quadrant Zahnninnenfläche

3.3.2 Bürsten mit kreisende Bewegungen

In Abschnitt 3.2 wurde die Bewegungsform “Herauswischen” durch die Amplituden des Rx-Winkelbeschleunigungsgraphen eindeutig bestimmt. Die Bewegungsform “Kreisen” verzichtet auf die üblichen Hin- und Herbewegungen beim Führen der Zahnbürste, was auch Bewegungsform “Schruppen” genannt wird. Sie soll durch langsames Kreisen mit relativ wenig Anpressdruck den Zahnbeflag entfernen und das Zahnfleisch dabei so wenig wie möglich reizen. Die kreisende Bewegung kann dabei nur auf einer Seitenzahnnfläche erfolgen oder aber von der oberen Zahnreihe bis zur unteren Zahnreihe. Angewendet wird die Bewegung ausschließlich auf die Außenzahnnächen.

Erkannt wird diese Bewegungsform, indem die typisch hohen Ausschläge in den Achsbeschleunigungsgraphen fehlen (Abbildung 3.6). Sie wird mit einem Vergleich der Amplitudenwerte auf eine maximale Abweichung der Sensorwerte vom Mittelwert (= Gleichanteil) innerhalb eines gleichförmigen Segments überprüft. Sollten die Werte unter einem Grenzwert liegen, so kann die Bewegungsform “Kreisen” als befolgt angesehen werden. Diese Schlussfolgerung wird ebenfalls als probabilistische Auswertung angesehen.

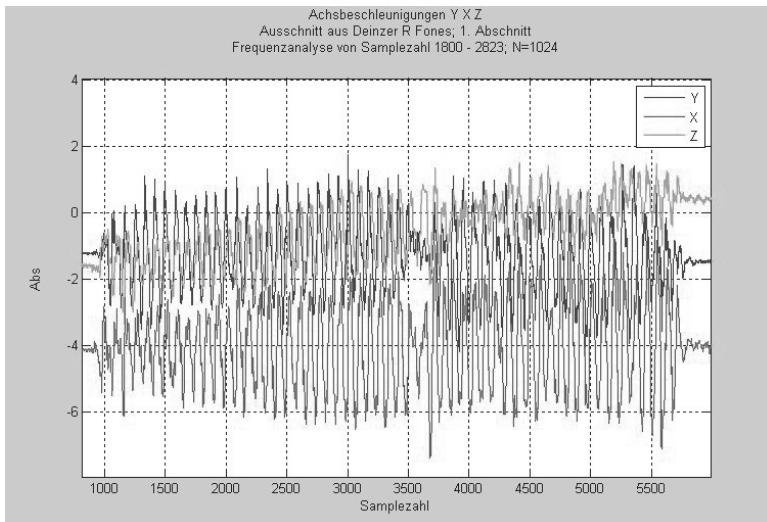


Abbildung 3.7: Bereich einer gleichmäßigen Bürstbewegung

3.4 Analysen mit schneller Fourier-Transformation

Bei den bisherigen Auswertungen wurden mithilfe von Mittelwertbildung und Suchen nach Maximal- und Minimalwerten die Gleichanteile und die Amplitudenbeträge bestimmt. Mit den Ergebnissen lassen sich Aussagen über den Bürstort und die Bürstbewegung ableiten. Für jede Auswertung gilt die Bedingung, dass die verwendeten Sensordaten einer elementaren Bürstbewegung entstammen und an einem Bürstort aufgezeichnet wurden. Vollzieht der Anwender einen schnellen Wechsel in einen anderen Quadranten, so ist das Ergebnis der Auswertung hinfällig. Deshalb müssen die verwendeten Werte auf Gleichmäßigkeit überprüft werden.

In Abbildung 3.7 ist ein solcher Bereich zu sehen. Gebürstet wurde in großen kreisenden Bewegungen rechts außen bis zur Front hin. Am negativen Gleichanteil des X-Graphen und den gleichzeitig niedrigen Gleichanteilen der Z- und Y-Graphen ist abzuleiten, dass die rechten Zahnaußenseiten gebürstet werden (2. und 4. Quadrant). Der Bereich wird von einer kleinen Pause unterbrochen, weshalb nur die Daten davor oder dahinter verwendet werden können. Der vordere Bereich weist eine Abtastanzahl von 2500 auf, welches ca. 8 Sekunden entspricht.

Damit bietet es sich an, die Daten mit schneller Fourier-Transformation (FFT) zu analysieren, was Aussagen über den Gleichanteil, die auftretenden Frequenzen und die zugehörigen Phasen ermöglicht. Diese Auswertungen lassen Rückschlüsse auf Bürstbewegungsart und Bürstort zu. Mit einer Schrittweite von N=2048 (Anzahl der Abtastwerte) kann eine Genauigkeit (Abstand der Spektrallinien) von

$$\frac{300\text{Hz}}{2048} = 0,146\text{Hz}$$

erzielt werden. Sollte sich während der Erfassung der 2048 Sensorwerte der Gleichanteil oder die Frequenz durch Wechsel des Bürstortes oder der Bürstbewegung ändern, so berechnet die FFT einen Mittelwert daraus, womit das Ergebnis in seiner Aussagekraft sinkt. Eine Schrittweite von 1024, was einer Zeitdauer von ca. 3 Sekunden entspricht, erscheint in diesem Dilemma als Kompromisslösung. Für die Auflösung der FFT-Berechnung gilt:

$$\frac{300\text{Hz}}{1048} = 0,292\text{Hz}$$

Da sich verschiedene Elementarbewegungen des Bürstens auch in der Bürstfrequenz unterscheiden, gilt diese Genauigkeitsstufe als annehmbar. Der Anwender eines BrushGuide-Gerätes (BrushGuide: geschützter Markenname eines Anzeigegerätes zur Unterstützung des Zahnpulzvorgangs, [Dei+14a]) verlangt allerdings früher nach Bestätigung oder Korrektur, als es die FFT-Berechnung nach ca. 3 Sekunden erlaubt. Nachdem die Gleichmäßigkeit der Bürstbewegung über Maximum- und Minimum-Vergleiche der Sensorwerte mit einer akzeptablen Toleranz (Abbildung 3.8) bestätigt wurde, lassen sich über die gleichen Extremwerte schon vorab Ergebnisse zu Gleichanteil, Frequenz und Phase erzielen. Diese früh gewonnenen Auswertungen haben vor allem beim kooperativen Benutzer einen hohen Informationswert, weil bei ihm die Abweichung zum Sollverhalten wesentlich geringer ist.

Im Beispiel von Abbildung 3.9 liefert die Differenz zweier benachbarter Maximumwerte des Y-Graphen

$$2500 - 2425 = 75$$

Abtastpunkte. Wie in dem in Abbildung 3.9 gezeigten Ausschnitt zu erkennen ist, liefern die Differenzberechnungen des Z- und des X-Graphen vergleichbare Ergebnisse.

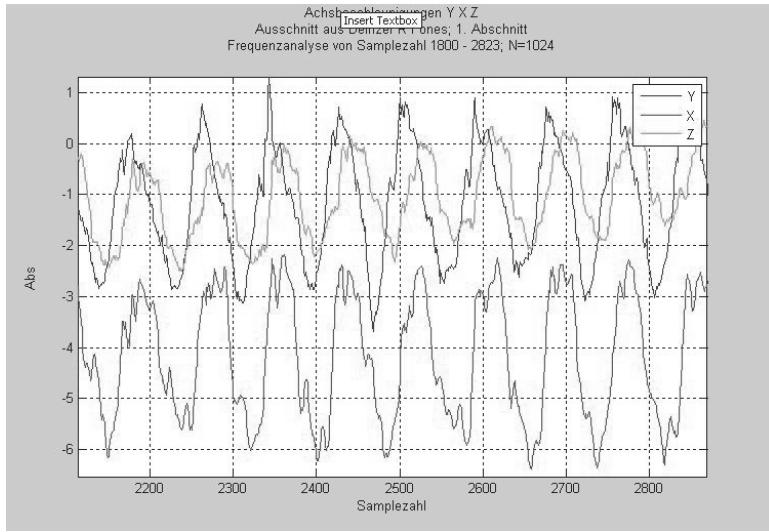


Abbildung 3.8: Ausschnitt aus einer gleichmäßigen Bürstbewegung

Mit diesem Wert und der bekannten Abtastrate der iBrush-Zahnbürste von 300Hz lässt sich eine Schwingungsdauer von

$$\frac{75 \text{ Abtastpunkten}}{300 \text{ Hz}} = 0,25 \text{ sec}$$

bestimmen oder mit dem Reziprokwert von 4 Hz als Basisfrequenz der Zahnpflegebewegung berechnen.

Ebenso berechnet das BrushGuide-Gerät aus dem Mittelwert der zwei aufeinanderfolgenden Minimum- und Maximumpunkte einen Wert für den Gleichanteil, worauf Auswertungen wie in Abschnitt 3.2 beschrieben folgen.

Die Phasen der drei Achsbeschleunigungsgraphen werden mit den Differenzen von zwei Maximumwerten zweier Graphen berechnet, worauf der Quotient zur Schwingungsdauer berechnet wird. Die Ergebnisse lassen Rückschlüsse auf die Bewegungsform zu, weil sich Änderungen in der Bewegungsform vorwiegend in Änderungen der Phasen niederschlagen.

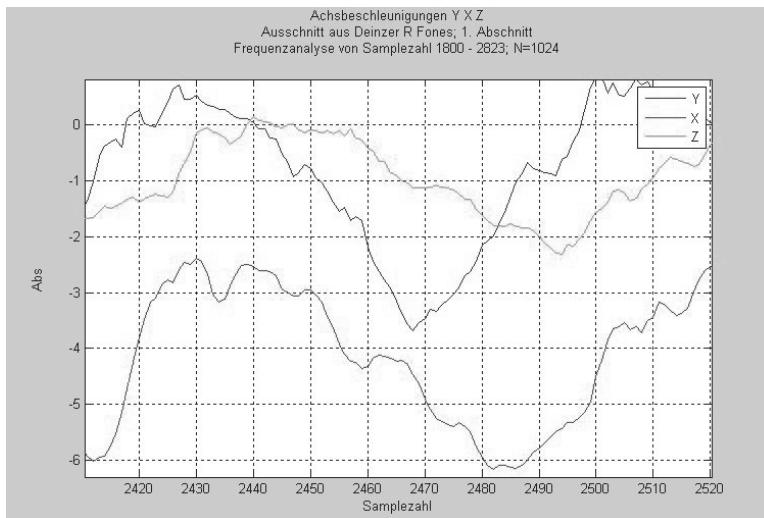


Abbildung 3.9: Ausschnitt aus einer gleichmäßigen Bürstbewegung zur Bestimmung der Frequenz

Die FFT-Analyse des gleichen Datenausschnitts wurde mit der Software Matlab und einem in der Programmiersprache C geschriebenen Programm durchgeführt, und führte zu folgendem Ergebnis (Abbildung 3.10):

- Gleichanteil X-Graph: -4,5
- Gleichanteil Y-Graph: -1,2
- Gleichanteil Z-Graph: -1,2

Eine nähere Betrachtung der Grundschwingung der Bürstbewegung (Abbildung 3.11) liefert für alle drei Graphen der Achsbeschleunigung den Wert 3,5 Hz. Diese Frequenz stellt ein Indiz für die kreisende Bürstbewegung dar. Ein veränderter Wert mit passenden Phasenwerten führt zur Detektion einer anderen Bürstbewegung. Die Darstellung lässt die Betrachtungen aller drei Graphen zu, während eine gewählte Ausgabe im Balkendiagramm den Abstand der Spektrallinien von 0,29 Hz hervorhebt (Abbildung 3.12).

