

Informationstechnische Verbesserung des Zahnputzvorgangs

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

Wissenschaftliche Problemstellung

Über 90% der Deutschen putzen täglich die Zähne

Gleichzeitig leiden mehr als 90% an einer Zahnfleischentzündung

- Kann durch bessere Mundhygiene vollständig geheilt bzw. verhindert werden
- Bleibt sie unbehandelt, kann sie in eine Parodontitis übergehen
- Parodontitis führt zu irreversiblen Schädigungen des Zahnhalteapparats
 - Weltweit an sechster Stelle aller chronischen Erkrankungen
 - Über ein Fünftel der erwachsenen Deutschen

Micheelis W, Schiffner U. Vierte Deutsche Mundgesundheitsstudie (DMS IV). Institut der Deutschen Zahnärzte (IDZ Materialreihe Band 31). Deutscher Ärzte-Verlag, Köln (2006).

Wissenschaftliche Problemstellung (2)

Folgen unbehandelter Parodontitis:

- Zahnausfall
 - Ansiedlung aggressiver Keime beeinträchtigt die Integrität des gesamten Organismus, Zusammenhänge werden beschrieben zu
 - Koronare Herzkrankheiten
 - Diabetes
 - Frühgeburtlichkeit, geringeres Geburtsgewicht
 - Demenz
 - erektile Dysfunktion
-
- Heidemann D. Parodontologie. 3rd ed. München [u.a.]: Urban und Schwarzenberg; 1997:372 S.
 - Ide M, Papapanou PN Epidemiology of association between maternal periodontal disease and adverse pregnancy outcomes - systematic review. *Journal of Clinical Periodontology* 2013;40:181–94.
 - Madianos PN, Bobetsis YA, Offenbacher S Adverse pregnancy outcomes (APOs) and periodontal disease: pathogenic mechanisms. *Journal of Clinical Periodontology* 2013;40:170–80.
 - Sanz M, Kornman K Periodontitis and adverse pregnancy outcomes: consensus report of the Joint EFP/AAP Workshop on Periodontitis and Systemic Diseases. *Journal of Clinical Periodontology* 2013;40:164–9.
 - Gaur S, Agnihotri R Alzheimer's disease and chronic periodontitis: Is there an association? *Geriatrics & Gerontology International* 2015;15:391–404.
 - Wang Q, Kang J, Cai X, Wu Y, Zhao L The association between chronic periodontitis and vasculogenic erectile dysfunction: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Clinical Periodontology* 2016;43:206–15.

Stellenwert der Mundhygiene

- Schlechte Mundhygiene bedroht mehr als nur die Zähne
- Untersuchungen zeigen aber, dass Mundhygiene schlecht durchgeführt wird
- Es wird viel investiert sowohl auf
 - gesellschaftlicher Ebene
(Gruppen- und Individualprophylaxe)
 - als auch auf individueller Ebene,
(90% putzen täglich)
 - ohne dass es viel zu nutzen scheint.
 - Micheelis W, Reiter F Soziodemographische und verhaltensbezogene Aspekte oraler Risikofaktoren in den vier Alterskohorten. In: Micheelis W, Schiffner U, Hoffmann T, eds. *Vierte Deutsche Mundgesundheitsstudie: Neue Ergebnisse zu oralen Erkrankungsprävalenzen, Risikogruppen und zum zahnärztlichen Versorgungsgrad in Deutschland 2005*. Köln: Deutscher Zahnärzte Verlag DÄV; 2006:375–98.
 - Theilade E, Wright WH, Jensen SB, Loe H Experimental gingivitis in man. II. A longitudinal clinical and bacteriological investigation. *Journal of Periodontal Research* 1966;1:1–13.
 - Wolf HF, Rateitschak EM, Rateitschak KH. *Parodontologie*. 3rd ed. Stuttgart: Thieme; 2004:532 S.

Bisherige wissenschaftliche Erkenntnisse zur Verbesserung des Zahnputzvorgangs

Trotz hoher Relevanz kaum Forschungsergebnisse:

- Wie Patienten ihre Zähne putzen, ist weitgehend unbekannt.
- Bis heute existieren keine evidenzbasierten Empfehlungen hinsichtlich einer bestimmten Bürsttechnik.

Um den Zahnputzvorgang zu optimieren, ist es notwendig, ihn zunächst im Detail zu analysieren → Videoanalyse (4–6 Stunden pro Zahnputzvorgang)

- Jepsen S The role of manual toothbrushes in effective plaque control: advantages and limitations. In: Lang NP, Attström R, Loe H, eds. *Proceedings of the European Workshop on Mechanical Plaque Control: Status of the art and science of dental plaque control Castle of Münchenwiler, Berne, Switzerland, May 9-12, 1998*. Chicago: Quintessence Pub. Co; 1998:121–37.
- Davies RM, Davies GM, Ellwood RP, Kay EJ Prevention. Part 4: Toothbrushing: What advice should be given to patients? *British Dental Journal* 2003;195:135–41.
- Dörfer CE, Schiffner U, Staehle HJ Häusliche mechanische Zahn- und Mundpflege. *DZZ* 2007;62.
- Muller-Bolla M, Courson F, Manière-Ezvan A, Viargues P Toothbrushing: which methods to use? *Revue d'Odonto-Stomatologie* 2011;40:239–60.

Ziel dieser Arbeit

Entwicklung informationstechnischer Verfahren zur

- differenzierten Erfassung,
 - wissenschaftlichen Analyse,
 - evidenzbasierten Optimierung und
 - individualisiertem Training
- der Mundhygiene

Gliederung

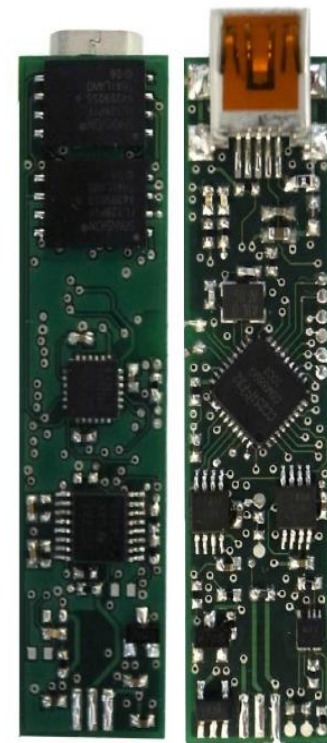
Informationstechnische Verbesserung der Zahnreinigung

- für die Forschung
 - ✓ Ablösung der aufwendigen Videoanalyse durch ein automatisiertes System
 - ✓ Analyse sowie zielorientierte Bewertung des Zahnputzverhaltens
 - ✓ Optimierung des Zahnputzverhaltens
- für die zahnärztliche Prophylaxe
- als Massenprodukt für den Gebrauch zu Hause

