

K. Vahle-Hinz<sup>1</sup>, J. Clauss<sup>2</sup>, W.-D. Seeher<sup>3</sup>, B. Wolf<sup>4</sup>, A. Rybczynski<sup>1</sup>, M. O. Ahlers<sup>5</sup>

# Development of a wireless measuring system for bruxism integrated into occlusal splints

## Entwicklung eines drahtlosen Bruxismus-Messsystems zur Integration in Okklusionsschienen

<sup>1</sup> Zahnarzt, CMD-Centrum Hamburg-Eppendorf

<sup>2</sup> Dipl.-Ing.  
Technische Universität München  
sowie  
Sense Inside GmbH

<sup>3</sup> Dr. med. dent.  
Privatpraxis München

<sup>4</sup> Prof. Dr. med. dent.  
Technische Universität München

<sup>5</sup> Priv.-Doz. Dr. med. dent.  
CMD-Centrum Hamburg-Eppendorf  
sowie  
Poliklinik für Zahnerhaltung und Präventive Zahnheilkunde  
Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde

<sup>1</sup> Dentist, CMD-Center Hamburg-Eppendorf, Germany

<sup>2</sup> Dipl.-Ing.  
Technical University Munich, Germany  
and  
Sense Inside GmbH

<sup>3</sup> Dr. med. dent.  
Private practice, Munich, Germany

<sup>4</sup> Prof. Dr.  
Technical University Munich, Germany

<sup>5</sup> Priv.-Doz. Dr. med. dent.  
CMD-Center Hamburg-Eppendorf, Germany  
and  
Department of Restorative and Preventive Dentistry  
Center for Dental and Oral Medicine  
School of Dental Medicine  
University-Hospital Hamburg-Eppendorf, Germany

### Zusammenfassung

Mit dem SensoBite-System wurde ein neuartiges Messsystem für Bruxismusereignisse zur Integration in Okklusionsschienen vorgestellt. In der Diagnostik ermöglicht dieses, die tatsächliche Tragedauer der Schiene, als Grundlage einer Kontrolle der Compliance und zu deren Förderung, zu messen. Dabei besteht zudem die Möglichkeit, Bruxismusereignisse dem Tagesverlauf und besonderen Ereignissen zuzuordnen. Außerdem kann die Effektivität weiterer Interventionen (z. B. Physiotherapie) besser beurteilt werden. Derzeit befindet sich das Messsystem in der präklinischen und klinischen Erprobung. Im ersten Schritt wurde die Reliabilität des Messsystems anhand eines

### Abstract

The SensoBite System is a novel measuring system for bruxing events that can be integrated into occlusal splints. It is a diagnostic tool that enables clinicians to measure the actual wear time of the splint as the basis to monitor and enhance patient compliance. It also offers the opportunity to correlate bruxing events with a time of day or with particular circumstances. Furthermore, it allows better assessment of the effectiveness of further interventions (eg physiotherapy). The measuring system is currently being investigated in a preclinical and clinical setting. As a first step, the reliability of the measuring system was demonstrated with the help of a laboratory test.

A study with human subjects was conducted to verify the validity of the measuring and transmission system, in which the subjects had to carry out different loading tasks following a measuring protocol. The test results showed that the individual events could be distinguished clearly in the data and also showed the pertinent force distribution over time. Currently, a comparative clinical study is being conducted to compare the results of the SensoBite System with those of electromyograms as the gold standard. The first set of results show a high degree of consistency between the two measuring modalities.

**Keywords:** *dent\**, *occlusal splint*, *splint*, *validity*, *reliability*, *compliance*, *SensoBite*, *bruxism*, *craniomandibular dysfunction (CMD)*, *treatment*

## Introduction

In the initial treatment stages of craniomandibular dysfunction (CMD), the use of occlusal splints and other biteguards has become the accepted standard treatment<sup>1-4</sup>. The treatment goals and modalities vary according to indication and point in time<sup>5</sup>. As CMD is usually associated with, or dominated by muscular hyperactivity, the goal of the initial treatment stage is to relax the musculature. Occlusal splints and other biteguards without occlusal adjustment reach this primary treatment goal by interrupting acquired reflex arcs.

However, the organism will adapt to the change of afferent information under treatment with the biteguard or occlusal splint. With biteguards without adjusted occlusion, this can result in the setting of an unwanted arch position. These biteguards should, therefore, be worn only for a short period of time. Depending on the initial situation, a successful relaxation of the muscles can lead to an altered arch position. This can, however, only be stable if the occlusal splint is adapted to the altered position, and if it is actually worn. In splint therapy, compliance therefore plays a similar role as it does in orthodontic treatment with removable appliances.

It would be desirable to be able to measure the actual wear time of the occlusal splint objectively. From a clinician's point of view it would also be desirable to be able to measure how much the intensity of bruxing changes under treatment, so as to assess treatment success. It is technically feasible to measure the condylar position through condylar position analysis. The measurements' reproducibility and validity vary to a certain extent

Laborversuches nachgewiesen. Zum Nachweis der Validität des Mess- und Übertragungssystems wurde eine Probandenstudie durchgeführt, bei der die Teilnehmer verschiedene Testbelastungen nach Messprotokoll ausgeführt hatten. Die Messergebnisse zeigten eine deutliche Unterscheidbarkeit der einzelnen Ereignisse in den Daten, sowie den passenden Kraftverlauf. Aktuell wird eine klinische Vergleichsstudie zwischen den Messergebnissen des SensoBite-Systems und dem Elektromyogramm (EMG), als Goldstandard, durchgeführt. Die ersten Ergebnisse zeigen eine hohe Übereinstimmung zwischen den beiden Messverfahren.