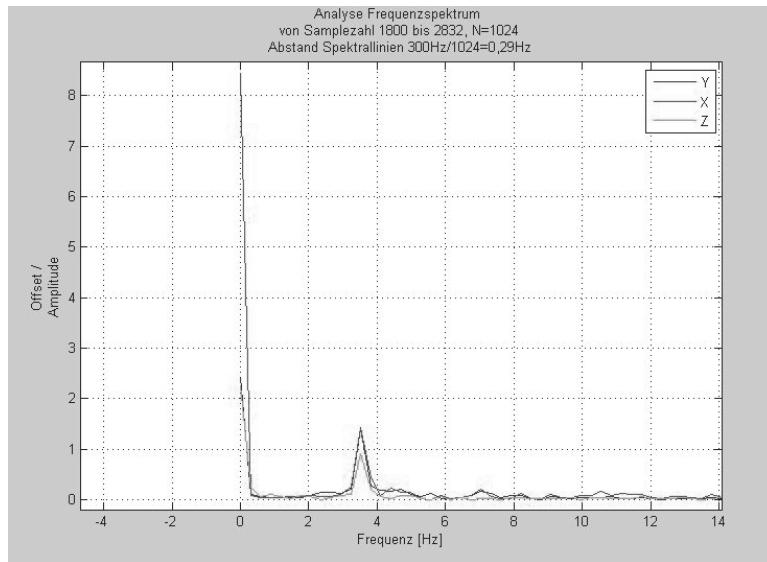


Abbildung 3.10: Ergebnisse aus FFT-Analyse

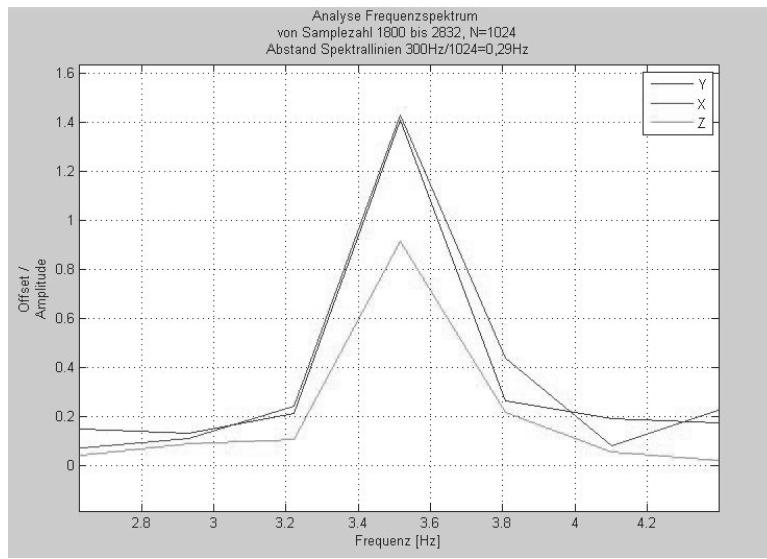


Abbildung 3.11: Ergebnisse aus FFT-Analyse – Betrachtung der Grundschwingung der Bürstbewegung

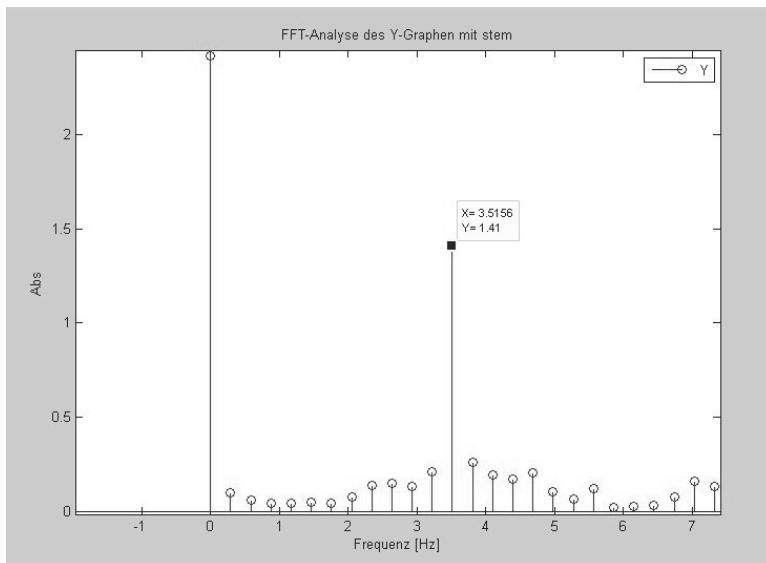


Abbildung 3.12: Ergebnisse aus FFT-Analyse – Betrachtung der Grundschwingung der Y-Achsbeschleunigung

Kapitel 4

Prototypische Realisierung von Funktionen des Anzeigegeräts

Das Spektrum an Informationen, die den Anwender beim Zahnputzvorgang unterstützt, führt zu sehr vielen Realisierungsmöglichkeiten von Bildschirmausgaben. Endversionen richten sich nach Zielgruppen, beispielsweise Erwachsene oder Kinder, und Anwendungsfällen. Selbst in der häuslichen Zahnpflege könnte zwischen verschiedenen Modi umgeschaltet werden. Während sich ein Modus auf Anweisungen und Korrekturhinweise spezialisiert, zielt ein anderer Modus auf das Informationsbedürfnis der Nutzer ab und gibt dafür wesentlich mehr Auswertungsergebnisse zum Putzstatus aus. Sollten weniger Sensordaten vorliegen, muss das Anzeigesystem die Bildschirmausgabe mit Genauigkeitsgrenzen abstimmen und bei der Formulierung von Ausgabetexten dies berücksichtigen. Aufgabenstellung war die Erstellung eines funktionsfähigen Prototypen. In diesem Kapitel werden Vorschläge dazu diskutiert und Einzelfunktionen in einer beispielhaften prototypischen Realisierung vorgestellt.

Für die Anzeigeeinheit zur Überwachung des Zahnputzvorgangs mit Namen Brush-Guide ([Dei+14a]) soll ein Standardgerät aus den Geräteklassen Smartphone, Tablet-PC oder Notebook dienen. Damit es im Badezimmer leicht verwendet werden kann, bedarf es eines flachen Gehäuses, und dem Anwender sollte durch ein ausreichendes Sichtfenster seines Spiegelbildes der Komfort geboten werden, in einer natürlichen Haltung seine Zähne bürsten zu können.

Aus diesen Anforderungen heraus fiel die Wahl auf einen Tablet-PC, weil er die Forderungen genau erfüllt. Verwendet wurde ein Modell¹ aus dem Hause Fujitsu-Siemens ([Fuj]). Es besitzt eine Frontend-Kamera und bietet mit der 10,1"-Anzeige eine für das Spiegelbild ausreichende Fläche. Mit dem Prozessor bietet es ausreichend Ressourcen, um aufwändige mathematische Berechnungen wie schnelle Fourier-Transformation (FFT) vorzunehmen. Als Betriebssystem dient Android 4.0.3. Unter [And] wird eine Programmierumgebung (Android Developer Tools auf Basis von Eclipse) zum Herunterladen für Windows-Rechner angeboten, die es erlaubt, mit Framework-Unterstützung eigene Applikationen in der Programmiersprache Java zu entwickeln.

4.1 Ausgabesymbole für den Bürstort und Anweisungen zur Unterweisung in einer Zahnputztechnik

Am Beispiel der Fones-Putztechnik werden Bildschirmausgaben konstruiert, die dem Nutzer die notwendigen Putzstatusinformationen ausgeben und ihm dennoch nicht mit komplexen Symbolen überfordern.



Abbildung 4.1: Anzeige Fones-Technik, rechts außen, mittlerer Dodekant mit Anweisungstext

¹M532 mit Quadcore-Prozessor und 1GB RAM

In Abbildung 2.5 wird die Symbolanzeige der Zahnenreihen an die aktuellen Zahnpulzanzeigen namhafter Hersteller angelehnt (Abbildung 2.4), weil ein Gewohnheitsverhalten des Konsumenten angenommen wird. Die Zahnenreihen eines Kiefers werden in Sextanten unterteilt. Der obere Halbkreis zeigt den Oberkiefer und der untere Halbkreis den Unterkiefer des Benutzers. Die Spitze des oberen Halbkreises stellt die oberen Frontzähne dar und die linke und die rechte Seite des Halbkreises die Backenzähne. Mit den blauen Kreisflächen wird der aktuelle Bürstort der Zahnbürste angezeigt. Gemäß der Platzierung der blauen Kreise kann zwischen Bürsten der Zahnaufßenflächen, Zahnninnenflächen und Kauflächen unterschieden werden. Die Einblendung von zwei blauen Kreisen symbolisiert in der Fones-Technik das Schließen des Ober- und Unterkiefers, womit die oberen und unteren Zahnaufßenflächen gleichzeitig in langsamem kreisenden Bürstbewegungen gereinigt werden.

Bürstort-Anzeigen werden in verschiedenen Ausführungen vorgefertigt im Speicher des Anzeigegerätes hinterlegt oder abhängig vom aktuellen Putzstatus grafisch neu gezeichnet. Die Symbolanzeige kann als Aufforderung für den nächsten Bürstort verwendet werden oder als aus Sensordaten berechnete Statusanzeige. In Abbildung 4.1 arbeitet sich der Nutzer zum nächsten Sextanten in Richtung Front vor. Für die Unterweisung in die Bürsttechnik werden entsprechende Textbausteine über der Symbolanzeige ausgegeben.



Abbildung 4.2: Fones-Technik, außen Front mit Anweisungstext

Der Nutzer wird gemäß Abbildung 4.2 aufgefordert, abwechselnd zu den ruhigen kreisenden Bewegungen starke Wischbewegungen aus dem Handgelenk auszuführen, um die Verschmutzungen in den Zwischenzahnbereichen zu entfernen. In Abbildung

4.2 hat er sich nun bis zur Front vorgearbeitet, womit der Außenbereichsquadrant fertig gereinigt wurde.



Abbildung 4.3: Anzeige Fones-Technik mit Korrekturanweisung

Wenn Berechnungsergebnisse aus der Sensorenauswertung die aktuell angewendete Bürsttechnik mit der zuvor ausgegebenen Anweisung vergleichen, sollen Korrekturanweisungen den Nutzer zur Änderung auffordern und ihm bei der Verbesserung seiner Technik behilflich sein. In Abbildung 4.3 wurde der Bewegungsablauf Schruppen detektiert. Die Referenzdaten zur Beschreibung elementarer Bürstbewegungen werden im Speicher vorgehalten und entsprechend in einem Feld verwaltet. Abweichungen zur einer aufgenommenen Idealbewegung können auch in Notenschritte eingeteilt und im Verlauf eines längeren Dialogs dem Benutzer via Fortschrittstufen mitgeteilt werden.



Abbildung 4.4: Anzeige Fones-Technik, Korrekturanweisung Anpressdruck

Alternativ zum Warntext eines zu hohen Anpressdrucks (Abbildung 4.4) könnte auch ein Warnsymbol ausgegeben werden. Ein analoges Symbol über den Anpressdrucks mit fließenden Übergängen könnte den Anwender wie in einem Cockpit von der technischen Ausgereiftheit des Überwachungssystems überzeugen.

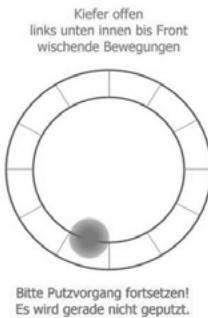


Abbildung 4.5: Anzeige Fones-Technik, Kontrolle der Bürstbewegung

Die Sensordatenauswertung detektiert anhand der Hüllkurve der aufgezeichneten Achsbeschleunigungswerte, dass keine Bürstbewegung ausgeführt wird (Abbildung 4.5). An dieser Stelle hält die Zeiterfassung zur Messung der konstanten Bürstzeit pro Zahnlfläche an und wartet, bis der Nutzer mit der Reinigung fortfährt.

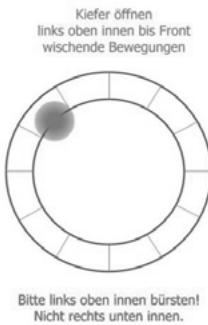


Abbildung 4.6: Anzeige Fones-Technik, fehlerhafter Bürstort

Falls der Nutzer die zu reinigenden Zahnlächen in beliebiger Reihenfolge bürsten darf, wird er nur zur Navigation zu den restlichen Zahnlä-

chen aufgefordert. In Abbildung 4.6 soll er aber eine feste Reihenfolge einhalten. Die Auswertung der Sensordaten ertappte den Benutzer bei dem unerlaubten Wechsel.

