

A New Bracket System for Lingual Orthodontic Treatment

Part 1: Theoretical Background and Development

Ein neues Bracketsystem für die Lingualtechnik

Teil 1: Theoretischer Hintergrund und Entwicklung

Dirk Wiechmann¹

Abstract

Background and Method: This paper presents a new lingual bracket system differing fundamentally both in design and in manufacturing methods from existing appliances. Using state-of-the-art CAD/CAM technology, the two normally separate processes of bracket production and bracket positioning are fused into one unit. In this process, the demand for maximum individuality with simultaneously minimized space requirements is put consistently into practice.

Results and Conclusion: Improved patient comfort, simplified rebonding in the event of bracket loss, and enhanced finishing precision are the improvements resulting for the course of treatment. In addition, bracket manufacture by a Rapid Prototyping technique permits direct transfer to clinically purposeful further developments.

Key Words: Lingual orthodontics · Lingual bracket system · Bracket manufacture · Individualized bracket base · Vertical slot · Patient comfort

Zusammenfassung

Hintergrund und Methode: In diesem Artikel wird ein neues linguales Bracketsystem vorgestellt, das sich von den bekannten Apparaturen sowohl in der Konzeption als auch in der Herstellung grundlegend unterscheidet. Die beiden gewöhnlich separat ablaufenden Prozesse der Bracketfertigung und Bracketpositionierung werden mit Hilfe moderner CAD/CAM-Technologie zur einer Einheit verschmolzen. Die Forderung nach maximaler Individualität bei gleichzeitig minimalem Platzbedarf wird dabei konsequent umgesetzt.

Ergebnisse und Schlussfolgerung: Verbesselter Patientenkomfort, einfacheres Nachkleben im Falle eines Bracketverlustes und präziseres Finishing sind die für den Behandlungsverlauf resultierenden Verbesserungen. Die Bracketherstellung in einem Rapid-Prototyping-Verfahren ermöglicht zudem die unmittelbare Umsetzung klinisch sinnvoller Weiterentwicklungen.

Schlüsselwörter: Lingualtechnik · Linguales Bracket-system · Bracketherstellung · Individuelle Bracketbasis · Vertikaler Slot · Patientenkomfort

¹ Department of Orthodontics, University of Münster, Germany; Private practice, Bad Essen, Germany.

Received: January 3, 2002; accepted: March 4, 2002

Introduction

The trend to ever-increasing individualization of orthodontic appliances runs like a thread through the history of fixed appliance systems. In the course of development from the first standard edgewise bracket to the fully preprogrammed appliance, not only did first-, second- and third-order bracket slot alignment undergo constant optimization, but the contour of the relevant bracket bases was also adapted increasingly to the respective tooth shape. To date, this development has resulted in bracket systems individualized according to mean values [2, 3, 13]. In contrast to labial appliances, lingual appliances require extensive individualization on account of the greater variability of the lingual tooth surfaces [1, 4, 6, 11, 12, 20]. As positioning inaccuracies moreover have a substantially greater impact due to the greater distance of the archwire from the vestibular surface of the teeth, most laboratory processes designed for the positioning of lingual brackets are based on the manufacture of individualized set-ups [11, 12, 20], with prefabricated brackets still being used. In the innovative CAD/CAM-based manufacturing process presented below, bracket manufacture and bracket positioning, two procedures previously separated from the very outset, are fused into one unit. The outcome is an individualized bracket system forming a unified whole.

Development and Manufacture

The new system is based on digital registration of the malocclusion situation. The brackets are then individually designed and optimally positioned in the computer. State-of-the-art Rapid Prototyping technology is used for the actual manufacturing of the lingual brackets. The single production stages are detailed below.

Impression-Taking and Set-Up

Clinically, a two-phase silicone impression is first taken [22]. The casts produced from this impression are used to prepare an individualized target set-up [20, 22].

Scanning the Tooth Surface with a 3-D Scanner

A high-resolution optical 3-D scanner (GOM, Braunschweig, Germany) permits non-contact scanning of the therapeutic set-up. As with human perception, the 3-D scanner has to be presented with the model from various perspectives for a complete three-dimensional representation to be obtained. The outcome is a compound surface consisting of many thousands of minute triangles (Standard Triangulation Language, STL surface) that can be turned, observed, and processed with appropriate design software in the computer (Figures 1a and b). Prior to further processing, the arch to be bonded is aligned optimally to the later slot plane. This virtual procedure is the digital counterpart of the corresponding step in the patented Transfer Optimised Positioning System [20].

Einleitung

Der Trend zur immer größeren Individualisierung der Behandlungsapparatur zieht sich wie ein roter Faden durch die Geschichte der Multiband-Multibracket-Systeme. Auf dem Weg vom ersten Standard-Edgewise-Bracket bis zur vollständig vorprogrammierten Apparatur wurde nicht nur die Ausrichtung des Bracketslots in erster, zweiter und dritter Ordnung immer weiter optimiert, sondern auch die Kontur der dazugehörigen Bracketbasen zunehmend der jeweiligen Zahnform angepasst. Das Ergebnis dieser Entwicklung bis heute sind nach Durchschnittswerten individualisierte Bracketssysteme [2, 3, 13]. Im Gegensatz zu den labialen ist bei den lingualen Apparaturen aufgrund der größeren Variabilität der lingualen Zahnoberflächen eine weitergehende Individualisierung notwendig [1, 4, 6, 11, 12, 20]. Da zudem durch den größeren Abstand des Bogens von den Labialflächen der Zähne Ungenauigkeiten bei der Positionierung wesentlich größere Auswirkungen haben, basieren die meisten Laborprozesse zur Positionierung lingualer Brackets auf der Herstellung eines individuellen Set-ups [11, 12, 20]. Nach wie vor werden dabei konfektionierte Brackets verwendet. In dem im Folgenden vorgestellten neuartigen Fertigungsprozess, der auf moderner CAD/CAM-Technologie basiert, verschmelzen die vorher voneinander getrennten Verfahren der Bracketherstellung und der Bracketpositionierung zu einer Einheit. Das Ergebnis ist ein individuelles Bracketssystem aus einem Guss.

Entwicklung und Herstellung

Das neue System basiert auf einer digitalen Erfassung der Malokklusionssituation. Die Brackets werden daraufhin im Computer individuell gestaltet und optimal positioniert. Zur eigentlichen Fertigung der Lingualbrackets wird modernste Rapid-Prototyping-Technologie eingesetzt. Im Folgenden werden die einzelnen Herstellungsschritte im Detail vorgestellt.

Abdrucknahme und Set-up

Am Patienten wird zunächst ein zweiphasiger Silikonabdruck genommen [22]. Die daraus hergestellten Modelle dienen zur Anfertigung eines individuellen Ziel-Set-ups [20, 22].

Erfassung der Zahnoberflächen mit einem 3-D-Scanner

Mit einem hoch auflösenden optischen 3-D-Scanner (GOM, Braunschweig, Deutschland) wird das therapeutische Set-up berührungslos gescannt. Analog zur menschlichen Wahrnehmung muss auch dem 3-D-Scanner das Modell aus mehreren Perspektiven präsentiert werden, um eine vollständige räumliche Darstellung zu erhalten. Das Ergebnis ist ein aus vielen tausend kleinen Dreiecken bestehender Flächenverbund (Standard Triangulation Language, STL-Flächen), der sich im Rechner drehen, betrachten und mit einer entsprechenden Konstruktionssoftware bearbei-



Figure 1a – Abbildung 1a

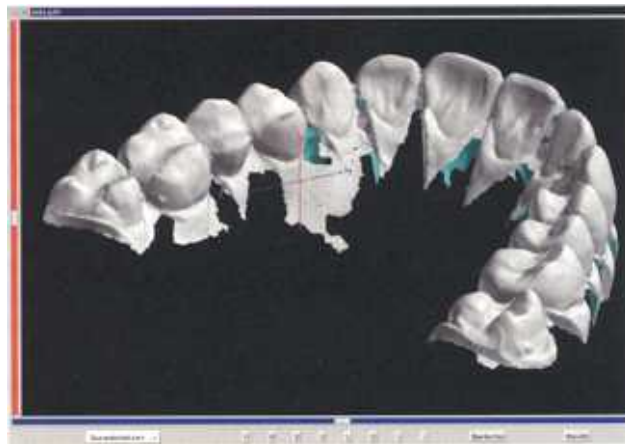


Figure 1b – Abbildung 1b

Figures 1a and 1b. a) The image of the tooth surface is composed of a vast number of minute triangles (Standard Triangulation Language, STL surfaces). The surface resolution is at least 0.02 mm. b) The complete arch can be freely turned in three dimensions. The data from the scan can be further processed as required with the appropriate software.

Abbildungen 1a und 1b. a) Die Oberfläche der Zähne wird aus vielen kleinen Dreiecken zusammengesetzt (Standard Triangulation Language, STL-Flächen). Die Oberflächenauflösung beträgt mindestens 0,02 mm. b) Der komplette Zahnbogen kann im Raum frei gedreht werden. Die Daten aus dem Scan lassen sich mit der geeigneten Software beliebig weiterverarbeiten.

Generating Individualized Bracket Bases

In contrast to existing lingual brackets, which have standard mesh bases, individualized bases are generated on the lingual surfaces of the teeth for the brackets presented here (Figure 2a). Because of the extreme accuracy of the available scan, with a resolution of at least 0.02 mm, the bases are positively locked with the teeth, dispensing with the need for any further adaptation with adhesive. The pad surfaces are generated large enough to provide even greater bond strength and exact form-fit properties. The subsequently defined thickness is 0.2–0.3 mm, depending on the alloy used.

Manufacturing the Bracket Body

Bracket bodies can be freely designed with appropriate design software (CAD program). The bracket body used by us has an extremely low profile compared with other systems; this guarantees absolute control over the tooth and makes for a simplified ligation procedure. In the buccal region the slot runs ribbonwise with a horizontal insertion direction; in the anterior region its course, adapted to the individual tooth morphology, is parallel to the lingual tooth surface with a vertical insertion direction (Figures 2b and 2c).

Positioning the Bracket Body

When the brackets have been designed, the bracket bodies are also converted into the STL format described above so that they are present in the same form as the digital set-up and the bracket bases manufactured on it. The bracket bodies are added as a complete library to the set-up and the pad

ten lässt (Abbildungen 1a und 1b). Vor der Weiterverarbeitung wird der zu beklebende Kiefer optimal zur späteren Slotebene ausgerichtet. Dieses Vorgehen auf virtueller Basis ist das digitale Pendant des entsprechenden Schrittes beim patentrechtlich geschützten Transfer Optimised Positioning System [20].

Generieren individueller Bracketbasen

Im Gegensatz zu den bekannten lingualen Brackets, die Standardnetzbasen aufweisen, werden für die hier vorgestellten Brackets individuelle Basen auf den Lingualflächen der Zähne erzeugt (Abbildung 2a). Aufgrund der extremen Genauigkeit des zur Verfügung stehenden Scans, mit einer Auflösung von mindestens 0,02 mm, passen die Basen absolut formschlüssig auf die Zähne und es muss keine weitere Anpassung mit Kunststoff erfolgen. Um eine größere Verbundfestigkeit und einen exakten Formschluss zu erzielen, werden die Padflächen ausreichend groß generiert. Die anschließend definierte Dicke beträgt je nach verwendeter Legierung 0,2–0,3 mm.

Herstellung der Bracketkörper

Die Bracketkörper können mit einer geeigneten Konstruktionssoftware (CAD-Programm) frei konstruiert werden. Der von uns verwendete Bracketkörper ist im Vergleich zu anderen Systemen maximal flach, gewährleistet eine absolute Kontrolle über den Zahn und ermöglicht ein einfaches Einligieren. Der Slot verläuft im Seitenzahnggebiet „ribbonwise“ mit horizontaler Einschubrichtung, im Frontzahnggebiet verläuft er der individuellen Zahnmorphologie ange-

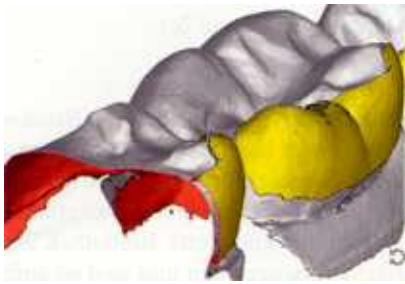


Figure 2a – Abbildung 2a

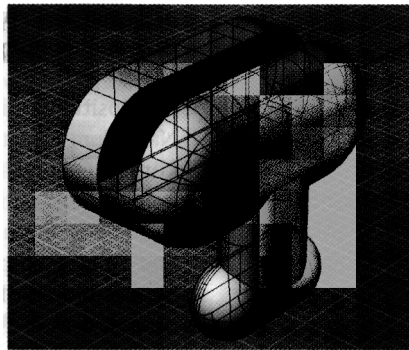


Figure 2b – Abbildung 2b

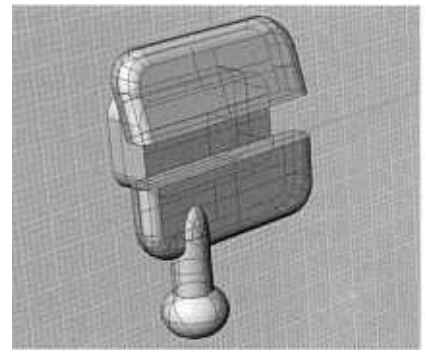


Figure 2c – Abbildung 2c

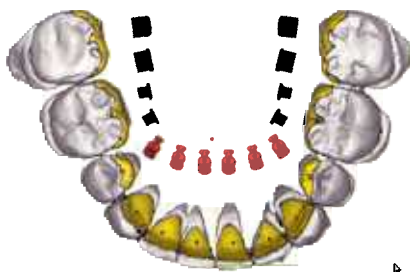


Figure 2d – Abbildung 2d



Figure 2e – Abbildung 2e

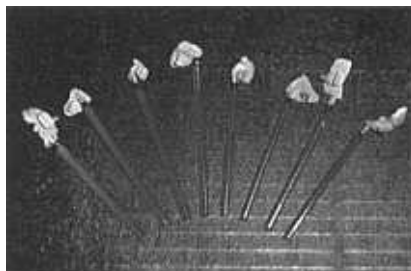


Figure 2g – Abbildung 2g



Figure 2h – Abbildung 2h

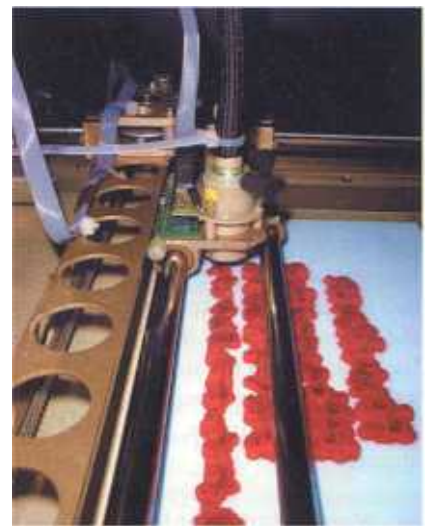


Figure 2f – Abbildung 2f

bracket body of a lower incisor. The bracket slot runs parallel to the tooth surface. The archwire is ligated with a German Overtie (GOT). c) In the buccal region too, the slot runs parallel to the tooth surface (ribbonwise). However, the insertion direction of the archwire remains horizontal. d) The bracket bodies (red) are added as a complete library to the arches fitted with individualized bases (yellow). Whereas the second- and third-order positions are pre-set, the bracket body can now be placed optimally in the slot plane by shifting and turning. e) After positioning, the bracket bodies (green) are virtually fused with the bracket bases. f) In the Rapid Prototyping technique shown here, the individualized lingual brackets are first made of wax. This is applied in 0.02 mm layers, similar to printing with an ink vapor printer. The red support wax required for three-dimensional production is subsequently removed. g) Lingual brackets made of wax (green) with a casting sprue (blue) prepared for casting. h) Bonding tray of two-layer silicone with the new lingual brackets made of Degunorm M®.

Abbildungen 2a bis 2h. a) Virtuelle Konstruktion der individuellen Bracketbasis (gelb). Die Padflächen werden großzügig ausgedehnt, um eine eindeutige Formschluss zu gewährleisten. Die Dicke beträgt 0,2–0,3 mm. b) Die Bracketkörper wurden mit einem im Maschinenbau eingesetzten CAD-Programm (Computer Aided Design) spezifisch für die einzelnen Zähne hergestellt. Die Abbildung zeigt den Bracketkörper eines Unterkieferfrontzahnes. Der Bracket-slot verläuft parallel zur Zahnoberfläche. Der Bogen wird mit einem German Overtie (GOT) einligiert. c) Auch im Seitenzahngelände verläuft der Slot parallel zur Zahnoberfläche (ribbonwise). Die Einschubrichtung des Bogens bleibt allerdings horizontal. d) Die Bracketkörper (rot) werden aus einer Bracketbibliothek zu dem mit individuellen Basen (gelb) belegten Zahnbogen geladen. Während die zweite und dritte Ordnung vorgegeben ist, kann der Bracketkörper nun durch Verschieben und Drehen in der Slotebene optimal positioniert werden. e) Bracketkörper (grün) werden nach der Positionierung mit den Bracketbasen virtuell verschmolzen. f) In dem hier gezeigten Rapid-Prototyping-Verfahren werden die individuellen lingualen Brackets zunächst aus Wachs hergestellt. Dieses wird in Schichten von 0,02 mm ähnlich wie bei einem Tintenstrahldrucker aufgetragen. Das für die dreidimensionale Herstellung nötige rote Supportwachs wird anschließend entfernt. g) Lingualbrackets aus Wachs (grün) mit Gusskanal (blau) vorbereitet zum Guss. h) Klebtray aus zweilagigem Silikon mit den neuen Lingualbrackets aus Degunorm M®.

surfaces and are arranged in such a way that the slots are already aligned in the virtual archwire plane (Figure 2d). The vertical height, angulation and torque are thus preset; it is only optimal first-order adaptation that is performed manually by shifting and turning (Figure 2e).

Bracket Manufacture and Bonding Tray Fabrication

Using high-end Rapid Prototyping machines, the virtual bracket series is converted into a real-life series as illustrated in the example made of Degunorm M® (Degussa, Hanau, Germany) (Figures 2f and g). At 235 kp/mm², the Vickers hardness of this material is substantially greater than the mean hardness of conventional brackets, quoted at 145 kp/mm² [8]. Because of the extended individualized base, which permits unequivocal positioning on the tooth, the brackets can then even be directly bonded by the orthodontist. Optionally, indirect bonding is possible after fabrication of a two-phase silicone bonding tray. For this purpose the brackets are first fixed on the malocclusion model with water-soluble bonding agent. The bonding tray is made of an inner, softer silicone (Exact N®, Bisico, Bielefeld, Germany) and an outer, extremely hard silicone (Lutesil®, Bisico, Bielefeld, Germany) (Figure 2h). Prior to bonding, the individualized bracket bases are sandblasted to improve their bond strength and coated with a silan. Because of the exact fit and the size of the bases, bonding with unfilled adhesive such as Maximum Cure® (Reliance Orthodontic Products Inc., Itasca, IL, USA) offers adequate bond strength.

Manufacturing the Individualized Lingual Archwires

As with straight wire concepts, the archwire geometry is yielded by the three-dimensional location of the bracket slots. Their exact position is known through the bracket manufacture described above in 3-D design software and is transmitted to a bending robot through the export of bracket coordinate systems (Figure 3a). This robot is a further development of the Orthomate® system (Orametrix®, Dallas, TX, USA) [21]. It operates with two grasping tools and is also capable of bending archwires precisely in highly complex geometries (Figure 3b). Superelastic archwires are reprogrammed during the bending process [21, 22]. This is the only way of ensuring full manufacturing accuracy even in the anterior region where the archwire has a characteristic, platform shape.

Discussion

Over the past 3 years, lingual orthodontics has gained increasing significance in Germany. Corroborated by numerous publications, the exceptional potential of a lingual bracket system, which is at least equivalent to that of conventional labial appliances, has asserted itself across the board [5, 16, 19, 23]. Although the number of lingual cases in Germany recorded the largest increase worldwide in the past 3 years

passt parallel zur lingualen Zahnoberfläche mit vertikaler Einschubrichtung (Abbildungen 2b und 2c).

Positionierung der Bracketkörper

Nach dem Konstruieren der Brackets werden die Bracketkörper ebenfalls in das oben beschriebene STL-Format konvertiert, damit sie in gleicher Form vorliegen wie das digitale Set-up und die darauf hergestellten Bracketbasen. Die Bracketkörper werden als komplette Bibliothek zum Set-up und den Padflächen dazugeladen und sind so angeordnet, dass die Slots bereits in der virtuellen Bogenebene liegen (Abbildung 2d). Positionierungshöhe, Angulation und Torque sind somit schon vorgegeben, lediglich die erste Ordnung (Positionierungsdicke) wird manuell durch Verschieben und Drehen optimal angepasst (Abbildung 2e).

Bracketfertigung und Herstellung des Klebetrays

Mit Hilfe von „High-End Rapid Prototyping“-Maschinen wird die virtuelle Bracketserie in ein reelles Analog zum Beispiel aus Degunorm M® (Degussa, Hanau, Deutschland) überführt (Abbildungen 2f und 2g). Die Vickers-Härte dieses Materials ist mit 235 kp/mm² wesentlich härter als die mit 145 kp/mm² angegebene durchschnittliche Härte herkömmlicher Brackets [8]. Aufgrund der extendierten individuellen Basis, die eine eindeutige Positionierung auf den Zahn erlaubt, können die Brackets nun sogar vom Behandler direkt geklebt werden. Alternativ ist auch eine indirekte Klebung nach Herstellung eines zweiphasigen Klebetrays aus Silikon möglich. Hierzu werden die Brackets zunächst mit wasserlöslichem Kleber auf dem Malokklusionsmodell fixiert. Das Klebetray wird aus einem inneren, weichen Silikon (Exakt N®, Bisico, Bielefeld, Deutschland) und einem äußeren, extrem harten Silikon (Lutesil®, Bisico, Bielefeld) hergestellt (Abbildung 2h). Vor der Klebung werden die individuellen Bracketbasen zur Verbesserung der Verbundfestigkeit sandgestrahlt und silanisiert. Aufgrund der exakten Passgenauigkeit und der Größe der Basen ist eine Klebung mit ungefülltem Kunststoff, wie zum Beispiel Maximum Cure® (Reliance Orthodontic Products Inc., Itasca, Ill. USA) zur Erlangung einer ausreichenden Verbundfestigkeit möglich.

Herstellung der individuellen lingualen Bögen

Die Geometrie der Bögen ergibt sich wie auch bei den Straight-Wire-Konzepten aus der Anordnung der Bracketslots im Raum. Deren exakte Position ist durch die oben beschriebene Bracketherstellung in einer 3-D-Konstruktionssoftware bekannt und wird durch den Export von Bracketkoordinatensystemen an einen Biegeroboter weitergegeben (Abbildung 3a). Dieser Roboter ist eine Weiterentwicklung des Orthomate® Systems (Orametrix®, Dallas, Tex., USA) [21]. Er arbeitet mit zwei Greifwerkzeugen und kann auch Bögen in hochkomplexen Geometrien prä-

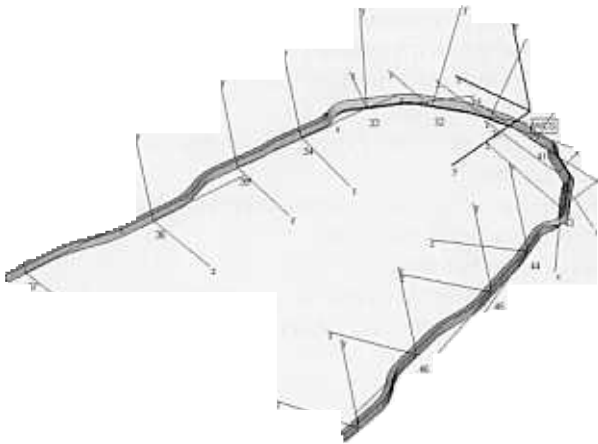


Figure 3a – Abbildung 3a

Figures 3a and 3b. a) The individual archwire geometry can be exactly digitally defined. Note in particular the characteristic platform shape in the anterior region. The archwire runs ribbonwise in the buccal region. b) New Orametrix® bending robot (Orametrix®, Dallas, TX, USA). Superelastic archwires are bent and reprogrammed in one step.

Abbildungen 3a und 3b. a) Die individuelle Bogengeometrie kann digital exakt definiert werden. Im Frontzahnggebiet ist insbesondere die charakteristische Tribünenform auffällig. Im Seitenzahnggebiet verläuft der Bogen ribbonweise. b) Neuer Biegeroboter der Firma Orametrix® (Dallas, Tx., USA). Superelastische Bögen werden in einem Arbeitsschritt gebogen und umprogrammiert.



Figure 3b – Abbildung 3b

(source: Ormco®, Glendora, CA, USA), the absolute number of ca. 2,000 treatment starts in the year 2001 is modest compared with the hundreds of thousands of labially bonded bracket systems. In relation to its potential, the lingual technique is thus clearly underrepresented. One essential reason for this is that the lingual technique is a technically thoroughly demanding variant of fixed appliance treatment, a variant which first has to be learned and which, like any other technique, makes high demands on the orthodontist in many aspects during this learning phase. This process is fraught with problems which are inherent in the system and to which existing technology has failed to provide a solution satisfactory to all colleagues [7–9, 17, 25]. A systematic survey revealed three main problem areas:

1. patient discomfort during the adaptation phase,
2. difficulties in exact indirect rebonding in the event of bracket loss,
3. exact finishing.

The new lingual bracket system presented in this series of articles deals, among other aspects, with these three points.

Lower Profile

The main impairments during the adaptation phase include speech disturbances and irritation of the tongue [7,9]. Although most patients report a decline in these impairments during the first weeks of treatment, a few are affected for a longer period [9]. The thickness of the appliance obvi-

zise biegen (Abbildung 3b). Pseudoelastische Bögen werden dabei bereits während des Biegevorganges umprogrammiert [21, 22]. Nur so ist eine exakte Fertigung auch im Bereich der Frontzähne, wo der Bogen eine charakteristische, tribünenartige Form hat, sicherzustellen.

Diskussion

Die Lingualtechnik hat in Deutschland in den letzten 3 Jahren zunehmend an Bedeutung gewonnen. Durch zahlreiche Veröffentlichungen untermauert, hat sich die außergewöhnliche und im Vergleich zu herkömmlichen vestibulären Apparaturen mindestens gleichwertige Leistungsfähigkeit eines lingualen Bracketsystems auf breiter Front durchgesetzt [5, 16, 19, 23]. Obwohl die Anzahl der Lingualfälle in Deutschland in den letzten 3 Jahren jeweils die weltweit größte Zunahme verzeichnete (Quelle: Ormco®, Glendora, Calif., USA), nimmt sich die absolute Zahl von ca. 2.000 Behandlungsstarts im Jahre 2001 eher bescheiden im Vergleich zu mehreren 100.000 vestibulär geklebten Bracketsystemen aus. In Relation zu ihrem Potential ist die Lingualtechnik damit deutlich unterrepräsentiert. Ein wesentlicher Grund hierfür ist die Tatsache, dass es sich bei der Lingualtechnik um eine technisch überaus anspruchsvolle Variante der Behandlung mit festsitzenden Apparaturen handelt, die erst erlernt werden muss und wie jede andere Technik auch während dieser Lernphase in vielen Bereichen höhere Anforderungen an den Behandler stellt. Damit einher gehen systemimmanente Probleme, die mit

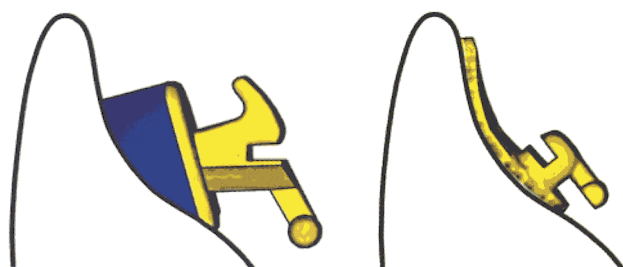


Figure 4. Comparison of a conventional lingual bracket (seventh generationOrmco®), left, with the newly designed bracket presented here, right, reveals a pronounced difference in size.

Abbildung 4. Beim Vergleich eines herkömmlichen Lingualbrackets (siebte GenerationOrmco®), links, mit dem hier vorgestellten, neu entworfenen Bracket, rechts, wird ein deutlicher Größenunterschied erkennbar.

ously has a substantial influence on the scale of the impairment. Patients in whom fixed retainers are inserted on completion of treatment with a lingual appliance cope with these much better. One main objective was therefore to develop as low-profile an appliance as possible, one that is not much thicker than a bonded retainer especially in the buccal segment. As shown in Figure 4, this objective was achieved with the new bracket series presented here. The three development stages set out below are of crucial importance:

1. Each bracket body is designed independently of the bracket base, on which it is optimally positioned. Filler spaces such as those occurring in the individualized positioning of prefabricated brackets can thus be avoided. This also makes the lingual appliance decidedly more favorable for good oral hygiene.
2. The fact that the archwire runs parallel to the tooth surface gives it its characteristic platform shape in the anterior segment. The actual bracket body can consequently be much more delicately shaped (Figures 2b and 2c). The resulting archwire morphology differs substantially from the previously customary design. Such archwires can be precision-manufactured using the bending robot described above.
3. Maxillary bite plateaus are used selectively: only in cases of deep bite, and even then only in the canine region (Figure 5).

The enhanced wearing comfort resulting from these innovations is clearly reflected in clinical terms especially in patients ($n = 20$) currently being treated by the author with seventh generation lingual brackets by Ormco® (Glendora, CA, USA) in one arch and with the new bracket system in the other. All 20 patients find the new bracket system substantially more comfortable, reporting fewer problems and shorter adaptation times in the relevant arch. In addition to the enhanced wearing comfort, a lower-profile design also contributes to a reduced bracket loss rate due to the conse-

der bisherigen Technologie nicht für alle Kollegen ausreichend gelöst werden konnten [7–9, 17, 25]. Bei einer systematischen Umfrage kristallisierten sich insbesondere drei Problempunkte heraus:

1. Beeinträchtigung des Patienten während der Eingewöhnungsphase.
2. Schwierigkeiten beim exakten indirekten Nachkleben im Falle eines Bracketverlustes.
3. Das exakte Finishing.

Das in dieser Artikelserie vorgestellte neue linguale Bracketssystem setzt unter anderem an diesen drei Punkten an.

Flaches Design

Zu den Beeinträchtigungen während der Eingewöhnungsphase zählen insbesondere Sprachstörungen und Irritationen der Zunge [7, 9]. Diese sind zwar bei den meisten Patienten während der ersten Behandlungswochen deutlich rückläufig, sie halten aber bei einigen wenigen doch länger an [9]. Die Dicke der Apparatur hat dabei offensichtlich einen wesentlichen Einfluss auf die Größe der Beeinträchtigung. Patienten, bei denen nach der Behandlung mit einer linguale Apparatur festsitzende Retainer eingegliedert werden, kommen damit bekanntlich deutlich besser zurecht. Ein Hauptziel war es daher eine möglichst flache Apparatur zu entwickeln, die besonders im frontalen Abschnitt nicht viel dicker als ein Kleberretainer ist. Wie die Abbildung 4 zeigt, konnte dieses Ziel bei der hier vorgestellten neuen Bracketserie realisiert werden. Die folgenden drei Entwicklungsschritte sind hier maßgeblich entscheidend:

1. Jeder Bracketkörper wird unabhängig von der Basis entworfen und optimal auf ihr positioniert. Füllräume, wie sie beim Individualisieren (Positionieren) konfektionierter Brackets auftreten, können somit vermieden werden. Die linguale Apparatur wird hierdurch auch deutlich hygienefreundlicher.
2. Der Bogen verläuft parallel zur Zahnoberfläche und erhält so im vorderen Anteil seine charakteristische Tribünenform. Der eigentliche Bracketkörper kann dadurch wesentlich graziler gestaltet werden (Abbildungen 2b und 2c). Die resultierende Bogenmorphologie unterscheidet sich wesentlich von dem bisher üblichen Design. Derartige Bögen können mit Hilfe des oben beschriebenen Biegeroboters präzise hergestellt werden.
3. Aufbissplateaus im Oberkiefer werden selektiv nur noch bei Tiefbissen und in diesen Fällen lediglich im Bereich der Eckzähne verwendet (Abbildung 5).

Der aus diesen Neuerungen resultierende verbesserte Tragekomfort wird klinisch insbesondere bei Patienten deutlich ($n = 20$), die zur Zeit vom Autor in einem Kiefer mit Lingualbrackets der siebten Generation von Ormco® und im Gegenkiefer mit dem neuen Bracketssystem behandelt werden. Alle 20 Patienten halten das neue Bracketssystem für



Figure 5. Upper arch of an extraction case, bonded with the new lingual brackets during the en masse retraction stage. Note the overall low-profile design. Bite plateaus at the canines, aimed at helping to open the bite in deep bite cases, cause comparatively little irritation to the tongue, as the plane is screened by the bracket of the adjacent premolar.

Abbildung 5. Oberkiefer bei einem Extraktionsfall, beklebt mit den neuen Lingualbrackets während der Phase der „en masse“-Retraktion. Auffällig ist das insgesamt flache Design. Aufbissplateaus an den Eckzähnen zur Unterstützung der Bisshebung bei Tiefbissfällen irritieren die Zunge vergleichsweise wenig, da das Plateau vom Bracket des benachbarten Prämolaren abgeschirmt wird.

quently shorter lever arm in the event of mastication-induced shearing.

Rebonding

The extensive individualized base of the new lingual bracket, which covers much of the lingual tooth surface, allows each single bracket to be directly bonded. This means that a bracket can be directly rebonded without the additional support of positioning aids such as unitary silicone trays in the case of a single bracket being lost. The exact correspondence of the interfaces results in a positive lock when the bracket is pressed onto the tooth, making incorrect positioning unlikely. In addition, in cases of less characteristic tooth morphology, as found in particular in the mandibular anterior region, the exact direct positioning of the lingual brackets can be controlled by means of screen shots from the manufacturing process (Figure 6).

Finishing

One major problem in the finishing of a lingual case is the production-induced inaccuracy of the slot and archwire dimension [14, 25]. In most cases the archwires are smaller than specified, while the bracket slots tend to be larger than specified. The inaccuracies of the slots are also subject to broad variation from tooth to tooth in the lingual brackets manufactured by Ormco® (Glendora, CA, USA). This results in varying torque play, which may lead to substantial finishing

wesentlich komfortabler und geben in dem betreffenden Kiefer weniger Probleme und kürzere Eingewöhnungszeiten an. Neben der Verbesserung des Tragekomforts trägt ein flacheres Design durch den daraus resultierenden kürzeren Hebelarm im Falle eines Kaukontaktes auch zur Verringerung der Bracketverlustrate bei.

Nachkleben

Die ausgedehnte individuelle Basis der neuen Lingualbrackets, die einen Großteil der lingualen Zahnoberfläche bedeckt, ermöglicht die direkte Klebung jedes einzelnen Brackets. So kann im Falle eines Bracketverlustes dieses ohne zusätzliche Unterstützung durch Positionierhilfen, wie unitäre Silikontrays, direkt nachgeklebt werden. Aufgrund der exakten Übereinstimmung der Grenzflächen findet beim Andrücken des Brackets auf den Zahn eine regelrechte Verschlüsselung statt („positive lock“), die Fehlpositionierungen unwahrscheinlich macht. Zudem kann bei weniger charakteristischer Zahnmorphologie, wie sie insbesondere im Unterkieferfrontzahngebiet anzutreffen ist, die exakte direkte Positionierung der Lingualbrackets mit Hilfe von Screen Shots aus dem Herstellungsprozess kontrolliert werden (Abbildung 6).

Finishing

Ein großes Problem im Finishing eines lingualen Falles stellen die herstellungsbedingt ungenauen Slot- und Bogendimensionen dar [14, 25]. Dabei sind die Bögen im Regelfall kleiner als die angegebenen Werte, die Bracketslots hingegen eher größer. Die Ungenauigkeiten der Slots sind bei den Lingualbrackets von Ormco® zudem von Zahn zu Zahn sehr unterschiedlich. Das daraus resultierende unterschiedlich große Torquespiel, das auch beim Einsatz nominell slotfüllender Bögen verbleibt, kann in einigen Fällen zu erheblichen Problemen im Finishing führen [25]. Bei größerem Abstand der Apparatur von der Vestibulärfläche des Zahnes im Sinne einer größeren Positionierungsdicke verstärkt sich diese Problematik annähernd proportional [17]. Insbesondere die Auswirkungen eines falschen Torques auf die zweite Ordnung werden klinisch extrem auffällig [25]. So kommt es im Frontzahngebiet bei einem fehlerhaften Torque von nur 10° im Durchschnitt zu einer vertikalen Abweichung von 1,2 mm. Aufgrund der größeren Positionierungsdicke ist dieser Zusammenhang im Seitenzahngebiet noch ausgeprägter [17]. Da die neuen Lingualbrackets in einem Rapid-Prototyping-Verfahren hergestellt werden, ist es möglich die Größe der Bracketslots individuell und exakt auf die Bogendimension des verwendeten Finishingbogens abzustimmen. Zudem sind die einzelnen Bracketslots präziser dimensioniert. Der Größenunterschied vom kleinsten zum größten Slot beträgt nach vorläufigen Messungen [16] für das Frontzahngebiet lediglich 0,008 mm, was einem errechneten Drehwinkel von nur 0,7° entspricht. Da zudem der Bogen bei der neuen Bracketserie den Zähnen deutlich

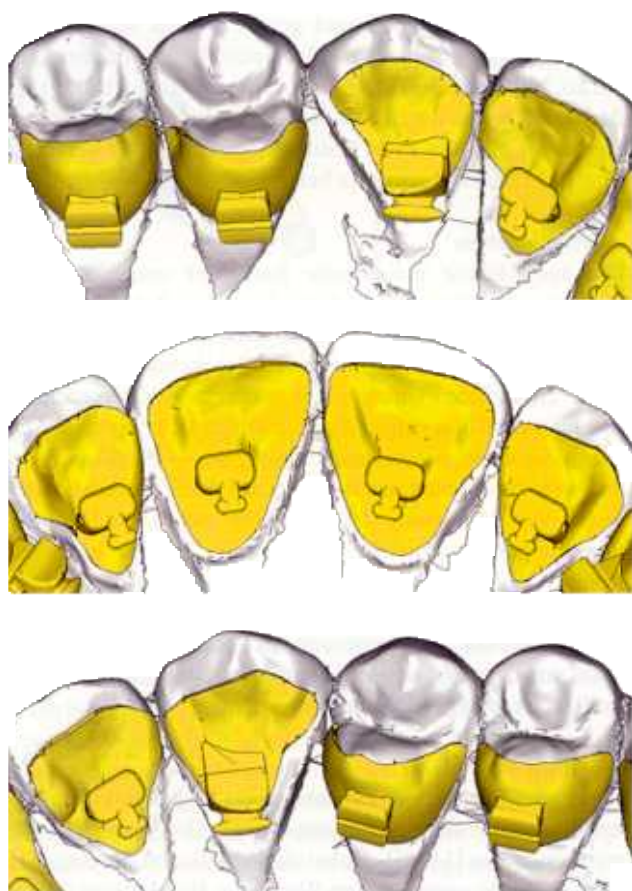


Figure 6. A printout of the 3-D representation of the positioned brackets from various angles serves as an additional rebonding aid.

Abbildung 6. Die ausgedruckte 3-D-Darstellung der positionierten Brackets aus verschiedenen Blickrichtungen dient als zusätzliche Hilfe beim Nachkleben.

problems in some cases even when nominally slot-filling archwires are used [25]. If the appliance is at a greater distance from the labial surface of the tooth in terms of a greater positioning thickness, these problems are increased more or less proportionately [17]. Especially the impact of an incorrect torque on second-order aspects is of very great clinical significance [25]. For instance, a torque deviating by only 10° in the anterior region results in a mean vertical deviation of 1.2 mm. Because of the greater positioning thickness, this correlation is even more pronounced in the buccal region [17]. As the new lingual brackets are manufactured by a Rapid Prototyping technique, the size of the bracket slot can be adapted individually and exactly to the dimension of the finishing archwire. In addition, the single bracket slots are more precisely dimensioned. According to provisional measurements [16],

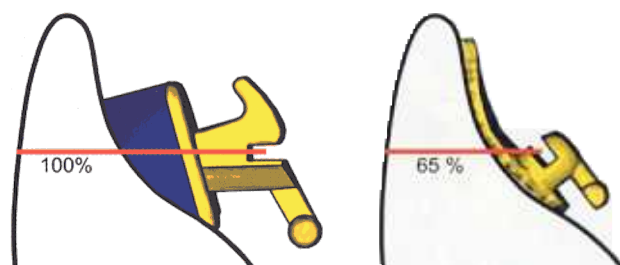


Figure 7. In the new bracket system (right) the archwire is substantially closer to the vestibular surface of the tooth. An incorrect torque will have a lesser impact, especially on the vertical dimension.

Abbildung 7. Beim neuen Bracketsystem (rechts) liegt der Bogen wesentlich weniger weit von der Vestibulärfläche des Zahnes entfernt. Ein falscher Torque wird sich insbesondere in der Vertikalen nicht so stark auswirken.



Figure 8. The vertical slot permits first-order control from the very outset. The round 0.016" superelastic Copper NiTi® wire is substantially deflected. Ligaturing is done with German Overties (GOT).

Abbildung 8. Der vertikale Slot ermöglicht die Kontrolle der ersten Ordnung von Beginn an. Der pseudoelastische, runde 0.016" Copper NiTi® ist erheblich deflektiert. Zum Einligieren werden German Overties (GOT) benutzt.

enger anliegt, wird sich die verbliebene Ungenauigkeit klinisch geringfügiger auswirken [17] (Abbildung 7).

Probleme im Finishing aufgrund primär fehlerhaft positionierter Brackets, wie es bei den herkömmlichen Laborprozessen vereinzelt vorkommen kann, sind bei der hier vorgestellten rein virtuellen Vorgehensweise nahezu ausgeschlossen. Da die neuen Brackets wegen ihrer großen Basis auch direkt exakt geklebt werden können, wird es im Falle eines Bracketverlustes seltener zu ungenau nachgeklebten Brackets kommen.

Neben der zumindest partiellen Lösung der bis dahin noch bestehenden vorrangigen Probleme ergeben sich durch die neuartige Konzeption dieser lingualen Bracketserie weitere Möglichkeiten zur Verbesserung der klinischen Handhabung.



Figure 9a – Abbildung 9a



Figure 9b – Abbildung 9b



Figure 9c – Abbildung 9c

Figures 9a to 9c. a) Correction of the primary crowding by distalizing the canines along the archwire. The 0.016" × 0.022" superelastic Copper NiTi® wire initially runs above the slots to prevent proclination of the incisors. The bracket of tooth 22 could not be bonded primarily on account of the extreme torsion. It will be directly bonded at a later timepoint. b) After 6 weeks the archwire can be completely ligated. The bracket body at tooth 21 is seen to have been offset to mesial. The modular design allowed the available enamel area to be optimally utilized. c) After a total of 10 weeks, the bonded teeth could be derotated without the additional application of lasso elastics. Bracket placement at tooth 22 was done via direct bonding.

Abbildungen 9a bis 9c. Auflösung des primären Engstandes durch bogengeführte Distalisation der Eckzähne. Der pseudoelastische 0.016" × 0.022" Copper NiTi® verläuft zunächst oberhalb der Slots, um eine Proklination der Frontzähne zu verhindern. Das Bracket des Zahnes 22 konnte wegen der extremen Torsion primär nicht geklebt werden. Es wird zu einem späteren Zeitpunkt direkt nachgeklebt. b) Nach 6 Wochen kann der Bogen komplett einligiert werden. Es ist erkennbar, dass der Bracketkörper am Zahn 21 auf der Basis nach mesial versetzt positioniert wurde. Aufgrund des modularen Aufbaus konnte die zur Verfügung stehende Schmelzfläche optimal ausgenutzt werden. c) Nach insgesamt 10 Wochen konnten die beklebten Zähne ohne zusätzlichen Einsatz von Lasso-Elastics derotiert werden. Die Bracketklebung an 22 erfolgte direkt.

the difference in size between the smallest and the largest slot in the anterior region is only 0.008 mm, corresponding to a calculated angle of rotation of only 0.7°. As the archwire moreover contacts the teeth much more closely with the new bracket series, the residual inaccuracy will have a less pronounced clinical impact [17] (Figure 7).

Finishing problems resulting from primarily incorrectly positioned brackets, as may occur sporadically with conventional laboratory processes, are almost completely ruled out in the purely virtual procedure presented here. As the new brackets can also be directly precision-bonded on account of their large base, bracket loss is less likely to lead to inaccurately rebonded brackets.

In addition to the at least partial solution to the main problems previously existing, the innovative design of this

Vertikaler Slot im Frontzahngebiet

Bei vertikaler Insertion des Bogens in den Slot ist die Korrektur von Drehständen bogengeführt und auch ohne zusätzliches Anbringen von Gummiketten (Lasso Elastics) möglich [5, 24]. Das Einligieren selbst wird mit sogenannten German Overties (GOT) durchgeführt [24]. Der Bogen wird beim Einligieren deutlich deflektiert und trägt so zusätzlich zur Vergrößerung des Zahnbogens bei (Abbildung 8). Dieses Vorgehen drängt aufwändigere Mechaniken wie die häufig eingesetzten Advancement Stops zunehmend in den Hintergrund [15]. Die Vorteile eines vertikalen Slots in der Lingualtechnik, insbesondere bei der Korrektur von Drehständen, sind seit langem durch die Conceal® