
Journal of
Orofacial Orthopedics

Fortschritte der
Kieferorthopädie



Official Journal of the German Orthodontic Society

Offizielle Zeitschrift der Deutschen Gesellschaft für Kieferorthopädie

**Elektronischer Sonderdruck für
M. Nienkemper**

Ein Service von Springer Medizin

J Orofac Orthop 2012 · 73:467–476 · DOI 10.1007/s00056-012-0107-y

© Springer-Verlag 2012

M. Nienkemper · B. Wilmes · A. Pauls · D. Drescher

**Mehrfachnutzung von Mini-Implantaten für
verschiedene Aufgaben**

Multipurpose use of orthodontic mini-implants to achieve different treatment goals

Mehrfachnutzung von Mini-Implantaten für verschiedene Aufgaben

Manuel Nienkemper¹, Benedict Wilmes¹, Alexander Pauls¹, Dieter Drescher¹

Abstract

Objectives. The goal of the study was to determine whether mini-implants inserted in the palate can be used to achieve more than one treatment goal consecutively or simultaneously in the same patient.

Materials and methods. The treatment results of 43 patients were retrospectively assessed. Two implant-supported mechanical systems per patient were applied either consecutively in 19 patients (group A) or simultaneously in 24 patients (group B). Both groups were analyzed and compared by calculating success rates for achievement of the treatment goals, survival of the mini-implants, and quality of anchorage. Durations of treatment were also analyzed for intergroup differences.

Results. Except for a single case in group A, the treatment goals were achieved in all patients (success rates 94.7% in group A versus 100% in group B). Anchorage loss was confined to one patient per group (success rates 94.7% in group A and 95.3% in group B). Mini-implant mobility, and hence implant failure, was observed in three implants in group A (survival rate 91.8%) and two implants in group B (survival rate 95.6%). While none of these intergroup differences were statistically significant, the treatment durations in both groups differed widely: those in group B were significantly shorter (10.0 ± 4.2 months) than those in group A (14.4 ± 3.5 months; $p=0.001$).

Conclusion. Mini-implants inserted in the palate for skeletal anchorage can be used to achieve more than one treatment goal in the same patient. Such multipurpose application can succeed consecutively and simultaneously. The latter option can significantly expedite treatments and should, therefore, be preferred when feasible, depending on the nature of coexisting therapeutic indications in a given patient.

Zusammenfassung

Zielsetzung. Ziel der Studie war es zu evaluieren, ob mit Hilfe von Mini-Implantaten im Gaumen mehrere Behandlungsaufgaben nacheinander oder simultan lösbar sind.

Methode. Die Behandlung von 43 Patienten wurde retrospektiv untersucht. Bei 19 Patienten (Gruppe A) erfolgte ein konsekutiver Einsatz zweier implantatgetragener Mechaniken, bei 24 (Gruppe B) wurden die Mini-Implantate simultan durch zwei Mechaniken belastet. Anschließend wurden die Erfolgsraten bezüglich des Erreichens des Behandlungszieles, der Überlebensrate der Mini-Implantate sowie der Verankerungsqualität ermittelt und verglichen. Weiterhin wurde die Behandlungsdauer auf Unterschiede zwischen den Gruppen untersucht.

Ergebnisse. Bis auf eine Ausnahme in Gruppe A konnten alle Behandlungsaufgaben gelöst werden (Erfolgsrate Gruppe A: 94,7%; Gruppe B: 100%). Lediglich bei einem Patienten je Gruppe trat ein Verankerungsverlust auf (Erfolgsraten Gruppe A: 94,7%; Gruppe B: 95,3%). Es kam zur Lockerung von drei Mini-Implantaten in Gruppe A (Überlebensrate 91,8%) und zwei in Gruppe B (Überlebensrate 95,6%). Die Unterschiede zwischen den Gruppen waren statistisch nicht signifikant. Die Behandlungsdauer betrug in Gruppe A $14,4 \pm 3,5$, in Gruppe B $10,0 \pm 4,2$ Monate und war damit in Gruppe B hoch signifikant kürzer ($p=0,001$).

Schlussfolgerung. Mittels skelettaler Verankerung durch Mini-Implantate im Gaumen können mehrere Behandlungsaufgaben sowohl konsekutiv als auch simultan gelöst werden. Wegen der signifikant kürzeren Behandlungsdauer sollte eine simultane Nutzung angestrebt werden, sofern die zu behandelnden Befunde es zulassen.

¹Policlinic of Orthodontics, University Hospital Düsseldorf, Düsseldorf, Germany

Keywords

Skeletal anchorage · Mini-implants · Success rates · Treatment outcome

Schlüsselwörter

Skeletale Verankerung · Mini-Implantate · Erfolgsraten · Therapieerfolg

Introduction

Ensuring adequate anchorage is an essential consideration in orthodontic treatment planning. Without it, reactive forces to a therapeutic force will lead to adverse side effects in the anchorage unit [10, 13, 17]. Various intramaxillary, intermaxillary, and extraoral methods such as transpalatal arches, intermaxillary elastics, and headgear have been introduced to improve the anchorage situation [5].

Another option is to use skeletal anchorage, for which there are several different designs available to clinicians. Miniplates [12] or palatal implants [21] offer high stability, but they are unfortunately associated with extensive surgical demands to ensure skeletal anchorage. For example, a surgical flap must be raised to both insert and remove a miniplate. Palatal implants require a prepared implant bed and healing period before loading, and implant removal leaves a major defect in the palate.

Due to being less invasive and expensive, orthodontic mini-implants have become increasingly used [6, 7, 8, 14, 16, 23]. The main problem associated with their use for anchorage continues to be the substantial likelihood of implant failure, with rates ranging from 10–30% [1, 4]. A mean failure rate of 16.4% was reported by two recent reviews [18, 19]. This prognostic drawback, among other consequences, has led treatment planners to consider mini-implants for single-purpose applications only.

A number of causative factors for implant failure are documented in the literature. For example, it is essential that the insertion sites be appropriately selected. Implants placed in predominantly cancellous bone, for instance, offer lower stability [24]. High failure rates have also been observed in bone covered by mobile or very thick soft tissue structures [26]. Contact between implants and adjacent roots, or their close proximity, is also considered unfavorable [3, 11]. Design-specific implant features found to reduce success rates include short length [2, 30] and small diameter [15, 22]. These factors should be considered in order to minimize failure and enhance the biomechanical load-bearing capacity of implants.

The aim of this study was to evaluate whether an implant protocol meeting these requirements would enhance the stability of mini-implants so that their previous range of single-purpose applications could be expanded to include treatments addressing more than one problem in the same patient. Additional questions raised concerned the nature of clinical indications that could be meaningfully treated in this manner and how the mechanical systems used to accomplish these tasks could be designed. A specific area of interest was to calculate and compare success rates to determine whether these mechanical systems can be used simultaneously or preferably consecutively.

