Aus dem Institut für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde,
Abteilung für Zahnärztliche Prothetik, Alterszahnmedizin
und Funktionslehre
der Medizinischen Fakultät Charité – Universitätsmedizin Berlin

DISSERTATION

Experimentelle Untersuchung zur Anwendung des T-Scan-III-Systems für die Okklusionsanalyse in vivo

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

vorgelegt der Medizinischen Fakultät
Charité - Universitätsmedizin Berlin

von

Mandy Frommann-Stoltenburg
aus Berlin

Datum der Promotion: 08.12.2017

Inhaltsverzeichnis

1. Abstrakt 4
2. Abstract 6
3. Einleitung 8
3.1 Bedeutung der Okklusion 9
3.1.1 Definitionen 9
3.1.2 Neuroanatomie 12
3.1.3 Ätiologie stomatognather Dysfunktion 14
3.2 Okklusionsprüfmethoden 16
4. Zielsetzung der Arbeit 19
5. Material und Methode 19
5.1 Das T-Scan-III-System – eine Systembeschreibung 19
5.2 Probanden 25
5.2.1 Ablauf der Untersuchung und Messung 26
5.2.2 Auswertungskriterien 27
5.3 Reliabilitätskontrolle 29
5.4 Überprüfung der Reproduzierbarkeit der Hanelfolie 30
5.5 Überprüfung der Reproduzierbarkeit des T-Scan-III als Fünf-Folien-Test 30
5.6 Folienbelastungstest 30
5.7 Beschreibung der angewandten statistischen Methoden 31
6. Ergebnisse 33
6.1 Anzahl der Kontaktpunkte 33
6.1.1 Lokalisation der Kontakte 37
6.2 Reliabilitätskontrolle 39
6.2.1 Hanelfolie 39
6.2.2 T-Scan-III 40
6.2.3 Vergleich beider Prüfverfahren 41
6.3 Reproduzierbarkeit der Hanelfolie 45

6.4 Reproduzierbarkeit des T-Scan-III als Fünf-Folien-Test 47
6.5 Folienbelastungstest 53
7. Diskussion 58
7.1 Material und Methode 58
7.1.1 Probanden 58
7.1.2 Hanelfolie 59
7.1.3 T-Scan-III 60
7.2 Ergebnisse 63
7.2.1 Anzahl der Kontaktpunkte 63
7.2.2 Reproduzierbarkeit 64
7.2.3 Folienbelastungstest 66
8. Klinische Schlussfolgerung 67
9. Literaturverzeichnis 69
10. Abbildungsverzeichnis 78
11. Tabellenverzeichnis 80
12. Eidesstattliche Versicherung 82
13. Lebenslauf 83
14. Danksagung 84

1. Abstrakt

Das Ziel dieser klinisch-experimentellen Studie war es, die Anwendbarkeit des T-Scan-III-Systems in vivo zu untersuchen. Insbesondere wurde die Reproduzierbarkeit der Sensorfolien sowie die Genauigkeit der registrierten Kontaktpunkte hinsichtlich ihrer Anzahl pro Zahn und Lokalisation auf der Zahnfläche überprüft.

Die Untersuchung erfolgte an 20 Probanden, die ein eugnathes und vollständig bezahntes (mindestens bis zum zweiten Molaren), ein im kautragenden Bereich restaurationsfreies Gebiss sowie keine kraniomandibulären Dysfunktionen aufwiesen.

Als Goldstandard und Referenz wurden die Kontaktpunkte im Mund mit Hanelfolie markiert. Als Messparameter wurde die Anzahl der Kontaktpunkte pro Zahn gewählt, dies spezifiziert nach Front- und Seitenzähnen und weiter verfeinert durch die Evaluation der Kontakte pro Zahnfläche (zervikal, tuberkulär, inzisal für Frontzähne, mesial, distal, bukkal, oral für Seitenzähne). Die Reliabilität der Okklusionsprüfmethoden wurde sowohl für die Hanelfolie als auch für die T-Scan-III-Folie durch wiederholte Messungen getestet. Die Reliabilität der Interpretation der Okklusionsergebnisse beider Methoden erfolgte durch eine zeitlich völlig unabhängige zweite Auswertung aller Messergebnisse nach sechs Monaten durch dieselbe Untersucherin. Für die T-Scan-III-Folie wurde zudem ein Belastungstest vorgenommen.

Die T-Scan-III-Folie ermittelte signifikant weniger Kontakte als die Hanelfolie. Die Übereinstimmung beider Messverfahren war lediglich mittelmäßig bezogen auf alle Kontaktpunkte und nur leicht differenziert nach Front- und Seitenzähnen. Betrachtet man die verschiedenen Zahnflächen der Front- und Seitenzähne (zervikal, tuberkulär, inzisal bzw. mesial, distal, bukkal, oral), so traten Abweichungen zwischen den beiden Okklusionskontrollmethoden zu über 37% auf, wobei das T-Scan-III verglichen mit dem Goldstandard der Hanelfolie falsch positive und auch falsch negative Okklusionspunkte angab. Die Überprüfung der Beurteilungsmethode anhand einer zweiten Evaluation ergab eine nahezu vollständige Übereinstimmung sowohl für die Anzahl der Messpunkte insgesamt, unterschieden nach Front- und Seitenzähnen, als auch bezogen auf die Zahnflächen.

Eine gute Reliabilität der Okklusionskontakte mittels der Hanelfolie konnte durch mehrfache Kontrollen bestätigt werden. Die Sensorfolie des T-Scan-III-Systems wies keine Übereinstimmung bei wiederholten Kontrollen mit stets neuen Folien auf. Die mehrfache Verwendung derselben Folie zeigte deutlich eine Abnahme der getesteten Kontaktpunkte.

Das T-Scan-III-System ist im Vergleich mit der herkömmlichen Hanelfolie für eine exakte Okklusionsanalyse nicht geeignet. Für die Okklusionsanalyse sollten herkömmliche Okklusionsindikatoren verwendet werden.

2. Abstract

The aim of this clinical experimental study was to investigate the applicability of the T-Scan III system in vivo. In particular, the reproducibility of the sensor foils as well as the accuracy of the registered contact points were examined with regard to their number per tooth and their localization on the tooth surface.

The investigation was performed on 20 test persons with a complete dentition (at least up to the second molars), an eugnathic bite without any restorations in the central chewing area and who didn't experience any craniomandibular dysfunctions.

The contact points in the mouth were marked with Hanel foil as a gold standard and reference. The number of contact points per tooth was selected as measurement parameter, classified by anterior and posterior teeth and further refined by the evaluation of contacts per tooth surface (cervical, tubercular, incisal for incisors; mesial, distal, buccal, oral for posterior teeth). The reliability of the occlusion test method was tested for both the Hanel foil and for the T-Scan III foil by repeated measurements. The reliability of the interpretation of the occlusion results for both methods was carried out by a fully independent (in terms of time) second evaluation of all measured results after six months by the same investigator. A load test was additionally conducted for the T-Scan III foil.

The T-Scan III foil detected significantly fewer contacts than the Hanel foil. The agreement between both measurement methods was merely mediocre, based on all the contact points, and only slightly differentiated by anterior and posterior teeth. Looking at the different tooth surfaces of the anterior and posterior teeth (cervical, tubercular, incisal and mesial, distal, buccal, oral), discrepancies between the two occlusion control methods occurred to over 37%. The T-Scan III, compared with the gold standard of Hanel foil, stated both false positive and false negative occlusion points. The review of the assessment method on a second evaluation showed an almost complete match for both the number of measurement points in total, differentiated by anterior and posterior teeth as well as with respect to the tooth surfaces.

A good reliability of the occlusal contacts by the Hanel foil was confirmed through multiple inspections, while the T-Scan III foil had no match through repeated checks with always new foils.

The multiple use of the same foil clearly showed a decrease in the tested contact points. Compared with the conventional Hanel foil, the T-Scan III system is not adequate for precise occlusal analysis. For the occlusal analysis, conventional occlusal indicators should be used.

3. Einleitung

„Eine neue Art von Denken ist notwendig, wenn die Menschheit weiterleben will“ (Albert Einstein).

Wir wissen heute, dass die Okklusionsdiagnostik ein ganz wesentlicher Bestandteil jeglicher zahnmedizinischen Behandlung ist. Funktionsstörungen bzw. Okklusopathien zählen neben Karies mit ihren Folgeerkrankungen und Parodontopathien zu den häufigsten Erkrankungen des Kausystems (34), wobei der Verlauf ganz wesentlich vom Allgemeinzustand und der Psyche des Patienten sowie von Umwelteinflüssen bestimmt wird. Frauen sind dabei häufiger und stärker betroffen als Männer. Für diese Prävalenz bei Frauen werden hormonelle Einflüsse angenommen (50). Nicht diagnostizierte Disharmonien in der Okklusion können zu allgemeinen Überlastungen des Parodonts, Frakturen oder frühzeitigen Implantatverlusten führen (15, 32, 45). Auch ist eine Auswirkung auf den gesamten Bewegungsapparat mit Veränderung der Körperhaltung möglich (9, 1, 24).

Jahrzehntelang diente herkömmliches farbliches Prüfpapier, Farbfolie oder Wachs als das Mittel der Wahl bei der intraoralen Okklusionsdiagnostik. Unabhängig von der jeweiligen Qualität der einzelnen Prüfverfahren liefern diese konventionellen Methoden aber lediglich den endgültigen Moment der Okklusion. Die Interpretation der farblich markierten Kontakte ist rein subjektiv und lässt keine Analyse hinsichtlich eines genauen zeitlichen Ablaufs der Okklusionsfindung und deren Kraftverhältnisse zu.

Im modernen Zeitalter der Digitalisierung wird das Verlangen nach einem Analyseverfahren, das nicht nur Okklusionskontakte, sondern auch die Entstehung und Entwicklung der einzelnen Kontakte digital aufzeichnet, immer größer.

Schon 1991 erfolgte im Rahmen einer Promotion eine klinisch-experimentelle Untersuchung zur Okklusionsüberprüfung mit der ersten Generation des T-Scan-Systems. Ziel war es, die Anwendbarkeit des Gerätes und die Reproduzierbarkeit der ermittelten Daten zu testen. Nach Abschluss der Untersuchungen wurde festgestellt, dass trotz Einsatz moderner Technologie die herkömmliche Methode zur Okklusionsüberprüfung mit Hanelfolie genauere und eindeutigere Ergebnisse erzielte.

So waren nur 50% der Kontakte mit dem T-Scan-System übereinstimmend, unabhängig von der Sensorfoliendicke (69).

In dieser vorliegenden Studie wird nun das T-Scan-III, ein digitales Messgerät zur Darstellung der intraoralen Okklusionskontakte und Aufzeichnung der Kraftkonzentration bzw. Kraftverteilung sowie eventueller Frühkontakte untersucht. Es wird auf die klinische Anwendbarkeit zur Okklusionsanalyse im Vergleich zur Hanelfolie überprüft. Da es sich um ein Gerät der dritten Generation handelt, galt es festzustellen, ob die Weiterentwicklung der Hard- und Software dieses Systems die klinische Anwendbarkeit in der Okklusionsanalyse verbessert hat.

3.1 Bedeutungen der Okklusion

3.1.1 Definitionen

Ursprünglich ist der Begriff „Zahnheilkunde“ als die Heilkunde von der Wiederherstellung eines zerstörten oder verlorengegangenen Zahnes definiert. Das „Kauorgan“ sieht als wichtigstes Ziel die Wiederherstellung der Kaufunktion. Jedoch fand in den letzten 100 Jahren zunehmend eine Umwandlung der Begriffsbestimmung „Kauorgan“ statt. So bezeichnete man es als „orofaziales System“, „stomatognathes System“ und heute als „kraniomandibuläres System“.

Das stomatognathe System beschreibt die funktionelle Einheit von Ober- und Unterkiefer mit den Zahnreihen und Parodontien, Kiefergelenken, Kaumuskulatur, der supra- und infrahyoidalen, der mimischen und der Zungenmuskulatur, den Speicheldrüsen und den Weichgeweben im Gesichtsbereich (43). Okklusion (Zähne und Parodont), neuromuskuläres System (Kaumuskulatur mit innervierenden Nerven) und Kiefergelenke bilden dabei eine Trias, die zueinander im biomechanischen, funktionellen und neuromuskulären Einklang steht.

Das kraniomandibuläre System definiert nicht nur die Funktion des Kauens, sondern auch allgemeine Aufgaben im Bereich des Kopfes und des Unterkiefers für den gesamten Körper. Dies meint die Statik und Dynamik des Schultergürtel-Kopfgebietes in Bewegung, Abstützung und Stabilisierung.

Hinzu kommen Aufgaben bei der Kommunikation, als psychisches und physisches Ausdrucksorgan im zwischenmenschlichen Bereich (25).

Der Begriff „Okklusion“ wörtlich übersetzt aus dem Lateinischen „occludere“ bedeutet „Verschließung“ oder „Verschluss“. In der Zahnmedizin spricht man von Okklusion, sobald sich die Zähne des Unterkiefers mit denen des Oberkiefers berühren, unabhängig der Größe und Ausdehnung (punktförmig oder flächig), ob in Ruheposition oder in Bewegung (statisch oder dynamisch). Unter Okklusion versteht man somit jeglichen Berührungskontakt zwischen der Oberkiefer- und der Unterkieferzahnreihe (20, 12). Bestimmt wird die Okklusion durch die Anatomie der Kauflächen sowie die Seitenzahnrelation in der Sagittalen und Transversalen. Die Fläche, auf der sich die Zähne treffen, wird als Okklusionsebene bezeichnet. Diese ist, wenn man Höckerspitzen und Schneidekanten verbindet, in sagittaler und transversaler Richtung nach unten gekrümmt (11).

Statische und dynamische Okklusion

Die Okklusion differenziert sich in die statische und dynamische Okklusion. Bei der statischen Okklusion treffen sich die Zahnreihen in geschlossener Position bei unbewegtem Unterkiefer. Bei der dynamischen Okklusion kommt es dagegen zu einer Zahnberührung durch die Bewegung des Unterkiefers gegen den Oberkiefer im Sinne von Gleitkontakten an oder auf den Zahnreihen.

Die statische Okklusion bei maximal erreichbarem Vielpunktkontakt zwischen den Oberkiefer- und Unterkieferzähnen wird als maximale Interkuspidation definiert. Eine statische Okklusion, die gewohnheitsmäßig im Vielpunktkontakt eingenommen wird, ist als habituelle Okklusion oder habituelle Interkuspidation (IKP) zu bezeichnen. Diese kann durch Veränderung der Zahnstellung, Zahnverlust oder prothetische Maßnahmen beeinflusst werden und zu Störungen des stomatognathen Systems führen (70). Eine weitere Form der statischen Okklusion ist die zentrische Kontaktposition (ZKP). Hier stehen die Kondylen des Kiefergelenks zwar zentriert und physiologisch in der Fossa articularis, jedoch kann sich kein Vielpunktkontakt einstellen. Bei der Schließbewegung entstehen lediglich erste Kontakte an den Zähnen, die als Vorkontakte bezeichnet werden. Diese Vorkontakte wirken als Störfaktoren (okklusale Interferenzen) in der

Zentrik und bewirken ein zwanghaftes Gleiten in die habituelle Position. Ein Idealfall eines orthognathen Kausystems liegt vor, wenn die maximale Interkuspidation mit der zentrischen Kontaktposition zusammenfällt. Bei 92% der Bevölkerung liegt der Kondylus bei maximalem Vielpunktkontakt weiter anterior in der Fossa articularis (82). Heute wird die zentrische Kondylenposition als cranialste, anteriore Lage des Kondylus in der Fossa definiert (89), da der Diskus am Abhang des Tuberculum artikulare liegt. Nach cranial oder retral sollte kein Druck im Gelenk entstehen.

Die dynamische Okklusion wird von der Frontzahnrelation und Eckzahnposition entscheidend beeinflusst. Die oberen Frontzähne sollen hier die unteren Frontzähne sowohl in der Sagittalen (Overjet) als auch in der Vertikalen (Overbite) um ca. 2 mm überragen. Es findet eine Unterkieferbewegung gegen den Oberkiefer unter Zahnkontakt statt. Die dynamische Okklusion differenziert sich in vier Formen: Front-Eckzahngestützte Okklusion, Eckzahngestützte Okklusion, Unilateral balancierte Okklusion und Bilateral balancierte Okklusion.

Die häufigste Form der dynamischen Okklusion im natürlichen Gebiss ist die Front-Eckzahngestützte Okklusion. Dabei führt die gesamte Frontzahngruppe von Eckzahn zu Eckzahn. Der Seitenzahnbereich diskludiert bei jeglicher Bewegung des Unterkiefers. Die zweithäufigste dynamische Okklusionsform ist die Unilateral balancierte Okklusion. Die Führung erfolgt als Gruppe bestehend aus Seitenzähne und Eckzähne der Arbeitsseite (Gruppenführung), wobei die Balanceseite diskludiert. Die Protrusionsbewegung wird über die Front- und Eckzähne geführt. Die Bilateral balancierte Okklusion weist sowohl auf der Arbeitsseite als auch auf der Balanceseite dynamische Okklusionskontakte ohne Disklusion auf (82).

Einfluss auf die Bewegung des Unterkiefers haben sowohl die Kauflächenmorphologie (48) als auch der Gebisszustand (z.B. Vollbezahnung, Zahnlücken, Neutralverzahnung, Kopf- oder Kreuzbiss) und die altersabhängige Gebissentwicklung (6, 64, 93, 72).

3.1.2 Neuroanatomie

Der Kaureflex ist ein bedingter Reflex, dessen Rezeptoren in den Parodontien, den Muskeln und Sehnen sowie den Kiefergelenken liegen.

Die afferenten Fasern des Nervus trigeminus unterscheiden sich in motorische und sensible Fasern. Die motorische Wurzel des Nervs versorgt die Kaumuskulatur und hat ihren Ursprung im Nucleus (Ncl.) motorius nervus trigemini. Der Kernkomplex des sensiblen Teils lässt sich in drei Anteile aufgliedern: Ncl. spinalis nervus trigemini, Ncl. principalis nervus trigemini und Ncl. mesencephalicus nervus trigemini. Im Ncl. spinalis enden v.a. Fasern der protopathischen Sensibilität (Schmerz, Temperatur, grobe Berührungsempfindung), im Ncl. principalis die epikritische Sensibilität (feine Berührungsempfindung) des Gesichts und im Ncl. mesencephalicus schließlich die propriozeptiven Fasern der Kaumuskulatur (86).

Das Bewusstsein über Position und Bewegung der Zähne sowie des Kiefers erfolgt über synaptische Verbindungen einiger Rezeptoren im Pons zur sensorischen Großhirnrinde. Dieses Bewusstsein tritt bei jedem Okklusionskontakt bzw. Kauzyklus und beim Schluckreflex auf. Um Überlastungsphänomene zu verhindern, wird die Aktivität der Kaumuskulatur durch Rezeptoren gesteuert und bei zu hohen Belastungen gebremst.

Schon 1975 wurde der Sherrington-Reflexkreis beschrieben (42). Er beruht auf rhythmischem Kauen aufgrund von Kieferöffnungs- und schließreflexen, was durch Aufbeißen auf harte Gegenstände sofort unterbunden werden kann (25). KAWAMURA konnte 1961 nachweisen, dass den Propriozeptoren des Parodonts nicht nur die Funktion der Kontrolle der Druckbelastung im Parodontalspalt zukommt, sondern auch die Registrierung des ersten Antagonistenkontaktes ohne wesentliche Belastung des Zahnes oder Desmodonts. Er teilte die Rezeptoren in schnelladaptierende und langsamadaptierende Rezeptoren ein. Die schnelladaptierenden registrieren den ersten Kontakt und die langsamadaptierenden die Wahrnehmung der Druckbelastung. Kawamura wies außerdem nach, dass der Anteil der schnelladaptierenden Rezeptoren im Frontzahngebiet und der Anteil der langsamadaptierenden im Seitenzahngebiet größer sind. Funktionell ergibt sich die Aufgabe der statischen Okklusion für die

Seitenzähne und die dynamische Okklusion für die Frontzähne (37, 25).

Nur eine allseitige, gleichzeitige und gleichmäßige Belastung der Seitenzähne in statischer Okklusion stellt sicher, dass keine Zähne überlastet werden und eine regelrechte Aktivität der Kaumuskulatur stattfindet. Schon ein Gegenstand von 6 µm Dicke kann von den Zähnen ertastet werden (58). Die physiologische Beweglichkeit eines Zahnes variiert zwischen 30 und 100 µm, abhängig von Zahnform, Zahngruppe und Wurzeloberfläche (77). Wird ein Zahn zu stark belastet, z.B. durch einen Vorkontakt, verlieren die Propriozeptoren ihre Funktion, weil der Zahn zu stark in die Alveole gedrückt wird und somit keine physiologische Beweglichkeit mehr besitzt. Dies führt zu Unterbrechungen neuromuskulärer Regelkreise und Beeinflussung der Aktivität der Kaumuskulatur und Reflexzyklen, z.B. Schluck- und Kaureflex. Die Folge ist eine funktionelle Störung. Obwohl das komplexe Zusammenspiel von Zentralem Nervensystem (ZNS), Muskulatur, Kiefergelenken und Okklusion selbststeuernd und selbstregulierend verläuft, kann es durch exo- und endogene Faktoren zu Disharmonien kommen. Psychische Faktoren wie Stressbelastung können zusätzlich verstärkend wirken. Neben Lautbildung, Mastikation, Schlucken und Atmung wird dem Kauorgan auch die Stressbewältigung im Sinne der Parafunktionen zugeordnet (11). Diese Disharmonien stören die Regulation und setzen Leistung und Anpassungsfähigkeit herab.

