

K. Tokmakidis<sup>1</sup>, B. Wessing<sup>2</sup>, K. Papoulia<sup>3</sup>, H. Spiekermann<sup>1</sup>

# Belastungsverteilung und Belastungskonzepte auf Zähnen und Implantaten

Der Taktilitätsmechanismus sowie die funktionelle Regulation der Kieferbewegungen laufen beim Einsatz von enossalen Implantaten anders und ungenauer ab als bei der natürlichen Bezahnung. In der vorliegenden Literaturübersicht werden Zusammenhänge zwischen der Kaukraft und der Verankerungsart des Zahnersatzes herausgearbeitet. Dazu wurden 22 englisch- und deutschsprachige Veröffentlichungen ausgewertet. Bei implantatgestützten, schleimhautgetragenen Prothesen kommt es gegenüber konventionellen Totalprothesen zu einer Verdreifachung der Kaukraft, bei Einzelzahnrestorationen liegt der Vergrößerungsfaktor im Vergleich zur natürlichen Bezahnung sogar bei neun. Dies kann zu einer vorzeitigen Ermüdung der eingesetzten Materialien und Überbelastung der Pfeilerimplantate führen. Diesem Phänomen kann man einerseits werkstofflich durch den Einsatz anderer Werkstoffe, andererseits biologisch durch den Einbau natürlicher Zähne als taktile Elemente entgegenwirken. Die Art der Verblockung von Zähnen und Implantaten erfordert in der Hinsicht auf eine gute Langzeitprognose besonderes Augenmerk.

*Schlüsselwörter: Zahnimplantatgetragen, Kaubelastung, Verbundbrücke, Überbelastung, Kaukraft, Taktilität*

## Load distribution and loading concepts on teeth and implants

Tactile sensitivity and the function regulation of jaw movements with partially or completely implant-based restorations are very different and imprecise compared with the natural dentition. This systematic review shows certain correlations between the bite force and how the dentures are anchored. Twenty-two English and German publications were analyzed. The loads are three times higher on removable implant-borne prostheses and nine times higher on fixed single-tooth implant-borne restorations than on the natural dentition. This can lead to premature fatigue of the materials used, as well as to overloading of the implant abutments. This phenomenon can be reduced with the use of rigid materials (metal framework and porcelain veneering); splinting implants with natural teeth can also provide afferent feedback and thus prevent functional overloading. In regard to a satisfactory long-term prognosis, the type of splinting requires special attention.

*Keywords: Dental implant-supported, dental implant splinting, bite load, bite force, overload, tactility*

<sup>1</sup> Zahnhaus, Talstr. 8, 6020 Emmenbrücke - Luzern, Schweiz

<sup>2</sup> Praxisklinik für Zahnheilkunde am Luisenhospital Aachen, Boxgraben 99, 52064 Aachen

<sup>3</sup> IVORY & IVORY, Krijtwal 15, 3432 ZT Nieuwegein, Niederlande

<sup>4</sup> Zahnärztliches Praxiszentrum, Schumacherstr. 14, 52062 Aachen

<sup>1</sup> Zahnhaus, Talstr. 8, 6020 Emmenbrücke - Luzern, Switzerland

<sup>2</sup> Praxisklinik für Zahnheilkunde am Luisenhospital Aachen, Boxgraben 99, 52064 Aachen

<sup>3</sup> IVORY & IVORY, Krijtwal 15, 3432 ZT Nieuwegein, Netherlands

<sup>4</sup> Zahnärztliches Praxiszentrum, Schumacherstr. 14, 52062 Aachen  
Übersetzung: LinguaDent

## 1 Einleitung

Die langfristig erfolgreiche Integration einer implantat-prothetischen Restauration in das stomatognathe System hängt u. a. von der bestmöglichen Verteilung der Belastung auf die tragenden Gewebe ab. Aufgrund des unterschiedlichen Verankerungsmechanismus von Zähnen (desmodontale Aufhängung) und Implantaten (Osseointegration) ist die Wahrnehmung und Steuerung der Belastung grundsätzlich verschieden [7, 17, 19, 30, 33].

Die ausgeübte Belastung beim Mastikationsvorgang wird stark von der mandibulären Kinästhesie und den neurophysikalischen Vorgängen beeinflusst [1, 3, 5, 7]. Die Bedeutung parodontaler Rezeptoren wird dabei extrem unterschiedlich beurteilt.

Es wird vermutet, dass rein implantatgetragene Ganzkieferrehabilitationen wesentlich höheren Belastungen ausgesetzt sind als ähnliche Konstruktionen auf natürlichen Zähnen. Dies lässt auf eine Korrelation zwischen den aufgewandten Kaukräften und der Tatsache schließen, dass natürliche Zähne (Parodontien) einbezogen wurden.

Im Zusammenhang mit umfangreichen implantatprothetischen Versorgungen beider Kiefer in der Klinik für Zahnärztliche Prothetik und Werkstoffkunde des Universitätsklinikums der RWTH-Aachen wurden Unterschiede zu Versorgungen festgestellt, bei denen entweder ein Kiefer hauptsächlich parodontal getragen versorgt, oder zumindest innerhalb der Versorgung natürliche Zähne vorhanden waren. Bei rein Implantat-getragenen Versorgungen beider Kiefer kam es vermehrt zu Materialermüdungen jeglicher Art (Keramikabplatzungen, überdurchschnittlich starke Abrasion bei Kunststoffzähnen).

Das Ziel dieser Übersichtsarbeit war es, durch eine Auswertung der zu diesem Thema vorhandenen Literatur herauszufinden, ob die taktile Sensibilität von osseointegrierten Implantaten deutlich geringer ist als die von natürlichen Zähnen. Weiterhin soll eine Empfehlung erarbeitet werden, ob es aus oben genannten Gründen sinnvoll ist, natürliche Zähne als taktile Elemente in implantatprothetische Versorgungen mit einzubeziehen.

Die Literatursuche wurde mit Ovid-Medline und PubMed durchgeführt. Das Datum der letzten Recherche war der 12.01.2007. In die Auswertung wurden englisch- und deutschsprachige Veröffentlichungen einbezogen, welche über die unten genannten Suchwörter gefunden wurden. Gelesen wurden nur Zeitschriften, die zumindest ein Gutachterverfahren als Annahmekriterium besitzen.