Zahnbürste

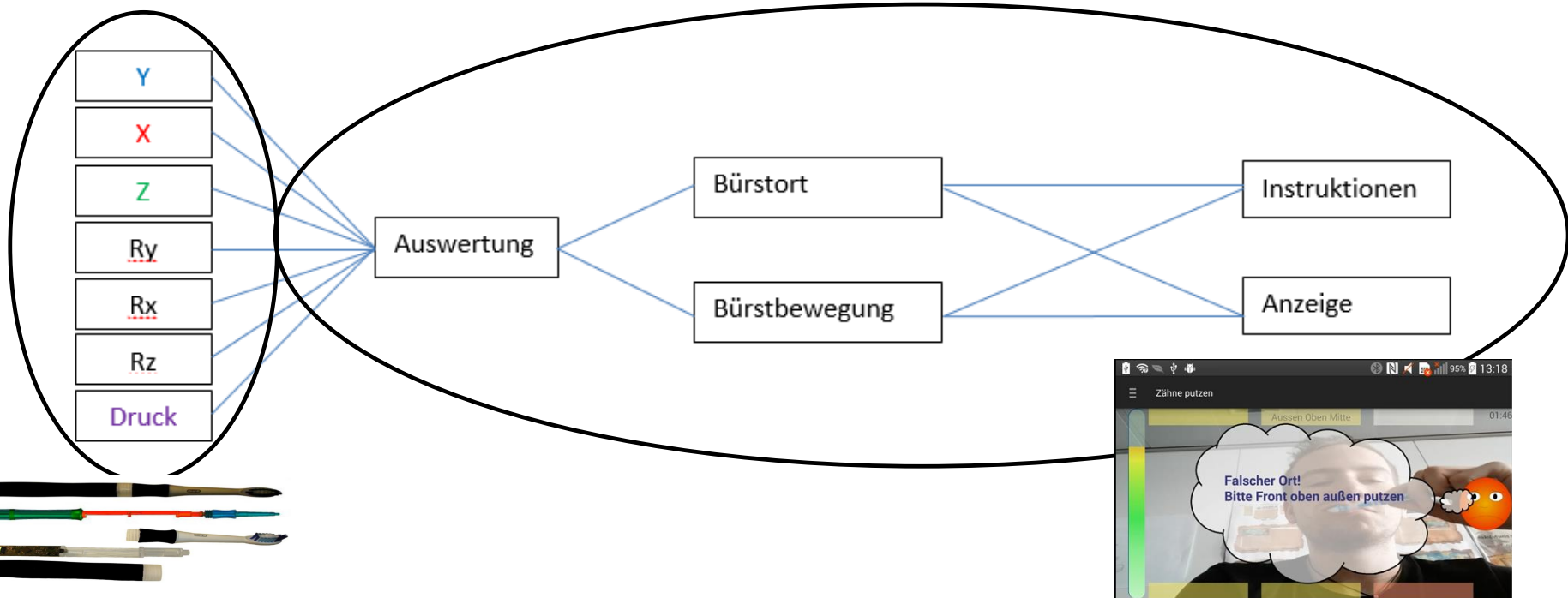
Verwendeter Prototyp
in Kooperation mit
BISP Center Regensburg

Prof. Dr. Mandl, M.Sc. Ghassan Falouji



Aufgabenverteilung im technischen Überwachungssystem

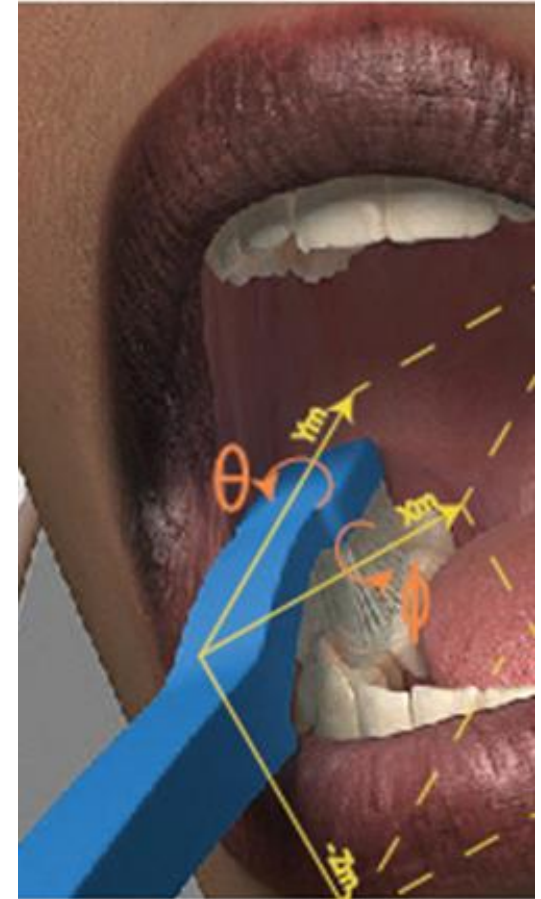
- Erfassung der Messwerte an der mit Sensoren unterstützten manuellen Zahnbürste
- Auswertung der Werte in den Funktionsbereichen
 - Lage
 - Bewegungsform



Aussagekraft der Sensoren

Bürstortbestimmung und Erkennung von elementaren Bürst-Bewegungsformen

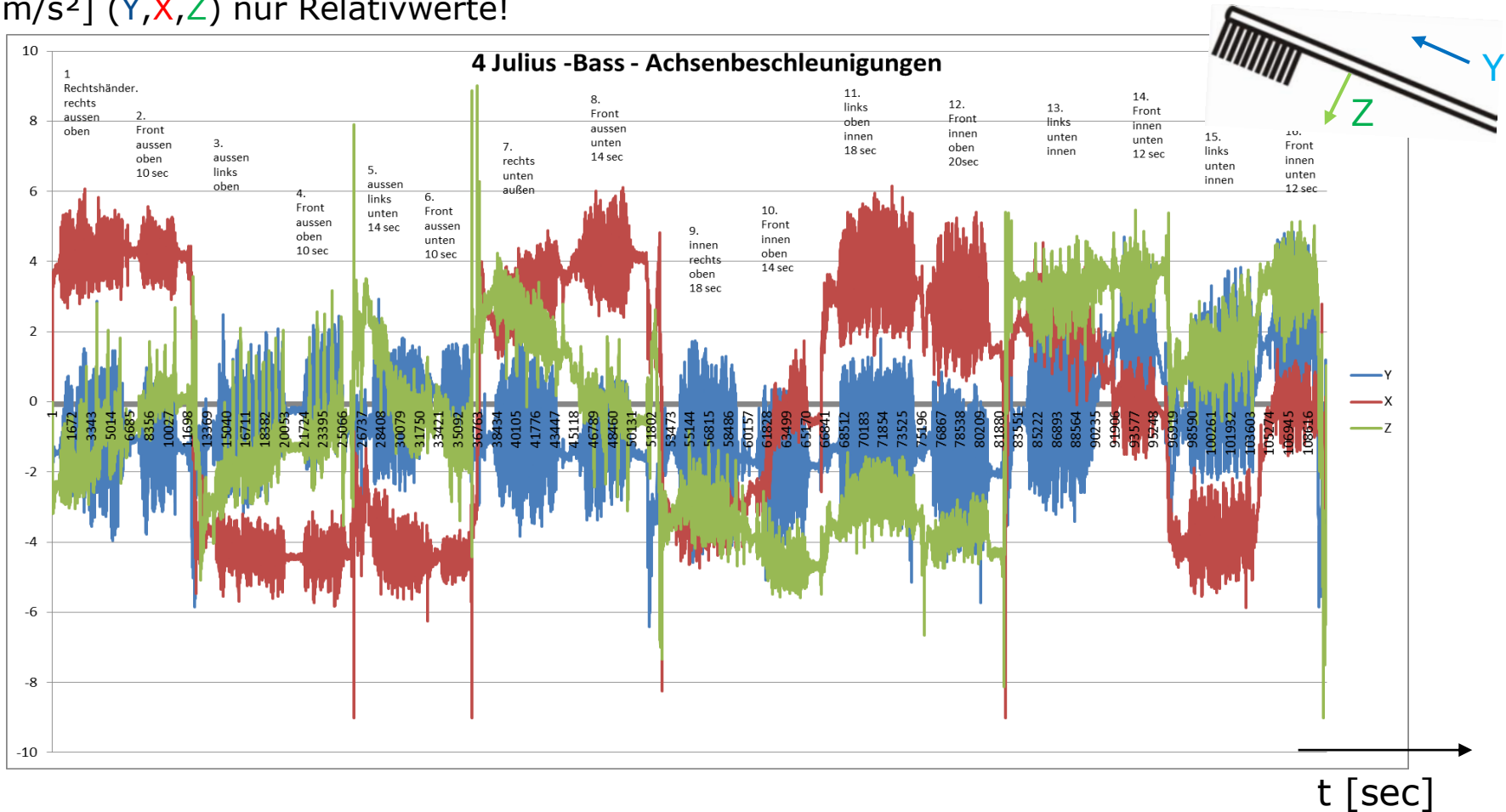
- Messwerte werden im Beschleunigungssensor im Kopf der Zahnbürste erfasst und an ein Anzeigegerät übertragen:
 - 3 x Achsbeschleunigungen
 - 3 x Winkelgeschwindigkeit
 - Anpressdruck (Dehnungsmeßstreifen)
- Ermittlung von
 - Bürstort
 - Bewegungsformen