4.2 Verwaltung, Zugriff und Ausgabe der Symbole und Anweisungen

Die Symbole für verschiedene Putzstatusinformationen werden im Verzeichnis der Android-Anwendung als grafische Dateien gespeichert. Textbausteine können in XML-Dateien innerhalb des Ressourcenbereichs hinterlegt werden. Zum Start der Anwendung wird der Verzeichnisstandort mit den externen Daten initialisiert, womit die Ausgabebausteine mit Namen im Quellcode verwendet werden können.

Damit lassen sich diese Ressourcen in einem Variablenfeld ordnen und über Indizierung verwalten:

```

1 ...
2 Ausgabebild[] = {
3     R.drawable.bild_01, R.drawable.bild_fehler_02,
4     R.drawable.bild_03, R.drawable.bild_04,
5     R.drawable.bild_fehler_05, R.drawable.bild_06,
6     R.drawable.bild_07, R.drawable.bild_fehler_08
7 };
8 ...

```

Die in konstanten Abständen aufgerufene Funktion der Klasse RefreshHandler gibt die Ausgabesymbole mithilfe einer Indizierung auf dem Bildschirm aus.

```

1 class RefreshHandler extends Handler{
2 ...
3     public void handleMessage(Message msg) {
4         if(i< Ausgabebild.length)
5             imageView.setImageResource(Ausgabebild[i]);
6         i++;
7     } ...
8 }

```

Die Wartezeit bis zum erneuten Aufruf kann mit der Reinigungszeit pro Zahnlfläche gleichgesetzt werden oder in der Funktion finden Überprüfungen auf den Bürststatus oder Berechnungen für die nächsten Anweisungen statt und gestalten die Ausgabe dementsprechend. Falls die Ausgabe von Symbolen und Anweisungen nur von Berechnungen aus den übertragenen Sensordaten abhängt, muss der Maximalzeitraum für die Gültigkeit der Ergebnisse berücksichtigt werden.

Zu Beginn der Android-Anwendung wird ein Objekt der Klasse RefreshHandler erzeugt und damit der regelmäßige Aufruf ihrer Funktion gewährleistet:

```

1 ...
2 RefreshHandler refreshHandler = new RefreshHandler();
3 ...

```

4.3 Erzeugung eines Spiegelbildes

Die Generierung eines Spiegelbildes auf der gesamten Bildschirmhintergrundfläche stellt einen wichtigen Anwendungskern des Anzeigegerätes zur Überwachung des Zahnpflegevorgangs dar. Einzelne Bildrahmen können von einer Fachkraft visuell bewertet werden oder grafische Algorithmen suchen auf der Videoaufnahme nach markanten Punkten, um die Sensordatenauswertung zur Berechnung des Bürstortes oder zur Erkennung und Bewertung eines Bewegungsablaufs wie Herauswischen oder Schruppen zu unterstützen.

In einer XML-Datei, die im Ressourcenbereich der Android-Anwendung liegt und für den Aufbau des Bildschirms verwendet wird, wird der Bildschirmhintergrund für das Spiegelbild auf der gesamten Fläche reserviert:

```

1 ...
2 <FrameLayout
3     android:id="@+id/camPreview"
4     android:layout_width="match_parent"
5 ...

```

Zum Start der Android-Anwendung werden ein Objekt der Klasse MirrorView für das Spiegelbild, ein Kameraobjekt und das Layoutobjekt für das Spiegelbild referenziert, worauf sie in nachfolgenden Funktionen verwendet werden können:

```
1  private Camera mCam;
2  private MirrorView mCamPreview;
3  private FrameLayout mPreviewLayout;
```

Nun lassen sich die Objekte zur Generierung des Spiegelbildes auf dem Schirm zuordnen:

```
1  mCam = Camera.open(cameraId);
2  if (mCam != null) {
3      mCamPreview = new MirrorView(this, mCam);
4      mPreviewLayout.addView(mCamPreview);
5  }
```

4.4 Überlagerung des Spiegelbildes mit Anweisungen und Symbolen des Bürstortes

In Anwendungen der Augmented Reality ([Azu95]) werden in einem durch eine Kamera erzeugten laufenden Videostrom Informationen eingeblendet, die sogar passend zur Videoanzeige ausgesucht werden. In der BrushGuide-Anwendung sollen die mit der Frontkamera aufgenommenen Bilder umgehend auf dem Bildschirm ausgegeben und zur nachträglichen Analyse aufgezeichnet werden. Der Anwender soll sich auf dem Schirm selbst beim Zähneputzen betrachten und erhält nützliche Informationen und Hilfestellungen eingeblendet.

In der XML-Datei für die Festlegung des Bildschirmaufbaus wird über dem Kamerabild ein Berührungsfeld für einen Taster und ein Feld für die Ausgabesymbole gelegt. Das Taster-Berührungsfeld dient zur Einflussnahme des Nutzers auf die BrushGuide-Steuerung:

```
1  ...
2  <FrameLayout
3      android:id="@+id/camPreview"
4  >
```

```

5   <TextView
6     android:id="@+id/Taster"
7     android:layout_width="wrap_content"
8
9   <ImageView android:id="@+id/imageView"
10    android:layout_width="wrap_content"
11  ...

```

Die Android-Entwicklungsumgebung besitzt die Möglichkeit, mehrere Darstellungsebenen für den Bildschirm anzulegen, die in geeigneter Weise auf dem Bildschirm als Vorder- oder Hintergrund oder auch transparent überlagert dargestellt werden können. Für die Überlagerung mehrerer Bildschirmausgaben muss das laufende Spiegelbild in eine untere Darstellungsebene des Bildschirmspuffers gelegt werden, die autonom mithilfe der Aufnahmen aus der Frontkamera ihren Inhalt ständig auffrischt. Für diesen Zweck wird eine Unterklasse vom Typ SurfaceView angelegt, die auf Funktionen des Android-Frameworks zugreifen kann:

```

1 ...
2   public class MirrorView extends SurfaceView implements
3     SurfaceHolder.Callback {
4     ...
5   ...

```

Innerhalb der Klasse MirrorView wird das Kamerabild auf diese Darstellungsebene (SurfaceHolder) gegeben:

```

1 ...
2   Camera mCamera.setPreviewDisplay(getHolder());
3   mCamera.startPreview();
4   ...

```

Im Hauptprogramm wird nun eine Frontkamera gesucht und die Referenz darauf bei der Instanziierung der MirrorView-Klasse übergeben:

```

1 ...
2 int mCameraId = findFirstFrontFacingCamera();
3 Camera mCam = Camera.open(cameraId);
4 if (mCam != null) {
5     MirrorView mCamPreview = new MirrorView(this, mCam);
6     layout.addView(mCamPreview);
7 }
8 ...

```



Abbildung 4.7: Anzeige Fones-Technik, transparente Ausgabesymbole und Anweisungen

Symbole und Anweisungstexte müssen in einer transparenten Optik ausgegeben werden. Damit Transparenz zum darunter liegenden Spiegelbild-Videostrom gewährleistet wird, muss die Anzahl der Farben auf 16 begrenzt und eine einheitliche Hintergrundfarbe (hier weiß) auf Transparenz gesetzt werden. Außerdem werden als Begrenzungen der Grafiken nur dünne Strichlinien verwendet (Abbildung 4.7).

In Abbildung 4.8 ist der Tablet-PC mit der Überlagerung der zwei Oberflächen zu sehen. In der Mitte des Bildschirms befindet sich zusätzlich ein Feld, um auf die Ablaufsteuerung der Zahnpulanzede Einfluss zu nehmen. Die Symbolanzeige des Bürstortes ist mit einem transparenten Hintergrund ausgestattet und die Begrenzungslinien wurden auf eine minimale Strichdicke reduziert. Auch die großformatige Schrift wurde halb durchsichtig gewählt.



Abbildung 4.8: Tablet-PC mit BrushGuide-Anwendung in transparenter Optik

4.5 Erstellung von Momentaufnahmen überwachter Zahnpflegevorgänge

Momentaufnahmen in Form von Grafikdateien sind für viele Anwendungsfälle interessant. Eltern können das Zahnpflegeverhalten ihrer Sprösslinge überwachen oder der behandelnde Zahnarzt verschafft sich einen kurzen Überblick über die Zahnpflege seiner Patienten. In der Forschung kann mit Schnappschüssen sehr schnell nach wesentlichen Merkmalen in den Probandenaufnahmen gesucht und der Dokumentation beigefügt werden. Die Wiederholrate der Aufnahmen kann dabei so weit gesteigert werden, dass schließlich ein Videostrom aus Einzelbildern vorliegt. Für spätere Analysen werden die Momentaufnahmen mit einem Zeitstempel versehen und im Profilverzeichnis des Nutzers zusammen mit den Sensordaten und den zugehörigen Auswertungsergebnissen gebündelt, die somit für spätere Analysen oder asynchrone Rechendurchläufe zur Verfügung stehen.

Da das Programm mehrere Ebenen des Bildschirmspuffers verwaltet, ergibt sich die Wahl, welche Ebenen in die Aufnahme mit eingefangen werden sollen. Eine Aufnahme, die alle Ebenen umfasst, ist in Abbildung 4.8 zu sehen. Sie

wurde allerdings nicht von dem Anwendungsprogramm erstellt, sondern mithilfe des Eclipse-Werkzeugs Dalvik Debug Monitor Server (DDMS). Die Entwicklungsumgebung erlaubt, über einen Monitordienst auf dem Android-Tablet-PC den Bildschirmpuffer der Grafikkarte direkt auszulesen und in einer Bilddatei zu speichern.

Gemäß Abbildung 4.9 ließe sich direkt visuell überprüfen, ob der angewiesene Putzort eingehalten wurde, vorausgesetzt auf dem Bild ließe sich der genaue Ort der Borsten erkennen. Für maschinelle Auswertungen wird der zugehörige Sensordatensatz analysiert. Im Zuge dieser Berechnungen besitzen die zu dem Zeitpunkt eingeblendeten Anweisungen und Symbolanzeigen eher zweitrangige Bedeutung.

Es ist vom Funktionsumfang der Entwicklungsumgebung und von der Version des Betriebssystems abhängig, welche Methoden bei der Erstellung von Schnappschüssen und Videoaufzeichnungen verwendet werden können. Beispielsweise existiert in einer jüngeren Android-Version (Android 4.4) die Funktion “Screenshot-Video Erstellen”, welche in der Linux-Kommandokonsole des Betriebssystems aktiviert werden kann. Im ungünstigsten Fall müsste der Programmierer die Momentaufnahme aus mehreren Darstellungsebenen neu konstruieren, wenn beispielsweise der Bildschirmpuffer nicht direkt ausgelesen werden kann.



Abbildung 4.9: Schnappschuss der Frontkamera

Da die Bildschirmausgaben der einzelnen Darstellungsebenen mit unterschiedlich gültigen Zeiträumen verbunden sind, sollten die einzelnen Komponenten separat abgespeichert werden. Diese Ressourcen werden dann anhand assoziierter Zeitstempel verwaltet. In Abbildung 4.9 wird beispielsweise nur die Momentaufnahme der Darstellungsebene mit der Frontkamera gezeigt. Sie erhält den Zeitstempel des Abspeicherungsvorgangs.

Für Momentaufnahmen der Frontkamera wird zunächst eine Klasse KameraCallbacks geschaffen, die die Schnittstellen ShutterCallback und PictureCallback implementiert. Um den Mechanismus der Fotoerstellung im Framework der Kamera nutzen zu können, muss vor dem Aufruf der Methode `takePicture(...)` eine Callback-Klasse erzeugt werden, die das Bildformat und die Dateiinformationen der Aufnahme festlegt:

```
1  public class KameraCallbacks
2      implements ShutterCallback, PictureCallback { ... }
```

Die darin implementierte Methode

`onPictureTaken(...)` wird daraufhin von der Kameraklasse aufgerufen (deshalb der Name Callback):

```
1  ...
2  public void onPictureTaken(
3      byte[] data, android.hardware.Camera arg1) { ...
4  ... }
```

In der oben genannten Methode werden das Bildformat und die Dateiinformationen des Fotos festgelegt:

```
1  ...
2  File dir = Environment
3      .getExternalStoragePublicDirectory(Environment.DIRECTORY_PICTURES);
4
5  File file = new File(dir, Long.toString(System.currentTimeMillis())
6      + ".jpg");
7  ...
```

In der Implementierung wird der Zeitstempel aus der Systemzeit des Tablet-PC entnommen. Er besitzt eine Auflösung in Millisekunden und wird direkt in dem Dateinamen hinterlegt.