### Suchwörter:

Biomechanical considerations, tooth-supported, implant-supported, mechanoperception, tactile sensibility, tactile sensitivity, finite element analysis, masticatory forces, implant loads, bite loads, chewing forces, occlusal force, bite force, occlusal perception, biomechanische Betrachtungen, zahngestützt, implantat-gestützt, Mechanoperzeption, Tastempfindlichkeit, Tastsensibilität, Finite-Element Analyse, Kaukraft, Kaukraftmessung, Implantatbelastung, Okklusalkraft, Beißkraft.

## 2 Grundlagen

Zahnwurzel und Alveolarknochen werden durch das Lig. parodontale (PDL) syndesmatisch verbunden. Über den Nucleus mesencephalicus ist das PDL propriozeptiv mit dem sensorischen

## 1 Introduction

Successful long-term integration of an implant-borne restoration in the stomatognathic system depends in part on optimal load distribution on the bearing tissue. Because of the different anchorage mechanisms of teeth (desmodontal suspension) and implants (osseointegration) there is a fundamental difference in the perception and control of the loading [7, 17, 19, 30, 33].

The masticatory bite forces are greatly influenced by mandibular kinaesthesia and neurophysical processes [1, 3, 5, 7]. Evaluations of the significance of periodontal receptors differ greatly.

Purely implant-retained prostheses are expected to show much higher loads than similar constructions on natural teeth. This suggests a correlation between the bite force employed and the fact that natural teeth (periodontal ligaments) were involved.

In association with extensive implant-retained restorations of both jaws carried out in the Department of Prosthodontics and Biomaterials in the Medical Centre of the University of Aachen (RWTH) differences were found from restorations largely periodontally retained or at least with natural teeth integrated into the restoration. In purely implant-retained restorations of both jaws there was an increase in material fatigue of every kind (ceramic chipping, severe abrasion in the case of acrylic teeth).

The aim of this systematic review was to analyze the available literature on this topic in order to find whether the tactile sensitivity of osseointegrated implants is markedly lower than that of natural teeth. In addition, recommendations are deduced as to whether it is useful to include natural teeth as tactile elements in implant-retained restorations for the above reasons.

The literature search was conducted with Ovid-Medline and PubMed. The date of the last search was 12.01.2007. The analysis included publications in English and German, which were found under the listed search words. Only journals were read which have at least one peer-review procedure as a criterion for acceptance.

### Search words:

Biomechanical considerations, tooth-supported, implant-supported, mechanoperception, tactile sensibility, tactile sensitivity, finite element analysis, masticatory forces, implant loads, bite loads, chewing forces, occlusal force, bite force, occlusal perception, biomechanische Betrachtungen, zahngestützt, implantat-gestützt, Mechanoperzeption, Tastempfindlichkeit, Tastsensibilität, Finite-Element Analyse, Kaukraft, Kaukraftmessung, Implantatbelastung, Okklusalkraft, Beißkraft.

## 2 Basic principles

The tooth root and alveolar bone are joined in a syndesmosis by the periodontal ligament (PDL). The proprioceptors of the PDL are linked with the main sensory nucleus of the trigeminal

	Zahn Tooth	Implantat Implant
Verbindung Connection	Parodontalligament (PDL) Periodontal ligament (PDL)	Osseointegration, Ankylose Osseointegration, ankylosis
Sulcustiefe Sulcus depth	Unter 3 mm bei gesunden Zähnen Less than 3 mm when teeth are healthy	Abhängig von der Abutmentlänge und der Restaurationsgrenze Depends on the abutment length and the restoration margin
Höhe des krestalen Knochens Height of the crestal bone	1–2 mm apikal der Schmelz-Zement-Grenze 1–2 mm apical to the enamel-cementum junction	Abhängig von der Implantatmorphologie (Übergang polierter – nicht polierter Anteil, meist in Höhe der 1. Windung) Depends on implant morphology (junction between polished and non-polished sections, usually at the level of the first turn)
Propriozeption Proprioception	Parodontale Mechanorezeptoren Periodontal mechanoreceptors	Osseoperzeption Osseoperception
Taktile Sensibilität Tactile sensitivity	Hoch High	Niedrig Low
Axiale Mobilität [48; 49] Axial mobility [48; 49]	25–100 µm 25–100 µm	3–5 µm 3–5 µm
Bewegungsphasen [49] Movement phases [49]	Zwei Phasen: Primär: nicht linear & komplex Sekundär: linear & elastisch Two phases: first: not linear & complex second: linear & elastic	Eine Phase: linear & elastisch One phase: linear & elastic
Bewegungsmuster [48] Movement pattern [48]	Primär: sofortige Bew. Sek.: stufenweise Bew. Primary: immediate movt. Sec.: gradual movt.	Stufenweise Bewegung Gradual movement
Drehpunkt bei seitlicher Kraft Fulcrum when lateral force applied	Apikales Drittel der Wurzel [43] Apical third of the root [43]	Krestaler Knochen [49] Crestal bone [49]
Entlastungsmöglichkeiten Possible relief	Druckabsorption, -verteilung Pressure absorption, distribution	Druckkonzentration am krestalen Knochen Pressure concentration on the crestal bone
Überbelastungszeichen Signs of overloading	PA-Spalt-Erweiterung, Mobilität, Abrasionsfacetten, Schmerz Periodontal gap widening, mobility, abrasi- on facets, pain	Schraubenlockerung oder -bruch, Suprakon- struktionsbruch, Knochenabbau, Implantat- bruch [61] Screw loosening, bone resorption, fracture of the screw, the superstructure and/or the im- plant [61]

**Tabelle 1** Unterschiede zwischen Zahn und Implantat.**Table 1** Differences between teeth and implants.

(Abb. 1-3 und Tab. 1: K. Tokmakidis)

Hauptkern des Nervus trigeminus verbunden. Diese Propriozeptoren steuern die Kaukraft beim Abbeißen, dienen der Tastkontrolle beim Kauen und spüren feinste Okklusionshindernisse auf.

