

K. Stern<sup>1</sup>, B. Kordaß<sup>2</sup>

# Comparison of the Greifswald Digital Analyzing System with the T-Scan III with respect to clinical reproducibility for displaying occlusal contacts

## Vergleich des Greifswald-Digital-Analyzing-Systems mit dem T-Scan III bezüglich der klinischen Reproduzierbarkeit zur Darstellung okklusaler Kontaktpunkte

<sup>1</sup> Dr. M. Sc., Villingen-Schwenningen

<sup>2</sup> Prof. Dr. med. dent.

Poliklinik für zahnärztliche Propädeutik  
 Abteilung für CAD/CAM- und CMD-Behandlung  
 Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde der  
 Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald

<sup>1</sup> Dr. M. Sc., Villingen-Schwenningen

<sup>2</sup> Prof. Dr. med. dent.

Healthcare Center for Dental Propedeutics  
 Department of CAD/CAM and CMD treatment,  
 Center for Dentistry, Oral and Maxillofacial Surgery,  
 Ernst-Moritz-Arndt University, Greifswald, Germany

### Zusammenfassung

Mit dem innerhalb des Beitrags vorgestellten T-Scan-III-System können Okklusionskontakte schnell und einfach digital erfasst und der genaue Kontaktzeitpunkt sowie die dabei auftretenden Kräfteverhältnisse bestimmt werden. Bei den Untersuchungen wurde über das gesamte Probandenkollektiv hinweg in 80,5 % eine Übereinstimmung der Messergebnisse des T-Scan-III-Systems mit den Vergleichsuntersuchungen des Greifswald-Digital-Analyzing-Systems festgestellt. Aus der Analyse der Messergebnisse wurde ermittelt, dass es in einem sehr hohen Maß Übereinstimmungen zwischen den Messergebnissen generell für alle Probanden im Seitenzahnbereich und für das Kollektiv mit kranio-mandibulären Dysfunktionen in der Front gab. Geringere Übereinstimmungen wurden nur im Frontzahnbereich bei funktionsgesunden Probanden erzielt (61,8%).

### Abstract

The T-Scan III system introduced in the present paper allows fast and easy digital recording of occlusal contacts, including the exact time at which the contacts occur and the resulting force distribution.

The tests achieved 80.5% conformity in the values measured with the T-Scan III system with the control results of the Greifswald Digital Analyzing System over the entire study population. An analysis of the test results determined that there is a very high degree of conformity between the values measured in the posterior region for all study subjects, and in the anterior region for the part of the study population with craniomandibular dysfunctions. Only in subjects who were healthy with respect to function did the values for the anterior region show a lower conformity (61.8%).

**Keywords:** *electronic occlusal diagnosis, GEDAS, T-Scan III*

**Indizes:** *Elektronische Okklusionsdiagnostik, GEDAS, T-Scan III*

## Introduction

The clinical representation of occlusal contacts is an integral part of the quality control of dental restorations and also serves as a diagnostic tool in the presence of suspected craniomandibular dysfunctions due to occlusopathy. In everyday dental treatment, articulating papers in various colors are most commonly used to visualize the contacts. Special wax materials or the computer-aided analysis of silicone check-bites are possible alternatives. With today's increased use of wide-stretching implant superstructures and ceramic materials, it would be useful to have a chairside measuring procedure to be able to determine and resolve unphysiological concentrations of masticatory forces and premature contacts immediately and reliably in order to minimize treatment failure due to inappropriate biomechanical stress. The T-Scan III system is available as a digital solution, a computer-aided real-time system using a foil pressure sensor to record and represent the intensity of the occlusal contact patterns, their distribution, and the pressure formation over time. The goal of the present study was to compare the reproducibility of two systems and to test whether and to what extent the occlusal contacts as represented by the Greifswald Digital Analyzing System (GEDAS) could be verified *in vivo* with the recordings of the T-Scan III system.

## The T-Scan III system

The T-Scan system was developed as early as 1984 by Tekscan (Tekscan, Boston, MA, USA). The current version, available since 2006, T-Scan III for Windows (distributed in Germany by Cumdente, Tübingen), includes the following components: the USB sensor handpiece with the sensor mount, available in a small and large size, and a 65 µm-thick, high-resolution sensor foil with an embedded conductive grid. When biting down on the sensor foil, the resulting force changes lead to a voltage drop at the tooth contacts (Fig 1). The T-Scan III software measures these voltage drops and digitalizes the analog signals.

The individual measurements are carried out as follows: at the beginning of a T-Scan III analysis, the dental arch and the individual tooth widths of each patient are calculated based on a measurement of a maxillary central incisor

## Einleitung

Die klinische Darstellung der okklusalen Kontaktpunkte ist ein wesentlicher Teil der Qualitätskontrolle zahnärztlich-rekonstruktiver Arbeiten und dient ebenso zur Diagnostik bei einem Verdacht auf craniomandibuläre Dysfunktion mit der Ursache Okklusopathie. Im zahnärztlichen Behandlungsalltag werden zur Kontaktdarstellung am häufigsten verschiedenfarbige Okklusionsfolien verwendet. Alternativ bieten sich spezielle Wachse oder computerunterstützte Auswertungen von Silikoneinbissen an. Bei den heute vermehrt eingesetzten ausgedehnten Implantatsuprakonstruktionen und Keramikmaterialien wäre es sinnvoll, unphysiologische Kraftkonzentrationen und Frühkontakte mittels eines Messverfahrens direkt am Behandlungsstuhl unmittelbar und zuverlässig zu bestimmen und gleich zu beheben, um Misserfolge durch Fehlbelastungen zu minimieren. Als digitale Lösung bietet sich das T-Scan-III-System an, ein computergestütztes Echtzeitsystem, bei dem über eine Drucksensorfolie die Stärke der okklusalen Kontaktmuster, deren Verteilung und der zeitliche Verlauf der Druckentwicklung dargestellt werden können.

Das Ziel der vorgestellten Untersuchung war es, die Reproduzierbarkeit zweier Systeme miteinander zu vergleichen und zu überprüfen ob und inwieweit die okklusalen Kontaktpunkte, die man mittels des „Greifswald-Digital-Analyzing-Systems“ (GEDAS) darstellt, mit den Aufzeichnungen des T-Scan-III-Systems *in vivo* verifiziert werden können.

## Das T-Scan-III-System

Das T-Scan-System der Firma Tekscan (Tekscan Inc. Boston, Massachusetts, USA) wurde bereits 1984 entwickelt. Die seit 2006 bestehende aktuelle Version, das T-Scan III für Windows (Vertrieb in Deutschland über Cumdente, Tübingen) besteht aus folgenden Komponenten: Dem USB-Sensorhandstück mit dem Sensorhalter in den Größen „small“ und „large“, einer hochauflösenden 65 µm dicken Sensorfolie, in welche ein Gitternetz aus Leiterbahnen eingebettet ist. Beim Aufbeißen auf diese Sensorfolie führen Kraftveränderungen an den Zahnkontakten zu Spannungsabfällen (Abb. 1). Die Software von T-Scan III misst die Spannungsabfälle und digitalisiert die analogen Signale.