Damit werden die Informationen in den Ausgabekanal geschrieben:

```

1 ...
2     bos = new BufferedOutputStream(fos);
3     bos.write(data);
4 ...

```

Jetzt kann in der zentralen Ausgabesteuerung zu beliebigen Zeitpunkten eine Momentaufnahme der Kameraebene gebildet werden. Es wird ein Objekt der Klasse KameraCallbacks instanziert und bei Aufruf der Methode `takePicture(...)` mit übergeben:

```

1 ...
2     final KameraCallbacks callbacks = new KameraCallbacks();
3     mCam.takePicture(callbacks, null, callbacks);
4 ...

```

In der von der Kameraklasse aufgerufenen Methode `onPictureTaken(...)` wird die Systemzeit in Millisekunden als Dateiname (= Zeitstempel) hinterlegt und im externen Speicher des Tablet-PC abgelegt (Abbildung 4.10). Die Entwicklungsumgebung Eclipse (ADT) erlaubt es, eine Dateiverwaltung zu starten, um die Bilddateien zu sichten und auf den Arbeitsplatzrechner, der via USB-Verbindung mit dem Tablet-PC verbunden ist und zur Softwareentwicklung (Cross Development) dient, zu übertragen. Ebenfalls kann der externe Speicher des Tablet-PC als Wechseldatenspeicher im PC eingebunden werden.

Um unerwartetes Abbrechen der Anwendung zu vermeiden, werden diverse Fehler bei Ein-/Ausgabeoperationen mit Ausnahmebehandlungen abgefangen. Da zum Zeitpunkt der Erzeugung der Momentaufnahme durch das zentrale Steuerungsprogramm die ausgegebenen Anweisungen und Putzortsymbole bekannt sein sollten, würden diese Informationen einfach dem Datensatz mit dem Bild hinzugefügt werden.

Es gibt jedoch Fälle, bei denen die nachträgliche Rekonstruktion aller Darstellungsebenen für die Ausgabe auf dem Bildschirm Probleme bereitet. Für diesen Anwendungsfall erlaubt Android den entsprechenden Bildschirmausgabepuffer auszulesen. Zuvor muss allerdings der Bildschirmpuffer der anvisierten Ebenen adressiert und freigegeben werden:

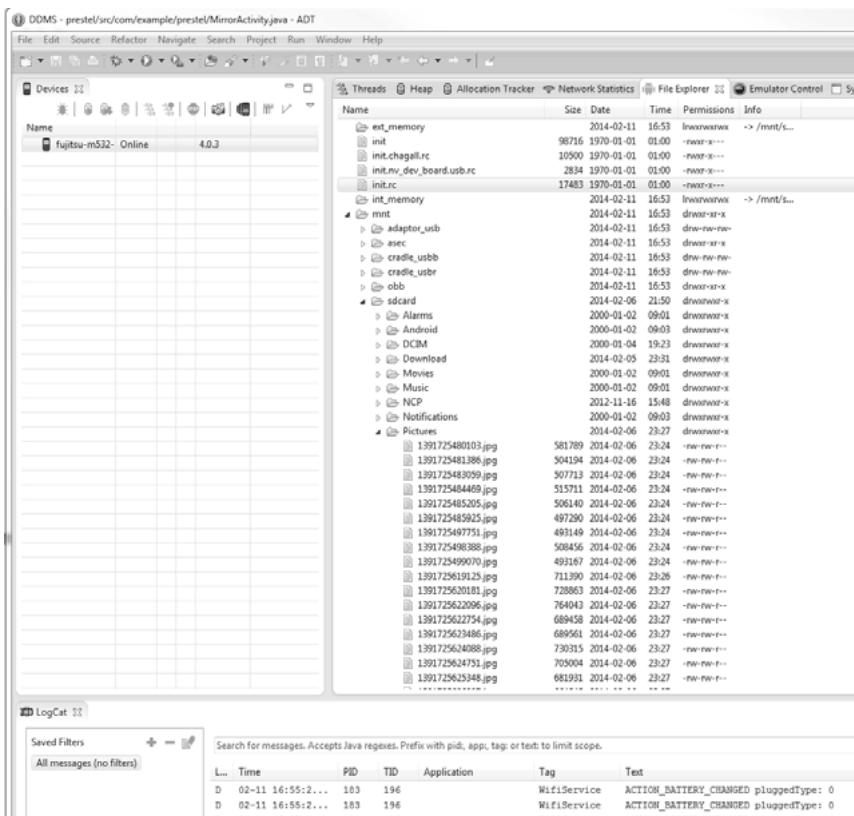


Abbildung 4.10: Dateiverwaltung des Tablet-PC in der Entwicklungsumgebung Eclipse

```

1 ...
2 FrameLayout rootView =
3     (FrameLayout) findViewById(R.id.camPreview).getRootView();
4 rootView.setDrawingCacheEnabled(true);
5 ...

```

Nun kann der Bildschirmpuffer in ein Bitmap-Datenfeld konvertiert werden:

```

1 ...
2 Bitmap bitmap = rootView.getDrawingCache();
3 ...

```

Es wird noch das Speichererzeugnis angegeben:

```

1 ...
2 File imagePath = new
3     File(Environment.getExternalStorageDirectory() +
4         "/Screenshot.png");
5 ...

```

Das Bitmap-Datenfeld wird in das Grafikformat PNG übersetzt und in den Ausgabekanal geschrieben:

```

1 ...
2 FileOutputStream fos = new FileOutputStream(imagePath);
3 bitmap.compress(CompressFormat.PNG, 100, fos);
4 ...

```

4.6 Erzeugung einer Videoaufnahme des Spiegelbildes

Favorisiert werden einzelne Aufnahmen, die dann über Zeitstempel mit den anderen abgespeicherten Informationen aus dem laufenden Zahnpflegenvorgang synchronisiert werden. Eine durchgehende Bildfolge im Sinne einer Videoaufnahme kann mit ihrem inhärenten Zeitindex später mit anderen Datenspuren synchronisiert werden. Eine Videoaufnahme hat den Vorteil, bei einer genügend hohen Bildwiederholrate

einen einzelnen Bewegungsablauf des Zahnpulzvorgangs in Zeilupe in Ruhe sichten zu können.

In dem verwendeten Tablet-PC kann die im System vorhandene Videorecorder-Software von anderen Anwendungen aus über ein INTENT-Objekt aufgerufen werden. Zunächst wird ein Objekt der Klasse Intent erzeugt und mit der korrekten Botschaft initialisiert:

```
1 ...
2 Intent intent = new Intent(MediaStore.ACTION_VIDEO_CAPTURE);
3 ...
```

Danach wird der Videorecorder gestartet:

```
1 ...
2 startActivityForResult(intent, CAPTURE_VIDEO_ACTIVITY_REQUEST_CODE);
3 recorder.start();
4 ...
```

Es sollte jedoch sichergestellt werden, dass die Aufnahmefunktion im Hintergrund ausgeführt wird und die Hauptanwendung BrushGuide nicht störend beeinflusst.

4.7 Sicherung und Analyse mehrerer Aufzeichnungsspuren

Für Forschungen sind alle während des überwachten Zahnpulzvorgangs aufgezeichneten Bewegungen von großer Bedeutung. Jedes Auswertungsergebnis wird aus einer unterschiedlichen Anzahl von Abtastwerten errechnet. Dies hat Einfluss auf die Bestimmung des zugehörigen Zeitstempels, welcher beispielsweise je nach Zuordnung des Berechnungsergebnisses den Stempel des ersten oder den des mittleren Abtastwertes erhält. Bei der schnellen Fourier-Transformation besitzt das Ergebnis sowohl einen Start- als auch einen Endzeitstempel, um die Validität des Ergebnisses für einen ganzen Zeitraum zum Ausdruck zu bringen. Um spätere Analysen zu erleichtern, sollte die verwendete Struk-

tur zur Speicherung unterschiedlicher Daten und Ressourcen die genannten Zeitstempelbestimmungen berücksichtigen.

In Abbildung 4.11 ist anhand der professionellen Auswertesoftware INTERACT erkennbar, wie Forscher mit unterschiedlichen Informationen umgehen. Grundlage des Auswertungsprozesses bildet die Videoanalyse, womit der Zeitgeber der Wiedergabe als Zeitstempelquelle auch für andere Ereignisse dient. Die kleinste anwendbare Zeiteinheit stellt die Einzelbildrahmenfolge des importierten Videos dar. Üblich sind zurzeit 30 Rahmen pro Sekunde. Für diesen Zweck muss die Videodatei zuvor mit einem frei verfügbaren Softwarewerkzeug in ein passendes Format konvertiert werden. Mit der Videosteuerung kann die Wiedergabe in beliebigen Geschwindigkeiten abgespielt werden. Während der Anwender durch die Bildfolge wandert, kann er manuell Ereignisse eintragen, die damit den Startzeitstempel des Zeitgebers erben. Diese Ereignisse können mit Kommentaren oder numerischen Daten ausgestattet werden und besitzen einen Start- und Endzeitpunkt oder nur einen Startzeitpunkt.

Mit der Software kann beispielsweise eine Videosequenz vom Bürsten der Zahnaußentächen eines Sextanten genau mit den begrenzenden Zeitpunkten definiert werden. Dieser Datensatz wird anschließend um die zugehörigen Sensordaten und andere Informationen aus den Putzstatusberechnungen erweitert.

Die Software kann sowohl auf einem externen Rechner als auch direkt auf dem Tablet-PC installiert sein. Damit haben Forscher direkten Zugriff auf alle Aufzeichnungsspuren und können innerhalb der Anwendung weitere Ergebnisse oder Bewertungen eintragen. Ebenfalls erlaubt die Software rasches Navigieren zwischen den Ereignissen.

In Abbildung 4.12 ist die Repository-Anzeige einer BrushGuide-Anwendung zu sehen, bei der die Datentupel, bestehend aus Sensorwerten und Zeitstempel, in einer Datenbank abgelegt werden. Der Zeitstempel besitzt ein Äquivalent des Videozeitindex der Aufnahme, womit beide Aufzeichnungsspuren miteinander synchronisiert sind. Bei der Sichtung lassen sich zum Videobild das zugehörige Datentupel und die entsprechende Stelle des Graphen bequem über einen Schieberegler anzeigen. In der Datenbank können über verbundene Tabellen manuelle Einträge (Kommentare) oder berechnete Auswertungen hinzugefügt werden, welche den Zeitstempel eines spezifi-

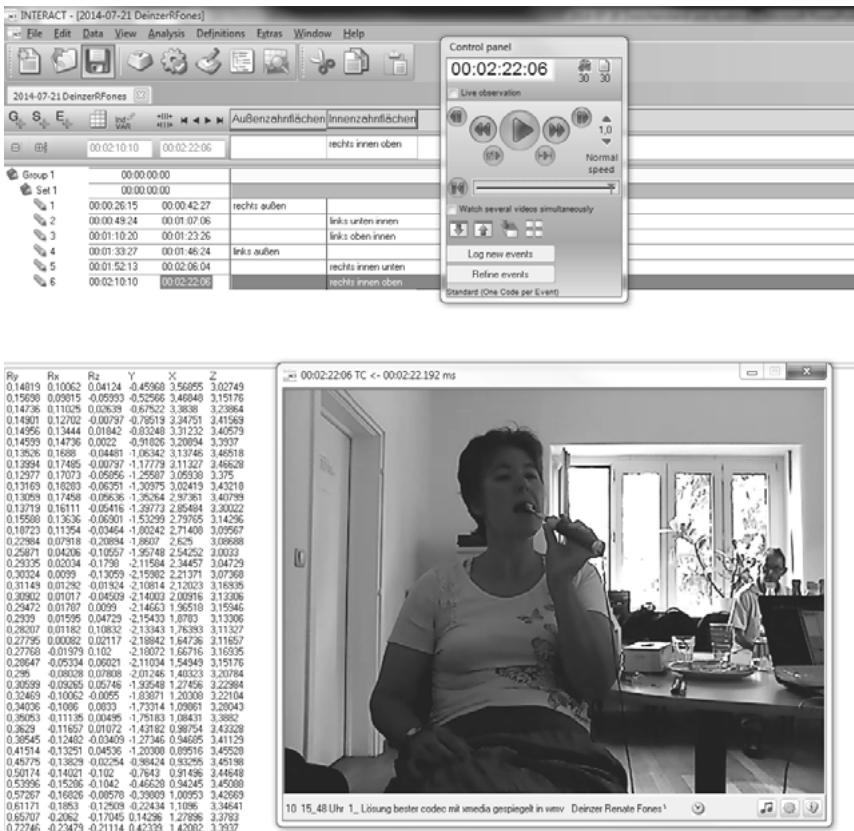


Abbildung 4.11: Sicherung mehrerer Aufzeichnungsspuren durch die Software INTERACT



Abbildung 4.12: BrushGuide-Repository:
Aufzeichnungsspuren

Synchronisierung

mehrerer

zierten Datentupels übernehmen und somit bei späterer Sichtung zum eingestellten Zeitindex angezeigt werden können.