Das PDL ist für die neuromuskuläre und taktile Aktivität im stomatognathen System von besonderer Bedeutung, da es für die Belastungswahrnehmung verantwortlich ist [16, 56]. *Catton* deutete schon 1970 auf die neurophysiologische Taktilität der Zähne bzw. des PDL hin [56]. Das wissenschaftliche Interesse an der taktilen Interkuspitationswahrnehmung existiert schon seit dem 19. Jahrhundert [1, 6, 10, 12, 14, 16, 18, 21, 26, 27, 38, 45, 50–52]. Demzufolge wurden über die Zeit zahlreiche Versuchsanordnungen zur Messung der taktilen Sensibilität vorgestellt.

Es steht somit außer Zweifel, dass die parodontalen Empfänger eine große Rolle bei der Empfindung und Unterscheidung mechanischer, oraler Reize spielen. Die Empfindlichkeit und Lokalisation der Parodontalrezeptoren der Pfeilerzähne werden durch jede prothetische Restauration aufgrund der unterschiedlichen Kraftverteilung im Rahmen der Körperreaktion verändert [11]. Im Falle von Zahnverlust verringert sich drastisch die taktile Sensibilität [13, 56].

nerve through the mesencephalic nucleus. These proprioceptors monitor the forces when biting and chewing and detect the tiniest obstacles to occlusion.

The PDL is particularly important for neuromuscular and tactile activity in the stomatognathic system as it is responsible for load perception [16, 56]. As early as 1970, *Catton* pointed out the neurophysiological tactivity of the teeth and PDL [56]. There has been scientific interest in the tactile perception of intercuspitation since the 19th century [1, 6, 10, 12, 14, 16, 18, 21, 26, 27, 38, 45, 50–52]. Therefore, numerous experimental designs for measuring tactile sensitivity have been presented over the years.

It is thus beyond doubt that the periodontal receptors play a large part in sensing and distinguishing mechanical oral stimuli. The sensitivity and location of the periodontal receptors on the abutment teeth are altered by any prosthetic restoration because of the different distribution of force in the course of the body's reaction [11]. Tactile sensitivity diminishes drastically in the case of tooth loss [13, 56].

Eine erfolgreiche implantatprothetische Wiederherstellung des stomatognathen Systems setzt den komplikationslosen anatomischen (Osseointegration) und funktionellen Einbau des enossalen Implantates in das orofaziale System voraus. Dentale Implantate besitzen jedoch kein PDL und somit auch keine parodontale Taktilität. Demzufolge muss diese Wahrnehmung über andere Wege umgeleitet werden.

Das ZNS kann mittels zweier Mechanismen Informationen über die Positionen und die Bewegungen des Unterkiefers sowie über das Kräfteausmaß der Kaumuskel erhalten [19, 29]: Der *erste Mechanismus* basiert auf der Überwachung der efferenten Muskelreizung und somit der Überwachung der afferent indizierten Muskelkraft und -spannung aus dem zentralen Nervensystem [19]. Der *zweite Mechanismus* wird von den Mechanorezeptoren berechnet, die während der Unterkieferbewegungen in unterschiedlichen Unterkieferpositionen aktiviert werden.

Bei implantatgetragenem Zahnersatz wurde von *Klineberg, Murray* und *Brånemark* der Begriff „Osseoperzeption“ (knöcherne Wahrnehmung) eingeführt [19], um aufgrund des Fehlens parodontaler Mechanorezeptoren eine kinästhetische, orale Wahrnehmung zu beschreiben. Dieser Input stammt aus Rezeptoren des Kiefergelenks, der Schleimhaut, der Haut sowie des Periostes und bietet Information für die orale Bewegungssensibilität in Relation zur Kieferfunktion [19] (Tab. 1).

### 3 Literaturlauswertung

#### 3.1 Kaubelastung auf natürlichen Zähnen

Das PDL kann bei natürlichen Zähnen mittels einer Mikrorotation, welche durch die Belastung entsteht, Druck- und Zugkräfte erfolgreich übernehmen und dämpfen. Die Wurzellänge spielt dabei eine erhebliche Rolle. Je länger die Zahnwurzel ist, desto geringer ist die Belastungsverteilung auf den krestalen Knochen [59].

Die sensorische Regulierung des Kauvorganges erfolgt durch Mechanorezeptoren, die im PDL, dem Kiefergelenk, der Muskulatur und der Mucosa platziert sind [14]. *Lundgren* und *Laurell* [24] erkannten 1986 bei entsprechenden Versuchsaufbauten eine Limitierung der angewandten, maximalen Kaukraft durch Schmerz und/oder Missempfinden sowohl an vitalen als auch wurzelbehandelten Zähnen. Sie kamen zu der Schlussfolgerung, dass das parodontale Gewebe der primäre einschränkende Faktor ist. Diese Aussage wird auch durch Untersuchungen von *van Steenberghe* und *de Vries* [55] unterstützt.

#### 3.2 Kaubelastung auf Implantaten

Bei der Implantatbelastung unterscheidet man zwischen einer statischen und einer dynamischen Belastungsform. Bei der *statischen* Belastung kommt es nach *Watzek* und *Mailath-Pokorny* [57] zu einer Kräfteinwirkung auf die Implantate und den umgebenden Knochen, welche z. B. durch die Verblockung prothetischer Suprakonstruktionen entsteht. Sie kann wegen des fehlenden PDL nicht ausgeglichen werden. Unter der *dynamischen* Belastung von Implantaten versteht man nach *Watzek* und *Mailath Pokorny* [57] die Kräfteinwirkung, der ein Implantat während der Kaufunktion ausgesetzt wird. Sie wird als elastische Verformung auf den umliegenden Knochen weitergegeben.

Successful implant prosthetic restorations of the stomatognathic system require anatomical (osseointegration) and functional integration of the endosseous implant in the orofacial system. However, dental implants have no PDL and thus no periodontal tactility. Accordingly, this perception must be provided in other ways.

The CNS can receive information about the position and movements of the mandible as well as the force of the masticatory muscles through two mechanisms [19, 29]: the *first mechanism* is based on monitoring efferent muscle stimulation and thus monitoring the indicated afferent muscle force and tension from the central nervous system [19]. The *second mechanism* is calculated by the mechanoreceptors activated during mandibular movement in different mandible positions.