**Indizes:** *Dent\**, *Okklusionsschiene*, *Schiene*, *Validität*, *Reliabilität*, *Compliance*, *SensoBite*, *Bruxismus*, *kranio-mandibuläre Dysfunktion (CMD)*, *Therapie*

## Ausgangssituation

In der Initialtherapie kranio-mandibulärer Dysfunktionen (CMD) ist die Behandlung mit Okklusionsschienen und anderen Aufbissbehelfen heute anerkannter Standard<sup>1-4</sup>. Die Therapieziele und -mittel variieren dabei je nach Indikation und Zeitpunkt<sup>5</sup>. Da CMD in der Regel mit muskulären Hyperaktivitäten einhergehen oder von diesen dominiert sind, ist das Ziel in der initialen Therapiephase daher die Detonisierung der Muskulatur. Okklusionsschienen und andere Aufbissbehelfe ohne adjustierte Okklusion erreichen dieses erste Therapieziel über die Unterbrechung gebahnter Reflexbögen.

Schon bald tritt allerdings eine Gewöhnung des Organismus an die Veränderungen der afferenten Informationen unter der Behandlung mit dem Aufbissbehelf oder der Okklusionsschiene ein. Aufbissbehelfe ohne adjustierte Okklusion können in der Folge unerwünschte Kieferpositionen einstellen, weshalb sie nur für eine kurzfristige Tragedauer zu empfehlen sind. Je nach Ausgangssituation kommt es bei erfolgreicher Detonisierung der Muskulatur zu Änderungen der Kieferposition. Diese können jedoch nur stabil sein, wenn die Okklusionsschiene an die veränderte Position angepasst wird – und wenn die Okklusionsschiene entsprechend getragen wird. Der Compliance kommt mithin bei der Schienentherapie eine ähnliche Bedeutung zu wie in der kieferorthopädischen Therapie mit herausnehmbaren Apparaturen.

Wünschenswert wäre es daher, die tatsächliche Tragedauer der Okklusionsschiene objektiv feststellen zu können.

Aus zahnärztlicher Sicht wäre es darüber hinaus für die Bewertung des Behandlungserfolges in höchstem Maße erstrebenswert messen zu können, inwieweit sich die Intensität der Bruxismusaktivität unter der Behandlung ändert. Technisch realisiert ist die Messung der Kondylenposition per Kondylenpositionsanalyse. Diese Messung ist je nach System unterschiedlich reproduzierbar und valide, kann aber nur in der Zahnarztpraxis erfolgen und stellt daher eine reine Momentaufnahme dar. Erstrebenswert wäre daher eine zusätzliche Messung der Bruxismusaktivität zwischen den zahnärztlichen Untersuchungsterminen. Typische Kriterien hierfür könnten die Intensität der Muskelanspannung sein und/oder die Frequenz und Intensität von Zahnkontakten. Hilfsweise könnte es sich dabei um Zahnkontakte auf der Okklusionsschiene handeln, sofern dabei zugleich das Trageverhalten der Okklusionsschiene abgebildet wird.

Am Heinz-Nixdorf-Lehrstuhl für Medizinische Elektronik der TU München wurde daher ein mikroelektronisches Messsystem entwickelt, das in herkömmliche Okklusionsschienen zahntechnisch integriert werden kann<sup>6</sup>. Dieses System misst die Häufigkeit und Intensität von Zahnkontakten auf der Okklusionsschiene und gibt damit sowohl Aufschluss über das Trageverhalten der Schiene als auch über Bruxismusereignisse. Damit könnte das System die zahnärztliche Diagnostik anhand der zwischen den Untersuchungsterminen erhobenen Messdaten unterstützen. Mittelweile wurde das System zur Anwendungsreife entwickelt (SenseBite, Fa. Sense Inside, München) und befindet sich nun in der präklinischen und klinischen Erprobung<sup>7</sup>. Als Ausblick auf die Möglichkeiten und Perspektiven dieser Technologie sollen die Eigenschaften des Systems nachfolgend beschrieben werden.

### Technik des Messinstrumentes

Grundlage der Messelektronik ist ein piezoelektrisches Sensorsystem. Das Sensorsystem mit der Messelektronik wird von einem Zahntechniker in die Außenseite einer Okklusionsschiene integriert. Dabei können die in der Zahntechnik üblichen Herstellungstechniken und Materialien zum Einsatz kommen (Abb. 1). Nach der Aktivierung misst der Sensor die Häufigkeit und Intensität der Zahnkontakte auf der Okklusionsschiene. Die Messung erfolgt dabei relativ zu einer einmalig vorzunehmenden Kalibrierung beim erstmaligen Einsetzen der Schiene. Ein mit dem Sensor verbundener und ebenfalls in die Okklusionsschiene integrierter Sender überträgt diese Daten

depending on the system used. However, as these measurements can be taken only in the dental office they merely represent a 'snapshot' of a given situation. It would, therefore, be desirable to acquire additional measurements of bruxing activity between appointments. The intensity of muscle tenseness and/or the frequency and intensity of tooth contacts could be used as typical criteria. Tooth contacts on the occlusal splint could be used as an alternative, if the patients' behavior with respect to wearing the occlusal splint is recorded at the same time. At the Heinz-Nixdorf-Lehrstuhl (Heinz Nixdorf Chair) for medical electronics at the Technical University Munich (TU Munich), a microelectronic measuring system has been developed, which can be included into a standard occlusal splint in the dental laboratory<sup>6</sup>. The system measures the frequency and intensity of tooth contacts with the occlusal splint and thus demonstrates how the splint has been worn, as well as illustrating bruxing events. The system could supplement the dental diagnosis with data acquired between dental examinations. The system has been developed further and can now be applied clinically (SenseBite, Sense Inside, Munich, Germany). It is currently being investigated in a preclinical and clinical setting<sup>7</sup>. The features of the system are described below and allow an evaluation of the future possibilities and perspectives of this technology.