Einleitung

Die Schaffung einer ausreichenden Verankerung stellt einen wesentlichen Punkt in der kieferorthopädischen Behandlungsplanung dar. Die bei einer therapeutisch applizierten Kraft auftretenden reaktiven Kräfte führen sonst zu unerwünschten Nebenwirkungen in der Verankerungseinheit [10, 13, 17]. Zur Verbesserung der Verankerungssituation wurden verschiedene intra- und intermaxilläre sowie extraorale Methoden, wie Transpalatinalbögen, intermaxilläre Gummizüge oder der Headgear, eingeführt [5].

Eine weitere Möglichkeit ist die Verwendung einer skelettalen Verankerung. Dabei stehen dem Behandler unterschiedliche Arten zur Verfügung. Eine hohe Stabilität bieten beispielsweise Mini-Platten [12] oder ein Gaumenimplantat [21]. Nachteilig ist der relativ hohe chirurgische Aufwand. So muss bei der Anbringung und der Entfernung einer Mini-Platte ein chirurgischer Lappen gebildet werden. Die Verwendung eines Gaumenimplantates erfordert die Präparation eines Implantatlagers. Vor Belastung muss eine Einheilphase abgewartet werden, und nach chirurgischer Entfernung verbleibt ein größerer Defekt am Gaumen.

Wegen der geringeren Invasivität und niedrigeren Kosten haben orthodontische Mini-Implantate zunehmend Verbreitung gefunden [6, 7, 8, 14, 16, 23]. Hauptproblem dieser Verankerungsmethode ist jedoch die nach wie vor recht hohe Verlustrate. In der Literatur finden sich Werte von 10 bis 30% [1, 4]. Zwei aktuelle Übersichtsarbeiten geben eine identische durchschnittliche Verlustrate von 16,4% an [18, 19]. Diese eingeschränkte Prognose führt unter anderem dazu, dass Mini-Implantate im Rahmen der Behandlungsplanung lediglich als Verankerung zur Lösung einzelner Behandlungsaufgaben herangezogen werden.

In der Literatur sind einige ursächliche Faktoren für einen Implantatverlust beschrieben. Zum Einen ist die Wahl der Insertionsregion von entscheidender Bedeutung. So führt die Insertion in vornehmlich spongiosen Knochen zu einer geringen Stabilität [24]. Auch eine Bedeckung des Knochens mit beweglicher Schleimhaut oder eine ausgeprägte Schleimhautdicke führen zu hohen Verlustraten [26]. Als ungünstig wird ebenfalls der Kontakt beziehungsweise eine enge Lagebeziehung zu benachbarten Zahnwurzeln angesehen [3, 11]. Im Bezug auf das Implantatdesign verschlechtern eine geringe Länge [2, 30] und ein geringer Durchmesser [15, 22] die Erfolgsrate.

Zur Senkung der Verlustrate und zur Steigerung der biomechanischen Belastbarkeit sollten diese Faktoren berücksichtigt werden. Ziel der Studie war die Untersuchung, ob die Einhaltung eines entsprechenden Protokolls die Stabilität der Mini-Implantate derart erhöht, dass mit deren Hilfe, anders als bisher,

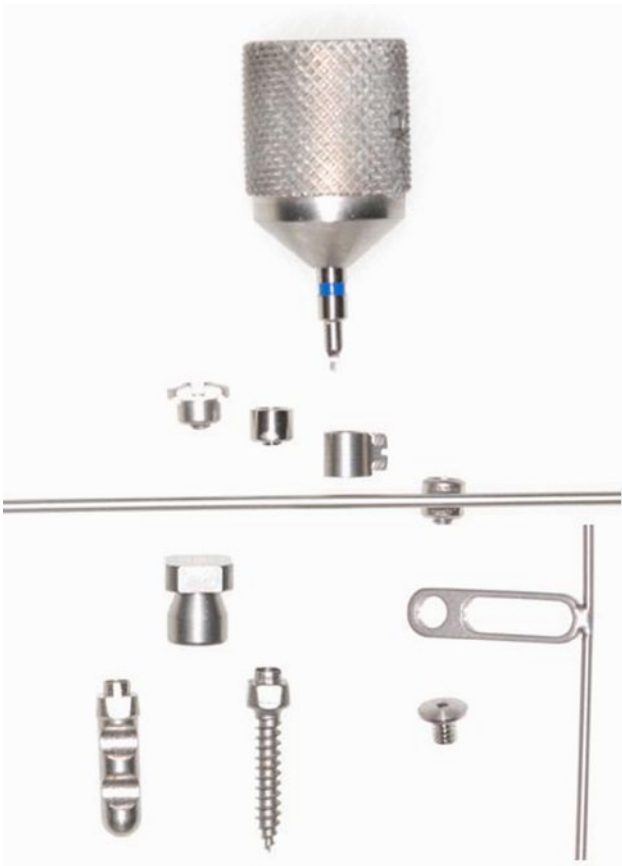


Figure 1. Benefit and Beneplate system (PSM Medical Solutions; Tuttlingen, Germany) with various abutments and plates

Abbildung 1. Benefit- und Beneplate-System (PSM Medical Solutions; Tuttlingen, Deutschland) mit verschiedenen aufschraubbaren Abutments und Platten

Methods

Patients

A total of 43 patients (27 female and 16 male, aged 14.4 ± 6.6 years) who had mini-implants that were used for anchorage to achieve more than one orthodontic treatment goal were included for analysis. Two groups were formed from these 43 patients. Group A (consecutive treatment group) included 19 patients (aged 15.1 ± 8.3 years, 12 female and 7 male), who were treated with two consecutively inserted mechanical systems. Group B (simultaneous treatment group) included 24 patients (aged 14.2 ± 6.9 years, 15 female and 9 male), treated with simultaneously inserted mechanical systems.

The criterion upon which we assigned each patient to one of the two groups was the optimal treatment course resulting from the patient's coexisting indications. Consecutive mechanical systems were, for example, selected for patients requiring distalization to create space before extruding an impacted tooth. In contrast, a simultaneous approach could be adopted when the treatment goal of impacted-tooth extrusion was combined with the need for posterior mesialization in the contralateral quadrant.

mehrere Behandlungsaufgaben gelöst werden können. Darauf aufbauend sollte geklärt werden, welche Befunde dabei sinnvoll zusammen therapiert werden und wie dazu geeignete Mechaniken konstruiert werden können. Durch den Vergleich der beobachteten Erfolgsraten sollte insbesondere die Frage geklärt werden, ob die Verwendung der Mechaniken simultan erfolgen kann oder besser konsekutiv durchgeführt werden sollte.

Methoden

Patienten

Im Rahmen dieser Studie wurden Patienten untersucht, bei denen orthodontische Mini-Implantate als Verankerung zur Lösung mehrerer Behandlungsaufgaben herangezogen wurden. Insgesamt wurden 43 Patienten, 27 weibliche und 16 männliche, in die Studie einbezogen. Das durchschnittliche Alter lag bei $14,4 \pm 6,6$ Jahren. Die 43 Patienten wurden in zwei Gruppen eingeteilt.