Bürstortbestimmung

Bürstortbestimmung über Vergleich der Gleichanteile

a [m/s²] (Y,X,Z) nur Relativwerte!



Bürstortbestimmung

Erste Bürstortbestimmungen:

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

Auswertungen basierend auf Segmenten mit probabilistischen Schlußfolgerungen

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

Elementarbewegungen

- Verfahren zur Erkennung und Beurteilung von elementaren Bewegungsformen bei der Zahnreinigung:
 - Kreisend klein
 - Kreisend groß
 - Schruppen
 - Herauswischen
 - Rütteln
 - Neu: Vertikal
 - Neu: Klopfen
- Identifikation und Qualifizierung dieser Zahnbürstenführungen
- Bewegungsformen bilden Elementarbewegungen für Bürsttechniken
- Qualitätskriterien wichtig für Beurteilungs- und Anlernprozesse

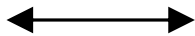
Elementarbewegungen

Definition von Qualitätsmerkmalen jeder Bewegungsformen

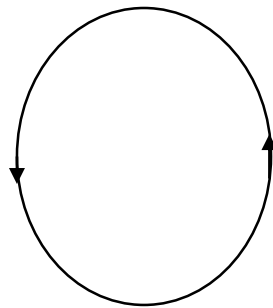
Ziel:

- Schnellstmögliche Erkennung der Bewegungsform in Verbindung mit dem Bürstort
- Einteilung in Qualitätsabstufungen

Schruppen



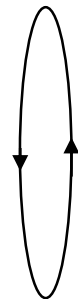
Kreisen



Herauswischen

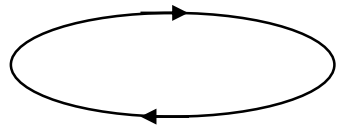
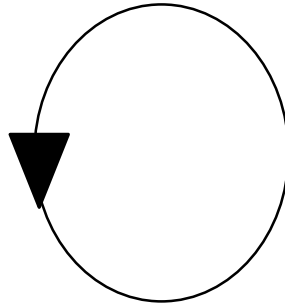