Fig 1 The T-Scan III sensor handpiece with the foil inserted.

Abb. 1 T-Scan-III-Sensorhandstück mit eingelegter Folie.



Fig 2 Measuring the width of the central incisor.

Abb. 2 Abmessen der Frontzahnbreite.

18 90	17 95	16 106	15 74	14 74	13 79	12 69	11 90	21 90	22 69	23 79	24 74	25 74	26 106	27 95	28 90	Nummern System
																Zahnbreite (mm)
																Fehlt geschlossen
✓																Fehlt, offen
			✓	✓	✓											Implantat
			✓													Brücke
	✓		✓	✓	✓							✓		✓		Krone
																Abfallend
																Extra Zahn
																Stützzahn
																Abnehmbare Prothese

Fig 3 Graphic representation of the arch chart where the patient's individual tooth parameters can be entered.

Abb. 3 Darstellung der sogenannten „Gewölbetabelle“ zur individuellen Eingabe der Zahnparameter.

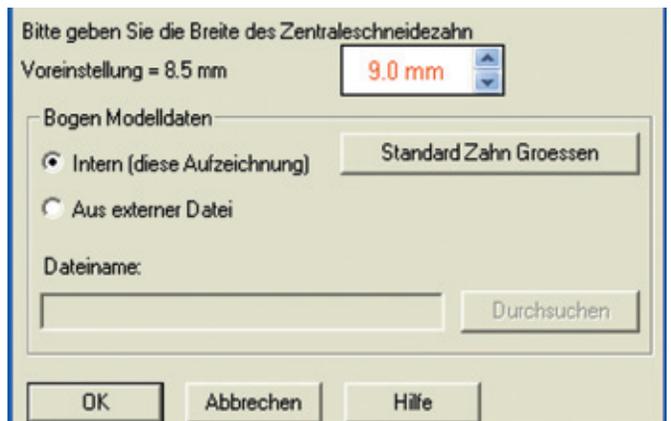


Fig 4 Entering the width of the patient's central incisor.

Abb. 4 Eingabe der individuellen Frontzahnbreite.

Die einzelnen Messungen werden wie folgt durchgeführt: Zu Beginn einer T-Scan-III-Analyse werden der Zahnbogen und die einzelnen Zahnbreiten jedes Patienten aus der gemessenen Breite eines mittleren oberen Frontzahnes errechnet (Abb. 2). Darüber hinausgehende Individualisierungen des Zahnbogens (beispielsweise fehlende Zähne) bzw. der Bezahlung selbst erfolgen durch eine Auswahl in der Eingabemaske beim Anlegen des Patienten in der Datenbank (Abb. 3 und 4).

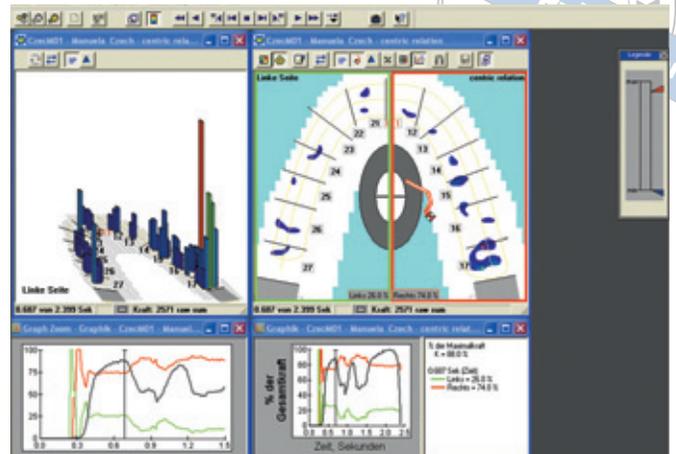
(Fig 2). When a new patient is entered into the database, additional customizations of the dental arch (eg, missing teeth) or of the dentition can be made by selecting criteria in the input mask (Figs 3 and 4).

After the correct sensor mount size has been selected, the corresponding foil is inserted into the handpiece. Then, using a guide pin that is placed between the maxillary central incisors, the sensor is positioned along the maxillary arch, parallel with the occlusal plane (Fig 5).



**Fig 5** Alignment of the handpiece for the occlusal record.

**Abb. 5** Ausrichtung des Handstücks für die Okklusionsmessung.



**Fig 6** Display of the occlusal measurements on the screen (T-Scan).

**Abb. 6** Bildschirmdarstellung (T-Scan) der Okklusionsmessung.

The system is calibrated to the individual strength of the test person's masticatory force before the measurements can be taken. The subject bites down firmly on the foil, maintains the masticatory force for 2 to 3 seconds and then slowly opens the dental arches again.

After the recording, the occlusal contacts are represented both as a two-dimensional occlusal view and as a three-dimensional bar chart with columns of varying height. In addition, the force that has been built up and maintained by the subject can be viewed and compared separately for both sides in a load-time diagram. It is possible to monitor the measurement on the screen in real time while the subject is biting down.

The dynamic video sequences can be played forwards and backwards at different speeds, and even in slow motion, for analysis. The easiest way to watch the development of force is with mouse clicks in 0.01-second increments. These sequences clearly illustrate where occlusal forces develop, in which sequence they develop, and which patterns should be classified as anomalies.

The forces occurring during occlusion and articulation are displayed on the screen in different colors. Red fields or bars, for example, show sites with high forces, blue fields/bars show sites with lower forces. The three-dimensional representation allows tracking the development of the occlusion step by step. Particular attention is given to contact areas with a sudden increase of force, which could represent typical premature contacts (Fig 6)<sup>1</sup>.

Nach der Auswahl der richtigen Sensorhaltergröße wird die passende Folie in das Handstück eingeführt. Der Sensor wird mittels eines Führungsdorns zwischen den oberen mittleren Schneidezähnen parallel zur Okklusionsebene am Oberkieferzahnbogen positioniert (Abb. 5).

Das System wird auf die jeweilige Bisstärke der Testperson kalibriert, bevor mit dem Messvorgang begonnen werden kann. Der Proband beißt fest auf die Folie, hält die Beißkraft für etwa zwei bis drei Sekunden und öffnet dann die Zahnreihen wieder langsam.

Nach der Aufnahme werden die Okklusionskontakte zweidimensional als Aufsicht auf die Zahnreihe und dreidimensional als Balkendiagramm mit Säulen unterschiedlicher Höhe dargestellt. In einem Kraft-Zeit-Diagramm kann man zusätzlich die während des Zubeißens aufgebaute und gehaltene Kraft im Seitenvergleich getrennt betrachten. Bereits während des Zusammenbeißen ist es möglich, die Messung am Bildschirm in Echtzeit mitzuverfolgen.