In Gruppe A („consecutive treatment group“) befanden sich die Patienten, die mittels zwei konsekutiv eingesetzter Mechaniken behandelt wurden. Sie bestand aus 19 Patienten, 12 weiblichen und sieben männlichen. Das Durchschnittsalter betrug $15,1 \pm 8,3$ Jahre. Die 24 übrigen Patienten, bei denen die Mechaniken simultan zu Einsatz kamen, bildeten die Gruppe B („simultaneous treatment group“). Es handelte sich um 15 weibliche und neun männliche Patienten im Alter von $14,2 \pm 6,9$ Jahren.

Die Gruppenzugehörigkeit der einzelnen Patienten ergab sich aus dem befundbezogen optimalen Behandlungsablauf. Musste beispielsweise für einen verlagerten Zahn zunächst durch Distalisierung Platz geschaffen werden, bevor eine Einordnung erfolgen konnte, wurde ein konsekutiver Einsatz der Mechaniken gewählt. Die Einordnung eines verlagerten Zahnes in Kombination mit der Mesialisierung der Seitenzähne des gegenüberliegenden Quadranten erlaubte hingegen ein simultanes Vorgehen.

Insertion der Mini-Implantate

Das Protokoll zum Einbringen der Schrauben war bei allen Patienten identisch. Als Insertionsregion diente ausschließlich der anteriore Gaumen. Mittels Schleimhautdickenmessung wurde sichergestellt, dass alle Mini-Implantate im Bereich einer 1–2 mm dicken Schleimhautschicht inseriert wurden. Diese erfolgte mittels zahnärztlicher Sonde mit aufgeschobenem Silikonstopp aus der Endodontie. Die Sonde wurde an der zu prüfenden Stelle bis auf den Knochen geführt, wobei sich der auf der Schleimhaut aufliegende Silikonstopp auf der Sonde nach oben schob. Nach Entfernen der Sonde konnte die Schleimhautdicke an der Distanz zwischen Sondenspitze und der Unterkante des Silikonstopps abgemessen werden.

Anschließend erfolgte die Vorbohrung mit einem Durchmesser von 1,3 mm auf eine Tiefe von 4 mm. Bei den verwendeten Mini-Implantaten handelte es sich um Benefit-Mini-Implantate (PSM Medical Solutions; Tuttlingen, Deutschland) (Abbildung 1). Zwei verschiedene Längen von 9,0 mm und 11,0 mm mit einem einheitlichen Durchmesser von 2,0 mm kamen zum Ein-

Table 1. Overview of coexisting treatment indications**Tabelle 1.** Überblick über die Anzahl der zu behandelnden Befundkombinationen

	Distalization/ mesialization	Rapid palatal expansion
Consecutive treatment group		
Extrusion of impacted teeth	11	0
Intrusion of molars	0	1
Rapid palatal expansion	7	–
Simultaneous treatment group		
Extrusion of impacted teeth	21	1
Intrusion of molars	2	0
Rapid palatal expansion	0	–
Total		
Extrusion of impacted teeth	32	1
Intrusion of molars	2	1
Rapid palatal expansion	7	–

Insertion of the mini-implant

The protocol for miniscrew insertion was identical in all patients. All implants were placed exclusively in the anterior palate. To ensure that all mini-implants were inserted at sites where the mucosal layer was 1–2 mm thick, a dental probe fitted with a silicone stop (as adapted from endodontics) was used to measure mucosal thickness. With the silicone stop resting on the mucosal surface, this probe was applied to the sites to be examined so that the silicone stop moved upward as the probe was advanced to the bone. The probe was then removed and mucosal thickness determined as the distance between the tip of the probe and lower edge of the silicone stop.

Subsequently the implant bed was predrilled 4 mm deep with a bur 1.3 mm in diameter. The mini-implants (Benefit; PSM Medical Solutions, Tuttlingen, Germany) are illustrated in Figure 1. Two different lengths (9.0 and 11.0 mm) were used but all shared the same diameter (2.0 mm). For clinical verification of primary stability, the insertion torque was recorded using a surgical motor (Elcomed; W&H Austria, Bürmoos, Austria). The head of the mini-implants featured internal threading, whereby the appliances could be attached on top via a non-tilting screw connection and replaced if required. A total of 80 mini-implants were, thus, inserted to offer skeletal anchorage for the therapy of these 43 patients.

Mechanical systems

The treatment goals in most of the patients included distalization or mesialization of the posterior tooth segments. Additional indications were for rapid palatal expansion, extrusion of impacted teeth, or skeletally anchored intrusion of maxillary molars (Table 1).

zur klinischen Überprüfung der Primärstabilität wurde das Eindrehmoment mit Hilfe eines Chirurgiemotors (Elcomed; W & H; Salzburg, Österreich) aufgezeichnet. Die Mini-Implantate verfügen über ein Innengewinde im Implantatkopf, sodass die Geräten kippsicher aufgeschraubt und wenn erforderlich ausgetauscht werden konnten. Insgesamt wurden im Rahmen der Behandlung der 43 Patienten 80 Mini-Implantate zur skelettalen Verankerung inseriert.

Mechaniken

Bei den zu lösenden Behandlungsaufgaben handelte es sich in den meisten Fällen um die Distalisierung oder Mesialisierung der Seitenzahnreihen, zusätzlich erfolgte eine Gaumennahterweiterung, die Einordnung verlagelter Zähne oder die skelettal verankerte Intrusion der oberen Molaren (Tabelle 1).

Bei den 19 Patienten der Gruppe A kamen die verschiedenen Mechaniken konsekutiv zum Einsatz. Dabei handelte es sich in 17 Fällen um nacheinander auf die Mini-Implantate aufgeschraubte Einzelmechaniken. In zwei Fällen wurden Kombinationsgeräte verwendet, deren Mechaniken konsekutiv eingesetzt wurden. Bei 15 Patienten wurden die Mechaniken auf zwei Mini-Implantaten verankert, bei vier Patienten auf singulären. Insgesamt wurden 34 Mini-Implantate zur Verankerung eingesetzt.

Bei den 24 Patienten der Gruppe B wurden Kombinationsgeräte verwendet, deren Mechaniken simultan eingesetzt wurden. Zweiundzwanzig dieser Geräte waren auf zwei Mini-Implantaten verankert, zwei auf je einem. Insgesamt wurden 46 Mini-Implantate in Gruppe B inseriert.