Rütteln

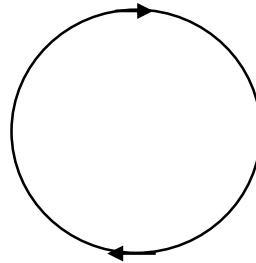


Elementarbewegungen

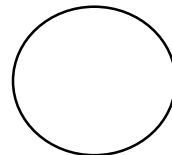
Zu schnell



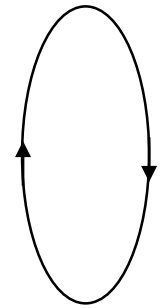
Zu „horizontal“



Vorgegebene Bewegung
„kreisend groß“



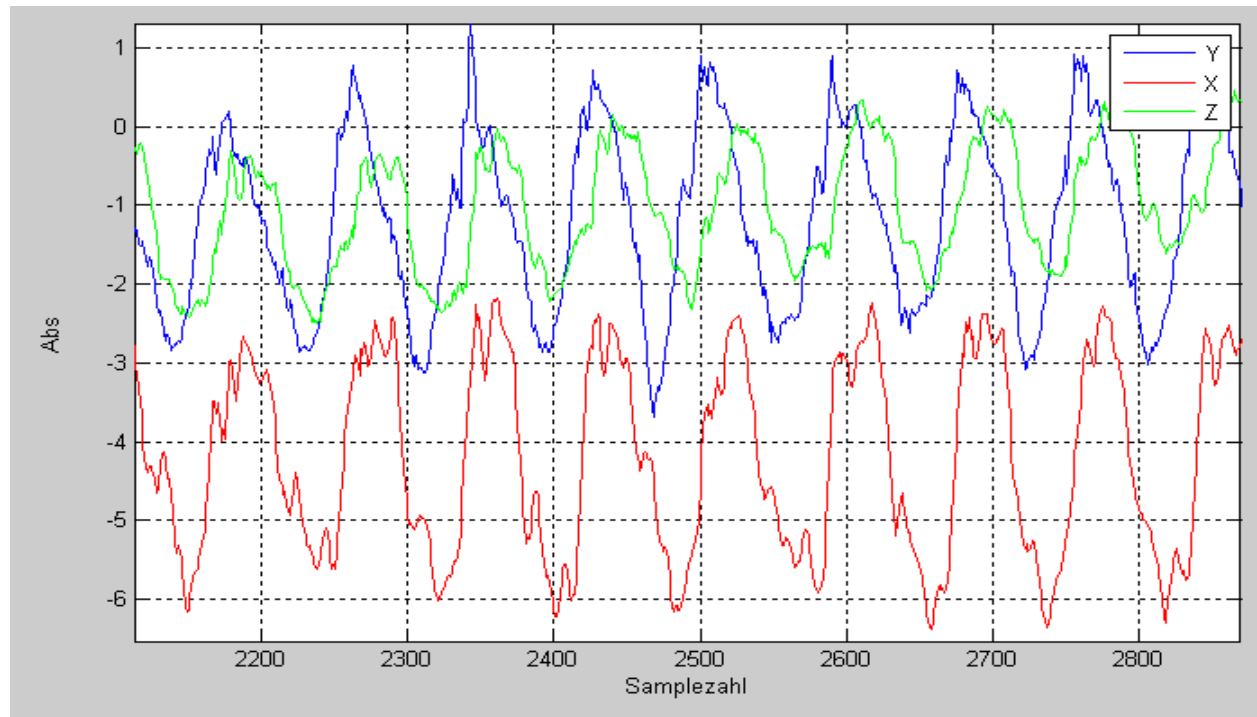
Zu klein



Zu „vertikal“

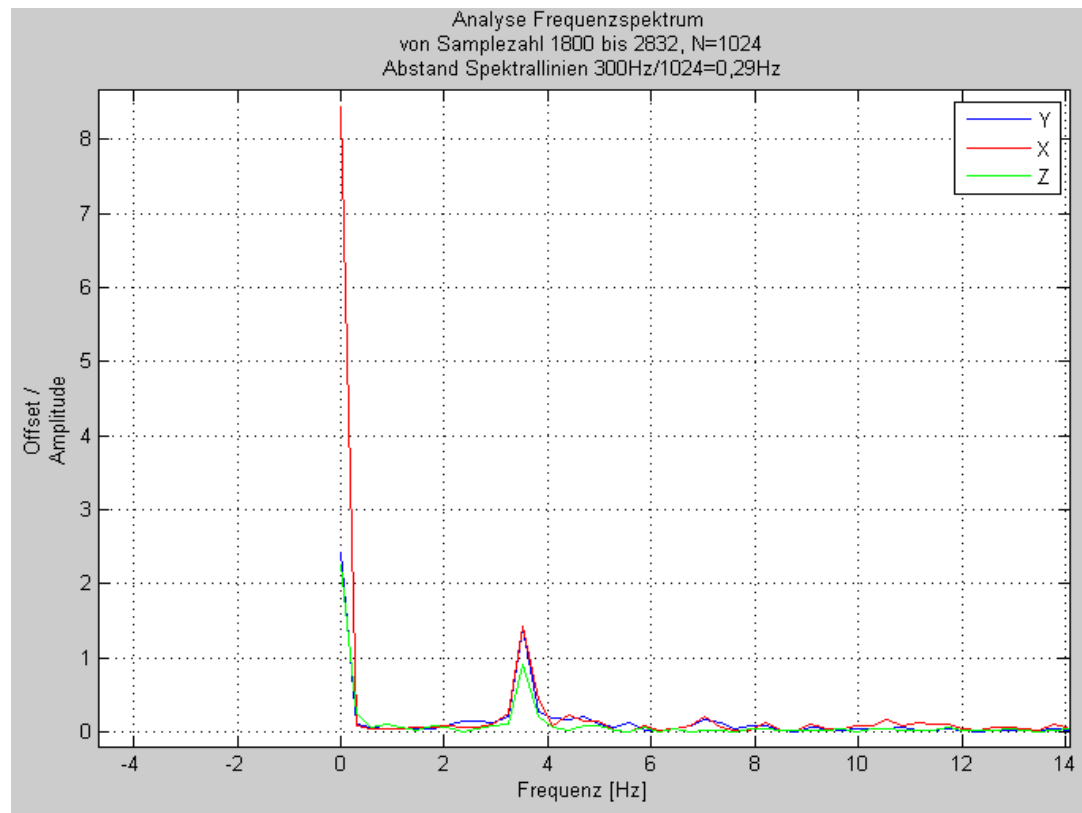
Elementarbewegungen

- Ausführung einer kreisenden Bürstbewegung
- Regelmäßige Kurvenform aller drei Achsbeschleunigungen bei



Ergebnisse der schnellen Fourier-Transformation

- Gleichanteile und Amplitudenwerteder drei Achsbeschleunigungen
- Grundfrequenz der Bürstbewegung (kreisend)



Ergebnisse der schnellen Fourier-Transformation

- Phasenunterschiede zwischen den Achsbeschleunigungen erlauben Rückschlüsse auf die Bewegungsform
- Parameterwerte der Bürstbewegung werden aufgezeichnet und führen zur Ausgabe von Korrekturanweisungen

Achsbeschleunigungen

Offset = 1800

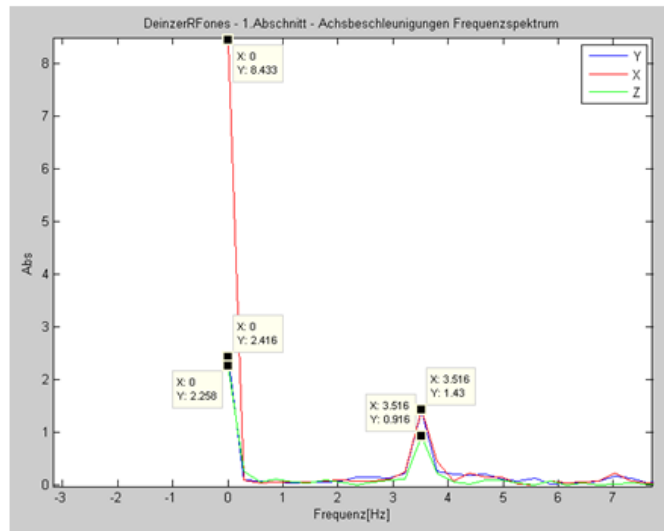


Abbildung 6: DeinerRFones - 1. Abschnitt Achsbeschleunigungen Frequenzspektrum

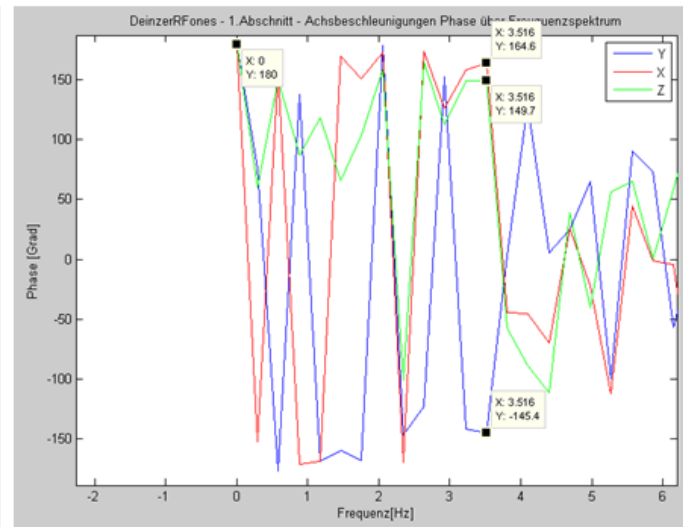


Abbildung 7: DeinerRFones - 1. Abschnitt Phase über Frequenzspektrum

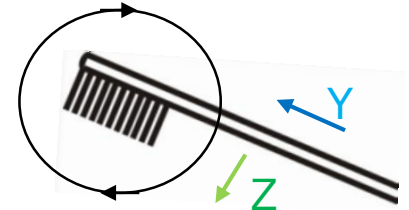
Ermittelte Werte:

Graphen Achsbeschleunigungen, Abschnitt 1 (1800-2823)

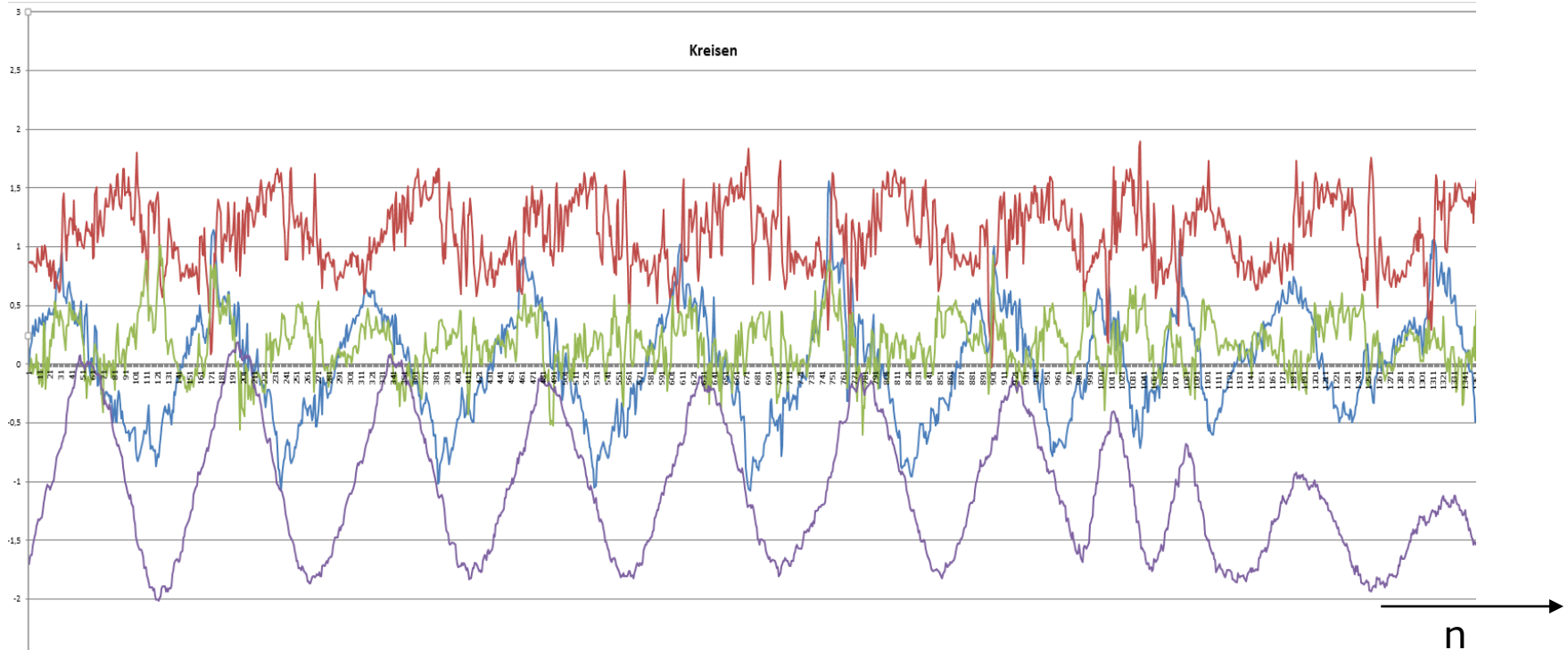
| | Offset | Grundschiwingung [Hz] | Amplitude | Phase [Grad] |
|---------|--------|-----------------------|-----------|--------------|
| Y-Graph | -1,2 | 3,5 | 1,4 | -145° |
| X-Graph | -4,2 | 3,5 | 1,4 | 164° |
| Z-Graph | -1,1 | 3,5 | 0,9 | 149° |