Zu Auswertungszwecken können die videoähnlichen dynamischen Sequenzen vorwärts und rückwärts in verschiedenen Geschwindigkeiten und sogar in Zeitlupe abgespielt werden. Am besten kann die Entwicklung per Mausklick in Sekundenschritten von 0,01 betrachtet werden. Diese Sequenzen illustrieren deutlich, wo Okklusionskräfte in welcher Reihenfolge entstehen und welche Abläufe als anomal einzustufen sind.

Die bei der Okklusion bzw. Artikulation auftretenden Kräfte werden in verschiedenen Farben auf dem Monitor dargestellt. Rote Felder bzw. Balken zeigen zum Beispiel



**Fig 7** Intraoral registration with bite registration silicone.

**Abb. 7** Intraorales Registrat mit einem Bissilikon.



**Fig 8** Scan of the bite registration (GEDAS).

**Abb. 8** Eingesanntes Bissregistrat (GEDAS).

die Stellen mit hoher Kraft, blaue Felder/Balken die mit geringerer Kraft. In der dreidimensionalen Darstellung kann die Entwicklung der Okklusion schrittweise verfolgt werden. Besondere Beachtung finden Kontaktareale mit sprunghaftem Kraftanstieg, welche die typischen Vorkontakte repräsentieren können (Abb. 6)<sup>1</sup>.

## Das Greifswald-Digital-Analyzing-System

Das GEDAS wurde bereits im Rahmen der SHIP-Studie (Study of Health in Pomerania) erfolgreich eingesetzt<sup>2,3</sup>.

Es wurde pro Proband ein Durchbissregistrat mit einem extraharten Silikon („greenbite apple“, Detax, Ettlingen) in habitueller Okklusion angefertigt (Abb. 7). Diese Registrare wurden zunächst im Durchlicht (Transparenzmodus) zur Darstellung der okklusalen Kontaktstellen, anschließend im Auflicht zur Aufnahme der Zahnkonturen gescannt. Beide Bilder wurden mit der Software (Adobe) Photoshop (V7.0 Adobe Systems, San Jose, USA) bearbeitet und übereinander gelagert. Zur Kalibrierung der Transparenzeigenschaften wurde ein Kalibrierungsobjekt mit fließend ansteigenden Schichtdicken mitgescannt. Durch das Setzen eines Schwellenwerts wurden die Schichtdicken des Registratmaterials, die  $\leq 20 \mu\text{m}$  waren, als „okklusaler Kontakt“ gewertet und den Impressionen der Zähne im Auflichtscan in korrekter Lokalisation und Ausdehnung eindeutig zugeordnet (Abb. 8).

## The Greifswald Digital Analyzing System

The GEDAS has been used successfully within the scope of the SHIP (Study of Health in Pomerania) study<sup>2,3</sup>.

For each subject, a mushbite of extra-hard silicone (greenbite apple, Detax, Ettlingen, Germany) was taken in habitual occlusion (Fig 7). These recordings were first scanned with transmitted light (transparency mode) to visualize the occlusal contacts, and subsequently with incident light to record the tooth contours. The two images were then edited and superimposed using the software Adobe Photoshop (V7.0, Adobe Systems, San Jose, USA). To calibrate the transparency characteristics of the device, a calibration object of continuously increasing material thickness was scanned. By setting a threshold, all points where the material thickness of the registration material was  $\leq 20 \mu\text{m}$  were classified as occlusal contacts and could be clearly collated to the tooth impressions in the incident light scan in the correct localization and dimension (Fig 8).

## Investigations

In August 2008, 38 randomly selected study subjects were included in the present investigation at the author's practice. All examinations and analyses were carried out by the same investigator. The age of the subjects varied between 18 and 66 years with the mean at approximately 36 years. In addition to a detailed recording of the current dental status,

any existing restorations were documented. The restorations were categorized as filled teeth, implants, crowns, or pontics. The exclusion criteria were:

- less than 12 teeth in the maxilla without an antagonist
- edentulous spaces
- removable dentures.

Subsequently, a CMD screening according to Ahlers and Jakstat<sup>4</sup> was carried out to differentiate between functionally healthy and functionally impaired subjects. The presence of three or more positive findings in the screening examination was considered as confirming CMD. The 19 subjects without and the 19 subjects with manifest functional disorders of the stomatognathic system were determined according to this classification. Myopathy was present in all subjects with CMD. In the CMD patient group, the high percentage of female subjects (89%) was notable (17 women, 2 men). For the subjects without CMD, on the other hand, the distribution was almost balanced (10 women, 9 men). In the 38 subjects, a total of 529 teeth with antagonists were counted, with 54% naturally healthy teeth, 32% filled teeth, and 14% laboratory-made fixed restorations (Fig 9).

## Results

As the authors had good experiences using the GEDAS and the results had been reproducible, it was used to evaluate the mshbite registrations as a basis for the analysis of the test results with the T-Scan III procedure.

Contacts were found in a total of 407 teeth or restorations indicating a percentage of 76.9%. This meant that 88.7% of all posterior teeth and 61.4% of all anterior teeth had contacts. When the contacts traced with the T-Scan III system (380) were analyzed and compared to the GEDAS analysis (407), a number 5% lower was found (Fig 10).

### Comparison of GEDAS results with T-Scan III results

To analyze the two test methods, the edited contact images were put side-by-side and the contact areas were counted. First, the localizations of the tooth contacts recorded with each of the two systems were compared. No distinction was made between teeth with only one contact or with several contacts, nor was the exact topography of the respective contact areas subjected to further analysis (Figs 11 and 12).

## Untersuchungen

Im August 2008 wurden in der Praxis des Autors 38 zufällig ausgewählte Testpersonen in diese Untersuchungen einbezogen. Alle Untersuchungen und Analysen wurden von ein und demselben Behandler durchgeführt. Das Alter der Probanden variierte zwischen 18 und 66 Jahren und lag im Mittel bei etwa 36 Jahren. Neben der detaillierten Aufnahme des aktuellen Zahnbefunds wurden auch vorhandene Restaurationen dokumentiert. Hier wurde unterschieden in: Zähne mit Füllungen, Implantate, Kronen oder Brückenglieder. Die Ausschlusskriterien waren:

- weniger als zwölf zueinander in Okklusion stehende Zahnpaare;
- Schatlücken;
- herausnehmbarer Zahnersatz.