Kapitel 5

Transfer der Technologie

Langwierige und intensive Entwicklung eines derart komplexen Systems wie die hier beschriebene intelligente Zahnbürste geben immer wieder Gelegenheit, die dort entwickelten Konzepte anderweitig einzusetzen. Hier konnten darüber hinaus Ergebnisse eines Vorgängerprojekts verwendet werden. In [Pre11] sowie [Dei+11a] wurde beschrieben, wie insuffiziente Nervenleitungen vom Gehirn zur menschlichen Skelettmuskulatur mit Ansätzen der Elektro- und Informationstechnik substituierbar ist.

Mit den für die intelligente Zahnbürste entwickelten Technologien lässt sich umgekehrt ein Mangel an Nervenendigung (z.B. Schmerzrezeptoren) und/ oder insuffizienter Nervenleitung von diesen Rezeptoren zum Gehirn substituieren. Fehlende Schmerz- oder andere Rezeptoren können Folge einer Amputation oder bestimmter Krankheiten (wie z.B. Diabetes) sein. Der hier beschriebene Ansatz soll daraus resultierende Folgeschäden minimieren. Die Haftung von Prothesen am Körperstumpf ist wechselnden Belastungen ausgesetzt. Die folgend beschriebene medizintechnische Lösung ([Dei+15a]) warnt Träger von Prothesen vor Überlastung am Stumpf.

Das Gerät warnt rechtzeitig vor Über- oder Fehlbelastung von Körperteilen eines Menschen in den Fällen, wo die körpereigene Sensorik das nicht mehr leisten kann. Es besteht aus einem Sensorsystem für Druck, Feuchtigkeit, Temperatur, Verschiebung und Hautwiderstand. Dieses wird vor Ort, beispielsweise an der Kontaktfläche Prothese/Stumpf, am Stumpfstrumpf, am Schuh oder am Strumpf bei Diabeteskranken, befestigt und idealerweise drahtlos mit einer Auswerte- und Anzeigeeinheit

verbunden, die optisch, akustisch oder via Rückmeldung über das Nervensystem vor einer Überbelastung warnt.

Erkenntnisse aus der Erforschung der informationstechnischen Hilfestellung für den Zahnpflegenvorgang sind in den Entwurf dieser Vorrichtung mit eingeflossen. Da in der Prothese auch Sensoren Verwendung finden, die in einer Zahnbürste noch nicht verbaut sind, können Erkenntnisse über ihre Auswertung zukünftige Entwicklungen für die elektronische Unterstützung des Zahnpflegens erweitern.

5.1 Probleme bei sensorischen Prothesen

Nach Amputationen sind am Stumpf häufig nicht genügend Schmerzrezeptoren verfügbar, um eine entsprechende Warnfunktion ausüben zu können. Vergleichbare – weniger stark ausgeprägte – Probleme können bei bestimmten Ausprägungen von Diabetes auftreten oder bei anderen Formen von Nervenschädigungen. Das ist auch deshalb problematisch, weil bei diesem Personenkreis die Wundheilung im Vergleich zum Gesunden deutlich verzögert abläuft. Vergleichbare Läsionen und Entzündungsreaktionen treten auch bei Gesunden auf, wenn beispielsweise Strümpfe im Bergstiefel Falten schlagen oder der Stiefel falsch geschnürt wurde. Hier wird aber der Betroffene meist rechtzeitig durch entsprechende Schmerzen gewarnt. Mangelnde Schmerzempfindung ist kein technisches, sondern ein durch Krankheit oder Verletzung bedingtes gesundheitliches Problem.

In [KS07] ist ein Schreibstift mit ausgefeilter Sensorik, insbesondere für Haltedruck und Hautwiderstand, beschrieben, der auch zur Frühdiagnose von Krankheiten des zentralen Nervensystems eingesetzt werden kann. Die Sensordaten und die beschriebene Auswertung der Daten reichen jedoch nicht aus, um auch das Verrutschen von Prothesen oder einer Fehlbelastung eines Stumpfes ausreichend zu detektieren.

In [Dei+11b] werden Sensordaten über eine standardisierte Funkschnittstelle an ein Smartphone übertragen, das als Auswerte- und Anzeigegerät dient (vgl. [Dei+14b], [Dei+14c], [Dei+13]). Die Anzeigegeräte dienen der grafischen Ausgabe des Bürststatus. In Schuhen der Firma Nike gibt es Aussparungen für einen Sen-

sor, der als Schrittzähler fungiert und seine Daten an ein Smartphone als Auswerte- und Anzeigeinstrument überträgt. Isaac Asimov beschreibt in seinem Buch “Fahrstuhl zu den Sternen” ein Warngerät für Herzkranke. In [Dat15] wird ein juxta-korporaler Defibrillator beschrieben, der ebenfalls vor oder statt einer Defibrillation den Träger oder die Umgebung warnt. In [KG97] wird eine Vorrichtung zur elektrischen Nervenstimulation beschrieben. Diese hat aber als Ziel, die Heilung des Gewebes zu unterstützen. Das Patent [Dav05] “Vorrichtung zur magnetischen Stimulation von peripheren Nerven” dient ebenfalls zur Unterstützung der Heilung. [WWZ06] beschreibt auch einen verbesserten magnetischen Neurostimulator, der sich durch geringes Gerätewicht und hohe Variabilität auszeichnet. Eine Recherche beim größten Hersteller von Prothesen Otto Bock ([Ott]) hat ergeben, dass er keine Sensorprothesen anbietet.

Außer der beschriebenen optischen Kontrolle zur Detektierung einer Überlastung des Stumpfs sind keine Vorrichtungen zur elektronischen Erkennung bekannt. Ähnliche Probleme treten beim Wundliegen im Krankenhaus auf. Dort wird das Pflegepersonal für die regelmäßige Kontrolle sensibilisiert. Personen aus den entsprechenden Risikogruppen sind bis jetzt auf optische Kontrolle, beispielsweise vor An- oder nach Ablegen der Prothese oder im Rahmen der Morgen- und/oder Abendtoilette angewiesen. Diese Kontrolldichte ist aber zu niedrig; weil sich im Laufe eines Tages bei falsch angelegter Prothese schon massive Entzündungen und/oder Verletzungen ergeben können, weshalb kontinuierliche Kontrolle – wie beim Gesunden, der durch Schmerz gewarnt wird – erforderlich ist.

5.2 Technische Lösung

Es ist mit geeigneter Sensorik permanent der Ist-Zustand festzustellen und das Verlassen des Normbereichs zu detektieren und zu melden. Der Normbereich muss individuell festlegbar sein. So wird auch jede Prothese dem Träger individuell angepasst, womit auch die Schwellen ermittelt werden, ab denen gewarnt werden soll. Es muss weiter möglich sein, aus der Kombination der Sensordaten eine mögliche Überlastung oder Gefährdung zu erkennen. Die Anzeige muss ebenfalls individuell einstellbar sein, wobei die Intensität der Warnmeldung der augenblicklichen Überlastung oder Gefährdung entsprechen muss.

Die in [Dei+15a] beschriebene Vorrichtung besteht aus einem Sensorsystem (beispielsweise für Druck, Feuchtigkeit, Temperatur, Verschiebung, Hautwiderstand) vor Ort (z.B. Kontaktfläche Prothese/Stumpf, Stumpfstrumpf, Schuh oder Strumpf bei Diabeteskranken) und einer idealerweise drahtlos verbundenen Auswerte- und Anzeigeeinheit, die optisch oder akustisch vor einer Überbelastung warnt. Wenn für die drahtlose Übertragung ein standardisiertes Übertragungsverfahren – beispielsweise Bluetooth – gewählt wird, kann als Auswerte- und Anzeigeeinheit ein handelsübliches Smartphone verwendet werden. Ein Sensorsystem, welches sicher gekapselt und klein genug sein muss, damit es – beispielsweise in einem Strumpf – nicht aufträgt, muss dort platzierbar sein, wo die körpereigene Sensorik nicht mehr genügend Rückmeldung geben kann.

Die laufende Auswertung der Sensordaten erzeugt unterschiedliche Status-, Warn- und Alarmmeldungen. Ein pulsförmiger Druckanstieg wird mit einer höhere Alarmschwelle assoziiert als ein konstant ausgeübter Druck und zeugt von einer punktuellen Überlastung. Wenn ein Ereignis als vorübergehend einzuordnen ist, wird eine Warnmeldung erst bei höheren Werten erzeugt und eine Botschaft mit dem Inhalt übermittelt, bei der Bewegung mehr Vorsicht walten zu lassen. Ein konstanter Druck mit zu hohem Wert hingegen beweist, dass die Passung der Prothese falsch vorgenommen wurde und fordert zur Korrektur auf.

Um einzelne Druckpunkte in der Auflagefläche zwischen Prothese und Körperstumpf zu finden, ist es notwendig, ein Feld von Drucksensoren in die Auflagefläche zu weben. Damit können schon bei der Anpassung bzw. dem Anziehen der Prothese schmerzhafte Druckpunkte umgangen werden und während des Einsatzes, beispielsweise durch körperliche Bewegung, lassen sich aufkommende Druckpunkte so gezielt räumlich eingrenzen, welches beispielsweise in eine Pause mündet oder in einer Korrektur der Passung.

Sensoren für Verschiebung können mit Beschleunigungssensoren realisiert werden. Verschiebungen zwischen Körperstumpf und Prothese werden immer durch Haftreibung kurz aufgehalten und erzeugen anschließend kurze Beschleunigungsimpulse, welche durch obengenannte Sensoren optimal erfasst werden. Mit Amplitude und Anzahl dieser Impulse lässt sich ein Maß für die Verschiebung ableiten. Selbst wenn die Prothese während starker Belastungen immer wieder rutscht und zurückrutscht, kann mit diesem Sensor ein Profil während des Tragens erstellt werden, das Rückschlüsse über Qualität der Prothesenpassung erlaubt. Ebenso können die

Daten mit unterschiedlichen Bewegungsabläufen korreliert werden und in Aussagen münden, welche Bewegungen günstig für den Prothesenträger sind und welche eher selten ausgeführt werden sollten. Der Benutzer erhält hierbei wichtige Informationen, beispielsweise ob Sprünge mit seiner Beinprothese bedenkenlos durchgeführt werden können oder eher nur im Notfall ausgeführt werden sollten. Diese Trageprofile können auch in Abhängigkeit der Nässung der Auflagefläche gesetzt werden. Die Informationen können ebenfalls mit eingewobenen Feuchtigkeitssensoren gewonnen werden. Mit den Daten aus Verrutschung und Feuchtigkeit lassen sich neue Erkenntnisse über das Verhalten bei unterschiedlichen Tagesabläufen gewinnen und fließen in das Produktions-Knowhow neu anzufertigender Prothesen ein oder erhöhen den Tragekomfort des Anwenders, indem individuelle Leitfäden für die Benutzung erstellt werden.

In einer ersten Ausprägung meldet das Gerät die Überschreitung der eingestellten Schwellwerte, beispielsweise der Temperatur, die den Beginn einer Entzündungsreaktion anzeigen kann. In einer späteren Ausbaustufe lernt das System den Normzustand aus der Kombination der Sensordaten und erkennt genauer frühzeitig Entwicklungen, die das Verlassen des Normal- oder Komfortbereichs zur Folge haben. In einer weiteren vorteilhaften Ausprägung könnte die Rückmeldung durch Erzeugung eines leichten Schmerzes über die Restsensorik erfolgen ([Dei+11a], [Pre11]). Am Ort des Sensorsystems wäre auch ein Aktor wie beispielsweise ein elektrischer Kontakt lokalisiert, über den zur Warnung ein harmloser elektrischer Schlag ausgelöst würde. Ebenfalls möglich wäre eine Reizung der noch vorhandenen Nerven über magnetische Neurostimulatoren.