Elementarbewegung Kreisen

- Bürstbewegung: Kreisen der Zahnbürste auf der Zahnflächen d.h. Elementarbewegungen Kreisen klein/groß, Rütteln
- Im Idealfall: sinusförmiger Verlauf aller drei Achsbeschleunigungen und gleichmäßiger Versatz

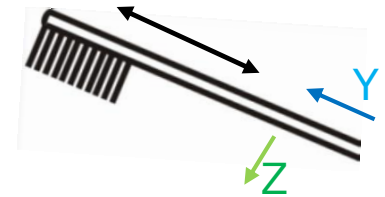


a [$\cdot 9,81 \text{ m/s}^2$] (Y,X,Z)
P [N] (p) nur Relativwerte!

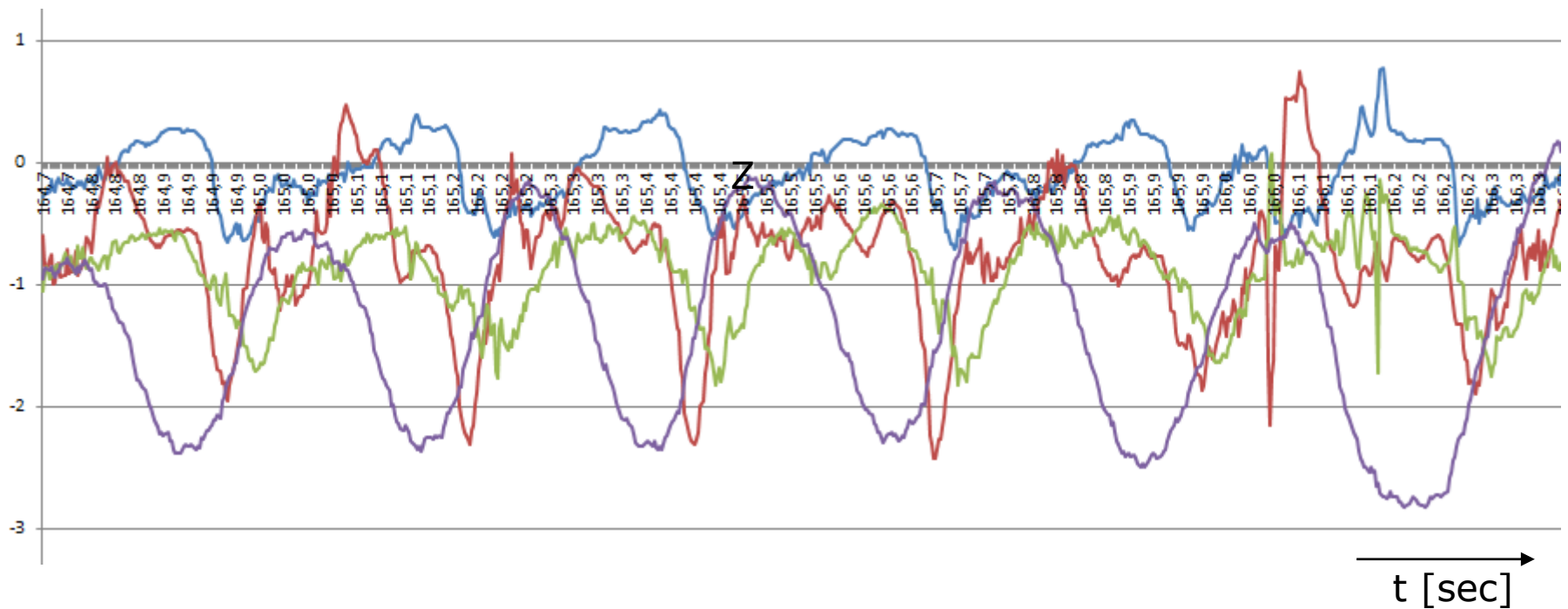


Elementarbewegung Schruppen

- Bürstbewegung: Hin- und Herbewegung der Zahnbürste in Längsrichtung (Y)
- Im Idealfall: Hohe Achsbeschleunigungen in Längsrichtung bei gleichzeitig niedrigen X und Z