### Measuring technology

The electronic measuring equipment is based on a piezoelectric sensor system. The sensor system with the electric measuring equipment is incorporated into the outside of the occlusal splint by a dental technician, and conventional fabrication techniques and materials in the dental laboratory can be used (Fig 1). After its activation, the sensor measures the frequency and intensity of tooth contacts on the occlusal splint. Measurements are taken relative to a calibration that is carried out once, when the splint is placed for the first time. A wireless transmitter, which is connected to the sensor and also incorporated into the occlusal splint, transmits these data to a receiving set about the size of a matchbox (Fig 2). This receiver can be placed at the bedside during the night or in the patient's pocket during the day. It stores the measured data received over several weeks or months. It is already technically feasible that the receiver can immediately give an acoustic or tactile signal (ring tone, vibration) to the person carrying the system as biofeedback whenever a bruxing event occurs.

A USB adapter is integrated into the receiver, with which the measured data can be transferred to any stan-



Fig 1 Michigan-type occlusal splint (modified according to Tanner) with integrated sensor and transmitter (prototype, image courtesy of CMD-Centre Hamburg-Eppendorf).

Abb. 1 Okklusionsschiene Typ Michigan, modifiziert nach Tanner, mit integriertem Sensor und Transmitter (Prototyp, Foto: CMD-Centrum Hamburg-Eppendorf).

dard PC. Special PC software (operating system: Microsoft Windows) has been developed, which allows the actual analysis of chewing activities with respect to their chronological sequence, intensity and frequency (Fig 3).

### ***In vitro* characterization of the system**

The system's reliability and validity were examined in an *in vitro* examination with the help of laboratory tests. Situation models of a patient were fabricated from type IV die stone and mounted in an articulator (Balance, Hager and Werken, Duisburg, Germany) in correct relation to the skull. Based on this, a stabilization splint (Tanner appliance) was fabricated<sup>8</sup>. A prototype of the sensor system including the transmitter was included in the splint in the dental laboratory (Fig 4).

A special chewing simulator was developed especially for these tests, that provided enough room inside for an articulator with the stabilization splint mounted in it (Figs 5 and 6). With the help of a pneumatic cylinder this chewing simulator can exert defined, reproducible, vertical forces on the articulator placed inside it (Fig 7). The automated control and a reference force sensor allow for an objective measurement that is independent of external influences.



Fig 2 Receiving set with hidden USB connector to a PC (image courtesy of CMD-Centre Hamburg-Eppendorf)

Abb. 2 Empfänger mit verstecktem USB-Stecker zum Anschluss an PCs (Foto: CMD-Centrum Hamburg-Eppendorf).

drahtlos an einen etwa streichholzschachtelgroßen Empfänger (Abb. 2). Dieser kann sich nachts am Schlafplatz oder tagsüber in der Hosentasche der Patienten befinden. Der Empfänger speichert die über mehrere Wochen bzw. Monate empfangenen Messdaten. Er verfügt technisch bereits über die Möglichkeit, sofort bei Bruxismusereignissen ein akustisches oder taktiles Signal (Klingelton, Vibration) an den Träger des Systems als Biofeedback zu geben.

In den Empfänger integriert ist ein USB-Adapter, über den an jedem handelsüblichen PC die Messdaten ausgelesen werden können. Hierfür wurde eine spezielle PC-Software (Betriebssystem: Microsoft Windows) entwickelt, die die eigentliche Analyse der Kauaktivitäten hinsichtlich des zeitlichen Verlaufs, der Intensität und Häufigkeit ermöglicht (Abb. 3).

### **In-vitro-Charakterisierung des Systems**

In einer ersten In-vitro-Untersuchung wurde das System in Laborversuchen auf Reliabilität und Validität untersucht.

Von einer Patientensituation wurden dafür zunächst Modelle aus Superhartgips (Typ IV-Gips) hergestellt und in einen Artikulator (Balance, Fa. Hager und Werken, Duisburg) schädelbezüglich montiert. Auf dieser Grundlage wurde eine Relaxierungsschiene nach Tanner hergestellt<sup>8</sup>. In diese wurde der Prototyp des Sensorsystems,



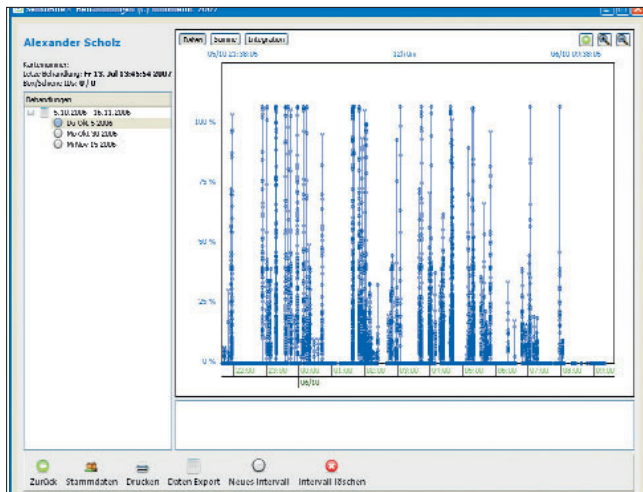


Fig 3 Software to display and evaluate the data acquired with the SensoBite System.

Abb. 3 System-Software zur Darstellung und Auswertung der SensoBite-Messdaten.



Fig 4 Semi-adjustable articulator with situation models, occlusal splint and sensor prototype, here still without the radio transmitter (image courtesy of Clauss, TU-Munich).

Abb. 4 Mittelwert-Artikulator mit Situationsmodellen, Okklusionsschiene und Prototyp des Sensors, hier noch ohne Funk-Transmitter (Foto: Clauss, TU-München).

einschließlich des Senders, zahntechnisch eingearbeitet (Abb. 4).

