

Aus dem Zentrum für Zahnmedizin  
der Medizinischen Fakultät der Charité – Universitätsmedizin Berlin

DISSERTATION

Entwicklung und Anwendung einer Methode zur  
Kaukraftmessung

Zur Erlangung des akademischen Grades  
Doctor medicinae dentariae (Dr. med. dent.)

vorgelegt der Medizinischen Fakultät der Charité – Universitätsmedizin  
Berlin

von

Tobias Fink

aus Potsdam

Gutachter: 1. Prof. Dr. K.-P. Lange  
2. Prof. Dr. med. dent. K. Böning  
3. Prof. Dr. M. Kern

Datum der Promotion: 20. April 2007

## Inhaltsverzeichnis

<b>1 Einleitung.....</b>	<b>5</b>
<b>2 Literatur.....</b>	<b>6</b>
<b>2.1 Kauvorgang.....</b>	<b>6</b>
2.1.1 Skelettale Strukturen.....	6
2.1.2 Artikuläre Strukturen.....	7
2.1.3 Muskuläre Strukturen.....	7
2.1.4 Kaubewegung.....	9
<b>2.2 Begriffsbestimmung Kaukraft, -last, -druck.....</b>	<b>10</b>
<b>2.3 Methoden zur Kaukraftbestimmung.....</b>	<b>12</b>
2.3.1 Mechanische Messmethoden.....	12
2.3.2 Direkte elektrische/elektronische Messmethoden.....	15
2.3.3 Indirekte elektrische/elektronische Messmethoden.....	20
2.3.4 Photometrische/Chemische Messmethode.....	23
2.3.5 Abschätzung anhand von Modellen.....	26
2.3.6 Überblick über ermittelte Kaukräfte.....	27
<b>3 Problemstellung.....</b>	<b>29</b>
<b>4 Aufgaben und Zielstellung.....</b>	<b>31</b>
<b>5 Material und Methoden.....</b>	<b>32</b>
<b>5.1 Material.....</b>	<b>32</b>
5.1.1 Fuji-Prescale Film.....	32
5.1.2 Beschichtungsmethoden.....	34
<b>5.2 Methoden.....</b>	<b>36</b>
5.2.1 Druck-/Kraftapplikation.....	36
5.2.2 Färbungserfassung – Scanner – Bildverarbeitung.....	39
5.2.3 Auswertungsprogramm.....	40
5.2.4 Auswertung der Messergebnisse.....	42

<b>5.3 Messungen.....</b>	<b>43</b>
<b>5.3.1 Scannergenauigkeit.....</b>	<b>43</b>
<b>5.3.2 Lagerzeitabhängiges Verhalten und Reproduzierbarkeit.....</b>	<b>45</b>
<b>5.3.3 Belastungsabhängiges Verhalten.....</b>	<b>46</b>
<b>5.3.4 Zeitabhängiges Verhalten.....</b>	<b>47</b>
<b>5.3.5 Untersuchung am Artikulator.....</b>	<b>47</b>
<b>5.3.6 Untersuchung an Probanden.....</b>	<b>48</b>
<b>6. Ergebnisse.....</b>	<b>49</b>
<b>6.1 Vorversuche.....</b>	<b>49</b>
<b>6.2 Scannergenauigkeit.....</b>	<b>50</b>
<b>6.3 Folienuntersuchung.....</b>	<b>52</b>
<b>6.3.1 Lagerzeitabhängigkeit und Reproduzierbarkeit.....</b>	<b>52</b>
<b>6.3.2 Belastungsabhängiges Verhalten.....</b>	<b>55</b>
<b>6.3.3 Zeitabhängiges Verhalten.....</b>	<b>60</b>
<b>6.3.4 Versuche am Artikulator.....</b>	<b>63</b>
<b>6.3.5 Versuche an Probanden.....</b>	<b>72</b>
<b>7 Diskussion.....</b>	<b>78</b>
<b>8 Zusammenfassung.....</b>	<b>91</b>
<b>9 Literaturverzeichnis.....</b>	<b>94</b>
<b>Danksagung.....</b>	<b>104</b>
<b>Erklärung an Eides Statt.....</b>	<b>105</b>
<b>Lebenslauf.....</b>	<b>106</b>

## 8 Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit befasste sich mit der Entwicklung einer Methode zur einfachen, individuellen Kaukraftmessung. Als Basis hierfür wurde eine Druckmessfolie benutzt. Diese Folie (Fuji Prescale) kann bei auftretenden Kräften mithilfe chemischer Reaktionen und einer entsprechenden Rotverfärbung Belastungsflächen und -kräfte quantitativ wiedergeben.