Because of the lack of periodontal mechanoreceptors the term “osseoperception“ was introduced by *Klineberg, Murray* and *Brånemark* for implant-retained dentures [19] to describe kinaesthetic oral perception. This input derives from receptors in the temporomandibular joint, mucosa, skin and periosteum and provides information on oral movement sensitivity in relation to jaw function [19] (Tab. 1).

### 3 Literature analysis

#### 3.1 Masticatory loading of natural teeth

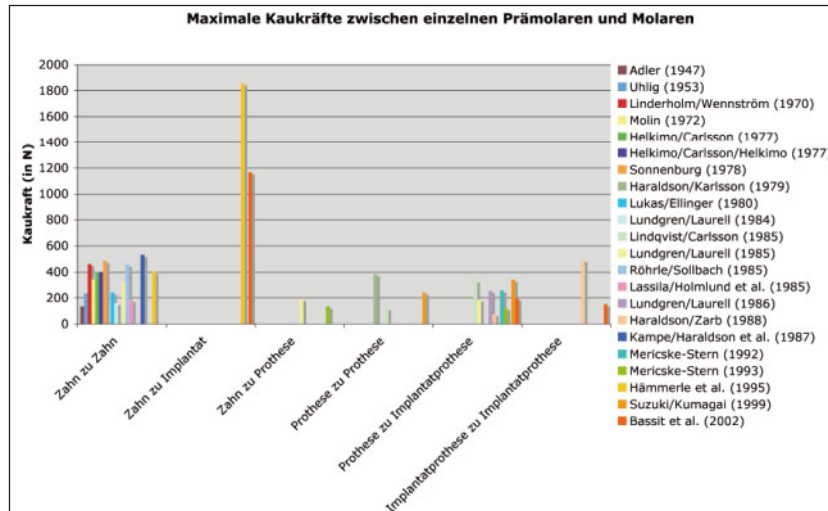
With natural teeth, the PDL can successfully accept and absorb compressive and tensile forces by means of microrotation which occurs due to loading. The length of the root plays an important part. The longer the tooth root, the lower the load distribution to the crestal bone [59].

Sensory regulation of the masticatory process takes place through mechanoreceptors located in the PDL, the temporomandibular joint, the muscle and the mucosa [14]. In 1986 *Lundgren* and *Laurell* [24] identified limitation of the maximum bite force by pain and/or discomfort in both vital and endodontically-treated teeth with appropriately designed studies. They came to the conclusion that the periodontal tissue is the primary limiting factor, which is also supported by *van Steenberghe* and *de Vries* [55] in their studies.

#### 3.2 Masticatory loading of implants

In the case of implant loading, a distinction is made between a static and a dynamic form of load. With static load, according to *Watzek* and *Mailath-Pokorny* [57], a force that arises e. g. through the splinting of prosthetic superstructures acts on the implants and the surrounding bone. It cannot be compensated because of the lack of a PDL. *Dynamic* implant loading, according to *Watzek* and *Mailath-Pokorny* [57], is the force to which an implant is exposed during mastication. It is transmitted to the surrounding bone as elastic deformation.

The elasticity of the bone allows slight deflection [58], but this is not equivalent to that of the PDL. The loads are not distributed



**Abbildung 1** Maximale Kaukräfte in Prämolaren- und Molarenregionen. Ersichtlich wird der unkontrollierte Kraftanstieg, wenn die Belastung immer mehr auf die Implantate verlagert wird.

**Figure 1** Maximum bite loads in the premolar and molar regions. The uncontrolled increase in force is obvious when the load is increasingly transferred to the implants.

Die Elastizität des Knochens ermöglicht eine geringe Deflexion [58], welche jedoch nicht äquivalent zu der des PDL ist. Die Belastungen werden nicht gleichmäßig verteilt, der krestale Bereich des Alveolarfortsatzes wird dabei am stärksten belastet. Dies zeigen sowohl Finite Elemente Analysen [8, 30, 42, 47] als auch photometrische Messungen [9] deutlich. Erfolgt die Belastung entlang der Implantatachse, treten die höchsten Kräfte im apikalen Bereich auf. Bei angulierten Implantaten wird überwiegend der krestale Knochen belastet. Dabei hängt das Ausmaß der Belastung vom Einfallswinkel des Kraftvektors ab. Transversale Kräfte, wie sie gehäuft bei bruxierenden Patienten zu finden sind, werden direkt auf den krestalen Knochen übertragen [8, 9, 30, 42, 47].

### 3.3 Kaubelastung auf Zähnen und Implantaten

Bei implantologischen Behandlungen teilbezahnter Kiefer besteht eine komplexe Belastungsverteilung. In den meisten implantat-prothetischen Therapiekonzepten werden daher Zähne und Implantate getrennt versorgt [36]. Die Erfolgsraten nach zehn Jahren liegen bei rein implantat- (86,7 %) oder rein zahngetragenen Versorgungen (89,1 %) in etwa gleich hoch [44, 53]. Ist diese getrennte Versorgung z. B. aus finanziellen oder anatomischen Gründen nicht möglich, wird eine Verbundbrückenkonstruktion angestrebt. Hier sollte die Verbindung von Zähnen und Implantaten starr gestaltet sein, da es sonst zu Zahnintrusionen und technischen Problemen am Zahnersatz kommen kann [22, 40, 41]. Die Erfolgsraten solcher Rehabilitationen liegen allerdings unter den vorher beschriebenen Werten (77,8 % nach zehn Jahren) [20].

Grundsätzlich ist bei Verbundbrückenkonstruktionen und herausnehmbaren zahnimplantatgetragenen Prothesen die Belastungsverteilung aufgrund der Verankerungsanatomie von Zähnen und Implantaten eine andere als bei rein zahn- oder rein implantatgetragenen Versorgungen [46]. Die Belastung bei rein zahngetragenen Konstruktionen wird – bedingt durch das PDL – über die Wurzel gleichmäßig und gedämpft auf den umliegenden Alveolarknochen übertragen. Im Gegensatz dazu ist die rein implantatgetragene Konstruktion extrem starr, was die Belastungsverteilung auf mehrere Elemente des Systems drastisch hemmt [37]. Richter beschäftigte sich in den 90er Jah-

uniform und the crestal region of the alveolar process is loaded the most. This is shown clearly by both finite element analyses [8, 30, 42, 47] and photometric measurements [9]. If the loading takes place along the implant axis, the highest forces occur in the apical region. The load is mainly on the crestal bone in the case of angulated implants. The degree of loading depends on the angle of incidence of the force vector. Transverse forces, which are found more often in patients with bruxism, are transmitted directly to the crestal bone [8, 9, 30, 42, 47].