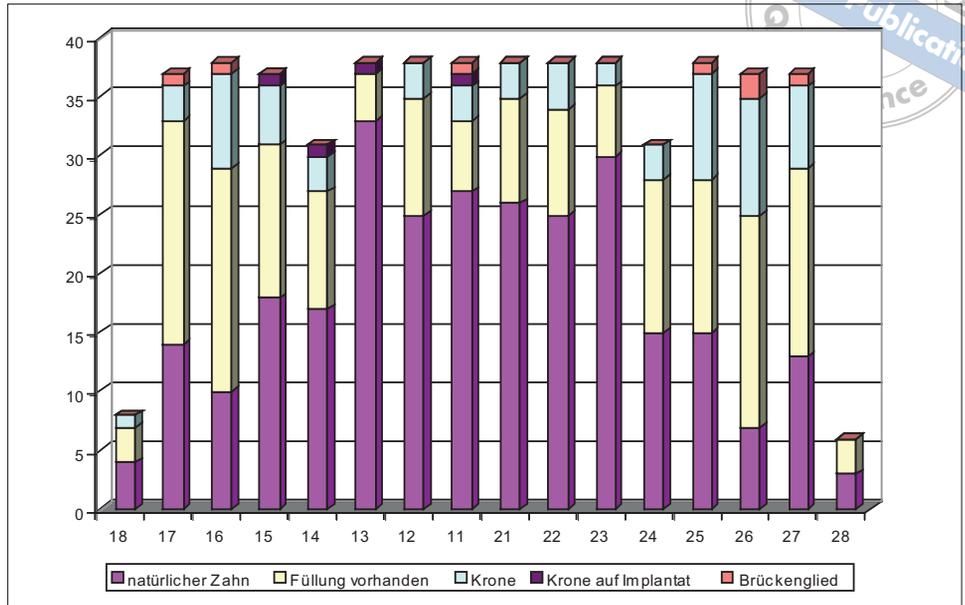
Daran anschließend erfolgte ein CMD-Screening nach Ahlers und Jakstat<sup>4</sup> zur Unterscheidung zwischen funktionsgesunden und funktionsgestörten Probanden. Bei drei oder mehr positiven Screeningbefunden gilt das Vorliegen einer CMD als gesichert. Nach dieser Klassifikation wurden 19 Probanden ohne und 19 Probanden mit manifesten Funktionsstörungen des stomatognathen Systems ermittelt. Bei allen Probanden mit CMD wurde eine Myopathie diagnostiziert. Bei den Patienten mit CMD imponierte der Anteil von weiblichen Probanden mit 89% (17 Frauen, 2 Männer). Andererseits wurde eine annähernd ausgewogene Verteilung bei den Probanden ohne CMD festgestellt (10 Frauen, 9 Männer). Insgesamt wurden bei den 38 Probanden 529 Zähne mit Antagonisten gezählt, welche sich auf 54% naturgesunde Zähne, 32% Zähne mit Füllungen und 14% auf laborgefertigte, festsitzende Restaurationen verteilen (Abb. 9).

## Ergebnisse

Aufgrund der bisherigen guten Erfahrungen und der reproduzierbaren Ergebnisse mit dem GEDAS wurde die Auswertung der Durchbissregistrare als Grundlage für die Analyse der Untersuchungsergebnisse mit dem T-Scan-III-Verfahren herangezogen.

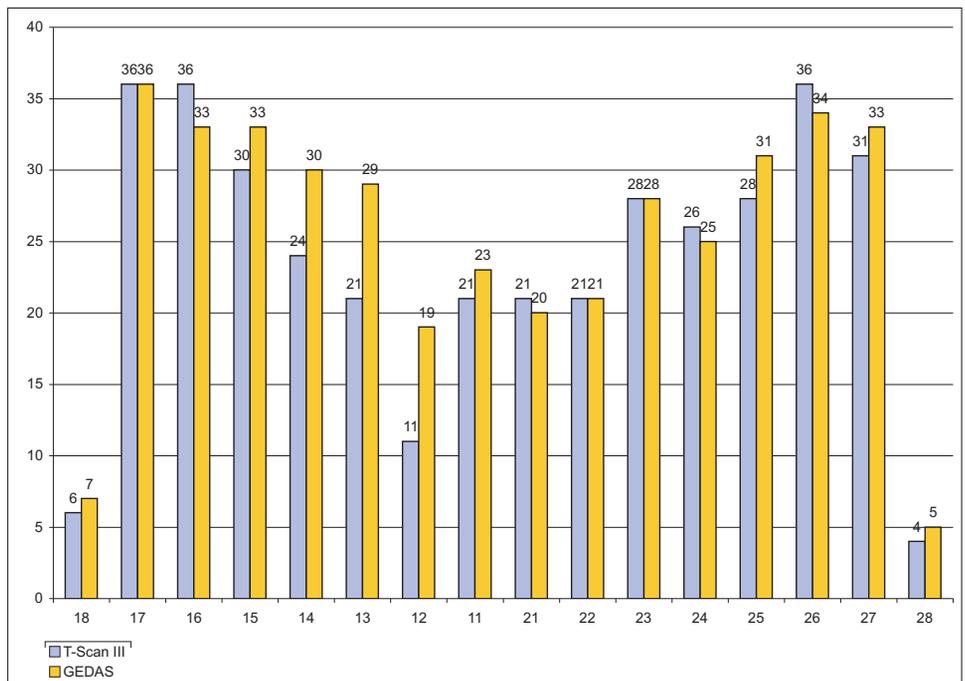
Insgesamt wurden auf 407 Zähnen bzw. Restaurationen Kontakte gezählt. Dies entspricht einem Anteil von 76,9%. Damit stehen insgesamt 88,7% aller Seitenzähne und 61,4% aller Frontzähne in Kontakt. Analysiert man die mit dem T-Scan-III-System aufgezeichneten Kontakte (380), stellt man im Vergleich zur GEDAS-Analyse (407) eine um 5% geringere Anzahl fest (Abb. 10).

**Fig 9** Exact breakdown of the restorations at each tooth number. (natürlicher Zahn – natural tooth; Füllung vorhanden – filling present; Krone – crown; Krone auf Implantat – crown in implant; Brückenglied – pontic)



**Abb. 9** Genaue Aufschlüsselung der Restaurationen je Zahnlokalisierung.

**Fig 10** Comparison of the localization of the contact points at the respective teeth determined with the GEDAS and T-Scan III.



**Abb. 10** Vergleich der Kontaktpunktlokalisationen auf den jeweiligen Zähnen unterteilt nach dem Untersuchungsverfahren T-Scan III oder GEDAS.

### Vergleich der Ergebnisse des GEDAS mit dem T-Scan III

Bei der Auswertung der beiden Untersuchungsmethoden wurden die überarbeiteten Kontaktdarstellungen nebeneinandergelegt und die Kontaktflächen ausgezählt. Zunächst wurde die Lokalisation der mit dem jeweiligen System aufgezeichneten Zahnkontakte miteinander verglichen. Es wurde dabei keine Unterscheidung getroffen,

The examination with regard to the identical contact relationships (contact identical/missing contact identical) showed a measurement conformity of 80.5% and was markedly higher in the posterior region (85.4%) than in the anterior region (74.1%) (Fig 13).

When the same criteria were analyzed separately for subjects with and without a functional disorder, the proportion of identical contacts was 5.6% higher in the population with CMD.