In einer alternativen Ausprägung zeigt das Anzeigegerät den Bereich von Prothese und Körperstumpf in halbtransparenter Optik, wo der Benutzer die Auflagefläche der Prothese erkennt und ortsabhängige Druck- und Feuchtigkeitspunkte in ihrer Wertigkeit dargestellt werden. Dies geschieht über sinnvolle Einfärbung der Flächen mit einem Farbspektrum, bei dem Rot warnt und Grün für unbedenklich steht. Damit erhält der Anwender laufend Rückmeldung und ist stets über den Zustand seiner Prothesenpassung informiert. Er wird rechtzeitig vor Überbeanspruchung gewarnt und kann hingegen bei Unbedenklichkeit gewisse sportliche Aktivitäten mit gutem Gewissen praktizieren.

Mit Hilfe der eingewobenen Sensorenfelder werden Belastungsprofile beim Tragen der Prothese erstellt. Die Daten lassen unterschiedliche Auswertungen zu und

können hinsichtlich Forschung, Fertigung und Leitfäden für Benutzer eine große Rolle spielen. Sogar ohne Verwendung von Prothesen, beispielsweise bei Diabetes, kann diese Technologie für Therapien oder Regenerationsvorgänge wesentliche Hilfestellungen leisten.

Das Gerät meldet zu Beginn der Verwendung frühzeitig Gefahren des Verrutschens der Prothese, drohender Entzündung und einer Überlastung des Stumpfes. Später lernt es anhand eines wiederkehrenden Belastungsprofils, die Schwelengrenzen der jeweiligen Situation anzupassen und den richtigen Zeitpunkt eines Warnsignals zu berechnen. Alternativ kann auch bei steigender Gefahr das Nervensystem des Kranken über harmlose, aber empfindungsfähige Schmerzimpulse angeregt werden.

Kapitel 6

Ergebnisse und Ausblick

6.1 Zusammenfassung

In der Gesundheitsvorsorge haben breite Bevölkerungsschichten bereits große Fortschritte erzielt. Eine bessere Einstellung und eine gesunde Lebensführung sind gewohnte Verhaltensmuster. Obwohl in diesem Bereich bereits viel erreicht wurde, trotzen einige Lebensbereiche diesen Erfolgen. Paradontale Pflege stellt für viele Menschen eine schwierige Aufgabe dar. Sie lassen sich in regelmäßigen Abständen von ihrem Zahnarzt untersuchen und nehmen an Prophylaxesitzungen teil. Dennoch sind bei vielen Menschen Zahnersatzbehandlungen erforderlich. Es ist offensichtlich, dass die damit verbundene Zahn- und Mundpflege ein höheres Entwicklungsstadium erreichen muss, um diesem Trend Einhalt zu gebieten. Die entscheidenden Ideen zur Lösung dieser Problemstellung wurden in Kapitel 2 dargelegt.

Die hier beschriebene Vorrichtung ist in der medizinpsychologischen und zahnmedizinischen Forschung einsetzbar. Sie hat mittlerweile in zwei Pilotuntersuchungen an der Justus-Liebig-Universität Gießen (Institut für Medizinische Psychologie; Leitung: Prof. Dr. Renate Deinzer), in denen das Zahnpflegeverhalten von insgesamt 280 Probanden aufgezeichnet wurde, ihre Praxistauglichkeit bewiesen. Die Handhabung war hierbei für Probanden und Studienleitung gleichermaßen einfach und unproblematisch, die Sensordaten wurden zuverlässig übertragen und aufgezeichnet. Darüber hinaus bietet sie Anwendungsmöglichkeiten in der zahnmedizinischen Prophylaxe, und zwar sowohl der Individualprophylaxe beim einzelnen Patienten

in der Zahnarztpraxis, als auch in der Gruppenprophylaxe in Kindergärten und Schulen. Schließlich kann die iBrush als Massenprodukt in breiten Bevölkerungsschichten dazu beitragen, dem oben angesprochenen Mangel in der Zahn- und Mundpflege abzuhelpfen.

6.2 Erzielte Ergebnisse

Während Rechenkapazitäten in vielen Haushalten in Form mobiler Rechner ausreichend vorhanden sind, können sie ihre Fähigkeit zur Hilfestellung in der Zahnpflege nur in begrenztem Rahmen ausspielen. Mit grafischen Erläuterungen und Einweisungen auf dem Bildschirm fehlt die individuelle Ausrichtung am Gesundheitsstatus des Nutzers. In der vorliegenden Arbeit wird gezeigt, dass eine mit Sensoren ausgestattete Zahnbürste Voraussetzung zum Einsatz elektronischer Hilfen ist. Im dargestellten Prototypen (Abbildung 6.1) wird beispielsweise der Putzort wie bei zurzeit im Handel verfügbaren Anzeigen vorgegeben. Zusätzlich berechnet das Gerät laufend den Bürstort und gibt bei Zuwiderhandlung im Feld unten in roter Farbe eine Korrekturanweisung aus. Neben dem laufenden Spiegelbild wird auch der aktuelle Anpressdruck als Balken ausgegeben und bei zu hohem Wert rot eingefärbt. Die unter dem Spiegelbild ausgegebenen Graphen dienen dem Nutzer als Nachweis für die übertragenen Messwerte der Sensoren (Achs- und Winkelbeschleunigung sowie Anpressdruck). Während die Anwendung eher einen technisch orientierten Benutzer anspricht, orientiert sich die BrushGuide-Anwendung in Abbildung 6.2 an einem üblichen Konsumenten. Das aufgenommene Video nimmt nahezu den gesamten Bildschirm ein und Anweisungen, aktueller Anpressdruck sowie Aufforderungen zur Korrektur werden in transparenter Optik mit Hilfe von Sprechblasen eingeblendet. Über Farbverläufe und Emoticons werden Dringlichkeitsstufen übermittelt. Beide Beispielanwendungen zeichnen den Bürstverlauf mit allen Sensorwerten und Ausgaben detailgerecht auf, womit eine spätere Offline-Analyse ermöglicht wird.

Mit den beschriebenen Berechnungsmethoden ist es mittels Echtzeitauswertung der Sensordaten auch erstmals möglich, dass Benutzer für sie effektive Zahnpflege-Methoden mit Hilfe einer individuell abgestimmten Anleitung ihres Zahnpflege-Überwachungssystems interaktiv trainieren können. Selbst bei bereits korrekt antrainierter Bürsttechnik wird die Güte des Putzvorgangs laufend bewertet und dem Nutzer mit-

geteilt. Beispielsweise kann auf diese Weise eine elementare Bewegungsform wie Herauswischen mit andauernder Rückmeldung über den angewendeten Anpressdruck und die Rotationsbeschleunigung des Bürstenkopfes auf eine Weise antrainiert werden, dass sie Speisereste aus den Zahnzwischenräumen entfernt, ohne das Zahnfleisch zu verletzen. Neue medizinische Erkenntnisse und Ergebnisse neuer Forschungen in Form beispielsweise neuer Elementarbewegungen, die zu einer Bürstechnik kombiniert werden, können in das vorhandene Informationssystem integriert und somit an die Nutzer unmittelbar weitergegeben werden.

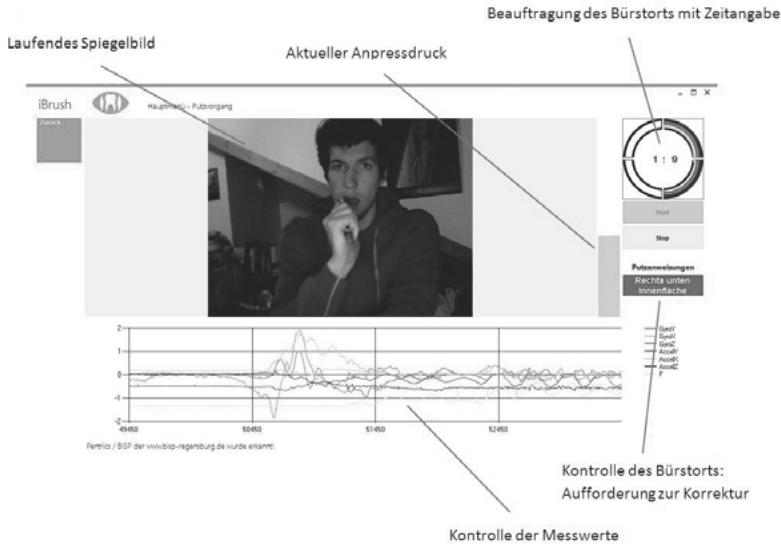


Abbildung 6.1: BrushGuide-Anwendung mit Online-Fehlerkorrektur

Für eine spätere, optionale Offline-Analyse kann jeder einzelne Sensorwert mit dem exakten Videozeitindex gesichtetet werden. In der in Abbildung 6.3 gezeigten Anwendung wird auf den Graphen der Achsbeschleunigungen ein gleitender Durchschnitt mit 100 Werten angewendet, um den ermittelten Bürstort direkt mit dem Ort der Zahnbürste in der Videoaufnahme zu vergleichen. Auf diese Weise können gleichzeitig Auswertungen über erkannte Elementarbewegungen und über Bürstortberechnungen generiert und in der Datenbank mit dem zugehörigen Datentupel gespeichert werden. Dies ermöglicht erstmals Studien mit hoher Probandenzahl, weil die maschinelle Unterstützung der Auswertung den aufwändigen Zeiteinsatz bei der Sichtprüfung der Videoaufnahmen erheblich reduziert: Die örtlich erkannte gebürstete Zahnoberfläche mit angewandter Zeit sowie die benotete Anwendung einer Elementarbewegung erlaubt



Abbildung 6.2: BrushGuide-Anwendung für Online-Unterweisung und -Korrektur

ben in späteren Analysen den gesamten Zahnpflegevorgang als Aneinanderreihung einzeln bewerteter Bürstvorgänge darzustellen und beliebig verschachtelte Ebenen des Vorgangs als Ganzes zu bewerten. Damit wird belastbares Datenmaterial für zukünftige wissenschaftliche Erkenntnisse geschaffen.

Hier bringt die in vorliegender Arbeit beschriebene und prototypisch fertiggestellte Zahnbürste mit Anzeigeeinheit einen massiven Erkenntnisgewinn. So wird nicht nur der zeitliche Aufwand für die Analyse um Größenordnungen reduziert, sondern genaue Werte am Ort des Putzvorgangs (neben Anpressdruck mindestens weitere sechs physikalische Größen) sind erstmalig verfügbar. Auf der Basis neuer Studien lassen sich erprobte und evidenzbasierte Zahnpflegetechniken entwickeln, die den heute noch nicht erfüllten Pflegeanforderungen des Mundraums entsprechen.