Die Entstehung kraniomandibulärer Dysfunktionen (CMD) im Allgemeinen wird jedoch bis heute wenig verstanden (80).

Auf jegliche Art von einwirkenden Stressoren reagiert der Organismus mit einer Ausschüttung von Adrenalin und Noradrenalin. Dies führt zu typischen physiologischen Veränderungen sowohl im vegetativen Nervensystem als auch im endokrinen System. Ziel dieser Veränderungen ist es, die gesamt verfügbare Energie zum Zwecke des Selbstschutzes bereitzustellen und alle Voraussetzungen für körperliche muskuläre Aktivität zu schaffen (82).

3.1.3 Ätiologie kraniomandibulärer Dysfunktion

Viele Konzepte wurden schon im Bereich der Ursachenlehre von CMD entwickelt (80), da ätiologische Faktoren entweder unbekannt oder einer multifaktoriellen Pathogenese unterliegen (40, 6). Durch Einführung psychologischer und psychophysikalischer Theorien (33, 62) sprechen wir heute von einem biopsychosozialen Konzept, in dem die CMD als ein chronisches Schmerzproblem eingeordnet wird (57, 62, 88). Für den Verlauf und die Genese von Funktionsstörungen werden in der Literatur u.a. okklusale, traumatische und psychosoziale (psychische) Faktoren beschrieben, wobei die individuelle unterschiedliche Disposition der Gewebe sehr entscheidend ist.

Okklusale Faktoren

„In mehreren Studien wird der Okklusion als ätiologischer Faktor für CMD nur eine sekundäre Rolle zugewiesen“ (Peroz 2004, S. 24). Es konnte sowohl in Patientenstudien als auch in Metaanalysen kein klarer Zusammenhang zwischen CMD und den folgend genannten okklusalen Parametern hergestellt werden (62).

- Sagittale und vertikale Frontzahnstufe (Overjet und Overbite),
- Kreuzbiss,
- asymmetrisches Gleiten von Zentraler Kondylenposition (ZKP) in Interkuspidation (IKP) sowie
- die Länge des Gleitweges von ZKP nach IKP,
- Verlust an okklusaler Abstützung,
- Charakteristik der dynamischen Okklusion (35, 36, 62, 65, 66, 74).

„Allein der anterior offene Biss ist streng mit arthrotischen Beschwerden verknüpft und kommt selten bei gesunden Probanden vor. Er gilt demnach als prädisponierender okklusaler Faktor“ (Peroz 2004, S. 24). Da er jedoch mit chronischen Diagnosen korreliert (62), wird der anterior offene Biss auch als sekundär, d.h. als Folgeerscheinung einer CMD diskutiert (47, 62, 75).

Allgemein wurde ein Zusammenhang zwischen Malokklusion und CMD in Studien hergestellt (78).

In einer anderen Studie konnten nur das Gleiten von RKP in die maximale Interkuspidation > oder = 2 mm sowie protrusive Interferenzen als jene zwei okklusale Faktoren ermittelt werden, die signifikant assoziiert mit myofaszialem Schmerz entsprechend den kritischen Symptomen der TMD (temporomandibular Disorders) bzw. CMD (44) sind.

Eine klare Korrelation okklusaler Faktoren zur CMD oder möglicherweise zu spezifischen Diagnosen einer CMD ist nicht festzustellen, da diese sowohl bei Gesunden als auch Patienten stark variieren (22, 36, 55, 62).

Traumatische Faktoren und Parafunktionen

Traumatische Faktoren werden überwiegend im Zusammenhang mit Diskusverlagerungen diskutiert. Für die CMD sind Parafunktionen interessant. So können Parafunktionen als kontinuierlich einwirkende Mikrotraumen zu einer Überbelastung der Strukturen im stomatognathen System führen (82).

In der Literatur wird das Pressen und Knirschen (Bruxismus) mit einer Prävalenz von 6% (13, 51, 62) bis 68% (62, 73) beziffert und des Öfteren in einen ätiologischen Zusammenhang mit CMD dargestellt (31, 62, 63, 91). „Aber auch dieser potentielle ätiologische Faktor wird kontrovers diskutiert“ (Peroz 2004, S. 27).

Problematisch „(…) ist die Diagnostik von Bruxismus. Anamnestische Angaben sind fragwürdig, da sich mindestens 50% der Patienten nicht ihrer Parafunktionen bewusst sind“ (Peroz 2004, S. 27).

Psychosoziale/psychische Faktoren

Als mögliche Ursachen für Parafunktionen werden psychologische Belastungssituationen genannt (51, 62), die auch mit der Entstehung von CMD in Verbindung gebracht werden (17, 31, 79, 62). Sie sind wohl in der heutigen Zeit die wichtigsten Faktoren bei der Entstehung von kraniomandibulären Dysfunktionen. Dabei

kommt es zu einer akuten oder chronischen Einwirkung von physischen, psychischen und/oder sozialen Stressoren, deren Belastung der Patient unzureichend verarbeiten kann. Folglich entstehen Überaktivitäten im stomatognathen System (82). In Studien an Patienten mit CMD und einer Kontrollgruppe konnte nachgewiesen werden, dass höhere Stressbelastungen, somatische Beschwerden und emotionale Probleme häufiger bei Patienten mit CMD auftreten (17, 49, 62). Belastende Lebenssituationen können neben Parafunktionen kofaktoriell für Muskelverspannungen verantwortlich sein (49, 62, 90). Zudem scheinen CMD-Patienten eher an Schlafstörungen zu leiden (39, 62).

Ob bei CMD-Patienten alterierte psychologische Parameter zur Entstehung der CMD beigetragen haben oder ob die CMD die psychischen Veränderungen verursachte, ist strittig (62).

3.2 Okklusionsprüfmethoden

Okklusionsprüfmethoden sind in der Zahnmedizin eine der wichtigsten Aufgaben sowohl zur Qualitätskontrolle restaurativer Maßnahmen als auch funktionsanalytisch zur Prävention und auch Behandlung kraniomandibulärer Dysfunktionen.

Für die Erfassung der Zahnkontakte zwischen den einzelnen Zähnen des Ober- und Unterkiefers stehen dem Behandler in der heutigen Zeit konventionelle und moderne Prüf- bzw. Analysemethoden zur Verfügung. Als konventionelle Methoden dienen z.B. Farbseide, Farbfolien (Okklusionspapier, Artikulationspapier), Wachsregistrate, Silikone und Alginat. Diese Hilfsmittel erlauben jedoch lediglich eine qualitative Aussage eines Kontaktpunktes. Moderne Analysemethoden ermöglichen durch den Einsatz des Computers auch quantitative Aussagen der Okklusionskontakte. Beispiele hierfür sind die Fotookklusion, das Dental Prescale Occluzer System, Greifswald Digital Analyzing System (GEDAS) und das in dieser Studie untersuchte T-Scan-System.

Im Folgenden wird nur kurz auf die einzelnen Methoden mit ihren Vor- und Nachteilen eingegangen.

Aus den dreißiger Jahren wurde in Untersuchungen durch Abtasten der Zahnreihen mit Platindrähten überliefert, dass die Reizschwelle für das Erkennen eines Kontaktes zwischen 0,1 und 0,02 mm liegt. Basierend darauf ist die früher benutzte Farbseide mit 0,5 mm Dicke zur Darstellung der okklusalen Kontakte nicht aussagekräftig. Zum einen wirkte sie überwiegend irritierend auf den Patienten und zum anderen legte sich die Seide komplett dem Zahn an, wodurch ganze Areale und nicht nur die Kontaktpunkte angefärbt wurden.

Die häufigste und einfachste Anwendung in der Okklusionsanalyse findet die Farbfolie, das sogenannte Okklusions- oder Artikulationspapier. Die 20-30 µm dicke farblich kodierte Kontaktfolie, auch Hanelfolie genannt, wird zwischen antagonistischen Zahnpaaren interponiert. Beim Aufbiss werden die Kontaktstellen farblich markiert und können so direkt ausgewertet werden. RIISE beschrieb das Phänomen des Ansteigens der Anzahl der Kontaktpunkte mit zunehmender Kraft beim Zusammenbeißen (68). Nachteilig sind die fehlende Möglichkeit der Archivierung und Reproduzierbarkeit der eingefärbten Kontakte (3, 10, 18) sowie die Empfindlichkeit gegenüber Feuchtigkeit. Auch beschränken sich die farblichen Markierungen nicht nur auf die tragenden okklusalen Kontakte, sondern zeichnen zum Teil ganze Areale z.B. bei Schlifffacetten oder sehr flachem Höcker-Fissuren-Relief an. Bei zu geringem Druck hinterlässt die Folie keine farblichen Markierungen (67).

Eine besonders dünne Folie ist die Shimstockfolie (8-15 µm dick). Sie besitzt keinen Farbauftrag, eignet sich aber für das feine Abtasten jedes einzelnen Kontaktes beim Zusammenbeißen.

Besser reproduzierbar sind gegenüber dem Okklusionspapier Wachsregistrate (23). Die Wachsplatten werden im Wasserbad gleichmäßig erwärmt und ermöglichen einen druckgleichen Zusammenbiss beider Kieferhälften. Die Tiefe der Zahnabdrücke in den Impressionen des Wachsregistrates liefert dem Behandler eine qualitative Aussage der einzelnen Kontakte (59, 23, 14). Neben der überwiegend subjektiven Auswertung der Wachsschichtstärke ist sicherlich auch die gedachte Übertragung auf die Zahnreihen zur genauen Lokalisation des entsprechenden Kontaktes als äußerst schwierig einzustufen.

Mit Hilfe von Silikon und Alginat können okklusale Kontakte in Form eines Bissregistrats hergestellt werden. Als ein geeignetes Material zur Okklusionsdarstellung ist Silikon zu

nennen, da aufgrund seiner Viskosität eine Verschiebung der Zähne bei der Schließbewegung verhindert wird (8). Die Registrate werden gegen eine Lichtquelle gehalten, um entsprechende transluzente oder gar perforierte Bereiche als Kontaktpunkte zu definieren (21, 41, 94). Für eine präzise und reproduzierbare Aussagefähigkeit dieser Methode ist die fotographische und computergestützte Auswertung zu erwähnen (56). Als Referenz dient hier ein Kalibrierkörper mit definierten Materialstärken.

Zur Darstellung der Okklusionskontakte mittels der Fotookklusion wurden transparente, fotoelastische Folien verwendet, an denen mit Hilfe von polarisiertem Licht die Zahnabdrücke sichtbar gemacht werden konnten (5).

Ein System zur digitalen Okklusionsanalyse ist das Dental Prescale Occluzer System aus Tokyo, Japan (2, 83). Die Prescale- Druckmessfolien basieren auf Polyester, welche aus Lagen mit sehr kleinen farbstoffhaltigen Mikrokapseln bestehen (38). Wird auf die Kapseln Druck ausgeübt, kommt es zu einer Reaktion des Färbemittels in der Kapsel mit dem Filmmaterial. Es resultiert eine Rotfärbung. Die Farbintensität entspricht dem aufgewendeten Druckniveau in einem Druckbereich von 5-120 MPa (4). Die Auflösung der Folien erreicht über 2.000 Messpunkte/mm² (28, 54, 84, 85). Untersuchungen ergaben jedoch, dass die gemessene Kraft häufig höher als die tatsächlich applizierte Kraft war (85).

Bei dem jüngst entwickelten GEDAS („Greifswald Digital Analyzing System“) dient ein extrahartes Silikon als Bissregistrat. Dieses wird auf zwei Arten digital erfasst. Zur Darstellung der okklusalen Kontaktstellen wird es im Durchlicht (Transparenzmodus) und zur Aufnahme der Zahnkonturen im Auflicht gescannt. Ein ebenfalls gescanntes Kalibrierungsobjekt mit fließend ansteigenden Schichtstärken dient als Referenz für die Auswertung der Kontaktpunkte im Bissregistrat. Schichtstärken, die ≤ 20 µm dick sind, werden als okklusaler Kontaktpunkt gewertet und können durch Aufeinanderlegen beider Scans exakt zugeordnet werden (29).

4. Zielsetzung der Arbeit

Das Ziel der vorliegenden Arbeit war es, die Reproduzierbarkeit des T-Scan-III-Systems im Vergleich mit einem konventionellen Verfahren zur Okklusionsanalyse zu überprüfen.

1) Markiert das T-Scan-III dieselben Kontakte wie die im Mund mit Hanelfolie markierten okklusalen Kontaktpunkte?

2) Ist die Markierung okklusaler Kontakte mittels der Hanelfolie reproduzierbar?

3) Ist die Markierung okklusaler Kontakte mittels der Sensorfolie reproduzierbar?

4) Wie belastbar ist die Sensorfolie?

5. Material und Methode

5.1 Das T-Scan-III-System – eine Systembeschreibung

Das T-Scan-System der Firma Tekscan (Tekscan Inc. 307 W. First Street, S. Boston, Massachusetts, 02127, USA, www.tekscan.com) wurde 1987 eingeführt und bis zur dritten Generation (2006) weiterentwickelt. Das T-Scan-III-System kann an fast alle IBM- kompatiblen Computer mit Windows-Betriebssystem (2000/XP/Vista) angeschlossen werden (Vertrieb in Deutschland Firma Cumdente, Paul-Ehrlich-Straße 11, D-72076 Tübingen).

Das System besteht aus einem Evolution- Handstück mit USB- Kabel, Sensorfolien (T-Scan-Folien) mit passenden Sensorfolienhaltern in den Größen „small“ und „large“, sowie der Systemsoftware (Abb.1 und 2). Die Kraftmessung der 65 µm dicken Sensorfolie erfolgt mit einer Frequenz von 100 Hz. Die Sensorfolien besitzen 1370 (Sensorfoliengröße large) bzw. 1122 (Sensorfoliengröße small) aktive Druckmesszellen. Diese werden als „Messzellen“ bzw. „Messelemente“ bezeichnet und sind in Zeilen („rows“) und Spalten („columns“) auf der Sensorfolie angeordnet.

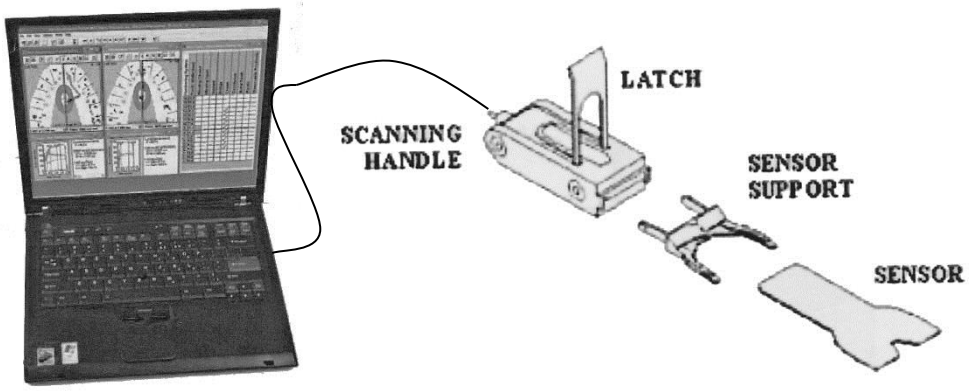


Abbildung 1 Aufbau der T-Scan-Einheit

Abbildung 2 Sensorfolien small und large sowie das Handstück mit eingespannter Folie

Bei Krafteinwirkung auf die Sensorfolie kommt es zu Spannungsabfällen in den Leiterbahnen, die im Evolution- Handstück verarbeitet und an den Computer gesendet werden. Diese Daten werden mit Hilfe der Software digitalisiert. Die Buttons des Handstücks dienen darüber hinaus dem Starten bzw. Stoppen einer Aufzeichnung. Durch entsprechende Menüfunktionen können die ermittelten Daten individuell analysiert werden, d.h. Aufzeichnung der Okklusionskontakte und deren Zuordnung zu bestimmten Zähnen sowie die Darstellung der Daten mit Kraft- und Zeitentwicklung der Kontakte.

Zunächst wird der automatisch eingestellte Zahnbogen individualisiert. Hierzu wird die Breite eines mittleren oberen Frontzahnes vom Behandler gemessen, in der vorgegebenen Maske im T-Scan-System eingegeben und von der Software errechnet. Eine weitere Individualisierung des Zahnbogens (z.B. fehlende Zähne) kann über das Eintragen in eine so genannte Gewölbetabelle vorgenommen werden (Abb.3).

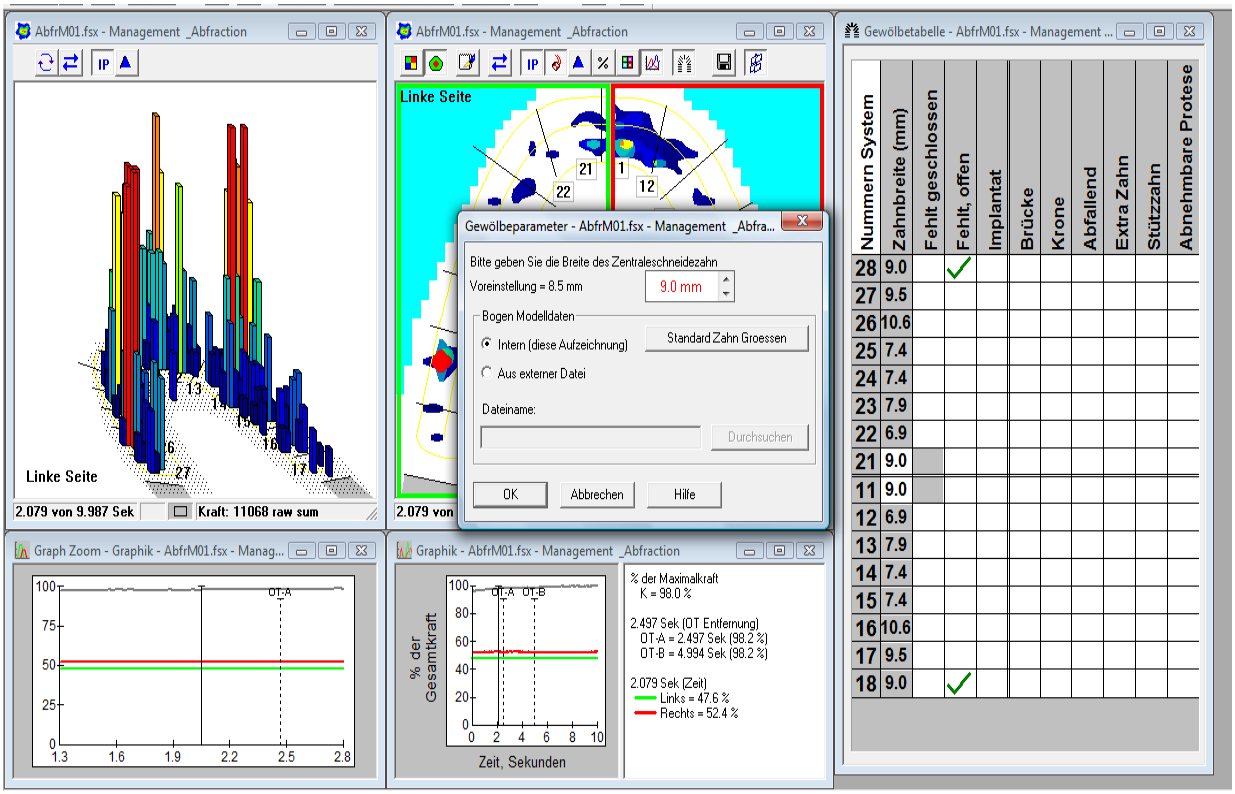


Abbildung 3 Gewölbetabelle und Übertragung der individuellen Frontzahnbreite

Nach Auswahl der passenden Folie entsprechend der Größe des Zahnbogens wird diese mit dem dazu gehörigen Sensorfolienhalter in das Evolution- Handstück eingesetzt. Der Führungsdorn am Sensorfolienhalter, auch Inzisivendorn genannt, wird zwischen den oberen mittleren Frontzähnen positioniert. Dabei liegt die Sensorfolie parallel zur Okklusionsebene am Oberkieferzahnbogen.

Bevor die Messung beginnt, wird der Proband dazu aufgefordert mehrmals locker auf die Sensorfolie zu beißen. Sie sollte nun nicht mehr als Störfaktor wahrgenommen werden. Anschließend wird das System auf die individuelle Kaukraft des jeweiligen Probanden kalibriert, indem der Proband für zwei bis drei Sekunden mit maximaler Kraft auf die Folie beißt. Während des eigentlichen Messvorgangs hält der Proband die maximale Okklusionskraft für etwa eine Minute und öffnet nach der vom System beendeten Messung wieder die Zahnreihen.

Nach der Aufnahme stellt das System die ermittelten Okklusionskontakte zweidimensional in einem Zahnbogen und dreidimensional als Balkendiagramm mit unterschiedlich hohen Säulen dar (Abb. 4 und 5). Als Unterstützung für die Auswertung der auftretenden Okklusionskräfte sind die dargestellten Kontakte farblich abgestuft und codiert (rot = stärkste Kraft; dunkelblau = geringste Kraft).