Eigens für die Untersuchungen wurde ein spezieller Aufbisssimulator entwickelt, dessen Innenraum ausreichend Platz bietet, um einen Artikulator mit der darin eingestellten Aufbissschiene aufzunehmen (Abb. 5 und 6). Mittels eines pneumatischen Kraftgebers kann dieser Aufbisssimulator definierte, reproduzierbare vertikale Kräfte auf den Artikulator ausüben (Abb. 7). Durch eine automatisierte Steuerung und einen Referenzkraftsensor wird dabei eine objektive, von äußeren Einflüssen unabhängige Messung ermöglicht.

### Nachweis der Reliabilität

Zur Überprüfung der Reliabilität wurde in der Folge eine definierte Kraft durch den Aufbisssimulator auf das Sensorsystem ausgeübt und das resultierende Sensorsignal gemessen. Bei der Messung wurde das System jeweils mit je  $n = 20$  Wiederholungen bei einem definierten Kraftverlauf bis maximal 50 N belastet.

Als Ergebnis der Messung des resultierenden Sensorsignalverlaufs zeigte sich, dass der Sensor genau die Kaukraftereignisse wiedergab (Sensor-Maximalwert von 0,59 V bei einer Standardabweichung von 0,008 V). Der Rohsignalverlauf des Sensors korrelierte bei rhythmischem

### Confirmation of reliability

To check the reliability, a defined force was exerted on the sensor system via the chewing simulator and the resulting sensor signal was measured. For this measurement, the system was employed with  $n = 20$  repetitions with a defined distribution of force over time and a maximum force of 50 N.

When the resulting sensor signal characteristics were measured, the results showed that the sensor reproduced the masticatory force events exactly (sensor maximum value of 0.59 V with a standard deviation of 0.008 V). For rhythmic 'clenching', the characteristics of the raw signal from the sensor correlated with a force of an approximate maximum of 30 N exerted in the chewing simulator. The transmitter signal reacted with a slight delay (250 ms) as a consequence of the packet-mode wireless data transmission. Thus, in the first step it was successfully shown that the measuring system yielded consistent, reproducible readings for identical loads. The requirement that the measuring system used must be reliable was therefore fulfilled (Fig 8).

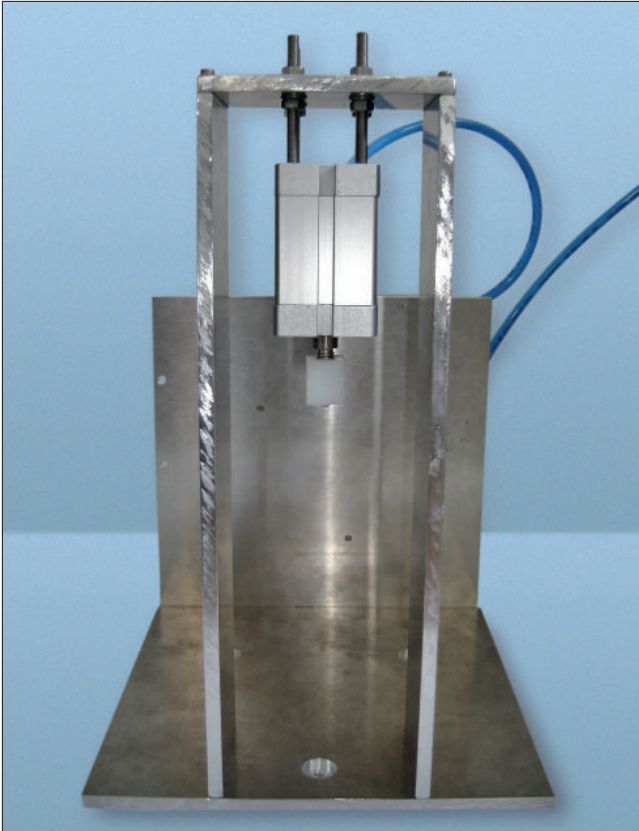


Fig 5 The motor-controlled chewing simulator provides enough room inside for an articulator with an occlusal splint mounted in it (front view, image courtesy of Clauss, TU-Munich).

Abb. 5 Aufbisssimulator mit Motorsteuerung und ausreichend großem Innenraum zur Aufnahme eines mit einer Okklusionsschiene bestückten Artikulators (Vorderansicht, Foto: Clauss, TU-München).

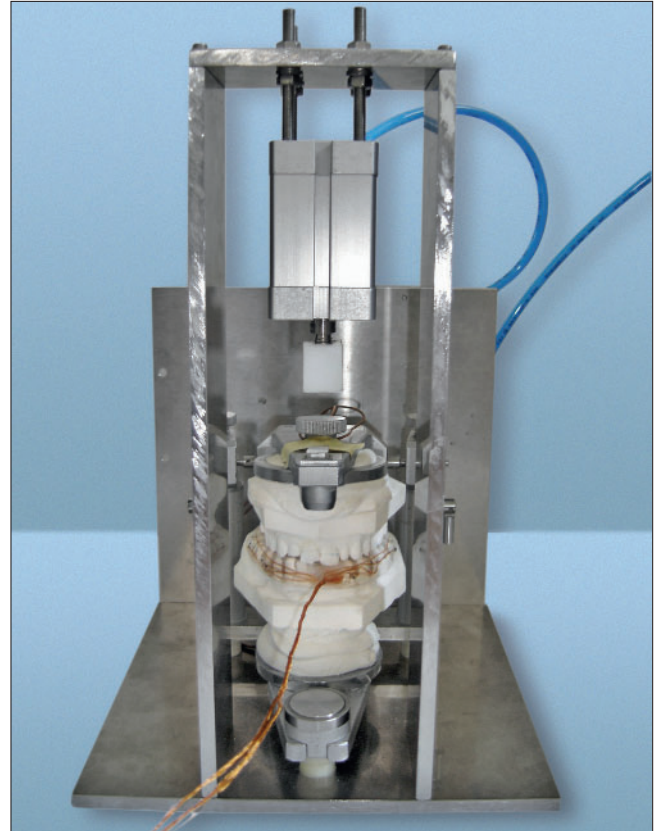


Fig 6 Chewing simulator with articulator placed, complete with occlusal splint (front view, image courtesy of Clauss, TU-Munich).