Auswertung

In beiden Gruppen wurde evaluiert, ob die Behandlungsziele mittels der Mini-Implantat-getragenen Apparaturen erreicht werden konnten. Definiert wurde dies als vollständige Durchführung der geplanten, mittels skelettaler Verankerung realisierten Behandlungsaufgaben. Im Einzelnen bedeutet dies die Einordnung eines verlagerten Zahnes bis auf das Niveau der Okklusionsebene, die Distalisierung um den gesamten Betrag des Platzmangels, die Mesialisierung bis zum Lückenschluss, die Molarenintrusion bis zum Erzielen eines regelrechten Overbites und die transversale Erweiterung im Sinne einer Gaumennahterweiterung mit einer Überkorrektur um 30%. Die Beurteilung erfolgte mittels klinischer Untersuchung und Vermessung von Zwischenmodellen. Weiter wurde die Verlustrate der Mini-Implantate im Sinne von Lockerungen ermittelt. Überprüft wurde anhand klinischer Untersuchungen und der Auswertung der routinemäßig erstellten Röntgenbilder (OPG, FRS), ob es zu unerwünschten Zahnbewegungen im Sinne eines Verankerungsverlustes gekommen war.

Die Ergebnisse wurden auf statistische Unterschiede zwischen den Gruppen getestet. Dazu wurde der exakte Test nach Fisher verwendet.

Zudem wurden die Behandlungszeiten bis zur Lösung aller Behandlungsaufgaben bestimmt.

Schließlich wurden die ermittelten Daten der Gruppen miteinander verglichen. Nach Testung auf Normalverteilung (Sha-

Table 2. Success rates for mini-implant survival, anchorage stability, and achievement of treatment goals**Tabelle 2.** Erfolgsquoten im Bezug auf die Überlebensrate der Mini-Implantate, die Stabilität der Verankerung und das Erreichen des Behandlungsziels

	n	Implants	Failed implants	Success rate (%)	Fisher's exact test	Anchorage loss	Success rate (%)	Fisher's exact test	Treatment goals	Success rate (%)	Fisher's exact test
Consecutive treatment	19	34	3	91.2		1	94.7		18	94.7	
Simultaneous treatment	24	46	2	95.8	p=0.646	1	95.8	p=1.000	24	100	p=0.442
Total	43	80	5	93.8		2	95.4		42	97.7	

The 19 patients in group A were treated consecutively with different mechanical systems. Single-purpose appliances screwed to the mini-implants one after the other were used in 17 cases, while multi-purpose appliances with consecutively inserted mechanical systems were used in the remaining 2 cases. In 15 patients, the various appliances were anchored on two mini-implants, while only one mini-implant was used in the remaining 4 patients. Overall, 34 mini-implants were used in group A.

The 24 patients in group B were treated with multi-purpose appliances in which different mechanical systems were used simultaneously. Twenty-two of these appliances were anchored on two mini-implants, while two were anchored on one mini-implant. Overall, 46 mini-implants were used in group B.

Analysis

Both groups were assessed as to whether the treatment goals were achieved by employing appliances retained by mini-implants, namely whenever the therapeutic tasks involving skeletal anchorage had been carried out entirely as planned. These specific tasks included the extrusion of impacted teeth up to the occlusal plane level, distalization by the entire extent of previous crowding, mesialization by the extent of previous gap closure, intrusion of molars resulting in a normal overbite, and transversal (rapid palatal) expansion with overcorrection by 30%. These were evaluated in clinical examinations and measurements were taken on intermediate casts. The failure rate, i.e., mobility of the mini-implants, was also determined. Any undesirable tooth movements related to anchorage loss were identified during clinical examinations and by analyzing routinely obtained radiographs (orthopantomograms, cephalograms). Fisher's exact test was used to analyze the results for statistically significant group differences.

Also determined were the durations of treatment until all therapeutic goals were attained. Each group's data were then compared. After testing for normal distribution (Shapiro–Wilk test), a t-test for independent samples was performed to analyze whether the treatment durations in both groups differed significantly. Results were considered significant at $p < 0.05$ and highly significant at $p < 0.001$. All statistical calculations were per-

piro-Wilk-Test) wurden die Behandlungszeiten der beiden Gruppen mittels T-Test für unabhängige Stichproben auf signifikante Differenzen untersucht. Es gelten die Signifikanzniveaus $p < 0,05$ (signifikant) und $p < 0,001$ (hoch signifikant). Die statistischen Berechnungen wurden mittels SPSS® (IBM; Armonk, USA) Version 19 durchgeführt.

Ergebnisse

Der Vergleich der beiden Patientengruppen zeigte keine statistischen Unterschiede bezüglich der Alters- oder der Geschlechterverteilung.

Bei der Insertion der Mini-Implantate lagen alle Eindrehmomente in einem Bereich zwischen 10 Ncm und 25 Ncm.

Überlebensrate der Mini-Implantate

Insgesamt blieben 75 der 80 inserierten Mini-Implantate stabil (Erfolgsrate: 93,8%; Tabelle 2). Drei Lockerungen traten in Gruppe A auf. Dabei handelte es sich in zwei Fällen um singuläre Mini-Implantate, in einem Fall lockerte sich eines von zwei gekoppelten Mini-Implantaten. Die Erfolgsrate in Gruppe A lag bei 91,2%. In Gruppe B zeigten zwei miteinander gekoppelte Mini-Implantate eine erhöhte Mobilität (Erfolgsrate: 95,8%).

Der Unterschied zwischen den beiden Gruppen bezüglich der Erfolgsrate war statistisch nicht signifikant ($p = 0,646$).

Erreichen des Behandlungsziels

Das Behandlungsziel konnte lediglich bei einem Patienten der Gruppe A nicht erreicht werden (Erfolgsrate: 94,7% Gruppe A, 100% Gruppe B). Selbst mit Hilfe der genannten, zum Teil nur leicht gelockerten Mini-Implantate konnte die Behandlung bei den anderen Patienten erfolgreich zu Ende geführt werden. Der Vergleich zwischen beiden Gruppen zeigte keine statistisch signifikanten Differenzen ($p = 0,442$).

Verankerungsverlust

Zum Verankerungsverlust im Sinne unerwünschter Zahnbewegungen bei indirekter Verankerung kam es in beiden Gruppen bei jeweils einem Patienten (Erfolgsrate: Gruppe A: 94,7%;

Table 3. Mean treatment durations in both patient groups

	Mean duration \pm SD	t-test
Consecutive treatment group	14.4 \pm 3.5 months	
Simultaneous treatment group	10.0 \pm 4.2 months	p = 0.001

formed with appropriate software (SPSS® Statistics version 19; IBM, Armonk, NY, USA).

Results

Comparison of the two patient groups yielded no statistical differences in age or sex distribution. All insertion torque values ranged between 10 and 25 Ncm at the time of mini-implant placement.

Survival rate of mini-implants

Of the 80 mini-implants inserted, a total of 75 remained stable, yielding a 93.8% overall success rate (Table 2). Group A included 3 cases of implant mobility, 2 of which affected solitary mini-implants while 1 involved a mini-implant connected to a second mini-implant. Thus, this parameter's success rate was 91.2% in group A. Two interconnected mini-implants revealed increased mobility in group B (success rate 95.8%). The intergroup difference between these implant success rates was not statistically significant ($p=0.646$).