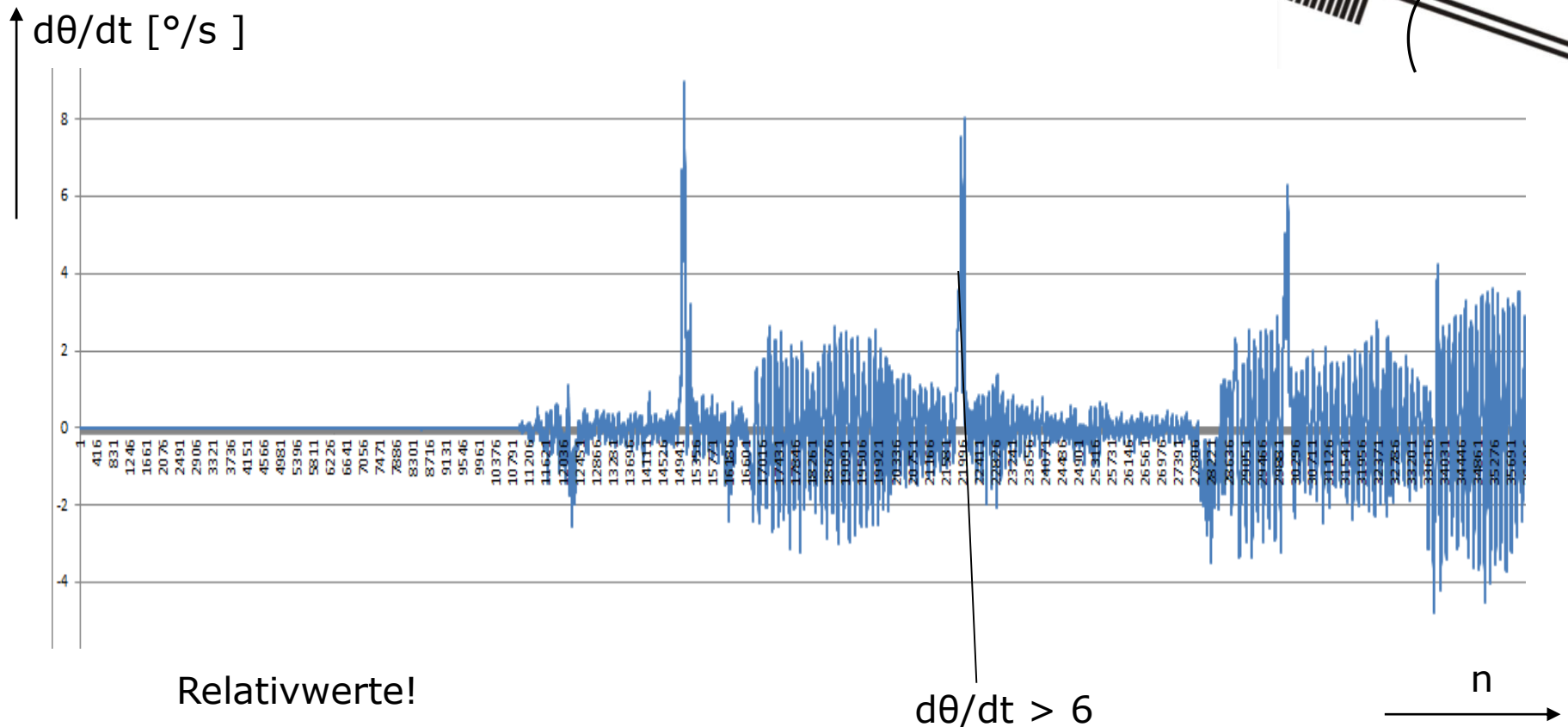
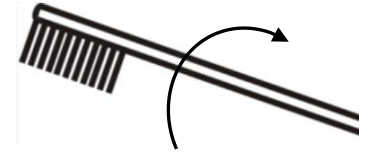


a [$\cdot 9,81 \text{ m/s}^2$] (Y,X,Z)
P [N] (p) nur Relativwerte!



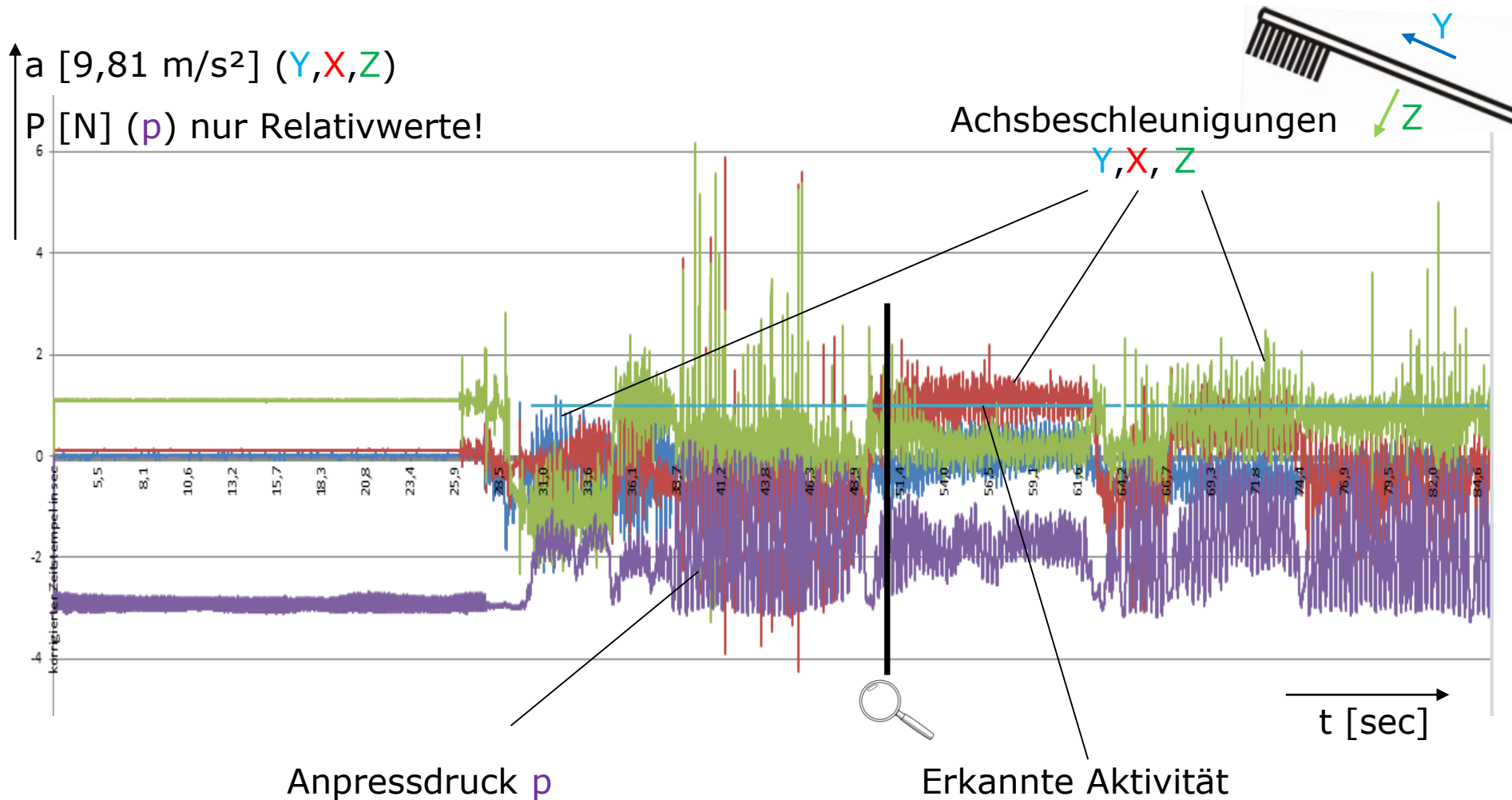
Elementarbewegung Herauswischen

- Bürstbewegung: kräftiges Drehen der Zahnbürste, um Zahnbeläge herauszuwischen
- Im Idealfall: hohe Winkelgeschwindigkeit $d\theta/dt$



Betrachtungen am chaotischen Putzer

Nachweis der Putzaktivität über den Anpressdruck:



Offline-Analyse von Bürstvorgängen

Die Erfassung von Daten aus mehreren Quellen bedingt

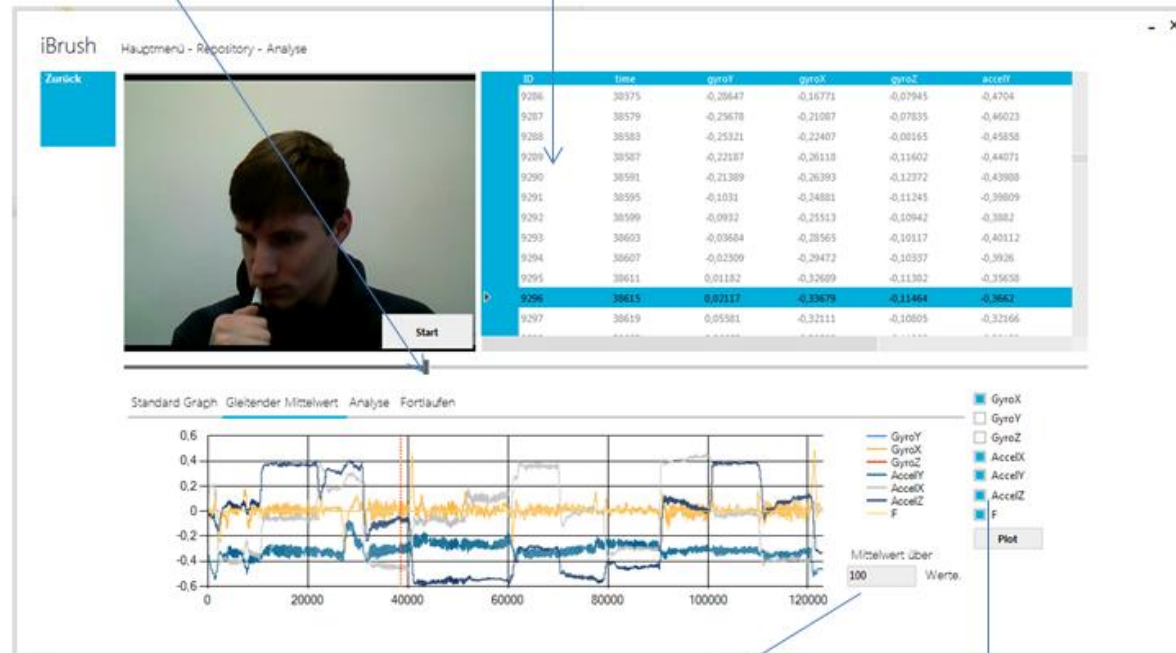
- Bündelung in Daten-Tupeln
- Hinzufügen eines Zeitstempels
- Zuordnung von Berechnungsergebnissen auf N Daten-Tupeln
- Synchronisierung Zeitstempel mit Zeitindex einer Videoaufnahme
- Zuordnung einzelner Fotoaufnahmen zu N Daten-Tupeln

Offline-Analyse von Bürstvorgängen

Sicherung mehrerer Aufzeichnungsspuren

Synchronisation der Datenquellen

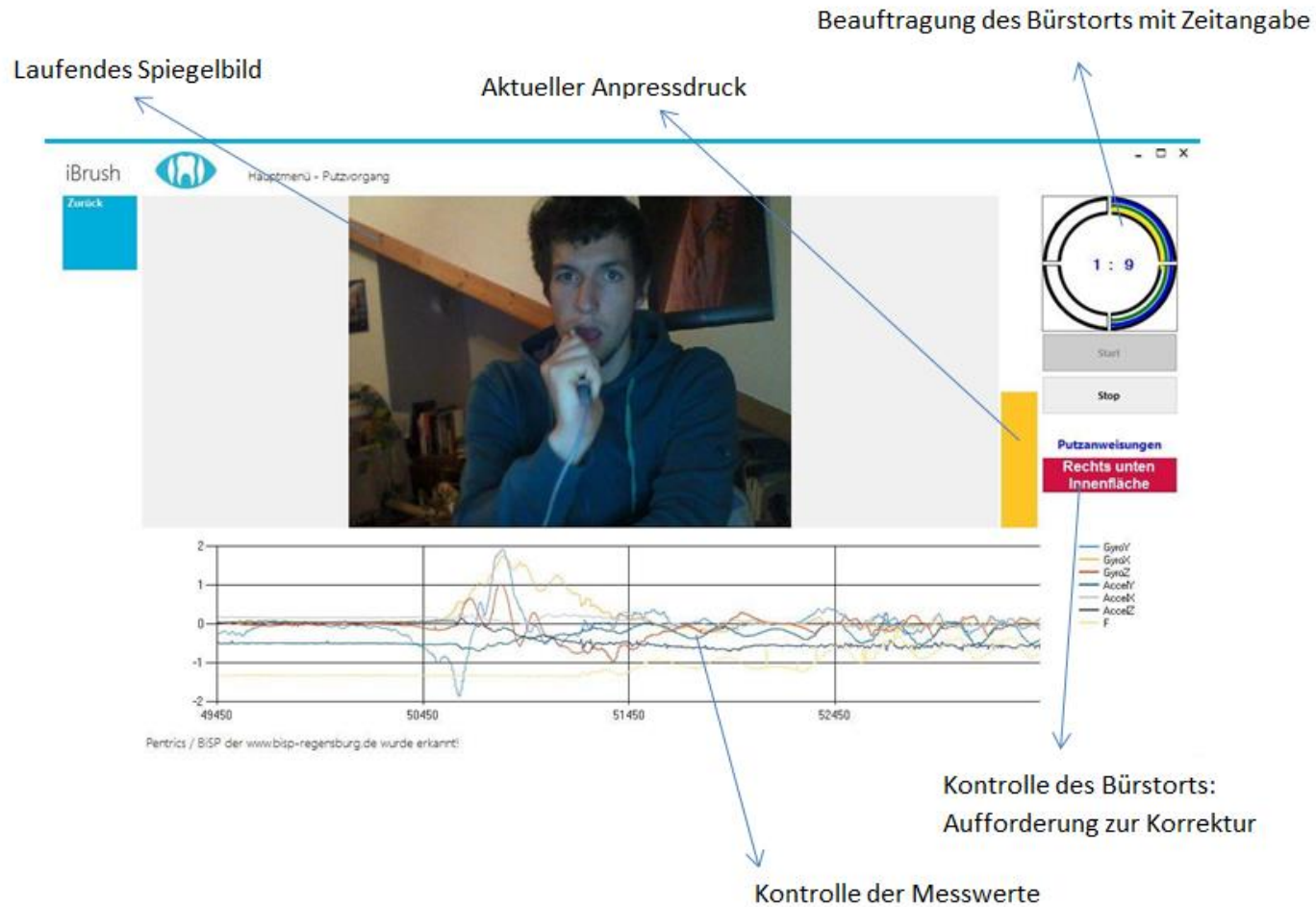
Anzeige einzelner Datentupel mit Zeitstempel



Analysefunktion: gleitender Durchschnitt

Auswahl geeigneter Sensorarten für den Graphen

Online-Analyse und Führung von Bürstvorgängen



Online-Analyse und Führung von Bürstvorgängen

Optische Ortsbestimmung zur Unterstützung bestehender Auswertungen

The screenshot displays the iBrush software interface. At the top left, the logo 'iBrush' and a tooth icon are visible, along with the text 'Hauptmenü - Putzvorgang'. A 'Zurück' button is on the left, and a 'Putzanweisung: Jetzt Herauswischen' notification is at the top. The central video feed shows a person brushing their teeth, with a black box for 'Gesichtserkennung' and a red box for 'Kalibrierungsdaten'. On the right, a circular progress indicator shows '0 : 15' with 'Start' and 'Stop' buttons. Below it, a 'Putzanweisungen' menu has 'Links oben Kaufäche' selected, with 'Color' and 'Kalibrieren' options. A legend at the bottom right lists GyroY, GyroX, GyroZ, AcceY, AcceX, AcceZ, and F. A 'USB Gerät nicht angeschlossen!' message is at the bottom. The Windows taskbar at the very bottom shows the date '18.01.2016' and time '10:56'.

Erkannte Position
Rechts Oben

Gesichtserkennung

Kalibrierungsdaten

Zu putzende Quadranten

Putzanweisung

Ausgewählte Farbe

0 : 15

Start

Stop

Putzanweisungen

Links oben Kaufäche

Color

Kalibrieren

— GyroY
— GyroX
— GyroZ
— AcceY
— AcceX
— AcceZ
— F

USB Gerät nicht angeschlossen!