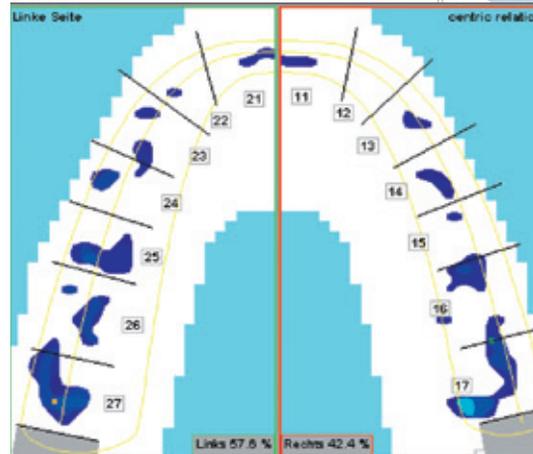
**Fig 11** Scan of the bite registration for the analysis of occlusal contacts (GEDAS).

**Abb. 11** Eingesanntes Bissregistrat zur Auswertung der Okklusionskontakte (GEDAS).

For each subject, the proportion of identical contacts that the T-Scan III had recognized in relation to the entire number of contacts found in the GEDAS system was calculated. The results were then grouped and categorized. A 90 to 100% conformity was classified as "very good," an 80 to 89% conformity as "good," a 70 to 79% conformity as "satisfactory," while less than 70% was classified as "unsatisfactory." If the consistency of contact points is seen in relation to the test persons, "very good" to "good" conformity of contact representations were achieved in 25 subjects (66%). Six subjects (16%) were categorized as "satisfactory" and seven (18%) as "unsatisfactory" (Fig 14).

In summary, the following can be said (Fig 15):

- In the group of subjects with CMD, there was a conformity of the T-Scan III contacts (111) with the contacts from the GEDAS analysis (121) in 91.7% for the posterior region. This conformity was categorized as "very good."
- In the group of subjects without CMD, there was a conformity of the T-Scan III contacts (129) with the contacts from the GEDAS analysis (147) in 87.8% for the posterior region. This conformity was categorized as "good."
- In the group of subjects with CMD, there was a conformity of the T-Scan III contacts (60) with the contacts from the GEDAS analysis (72) in 83.3% for the anterior region. This conformity was categorized as "good."



**Fig 12** Graphic representation of the maximum intercuspal position for the analysis of occlusal contacts in the T-Scan III.

**Abb. 12** T-Scan-III-Darstellung in IKP zur Auswertung der Okklusionskontakte.

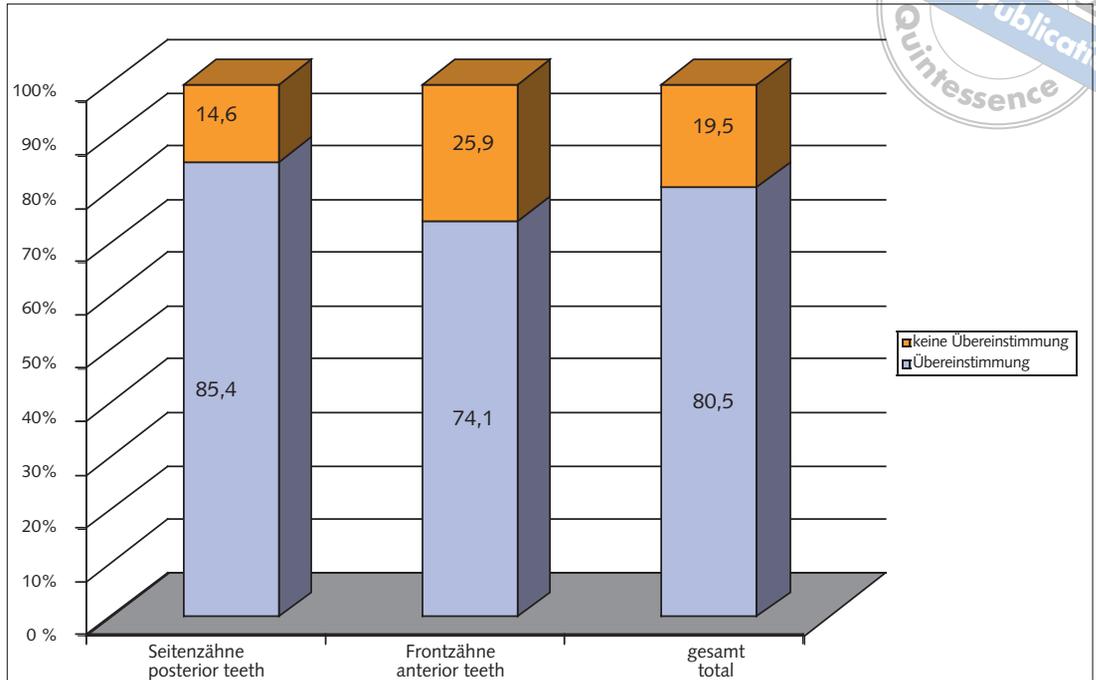
ob sich auf einem Zahn nur einer oder mehrere Kontakte befanden. Weiterhin wurde die exakte Topografie auf den jeweiligen Kontaktarealen nicht für weitergehende Analysen herangezogen (Abb. 11 und 12).

Die Überprüfung bezüglich der identischen Kontaktbeziehungen (Kontakt identisch; fehlender Kontakt identisch) ergab in 80,5 % eine Übereinstimmung, welche im Seitenzahnbereich mit 85,4 % deutlich häufiger ausfiel als im Frontzahnbereich mit 74,1 % (Abb. 13).

Bei der Unterteilung dieser Kriterien für Probanden mit und ohne Funktionsstörung konnte ein um 5,6 % höherer Anteil an Kontaktübereinstimmungen bei dem Kollektiv mit CMD gefunden werden.