Achievement of treatment goals

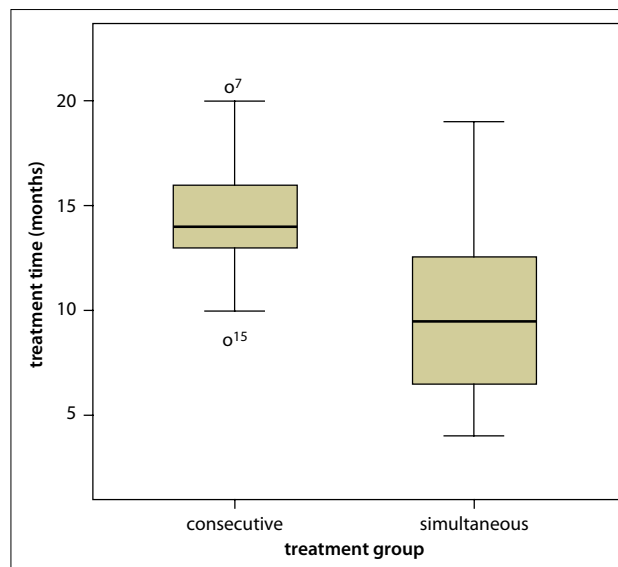
Treatment goals were successfully achieved in all but one patient in group A, yielding success rates of 94.7% in group A and 100% in group B. Our finding that treatment had been successfully completed in all other patients even included the aforementioned often mild cases of implant mobility. The intergroup difference between these success rates was not statistically significant ($p=0.442$).

Anchorage loss

Undesirable tooth movements in the presence of indirect anchorage were observed in one patient per group. Thus, the success rates for this parameter were 94.7% in group A and 95.4% in group B. Statistical analysis revealed no significant intergroup difference ($p=1.000$).

Comparison of treatment durations

The mean durations of treatment were 14.4 \pm 3.5 months in group A versus 10.0 \pm 4.2 months in group B (Table 3, Figure 2). To facilitate intergroup comparison, the results were first examined for normal distribution. The Shapiro–Wilk test performed to that end confirmed that the values were normally distributed in both groups (group A: $p=0.237$; group B: $p=0.239$). A t-test for independent samples revealed that the

**Figure 2.** Graphic representation of treatment durations in both patient groups**Abbildung 2.** Graphische Darstellung der Behandlungsdauer beider Patientengruppen

Gruppe B: 95,4%). Die statistische Analyse ergab keine signifikanten Unterschiede ($p=1,000$).

Vergleich der Behandlungsdauer

Die durchschnittliche Behandlungszeit betrug in Gruppe A 14,4 \pm 3,5 Monate, in Gruppe B 10,0 \pm 4,2 Monate (Tabelle 3, Abbildung 2). Zum Vergleich der beiden Gruppen wurden die Ergebnisse zunächst auf das Vorliegen einer Normalverteilung mittels Shapiro-Wilk-Test überprüft. Dieser ergab, dass die Werte beider Gruppen normal verteilt waren (Gruppe A: $p=0,237$; Gruppe B: $p=0,239$). Der statistische Vergleich der mittleren Behandlungsdauer mittels T-Test für unabhängige Stichproben zeigte eine hoch signifikant kürzere Behandlungszeit für Gruppe B ($p=0,001$).

Diskussion

Die insgesamt hohen Erfolgsraten in beiden Gruppen lassen darauf schließen, dass das gewählte Protokoll eine Mehrfachnutzung orthodontischer Mini-Implantate für verschiedene Aufgaben ermöglicht. Bei der Realisierung der skelettalen Verankerung wurde bewusst versucht, die aus der Literatur bekannten Risikofaktoren für einen Implantatverlust zu eliminieren. Als Insertionsregion diente ausschließlich der anteriore Gaumen; dort finden sich eine ausreichende Knochendicke und -qualität [8, 10]. Zudem ist der Gaumen mit befestigter Schleimhaut bedeckt. Wenige Millimeter posterior der Papilla inzisiva ist nahezu immer ein Bereich mit geringer Schleimhautdicke zu finden [9]. Von großer Bedeutung ist die vor der Insertion durchgeführte Schleimhautdickenmessung zur Identifizierung dieser Region.

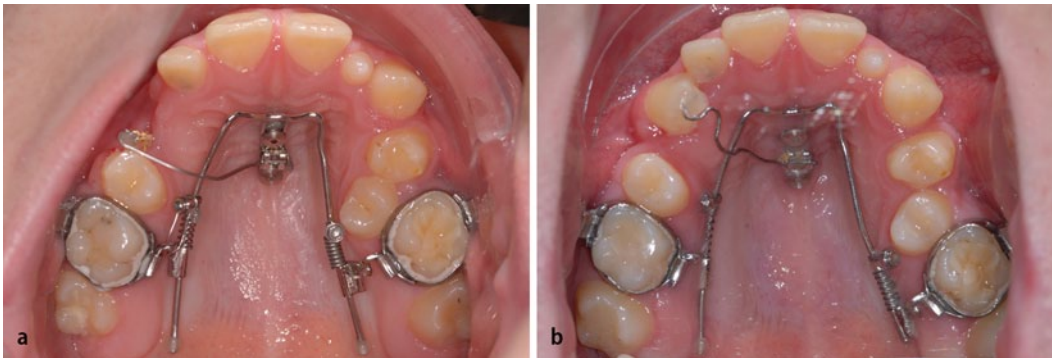


Figure 3. Case of a 15-year-old boy with an impacted upper right canine and mesial migration of the left molars. Two mechanical systems were used simultaneously. Note the situations **a** after insertion of a multi-purpose appliance for canine extrusion and distalization of the left molars, and **b** after 9 months with the active sectional wire for extrusion modified to accomplish protrusion

Abbildung 3. Fünfzehn jähriger Patient mit verlagertem Zahn 13 und Aufwanderung der linken Seitenzahnreihe; simultaner Einsatz zweier Mechaniken. **a** Zustand nach Einsetzen einer Kombinationsapparat zur Extrusion des Zahnes 13 und zur Distalisierung der linken Seitenzahnreihe. **b** Situation nach 9 Monaten; der aktive Teilbogen zur Extrusion wurde zu einer Protrusionsfeder modifiziert

shorter mean duration of treatment in group B than in group A was highly significant ($p=0.001$).

Discussion

The high overall success rates in both groups reveal that the multipurpose use of orthodontic mini-implants attains more than one treatment goal in the same patients and is, thus, a viable option according to the protocol we followed. Our approach to implementing skeletal anchorage was guided by the deliberate attempt to eliminate the risk factors for implant failure known from the literature. All implants were exclusively placed in the area of the anterior palate, which is characterized by adequate bone quantity and quality [8, 10]. The palate is also covered by attached mucosa, and an area of low mucosal thickness is almost always present a few millimeters posterior to the incisal papilla [9]. It is essential to identify this region by measuring its mucosal thickness before inserting the implant.

We deliberately selected implant designs with relatively large dimensions, as mini-implants of greater length and diameter are known to offer better primary stability and higher success rates [29]. The insertion torques of 10–25 Ncm measured during implant placement confirm that our baseline situation was characterized by high primary stability and hence prognostically beneficial [20].