Abb. 6 Aufbisssimulator mit darin eingestelltem Artikulator mitsamt einer Okklusionsschiene (Vorderansicht, Foto: Clauss, TU-München).

### Confirmation of validity

Apart from the fact that measuring systems need to yield reproducible and reliable results, they also have to reproduce exactly the reality of a clinical setting, which means they have to deliver valid results. To prove the validity of the measuring and transmission system presented here, the actual force distribution in clinical tests would have to be reflected in the *in vitro* data.

The subjects who had been equipped with the SensoBite System were asked to actively perform a variety of chewing patterns. The subjects were asked to trigger a signal with their hand for every clenching action (Fig 9, blue graph), which was recorded simultaneously with the resulting sensor signal (Fig 9, red graph). This test also

Pressen mit einer im Aufbisssimulator ausgeübten Kraft von maximal etwa 30 N. Dabei reagierte das Sendersignal infolge der paketweisen drahtlosen Datenübertragung des Systems mit einer leichten zeitlichen Verzögerung (250 ms). Als erster Schritt konnte mithin gezeigt werden, dass das Messsystem für identische Belastungsimpulse widerspruchsfreie reproduzierbare Messergebnisse liefert; damit ist die Forderung nach Reliabilität des eingesetzten Messsystems erfüllt (Abb. 8).

### Nachweis der Validität

Jenseits der Reproduzierbarkeit und Zuverlässigkeit müssen Messsysteme im klinischen Einsatz zudem genau die Wirklichkeit abbilden, also valide Ergebnisse liefern. Zum

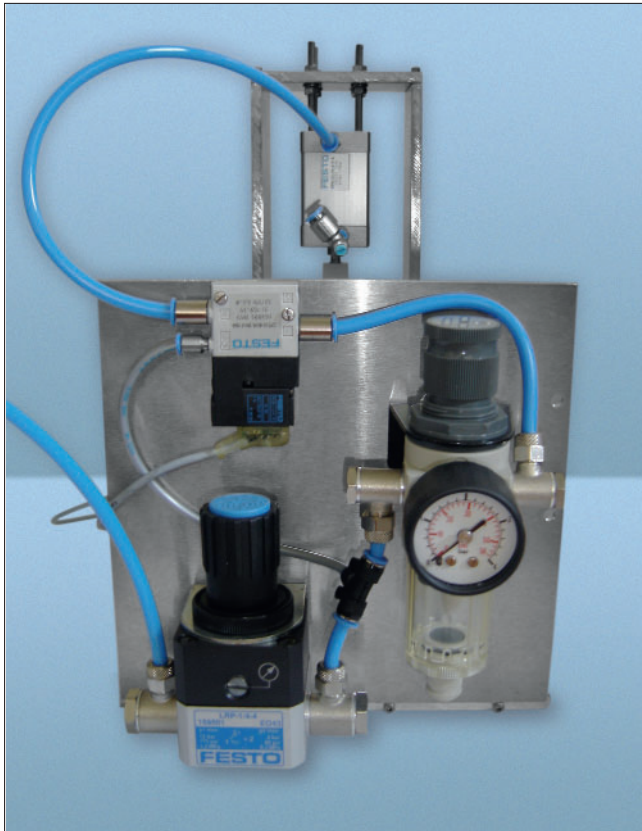


Fig 7 Chewing simulator with pneumatic cylinder to apply a defined force on the articulator placed inside it reproducibly (rear view, image courtesy of Clauss, TU-Munich).

Abb. 7 Aufbissimulator mit pneumatischem Kraftgeber zur Applikation definierter reproduzierbarer Kraftverläufe auf den hierin eingestellten Artikulator (Rückansicht, Foto: Clauss, TU-München).

Nachweis der Validität des hier vorgestellten Mess- und Übertragungssystems müsste dafür in klinischen Versuchen der tatsächliche Kraftverlauf seinen Niederschlag in den Messdaten finden.

Probanden, die man mit dem SensoBite-System ausgestattet hatte, wurden gebeten, aktiv verschiedene Beißmuster durchzuführen und dabei bei jedem Pressvorgang mit der Hand ein Signal auszulösen (Abb. 9, blaue Kurve), das parallel zum resultierenden Sensorsignal (Abb. 9, rote Kurve) aufgezeichnet wurde. Auch hierbei zeigte sich, dass die vom Probanden aktiv ausgeübte Druckveränderung mit der Reaktion des Sensorsignals korrelierte.

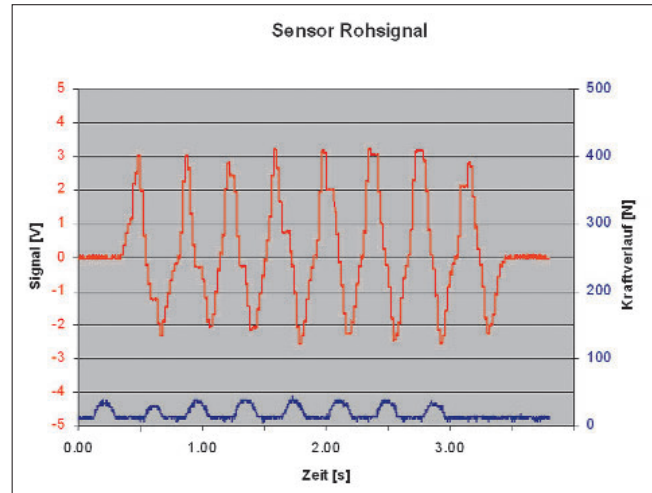


Fig 8 Raw signal for rhythmic clenching *in vitro* from the sensor (red curve) with a biting force exerted in the chewing simulator of approximately 30 N (blue curve). The slight temporal delay (250 ms) of the sensor signal can be explained by the packet-mode wireless data transfer the system uses.