### 3.3 Masticatory loading of teeth and implants

A complex load distribution exists when partially dentate jaws are treated with implants. In most implant-based prosthetic treatment concepts, teeth and implants are therefore treated separately [36]. The success rates after ten years are approximately the same with purely implant-retained (86.7 %) or purely tooth-retained restorations (89.1 %) [44, 53]. If these separate types of restoration are not possible, e. g. for financial or anatomical reasons, a tooth/implant-supported bridge construction is attempted. In this case, the connection of teeth and implants should be rigid as otherwise tooth intrusions and technical problems with the denture can occur [22, 40, 41]. However, the success rates of such restorations are below the previously described figures (77.8 % after ten years) [20].

The load distribution is fundamentally different with tooth/implant-supported prostheses, fixed or not, compared with purely tooth- or implant-retained restorations because of the anchorage anatomy of teeth and implants [46]. In purely tooth-retained constructions, due to the PDL, the load is transmitted damped and evenly through the root to the surrounding alveolar bone. In contrast, a purely implant-retained construction is extremely rigid, which drastically inhibits the load distribution to several elements of the system [37]. In the 1990s, Richter repeatedly investigated tooth-retained and implant-retained restorations (cemented tooth/implant-retained





**Abbildung 2** Bei einer geringen Restbezaehlung (2a und b: zwei Restzähne im Oberkiefer) ist die Belastungsregulation nicht mehr dental gesteuert. Es besteht die Gefahr der Überbelastung der Suprakonstruktion (2c: Gerüstfraktur und Keramikabplatzungen).

**Figure 2** When the dentition is severely reduced (2a and b: two residual teeth in the maxilla) load regulation is no longer controlled by teeth. There is a high risk of overload on the FPD (2c: frame fracture and veneer chipping).

ren mehrfach mit zahn- und implantatgetragenen Zahnersatz (zementierte Verbundbrücke, starr verschraubte Verbundbrücke, sekundäre Verblockung über Teleskope) [46]: Bei derartigen Konstruktionen werden auf Grund der unterschiedlichen Beweglichkeit der Pfeiler hauptsächlich die starrereren Konstruktionselemente, folglich die Implantate, belastet. Auf den Zähnen befestigte Verankerungselemente sind bei derartigen Konstruktionen keine Stabilisierungselemente für Implantate, sondern letztere unterstützen eher die beteiligten Zähne. Bei zahn-implantatgetragenen Zahnersatz können demzufolge auch parodontal angegriffene Zähne durch diese Belastungsverteilung bzw. die Verblockung geschient werden [58].

Die maximale Kaukraft in solchen „Systemen“ ist abhängig von der Anzahl der natürlichen Restzähne. Bei konventionellen prothetischen Lösungen ist sie wesentlich geringer als bei der natürlichen Bezaehlung [14]. Bei implantatgetragenen Restaurationen ergeben sich jedoch deutlich höhere Kaukraftwerte [4, 23, 25]. Die in der Literatur angegebenen Werte zeigen allerdings große Diskrepanzen, bedingt durch verschiedene Messapparaturen, unterschiedlichen Zahnstatus und verwendete Suprakonstruktionen [31] (Abb. 1).

### 3.4 Überbelastung

Für eine übermäßige Belastung von Zähnen kommen ursächlich Zahnfehlstellungen, in den meisten Fällen aber fehlerhafte konservierende, prothetische oder kieferorthopädische Behandlungen und Restaurationen in Frage. Treffen okklusale Kräfte auf einen Zahn, die bezüglich Intensität, Dauer, Richtung und Häufigkeit die physiologischen Grenzen überschreiten, kommt es zu einer traumatogenen Okklusion. *Mühlemann* et al. [39] beschrieben 1956 das Okklusionstrauma als einen Zustand übermäßiger Belastung mit mikroskopisch und/oder makroskopisch bestehenden Strukturveränderungen des PDL [2]. Klinisch wird dieser Zustand in einer – häufig reversiblen – Erhöhung der Zahnbeweglichkeit sichtbar sowie in irreversiblen Knochenresorptionen.

Bei einer Überbelastung von Implantaten kommt es zu einer fehlerhaften Kraftverteilung in der statischen und dynamischen Okklusion. Sie wird gegebenenfalls sichtbar durch krestalen Knochenabbau, aber auch Schraubenlockerungen sowie Materialfrakturen oder überdurchschnittlich starke Abnutzung des Zahnersatzes (Verblendmaterial, Metallgerüst etc.) treten auf [7, 30] (Abb. 2 und 3).

bridge, rigidly screw-retained tooth/implant-retained bridge, secondary splinting through telescopes) [46]: in such superstructures, the more rigid construction elements, and consequently the implants, are predominantly loaded because of the different mobility of the abutments. Anchorage elements fixed to teeth do not act as stabilization elements for implants in such constructions, but rather the implants support the involved teeth. Thus, with implant-retained dentures, even periodontally-involved teeth can be splinted by this load distribution or with a splint [58].

The maximum bite force in such “systems“ depends on the number of residual natural teeth. It is much lower with conventional prosthetic treatments than with natural dentition [14]. However, markedly higher bite forces result with implant-retained restorations [4, 23, 25]. The figures reported in the literature show great discrepancies due to different methods of measurement, variations in tooth status and the superstructures employed [31] (Fig. 1).

### 3.4 Overloading

The possible causes of excessive loading of teeth include dental deformities but in most cases it is due to incorrect restorative, prosthetic or orthodontic treatment and restorations. If occlusal forces that exceed physiological limits regarding intensity, duration, direction and frequency act on a tooth, traumatogenic occlusion occurs. *Mühlemann* et al. [39] described occlusion trauma in 1956 as a state of excessive loading with microscopic and/or macroscopic structural changes of the PDL [2]. Clinically, this state is apparent in a frequently reversible increase in tooth mobility and in irreversible bone resorption.