Another factor presumably contributing to the high success rate was the non-tilting screw connection between the mini-implants and appliances [25]. This type of connection enhances anchorage quality, as the only way for the mini-implant to become displaced would be by bodily migration through the bone. Presumably, this effect becomes even more pronounced when two mini-implants are firmly connected in this manner [27]. Moreover, this type of connection makes it simple to replace any consecutive single-purpose appliances.

This protocol to establish skeletal anchorage was identical in both groups, thus, ensuring good comparability of the results

Im Bezug auf das Implantatdesign wurden bewusst größer dimensionierte Mini-Implantate gewählt, da eine größere Länge und Durchmesser zu einer höheren Primärstabilität und höheren Erfolgsraten führen [29]. Die im Rahmen dieser Untersuchung bei der Insertion ermittelten Eindrehmomente im Bereich von 10 bis 25 Ncm bestätigen eine hohe Primärstabilität und stellen somit eine prognostisch positive Ausgangssituation dar [20].

Ein weiterer Faktor für die hohe Erfolgsrate ist vermutlich die kippstabile Schraubverbindung zwischen Mini-Implantat und Mechanik [25]. Diese Art der Kopplung erhöht die Verankerungsqualität, da das Mini-Implantat nicht kippen kann, sondern körperlich wandern müsste. Vermutlich tritt dieser Effekt noch stärker in den Vordergrund, wenn auf diese Weise zwei Mini-Implantate stabil gekoppelt wurden [27]. Zudem ermöglicht die Kopplung ein einfaches Austauschen der konsekutiv verwendeten Einzelapparaturen.

Dieses Protokoll zur Schaffung einer skelettalen Verankerung war in beiden Gruppen identisch und gewährleistet so eine gute Vergleichbarkeit der Ergebnisse beider Gruppen im Bezug auf die darauf basierenden Mechaniken. Die Kontrolle des Eindrehmomentes stellte sicher, dass nur primärstabile Mini-Implantate in die Untersuchung einbezogen wurden.

Die Überlebensraten der Mini-Implantate erwiesen sich mit Werten von 91,18 und 95,65% in beiden Gruppen als vergleichsweise hoch. Sie liegen deutlich über der in den beiden aktuell publizierten Metaanalysen ermittelten Quote von 83,6% [18, 19].

Die Verlustrate der Mini-Implantate war in Gruppe A leicht höher als in Gruppe B. Dieses Ergebnis war zunächst nicht zu erwarten, da die Mini-Implantate vermutlich einer geringeren Belastung ausgesetzt waren als die Mini-Implantate mit zwei gleichzeitig eingesetzten Mechaniken. Eine mögliche Ursache könnte im erforderlichen Austausch der Mechaniken liegen. Nach Erreichen des Behandlungsziels der ersten Mechanik, wird diese abgeschraubt. Das Abschrauben der Mechanik erzeugt ein Drehmoment in Ausdrehrichtung des Mini-Implantates. Dies könnte die Stabilität negativ beeinflussen. Des Weiteren stellt die Reini-

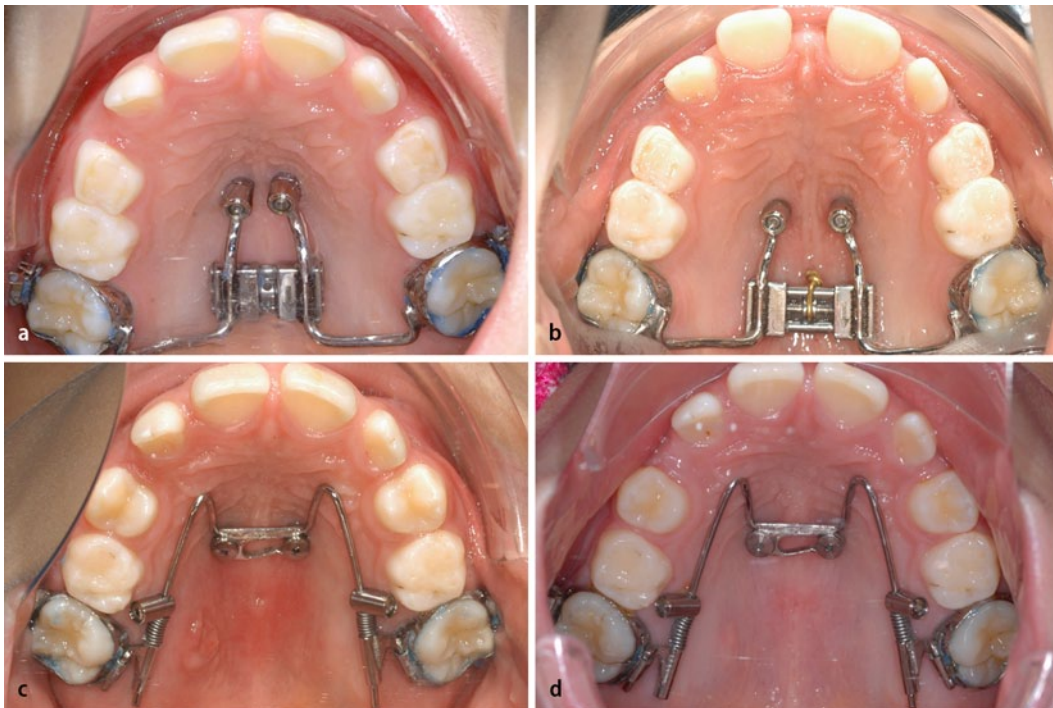


Figure 4. Case of a 9-year-old girl with a narrow maxilla and bilateral mesial migration of the molars. Two single-purpose appliances were used consecutively. Note the situations **a** after insertion of a hybrid hyrax [28] for rapid maxillary expansion, **b** after completion of expansion, **c** following insertion of the distalization appliance, and **d** shortly before completion of distalization

Abbildung 4. Neunjährige Patientin mit Schmal kiefer und beidseitiger Aufwanderung der Seitenzahnreihen; konsekutiver Einsatz zweier Einzelmechaniken. **a** Zustand nach Einsetzen einer Hybrid-Hyrax [28] zur skeletalen Erweiterung des Oberkiefers. **b** Situation nach Abschluss der Erweiterung. **c** Zustand nach Einsetzen der Distalisierungsapparatur. **d** Situation kurz vor Abschluss der Distalisierung