Abb. 8 Rohsignal des Sensors für rhythmisches Pressen *in vitro* (rote Kurve) bei einer im Aufbissimulator ausgeübten Aufbisskraft von ca. 30 N (blaue Kurve); die leichte zeitliche Verzögerung (250 ms) des Sensorsignals erklärt sich aus der paketweisen drahtlosen Datenübertragung des Systems.

showed that the pressure change that was actively produced by the subjects correlated with the reaction of the sensor signal.

### Proof of clinical applicability

Initial tests with patients to clinically evaluate the system took place at a very early stage in a specialized dental office in Munich, Germany<sup>9</sup>.

Further tests in cooperation with the CMD-Center Hamburg-Eppendorf and the Hamburg-Eppendorf University Hospital, Department for Systematic Neuroscience, aimed to verify the correlation between the activity of the masticatory muscles in chewing actions and the recorded sensor signal. A comparative study using an electromy-



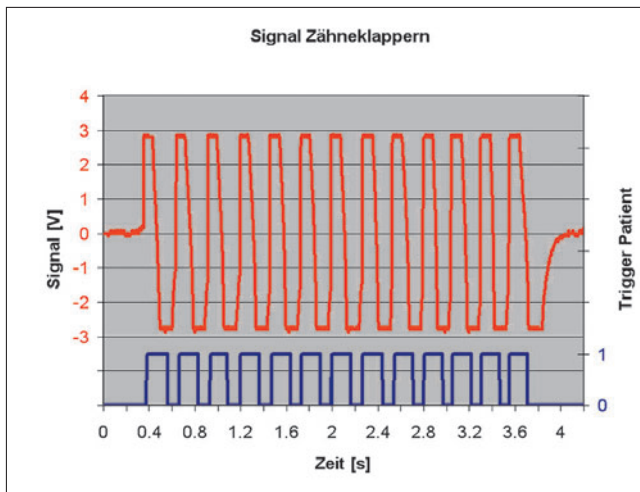


Fig 9 Raw signal for rhythmic clenching *in vivo* from the sensor (red curve) and the signal triggered manually by the subject for every clenching activity (blue curve).

Abb. 9 Rohsignal des Sensors für rhythmisches Pressen *in vivo* (rote Kurve) und das vom Probanden bei jedem Pressvorgang mit der Hand getriggerte Signal (blaue Kurve).

gram (EMG) with 20 randomly chosen voluntary subjects (aged 20 to 55 years) is still ongoing. The study is rather elaborate in that, first of all, situation models had to be fabricated from type-IV die stone with the help of precise impressions for each subject. The casts then had to be mounted in an articulator (Artex, AmannGirrbach, Koblach, Austria) in correct relation to the skull with the help of a facebow. The mandibular cast was mounted in habitual occlusion. Based on this, a stabilization splint (Tanner appliance) was fabricated for each subject. The SensoBite System was incorporated into all splints in the dental laboratory by the dental technicians of the CMD-Center Hamburg-Eppendorf, who had received special training.

As part of the clinical test, an EMG was recorded from all subjects to measure the muscle activity at both masseter muscles after the splints had been placed. Subsequently the results were read out using an analog-to-digital converter and special computer software. Measurements were taken with the occlusal splint with integrated sensor placed in the subjects' mouths and the subjects were asked to perform different chewing movements (eg clenching, grinding, chattering). The EMG signals and the SensoBite signals were recorded separately and subsequently compared in their chronological sequence. In addition, possible interferences such as swallowing or speaking were reproduced. The preliminary results of the study show that the activity of the masticatory muscles and the signals from the sensors integrated into the occlusal splints seem to correlate very well (Fig 10).

### Nachweise der klinischen Eignung

Erste Patiententests zur klinischen Evaluation des Systems fanden bereits frühzeitig in einer spezialisierten Zahnarztpraxis in München statt<sup>9</sup>.

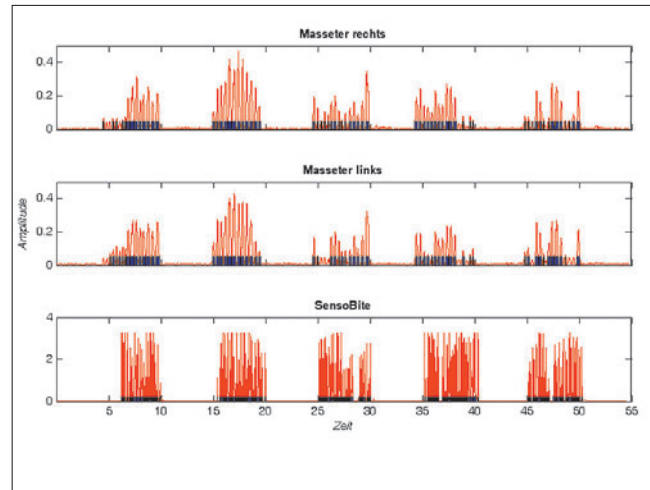
Die weitere Erprobung in Zusammenarbeit mit dem CMD-Centrum Hamburg-Eppendorf und dem Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf/Institut für Systematische Neurowissenschaften zielt nun darauf ab, die Korrelation zwischen der muskulären Beißaktivität der Mundschließer und dem aufgezeichneten Sensorsignal zu überprüfen. Derzeit läuft dafür eine elektromyographische Vergleichstudie mit 20 randomisiert ausgewählten freiwilligen Probanden (Alter: 20 bis 55 Jahre). Die Studie ist insofern aufwändig, weil zunächst für alle Probanden mittels Präzisionsabformungen Situationsmodelle aus Superhartgips/Typ-IV hergestellt und per Gesichtsbogen im Artikulator (Artex, Fa. AmannGirrbach, Koblach, Österreich) schädelbezüglich montiert werden mussten; das Unterkiefermodell wurde dafür in habitueller Okklusion montiert. Auf dieser Grundlage wurde für jeden Probanden eine Relaxierungsschiene nach Tanner hergestellt. In alle Schienen wurde das SensoBite-System zahntechnisch von den speziell geschulten Zahntechnikern des CMD-Centrums Hamburg-Eppendorf integriert.