When overloading of implants occurs, there is an incorrect distribution of force in static and dynamic occlusion. This may become evident through crestal bone resorption, but screw loosening, fractures of the material or above-average wear of the prosthesis (veneer material, metal frame etc.) may also occur [7, 30] (Fig. 2 and 3).



**Abbildung 3** Deutlich sichtbare Abrasionen bei rein implantatgetragener, verschraubter Extensionsbrückenkonstruktion im Oberkiefer (Zustand fünf Jahre nach Insertion).

**Figure 3** Obvious abrasions with implant-borne, screw-retained FPDs with extensions in the maxilla (5 years after placement).

#### 4 Diskussion

Die biologische Ausgangssituation für natürliche Zähne und Implantate als Stützpfiler für prothetische Rekonstruktionen ist grundsätzlich unterschiedlich. Implantate sind ankylotisch im Knochen verankert, natürliche Zähne mittels eines PDL beweglich befestigt. Die schützende mechanorezeptive Funktion [13], eine bessere Kraftverteilung [37, 54] sowie eine genauere Schmerzempfindung [37, 54] geht nach Zahnextraktionen durch das nicht mehr vorhandene PDL verloren.

Die Literatur zu dieser Thematik ist allerdings teilweise widersprüchlich. *Mattes* et al. stellten 1997 in diesem Zusammenhang interessanterweise fest, dass die Fähigkeit von Implantaten, schnelle Belastungsveränderungen wahrzunehmen, beinahe unverändert ist im Vergleich zu der von natürlichen Zähnen [28]. Als mögliche Erklärung nehmen sie an, dass andere Sensoren die Funktionen des PDL umgehen. *Klineberg* und *Murray* bestätigten 1999 diese Vermutung [19] und führten den Begriff der „Osseoperzeption“ ein. Sie weisen aber darauf hin, dass dieser Weg die hochempfindliche parodontale Sensibilität jedoch nicht ausgleichen kann [19]. Das Ergebnis dieser Studie korreliert mit einigen anderen [5, 6, 13, 15, 32, 34, 35, 37] und lässt darauf schließen, dass die aktive und passive okklusale taktile Wahrnehmung bei Implantaten im Vergleich zur natürlichen Dentition deutlich vermindert ist.

*Jacobs* und *van Steenberghe* beschreiben eine deutliche Taktilitätsabnahme der Implantate, welche bei festsitzenden Restaurationen größer ist als bei implantatgestützten, schleimhautgetragenen Prothesen [15]. *Hämmerle* et al. [13] zeigen 1995, dass der mittlere Schwellenwert der taktilen Sensibilität von Implantaten um das neunfache kleiner ist im Vergleich zu dem natürlicher Zähne. Dies korreliert mit den Ergebnissen anderer Studien [34–37], die Vergrößerungsfaktoren von bis zu zehnfach angeben. Belastungsmessungen über ganze Kieferregionen dagegen, hauptsächlich durchgeführt bei implantatgestützten, schleimhautgetragenen Rekonstruktionen, wiesen nur einen etwa dreifachen Taktilitätsunterschied auf, was auf die Sensibilität der Schleimhäute zurückgeführt werden kann. Somit steht außer Zweifel, dass der Taktilitätsmechanismus sowie die funktionelle Regulation der Kieferbewegungen beim Einsatz von enossalen Implantaten anders und ungenauer ablaufen als bei der natürlichen Bezahnung. Vorzeitige Ermüdung und Materialversagen implantatgetragener Restaurationen sind demzufolge zu erwarten [3, 7].

#### 4 Discussion

The baseline biological situation for natural teeth and implants acting as abutments supporting prosthetic reconstructions differs fundamentally. Implants are anchored in the bone by ankylosis whereas the fixation of natural teeth is mobile by means of the PDL. The protective mechanoreceptive function [13], better distribution of force [37, 54] along with more precise pain sensation [37, 54] are lost following dental extractions due to the absence of the PDL.

However, some of the literature on this topic is conflicting. Interestingly, *Mattes* et al. found in 1997 that the ability of implants to perceive rapid changes in load is almost unchanged compared with that of natural teeth [28]. They assume that other sensors possibly circumvent the functions of the PDL. *Klineberg* and *Murray* confirmed this thesis in 1999 [19] and introduced the term “osseoperception”. They point out, however, that this cannot compensate for the very high periodontal sensitivity [19]. The result of this study correlates with a few others [5, 6, 13, 15, 32, 34, 35, 37] and permits the conclusion that active and passive occlusal tactile perception is markedly diminished with implants compared with natural dentition.

*Jacobs* and *van Steenberghe* describe a marked decrease in implant tactility, which is greater with fixed restorations than with implant-supported removable prostheses [15]. *Hämmerle* et al. [13] showed in 1995 that the mean tactile sensitivity threshold of implants is nine times smaller compared with that of natural teeth. This correlates with the results of other studies [34–37], which report a magnification factor of up to ten. In contrast, measurements of load over entire regions of the jaws, performed mainly with implant-supported removable dentures, showed a difference in tactile sensitivity that was only about three times greater, which can be attributed to the sensitivity of the mucosa. Thus, it is beyond doubt that the tactile sensitivity as well as the functional regulation of jaw movements are very different and more imprecise with endosseous implants compared with natural dentition. Accordingly, premature fatigue and material failure of implant-retained restorations can be expected [3, 7].

*Carlson* and *Carlsson* found in 1994 that out of 600 implant prosthetic restorations followed up, 28 % required prosthetic treatment [3]. They found that approx. 75 % of the complications consisted of repeated adjustment of acrylic teeth and the necessity for repairs of the denture base. For this reason,

Carlson und Carlsson stellten 1994 fest, dass bei 600 nachuntersuchten implantatprothetischen Restaurationen 28 % prothetisch behandlungsbedürftige Versorgungen vorlagen [3]. Dabei stellten sie fest, dass ca. 75 % der Komplikationen die wiederholte Neueinstellung von Kunststoffzähnen sowie notwendige Reparaturen der Prothesenbasis darstellen. Aus diesem Anlass bevorzugten sie Materialien wie Keramik, die eine höhere Kraft aufnehmen können. Neue Nachuntersuchungen zeigen [60], dass bei rein implantatgetragenen metallkeramischen Rekonstruktionen bereits nach nur fünf Jahren etwa 14 % Komplikationen in Form von Abplatzungen etc. auftreten. Diese Ereignisse sind ebenfalls als Folge kaufunktioneller Überbelastungen zu sehen.