Die Fortentwicklung der mit Sensoren unterstützten Zahnbürste iBrush mit beispielsweise eingebauten Miniaturkameras bereitet den Weg sowohl für visuelle Überprüfungen als auch für weitergehende rechnergestützte Bilddatenanalysen, womit beim Nutzer zusätzlich zu korrekt angewandter Mundraumpflege auch das Informationsbedürfnis über den aktuellen Zustand seiner Zähne und seines Zahnfleischs

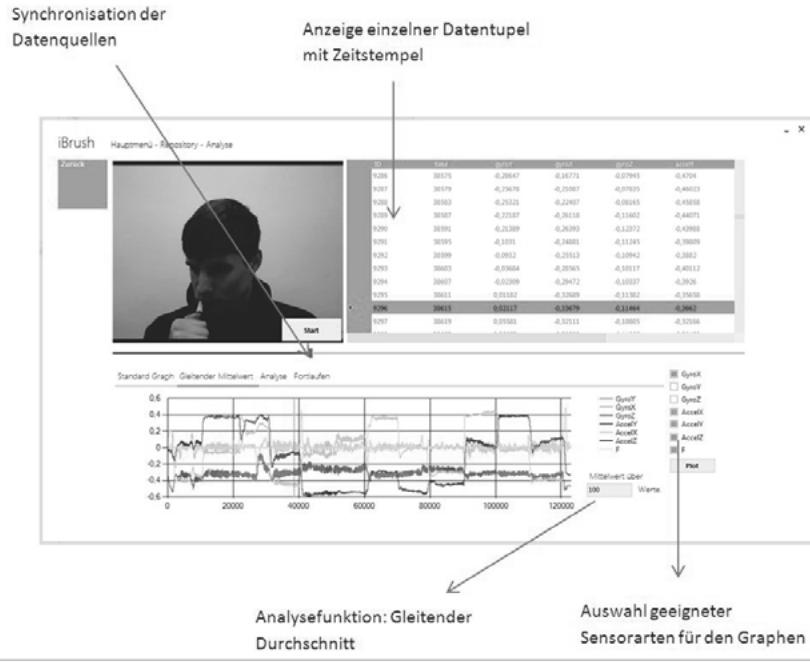


Abbildung 6.3: BrushGuide-Anwendung mit Offline-Analysefunktion

befriedigt werden kann. Mit den Ergebnissen aus der optischen Analyse lassen sich die Auswertungen weiter verfeinern. Im Funktionsumfang angepasste Zahnpflegetechnische Überwachungssysteme wird es für die Bereiche Forschung, Prophylaxe und als Massenprodukt geben. Die iBrush stellt ebenfalls überhaupt das erste intelligente Zahnpflegesystem für den Massenbereich dar: Selbst in Deutschland benutzen nur 38% der Bevölkerung eine elektrische Zahnbürste ([ZL14]); und weltweit ist der Anteil derjenigen, die elektrische Zahnbürsten benutzen, verschwindend gering gegenüber der Verbreitung der manuellen Zahnbürste. Algorithmen der iBrush zur Bestimmung des Bürstortes können aber selbstverständlich auch für elektrische Zahnbürsten angepasst und wiederverwendet werden – auch hier ist großes Potential beispielsweise für individualisierte Benutzerführung vorhanden.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden prototypisch alle möglichen Interaktions- und Rückmeldeoptionen für das Massenprodukt entwickelt. So ist eine App erstellt worden, die in das Spiegelbild des Benutzers Handlungsanweisungen in Form von

- Sprechblasen und anderen textuellen Darstellungen,

- Grafiken,

- Animationen,

- Symbolen bis hin zu

- eingebblendeten Fotos

anbietet. Darüber hinaus ist auch eine

- akustische Rückmeldung

erfolgreich erprobt worden.

6.3 Ausblick

Wahrnehmungs- und Lernpsychologie gehört nicht zu den Schwerpunkten der vorliegenden Arbeit. Deshalb ist das Thema einer weiteren Promotion am Institut für Medizinische Psychologie in Gießen die Erforschung des Lernverhaltens von Zähneputzenden, die ein Zahnpflege-Techniküberwachungssystem über eine definierte Zeitdauer verwenden. Bei der Anwendung schwierigerer Bewegungsformen helfen kleine Animationen wie in dem in Abbildung 6.4 gezeigten Beispiel oder der gesamte Bildschirm wird mit einer roten Tönung versehen (Abbildung 6.5), falls beispielsweise eine Bewegung auf eine Weise ausgeführt wird, bei der sogar Gefahr droht. Unterschiedliche grafische und akustische Untermalungen verursachen unterschiedliche wahrnehmungspsychologische Prozesse. Für Kinder können Lob und Tadel durch eigens definierte Emoticons ausgedrückt werden, die die Umsetzung einer Aufforderung wesentlich beschleunigen oder mit einem glücklichen Gesicht zum Weitermachen auffordern.



Abbildung 6.4: Animation zum Erlernen einer Bewegungsform

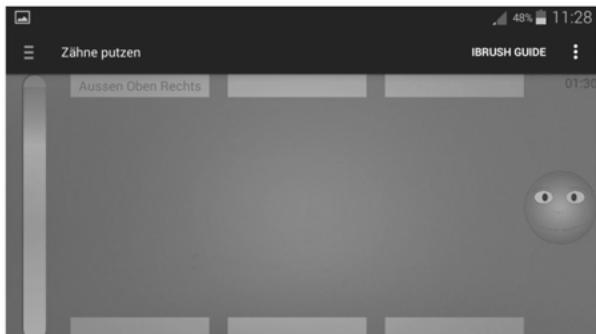


Abbildung 6.5: Warnung vor Gefahr

Literatur

- [AF+14] G. Al-Falouji, D. Prestel, G. Scharfenberg, R. Mandl, A. Deinzer, W.A. Halang, J. Margraf-Stiksrud, B. Sick und R. Deinzer. „SMART-iBrush – Individuelle Unterstützung durch Messung von Bewegung und Druck mit einer intelligenten Zahnbürste“. In: *Erste Transdisziplinäre Konferenz zum Thema: Technische Unterstützungssysteme, die die Menschen wirklich brauchen, Tagungsband*. Helmut-Schmidt-Universität. Hamburg, 2014. ISBN: 978-3-86818-073-2.
- [And] *Klassenbeschreibungen*. Google Inc.: Android™. URL: <http://developer.android.com> (besucht am 04.02.2015).
- [Azu95] R. Azuma. „A survey of augmented reality“. In: *Presence: Teleoperators and Virtual Environments* 6.4 (Aug. 1995), S. 355–385. URL: <http://www.cs.unc.edu/~azuma/ARpresence.pdf> (besucht am 04.02.2015).
- [Bac12] M. Bach. *Mobile Anwendungen mit Android, Entwicklung und praktischer Einsatz*. Addison-Wesley Verlag, Dez. 2012. ISBN: 978-3827330475.
- [Bas54] C. C. Bass. „An effective method of personal oral hygiene; part II.“ In: *Journal of the Louisiana State Medical Society* 106.3 (1954), S. 101–112.
- [Bee+94] L. Beerstecher, D. Hruza, R. Stetter-Alle, R. Sutter und K. Trackl. „Patent: Verfahren und Vorrichtung zur Intensivreinigung von ärztlichen, insbesondere zahnärztlichen, Gegenständen“. Pat. EP0638296B1. 1994.
- [BH09] J. Benra und W.A. Halang. *Software-Entwicklung für Echtzeitsysteme*. Springer-Verlag, 2009.
- [Bis] *Biometric Smart Pen Project*. BiSP Center Regensburg. 2015. URL: <http://www.bisp-regensburg.de> (besucht am 04.02.2015).

- [Ble12] C. Bleske. *Java für Android, Native Android-Apps programmieren.* Franzis Verlag GmbH, Apr. 2012. ISBN: 978-3645601108.
- [BP10] A. Becker und M. Pant. *Android 2, Grundlagen und Programmierung.* dpunkt. Verlag gmbH, Mai 2010. ISBN: 978-3898646772.
- [Bry+05] W. Bryant, A. Cense, M. Jager, M. Dekker, P. Duineveld, B. Gottenbos, J. Hayenga und J. Janssen. „Patent: Droplet Jet System for cleaning“. Pat. WO002005070324A2. 2005.
- [Car11] M. Cargenta. *Einführung in die Android Entwicklung.* O'Reilly Verlag GmbH & Co.KG, Juli 2011. ISBN: 978-3868991147.
- [Dör] S. Dörfler. XMedia Recode. URL: <http://www.xmedia-recode.de> (besucht am 04.02.2015).
- [Dat15] F. Dathe. „Konzeption eines juxtakorporalen Defibrillators“. Magisterarb. 2015.
- [Dav05] K. R. Davey. „Patent: Vorrichtung zur magnetischen Stimulation von peripheren Nerven“. Pat. DE69533970T2. 2005.
- [Dei+09] R. Deinzer, W. Micheelis, N. Granrath und T. Hoffmann. „More to learn about: periodontitis-related knowledge and its relationship with periodontal health behaviour“. In: *Journal of Clinical Periodontology* 36.9 (Juli 2009), S. 756–764. DOI: 10.1111/j.1600-051X.2009.01452.x.
- [Dei+11a] A. Deinzer, R. Deinzer, W.A. Halang und D. Prestel. „Patent: Implantierbarer myoelektrischer Muskelstimulator“. Pat. DE102011010575. 2011.
- [Dei+11b] A. Deinzer, G. Scharfenberg, R. Deinzer und J. Margraf-Stiksrud. „Patentanmeldung: Intelligente Zahnbürste (iBrush)“. Pat. DE102010053688A1. 2011.
- [Dei+13] A. Deinzer, R. Deinzer, W.A. Halang und D. Prestel. „Patentanmeldung: Anzeigegerät zur Überwachung des Zahnpflegevorgangs“. Pat. DE102013016105A1. 2013.
- [Dei+14a] A. Deinzer, R. Deinzer, W.A. Halang, R. Mandl, J. Margraf-Stiksrud, D. Prestel und G. Scharfenberg. *Eintragung der Wort/Bildmarke BrushGuide, DPMA, 28.02.2014, Veröffentlichung 04.04.2014 DE302013058278.* 2014.

- [Dei+14b] A. Deinzer, R. Deinzer, W.A. Halang und D. Prestel. „Patentanmeldung: Informationssystem zur Unterweisung in und Überwachung der Anwendung von Zahnpflegetechniken“. Pat. DE2014006453.0. 2014.
- [Dei+14c] A. Deinzer, R. Deinzer, W. A. Halang, J. Margraf-Stiksrud, D. Prestel und G. Scharfenberg. „Patentanmeldung: Zahnpflegeeinheit zur Überwachung und Unterweisung einer Zahnpflegetechnik“. Pat. DE102014001163A1. 2014.
- [Dei+15a] A. Deinzer, R. Deinzer, W.A. Halang und D. Prestel. „Patentanmeldung: Protheseneinrichtung mit sensorischer Erfassung der Belastung“. Pat. DE102015009220.0. 2015.
- [Dei+15b] A. Deinzer, R. Deinzer, W. A. Halang, B. Wöstmann und D. Prestel. „Patentanmeldung: Vorrichtung und Verfahren zur Überwachung und Lehre von elementaren Reinigungs- und Hygienebewegungsführungen bei der Mundraumhygiene“. Pat. DE102015009215.4. 2015.
- [Dei+15c] A. Deinzer, R. Deinzer, W.A. Halang, B. Wöstmann und D. Prestel. „Patentanmeldung: Vorrichtung und Verfahren zur Reinigung von Zähnen und Zahnersatz“. Pat. DE102015006103.8. 2015.
- [DG07] P. Duineveld und J. Grez. „Patent: A Surface Detection System For Use with a Droplet Spray Oral Cleaning Device“. Pat. WO002008001303A1. 2007.
- [DHP15a] A. Deinzer, W.A. Halang und D. Prestel. „Patentanmeldung: Vorrichtung zur Zahnpflege mittels Beschuss von Tröpfchen“. Pat. DE102015000878.3. 2015.
- [DHP15b] A. Deinzer, W.A. Halang und D. Prestel. „Patentanmeldung: Zahnpflegegerät mit Flüssigkeit liefernden Borsten“. Pat. DE102015000877.3. 2015.
- [DHP15c] A. Deinzer, W.A. Halang und D. Prestel. „Patentanmeldung: Zahnpflegegerät mit ausfahrbaren Borsten“. Pat. DE102015000887.0. 2015.
- [Erd] S. Erdbories. *Android Hilfe Erdbories Medienmanagement*. URL: <http://www.android-hilfe.de> (besucht am 04.02.2015).
- [Fer+08] R. Ferro, A. Besostri, L. Strohmenger, L. Mazzucchelli, G. Paoletti, A. Senna, E. Stellini und S. Mazzoleni. „Oral health problems and needs in nursing home residents in Northern Italy.“ In: *Community Dent Health* 25.4 (Dez. 2008), S. 231–236.