Nach der Eingliederung wurde im klinischen Versuch bei allen Probanden zur Messung der Muskelaktivität ein Elektromyogramm (EMG) an beiden Mm. masseterici abgeleitet und mit Hilfe eines Analog-Digital-Wandlers und spezieller PC-Software eingelesen. Bei der Messung mit der Okklusionsschiene und dem eingebauten Sensor im Mund der Probanden wurden diese aufgefordert, ver-



Fig 10 Comparison between the electromyogram signal (RMS = root mean square) and the SensoBite signal: five times grinding of 5 s followed by a 5 s pause (red curves). The assessment was done using a threshold to detect bruxing events (blue markers).

Abb. 10 Vergleich zwischen dem EMG-Signal (RMS = quadratische Mittelung) und dem SensoBite-Signal: 5-mal je ein 5-sekündiges Knirschen, gefolgt von einer 5-sekündigen Pause (rote Kurven). Die Auswertung wurde dabei mit einer Schwellwertdetektion für Bruxismusevents versehen (blaue Marker).



schiedene Kaubewegungen durchzuführen (z. B. Knirschen, Pressen, Klappern usw.). Dabei wurden die EMG-Signale sowie die SensoBite-Signale zunächst getrennt aufgezeichnet und anschließend zeitlich gegenübergestellt. Zudem wurden mögliche störende Ereignisse wie z. B. Schlucken oder Sprechen nachgestellt. Die vorläufigen Ergebnisse der Studie zeigten, dass die Aktivitäten der mundschießenden Kaumuskeln und die Signale der in die Okklusionsschiene integrierten Sensoren gut korrelierten (Abb. 10).

### Möglichkeiten und Einschränkungen

Nach dem aktuellen Entwicklungsstand liefert das SensoBite-System für Beißen, Knirschen und rhythmisches Pressen offenbar eine valide Aussage bezüglich der im Aufbissimulator oder vom Patienten ausgeübten Reize. Lediglich bei langen Pressvorgängen kann – prinzipbedingt – der statische Vorgang des Haltens nur undeutlich erfasst werden; Anfang und Ende des Pressvorganges sind jedoch identifizierbar.

Dank einer individuell einstellbaren Schwelle für das Biofeedback kann das System zwischen Schlucken, Zungenbewegungen und einem echten Press- oder Knirschvorgang unterscheiden<sup>7</sup>.

### Perspektiven

Mit dem System ist eine für den Patienten komfortable Aufzeichnung von Langzeitdaten über mehrere Monate möglich. Diese objektiven Befunde könnten dabei helfen, den Press- und Knirschvorgang zu verifizieren und-

### Possibilities and limitations

The current state of development suggests that the SensoBite System yields valid information about the stimuli, triggered through the chewing simulator or by the patients for chewing, grinding, and rhythmic clenching. However, for longer clenching events, the fact that the patient holds the position can be recorded only indistinctly, which is due to the functional principle of the system. The beginning and end of the clenching event can, however, be identified.

As the threshold for the biofeedback allows individual adjustments, the system is able to distinguish between swallowing, tongue movements and real bruxing events<sup>7</sup>.

### Perspectives

The system allows long-term data to be recorded (over several months) in a way that is convenient for the patient. These objective findings can help to personalize functional treatment and to obtain objective information about the patients' habits of wearing the splint, and if the splint is not being worn, to try and improve these habits through the implicit monitoring. This is important, as according to a current study, only half of the patients treated with a stabilization splint wore their splint at all, and only one third wore it regularly<sup>10</sup>. On the other hand, a different study showed that the effect of the splint therapy on pain reduction depended to a great extent on how the occlusal splint had been worn<sup>11</sup>.

Better compliance (ie if the patients wore their splints more consistently) might be a way to improve the effec-

tiveness of splint therapy<sup>12</sup>. If the clinical situation improves or changes for the worse it would be possible to assess if wearing or not wearing the occlusal splint was relevant for this change, by examining the data and comparing it with the clinical development.

If an occlusal splint that was equipped in this way is worn by the patient (which can now be verified), the new system also allows the determination of which situations in life the patient suffers from bruxism, much the same as with a 24 h electroencephalogram (EEG).

The possibility of giving direct biofeedback also provides new opportunities for the treatment of bruxing patients. If the patients became aware of the situations in which they are under mental strain, the clinician may be able to influence the patients' bruxism through behavior therapy. This would thus pose an opportunity for clinicians to treat patients with craniomandibular dysfunctions based on objective data obtained from the wireless measuring system.

durch Kontrollierbarkeit das Trageverhalten der Okklusionsschiene durch den Patienten zu objektivieren, wenn nicht gar durch die implizite Kontrolle das Trageverhalten zu verbessern. Dies ist insofern wichtig, als nach einer aktuellen Studie nur etwa die Hälfte der mit einer Stabilisierungsschiene behandelten Patienten diese trug, nur ein Drittel trug die Schiene regelmäßig<sup>10</sup>. Andererseits zeigte eine andere Studie, dass offenbar der Effekt der Schienentherapie in Bezug auf die Schmerzreduktion entscheidend vom Tragen der Okklusionsschiene abhing<sup>11</sup>.

Mit besserer Compliance, also konsequentem Tragen der Schiene, könnte sich mithin vermutlich die Wirksamkeit der Schienentherapie erhöhen lassen<sup>12</sup>. Kommt es zu einer Verbesserung oder Verschlechterung der klinischen Situation, so lässt sich durch Auslesen der Daten und deren Abgleich mit dem klinischen Verlauf prüfen, ob das Tragen oder Nichttragen der Okklusionsschiene für die Veränderung relevant war.