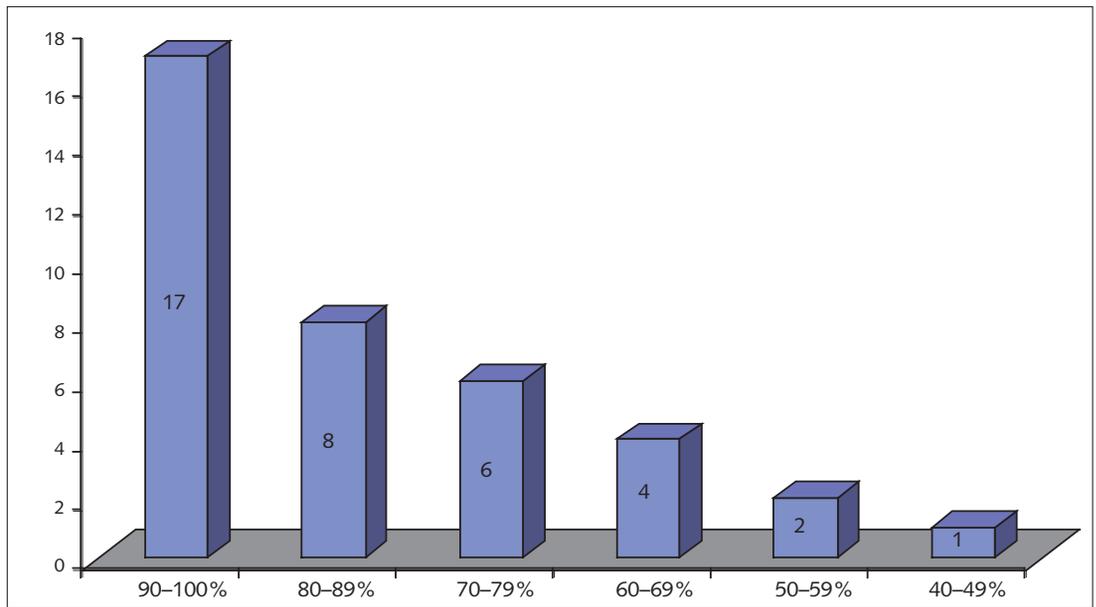
Es wurde für jeden Probanden das Verhältnis der mit dem T-Scan-III-System erkannten Kontaktpunktübereinstimmungen zu der gesamten Anzahl der mit dem GEDAS-System erkannten Kontakte gebildet. Die auf diese Weise erhaltenen Ergebnisse wurden in Gruppen zusammengefasst und bewertet. Dabei wurde eine 90 bis 100%ige Übereinstimmung mit „sehr gut“, eine 80 bis 89%ige mit „gut“, eine 70 bis 79%ige noch mit „befriedigend“ und weniger als 70%ig mit „unbefriedigend“ klassifiziert. Betrachtet man die Übereinstimmung bezogen auf die jeweiligen Personen, so erhält man „sehr gute“ bis „gute“ Übereinstimmungen der Kontaktpunktdarstellung bei insgesamt 25 (66 %) Testpersonen. Sechs Probanden (16 %) wurden als „befriedigend“ bewertet und insgesamt sieben (18 %) mit „unbefriedigend“ (Abb. 14). Zusammenfassend lässt sich Folgendes festhalten (Abb. 15):

**Fig 13** Frequency of identical contacts in the anterior and posterior region. (keine Übereinstimmung – no conformity; Übereinstimmung – conformity)



**Abb. 13** Übereinstimmungshäufigkeit der Kontakte unterteilt nach Front- und Seitenzahnbereich.

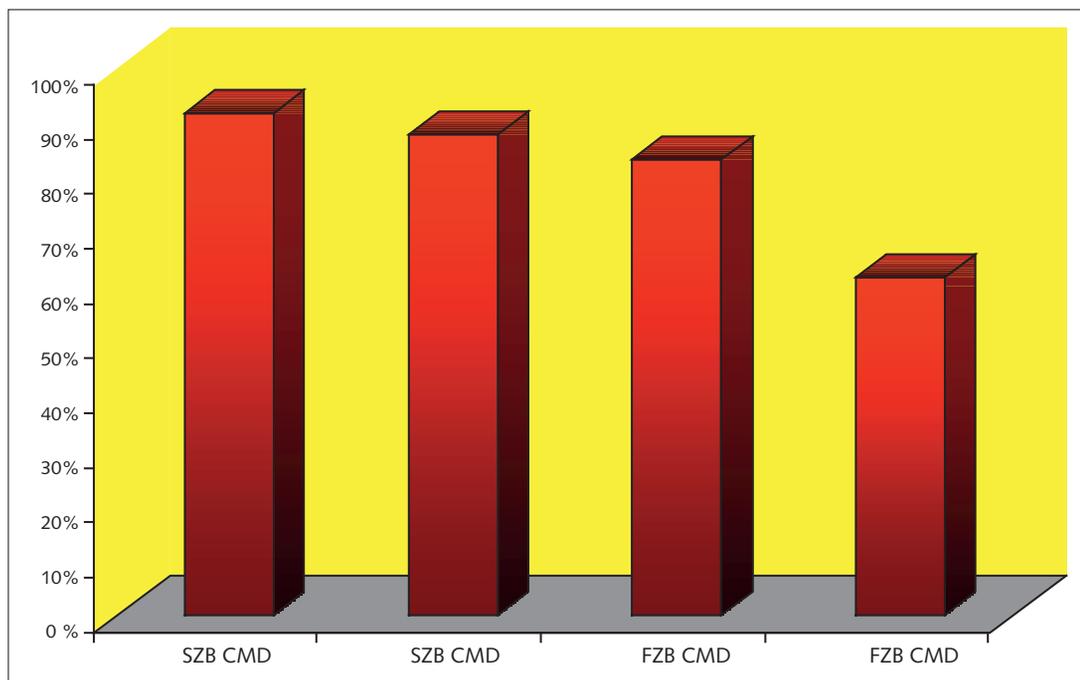
**Fig 14** Analysis of the consistency between the contact points as percentages.



**Abb. 14** Bewertung der prozentualen Kontaktpunkt-übereinstimmungen.

- Bei der Gruppe der Probanden mit CMD fand sich im Seitenzahnbereich eine Übereinstimmung der T-Scan-III-Kontakte (111) mit denen der GEDAS-Analyse (121) in 91,7 %. Diese Übereinstimmung wird mit „sehr gut“ bewertet.

- In the group of subjects without CMD, there was a conformity of the T-Scan III contacts (42) with the contacts from the GEDAS analysis (68) in 61.8% for the anterior region. This result was categorized as “unsatisfactory.”



**Fig 15** Breakdown of the consistency between the contact points as percentages in patients with CMD (CMD+) and without functional disorders (CMD-) by anterior (FZB) and posterior region (SZB).

**Abb. 15** Prozentuale Kontaktpunkt-übereinstimmung bei Patienten mit (CMD+) und ohne Funktionsstörung (CMD-) unterteilt nach Front- (FZB) und Seitenzahnbereich (SZB).

## Discussion

It must always be borne in mind that a variety of individual factors can influence the results, irrespective of the means used to visualize the occlusal contacts: the tooth mobility and changes of tooth mobility resulting from repeated mechanical stress, the load angle depending on the mandibular movement, the torsion of the mandible and thus the changes of the tooth positions of the occluding teeth, and the influence of moisture on the teeth. Each of these variables can distort the validity of a measurement<sup>5</sup>.

Prior investigations of the T-Scan system have uncovered a variety of problems. A main point of criticism was that there was indeed a lack of reproducibility of contact point measurements. The cause was then said to be found in the sensor foils that had been used at the time and that had been too thick (95 µm) and inflexible and could result in an uncontrollable displacement of the mandible in terminal occlusion<sup>6</sup>.