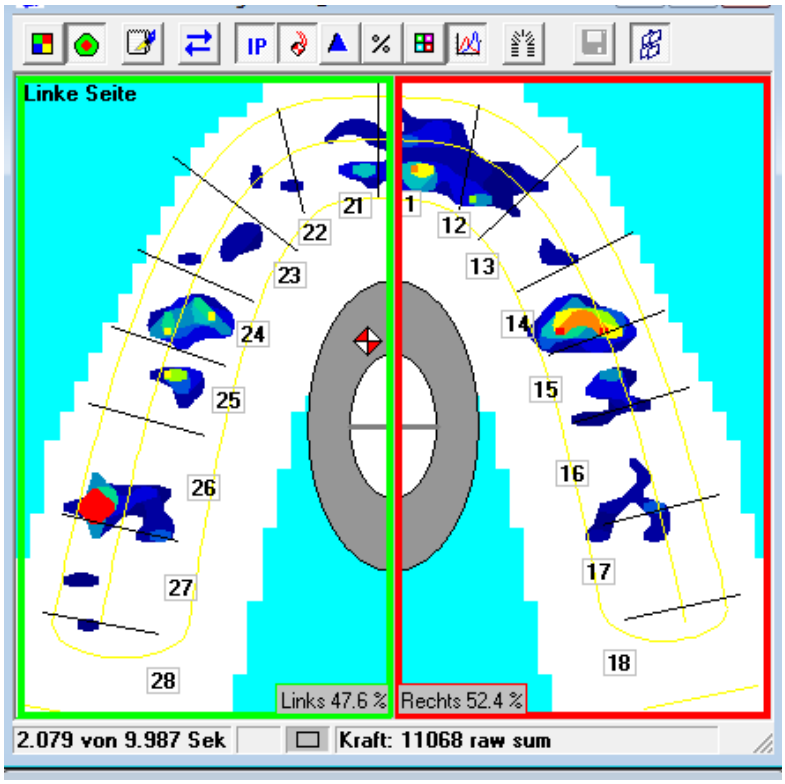


Abbildung 4 2D-Ansicht (Darstellung der prozentualen Kraftverteilung als Farbfelder)

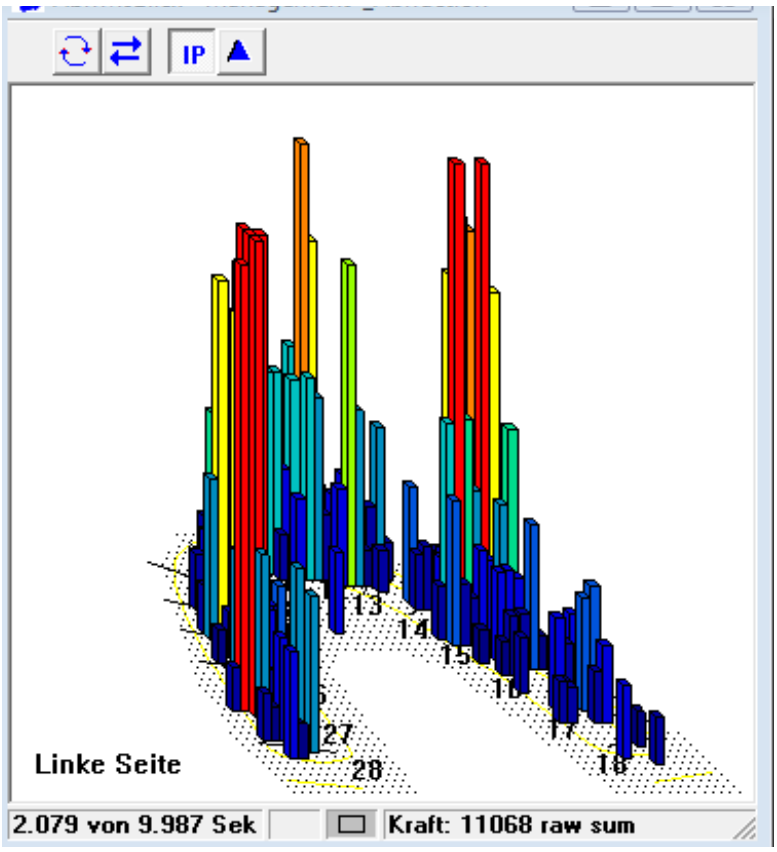


Abbildung 5 3D-Ansicht (Darstellung der prozentualen Kraftverteilung als Säulen)

In einem Kraft-Zeit-Diagramm (Abb. 6) kann die während des Messvorgangs aufgebaute und gehaltene Kraft als Video vorwärts und rückwärts sowie in verschiedenen Geschwindigkeiten im Seitenvergleich ausgewertet werden.

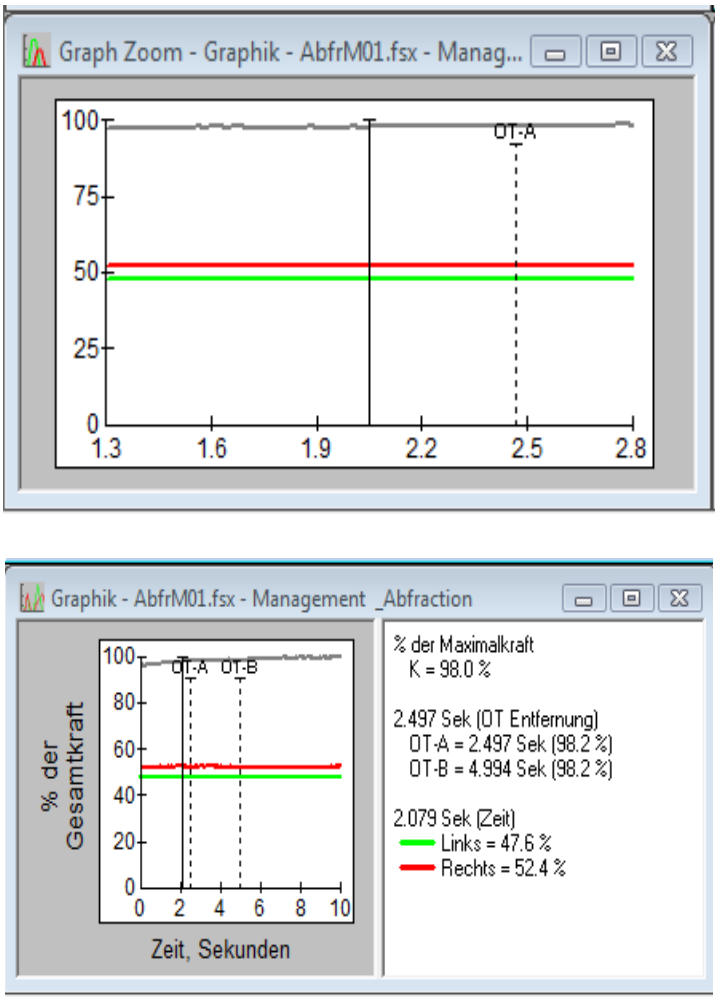


Abbildung 6 Kraft-Zeit-Diagramm

Folgende Kräfte sind in dem Kraft-Zeit-Diagramm dargestellt: Die graue Linie zeigt die Gesamtkraft in Prozent. Der prozentuale Anteil der Gesamtkraft der rechtsseitigen Okklusion wird als rote Linie und der linksseitigen Okklusion als grüne Linie markiert. Eine symmetrische Kraftverteilung beider Kieferhälften liegt vor, wenn die rote und grüne Linie annähernd auf einer Linie verlaufen. Im oberen Kraft-Zeit-Diagramm ist ein Kauzyklus, im unteren Diagramm sind fünf Kauzyklen über einen Zeitraum von acht Sekunden dargestellt.

5.2 Probanden

Die Studie erfolgte an 20 natürlich bezahnten Probanden und wurde von der Ethikkommission (Charité Ethikkommission, 25.08.2010, Antragsnummer EA4/067/09) genehmigt. Die Teilnehmer wurden über die Studie aufgeklärt und gaben die schriftliche Einwilligung zur Teilnahme.

Einschlusskriterien waren eine Bezahnung mindestens bis zum zweiten Molaren, eine neutrale Verzahnung sowie Probanden ohne konservierende Maßnahmen im kautragenden Bereich mit Ausnahme von Fissurenversiegelungen.

Als Ausschlusskriterien galten unvollständig bezahnte Probanden, konservierende Restaurationen im kautragenden Bereich und prothetische Konstruktionen im gesamten Gebiss, Abweichung von der Neutralverzahnung sowie kraniomandibuläre Dysfunktionen.

Das Vorhandensein einer kraniomandibulären Dysfunktion wurde anhand einer klinischen Voruntersuchung mit Hilfe des CMD- Screenings nach Ahlers/Jakstat (Abb. 7) ermittelt. Es verblieben für diese Studie von 35 Testpersonen 20 geeignete, die weniger als zwei Symptome aufwiesen.

CMD Screening

Mundöffnung asymmetrisch		☐
Mundöffnung eingeschränkt		☐
Gelenkgeräusche		☐
Okklusale Geräusche		☐
Muskelpalpation schmerzhaft		☐
Exzentrik traumatisch		☐
CMD	wahrscheinlich (≥2)	○
	unwahrscheinlich (≤1)	○

Abbildung 7 CMD-Screening nach Jakstat/Ahlers

5.2.1 Ablauf der Untersuchung und Messung

Für die Erfassung der Kontakte sowohl mit der digitalen Methode als auch mit Hilfe der Hanelfolie wurde der Proband in einer aufrechten Sitzposition im 90° Winkel positioniert.

Nach Trocknung der Zahnreihen wurden die Okklusionskontakte mit doppelter Hanelfolie im Mund dargestellt (Verfahren A) und für den späteren Vergleich mit dem T-Scan-III-System mit einer digitalen Spiegelreflexkamera fotografisch dokumentiert (Abb. 8).

Abbildung 8 Fotodokumentation der Kontaktpunkte mit Hanelfolie

Anschließend erfolgte die Okklusionsregistrierung unter Verwendung des T-Scan-III-Systems (Abb. 9) mit individuell eingestellter Frontzahnbreite (Verfahren B).

Abbildung 9 Bestimmung der individuellen Frontzahnbreite und intraorale Positionierung des T-Scan-III-Handstücks

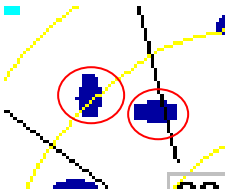
Es wurde die Breite eines mittleren oberen Frontzahnes des jeweiligen Probanden gemessen und in die Maske des T-Scan-Systems eingetragen. Eine weitere Individualisierung des Zahnbogens (z.B. fehlende Zähne) war für diese Studie nicht relevant, da nur voll bezahnte Probanden eingeschlossen wurden. Lediglich das Fehlen der Weisheitszähne wurde in der Gewölbetabelle vermerkt. Für jeden Probanden wurde eine neue Sensorfolie benutzt. Messfehler sollten durch die sich bei mehrfacher Belastung der gleichen Folienbereiche ändernde Sensibilitätsschwelle möglichst gering gehalten werden (27, 71).

5.2.2 Auswertungskriterien

Die mit Hanelfolie markierten Kontaktpunkte wurden zusätzlich mit Shimstockfolie überprüft, um mögliche Schlifffacetten auszuschließen.

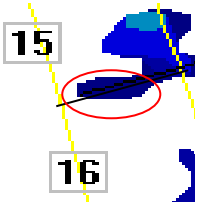
Für eine replizierbare Auswertung des T-Scan-III-Systems wurden die schematisch dargestellten Kontakte für diese Untersuchung wie folgt kategorisiert:

a) Ein Kontaktpunkt liegt vor, wenn eine eindeutig getrennte farbliche Markierung (kreis- oder ovalförmig) zu erkennen ist.

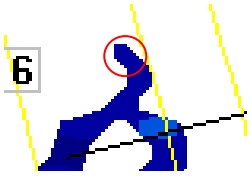


b) Mehrere Kontaktpunkte wurden gewertet, wenn die Markierung sich in verschiedene farbliche Bereiche mit zwei, drei oder mehr Ausläufern unterteilt.

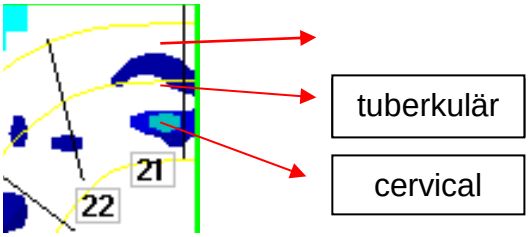
c) Liegt ein Kontaktpunkt zu gleichen Anteilen auf der zahnbegrenzenden Linie, so wurde der Kontakt für jeweils beide Zähne gezählt und gewertet.



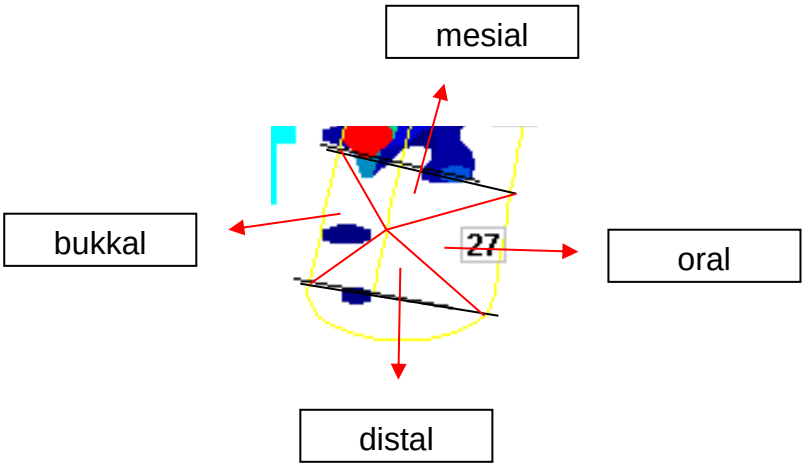
d) Ausläufer, die von einem farblich markierten Kontaktpunkt ausgehen, wurden nicht als eigener Kontakt gewertet.



e) Die Einteilung der Frontzähne (Zähne 13-23) erfolgte in drei Bereiche: inzisal (Bereich oberhalb der Zentralfissurlinie), tuberkulär (Bereich der Zentralfissurlinie) und cervical (Bereich unterhalb der Zentralfissurlinie).



f) Die Einteilung der Seitenzähne (17-14, 24-27) erfolgte in vier Bereiche: mesial, bukkal, distal und oral. Für die schematische Festlegung der Bereiche wurde die Zentralfissurlinie halbiert. Von diesem Mittelpunkt aus teilt sich die Zahnfläche jeweils zu den Eckpunkten der Zahnbegrenzungen in vier Bereiche.



5.3 Reliabilitätskontrolle

Um die eigene Reproduzierbarkeit in der Auswertung der Ergebnisse zu überprüfen, wurden die Fotos der mit doppelter Hanelfolie markierten Kontakte im Mund und die mit dem T-Scan-III ermittelten digitalen Kontakte von allen 20 Probanden zwei Mal in einem zeitlichen Abstand von einem halben Jahr ausgewertet. Die Kriterien zur Beurteilung waren gleich, ebenso der Untersucher.

5.4 Überprüfung der Reproduzierbarkeit der Hanelfolie

Diese Untersuchung wurde an zwei Probanden durchgeführt. Die Probanden saßen aufrecht im 90° Winkel auf dem Behandlungsstuhl. Nach Trocknung der Zahnreihe wurden die Okklusionskontakte mit fünf verschiedenen doppelt gefalteten Hanelfolien des gleichen Herstellers im Mund markiert, fotografisch dokumentiert und ausgewertet.

5.5 Überprüfung der Reproduzierbarkeit des T-Scan-III-Systems als Fünf-Folien-Test

Um die Reproduzierbarkeit der Messungen des T-Scan-III-Systems zu verifizieren, erfolgte eine Okklusionsprüfung an einem Probanden mit fünf verschiedenen Folien gleicher Größe. Der Proband wurde im 90° Winkel aufrecht auf dem Behandlungsstuhl positioniert. Zunächst wurden nach Trocknung der Zahnreihe die Okklusionskontakte mit doppelter Hanelfolie markiert und fotografisch dokumentiert. Danach erfolgte die digitale Registrierung der Kontakte mit fünf verschiedenen Folien gleicher Größe des T-Scan-III-Systems. Alle Daten wurden nach den gleichen Kriterien ausgewertet und miteinander verglichen.

5.6 Folienbelastungstest

Zur Bestimmung der Qualität der Sensorfolie wurde an drei Probanden ein Folienbelastungstest durchgeführt. Die Probanden saßen für diese Untersuchung aufrecht im 90° Winkel auf dem Behandlungsstuhl. Es wurde eine Sensorfolie je Proband benutzt und darauf geachtet, dass die Folie immer wieder in gleicher Position im Mund eingelegt wurde. Diese Folie wurde zwei Mal verwendet und die digital registrierten Kontakte miteinander verglichen.

5.7 Beschreibung der angewandten statistischen Methoden

Die statistischen Auswertungen wurden mit Hilfe von SPSS für Windows, Version 22.0 (SPSS Inc., U.S.A.) durchgeführt. Die Darstellung der metrischen Variablen erfolgte als Mittelwerte (MW) und Mediane, während die Streumaße als Standardabweichungen (Standardabw.) und Quartile angegeben wurden. Die kategorisierten bzw. nominalen Daten wurden als absolute und relative Häufigkeit vermerkt.

Die metrischen Variablen wurden mittels des SHAPIRO-WILK-Tests hinsichtlich ihrer Normalverteilung überprüft. Die Stichproben waren nicht normalverteilt, so dass nichtparametrische Tests für nicht normalverteilte Stichproben herangezogen wurden.

Zwei verbundene, nicht normalverteilte Stichproben wurden mittels WILCOXON-Test und mehr als zwei verbundene Stichproben mit dem Friedman-Test (Friedmans zweifaktorielle Varianzanalyse nach Rang) verglichen. Mehr als zwei binäre Stichproben wurden anhand des COCHRAN-Q-Tests auf signifikante Verteilungsunterschiede überprüft.

Die Beurteilung der Intraobserver- bzw. Intraobservervarianzen erfolgte durch folgende Tests:

	nominal	**ordinal**	**metrisch**
Zwei Observer / zwei Wiederholungen	Cohens Kappa	Kendalls Rangkorrelations-koeffizient (Kendalls Tau)	Pearsons Korrelation
Mehr als drei Observer / mehr als drei Wiederholungen	Fleiss Kappa	Kendalls Konkordanz-Koeffizient (Kendalls W)	Intra-Klassen-Korrelation (ICC)

Die Koeffizienten wurden folgendermaßen interpretiert:

< 0,2	Schwache Übereinstimmung
0,21 – 0,4	Leichte Übereinstimmung
0,41 – 0,60	Mittelmäßige Übereinstimmung
0,61 – 0,80	Gute Übereinstimmung
0,81 – 1,00	Sehr gute Übereinstimmung

Bei einem Wert von 1 liegt vollkommene Übereinstimmung vor. Bei einem Wert von 0 liegen nur Übereinstimmungen vor, die sich auch zufällig ergeben können.

Bei allen durchgeführten Tests erfolgte eine zweiseitige Signifikanzüberprüfung, wobei für alle statistischen Tests ein p-Wert < 0,05 als statistisch signifikant angenommen wurde.

Die Grafiken wurden ebenfalls mit SPSS erstellt. Zur Darstellung der Mediane und Quartilsabstände wurden Boxplots angefertigt.

- Die Box stellt den Bereich vom 25%- Perzentil bis zum 75%- Perzentil dar.
- Der Medianwert wird als innerhalb der Box liegende Linie gekennzeichnet.
- Die T- Balken entsprechen dem kleinsten und größten Wert, d.h. sie erstrecken sich vom 10%- Perzentil zum 90%- Perzentil.
- Ausreißer sind Werte, die zwischen 1½ - 3 Boxlängen außerhalb der Box lagen. Sie werden als Kreise dargestellt.
- Extremwerte, die mehr als 3 Boxlängen außerhalb der Box gemessen wurden, sind als Kreuze aufgetragen.

Die kategorisierten Daten wurden grafisch mit Hilfe von Balkendiagrammen dargestellt.

6. Ergebnisse

Das Alter der Probanden variierte zwischen 20 und 29 Jahren, der Anteil der weiblichen Probanden lag bei 60%.

Um eine Pseudogenauigkeit zu vermeiden, wurden alle Werte auf eine Dezimalstelle nach dem Komma gerundet. Die statistische Berechnung erfolgte mit den exakt ermittelten Werten (bis zu drei Dezimalstellen nach dem Komma).

6.1 Anzahl der Kontaktpunkte

Relevant waren die Zähne 17-27. Es wurden die mit der Hanelfolie im Mund markierten Kontaktpunkte pro Zahn und die mit dem T-Scan-III-System registrierten Kontakte pro Zahn ausgezählt. Von der maximalen Anzahl der Kontaktpunkte pro Zahn ergab sich für die Hanelfolie ein MW=2,0±1,8 (Median=2,0). Für die T-Scan-III-Folie wurde ein MW=1,7±1,4 (Median=1,5) ermittelt (Abb. 10).

Für die folgenden Auswertungen ergab der SHAPIRO-WILK-Test eine Nichtnormalverteilung der Stichproben, sodass jeweils der POST-ROQUE-Test angewendet wurde.

In Tabelle 1 ist eine prozentuale Verteilung der Kontakte beider Systeme dargestellt. So zeigen sich nur geringe Abweichungen bei null und bei zwei bis acht Kontakten pro Zahn. Die größte Abweichung ist bei einem Kontakt mit 10% Differenz zwischen beiden Systemen.