Sofern die solchermaßen ausgerüstete Okklusionsschiene (nunmehr nachweisbar) getragen wird, ermöglicht das neue System zudem die Feststellung, in welchen Lebenssituationen der Patient unter Bruxismus leidet, vergleichbar einem 24h-Elektroenzephalogramm (EEG).

Die Möglichkeit eines direkten Biofeedbacks eröffnet außerdem neue Chancen für die Therapie von Bruxismus. Durch diese Bewusstmachung auftretender Anspannungssituationen könnte der Patient durch den Zahnarzt verhaltenstherapeutisch beeinflusst werden. Hiermit würde die Chance eröffnet, dass der Zahnarzt aufgrund objektiver, von ihm durch Auslesen des Transmitters zu erhebender Daten, Bruxismus als Ursache von CMD-Beschwerden erkennen und behandeln kann.

## References

1. Ahlers MO, Freesmeyer WB, Fussnegger M et al. Zur Therapie der funktionellen Erkrankungen des kranio-mandibulären Systems (Gemeinsame Stellungnahme der DGZMK, der Deutschen Gesellschaft für Funktionsdiagnostik und Therapie [DGFDT], der Deutschen Gesellschaft für Zahnärztliche Prothetik und Werkstoffkunde [DGZPW], der Deutschen Gesellschaft für Kieferorthopädie [DGKFO] und der Deutschen Gesellschaft für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie [DGMKG]). *Dtsch Zahnärztl Z* 2005;60: 539-542.
2. Freesmeyer WB. Zahnärztliche Funktionstherapie. München: Hanser, 1993.
3. Freesmeyer WB. Aufbißbehelfe. In: Koeck B (ed). Funktionsstörungen des Kauorgans. München: Urban & Schwarzenberg, 1995:215-241.
4. Freesmeyer WB, Koeck B, Reiber T. Zur Therapie der funktionellen Erkrankungen des Kauorgans. DGZMK, 2000.
5. Tanaka E, Kikuchi K, Sasaki A, Tanne K. An adult case of TMJ osteoarthritis treated with splint therapy and the subsequent orthodontic occlusal reconstruction: Adaptive change of the condyle during the treatment. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2000;118:566-571.
6. Clauss JF, Scholz A, Gruber H-G, Probst A, Wolf B. Telemetric diagnosis system for bruxism and sleep diseases. The 3rd European Medical and Biological Engineering Conference (EMBE'05). Prague: IFMBE Proceedings, 2005.
7. Clauss JF, Gruber H-G, Scholz A, Wolf B, Seeher W-D. Evaluation eines Diagnostiksystems zur drahtlosen Messung von Bissaktivitäten bei Bruxismus. BMT 2007 – 41 Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Biomedizinische

Technik im VDE – Proceedings. Aachen: Biomedizinische Technik, 2007.

8. Lotzmann U. Okklusionsschienen und andere Aufbiß-behelfe. 4. Auflage, München: Neuer Merkur, 1998;183ff.
9. Seeher W-D, Clauss JF, Gruber H-G, Scholz A. Evaluation eines Diagnostiksystems zur drahtlosen Messung von Bis-saktivitäten bei Bruxismus. DGFD 2006 – 39 Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Funktionsdiagnostik und Therapie. Bad Homburg: Deutsche Gesellschaft für Funktionsdiagnostik und -therapie (DGFD), 2006.
10. Wassell RW, Adams N, Kelly PJ. The treatment of temporomandibular disorders with stabilizing splints in general dental practice: one-year follow-up. J Am Dent Assoc 2006;137:1089-1098; quiz 1168-1089.
11. Wig AD, Aaron LA, Turner JA, Huggins KH, Truelove E. Short-term clinical outcomes and patient compliance with temporomandibular disorder treatment recommendations. J Orofac Pain 2004;18:203-213.
12. Kull RS, Leary NR. A new survey instrument: a sample of a typical TMD practice. Cranio 1999;17:164-175.

## Addresses/Adressen

Kai Vahle-Hinz  
 CMD-Centrum Hamburg-Eppendorf  
 Falkenried 88 (CiM, Haus C), D-20251 Hamburg  
 www.CMD-Centrum.de,  
 E-Mail: Kai.Vahle-Hinz@CMD-Centrum.de

Dipl.-Ing. Johannes Clauss  
 Technische Universität München  
 Heinz-Nixdorf-Lehrstuhl für Medizinische Elektronik  
 sowie  
 Sense Inside GmbH, Karlstraße 96, 80335 München

Dr. Wolf-Dieter Seeher  
 Zahnarzt  
 Südliche Auffahrtsallee 64, 80639 München

Prof. Dr. Bernhard Wolf  
 Technische Universität München  
 Heinz-Nixdorf-Lehrstuhl für Medizinische Elektronik

Arthur Rybczynski  
 CMD-Centrum Hamburg-Eppendorf  
 Falkenried 88 (CiM, Haus C), 20251 Hamburg

Priv.-Doz. Dr. M. Oliver Ahlers  
 CMD-Centrum Hamburg-Eppendorf  
 Falkenried 88 (CiM, Haus C), 20251 Hamburg  
 sowie  
 Poliklinik für Zahnerhaltung und Präventive Zahnheilkunde  
 Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde  
 Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf (UKE)  
 Martinstraße 52, 20251 Hamburg

## Bekanntgabe eines Interessenkonfliktes

Der Zweitautor (Clauss) vertritt auch den Hersteller des Systems (Sense Inside GmbH). Das Unternehmen hat die Kosten für die Studien getragen. Honorare sind nicht bezahlt worden.

## Conflict of interest disclosure

The secondary author (Clauss) is a representative of the manufacturer of the system (Sense Inside GmbH). The company has born the costs of the studies. No remuneration has been paid.