Windows durchsuchen

10:56
18.01.2016

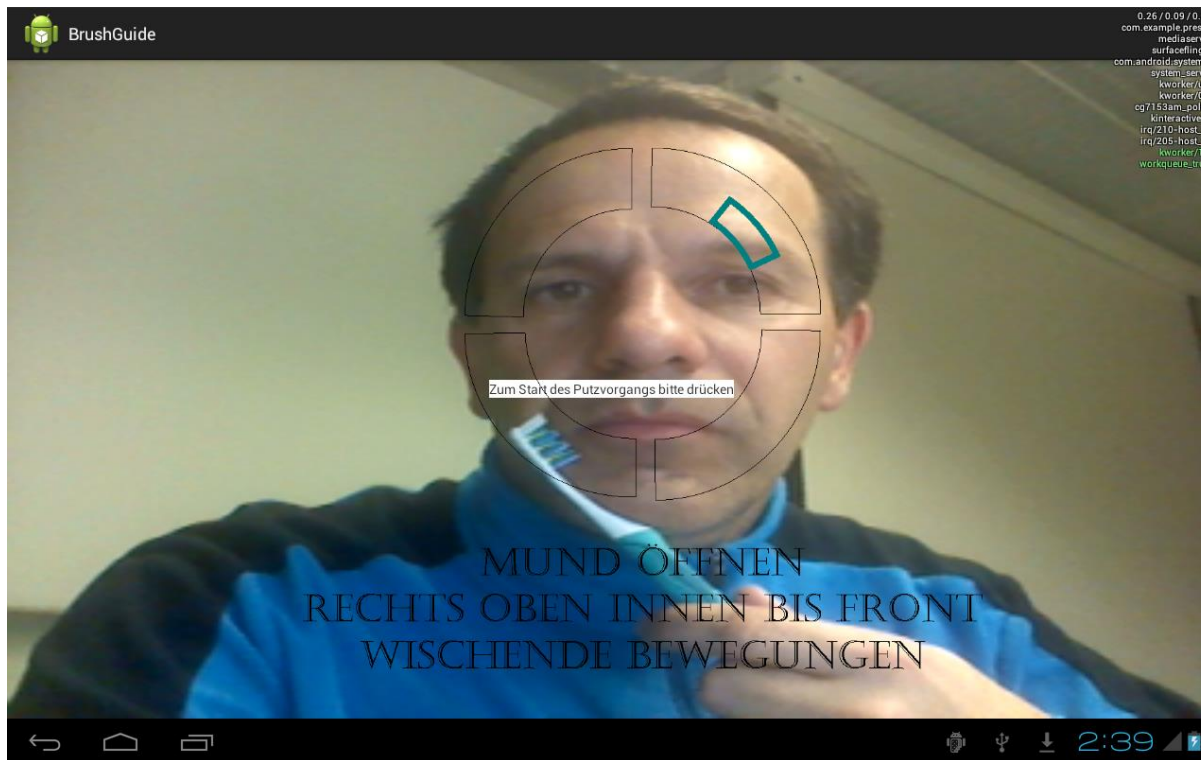
Online-Analyse und Führung von Bürstvorgängen

benutzerorientiert



Gestaltungsmerkmale der Anzeigeeinheit

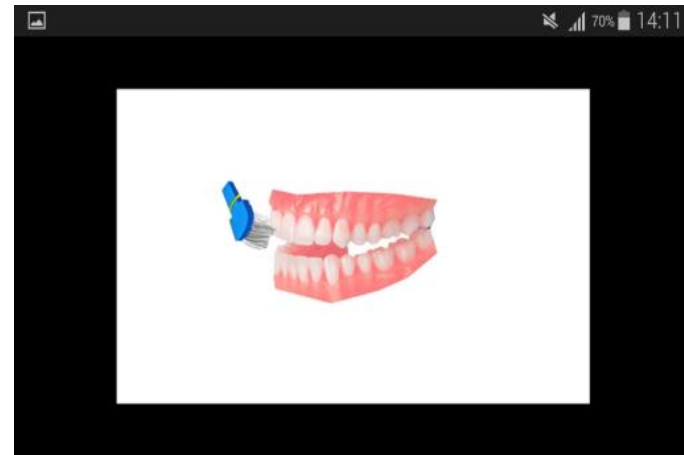
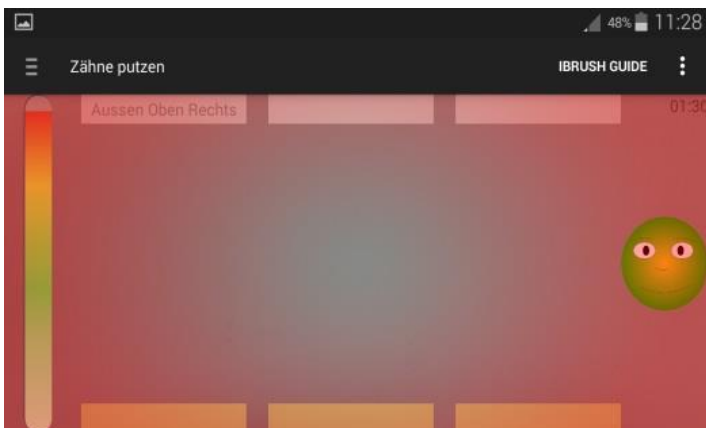
- Wiedergabe der Aufnahme auf dem Bildschirm
- Einblenden von beauftragtem Bürstort + Anweisungen
- Grafische Auswertung der einzelnen Bildfolgen auf Bürstort und Bürstbewegung



Bedienoberfläche

Grafischer Prototyp

- Animationen für Bürstbewegungsformen
- Ausdruck für Gefahren, Warnungen als Beispiele in der Wahrnehmungspsychologie
- Selbstdefinierte Emoticons zur Unterstützung der Lernpsychologie



Ergebnisse

- für die Forschung
 - ✓ Ablösung der aufwendigen Videoanalyse durch ein automatisiertes System
 - Intelligente Zahnbürste
[DE102010053688A1] Intelligente Zahnbürste (iBrush), 2011
 - Ortsauflösung
[DE102014001163A1] Zahnreinigungssystem zur Überwachung und Unterweisung einer Zahnputztechnik, 2014
[DE102016002855.6] Vorrichtung und Verfahren zur Ortsbestimmung eines Werkzeugs zur Mundraumhygiene, 2016
 - ✓ Ermöglichung von Analyse und zielorientierter Bewertung des Zahnputzverhaltens
[DE102015009215.4] Vorrichtung und Verfahren zur Überwachung und Lehre von elementaren Reinigungs- und Hygienebewegungsführungen bei der Mundraumhygiene, 2015
 - ✓ Ermöglichung der Optimierung des Zahnputzverhaltens
[DE102013016105A1] Anzeigegerät zur Überwachung des Zahnputzvorgangs, 2013
[DE2014006453.0] Informationssystem zur Unterweisung in und Überwachung der Anwendung von Zahnputztechniken, 2014

Ergebnisse

- Für die zahnärztliche Prophylaxe
- Für Massenprodukte geeigneter Entwurf für den Gebrauch zu Hause
[DE102015006103.8] Vorrichtung und Verfahren zur Reinigung von Zähnen und Zahnersatz, 2015
- Verbesserung der Konstruktionen von Zahnbürsten
[DE2015000877.3] Zahnreinigungsgerät mit Flüssigkeit liefernden Borsten, 2015
[DE2015000878.3] Vorrichtung zur Zahnreinigung mittels Beschuss von Tröpfchen, 2015
[DE2015000887.0] Zahnreinigungsgerät mit ausfahrbaren Borsten, 2015
- Transfer der Technologie in andere medizintechnische Bereiche
[DE102015009220.0] Protheseneinrichtung mit sensorischer Erfassung der Belastung, 2015
[DE1020160079037] Vorrichtung zur Erfassung der Positionen von Körpergliedern und Geräten sowie zur Lehre koordinierter Bewegungsmuster bei der Führung von Geräten