Anzahl der Kontaktpunkte pro Zahn	Kontakte Hanel	Kontakte T-Scan-III
	%	%
0	26,4	25,7
1	15,0	24,3
2	21,4	20,4
3	20,7	17,9
4	7,9	10,4
5	3,9	1,1
6	2,5	0,4
7	0,7	-
8	1,4	-
Gesamt	100,0	100,0

Tabelle 1 Anzahl der Kontaktpunkte pro Zahn mit Hanelfolie und T-Scan-III

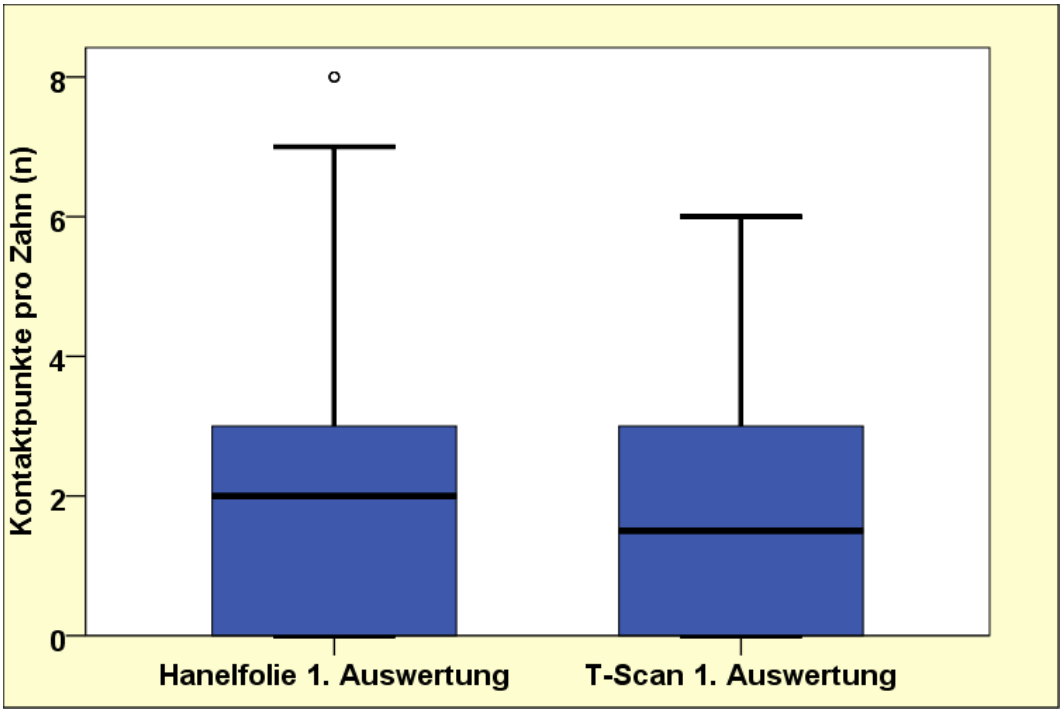


Abbildung 10 Vergleich der Anzahl der Kontaktpunkte pro Zahn Hanelfolie vs. T-Scan-III

Der WILCOXON-Test ergab für beide Auswertungen eine Signifikanz von p=0,001. Die PEARSON-Korrelation liegt bei der ersten Auswertung bei r=0,444 und die Signifikanz bei p=0,001. Die PEARSON-Korrelation der zweiten Auswertung ergab r=0,434 und eine Signifikanz von p=0,001. Diese Werte bedeuten eine mittelmäßige Übereinstimmung der Kontaktpunkte beider Systeme, wobei mit dem T-Scan-III signifikant weniger Kontaktpunkte ermittelt werden konnten.

Um zu erkennen, ob die Systeme im Front- und Seitenzahngebiet unterschiedlich genau bewerten, wurde das Frontzahngebiet, Zähne 13-23, und das Seitenzahngebiet, Zähne 17-14 sowie 24-27, separat analysiert. Im Frontzahngebiet (Abb. 11) ergab sich für die Hanelfolie ein Mittelwert für die Kontaktpunkte pro Zahn von MW=0,7±0,9 (Median=0,0) und für das T-Scan-III ein MW=1,0±1,2 (Median=1,0).

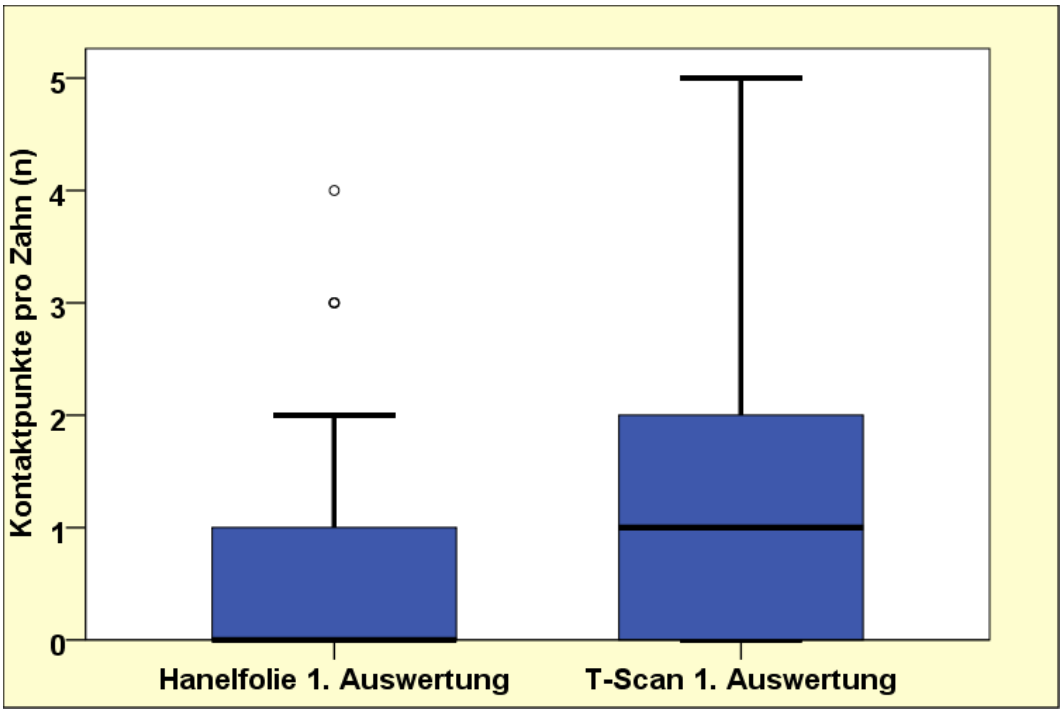


Abbildung 11 Vergleich der Anzahl der Kontaktpunkte pro Zahn Hanelfolie vs. T-Scan-III im Frontzahngebiet 13-23

Der WILCOXON-Wert liegt bei 0,002, die PEARSON-Korrelation r=0,299 und die Signifikanz bei p=0,001. Diese Werte zeigen nur eine leichte Übereinstimmung der mit

beiden Systemen ermittelten Kontaktpunkte, wobei das T-Scan-III signifikant mehr Kontakte anzeigt.

Im Seitenzahngebiet (Abb. 12) wurde für die Hanelfolie ein Mittelwert für die Anzahl der Kontakte pro Zahn von MW=3,0±1,6 (Median=3,0) und für das T-Scan-III ein MW=2,2±1,3 (Median=2,0) ermittelt.

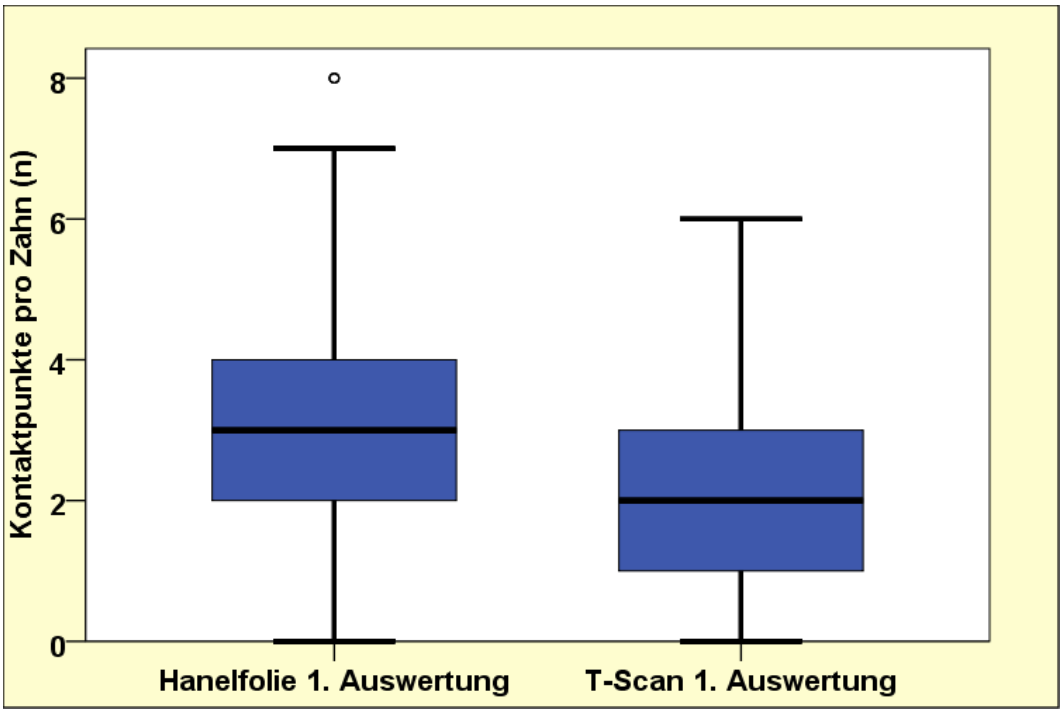


Abbildung 12 Vergleich der Anzahl der Kontaktpunkte pro Zahn Hanelfolie vs. T-Scan-III im Seitenzahngebiet 14-17, 24-27

Der WILCOXON-Test ergab eine Signifikanz von p=0,001 und die PEARSON-Korrelation lag bei r=0,236 bei einer Signifikanz von p=0,003. Diese Werte zeigen nur eine leichte Übereinstimmung der ermittelten Kontakte im Prämolaren- und Molarenbereich, wobei die Hanelfolie signifikant mehr Kontakte aufwies.

Für die Spezifizierung der Übereinstimmung der beiden Okklusionsprüfverfahren, Hanel- und Sensorfolie, wurde die Abweichung der Anzahl der Kontakte pro Zahn bestimmt. Der MW lag bei 0,4±1,7 (Median=0,0). Die Hanelfolie galt als Goldstandard und somit Referenz, so dass sich positive und negative Werte ergaben. Negative Werte bedeuten einen fehlenden T-Scan-III-Kontakt und positive Werte einen zu viel

registrierten Kontakt der Sensorfolie. In Tabelle 2 ist die Verteilung der Abweichung der Kontakte übersichtlich dargestellt. Es ist zu erkennen, dass bei 31,1% keine Abweichung und bei 18,9% und 17,5% ein Kontakt zu viel bzw. ein Kontakt zu wenig vom T-Scan-III registriert wurde.

Abweichung	Häufigkeit	Prozent	Kumulierte Prozente
	n	%	%
-6	1	0,4	0,4
-5	4	1,4	1,8
-4	8	2,9	4,6
-3	18	6,4	11,1
-2	31	11,1	22,1
-1	49	17,5	39,6
0	87	31,1	70,7
1	53	18,9	89,6
2	18	6,4	96,1
3	9	3,2	99,3
4	1	0,4	99,6
5	1	0,4	-
Gesamt	280	100,0	100,0

Tabelle 2 Abweichung der Anzahl der Kontaktpunkte pro Zahn

6.1.1 Lokalisation der Kontakte

Zur Überprüfung der übereinstimmenden Kontakte bezüglich der Lokalisation am Zahn wurden die Frontzähne in drei Bereiche (inzisal, tuberkulär, cervical) und die Seitenzähne in vier Bereiche (mesial, distal, bukkal, oral) eingeteilt. Interessant war die Abweichung der ermittelten Kontakte beider Systeme bezüglich der Bereiche des Zahnes und nicht die absolute Anzahl der Kontakte eines Bereiches. Es konnte ein Mittelwert für die Abweichung der Kontakte pro Bereich von MW=1,4±0,9 (Median=1,0) festgestellt werden. Zu 37,1% gab es eine Abweichung der Kontakte in einem Bereich, zu 34,6% in zwei und zu 16,8% in keinem Bereich. In 10,7% der Abweichungen waren

sogar drei Bereiche eines Zahnes betroffen (Tabelle 3). Davon wurden die mit dem T-Scan-III zu viel markierten (falsch positiv) und fehlenden Bereiche (falsch negativ) gekennzeichnet (Tabelle 4). Zu viel registrierte T-Scan-III-Kontakte, d.h. falsch positive Kontakte, gab es zu 39,3% in einem Bereich und zu 18,9% in zwei Bereichen des Zahnes. Falsch negative Kontakte wurden zu 36,8% in einem und zu 8,9% in zwei Bereichen registriert.

Anzahl der Abweichung pro Zahn	Häufigkeit	Prozent	Kumulierte Prozente
	n	%	%
0	47	16,8	16,8
1	104	37,1	53,9
2	97	34,6	88,6
3	30	10,7	99,3
4	2	0,7	-
Gesamt	280	100,0	100,0

Tabelle 3 Anzahl der Abweichung der Kontaktpunkte pro Zahn bezüglich der Lokalisation

Anzahl der Abweichung pro Zahn	Falsch positiv	Falsch negativ
	%	%
0	40,4	52,5
1	39,3	36,8
2	18,9	8,9
3	1,4	1,8
Gesamt	100,0	100,0

Tabelle 4 Anzahl der Abweichung der Kontaktpunkte pro Zahn - falsch positiv/falsch negativ

6.2 Reliabilitätskontrolle

Die Auswertung der Okklusionspunkte beider Prüfverfahren wurde in einem halbjährlichen Abstand wiederholt. Diese sind nachfolgend als erste und zweite Auswertung gekennzeichnet.

6.2.1 Reliabilität der Hanelfolie

Die Mittelwerte für die Anzahl der Kontaktpunkte pro Zahn der Zähne 17-27 für beide Auswertungen lagen bei 2,0±1,8 (Median=2,0) und sind damit identisch (Abb. 13).

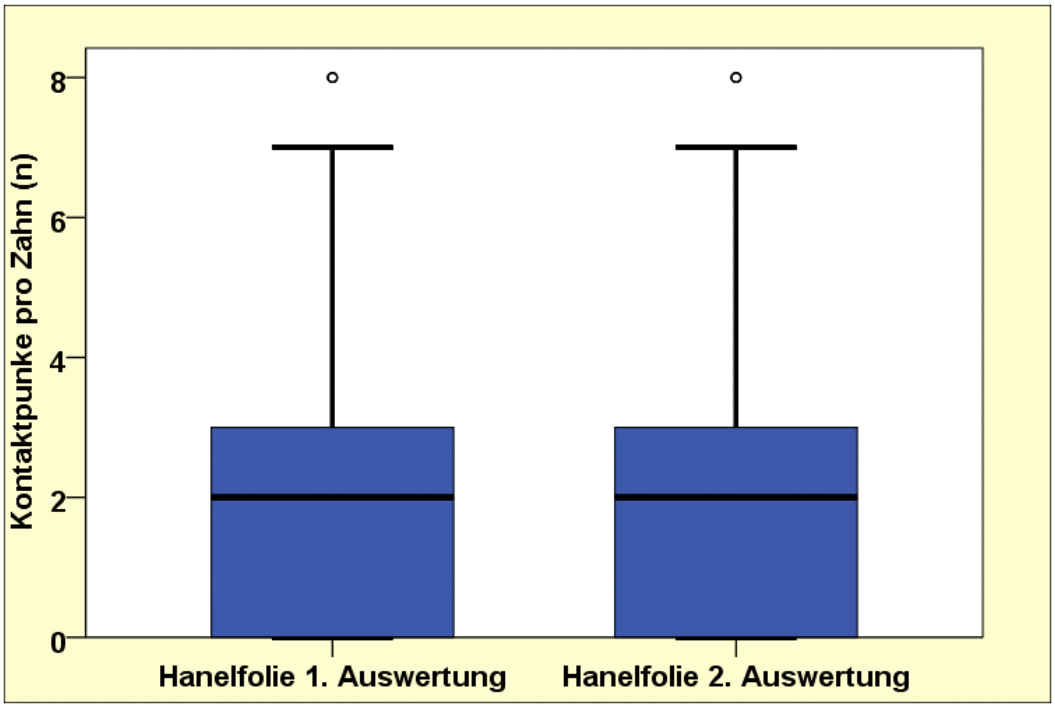


Abbildung 13 Anzahl der Kontaktpunkte pro Zahn mit Hanelfolie 1. vs. 2. Auswertung

Der WILCOXON-Test ergab eine Signifikanz von p=0,102 und bestätigt eine hohe Konsistenz beider Auswertungen.

Auch die Differenzierung in Front- und Seitenzahngebiet ergab identische Werte. So lag der Mittelwert für beide Auswertungen im Frontzahngebiet (Zähne 13-23) bei MW=0,7±0,9 (Median=0,0) und im Seitenzahngebiet (Zähne 17-14, 24-27) bei MW=3,1±1,6 (Median=3,0).

Der WILCOXON-Test für die Anzahl der Kontaktpunkte pro Zahn für das Frontzahngebiet, getestet mit der Hanelfolie 1. vs. 2. Auswertung, ergab eine Signifikanz von p=1,000 und zeigt eine absolute Identität der Auswertungen.

Der WILCOXON-Test für die Anzahl der Kontaktpunkte pro Zahn für das Seitenzahngebiet, getestet mit der Hanelfolie 1. vs. 2. Auswertung, ergab eine Signifikanz von p=0,102, was eine hohe Konsistenz bestätigt.

6.2.2 T-Scan-III-Folie

Die Mittelwerte für die Anzahl der Kontaktpunkte pro Zahn der Zähne 17-27 für beide Auswertungen lagen bei 1,7±1,2 (Median=1,5) und sind somit identisch (Abb.14).

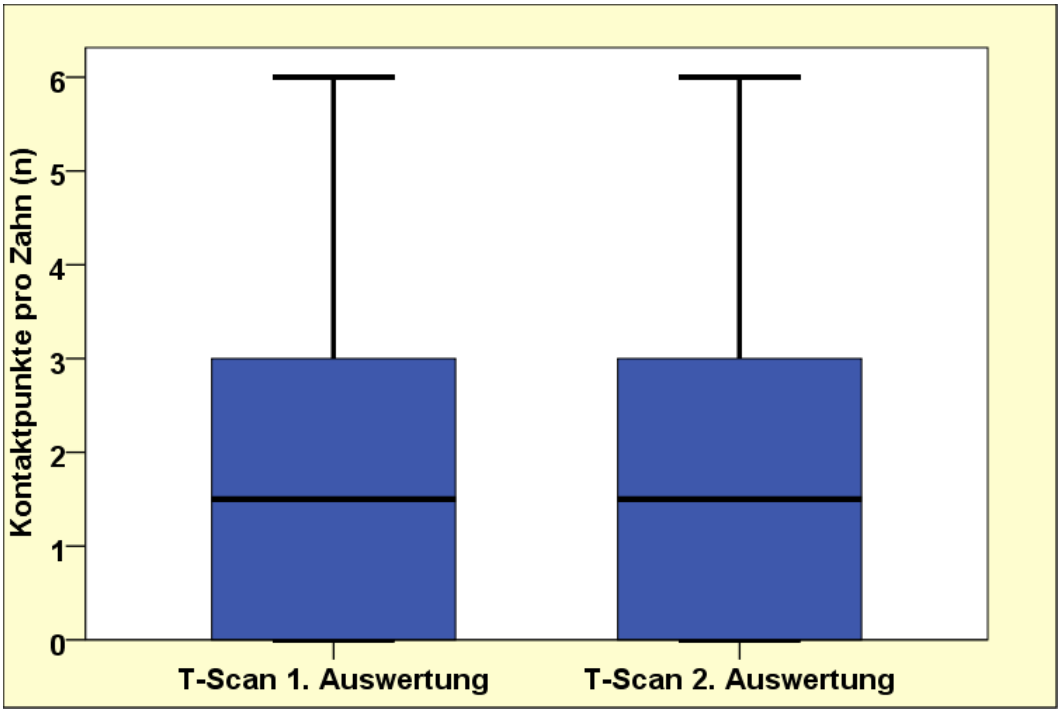


Abbildung 14 Anzahl der Kontaktpunkte pro Zahn mit Sensorfolie 1. vs. 2. Auswertung

Mit dem WILCOXON-Test wurde eine Signifikanz von p=0,180 ermittelt und bestätigt für die Auswertungen der T-Scan-III-Folie keinen signifikanten Unterschied.

Im Frontzahnbereich ergab sich für die Anzahl der Kontaktpunkte, getestet mit der Sensorfolie 1. vs. 2. Auswertung, jeweils ein Mittelwert von MW=1,0±1,2 (Median=1,0) und im Seitenzahnbereich MW=2,2±1,3 (Median=2,0). Auch diese Werte zeigen, dass zwischen den Werten eine hohe Konsistenz besteht.

Der WILCOXON-Test für die Anzahl der Kontaktpunkte im Frontzahngebiet, getestet mit der Sensorfolie 1. vs. 2. Auswertung, ergab eine Signifikanz von p=1,000. Dies bedeutet eine 100%ige Übereinstimmung der ermittelten Werte.

Mit dem WILCOXON-Test für die Anzahl der Kontaktpunkte im Seitenzahngebiet, getestet mit der Sensorfolie 1. vs. 2. Auswertung, wurde eine Signifikanz von p=0,083 ermittelt. Auch hier kann von einer hohen Konsistenz zwischen den beiden Auswertungen gesprochen werden.