Um die gefärbten Flächen auswerten zu können, wurden diese mit einem handelsüblichen Scanner in einen Personalcomputer eingelesen. Die Untersuchung der Scannereigenschaften zeigte, dass exakte und reproduzierbare Ergebnisse nur durch eine Eichung des Scanners bezüglich der Dimensionstreu bei einer Bildpunktauflösung von 800 dpi oder höher zu erreichen sind.

Zur Auswertung der Folieninformationen wurde in Zusammenarbeit mit Feiks ein EDV-Programm entwickelt. Dieses Programm ermöglicht ein genaues Auslesen einzelner Folienbereiche. Das Programm liefert Angaben zur Anzahl der gefärbten Bildpunkte sowie Informationen zu deren Intensität. Um den Einfluss unerwünschter Artefakte zu eliminieren, wurde ein Rauschfilter integriert, dessen optimale Wirkung für einen Schwellwert von 30 % ermittelt wurde.

Zum Schutz der feuchtigkeitsempfindlichen Folie vor dem feuchten Milieu des Mundraumes wurden verschiedene Polymermaterialien und Beschichtungsmethoden getestet. Dabei erwies sich die Beschichtung mit Polyvinylacetat mittels Rakelverfahrens als am besten geeignet. Insbesondere die hohe Biokompatibilität sowie die gute Reproduzierbarkeit sprechen für die gewählte Beschichtung.

Die Untersuchungen zeigen, dass die beschichteten Folien mindestens eine Woche gelagert werden sollten, ehe sie belastet werden können. In dieser Zeit kommt es noch zu Veränderungen der Empfindlichkeit der Folien, für die sehr wahrscheinlich diffusionsgesteuerte Trocknungsvorgänge verantwortlich sind.

Weiterhin zeigte sich auch nach vollständiger Trocknung der Folienschutzschicht eine gewisse Veränderung der gefärbten Bereiche hinsichtlich gemessener Intensität

und Fläche innerhalb eines Zeitraumes von 24 Stunden nach Druckbelastung. Um hieraus resultierende Verfälschungen der Messwerte auszuschließen, wurde eine Eichung durch eine Referenzmessung erforderlich. Diese Referenzbelastung erfolgte unmittelbar nach Belastung durch einen Probanden auf der gleichen Druckmessfolie. Für die Referenzmessung wird ein kugelförmiger Probekörper mit einem Durchmesser von 10 mm bei einer Belastung von 10 - 20 N vorgeschlagen.

Die am Artikulator durchgeführten Testreihen ergaben eine gute Reproduzierbarkeit der Messwerte, die durch das Messsystem erhalten wurden. Der mittlere relative Fehler der durch die Messkette ermittelten Kräfte betrug 3,6 %. Damit dürfte die Genauigkeit des in dieser Arbeit beschriebenen Systems den bisher in der Literatur beschriebenen Messmethoden auf Folienbasis überlegen sein.

Weiterhin zeigten die Untersuchungen, dass abweichend zu den Angaben in der Literatur eine exakte Bestimmung von Okklusionskontakten durch Projektion auf ein Bild des Zahnbogens nur im Seitenzahnggebiet möglich ist. Aufgrund der Form der durch Zahnkontakt entstandenen gefärbten Folienbereiche ist aber eine Zuordnung zu den mit herkömmlicher Okklusionsfolie markierten Zahnbögen möglich.

Das neu entwickelte Folien-Druckmesssystem wurde an zwei Probanden (28 und 51 Jahre) sorgfältig erprobt. Hierbei wurde festgestellt, dass für den 28jährigen Probanden die Kaukräfte ( $1882,3 \pm 40,4$  N) im oberen Kraftbereich der in der Literatur angegebenen Kaukräfte für gesunde, vollbezahnte Probanden lag.