Maeda et al<sup>7</sup> pointed out that the standardized model of the dental arch did not always conform to the actual situation and that even small discrepancies from the model could result in considerable difficulties in localizing the exact contact position. Their measurements did not only refer to the differing results at different levels of compressive force but also to the influence of the angle of the resulting force vector. The most reproducible results were achieved when the alignment was exactly vertical. The

- Bei der Gruppe der Probanden ohne CMD fand sich im Seitenzahnbereich eine Übereinstimmung der T-Scan-III-Kontakte (129) mit denen der GEDAS-Analyse (147) in 87,8 %. Diese Übereinstimmung wird mit „gut“ bewertet.
- Bei der Gruppe der Probanden mit CMD fand sich im Frontzahnbereich eine Übereinstimmung der T-Scan-III-Kontakte (60) mit denen der GEDAS-Analyse (72) in 83,3 %. Diese Übereinstimmung wird mit „gut“ bewertet.
- Bei der Gruppe der Probanden ohne CMD fand sich im Frontzahnbereich eine Übereinstimmung der T-Scan-III-Kontakte (42) mit denen der GEDAS-Analyse (68) in nur 61,8 %. Dieses Ergebnis wird mit „unbefriedigend“ bewertet.

## Diskussion

Bei allen Möglichkeiten zur Darstellung okklusaler Kontakte darf generell nicht vergessen werden, dass verschiedene individuelle Faktoren das Ergebnis beeinflussen können: die Zahnbeweglichkeit und deren Veränderung bei einer wiederholten Belastungssituation, der Belastungswinkel in Abhängigkeit der Unterkieferbewegung, die Verwindung des Unterkiefers und somit die Stellungsveränderung der einzelnen an der Okklusion beteiligten Zähne sowie der Einfluss der Feuchtigkeit auf den Zähnen. Jede einzelne

dieser Variablen kann zu einer Verzerrung bei der Ausskraft einer Einzelmessung führen<sup>5</sup>.

Frühere Untersuchungen des T-Scan-Systems haben unterschiedliche Problematiken aufgedeckt. Ein Hauptkritikpunkt war die tatsächlich immer wieder fehlende Reproduzierbarkeit der Kontaktpunktbestimmung. Als Gründe wurden die damals zu dicken (95 µm) und unflexiblen Sensorfolien genannt, welche im Schlussbiss zu einer unkontrollierten Verschiebung des Unterkiefers führen können<sup>6</sup>.

Maeda et al.<sup>7</sup> wiesen darauf hin, dass das standardisierte Zahnbogenmodell nicht immer den tatsächlichen Verhältnissen entspreche, und man bereits bei einfachen Abweichungen davon erhebliche Schwierigkeiten im Rahmen der genauen Kontaktpunktlokalisierung bekommen könne. Ihre Messungen bezogen sich nicht nur auf die Ergebnisse bei unterschiedlichen Druckkräften, sondern auch auf den Einfluss des Winkels des auftreffenden Kraftvektors, wobei 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. Als zusätzliche Fehlerquelle verwiesen sie auf Fehlmessungen bei Verziehung der Sensorfolie. Okamoto et al.<sup>8</sup> führten die Fehlergebnisse ebenfalls auf die Diskrepanzen zwischen dem von der T-Scan-Software vorgegebenen Zahnbogenmodell und der realen Situation zurück. Dees et al.<sup>9</sup> ergänzten diese Kritikpunkte durch Ergebnisse eigener Untersuchungen. Der Schwellenwert zur Kontaktpunktmessung ist ungleichmäßig, d. h., Registrierungen in Abhängigkeit von der angewendeten Druckkraft sind unzuverlässig, eine exakte Reproduzierbarkeit der topografischen Kontaktpunktverteilung ist nicht immer gegeben. Es existieren auf der Sensorfolie aus konstruktionstechnischen Gründen sogenannte „inaktive“ Zonen, auf denen keine Messung und Aufzeichnung erfolgen kann. Auch die Unterscheidungen zwischen Vorkontakten und starken physiologischen Kontakten sind unsicher. Hierzu wird eine zusätzliche Auswertung des Zeitverlaufs im Kraft-Zeit-Diagramm benötigt. Ein weiteres Problem besteht in der identischen Positionierung der Sensorfolie, da das einzige Positionierungshilfsmittel (neben der Auflagefläche auf den gesamten Zahnbogen), der Inzisivendorn, ein Verdrehen der Folie zulässt. Dies hat eine veränderte Topografie der Impressionen innerhalb des registrierenden Areal der Folie und damit der Topografie der Kontakte zum Zahnbogen zur Folge. Eine bessere Übereinstimmung der verschiedenen Messergebnisse miteinander konnte aber nur erreicht werden, wenn der Sensor zuvor mit Silikonmaterial in einer definierten Position an der Oberkieferzahnreihe fixiert wurde.

Zwischenzeitlich wurde das T-Scan-System grundlegend

smaller the angle of contact on the foil, as can often be seen in the anterior region, the less accurate were the results. They pointed to wrong measurements due to a distortion of the sensor foil as another source of error. Okamoto et al.<sup>8</sup> also attributed the wrong results to discrepancies between the model of the dental arch provided by the T-Scan software and the real situation. Dees et al.<sup>9</sup> added to this criticism with the results of their own examinations. The threshold for contact point measurements is irregular, ie, a registration depending on the compressive force is unreliable and the reproducibility of the topographic distribution of the contact points is not always sufficiently exact. For technical reasons, there are "inactive" zones on the sensor foil where no measurement can be taken and recorded. The distinction between premature contacts and strong physiological contacts is also unreliable. It requires another analysis of the changes over time in the load-time diagram. Another problem (besides the fact that the sensor foil is placed on the occlusal surfaces of the entire dental arch) is the identical positioning of the sensor foil, since the incisal pin, which is the only positioning aid, allows the foil to get distorted. This results in a changed topography of impressions within the recording area of the foil and thus in a changed topography of the contacts in relation to the dental arch. A higher consistency of the different measurements could only be achieved when the sensor was fixed to the maxillary teeth in a predefined position with silicone.

In the meantime, both the sensor foils and the software of the T-Scan system have been reengineered, thus reducing the factors described above that could negatively affect the measurements.

In the present tests, an unsatisfactory consistency of results was only found for the anterior region in subjects without CMD (61.8%). This is probably due to the fact that the subjects with functional disorders and pronounced myopathy generally bite harder, because of their increased muscle tone, than the subjects without CMD. As it is a technical requirement of the T-Scan III system to exceed a certain force threshold to activate the measurement, it is possible that in the group of subjects without CMD the required compressive force for a measurement to be taken was not achieved. This circumstance has to be accounted for when interpreting the results and may show that the results have a limited informational value. Another explanation could be that the T-Scan III has only been assessed as a snapshot of the occlusion in maximal intercuspal position. In contrast to this, the mushbite of the GEDAS provides a summation over space and time of all the contacts that may have occurred during occlusion. Sliding

movements with shifting contact relationships between teeth are not recorded separately. This, however, means that because of this assumption, in general more occlusal contacts can be visualized with the GEDAS than with the T-Scan III.