Ein weiterer Weg, die Überbelastung implantatgetragener Restaurationen aus biologischer Sicht einzugrenzen, könnte darin bestehen, natürliche Zähne als „taktile Einheiten“ auch bei größeren implantatprothetischen Rehabilitationen möglichst zu erhalten. Betrachtet man die Langzeit-Erfolgsraten von zahnimplantatgetragenen Verbundbrücken, so sollte die Versorgung von Implantaten und Zähnen jedoch getrennt erfolgen [40, 41, 58]. Wird eine solche Konstruktion trotzdem angestrebt, können die natürlichen Zähne mit einem galvanisch hergestellten Primärteil (definitiv zementiert) geschützt werden. Die Brückenversorgung wird anschließend auf den Zähnen und Implantataufbauten provisorisch zementiert bzw. verschraubt.

Theoretisch wird die intraorale Belastungsempfindung durch den Erhalt der Parodontien im Vergleich zu rein implantat- oder implantatschleimhautgetragenen Restaurationen verfeinert. Wie in Abbildung 1 zu erkennen ist, werden bei rein implantatgetragenen sowie implantatgestützten, schleimhautgetragenen Rekonstruktionen erst höhere Kaukraftwerte wahrgenommen als dies der Fall ist bei natürlicher Bezahnung oder rein schleimhautgetragenen Versorgungen.

In der Literatur gibt es hinsichtlich der Verbundbrückenkonstruktionen allerdings auch widersprüchliche Angaben. Es wird darüber berichtet, dass in Einzelfällen überbelastete natürliche Pfeiler durch Verbundbrückenkonstruktionen funktionell stabilisiert werden können. Werden Zähne mit Lockerungsgrad II mit Zähnen ohne Lockerungsgrad oder mit Implantaten verblockt, werden die schwachen Zähne schützend geschient [46]. Wird der Unterschied hinsichtlich des Lockerungsgrades größer, wird die Belastung zunehmend auf die festeren Zähne, bzw. die osseointegrierten Implantate verteilt. Da bisher keine „messbaren“ Angaben über die notwendige Wertigkeit (Festigkeit, Lockerungsgrad etc.) derartiger Verbundpfeiler vorliegen, muss die klinische Erfahrung des Behandlers über eine mögliche Einbeziehung derartiger Pfeiler in zahnimplantatgetragene Rekonstruktionen entscheiden.

## 5 Schlussfolgerung

Bei komplexen implantatprothetischen Versorgungen erscheint es aus kaufunktioneller und vor allem materialtechnischer Sicht sinnvoll, natürliche Zähne als taktile Elemente zu erhalten. Im Falle von Verbundbrückenkonstruktionen sollte aus biomechanischer Sicht eine starre Verbindung angestrebt werden. In einzelnen Situationen ist es möglich, ein parodontal vorgeschädigtes Restgebiss, durch strategisch

they prefer materials such as ceramic, which can absorb greater force. Recent follow-up investigations [60] show that after only five years, complications occur in about 14 % of purely implant-retained metal ceramic reconstructions, in the form of chipping etc. These events can also be regarded as the outcome of functional masticatory overload.

Another way of limiting the overloading of implant-retained restorations from the biological aspect might consist of preserving natural teeth where possible as “tactile units” even in major implant-based prosthetic restorations. If the long-term success rates of tooth/implant-borne bridges are taken into consideration, however, restoration of implants and teeth should be carried out separately [40, 41, 58]. If such a construction is desired nevertheless, the natural teeth can be protected with an electroplated inner telescope (definitively cemented). The bridge is then cemented or screw-retained temporarily to the teeth and implant abutments.

Theoretically, intraoral sensation of load is improved by preservation of the periodontal ligament compared with purely implant-retained fixed or removable restorations. As figure 1 shows, only greater bite forces are perceived with purely implant-retained and implant-based removable reconstructions than with natural dentition or purely removable dentures.

However, the statements in the literature with regard to tooth/implant-based bridges are also conflicting. It is reported that overloaded natural abutments can be stabilized functionally by tooth/implant-based bridges in individual cases. If teeth with grade II loosening are splinted with teeth without any loosening or with implants, the weak teeth are protected [46]. If the difference in the degree of loosening becomes greater, the load is distributed increasingly to the more stable teeth and the osseointegrated implants. Since there are so far no “measurable” details of the necessary figures for such tooth/implant abutments (stability, degree of loosening etc.), the clinician’s experience must determine whether to include such abutments in tooth/implant-supported reconstructions.

## 5 Conclusion

In complex implant-based prosthetic restorations, it appears useful from the functional and technical material aspects to preserve natural teeth as tactile elements. In the case of tooth/implant-supported bridges, a rigid connection is desirable from the biomechanical point of view. In individual situations it is possible to stabilize residual, periodontally-deteriorated teeth by strategically placed implants and splinted superstructures, thus improving the prognosis of the remaining teeth. However, great clinical experience in the possible inclusion of such abutment teeth in tooth/implant-supported reconstructions is crucial if predictable long-term success rates are to be achieved.



günstig verteilte Implantate und verblockte Suprakonstruktionen zu stabilisieren, und die Prognose der verbliebenen Zähne zu verbessern. Eine große klinische Erfahrung des Behandlers über eine mögliche Einbeziehung derartiger Pfeiler in zahnimplantatgetragene Rekonstruktionen ist allerdings entscheidend, um vorhersagbare Langzeit-Erfolgsraten zu erhalten.

#### Korrespondenzadresse:

Dr. Konstantinos Tokmakidis  
Zahnhaus  
Talstr. 8  
6020 Emmenbrücke – Luzern  
Schweiz  
E-Mail: ktokmakidis@me.com

## Literatur

- Adler P: Sensibility of teeth to loads applied in different directions. *J Dent Res* 1947;26:279–289
- Blank R: Korrektur der Okklusion im Rahmen der Parodontalbehandlung. *Dental Report III* 1982;29–33
- Carlson B, Carlsson GE: Prosthodontic complications in osseointegrated dental implant treatment. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1994;9:90–94
- Carr AB, Laney WR: Maximum occlusal force levels in patients with osseointegrated oral implant prostheses and patients with complete dentures. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1987;2:101–108
- Christensen J, Morimoto T: Dimension discrimination at two different degrees of mouth opening and the effect of anaesthesia applied to the periodontal ligaments. *J Oral Rehabil* 1977;4:157–164
- Christensen LV, Levin AC: Periodontal discriminatory ability in human subjects with natural dentitions, overlay dentures and complete dentures. *J Dent Assoc S Afr* 1976;31:339–342
- Curtis DA, Sharma A, Finzen FC, Kao RT: Occlusal considerations for implant restorations in the partially edentulous patient. *J Calif Dent Assoc* 2000;28:771–779
- Dalkiz M, Zor M, Aykul H, Toparli M, Aksoy S: The three-dimensional finite element analysis of fixed bridge restoration supported by the combination of teeth and osseointegrated implants. *Implant Dent* 2002;11:293–300
- Deines DN, Eick JD, Cobb CM, Bowles CQ, Johnson CM: Photoelastic stress analysis of natural teeth and three osseointegrated implant designs. *Int J Periodontics Restorative Dent* 1993;13:540–549
- Ferrario VF, Sforza C, Serrao G, Dellavia C, Tartaglia GM: Single tooth bite forces in healthy young adults. *J Oral Rehabil* 2004;31:18–22
- Garrett NR, Hasse AL, Kapur KK: Comparisons of tactile thresholds between implant-supported fixed partial dentures and removable partial dentures. *Int J Prosthodont* 1992;5:515–522
- Griffin CJ, Harris R: Unmyelinated nerve endings in the periodontal membrane of human teeth. *Arch Oral Biol* 1968;13:1207–1212
- Hämmerle CH, Wagner D, Bragger U, Lussi A, Karayiannis A, Joss A, et al.: Threshold of tactile sensitivity perceived with dental endosseous implants and natural teeth. *Clin Oral Implants Res* 1995;6:83–90
- Helkimo E, Carlsson GE, Helkimo M: Bite force and state of dentition. *Acta Odontol Scand* 1977;35:297–303
- Jacobs R, van Steenberghe D: Comparative evaluation of the oral tactile function by means of teeth or implant-supported prostheses. *Clin Oral Implants Res* 1991;2:75–80
- Kawamura Y: Recent concepts of the physiology of mastication. *Adv Oral Biol* 1964;1:77–109
- Kim Y, Oh TJ, Misch CE, Wang HL: Occlusal considerations in implant therapy: clinical guidelines with biomechanical rationale. *Clin Oral Implants Res* 2005;16:26–35
- Kizior J, Cuozzo J, Bowman D: Functional and histologic assessment of the sensory innervation of the periodontal ligament of the cat. *J Dent Res* 1968;1968:59–64
- Klineberg I, Murray G: Osseoperception: sensory function and proprioception. *Adv Dent Res* 1999;13:120–129
- Lang NP, Pjetursson BE, Tan K, Bragger U, Egger M, Zwahlen M: A systematic review of the survival and complication rates of fixed partial dentures (FPDs) after an observation period of at least 5 years. II. Combined tooth-implant-supported FPDs. *Clin Oral Implants Res* 2004;15:643–653
- Linden R, Taylor A: Periodontal mechanoreceptors and their functions. In: *Neurophysiology of the jaws and teeth. Part b.* *J Physiol* 1990;35–44
- Lindh T, Dahlgren S, Gunnarsson K, Josefsson T, Nilson H, Wilhelmsson P, et al.: Tooth-implant supported fixed prostheses: a retrospective multicenter study. *Int J Prosthodont* 2001;14:321–328
- Lindquist LW, Carlsson GE: Long-term effects on chewing with mandibular fixed prostheses on osseointegrated implants. *Acta Odontol Scand* 1985;43:39–45
- Lundgren D, Laurell L: Occlusal force pattern during chewing and biting in dentitions restored with fixed bridges of cross-arch extension. I. Bilateral end abutments. *J Oral Rehabil* 1986;13:57–71
- Lundgren D, Laurell L, Falk H, Bergendal T: Occlusal force pattern during mastication in dentitions with mandibular fixed partial dentures supported on osseointegrated implants. *J Prosthet Dent* 1987;58:197–203
- Lundqvist S, Haraldson T: Occlusal perception of thickness in patients with bridges on osseointegrated oral implants. *Scand J Dent Res* 1984;92:88–92
- Manly RS, Pfaffman C, Lathrop DD, Keyser J: Oral sensory thresholds of persons with natural and artificial dentitions. *J Dent Res* 1952;31:305–312
- Mattes S, Ulrich R, Mühlbradt L: Detection times of natural teeth and endosseous implants revealed by the method of reaction time. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1997;12:399–402
- McCloskey DI: Kinesthetic sensibility. *Physiol Rev* 1978;58:763–820
- Menicucci G, Mossolov A, Mozzati M, Lorenzetti M, Preti G: Tooth-implant connection: some biomechanical aspects based on finite element analyses. *Clin Oral Implants Res* 2002;13:334–341
- Mericske-Stern R, Geering AH, Burgin WB, Graf H: Three-dimensional force measurements on mandibular implants supporting overdentures. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1992;7:185–194
- Mericske-Stern R, Hofmann J, Wedig A, Geering AH: In vivo measurements of maximal occlusal force and minimal pressure threshold on overdentures supported by implants or natural roots: a comparative study, Part 1. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1993;8:641–649
- Morneburg TR, Proschel PA: Measurement of masticatory forces and implant loads: a methodologic clinical study. *Int J Prosthodont* 2002;15:20–27
- Mühlbradt L, Meyle J, Lukas D, Schulte W: Die Tastensensibilität Tübinger Sofortimplantate. *Dtsch Zahnärztl Z* 1980;35:334–338
- Mühlbradt L, Ulrich R, Mohlmann H, Schmid H: Mechanoperception of natural teeth versus endosseous implants revealed by magnitude estimation. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1989;4:125–130
- Mühlbradt L, Möhlemann H: Qualitative und quantitative Empfindungsmerkmale bei natürlichen Zähnen und Tübinger Implantate. *Z Zahnärztl Implantol* 1987;29–36