Bei dem zweiten Probanden (51 Jahre) wurden geringere Kraftwerte ( $\bar{x} = 736,3$  N), aber eine erheblich größere Schwankung zwischen den einzelnen Versuchsreihen ermittelt. Hier lag die Standardabweichung bei 157,2 N.

Für beide Probanden konnten maximale Kräfte im Bereich der zweiten Molaren ermittelt werden (maximal  $618,0 \pm 57,4$  N). Dies entspricht weitgehend der in der Literatur vertretenen Meinung.

Flächen- und Druckwerte lagen im Mittelfeld der weit streuenden Messwerte, die von anderen Gruppen veröffentlicht wurden.

Insgesamt wurde in der vorliegenden Arbeit eine neue Messmethode zur Bestimmung der Kaukraft, des Kaudrucks sowie der belasteten Okklusionsfläche entwickelt und umfangreich getestet.

Die Vorteile der neu entwickelten Messmethode gegenüber den bekannten Systemen zur Kaukraftbestimmung sind in folgenden Punkten zu sehen:

- Einfache Versuchsdurchführung,
- kostengünstige Hilfsmittel (handelsüblicher PC und Scanner, Materialkosten der Folie inkl. Beschichtung unter 5 Euro pro Stück),
- geringe Sensordicke (max. 110  $\mu\text{m}$ ) und Bissperrung,
- Mundstabilität durch fest mit der Oberfläche verbundene Polymere (PVAC),
- Möglichkeit der Bestimmung von Kraft, Fläche und Druck an einzelnen Zähnen,
- gute Reproduzierbarkeit und Genauigkeit.

Für das neu entwickelte Verfahren zur Kaukraftmessung wurde in Deutschland ein Schutzrecht erteilt (DE 10317245). Die an zwei Probanden getestete Methode steht nunmehr für systematische Untersuchungen von Fragestellungen der Kaukraft und Kaukraftverteilung in der Prothetik und weiteren Fachgebieten der Zahnmedizin zur Verfügung.

Durch die vorgestellte lokale Druck- bzw. Kraftmessung ist es möglich, an Eingangsdaten zur Vorhersage von benötigten Materialstärken und –formen von individuellen zahntechnischen Konstruktionen zu gelangen.

## **Danksagung**

Ich danke Herrn Direktor Prof. Dr. K.-P. Lange für die Bereitstellung des Themas und die Möglichkeit der Durchführung der Promotion im Zentrum für Zahnmedizin der Charité.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Dr. W.-D. Müller für die kontinuierliche Betreuung dieser Arbeit und für die Unterstützung durch die von ihm geleitete Abteilung für Werkstoffkunde.

Ich möchte mich hierbei insbesondere bei Frau C. Schöpf für Hilfestellung in technischen Fragen bedanken.

Weiterhin danke ich Herrn Dipl. Inf. F. Feiks (SAP) für die rechentechnische Umsetzung des EDV-Auswerteprogramms sowie Herrn Dr. M. Pinnow (Fraunhofer-IAP) für die Anfertigung von elektronenmikroskopischen Aufnahmen.

Meinen Eltern danke ich für das fördernde Interesse an der Arbeit und ihre Geduld, meinem Vater, Dr. habil. H.-P. Fink, auch für hilfreiche fachliche Diskussionen über physikalische Aspekte dieser Arbeit.

## Erklärung

„Ich, Tobias Fink, erkläre, dass ich die vorgelegte Dissertationsschrift mit dem Thema: **Entwicklung und Anwendung einer Methode zur Kaukraftmessung** selbst verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt, ohne die (unzulässige) Hilfe Dritter verfasst und auch in Teilen keine Kopien anderer Arbeiten dargestellt habe.“

Teltow, den 9.11.2006

## **L e b e n s l a u f**

Mein Lebenslauf wird aus Datenschutzgründen in der elektronischen Version meiner Arbeit nicht mit veröffentlicht.