6.2.3 Abweichung der Kontaktpunkte beider Prüfverfahren der ersten und zweiten Messung

In Tabelle 5 ist eine Übersicht der Abweichung der Anzahl der markierten Kontakte beider Okklusionsprüfverfahren der ersten und zweiten Auswertung dargestellt. Die maximale Differenz zwischen den beiden Auswertungen bezogen auf die Anzahl der Kontaktpunkte beträgt 1,5%. Dies betrifft die Beurteilung von zwei Kontaktpunkten pro Zahn. Sie wurden beim T-Scan-III-System im Vergleich zur Hanelfolie zu viel bewertet, d.h. in der ersten Auswertung wurden zu 6,4% und in der zweiten Auswertung zu 7,9% zwei Kontakte ermittelt.

Abweichung	1. Auswertung	2. Auswertung
	%	%
-6	0,4	0,4
-5	1,4	1,4
-4	2,9	3,2
-3	6,4	6,4
-2	11,1	10,4
-1	17,5	18,2
0	31,1	30,4
1	18,9	17,9
2	6,4	7,9
3	3,2	3,2
4	0,4	0,4
5	0,4	0,4
Gesamt	100,0	100,0

Tabelle 5 Abweichung der Anzahl der interpretierten Kontaktpunkte beider Okklusionsprüfverfahren 1. Auswertung vs. 2. Auswertung

In der Abbildung 15 sind die Abweichungen der Anzahl der Kontaktpunkte in der ersten und zweiten Auswertung beider Prüfverfahren im Gesamtkollektiv grafisch dargestellt. Der Mittelwert in der ersten Auswertung lag bei MW=0,4±1,7 (Median=0,0) und der Mittelwert der zweiten Auswertung ergab MW=0,3±1,7 (Median=0,0).

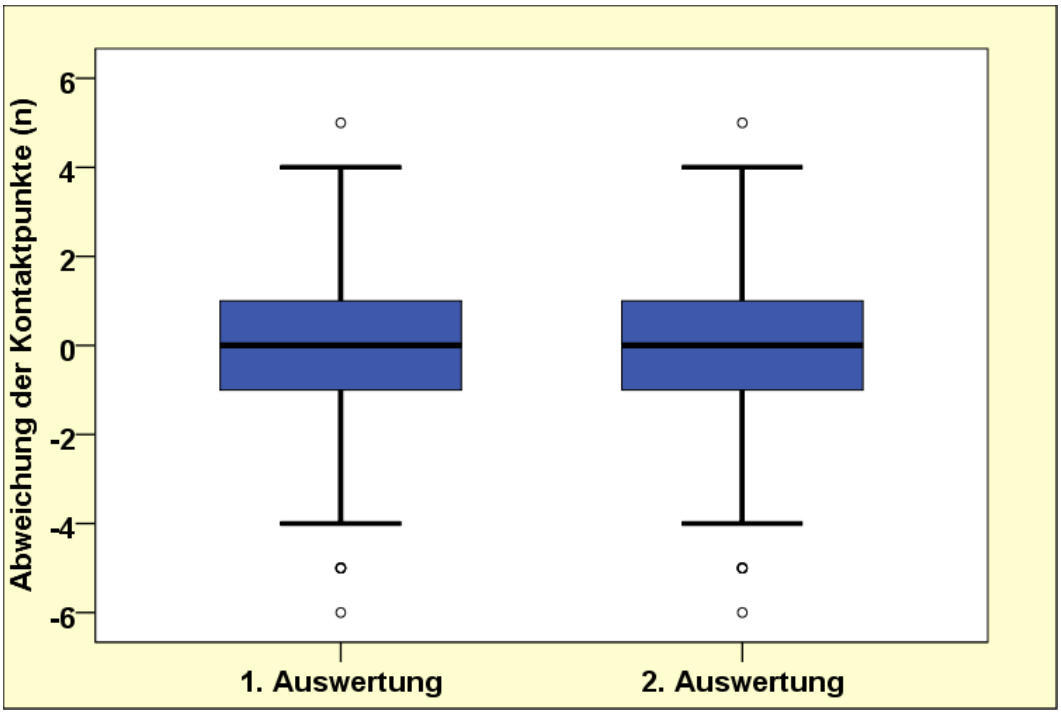


Abbildung 15 Vergleich der Abweichung der Anzahl der Kontaktpunkte in der 1. vs. 2. Auswertung im Gesamtkollektiv

Der WILCOXON-Test ergab für das Gesamtkollektiv eine Signifikanz von p=0,405, die PEARSON-Korrelation lag bei r=0,992 und die Signifikanz bei 0,001.

Bei separater Betrachtung der Abweichung der Kontaktpunkte des Frontzahngebietes wurde in der ersten Auswertung ein Mittelwert MW= 0,4±1,2 (Median=0,0) und in der zweiten Auswertung ein MW=0,4±1,2 (Median=0,0) ermittelt.

Im Seitenzahngebiet ergab sich in der ersten Auswertung ein MW=-0,9±1,8 (Median=-1,0) und in der zweiten Auswertung ein MW=-0,9±1,9 (Median= -1,0).

Der WILCOXON-Test ergab für das Frontzahngebiet einen Wert von p=1,000 und die PEARSON-Korrelation r=0,995 mit einer Signifikanz von p=0,001. Im Seitenzahngebiet wurde ein WILCOXON-Wert von p=0,366 ermittelt. Die PEARSON-Korrelation lag bei r=0,990 und die Signifikanz bei p=0,001. Diese Werte zeigen eine sehr gute Übereinstimmung der halbjährlichen Auswertung.

Die Tabelle 6 zeigt die ermittelte prozentuale Verteilung der Abweichung der Kontakte bezüglich deren Lokalisation am Zahn. In Tabelle 7 sind die Abweichungen der

Kontaktpunkte falsch positiv und falsch negativ gegenüber gestellt. Alle ermittelten Werte beider Auswertungen sind identisch.

Anzahl der Abweichung pro Zahn	1. Auswertung	2. Auswertung
	%	%
0	16,8	16,8
1	37,1	37,1
2	34,6	34,6
3	10,7	10,7
4	0,7	0,7
Gesamt	100,0	100,0

Tabelle 6 Anzahl der Abweichung der Kontaktpunkte pro Zahn bezüglich der Lokalisation am Zahn 1. Auswertung vs. 2. Auswertung

Anzahl der Abweichung pro Zahn	Fasch positiv 1. Auswertung	Falsch positiv 2. Auswertung	Falsch negativ 1. Auswertung	Falsch negativ 2. Auswertung
	%	%	%	%
0	40,4	40,4	52,5	52,5
1	39,3	39,3	36,8	36,8
2	18,9	18,9	8,9	8,9
3	1,4	1,4	1,8	1,8
Gesamt	100,0	100,0	100,0	100,0

Tabelle 7 Anzahl der Abweichung der Kontaktpunkte pro Zahn - falsch positiv/falsch negativ 1. Auswertung vs. 2. Auswertung

6.3 Reproduzierbarkeit der Hanelfolie

Fünf verschiedene Hanelfolien wurden bezüglich der Anzahl der markierten Kontaktpunkte pro Zahn ausgewertet. Betrachtet wurden die Zähne 17-27. In Tabelle 8 sind der Mittel- und Medianwert sowie die Standardabweichung aller fünf Folien gegenübergestellt. Der Medianwert ergab für die Anzahl der Kontaktpunkte pro Zahn bei allen fünf Hanelfolien 2,0.

	Kontakte pro Zahn				
	Hanelfolie 1	Hanelfolie 2	Hanelfolie 3	Hanelfolie 4	Hanelfolie 5
Mittelwert	1,9	2,0	1,9	1,9	2,2
Median	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Standardabw.	0,8	0,8	0,9	1,0	1,0

Tabelle 8 Übersicht der Mittel-, Medianwerte und Standardabweichung aller Kontakte pro Zahn - Hanelfolie 1-5

Eine prozentuale Verteilung der Anzahl der Kontaktpunkte pro Zahn für alle fünf Folien ist in Tabelle 9 dargestellt. So registrierten z.B. alle fünf Folien übereinstimmend zu 7,1% keinen Kontakt. Größere Unterschiede zeigten sich in der prozentualen Verteilung bei ein bis vier Kontakten der fünf Folien untereinander.

Anzahl der Kontaktpunkte pro Zahn	Folie 1	Folie 2	Folie 3	Folie 4	Folie 5
	%	%	%	%	%
0	7,1	7,1	7,1	7,1	7,1
1	14,3	7,1	21,4	21,4	7,1
2	57,1	64,3	50,0	57,1	50,0
3	21,4	21,4	21,4	7,1	28,6
4	-	-	-	7,1	7,1
Gesamt	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Tabelle 9 Anzahl der Kontaktpunkte pro Zahn - Hanelfolie 1-5

Der SHAPIRO-WILK-Test ergab eine Nichtnormalverteilung der Stichproben, so dass als nichtparametrischer Test der POST-ROQUE-Test Anwendung fand (Abb. 16).

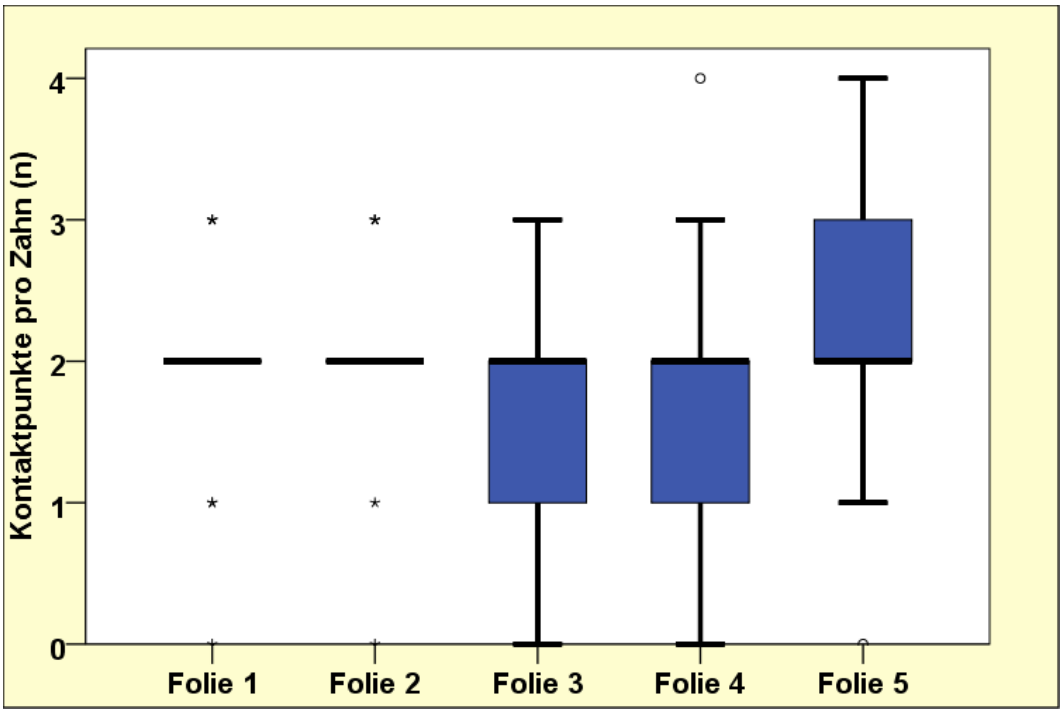


Abbildung 16 Anzahl der Kontaktpunkte pro Zahn - Hanelfolie 1-5

Die Signifikanz wurde anhand Friedmans zweifaktorieller Varianzanalyse nach Rang ermittelt und ergab p=0,072. Die Nullhypothese „Die Hanelfolien unterscheiden sich nicht bezüglich der Anzahl der Kontakte pro Zahn und sind somit reproduzierbar“ wird angenommen.

6.4 Reproduzierbarkeit des T-Scan-III-Systems als Fünf-Folien-Test

Betrachtet wurden die Zähne 17-27 und alle registrierten und ausgezählten Kontaktpunkte pro Zahn. In Tabelle 10 sind die Mittel- und Medianwerte sowie die Standardabweichungen der fünf Sensorfolien dargestellt.

	Kontaktpunkte pro Zahn				
	T-Scan-III 1. Folie	T-Scan-III 2. Folie	T-Scan-III 3. Folie	T-Scan-III 4. Folie	T-Scan-III 5. Folie
Mittelwert	1,9	1,9	1,1	1,8	1,2
Median	2,0	2,0	1,0	1,5	1,0
Standardabw.	1,4	1,4	1,3	1,6	1,4

Tabelle 10 Übersicht der Mittel-, Medianwerte und Standardabweichung aller Kontakte pro Zahn - Sensorfolie 1-5

Einen Vergleich der prozentualen Verteilung der Anzahl der registrierten Kontaktpunkte aller fünf Folien untereinander zeigt die folgende Tabelle 11. Alle fünf Folien registrierten übereinstimmend zu 21,4% einen Kontaktpunkt. Zwei Kontakte wurden von drei Folien zu 21,4% und von zwei Folien zu 14,3% ermittelt. Die größte Schwankung liegt bei null und drei Kontakten. Das ist eine Differenz von 14,3% zwischen den Werten der fünf Folien. Fünf Kontakte wurden nur bei Anwendung der Folie 4 gemessen.

Anzahl der Kontaktpunkte pro Zahn	T-Scan-III 1. Folie	T-Scan-III 2. Folie	T-Scan-III 3. Folie	T-Scan-III 4. Folie	T-Scan-III 5. Folie
	%	%	%	%	%
0	21,4	21,4	42,9	28,6	42,9
1	21,4	21,4	21,4	21,4	21,4
2	21,4	21,4	21,4	14,3	14,3
3	21,4	21,4	7,1	21,4	14,3
4	14,3	14,3	7,1	7,1	7,1
5	-	-	-	7,1	-
Gesamt	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Tabelle 11 Anzahl der Kontaktpunkte pro Zahn - Sensorfolie 1-5

Für die folgenden Auswertungen ergab der SHAPIRO-WILK-Test eine Nichtnormalverteilung der Stichproben, sodass als nichtparametrischer Test jeweils der POST-ROQUE-Test angewendet wurde (Abb.17).

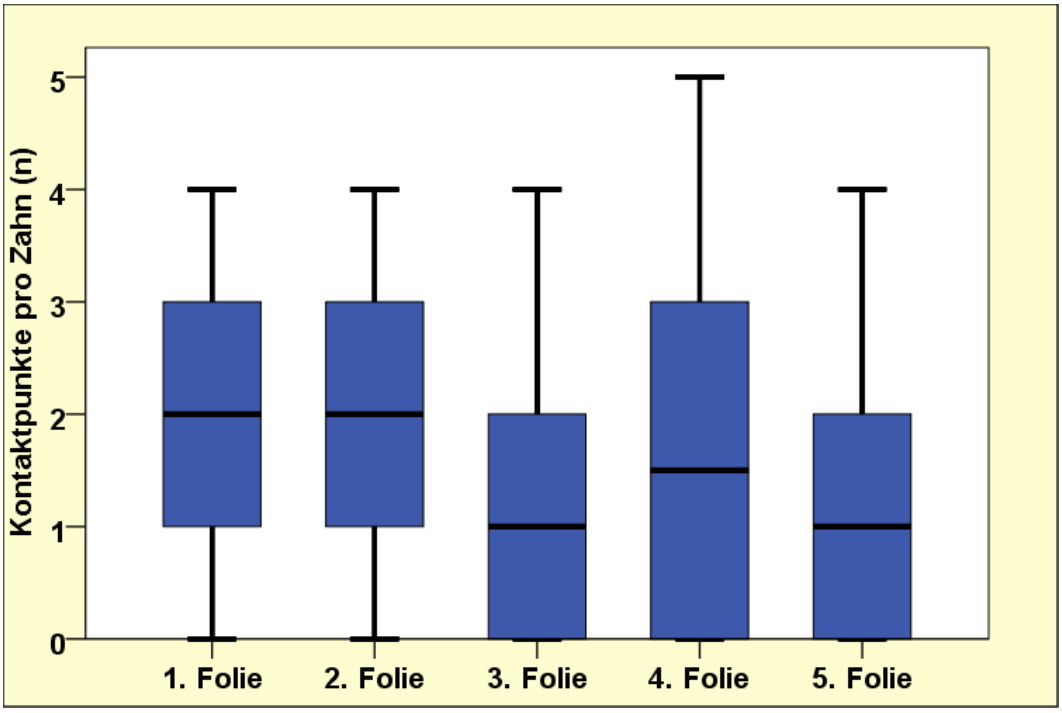


Abbildung 17 Anzahl der Kontaktpunkte pro Zahn - Sensorfolie 1-5

Mit Friedmans zweifaktorieller Varianzanalyse nach Rang wurde die Signifikanz ermittelt und ergab p=0,015. Die Nullhypothese „Die Sensorfolien 1-5 unterscheiden sich hinsichtlich der Anzahl der Kontakte nicht voneinander und sind reproduzierbar“ wird somit abgelehnt.

Für den direkten Vergleich der beiden Okklusionsprüfmethoden Hanel- und Sensorfolie wurde für jeden Zahn die Abweichung der Anzahl der Kontakte ermittelt. Die Hanelfolie gilt als Goldstandard und somit als Referenz für einen Okklusionskontakt. Negative Werte bedeuten einen fehlenden T-Scan-III-Kontakt und positive Werte einen zu viel registrierten Kontakt der Sensorfolie.

Die Tabelle 12 gibt einen Überblick über die Abweichung der Kontakte aller fünf Sensorfolien. Vier Folien zeigten zu 28,6% und eine Folie zu 21,4% keine Abweichung. Insgesamt aber ist zu erkennen, dass die Sensorfolie eher zu wenige Kontakte im Vergleich zur Hanelfolie registriert.

Abweichung	T-Scan-III 1. Folie	T-Scan-III 2. Folie	T-Scan-III 3. Folie	T-Scan-III 4. Folie	T-Scan-III 5. Folie
	%	%	%	%	%
-6	-	-	-	7,1	-
-5	7,1	7,1	-	7,1	-
-4	7,1	7,1	7,1	-	7,1
-3	-	-	14,3	-	14,3
-2	14,3	7,1	14,3	7,1	14,3
-1	7,1	14,3	28,6	14,3	28,6
0	28,6	28,6	28,6	28,6	21,4
1	28,6	28,6	7,1	21,4	14,3
2	-	7,1	-	14,3	-
3	7,1	-	-	-	-
Gesamt	100	100,0	100,0	100,0	100,0

Tabelle 12 Abweichung der Anzahl der Kontaktpunkte Hanelfolie vs. Sensorfolie 1-5

Auch wurden die T-Scan-III-Folien mit der Hanelfolie hinsichtlich der Lokalisation am Zahn miteinander verglichen. Dazu wurden die Frontzähne (13-23) schematisch in drei Bereiche unterteilt: inzisal, tuberkulär und cervical. Die Seitenzähne (14-17, 24-27) wurden in jeweils vier Bereiche eingeteilt: mesial, distal, oral und bukkal. Auswertungsrelevant war die Abweichung der ermittelten Kontakte beider Systeme bezüglich der Bereiche des Zahnes und nicht die Anzahl der Kontakte eines Bereiches.

Die Tabelle 13 zeigt die Mittel- und Medianwerte sowie die Standardabweichungen für die Abweichung der Kontaktpunkte pro Zahn bezüglich der Lokalisation am Zahn.

	Abweichung der Kontaktpunkte (Lokalisation)				
	T-Scan-III 1. Folie	T-Scan-III 2. Folie	T-Scan-III 3. Folie	T-Scan-III 4. Folie	T-Scan-III 5. Folie
Mittelwert	1,2	1,6	1,5	1,3	1,4
Median	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Standardabw.	0,9	1,2	1,2	0,9	1,1

Tabelle 13 Übersicht der Mittel-, Medianwerte und Standardabweichung der Abweichung der Kontaktpunkte bezüglich der Lokalisation am Zahn – Sensorfolie 1-5

In Tabelle 14 ist ein Vergleich der prozentualen Abweichungen der Kontakte bezüglich der Lokalisation am Zahn zwischen der Hanelfolie und den fünf T-Scan-III-Folien untereinander dargestellt.