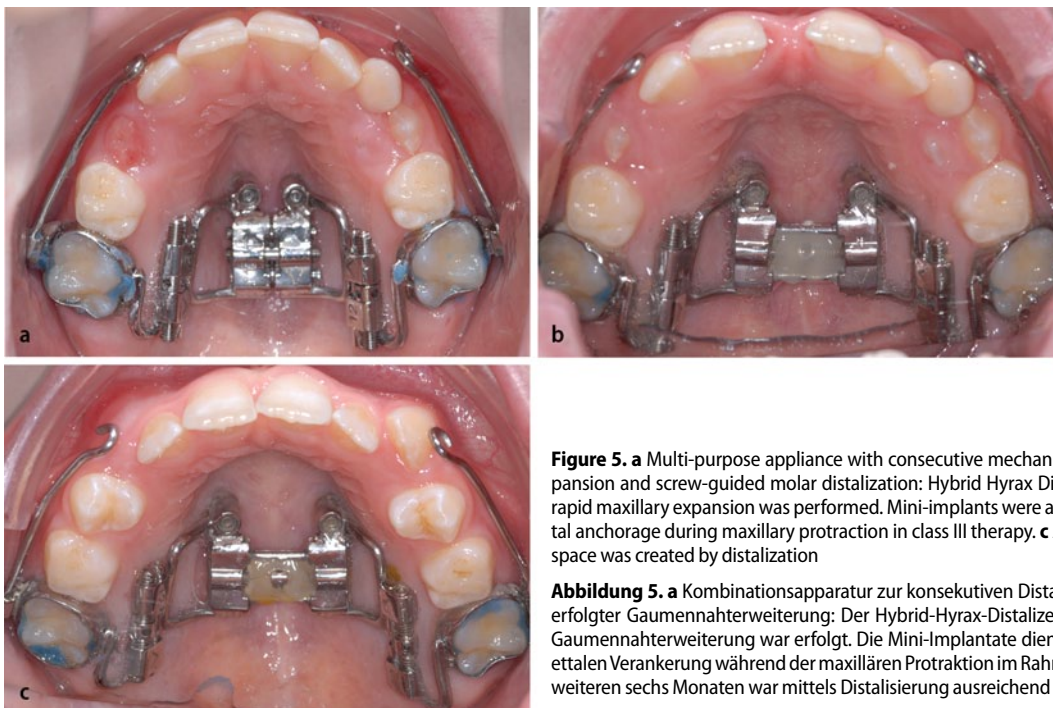


Figure 5. a Multi-purpose appliance with consecutive mechanical system for rapid maxillary expansion and screw-guided molar distalization: Hybrid Hyrax Distalizer. **b** Situation after 20 days: rapid maxillary expansion was performed. Mini-implants were additionally used for sagittal skeletal anchorage during maxillary protraction in class III therapy. **c** After another 6 months, sufficient space was created by distalization

Abbildung 5. a Kombinationsapparatur zur konsekutiven Distalisierung mittels Schrauben nach erfolgter Gaumennahterweiterung: Der Hybrid-Hyrax-Distalizer. **b** Situation nach 20 Tagen: Die Gaumennahterweiterung war erfolgt. Die Mini-Implantate dienten zusätzlich zur sagittalen skeletalen Verankerung während der maxillären Protraktion im Rahmen der Klasse III-Therapie. **c** Nach weiteren sechs Monaten war mittels Distalisierung ausreichend Platz geschaffen

obtained in both groups concerning the mechanical systems connected on top of the skeletal anchors. By verifying their insertion torque, we could guarantee that only mini-implants offering primary stability were included in the investigation.

The survival rates associated with the mini-implants was comparatively high in both groups (91.18% and 95.65%). These values are considerably higher than the failure rate of 83.6% determined in two recent meta-analyses [18, 19]. Our having observed a slightly higher implant failure rate in group A than in group B was not an anticipated result per se. After all, it was reasonable to assume that the mini-implants in group A had been exposed to a lower load than the mini-implants in group B supporting simultaneous multi-purpose appliances. One potential reason for this finding could be the need to replace the mechanical systems for consecutive use in group A.

Once one specific treatment goal is attained, the mechanical system is screwed off the mini-implants. Unscrewing the mechanical system creates an unscrewing moment of force on the mini-implants, which may compromise their stability. Moreover, the task of cleaning the palatal region surrounding the mini-implants is relatively challenging for patients, thus, the longer treatment duration in group A would carry a higher risk of implant mobility resulting from peri-implant inflammation.

Thus, while no significant differences were observed in terms of implant failure, loss of anchorage, or the achievement of treatment goals, we observed that the simultaneous use of different mechanical systems significantly reduced treatment duration. Therefore, our results argue in favor of striving for simultaneous applications of this type.

However, special consideration should be given to coexisting indications in each patient to determine whether they can be reasonably treated concurrently. For example, it must be determined whether it is realistically possible to distalize a posterior tooth segment simultaneously when extruding an impacted tooth in the contralateral quadrant (Figure 3). Conversely, if a narrow maxilla is diagnosed in conjunction with mesial migration of the posterior teeth, rapid palatal expansion should be performed first (Figure 4). Here, a consecutive approach is indicated, because a cortical anchorage effect of the molars in the buccal compact bone would impede distalization. It might be possible to design a multi-purpose appliance with consecutive insertion of the mechanical systems to treat such a situation (Figure 5). This would both avoid the risk of mobilizing the implant by unscrewing the appliance and eliminate any major needs for appliance modification. Since incorporating more than one mechanical system could lead to bulky appliances, two delicate, single-purpose appliances used consecutively may be preferable for patient comfort.

Conclusion

The use of orthodontic mini-implants to achieve several treatment goals concurrently appears feasible when the aforementioned protocol for skeletal anchorage is followed. In patients presenting more than one treatment indication, a multi-pur-

gung der Region um die im Gaumen inserierten Mini-Implantate relativ hohe Anforderungen an den Patienten.

Die längere Behandlungsdauer in Gruppe A erhöht so das Risiko einer periimplantären Infektion mit der Gefahr der Lockerung.

Insgesamt zeigten sich keine signifikanten Unterschiede bezüglich Implantatverlust, Verankerungsverlust und Erreichen des Behandlungszieles. Die Behandlungsdauer ist jedoch bei simultaner Nutzung der Mechaniken signifikant kürzer. Die Ergebnisse lassen daher die simultane Nutzung erstrebenswert erscheinen. Bei der Planung muss jedoch berücksichtigt werden, ob die simultane Nutzung bei vorliegender Befundkombination sinnvoll ist. So kann die Distalisierung einer Seitenzahnreihe simultan zur Einordnung eines verlagerten Zahnes im gegenüberliegenden Quadranten erfolgen (Abbildung 3). Jedoch sollte zum Beispiel bei Aufwanderung der Seitenzähne in Kombination mit einem Schmalkiefer zunächst die Gaumennahterweiterung erfolgen (Abbildung 4). Durch den kortikalen Verankerungseffekt der Molaren in der bukkalen Kompakta würde die Distalisierung behindert. Jedoch kann in solchen Fällen unter Umständen ein Kombinationsgerät konstruiert werden, dessen Mechaniken konsekutiv zum Einsatz kommen (Abbildung 5). So wird die Gefahr der Lockerung durch das Abschrauben der ersten Apparatur vermieden, und der Aufwand des Umbaus entfällt.

Die Konstruktion von Kombinationsmechaniken führt unter Umständen jedoch zu voluminösen Geräten. So kann es im Sinne des Patientenkomforts angezeigt sein, zwei grazile Einzelmechaniken nacheinander zum Einsatz zu bringen.