- [FI12] F. Franke und J. Ippen. *Apps mit HTML5 und CSS3*. Galileo Press, 2012.
- [Fon21] A. C. Fones. *Mouth Hygiene; A Text-Book for Dental Hygienists*. General Books LLC, 1921. ISBN: 9781152425538.
- [Fuj] *Manual Tablet- PC*. Fujitsu. URL: <http://www.fujitsu.com> (besucht am 04.02.2015).
- [Göt99] U. Götz. „Patentanmeldung: „Mundhygienecenter““. Pat. DE000019935067A1. 1999.
- [Glu+10] C. Gluhak, G. V. Arnetzl, R. Kirmeier, N. Jakse und G. Arnetzl. „Oral status among seniors in nine nursing homes in Styria, Austria.“ In: *Gerodontology* 27.1, Epub 2009 Mar 26 (März 2010), S. 47–52. DOI: 10.1111/j.1741-2358.2009.00281.x.
- [GM90] D. Giuliani und R. Martin. „Patent: Zahnpflegemittel bzw. Medikamente abgebende Zahnbürste“. Pat. DE69129273T2. 1990.
- [Gra+13] C. Graetz, J. Bielfeldt, L. Wolff, C. Springer, K. M. Fawzy El-Sayed, S. Sälzer, S. Badri-Höher und C. E. Dörfer. „Toothbrushing Education via a Smart Software Visualization System“. In: *Journal of Periodontology* 84.2 (Feb. 2013), S. 186–195.
- [Ham] *Erste Transdisziplinäre Konferenz zum Thema: Technische Unterstützungssysteme, die die Menschen wirklich brauchen, Tagungsband*. Helmut-Schmidt-Universität. Hamburg, 2014. ISBN: 978-3-86818-073-2.
- [Har+12a] D. Harnacke, S. Mitter, M. Lehner, J. Munzert und R. Deinzer. „Improving Oral Hygiene Skills by Computer-Based Training: A Randomized controlled Comparison of the Modified Bass and the Fones Techniques.“ In: *PLoS ONE Zeitschrift* 7.5, e37072 (Mai 2012). DOI: 10.1371/journal.pone.0037072.
- [Har+12b] D. Harnacke, M. Beldoch, G. H. Bohn, O. Seghaoui, N. Hegel und R. Deinzer. „Oral and Written Instruction of Oral Hygiene: A Randomised Trial.“ In: *Journal of Periodontology* 83.10 (Okt. 2012), S. 1206–1212. URL: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22264206>.
- [HK13] W.A. Halang und R.M. Konakovskiy. *Sicherheitsgerichtete Echtzeitssysteme*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2013.
- [Imm12] C. Immmer. *Der App-Entwickler-Crashkurs*. Franzis Verlag GmbH, 2012.

- [Jäg+09] S. Jäger, A. Köster-Schmidt, M. Schade und U. Heudorf. „Oral hygiene in nursing home residents. Impact of an oral health education programme for the nursing personnel on the residents' oral health“. In: *Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz*. 52.10 (Okt. 2009), S. 927–935. DOI: 10.1007/s00103-009-0940-3.
- [Jap] „japanische Patentschrift“. Pat. JP10066704A.
- [Kün12] T. Küneth. *Android 4, Apps entwickeln mit Android SDK*. Galileo Press Bonn, Juli 2012. ISBN: 978-3836219488.
- [KG97] H. Krause und E. Galveston. „Patent: Vorrichtung zur elektrischen Nervenstimulation“. Pat. DE6943466T2. 1997.
- [Koc] *Mundhygiene und Kariesprophylaxe*. Techn. Ber. Robert Koch-Institut (Hrsg), Bundeszentrale für gesundheitliche Aufklärung (Hrsg), 2008.
- [Kol12] D. Koller. *Android-Apps entwickeln*. Franzis Verlag GmbH, März 2012. ISBN: 978-3645600507.
- [KRV02] A. Klug, A. Rieck und E. Vierkant. „Patentanmeldung: System zur Unterstützung bei Pflegemaßnahmen im Dentalbereich“. Pat. DE10045067A1. 2002.
- [KS07] J. Kempf und G. Scharfenberg. „Patentanmeldung: Verfahren und Vorrichtung zum Erfassen von personenspezifischen Merkmalen“. Pat. DE102007018751A1. 2007.
- [Lai03] K. L. Lai. „Patent: Structure of water-jet toothbrush“. Pat. US20030099502A1. 2003.
- [LM13] D. Louis und P. Müller. *Jetzt lerne ich Android 4-Programmierung*. Markt+Technik Verlag, 2013. ISBN: 978-3-8272-4818-3.
- [LR01] G. E. Loeb und F. J. R. Richmond. „System for implanting a microstimulator“. Pat. US006214032B1. United States Patent US006214032B1. Apr. 2001.
- [MB+11] M. Muller-Bolla, F. Courson, A. Manière-Ezvan und P. Viargues. „Toothbrushing: which methods to use?“ In: *Revue d'Odonto-Stomatologie* 40 (2011), S. 239–260.
- [Med+11] Z. Mednieks, L. Dormin, G. Meike Blake und M. Nakamura. *Programming android*. O'Reilly Media Inc., 2011.

- [Med+13] Z. Mednieks, L. Dornin, G. Meike und M. Nakamura. *Android-Programmierung*. O'Reilly Verlag GmbH & Co.KG, Juni 2013. ISBN: 978-3955611415.
- [MENGG06] P. E. Murray, D. Ede-Nichols und F. Garcia-Godoy. „Oral health in Florida nursing homes.“ In: *Int. J. Dent. Hyg.* 4.4 (Nov. 2006), S. 198–203.
- [Mic] *Deutsche Mundgesundheitsstudie IV*. Institut der deutschen Zahnärzte. 2006. URL: <http://www.idz-koeln.de> (besucht am 04.02.2015).
- [MPK91] W. D. Memberg, P. H. Peckham und M. W. Keith. „Intramuscular electrode for neuromuscular stimulation system“. Pat. US4989617. Feb. 1991.
- [Ott] URL: http://professionals.ottobock.de/cps/rde/xchg/ob_de_de/hs.xsl/4713.html (besucht am 07/2015).
- [Paf00] D. Paffrath. „Patent: Zahnbürste sowie Zahnbürstenkopf hierfür“. Pat. WO002001010268A1. 2000.
- [Pat12] R. Patel. *The State of Oral Health in Europe*. Techn. Ber. Better Oral Health European Platform, 2012. URL: www.oralhealthplatform.eu/ (besucht am 04.02.2015).
- [Pos12] U. Post. *Android-Apps entwickeln: Für Programmierersteiger geeignet*. Galileo Press Bonn, Juni 2012. ISBN: 978-3836219471.
- [Pre11] D. Prestel. „Theoretische Konzeption einer myoelektrischen Muskelprothese“. Magisterarb. FernUniversität in Hagen, 2011.
- [Puu+08] J. Puurunen, J. Kantola, I. Avdouevsky, U. Meriheina und V. Teijo. „Patent: Intelligent Toothbrush Monitoring Device“. Pat. US8337213B2. 2008.
- [Rev96] Periodontal Literature Reviews. „Chapter 6. Oral Physiotherapy.“ In: *Journal of Periodontology* current volume.first edition (1996), S. 106–111.
- [Sch+02] M. Schüttler, R. R. Riso, A. L. Dalmose, D. Stefania und T. Stieglitz. „Selective Stimulation of Pig Radial Nerve: Comparison of 12-Polar and 18-Polar Cuff Electrodes“. In: *Biomed Tech* 47. Suppl. 1, part 2, (2002b), S. 696–699.

- [Sch+10] N. Schlüter, J. Klimek, G. Saleschke und C. Ganss. „Adoption of a toothbrushing technique: a controlled, randomised clinical trial.“ In: *Clinical Oral Investigations* 14 (2010), S. 99–106.
- [Sic] *Schulungsvideo: 3D Visualisierung.* SICAT GmbH & Co. KG. URL: http://www.sicat.com/no_cache/de/support/video-bibliothek.html (besucht am 04.02.2015).
- [ST02] D. Savill und R. Treloar. „Patent: Überwachungssystem für Zahnbürstenbenutzung“. Pat. EP1379149B1. 2002.
- [SVR11] M. Schmid, I. Vetter und H. Reick. „Patent: Toothbrush and method of wirelessly providing feedback related to its use“. Pat. EP22384720A2. 2011.
- [Swe+07] M. P. Sweeney, C. Williams, C. Kennedy, L. M. Macpherson, S. Turner und J. Bagg. „Oral health care and status of elderly care home residents in Glasgow.“ In: *Health, Community Dent* 24.1 (2007), S. 37–42.
- [SX13] X. Shi und W. Xiaoming. „The control Technology of Physiological Data Transmission Through The Interface of Bluetooth in Android Department of biomedical Engineering“. In: *IFMBE Proceedings* 39 (2013), S. 1298–1301.
- [Wal94] H. G. Wallace. „Resealable Sampling Port“. Pat. US005342316A. Aug. 1994.
- [Wil03] H. Wilkens. „Patent: Maschinelle Interdentalzahnbürste, integriert in eine elektrisch betriebene Zahnbürste“. Pat. WO002003086231A1. 2003.
- [WWZ06] K. Wendicke, T. Weyh und H. Zantow. „Patent: Magnetischer Neurrostimulator“. Pat. DE102006024467B4. 2006.
- [YC07] A. Yang und C. Chiang. „Patent: Zahnpflege-Techniküberwachung“. Pat. DE60029345T2. 2007.
- [ZL14] S. Zimmer und L. Lieding. „Gewohnheiten und Kenntnisse zur Mundhygiene in Deutschland – Ergebnisse einer bevölkerungsrepräsentativen Befragung“. In: *Deutscher Ärzte-Verlag* (2014).

Online-Buchshop für Ingenieure

■■■ VDI nachrichten

Online-Shops



Fachliteratur und mehr -
jetzt bequem online recher-
chieren & bestellen unter:
www.vdi-nachrichten.com/
Der-Shop-im-Ueberblick



Täglich aktualisiert:
Neuerscheinungen
VDI-Schriftenreihen



BUCHSHOP

Im Buchshop von vdi-nachrichten.com finden Ingenieure und Techniker ein speziell auf sie zugeschnittenes, umfassendes Literaturangebot.

Mit der komfortablen Schnellsuche werden Sie in den VDI-Schriftenreihen und im Verzeichnis lieferbarer Bücher unter 1.000.000 Titeln garantiert fündig.

Im Buchshop stehen für Sie bereit:

VDI-Berichte und die Reihe **Kunststofftechnik**:

Berichte nationaler und internationaler technischer Fachtagungen der VDI-Fachgliederungen

Fortschritt-Berichte VDI:

Dissertationen, Habilitationen und Forschungsberichte aus sämtlichen ingenieurwissenschaftlichen Fachrichtungen

Newsletter „Neuerscheinungen“:

Kostenfreie Infos zu aktuellen Titeln der VDI-Schriftenreihen bequem per E-Mail

Autoren-Service:

Umfassende Betreuung bei der Veröffentlichung Ihrer Arbeit in der Reihe Fortschritt-Berichte VDI

Buch- und Medien-Service:

Beschaffung aller am Markt verfügbaren Zeitschriften, Zeitungen, Fortsetzungsreihen, Handbücher, Technische Regelwerke, elektronische Medien und vieles mehr – einzeln oder im Abo und mit weltweitem Lieferservice

VDI nachrichten

BUCHSHOP www.vdi-nachrichten.com/Der-Shop-im-Ueberblick

Die Reihen der Fortschritt-Berichte VDI:

- 1 Konstruktionstechnik/Maschinenelemente
- 2 Fertigungstechnik
- 3 Verfahrenstechnik
- 4 Bauingenieurwesen
- 5 Grund- und Werkstoffe/Kunststoffe
- 6 Energietechnik
- 7 Strömungstechnik
- 8 Mess-, Steuerungs- und Regelungstechnik
- 9 Elektronik/Mikro- und Nanotechnik
- 10 Informatik/Kommunikation
- 11 Schwingungstechnik
- 12 Verkehrstechnik/Fahrzeugtechnik
- 13 Fördertechnik/Logistik
- 14 Landtechnik/Lebensmitteltechnik
 - 15 Umwelttechnik
 - 16 Technik und Wirtschaft
 - 17 Biotechnik/Medizintechnik
 - 18 Mechanik/Bruchmechanik
 - 19 Wärmetechnik/Kältetechnik
- 20 Rechnerunterstützte Verfahren (CAD, CAM, CAE CAQ, CIM ...)
 - 21 Elektrotechnik
 - 22 Mensch-Maschine-Systeme
 - 23 Technische Gebäudeausrüstung

ISBN 978-3-18-385210-9