Anzahl der Abweichung	T-Scan-III 1. Folie	T-Scan-III 2. Folie	T-Scan-III 3. Folie	T-Scan-III 4. Folie	T-Scan-III 5. Folie
	%	%	%	%	%
0	21,4	14,3	21,4	21,4	21,4
1	42,9	42,9	35,7	35,7	35,7
2	28,6	28,6	21,4	35,7	21,4
3	7,1	-	14,3	7,1	21,4
4	-	14,3	7,1	-	-
Gesamt	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Tabelle 14 Anzahl der Abweichung der Kontaktpunkte bezüglich der Lokalisation am Zahn - Sensorfolie 1-5

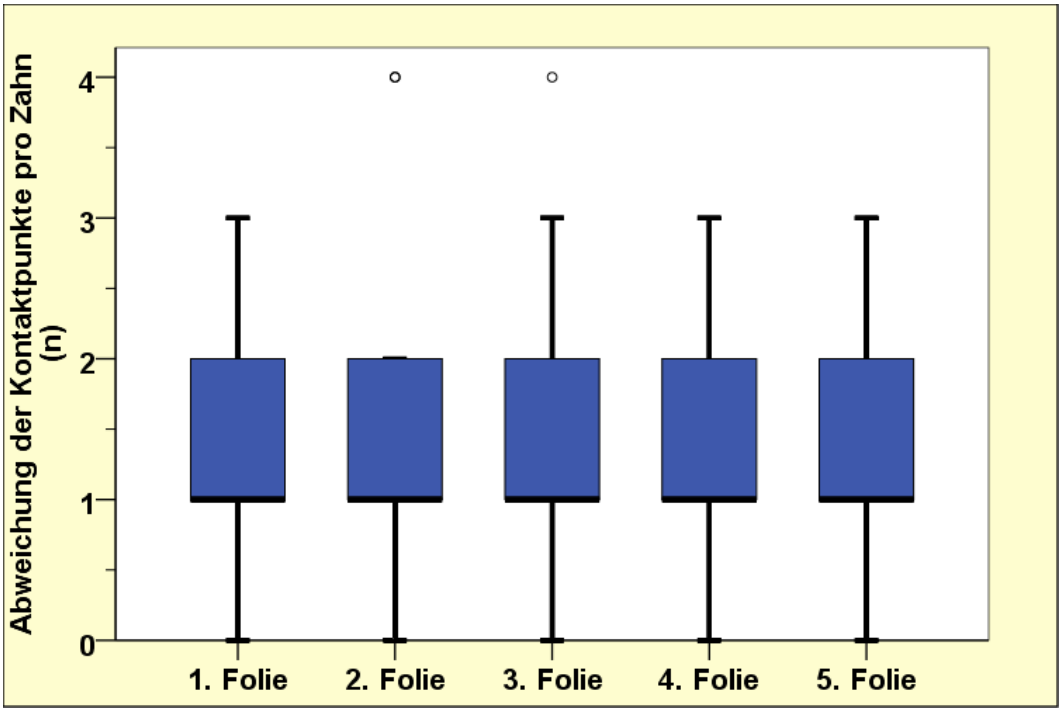


Abbildung 18 Abweichung der Kontaktpunkte pro Zahn bezüglich der Lokalisation – Sensorfolie 1-5

Die Signifikanz wurde mit Friedmanns zweifaktorieller Varianzanalyse nach Rang ermittelt und liegt bei p=0,724. Die Nullhypothese „Die Sensorfolien 1-5 unterscheiden sich bezüglich der Abweichung der Kontaktpunkte bezüglich ihrer Lokalisation am Zahn nicht voneinander und sind somit reproduzierbar“ wird beibehalten und bestätigt.

Im Folgenden sind die prozentuale Verteilung der Übereinstimmung der Kontaktpunkte von Hanel- und Sensorfolie für die einzelnen Bereiche im Front- als auch Seitenzahnbereich dargestellt. Die größte Übereinstimmung konnte für die inzisalen und tuberkulären Bereiche im Frontzahngebiet ermittelt werden, d. h. 50% der mit Hanelfolie und T-Scan-III-Folie registrierten Kontaktpunkte stimmten überein (Tab. 15). Im Seitenzahngebiet gab es die meisten Übereinstimmungen in den distalen Bereichen. 75% der hier registrierten Kontaktpunkte zeigten bei beiden Prüfverfahren eine Übereinstimmung. Die geringste Übereinstimmung konnte für die mesialen Bereiche der Zähne ermittelt werden (Tab. 16).

	Frontzähne 13-23		
T-Scan-III-Folie	inzisal	tuberkulär	cervical
	%	%	%
1	50,0	50,0	33,3
2	50,0	50,0	33,3
3	50,0	50,0	66,7
4	33,3	50,0	50,0
5	50,0	50,0	50,0

Tabelle 15 Übereinstimmung der Lokalisation der Kontaktpunkte von Hanelfolie und Sensorfolie 1-5 im Frontzahnbereich 13-23

	Seitenzähne 17-14, 24-27			
T-Scan-III-Folie	mesial	bukkal	distal	oral
	%	%	%	%
1	50,0	50,0	62,5	62,5
2	25,0	37,5	62,5	37,5
3	12,5	37,5	37,5	50,0
4	37,5	50,0	75,0	50,0
5	25,0	50,0	50,0	50,0

Tabelle 16 Übereinstimmung der Lokalisation der Kontaktpunkte von Hanelfolie und Sensorfolie 1-5 im Seitenzahnbereich 14-17, 24-27

6.5 Folienbelastungstest

Dieser Test erfolgte an drei Probanden. Es wurden alle markierten und registrierten Kontakte der Zähne 17-27 ausgezählt. Die Hanelfolie wies einen MW an Kontaktpunkten pro Zahn von MW=2,3±2,0 (Median 2,0) auf. Im Vergleich dazu ergab die Auswertung der T-Scan-III-Folie in der ersten Messung einen MW=1,7±1,3 (Median 2,0). Bei nochmaliger Benutzung der jeweiligen Sensorfolie wurde ein MW=0,7±1,0 (Median 0,0) berechnet (Abb. 19).

Für die folgenden Auswertungen ergab der SHAPIRO-WILK-Test eine Nichtnormalverteilung der Stichproben, sodass als nichtparametrischer Test jeweils der POST-ROQUE-Test angewendet wurde.

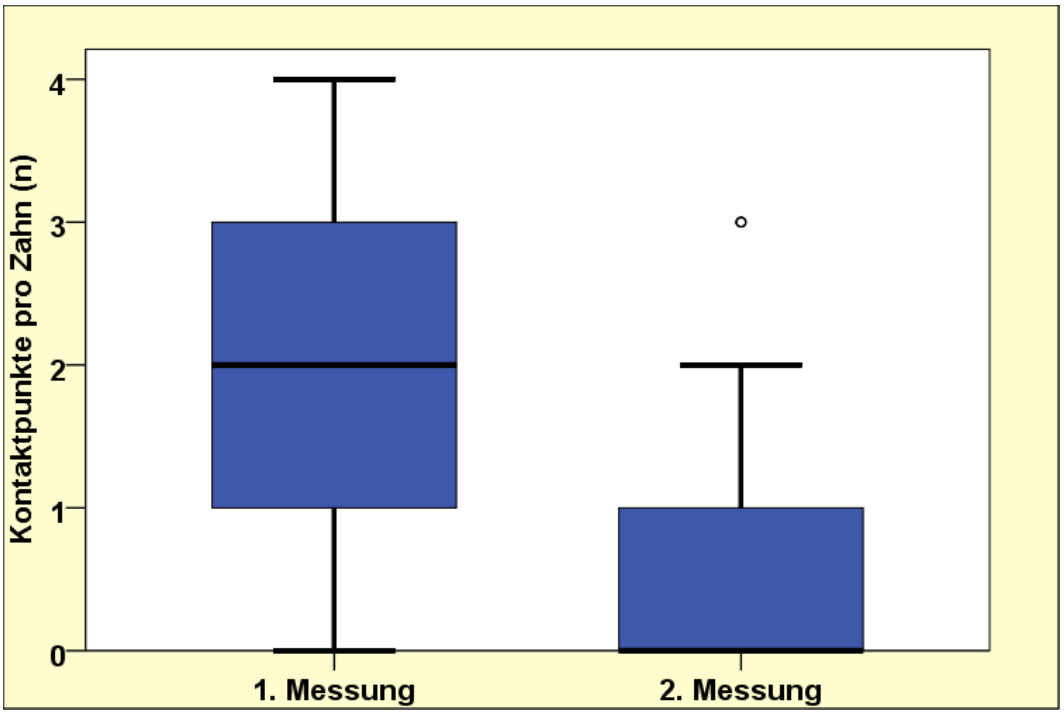


Abbildung 19 Vergleich der Kontaktpunkte pro Zahn der Sensorfolie 1. Messung vs. 2. Messung

Nach dem WILCOXON-Test ergibt sich eine asymptomatische Signifikanz von p=0,001. Die PEARSON-Korrelation von r=0,462 bestätigt nur eine mittelmäßige Übereinstimmung der ermittelten Kontakte der ersten und der zweiten Messung.

Die Tabelle 17 verdeutlicht die prozentuale Verteilung der registrierten Kontakte der Sensorfolien nach der ersten und zweiten Messung. Der Kern der Untersuchung ist die Betrachtung „kein Kontakt“. So wurde in der ersten Messung zu 19% und in der zweiten Messung zu 64,3% kein Kontakt mehr registriert. Die Differenz liegt bei 45,3%. Auch die Registrierung von einem bis vier Kontakten sinkt um bis zu 14,3% bei der zweiten Messung mit der Sensorfolie.

Anzahl der Kontaktpunkte pro Zahn	1. Messung	2. Messung
	%	%
0	19,0	64,3
1	26,2	14,3
2	26,2	11,9
3	19,0	9,5
4	9,5	-
Gesamt	100,0	100,0

Tabelle 17 Anzahl der Kontaktpunkte pro Zahn der Sensorfolie - 1. vs. 2. Messung

Zur Spezifizierung der Belastung der T-Scan-III-Folie wurde die Auswertung in Front- und Seitenzahngebiet unterteilt. Für die Frontzähne 13-23 ergab der WILCOXON-Test eine Signifikanz von p=0,009 und eine PEARSON-Korrelation r=0,758 sowie eine Signifikanz von p=0,001. Diese Werte zeigen eine gute Übereinstimmung der Kontakte.

Für die Seitenzähne 17-14, 24-27 liegt der WILCOXON-Test bei 0,001. Die PEARSON-Korrelation ergab r=0,334 und die Signifikanz p=0,111. Diese Werte zeigen, dass die Kontakte der ersten und der zweiten Messung in keinem direkten Zusammenhang mehr stehen.

Um die Kontakte der Hanelfolie mit denen der T-Scan-III-Folie vergleichen zu können, wurde für jeden Zahn die Abweichung der Anzahl der Kontakte bestimmt. Der Vergleich der Hanelfolie mit dem T-Scan-III der 1. Messung ergab einen MW von 0,5±1,9 (Medianwert 0,0). Beim Vergleich mit dem T-Scan-III der 2. Messung wurde ein MW von -1,6±1,8 (Median -2,0) ermittelt.

Die Hanelfolie gilt als Goldstandard und somit als Referenz für einen Okklusionskontakt. Negative Werte bedeuten einen fehlenden Kontakt und positive Werte einen zu viel registrierten Kontakt der Sensorfolie. Es ist erkennbar, dass bei der zweiten Messung zu wenige Kontakte registriert wurden, d.h. die prozentuale Verteilung steigt bei den Negativwerten und sinkt bei den Positivwerten (Tab. 18).

Abweichung	Hanel/T-Scan-III 1. Messung	Hanel/T-Scan-III 2. Messung
	%	%
-5	2,4	7,1
-4	4,8	7,1
-3	9,5	14,3
-2	11,9	28,6
-1	16,7	11,9
0	19,0	16,7
1	26,2	11,9
2	7,1	2,4
3	2,4	-
Gesamt	100,0	100,0

Tabelle 18 Abweichung der Anzahl der Kontakte - Hanelfolie vs. Sensorfolie 1. Messung und Hanelfolie vs. Sensorfolie 2. Messung

Auch wurden die mit der Hanelfolie markierten Kontakte mit den digital registrierten Kontakten hinsichtlich der Lokalisation am Zahn betrachtet und verglichen. Dazu wurden die Frontzähne (13-23) schematisch in drei Bereiche unterteilt: inzisal, tuberkulär und cervical. Die Seitenzähne (14-17, 24-27) wurden in jeweils vier Bereiche eingeteilt: mesial, distal, oral und bukkal. Auswertungsrelevant war die Abweichung der

ermittelten Kontakte beider Systeme bezüglich der Bereiche des Zahnes, nicht die Anzahl der Kontakte eines Bereiches. Beim Vergleich der Hanelfolie mit den registrierten T-Scan-III-Kontakten der ersten Messung ergab sich ein MW=1,6±0,9 (Median=2,0) und mit den Kontakten der zweiten Messung ein MW=1,9±1,2 (Median=2,0) (Abb. 20).

Die Tabelle 19 zeigt eine prozentuale Verteilung der Abweichung der Kontaktpunkte bezüglich der Lokalisation am Zahn. Bei der ersten Messung wurden zu jeweils 38,1% Abweichungen in einem und zwei Bereichen und zu 11,9% in drei Bereichen ermittelt. Die zweite Messung registrierte zu 19% Abweichungen der Kontakte in einem, zu 35,7% in zwei und zu 21,4% in drei Bereichen. Keine Abweichung wurde in der ersten Messung zu 9,5% und in der zweiten Messung zu 14,3% ausgewertet.

Anzahl der Abweichung	Abweichung Lokalisation/ 1. Messung	Abweichung Lokalisation/ 2. Messung
	%	%
0	9,5	14,3
1	38,1	19,0
2	38,1	35,7
3	11,9	21,4
4	2,4	9,5
Gesamt	100,0	100,0

Tabelle 19 Abweichung der Kontaktpunkte bezüglich der Lokalisation - Hanelfolie vs. Sensorfolie 1. Messung und Hanelfolie vs. Sensorfolie 2. Messung

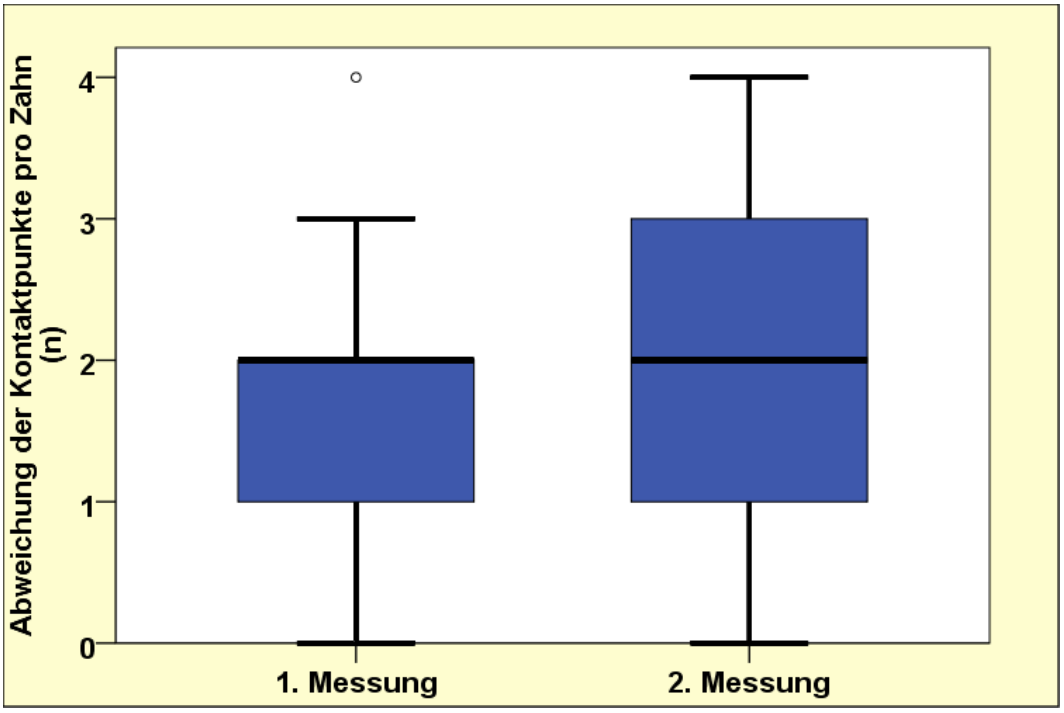


Abbildung 20 Abweichung der Kontaktpunkte bezüglich der Lokalisation - Hanelfolie vs. Sensorfolie 1.Messung und Hanelfolie vs. Sensorfolie 2. Messung

Diese Untersuchung ergab im WILCOXON-Test eine Signifikanz von p=0,052. Da der Wert knapp über 0,05 liegt, gilt dies als nicht signifikant. Jedoch kann man von einer „grenzwertigen Signifikanz“ sprechen. So ist davon auszugehen, dass bei einem größeren Kollektiv eine Signifikanz erwartet wird. Die PEARSON-Korrelation lag bei r=0,495 und die Signifikanz bei p=0,001. Diese Werte belegen eine mittelmäßige Übereinstimmung der Kontakte bezüglich ihrer Lokalisation am Zahn.

7. Diskussion

7.1 Material und Methode

7.1.1 Probanden

Die Probandenauswahl gestaltete sich aufgrund der Ein- und Ausschlusskriterien als schwierig und sehr zeitaufwändig. So blieben von 35 Testpersonen nur 20 übrig, die für diese Studie geeignet waren. Vorteilhaft war, dass die Untersuchung in nur einer Sitzung durchgeführt werden konnte.

Ein wichtiger Parameter für die Messgenauigkeit dieser Studie ist auch der Proband selbst. So sollte er eine entspannte und aufrechte Sitzhaltung mit angelehntem Kopf einnehmen. Diese Position reduziert das Risiko, die Okklusion durch verschiedene Lagerungen zu beeinflussen. Trotz Anleitung des Probanden und korrektes Positionieren der Sensorfolie bzw. der Hanelfolie können unterschiedliche Okklusionsmuster nicht vollständig ausgeschlossen werden. So spielen neben unklaren Okklusionsverhältnissen auch Faktoren wie Unkonzentriertheit, Müdigkeit oder mangelnde Motivation seitens des Probanden eine nicht zu unterschätzende Rolle und können die Messgenauigkeit negativ beeinträchtigen.

Eine Irritation der Probanden durch die im Mund eingebrachte Sensorfolie im Sensorfolienhalter konnte ebenfalls nicht ausgeschlossen werden. Subjektive Aussagen der Probanden bestätigten die Vermutung, dass dadurch unkontrolliertes Verschieben des Unterkiefers im Schlussbiss möglich sei.

Die fotografische Darstellung der mit Hanelfolie markierten Kontaktpunkte erwies sich bei einigen Probanden als schwierig. Häufig empfanden Probanden mit kleinerer Mundöffnung den Fotospiegel und die Wangenhalter als sehr unangenehm, sodass teilweise die Zähne nicht exakt fotografiert werden konnten. Ferner ergab sich das Problem des Beschlagens des Fotospiegels sowie die Schwierigkeit einer scharfen Fotografie.

7.1.2 Hanelfolie

Eine negative Beeinflussung von nicht vollständig getrockneten Kauflächen der Zähne auf die Markierung der Kontakte mit Hanelfolie kann nicht ausgeschlossen werden. Es wurde bereits in anderen Studien die Abhängigkeit herkömmlicher Okklusionsindikatoren vom trockenen und feuchten Milieu in der Mundhöhle nachgewiesen. Die okklusalen Kontaktpunkte erhöhten sich hervorragend, je gründlicher der Mund und die Zähne vor der Messung getrocknet wurden. Somit ist auch dieses Material in seiner klinischen Anwendbarkeit begrenzt (7).

Die markierten Okklusionskontakte wurden zwar mit Fachwissen ausgewertet, jedoch bestand die Gefahr auch Schlifffacetten fälschlicherweise als Okklusionskontakt zu werten. Zur Reduzierung dieser Fehlerquelle wurden die mit Hanelfolie markierten Kontaktpunkte zusätzlich mit Shimstockfolie abgeglichen. Wird die Shimstockfolie zwischen den antagonistischen Zähnen gehalten und lässt sie sich nicht durchziehen, so wird ein okklusaler Kontakt angenommen. In dieser Art und Weise können die okklusalen Kontakte Zahn für Zahn überprüft werden (7). Nachteilig ist, dass mit dieser Methode keine Aussage über die Anzahl oder die genaue Lage der Kontaktpunkte auf der Zahnoberfläche erzielt werden konnte. Vorteilhafter wäre eine Überprüfung bzw. ein Vergleich der sowohl mit der Hanelfolie als auch mit der Sensorfolie ermittelten Kontakte mittels des Greifswalder Systems (GEDAS). Es gilt festzustellen, dass in dieser Studie die Kontakte mit der Hanelfolie als Goldstandard angenommen wurden, ohne genau zu wissen, ob es sich dabei um reale Kontaktpunkte handelte.

Zusammenfassend gilt für jegliche Okklusionsprüfmethode, dass individuell verschiedene Faktoren das Ergebnis beeinflussen können (81). Gemeint sind die Zahnbeweglichkeit und deren Veränderung (81). So können bei einer wiederholten Belastung im Zusammenhang mit dem Belastungswinkel und abhängig der Unterkieferbewegung bzw. der Verwindung des Unterkiefers Stellungsänderungen der an der Okklusion beteiligten Zähne auftreten (81). Jede dieser Variablen kann die Aussagekraft einer Einzelmessung verzerren (10, 81).

Dieses Risiko lag jedoch bei beiden Okklusionsprüfmethoden vor.

7.1.3 T-Scan-III-System

Das T-Scan-III-System ist ein Verfahren, bei welchem die Messergebnisse durch eine Reihe von Parametern negativ beeinflusst werden können.

Das Sensorhandstück sollte immer parallel zur Okklusionsebene innerhalb des Mundes ausgerichtet sein. Dies könnte jedoch durch eine unterschiedliche Positionierung des Behandlers am Patienten negativ beeinflusst werden. Jegliche Veränderung der Sensorneigung führt sowohl zu einer Veränderung der intraoralen Sensorfolienpositionierung als auch der Kraftrichtung.

Die prozentuale Kraftverteilung kann aber auch durch die gewählte Foliengröße verfälscht werden. Einerseits werden bei einer zu kleinen Folie die Zahnkontakte im dorsalen Bereich des Mundes nicht abgebildet, andererseits werden bei einer zu großen Folie die Kräfte an nicht vorhandenen Kontakten aufgezeichnet, da die Folie gebogen oder abgeknickt wird.

Die korrekte Okklusion des Probanden ist ebenfalls abhängig von der Größe des Sensorfolienhalters, wodurch der Unterkiefer unterschiedlich ausgelenkt werden könnte.

Auch die Beachtung des Referenzpunktes, der sogenannte Inzisivendorn am Sensorfolienhalter, ist für die Messgenauigkeit von entscheidender Bedeutung. Wird dieser Referenzpunkt, der sich zwischen den beiden oberen mittleren Inzisivi befindet, nicht exakt eingestellt, stimmen die Zahnfelder des T-Scan-III-Systems nicht mit den tatsächlichen Zähnen überein. Es resultieren letztendlich Ungenauigkeiten in den Messergebnissen.