Schlussfolgerungen

Unter Verwendung des beschriebenen Protokolls zur skeletalen Verankerung scheint es möglich zu sein, kieferorthopädische Mini-Implantate zur Lösung mehrerer Behandlungsaufgaben zu nutzen, um die Behandlungszeit zu verkürzen.

Wenn die Befundkombination es zulässt, ist eine Kombinationsapparatur mit simultanem Einsatz der Mechaniken zwei konsekutiv eingesetzten Einzelapparaturen vorzuziehen. Andernfalls ist unter Berücksichtigung der Konstruktionsmöglichkeiten die Anwendung einer Kombinationsapparatur mit konsekutivem Einsatz der Mechaniken in Betracht zu ziehen.

Interessenkonflikt

Der korrespondierende Autor gibt für sich und seine Koautoren an: PD Dr. Wilmes ist beratend tätig für die Firma PSM Medical Solutions.

pose appliance to shorten treatment time with simultaneously inserted mechanical systems should be preferred over two consecutive single-purpose appliances if warranted by the nature of these indications. Otherwise, within the limitations of current design options, the use of a multi-purpose appliance with consecutively inserted mechanical systems should be considered.

Conflict of interest

On behalf of all authors, the corresponding author states the following: PD Dr. Wilmes is a consultant for the company PSM Medical Solutions.

References

- Berens A, Wiechmann D, Dempf R (2006) Mini- and micro-screws for temporary skeletal anchorage in orthodontic therapy. *J Orofac Orthop* 67:450–458
- Chen CH, Chang CS, Hsieh CH et al (2006) The use of microimplants in orthodontic anchorage. *J Oral Maxillofac Surg* 64:1209–1213
- Chen YH, Chang HH, Chen YJ et al (2008) Root contact during insertion of mini-screws for orthodontic anchorage increases the failure rate: an animal study. *Clin Oral Implants Res* 19:99–106
- Cheng SJ, Tseng IY, Lee JJ et al (2004) A prospective study of the risk factors associated with failure of mini-implants used for orthodontic anchorage. *Int J Oral Maxillofac Implants* 19:100–106
- Diedrich P (1993) Different orthodontic anchorage systems. A critical examination. *Fortschr Kieferorthop* 54:156–171
- Freudenthaler JW, Haas R, Bantleon HP (2001) Bicortical titanium screws for critical orthodontic anchorage in the mandible: a preliminary report on clinical applications. *Clin Oral Implants Res* 12:358–363
- Fritz U, Ehmer A, Diedrich P (2004) Clinical suitability of titanium microscrews for orthodontic anchorage—preliminary experiences. *J Orofac Orthop* 65:410–418
- Kanomi R (1997) Mini-implant for orthodontic anchorage. *J Clin Orthod* 31:763–767
- Kim HJ, Yun HS, Park HD et al (2006) Soft-tissue and cortical-bone thickness at orthodontic implant sites. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 130:177–182
- Kokich VG, Mathews DP (1993) Surgical and orthodontic management of impacted teeth. *Dent Clin North Am* 37:181–204
- Kuroda S, Yamada K, Deguchi T et al (2007) Root proximity is a major factor for screw failure in orthodontic anchorage. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 131:68–73
- Lai EH, Yao CC, Chang JZ et al (2008) Three-dimensional dental model analysis of treatment outcomes for protrusive maxillary dentition: comparison of headgear, miniscrew, and miniplate skeletal anchorage. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 134:636–645
- Melsen B, Bosch C (1997) Different approaches to anchorage: a survey and an evaluation. *Angle Orthod* 67:23–30
- Melsen B, Costa A (2000) Immediate loading of implants used for orthodontic anchorage. *Clin Orthod Res* 3:23–28
- Miyawaki S, Koyama I, Inoue M et al (2003) Factors associated with the stability of titanium screws placed in the posterior region for orthodontic anchorage. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 124:373–378
- Park HS, Bae SM, Kyung HM et al (2001) Micro-implant anchorage for treatment of skeletal Class I bialveolar protrusion. *J Clin Orthod* 35:417–422
- Paulson RC, Speidel TM, Isaacson RJ (1970) A laminagraphic study of cuspid retraction versus molar anchorage loss. *Angle Orthod* 40:20–27
- Schatzle M, Mannchen R, Zwahlen M et al (2009) Survival and failure rates of orthodontic temporary anchorage devices: a systematic review. *Clin Oral Implants Res* 20:1351–1359
- Stanford N (2011) Mini-screws success rates sufficient for orthodontic treatment. *Evid Based Dent* 12:19
- Su YY (2009) Primary stability of orthodontic mini-implants: analysis of biomechanical properties and clinical relevance. Dissertation Medizinische Fakultät. Heinrich-Heine-Universität, Düsseldorf, Germany
- Wehrbein H, Merz BR, Diedrich P et al (1996) The use of palatal implants for orthodontic anchorage. Design and clinical application of the orthosystem. *Clin Oral Implants Res* 7:410–416
- Wiechmann D, Meyer U, Buchter A (2007) Success rate of mini- and micro-implants used for orthodontic anchorage: a prospective clinical study. *Clin Oral Implants Res* 18:263–267
- Wilmes B (2008) Fields of application of mini-implants. In: Ludwig B, Baumgartel S, Bowmann J (eds) *Mini-implants in orthodontics: innovative anchorage concepts*. Quintessence, Berlin, pp 91–122
- Wilmes B, Drescher D (2011) Impact of bone quality, implant type, and implantation site preparation on insertion torques of mini-implants used for orthodontic anchorage. *Int J Oral Maxillofac Surg* 40:697–703
- Wilmes B, Drescher D (2008) A miniscrew system with interchangeable abutments. *J Clin Orthod* 42(10):574–580, 595
- Wilmes B, Drescher D (2009) Impact of insertion depth and predrilling diameter on primary stability of orthodontic mini-implants. *Angle Orthod* 79:609–614
- Wilmes B, Drescher D, Nienkemper M (2009) A miniplate system for improved stability of skeletal anchorage. *J Clin Orthod* 43:494–501
- Wilmes B, Nienkemper M, Drescher D (2010) Application and effectiveness of a mini-implant- and tooth-borne rapid palatal expansion device: the hybrid hyrax. *World J Orthod* 11:323–330
- Wilmes B, Ottenstreuer S, Su YY et al (2008) Impact of implant design on primary stability of orthodontic mini-implants. *J Orofac Orthop* 69:42–50
- Wilmes B, Rademacher C, Olthoff G et al (2006) Parameters affecting primary stability of orthodontic mini-implants. *J Orofac Orthop* 67:162–174

Correspondence address

Dr. Manuel Nienkemper
 Poliklinik für Kieferorthopädie
 Universitätsklinikum Düsseldorf
 Moonenstr. 5,
 40225 Düsseldorf, Germany
 e-mail: Manuel.Nienkemper@uni-duesseldorf.de