## Practical review

The T-Scan III system introduced in the present paper allows fast and easy digital recording of occlusal contacts, including the exact time at which the contacts occur and the resulting force distribution. This allows the clinician to recognize faster and more precisely when inappropriate biomechanical stress occurs and to correct the situation in an ideal manner. The precision of the system has been confirmed within certain limits. The tests achieved 80.5% conformity of the values measured with the T-Scan III system with the control results of the GEDAS system over the entire study population. This has the following practical implications: if a patient has 14 teeth in the maxilla that have antagonists, the T-Scan III system can correctly estimate the contact situation in 11 of these. In up to 2 teeth there will be a false-negative result, and in 1 tooth a contact will be recorded that does not exist.

Based on today's knowledge, the use of the T-Scan III in combination with the traditional use of articulating paper in different colors can lead to a qualitative improvement of the treatment results. The T-Scan III allows for a more exact description of the marks of the articulating paper on the occlusal surfaces. The dentist can thus see very clearly which of the marks actually indicate that a correction is required so that unreliable subjective interpretations according to the size or color intensity of the marks are no longer needed. The dynamic recording and video display of the T-Scan software depicts at which sites the individual premature contacts and overloaded occlusal areas can be found. These can be eliminated immediately and systematically so that the teeth and the restoration materials are not subjected to an overload over a longer period of time.

im Bereich der Sensorfolien und der Software überarbeitet, sodass die beschriebenen Faktoren, welche die Messungen negativ beeinflussen können, verringert wurden.

Unzureichende Übereinstimmungen wurden bei unseren Untersuchungen nur bei Probanden ohne CMD im Frontzahnbereich (61,8 %) festgestellt. Dieser Umstand ist vermutlich auch darauf zurückzuführen, dass die Testpersonen mit Funktionsstörungen und ausgeprägter Myopathie aufgrund eines erhöhten Muskeltonus generell fester zusammengebissen haben, als diejenigen ohne CMD. Da es bei dem T-Scan-III-System technisch bedingt notwendig ist, kräftemäßig einen gewissen Schwellenwert zu überschreiten, um eine Messung auszulösen, kann es sein, dass in der Gruppe mit den Probanden ohne CMD die dafür benötigte Druckkraft im Frontzahnbereich nicht ausreichend war. Dieser Umstand muss bei der Interpretation der gewonnenen Ergebnisse bei der Bewertung im Sinne einer eingeschränkten Aussagefähigkeit berücksichtigt werden. Eine andere Erklärung begründet sich darin, dass das T-Scan III nur als Momentaufnahme der Okklusion in maximaler Interkuspitation bewertet worden ist. Im Gegensatz dazu bietet das Durchbissregistrat des GEDAS eine räumliche und zeitliche Summation aller möglichen entstandenen Kontakte während des Zusammenbisses. Abgleitbewegungen mit dabei wechselnden Zahnkontaktbeziehungen werden nicht separat erfasst. Das aber bedeutet, dass aufgrund dieser Annahme grundsätzlich mehr okklusale Kontakte mit dem GEDAS dargestellt werden können, als mit dem T-Scan III.

## Resümee für die Praxis

Mit dem innerhalb des Beitrags vorgestellten T-Scan-III-System können Okklusionskontakte schnell und einfach digital erfasst und der genaue Kontaktzeitpunkt sowie die dabei auftretenden Kräfteverhältnisse bestimmt werden. Das ermöglicht dem Behandler, schneller und präziser eventuelle Fehlbelastungen zu erkennen und optimal zu korrigieren. Die Genauigkeit des Systems wurde in Grenzen bestätigt. Innerhalb der Untersuchungen konnte über das gesamte Probandenkollektiv hinweg in 80,5 % eine gute Übereinstimmung der Messergebnisse des T-Scan-III-Systems bezogen auf die Vergleichsuntersuchungen mit dem GEDAS-System festgestellt werden. In der Praxis bedeutet das: Bei einem Patienten mit 14 Zähnen im Oberkiefer bei vorhandenen Antagonisten kann bei elf Zähnen die Kontaktsituation mit dem T-Scan-III-System korrekt eingeschätzt werden, an bis zu zwei Zähnen kommt es zu einer falsch-negativen Darstellung,

und an einem Zahn wird ein Kontakt aufgezeichnet, obwohl er nicht vorhanden ist.

Die Anwendung des T-Scan III in Kombination mit der herkömmlichen Benutzung von verschiedenfarbigen Okklusionsfolien kann aus heutiger Sicht zu einer qualitativen Optimierung der Behandlungsergebnisse führen. Das T-Scan III ermöglicht eine genauere Beschreibung der vom Artikulationspapier stammenden Markierungen auf den Okklusionsflächen. Dem Zahnarzt wird deutlich vor Augen

geführt, welche Markierungen tatsächlich einen Korrekturbedarf anzeigen, sodass sich unzuverlässige subjektive Interpretationen nach Markierungsgröße und Farbtiefe erübrigen. Die dynamischen videoähnlichen Aufnahmen der T-Scan-Software illustrieren anschaulich, an welcher Stelle sich einzelne Frühkontakte und überlastete Okklusionsareale befinden. Diese können umgehend und gezielt behoben werden, sodass Zähne und Dentalmaterialien auf Dauer nicht überlastet werden.

## References

1. Hansen P. T-Scan – Digitale Funktionsdiagnostik, Okklusions- und Artikulationsanalyse – Erfahrungsbericht. Quintessenz Team-Journal 2007;37:611-616.
2. Hützen D, Rebau M, Kordaß B. Clinical reproducibility of GEDAS – “Greifswald digital analyzing System” for displaying occlusal contact patterns. Int J Comput Dent 2006;9:137-142.
3. Hützen D, Proff P, Gedrange T et al. Occlusal contact patterns – population based data. Ann Anat 2007;189:407-411.
4. Ahlers MO, Jakstat HA. Klinische Funktionsanalyse. Hamburg: Dentaconcept, 2007:147-153.
5. 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.
6. Patyk A, Lotzmann U, Scherer C, Kobes LW. Vergleichende okklusionsanalytische Studie zur klinischen Anwendbarkeit des T-Scan Systems. ZWR 1989;98:752-755.
7. Maeda Y, Ohtani T, Okana M et al. Clinical application of T-scan System. 1: Sensitivity and reproducibility and its application. Osaka Daigaku Shigaku Zasshi 1989;34:378-384.
8. Okamoto K, Okamoto Y, Shinoda K, Tamura Y. Analysis of occlusal contacts of children by the T-Scan system. (1) The reproducibility of the sensor. Shoni Shikagaku Zasshi 1990;28:975-983.
9. Dees A, Kess K, Proff P, Schneider S. Der Einsatz des T-Scan Systems in der okklusalen Diagnostik. Deutsche Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde mit Zentralblatt 1992;80:145-151.

## Addresses/Adressen

Dr. Karsten Stern M. Sc.  
Obere Straße 19  
78050 Villingen-Schwenningen  
E-Mail: karsten.stern@t-online.de

Prof. Dr. med. dent. Bernd Kordaß  
Poliklinik für zahnärztliche Propädeutik  
Abteilung für CAD/CAM- und CMD-Behandlung  
Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde der  
Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald  
E-Mail: kordass@uni-greifswald.de