Eine weitere Fehlerquelle stellt die Individualisierung der Sensorfolie dar. Diese erfolgt durch Aufbeißen auf die T-Scan-III-Folie. Zunächst wird der Patient aufgefordert, mehrmals locker zu beißen und anschließend die Kraft für wenige Sekunden zu halten. Dabei kalibriert die Software des T-Scan-III-Systems die auftreffenden Kräfte und errechnet eine individuelle Empfindlichkeit für die folgenden Messungen an dem jeweiligen Patienten. Diese Sensibilität bzw. Kraftverteilung stellt sich in einer unterschiedlichen Farbcodierung dar. So werden z.B. der stärkste Kontakt in Rot und der schwächste Kontakt in Dunkelblau aufgezeichnet. Doch wie auch schon in anderen

Studien beschrieben, besteht bei der Individualisierung die größte Ungenauigkeit und Schwachstelle des T-Scan-III-Systems. Trotz dieser anfänglichen Kalibrierung und Individualisierung der Sensorfolie empfindet der Patient diese als störend und irritierend. Folglich kommt es zu einer Verschiebung beider Kiefer im Schlussbiss und es entsteht ein verändertes Okklusionsmuster. Beobachtet wurde, dass diese Irritationen häufiger zu Kontakten im posterioren Bereich der Sensorfolie führten (61, 59). Schon in früheren Untersuchungen wurde die damals noch 95 µm dicke und unflexible Sensorfolie als Ursache für unkontrollierte Verschiebungen des Unterkiefers genannt (61). Doch auch die Sensorfolie des T-Scan-III-Systems liegt mit einer Stärke von 65 µm immer noch weit über den Empfehlungen aus früheren Untersuchungen (26).

Nachteilig ist ebenfalls, dass der antagonistische Kontakt der Zahnreihen durch die eingelegte Sensorfolie nicht mehr überprüft werden kann. Eine Korrektur hinsichtlich Okklusion und Verzahnung ist demnach ausgeschlossen.

Die Zuordnung der mit dem T-Scan-III-System registrierten okklusalen Kontaktpunkte erfolgt anhand eines individuell angelegten Zahnbogens für jeden Patienten. Dieser ergibt sich aus der mesio-distalen Breite einer der oberen mittleren Inzisivi und sollte aus Genauigkeitsgründen möglichst mit einem feststellbaren Messinstrument bestimmt werden. Eine falsch errechnete Zahnbogenbreite bedingt eine unwahre Lagebeziehung okklusaler Kontakte.

Der Aufbau der Sensorfolie ist ebenso kritisch zu betrachten. Die Druckmesszellen sind in Zeilen und Spalten mit dazwischen liegenden Räumen („inaktive“ Zonen) angeordnet. Wie groß die inaktiven Zonen in der dritten Generation des T-Scan-Systems sind und ob durch diese okklusale Kontakte registriert werden können, war nicht Gegenstand dieser Studie. Dieser Aspekt könnte aber Anlass für weitere Untersuchungen geben.

Trotz aller möglichen Fehlerquellen, die die Ergebnisse beeinflussen können, wird das T-Scan-III-System in einer Literaturstudie als schnell und akkurat im Hinblick auf die Identifizierung der Verteilung der okklusalen Kontakte beschrieben. Es gilt als vielversprechendes klinisches diagnostisches Gerät für die Okklusion sowie Verbesserung der Okklusion nach zahnärztlichen Behandlungen (87).

In einer koreanischen Studie wurde das T-Scan-III mit zwei anderen okklusalen Indizes (the Peer Assessment Rating (PAR) und the American Board of Orthodontics Objective Grading System (OGS)) verglichen. Als vorteilhaft galten die Möglichkeit der Darstellung exzessiver okklusaler Kräfte sowie der zeitliche Verlauf der Entstehung okklusaler Kontakte. Nachteilig wurde erwähnt, dass das T-Scan-III keinen absoluten Wert von okklusalen Kräften ermitteln kann, welcher jederzeit beim Zusammenbeißen variiert und auch abhängig von der Patientenposition sowie Lokalisation der okklusalen Kontakte ist. Zusammenfassend ist das T-Scan-III in dieser Studie als eine quantitative, objektive und zuverlässige Methode zur Einschätzung der dynamischen Okklusion beurteilt worden. Es wurde aber auch darauf hingewiesen, dass weitere Studien erfolgen sollten, bevor von einem potentiellen Ersatz für okklusale Indizes gesprochen werden kann (46).

In einer rumänischen Studie war noch die zweite Generation des T-Scan-Systems Gegenstand der Untersuchung zur Überprüfung der traditionellen Okklusionsmethoden. Es wurde deren Einsatz für die Eingliederung bzw. Okklusionseinstellung von implantatgetragenen keramisch verblendeten Metallkronen analysiert. Artikulationspapier und Vinyl Polysiloxan-Bissregistriermaterial diente in allen Fällen zur Einstellung der Okklusion der Kronen. Die Okklusionsanalyse mittels T-Scan-II-System zeigte eine erfolgreiche Integration der Kronen in die habituelle Okklusion. Diese Studie bewies, dass diese traditionellen Methoden, die am häufigsten im klinischen Alltag Verwendung finden, gut genug sind, die Morphologie und Intensität okklusaler Kontakte einzustellen, wenn sie korrekt und gewissenhaft verwendet werden (16)

7.2 Ergebnisse

7.2.1 Anzahl der Kontaktpunkte

Beim Vergleich beider Methoden bezüglich der Anzahl der Kontaktpunkte pro Zahn wurden mit dem T-Scan-III insgesamt weniger Kontaktpunkte ermittelt. Dies entspricht den Ergebnissen einer anderen Studie, in der die Sensorfolien nicht die gleiche Genauigkeit aufwiesen und teils auch weniger Kontakte registrieren als konventionelle okklusale Prüfmethoden, wie z.B. Okklusionspapier oder -folie. Aus diesem Grund wurde die klinische Anwendbarkeit des T-Scan Systems in Zweifel gezogen (7).

Bedingt durch den Aufbau und die Anordnung der Leiterbahnen in der Sensorfolie sind Areale mit schwankender Sensibilitätsschwelle vorhanden. So können okklusale Kontakte, die in Bereichen zwischen den Leiterbahnen liegen (inaktiven Zonen), nicht vom T-Scan-System registriert werden (30, 60, 76).

Im Frontzahngebiet registrierte das T-Scan-III-System mehr Kontakte und im Seitenzahngebiet weniger Kontakte als die Hanelfolie. Dieses Ergebnis steht im Widerspruch zu anderen Untersuchungen (61, 92). In diesen Studien war die Übereinstimmung registrierter Kontakte mit tatsächlich vorhandenen Kontakten im Molarenbereich am größten. Als Ursache könnten zum einen die Einteilung in einen reinen Molarenbereich und zum anderen die damalige Foliendicke von 100 µm sein. Dies führte zu einer Bisssperrung im Frontzahngebiet und damit zu negativ veränderter Aufzeichnung der Frontzahnkontakte.

Die Betrachtung der Abweichung der Anzahl der Kontakte pro Zahn ergab zu 31% keine Abweichung. Jeder fünfte Kontakt wurde im Vergleich zur Hanelfolie vom T-Scan-III zu viel und jeder sechste Kontakt zu wenig registriert.

Die Überprüfung der Kontaktpunkte hinsichtlich der Lokalisation am Zahn zeigte deutliche Abweichungen der mit dem T-Scan-III-System registrierten Kontakte im Vergleich zur herkömmlichen Hanelfolie in ein bzw. zwei Bereichen. Dabei wurden vornehmlich falsch positive, d.h. zu viele Kontakte mit dem T-Scan-III ermittelt. Die Einteilung der Zahnfläche in verschiedene Bereiche erfolgte in dieser Studie für das T-Scan-III rein schematisch, da die Systemsoftware selbst außer einer Zentralfissurlinie

keine Morphologie vorgibt. Ein direkter Vergleich zwischen der digitalen und instrumentellen Analyse gestaltete sich als schwierig, da der vom T-Scan-System generierte Zahnbogen nur mittelwertig berechnet wird (53). Folglich ist eine genaue Zuordnung und Übertragung der aufgezeichneten Kontakte zu den tatsächlich okkludierenden Zähnen nicht möglich. Auch frühere Studien wiesen darauf hin, dass das standardisierte Zahnbogenmodell nicht immer den tatsächlichen Verhältnissen entspricht (81). Daher kann es bereits bei einfachen Abweichungen zu erheblichen Schwierigkeiten kommen, um die genaue Lokalisation der Kontaktpunkte zu ermitteln (52).

7.2.2 Reproduzierbarkeit

Die fünf verschiedenen Hanelfolien unterschieden sich nicht bezüglich der Markierung der Anzahl der Kontakte pro Zahn. Die Hanelfolie gilt als reproduzierbar. Im Gegensatz dazu unterschieden sich die Sensorfolien des T-Scan-III-Systems deutlich hinsichtlich der registrierten Anzahl der Kontakte pro Zahn und mussten als nicht reproduzierbar eingestuft werden.

Es bestand das Problem der identischen Positionierung der Sensorfolie im Mund. Lediglich der am Sensorfolienhalter angebrachte Inzisivendorn dient als Hilfsmittel zur Positionierung, verhindert aber nicht ein Verdrehen der Folie. Es ist wohl unmöglich, eine wie die andere Sensorfolie exakt gleich im Mund zu positionieren und Impressionen der Kontaktpunkte auf jeder Sensorfolie an immer der gleichen Stelle zu erzielen. Dieses kann es zu einer Veränderung der Lage der Impressionen innerhalb des registrierten Areals der Folie und damit zu einer veränderten Lage der Kontaktpunkte im errechneten Zahnbogen führen (81). Um diese Fehlerquelle zu minimieren oder gar auszuschließen, wurde in einer anderen Studie der Sensor vor der Messung mit Silikonmaterial in einer definierten Position an der Oberkieferzahnreihe fixiert. Mit dieser Methode konnte eine bessere Übereinstimmung der verschiedenen Messergebnisse erreicht werden (81).

Die Auswertung der Abweichung der Kontaktpunkte pro Zahn ergab, dass die Sensorfolie insgesamt weniger Kontakte registrierte als die Hanelfolie. Schon in

früheren Untersuchungen wurde ein ungleichmäßiger Schwellenwert der Sensorfolie zur Kontaktpunktmessung festgestellt (19). Das bedeutet, Registrierungen in Abhängigkeit der angewandten Druckkraft sind unzuverlässig. Dadurch ist „(…) eine exakte Reproduzierbarkeit der topografischen Kontaktpunktverteilung (…) nicht immer gegeben“ (Stern Kordaß 2010, S. 117).

Der Vergleich der fünf Sensorfolien untereinander hinsichtlich der Lokalisation der Kontaktpunkte bestätigte eine gute Reproduzierbarkeit der T-Scan-III-Folie. So zeigte sich insgesamt die größte Übereinstimmung im Frontzahngebiet. Im Seitenzahngebiet lagen die größte Übereinstimmung bei den distalen und die geringste Übereinstimmung bei den mesialen Kontakten. Dieses Ergebnis steht kontrovers zu der Theorie des Einfallwinkels des auftreffenden Kraftvektors (52). Entgegen den vorliegenden Ergebnissen wurde festgestellt, dass „(…) durch eine exakt vertikale Ausrichtung die reproduzierbarsten Ergebnisse erzielt werden konnten. Je flacher der Auftreffwinkel auf die Folie, wie man es im Frontzahnbereich häufig erlebt, desto ungenauer ist das Ergebnis“ (Stern Kordaß 2010, S. 117). In der vorliegenden Studie waren jedoch im Frontzahnbereich die größten Übereinstimmungen feststellbar.

7.2.3 Folienbelastungstest

Beim Folienbelastungstest konnte gezeigt werden, dass bei mehrmaliger Benutzung der Sensorfolien die Reproduzierbarkeit der registrierten Kontakte abrupt abnimmt. Auch in früheren Untersuchungen verringerte sich oder verschwand gar die Sensitivität der Sensorfolie bei mehrfacher Benutzung (61).

Laut Hersteller ist eine 15-17malige Benutzung der Sensorfolien unproblematisch. In dieser Studie wurden schon bei der zweiten Benutzung der Sensorfolie teils keine Kontakte mehr registriert, obwohl diese mittels Hanelfolie im Mund markiert waren.

Bei wiederholter Benutzung der T-Scan-III-Folie konnte im Frontzahngebiet eine gute Übereinstimmung der Kontakte ermittelt werden, dagegen standen im Seitenzahngebiet die Kontakte der ersten und zweiten Messung in keinem Zusammenhang mehr. Bei Betrachtung der Abweichung der Anzahl der Kontakte mit denen der Hanelfolie ist ein deutlicher Anstieg der prozentualen Verteilung der Negativwerte bei der zweiten Messung zu erkennen. Die Vermutung liegt nahe, dass es zu Brüchen der Leiterbahnen in der Sensorfolie kommt und folglich keine Kontakte mehr registriert werden können. Als mögliche Ursache könnte die Repositionierung der Sensorfolie im Mund sein, d.h. sie konnte nicht immer gleichermaßen in der gleichen Position in den Mund eingebracht werden. Folglich biss der Proband nicht in die schon vorgeformte Form ein und ein Bruch der Leiterbahnen wäre denkbar. Dieses Ergebnis wird durch andere Studien belegt (7).

Ein grenzwertiges signifikantes Ergebnis ergab die Untersuchung der Abweichung der Lokalisation der Kontakte. Es wurde eine mittelmäßige Übereinstimmung zwischen Hanel- und Sensorfolie ermittelt. Da der p-Wert bei 0,052 liegt und dies als nicht signifikant einzustufen ist, bedarf diese Variable weiteren Untersuchungen.

8. Klinische Schlussfolgerung

Der nur grob berechnete Zahnbogen des T-Scan-III-Systems stellt das größte Problem für eine exakte Okklusionsanalyse dar. Als wichtigster Kritikpunkt ist die fehlende Darstellung des Unterkiefer-Zahnbogens zu nennen. Lediglich eine Darstellung der Kontakte im Oberkiefer ist für die klinische Anwendbarkeit ungenügend. Es traten in dieser Studie Fälle auf, bei denen das T-Scan-III-System die letzten Zähne in der Zahnreihe nur unvollständig darstellte und folglich der registrierte Kontakt nicht genau lokalisiert und damit nicht gezählt werden konnte. Auch wurden teilweise die vom T-Scan-III registrierten Kontakte außerhalb des berechneten Zahnbogens angezeigt und konnten dadurch nicht gewertet werden.

Leider gibt es nur eine ungefähre Einteilung der Okklusionsfläche mittels der Zentralfissurlinie in oral und bukkal im Seitenzahngebiet bzw. inzisal und cervical im Frontzahngebiet. Eine mesiale und distale Unterteilung ist nur durch die zahnbegrenzenden Linien gegeben. Eine genaue Lokalisation der registrierten Kontakte auf der Kaufläche konnte jedoch nicht erfolgen. Es ist also unabdingbar zusätzliche markierende Okklusionsindikatoren hinzu zu ziehen.

Die klinische Anwendbarkeit des T-Scan-III-Systems als diagnostisches Mittel in der instrumentellen Okklusionsanalyse kann nur bedingt empfohlen werden. Als Hauptursache sind neben systembedingten Schwächen der Software vor allem der Aufbau und die Dicke der Sensorfolien zu nennen.

Erschwerend für die Auswertung der registrierten Kontakte war die digitale Darstellung. Am häufigsten zeigten sich statt konkreter einzelner Kontaktpunkte eher größere konfluierende Kontaktflächen. Diese sind zwar in sich teils farblich abgestuft und mit „Ausläufern“ versehen, jedoch für den Behandler schwer exakt zu analysieren und klinisch zu übertragen. Ein Zusammenhang mit der Ausprägung des Höcker-Fissuren-Reliefs der Zähne lässt sich vermuten, wurde aber nicht genauer untersucht. Auch liegt es wohl im Ermessen des jeweiligen Behandlers derartige konfluierende Kontaktflächen als unterschiedliche einzelne Kontakte zu zählen, d.h. es kann von einer rein subjektiven Auswertung der mit dem T-Scan-III-System registrierten Kontakte ausgegangen werden.

Wie der Vergleich der ermittelten Kontaktpunkte beider Prüfverfahren zeigt, gibt es überwiegend nur leichte bis mittelmäßige Übereinstimmungen. Eine exakte Okklusionsanalyse ist nicht möglich. Auch registrierte das T-Scan-III teils mehr oder weniger Kontakte als die Hanelfolie. Als Mangel in der Software muss die teilweise falsche Berechnung des Zahnbogens mit nicht vollständig dargestellten zweiten Molaren genannt werden.

Im klinischen Alltag sind reproduzierbare Okklusionsindikatoren gefordert. Eine verlässliche Reproduzierbarkeit der Sensorfolien konnte im Gegensatz zur Hanelfolie nicht bestätigt werden.

Schlussfolgernd ist die Verwendung des T-Scan-III-Systems als alleiniges Hilfsmittel in der instrumentellen Okklusionsanalyse als äußerst kritisch zu betrachten.

Als großer Vorteil des T-Scan-III ist sicherlich zu nennen, dass vorhandener Speichel in der Mundhöhle keinen Einfluss auf den digitalen Messvorgang hat (7), im Gegensatz zu konventionellen Okklusionsprüfmethoden wie z.B. Okklusionspapier oder -folie. Auch ist dieses System in der Lage einzelne Parameter des Okklusionsvorgangs zu messen und aufzuzeichnen, was Okklusionspapier oder okklusale Indizes nicht zeigen können (7).

Nicht zuletzt überzeugen die beeindruckende und bildliche Darstellung der Okklusionskontakte bzw. des Okklusionsverlaufs sowie die Möglichkeit der digitalen Speicherung der Daten. So findet das T-Scan-III-System im Zeitalter der Digitalisierung im Sinne einer motivierenden und aufklärenden Wirkung auf den Patienten durchaus Verwendung.

Zusammengefasst hängt die Wahl der okklusalen Prüfmethode sicherlich von der klinischen Situation, der Wahl des Behandlers sowie dessen Geschick und Sachkenntnis, der Wirtschaftlichkeit und des Komforts ab (7); doch sollte die angestrebte Genauigkeit in der Okklusionsanalyse nicht außer Acht gelassen werden.

9. Literaturverzeichnis

1. Ahlers MO & Jakstat HA. Klinische Funktionsanalyse - Interdisziplinäres Vorgehen mit optimierten Befundbögen. 3. Auflage dentaConcept Hamburg 2007;71-88

2. Alkan A, Keskiner I, Arici S, Sato S. The effect of periodontal surgery on bite force, occlusal contact area and bite pressure. J Am Dent Assoc 2006;137:78-83

3. Anderson GC, Schulte JK, Aeppli DM. Reliability of the evaluation of occlusal contacts in the intercuspal position. J Prosthet Dent 1993;70:320–3

4. Ando K, Fuwa Y, Kurosawa M, Kondo T, Goto S. Bite force measurement system using pressure-sensitive sheet and silicone impression material. Dent Mater J 2009;28:212-8

5. Arcan M, Zandman F. A method for in vivo quantitative occlusal strain and stress analysis. J Biomech 1984;17:67–79

6. Ash MM. Schienentherapie: Evidenzbasierte Diagnostik und Behandlung bei TMD und CMD. 3. Auflage Urban & Fischer Elsevier München 2006

7. Ashu Sharma, G R, Rahul, Soorya T, Poduval, Karunakar, Shetty, Bhawna Gupta, Varun Rajora. History of materials used for recording static and dynamic occlusal contact marks: a literature review. J Clin Exp Dent 2013;5(1):e48–e53

8. Battistuzzi PG, Eschen S, Peer PG. Contacts in maximal occlusion. J Oral Rehabil 1982;9:499-507

9. Blood SD. The craniosacral mechanism and the temporomandibular joint. J Am Osteopath Assoc 1986;86:512-9

10. Carey JP, Craig M, Kerstein RB, Radke J. Determining a relationship between applied occlusal load and articulating paper mark area. Open Dent J 2007;1:1–7

11. Čelar AG. Okklusion und Artikulation. Grundlagen der zahnärztlichen Prothetik. 2. Auflage Universimed Wien 2006;29-102

12. Clark JR, Evans RD. Functional Occlusion: I. A Review. J Orthod 2001;28:76–81

13. Ciancaglini R, Gherlone EF, Radaelli G. The relationship of bruxism with craniofacial pain and symptoms from the masticatory system in the adult population. J Oral Rehabil 2001;28:842-8

14. Ciancaglini R, Gherlone EF, Redaelli S, Radaelli G. The distribution of occlusal contacts in the intercuspal position and temporomandibular disorder. J Oral Rehabil 2002;29:1082–90

15. Conrad HJ, Schulte JK, Vallee MC. Fractures related to occlusal overload with single posterior implants: a clinical report. J Prosthet Dent 2008;99:251-6

16. CotruŢă AM, Mihăescu CS, Tănăsescu LA, Mărgărit R, Andrei OC. Analyzing the morphology and intensity of occlusal contacts in implant-prosthetic restorations using T-Scan system. Rom J Morphol Embryol 2015;56:277-81

17. Dahlström L. Psychometrics in temporomandibular disorders. Acta Odontol Scand 1993;51:339-52

18. Davies SJ, Gray RJ, Al-Ani MZ, Sloan P, Worthington H. Inter- and intra-operator reliability of the recording of occlusal contacts using 'occlusal sketch' acetate technique. Br Dent J 2002;193:397–400

19. Dees A, Kess K, Proff P, Schneider S. Der Einsatz des T-Scan Systems in der okklusalen Diagnostik. Dtsch Zahn Mund Kieferheilkd Zentralbl 1992;80:145-51

20. DGFDT. Terminologieliste der Deutschen Gesellschaft für Funktionsdiagnostik und Therapie (DGFDT) und der Deutschen Gesellschaft für zahnärztliche Prothetik und Werkstoffkunde (DGzPW) verabschiedet 01.09.2005 *http://www.dgfdt.de/documents/266840/266917/06_Stellungnahme_Terminologie/5313e095-ced4-4ca0-b56d-7e6c504178e4?version=1.0*; zuletzt aufgerufen am 14.08.2016

21. Dincer M, Meral O, Tumer N. The investigation of occlusal contacts during the retention period. Angle Orthod 2003;73:640–6

22. Droukas B, Lindee C, Carlsson GE. Relationship between occlusal factors and signs and symptoms of mandibular dysfunction. A clinical study of 48 dental students. Acta Odontol Scand 1984;42:277-83

23. Ehrlich J, Taicher S. Intercuspal contacts of the natural dentition in centric occlusion. J Prosthet Dent 1981;45:419–21

24. Freesmeyer WB. Zahnärztliche Funktionstherapie. Hanser München 1993

25. Freesmeyer WB. Klinische Prothetik Festsitzender und implantatgetragener Zahnersatz. Hüthig Heidelberg 1995 Bd 1:3-5

26. Halperin G, Halperin A, Halperin A, Norlin B. Thickness, strength and plastics deformation of occlusal registration strips. J Prosth Dent; 48:578

27. Harvey WL, Hatch RA, Osborne JW. Computerized occlusal analysis. An evaluation of the sensors. J Prosth Dent 1991;65:89-92

28. Hidaka O, Iwasaki M, Saito M, Morimoto T. Influence of clenching intensity on bite force balance, occlusal contact area, and average bite pressure. J Dent Res 1999;78:1336–44

29. Hützen D, Rebau M, Kordass B. Clinical reproducibility of GEDAS-"Greifswald Digital Analyzing System" for displaying occlusal contact patterns. Int J Comput Dent 2006;9:137–42

30. Hsu ML, Gallo LM, Palla S. Sensitivity and reliability of the T-Scan for occlusal analysis. J Dent Res 1990;69:335,abstr no. 1809

31. Huang G, Le Resche L, Critchlow CW, Martin MD, Drangsholt MT. Risk factors for diagnostic subgroups of painful temporomandibular disorders (TMD). J Dent Res 2002;81:284-8

32. Isidor F. Loss of osseointegration caused by occlusal load of oral implants. A clinical and radiographic study in monkeys. Clin Oral Implants Res 1996;7:143-52

33. Jäger J, Graber G. Epidemiologische Untersuchung über die Ätiologiefaktoren dysfunktioneller Erkrankungen im stomatognathen System. Deutsche Zahnärztl Z 1988;43:17-23

34. Jakstat HA & Ahlers MO. Funktionelle Anatomie des Kauorgans. Klinische Funktionsanalyse - Interdisziplinäres Vorgehen mit optimierten Befundbögen. 3. Auflage dentaConcept Hamburg 2007: 71-88

35. Kahn J, Tallents RH, Katzberg RW, Moss ME, Murphy WC. Association between dental occlusal variables and intraarticular temporomandibular joint disorders: horizontal and vertical overlap. J Prosthet Dent 1998;79:658-62

36. Kahn J, Tallents RH, Katzberg RW, Ross ME, Murphy WC. Prevalence of dental occlusal variables and intraarticular temporomandibular disorders. Molar relationship, lateral guidance, and nonworking side contacts. J Prosthet Dent 1999;99:410-5

37. Kawamura Y, Tsukamato S, Miyoshi K. Experimental studies on neural mechanism of bruxism, J Dent Res 1961;40:217

38. Kinoshita S, Taguchi S, Fukuda M. A new method for occlusal examination and record by using Occlusal Prescale (R) (author's transl). Shikai Tenbo Dental Outlook 1982;59:311–20

39. Kobayashi Y, Yokoyama M, Shiga H. Sleep stages in each sleep cycle of TMD patients. J Dent Res 2000;79:493

40. Kopp S. Ätiologische und pathogenetische Aspekte von CMD in Ahlers MO, Jakstat H. Klinische Funktionsanalyse - Interdisziplinäres Vorgehen mit optimierten Befundbögen. 3. Auflage dentaConcept Hamburg 2007: 91-106.

41. Korioth TW. Number and location of occlusal contacts in intercuspal position. J Prosthet Dent 1990;64:206-10.

42. Körber KH. Zahnärztliche Prothetik. Georg Thieme Stuttgart 1975 Bd I und II

43. Körber E. Funktionelle Gebißanalyse und Anwendungsmöglichkeit in der zahnärztlichen Praxis. Wissenschaftliche Stellungnahme Deutsch Zahnärztl Z 1971:26,98

44. Landi N1, Manfredini D, Tognini F, Romagnoli M, Bosco M. Quantification of the relative risk of multiple occlusal variables for muscle disorders of the stomatognathic system. J Prosthet Dent 2004;92:190-5

45. Lawn BR, Lee JJ. Analysis of fracture and deformation modes in teeth subjected to occlusal loading. Acta Biomater 2009;5:2213-21

46. Lee SM, Lee JW. Computerized occlusal analysis: correlation with occlusal indexes to assess the outcome of orthodontic treatment or the severity of malocculusion. Korean J Orthod 2016;46:27–35

47. Levitt SR, McKinney MW. Validating the TMJ scale in a national sample of 10,000 patients: Demographic and epidemiologic characteristics. J Orofac Pain 1994;8:25-35

48. Lippert H. Lehrbuch Anatomie. Urban & Fischer Verlag, 8. Aufl.; München 2011

49. List T, Wahlund K, Larsson B. Psychosocial functioning and dental factors in adolescents with temporomandibular disorders: A case-control study. J Orofac Pain 2001;15:218-27

50. Liu F & Steinkeler A. Epidemiology, diagnosis, and treatment of temporomandibular disorders. Dent Clin of North Am 2013;57:465-79

51. Lobbezoo F, Lavigne, G.J. Do bruxism and temporomandibular disorders have a cause- and effect relationship? J Orofac Pain 1997;11:15-23

52. Maeda Y, Ohtani T, Okada M, Emura I, Sogo M, Mori T, Yoshida M, Nokubi T, Okuno Y. Clinical application of T-Scan System.1: Sensitivity and reproducibility and its application. Osaka Daigaku Shigaku Zasshi 1989;34:378-84

53. Maness WL, Benjamin M, Podoloff R, Bobick A, Golden RF. Computerized occlusal analysis: a new technology. Quintessence Int 1987;18:287-93

54. Matsui Y, Ohno K, Michi K, Suzuki Y, Yamagata K. A computerized method for evaluating balance of occlusal load. J Oral Rehabil 1996;23:530–5

55. McNamara JA, Seligman DA, Okeson JP. Occlusion, Orthodontic treatment, and temporomandibular disorders. A review. J Orofac Pain 1995;9:73-90

56. Millstein PL. A method to determine occlusal contact and noncontact areas: preliminary report. J Prosthet Dent 1984;52:106–10

57. Molin C. From bite to mind: TMD - A personal and literature review. Int J Prosthodont 1999;12:279-88

58. Motsch A. Funktionsorientierte Einschleiftechnik für das natürliche Gebiss. Hanser, München 1977

59. Myers GE, Anderson JR. Nature of contacts in centric occlusion in 32 adults. J Dent Res 1971; 50:7–13

60. Patyk A, Lotzmann U, Paula JM, Kobes LWR. Ist das T-Scan-System eine diagnostisch relevante Methode zur Okklusionskontrolle? Zahnärztl Welt 1989;8:686-94

61. Patyk A, Lotzmann U, Scherer C, Kobes LW. Vergleichende okklusionsanalytische Studie zur klinischen Anwendbarkeit des T-Scan Systems. ZWR 1989;98:752-5

62. Peroz,I. Untersuchungen zur Diskusverlagerung ohne Reposition am Kiefergelenk. Habilitation Humboldt-Universität zu Berlin 2004

63. Pierce CJ, Chrisman K, Bennett ME, Close JM. Stress, anticipatory stress, and psychologic measures related to sleep bruxism. J Orofac Pain 1995;9:51-6

64. Platzer W. Taschenatlas der Anatomie. Bewegungsapparat. 8. Auflage Georg Thieme Stuttgart 2003;Bd 1

65. Pullinger AG, Seligman DA. Overbite and overjet characteristics of refined diagnostic groups of temporomandibular disorder patients. Am J Orthod Dentofacial Orthop 1991;100:401-15

66. Pullinger AG, Seligman DA. Quantification and validation of predictive values of occlusal variables in temporomandibular disorders using a multifactorial analysis. J Prosthet Dent 2000;84:114-5

67. Reiber T, Fuhr K, Hartmann H, Leicher D. Recording occlusal indicators. Introduction to occlusal surface materials and roughness. ZWR 1989;98:756,8, 60-1

68. Riise C. A clinical study of the number of occlusal tooth contacts in the intercuspal position at light and hard pressure in adults. J Oral Rehabil 1982;9:469–77

69. Rozenbajgier N, Klinisch- experimentelle Untersuchung zur Okklusionüberprüfung mit dem T-Scan-System. Med-Diss Eberhard-Karls-Universität Tübingen 1991

70. Sander FG, Schwenzer N & Ehrenfeld M. Zahn-Mund-Kiefer-Heilkunde – Kieferorthopädie. 2. Auflage Georg Thieme 2011

71. Scholz W, Pancherz H, Reichel R. Beurteilung des T-Scan-Systems zur Registrierung der okklusalen Kontaktverhältnisse. Zahnärztl Praxis 1991;1:6-9

72. Schroeder HE. Orale Strukturbiologie. 5. Auflage Georg Thieme Stuttgart 2000

73. Schulenburg E, Sümnig W, Schwahn B. Parafunktionen als ätiologischer Faktor kraniomandibulärer Dysfunktionen. Dtsch Zahnärztl Z 1997;52:620-3

74. Seligman DA, Pullinger AG. The role of functional occlusal relationships in temporomandibular disorders: A review. J Craniomandib Disord Facial Oral Pain 1991;5:265-79

75. Seligman DA, Pullinger AG. The role of intercuspal occlusal relationships in temporomandibular disorders: A review. J Craniomandib Disord Facial Oral Pain 1991;5:96-106

76. Setz J, Geis-Gerstörfer J. Meßeigenschaften eines Systems zur digitalen Okklusionsdiagnostik. Dtsch Zahnärztl Z 1990;45:65-6

77. Siebert G. Zahnärztliche Funktionsdiagnostik mit und ohne Hilfsmittel. Hanser München Wien 1987

78. Sipila K, Ensio K, Hanhela H, Zitting P, Pirttiniemi P & Raustia A. Occlusal characteristics in subjects with facial pain compared to a pain-free control group. Cranio 2006;24:245-51.

79. Speculand B, Hughes AO, Goss AN. Role of recent stressful life events experience in the onset of TMJ dysfunction pain. Com Dent Oral Epidemiol 1983;12:197-202

80. Stelzenmüller W & Wiesner J. Therapie von Kiefergelenkschmerzen - Ein Behandlungskonzept für Zahnärzte, Kieferorthopäden und Physiotherapeuten. 2. Auflage Georg Thieme 2010

81. Stern K, Kordaß B. Vergleich der GEDAS mit dem T-Scan-III bezüglich der klinischen Reproduzierbarkeit zur Darstellung okklusaler Kontaktpunkte. JCMF 2010;2:107-19

82. Strub JR, Kern M, Türp JC, Witkowski S, Heydecke G & Wolfart S. Curriculum Prothetik. 4. Auflage Quintessenz Berlin 2011;Bd I

83. Sultana MH, Yamada K, Hanada K. Changes in occlusal force and occlusal contact area after active orthodontic treatment: a pilot study using pressure-sensitive sheets. J Oral Rehabil 2002;29:484-91

84. Suzuki T, Kumagai H, Watanabe T, Uchida T, Nagao M. Evaluation of complete denture occlusal contacts using pressure-sensitive sheets. Int J Prosthodont 1997;10:386–91

85. Suzuki T, Kumagai H, Yoshitomi N, Minakuchi S, Watanabe T, Uchida T, Ishinabe S, Sekita T, Kobayashi K, Kobayashi K. Clinical evaluation of measuring system of occlusal force. Kokubyo Gakkai Zasshi 1994;61:437–45

86. Trepel M. Neuroanatomie Struktur und Funktion. 2. Auflage Urban & Fischer München 1999;5:109-10

87. Trpevska V, Kovacevska G, Benedeti A, Jordanov B. T-Scan III system diagnostic tool for digital occlusal analysis in orthodontics - a modern approach. Pril. Makedon Akad Nauk Umet Odd Med Nauki 2014;35:155-60

88. Türp JC. Myoarthropathien des Kausystems - mehr als nur ein zahnmedizinisches Problem. Dtsch Med Wschr 1997;122:483-7

89. Utz KH, Schmitter M, Freesmeyer WB. Wissenschaftliche Mitteilung der Deutschen Gesellschaft für Prothetische Zahnmedizin und Biomaterialien e.V. – Kieferrelationsbestimmung *http://www.dgzmk.de/uploads/tx_szdgzmkdocuments/wiss_Mitteilung_DGPro_Kieferrelation_09_2010.pdf*; zuletzt aufgerufen am 14.08.2016

90. Vanderas AP. Relationship between craniomandibular dysfunction and oral parafunctions in Caucasian children with and without unpleasant life events. J Oral Rehabil 1995;22:289-94

91. Vanderas AP, Papagiannoulis L. Multifactorial analysis of the aetiology of craniomandibular dysfunction in children. Int J Paedriatric Dent 2002;12:336-46

92. Walter M, Tomomatsu M. Computergestützte okklusale Diagnostik in der Totalprothetik. Zahnärztl Welt 1990;12:966-8

93. Weiglein AH. Kopf, Cranium und Hals, Collum. Waldeyer - Anatomie des Menschen. 19. Auflage De Gruyter Berlin 2012;697

94. Woda A, Am Gourdon, Faraj M. Occlusal contacts and tooth wear. J Prosthet Dent 1987;57:85–93

10. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Aufbau der T-Scan-Einheit 20

Abbildung 2 Sensorfolien small und large sowie das Handstück mit eingespannter Folie 20

Abbildung 3 Gewölbetabelle und Übertragung der individuellen Frontzahnbreite 21

Abbildung 4 2D-Ansicht (Darstellung der prozentualen Kraftverteilung als Farbfelder) 23

Abbildung 5 3D-Ansicht (Darstellung der prozentualen Kraftverteilung als Säulen) .. 23

Abbildung 6 Kraft-Zeit-Diagramm 24

Abbildung 7 CMD-Screening nach Jakstat/Ahlers 25

Abbildung 8 Fotodokumentation der Kontaktpunkte mit Hanelfolie 26

Abbildung 9 Bestimmung der individuellen Frontzahnbreite und intraorale Positionierung des T-Scan-III-Handstücks 27

Abbildung 10 Vergleich der Anzahl der Kontaktpunkte pro Zahn Hanelfolie vs. T-Scan-III 34

Abbildung 11 Vergleich der Anzahl der Kontaktpunkte pro Zahn Hanelfolie vs. T-Scan-III im Frontzahngebiet 13-23 35

Abbildung 12 Vergleich der Anzahl der Kontaktpunkte pro Zahn Hanelfolie vs. T-Scan-III im Seitenzahngebiet 14-17, 24-27 36

Abbildung 13 Anzahl der Kontaktpunkte pro Zahn mit Hanelfolie 1. vs. 2. Auswertung 39

Abbildung 14 Anzahl der Kontaktpunkte pro Zahn mit Sensorfolie 1. vs. 2. Auswertung 40

Abbildung 15 Vergleich der Abweichung der Kontaktpunkte in der 1. vs. 2. Auswertung im Gesamtkollektiv 43

Abbildung 16 Anzahl der Kontaktpunkte pro Zahn – Hanelfolie 1-5 46

Abbildung 17 Anzahl der Kontaktpunkte pro Zahn – Sensorfolie 1-5 48

Abbildung 18 Abweichung der Kontaktpunkte pro Zahn bezüglich der Lokalisation – Sensorfolie 1-5 51

Abbildung 19 Vergleich der Kontaktpunkte pro Zahn der Sensorfolie 1. Messung vs. 2. Messung 53

Abbildung 20 Abweichung der Kontaktpunkte bezüglich der Lokalisation, Hanelfolie vs. Sensorfolie 1. Messung und Hanelfolie vs. Sensorfolie 2. Messung 57

11. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Anzahl der Kontaktpunkte pro Zahn mit Hanelfolie und T-Scan-III 34

Tabelle 2 Abweichung der Anzahl der Kontaktpunkte pro Zahn 37

Tabelle 3 Anzahl der Abweichung der Kontaktpunkte pro Zahn bezüglich der Lokalisation 38

Tabelle 4 Anzahl der Abweichung der Kontaktpunkte pro Zahn - falsch positiv/falsch negativ 38

Tabelle 5 Abweichung der Anzahl der interpretierten Kontaktpunkte beider Okklusionsprüfverfahren 1. Auswertung vs. 2. Auswertung..... 42

Tabelle 6 Anzahl der Abweichung der Kontaktpunkte pro Zahn bezüglich der Lokalisation am Zahn 1. Auswertung vs. 2. Auswertung 44

Tabelle 7 Anzahl der Abweichung der Kontaktpunkte pro Zahn - falsch positiv/falsch negativ 1. Auswertung vs. 2. Auswertung 44

Tabelle 8 Übersicht der Mittel-, Medianwerte und Standardabweichung aller Kontakte pro Zahn – Hanelfolie 1-5 45

Tabelle 9 Anzahl der Kontaktpunkte pro Zahn – Hanelfolie 1-5..... 46

Tabelle 10 Übersicht der Mittel-, Medianwerte und Standardabweichung aller Kontakte pro Zahn – Sensorfolie 1-5 47

Tabelle 11 Anzahl der Kontaktpunkte pro Zahn – Sensorfolie 1-5..... 48

Tabelle 12 Abweichung der Anzahl der Kontaktpunkte Hanelfolie vs. Sensorfolie 1-5 49

Tabelle 13 Übersicht der Mittel-, Medianwerte und Standardabweichung der Abweichung der Kontaktpunkte bezüglich der Lokalisation am Zahn - Sensorfolie 1-5..... 50

Tabelle 14 Anzahl der Abweichung der Kontaktpunkte bezüglich der Lokalisation am Zahn – Sensorfolie 1-5 51

Tabelle 15 Übereinstimmung der Lokalisation der Kontaktpunkte von Hanelfolie und Sensorfolie 1-5 im Frontzahnbereich 13-23 52

Tabelle 16 Übereinstimmung der Lokalisation der Kontaktpunkte von Hanelfolie und Sensorfolie 1-5 im Seitenzahnbereich 14-17, 24-27 52

Tabelle 17 Anzahl der Kontaktpunkte pro Zahn der Sensorfolie - 1. vs. 2. Messung 54

Tabelle 18 Abweichung der Anzahl der Kontakte Hanelfolie vs. Sensorfolie 1. Messung und Hanelfolie vs. Sensorfolie 2. Messung 55

Tabelle 19 Abweichung der Kontaktpunkte bezüglich der Lokalisation Hanelfolie vs. Sensorfolie 1. Messung und Hanelfolie vs. Sensorfolie 2. Messung 56

12. Eidesstattliche Versicherung

„Ich, Mandy Frommann-Stoltenburg, versichere an Eides statt durch meine eigenhändige Unterschrift, dass ich die vorgelegte Dissertation mit dem Thema: „Experimentelle Untersuchung zur Anwendung des T-Scan-III-Systems für die Okklusionsanalyse in vivo“ selbstständig und ohne nicht offengelegte Hilfe Dritter verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel genutzt habe. Alle Stellen, die wörtlich oder dem Sinne nach auf Publikationen oder Vorträgen anderer Autoren beruhen sind als solche in korrekter Zitierung (siehe „Uniform Requirements for Manuscripts (URM)“ des ICMJE -www.icmje.org) kenntlich gemacht. Die Abschnitte zu Methodik (insbesondere praktische Arbeiten, Laborbestimmungen, statistische Aufarbeitung) und Resultaten (insbesondere Abbildungen, Graphiken und Tabellen) entsprechen den URM (s.o.) und werden von mir verantwortet.

Die Bedeutung dieser eidesstattlichen Versicherung und die strafrechtlichen Folgen einer unwahren eidesstattlichen Versicherung (§156,161 des Strafgesetzbuches) sind mir bekannt und bewusst.“

Datum Unterschrift

13. Lebenslauf

Mein Lebenslauf wird aus datenschutzrechtlichen Gründen in der elektronischen Version meiner Arbeit nicht veröffentlicht.

14. Danksagung

Ein besonderes Wort des Dankes geht an meine Doktormutter Frau PD Dr. I. Peroz für die stetige, schnelle, fachliche und persönliche Unterstützung und Beratung in den letzten Jahren. Ganz besonders ihre konstruktive und ausführliche Kritik sowie auch motivierende Worte halfen mir sehr bei der Erstellung meiner Arbeit. In meinen Dank schließe ich auch den leider verstorbenen Professor Dr. W. B. Freesmeyer ein, der mir vor Jahren dieses Studienthema überließ und immer ein offenes Ohr für mich hatte.

Ein persönliches Dankeschön geht an meine Familie, vor allem an meine Mama und meinen Ehemann, die mich in jeglicher Hinsicht unterstützt und bestärkt haben, meine Arbeit zu vollenden.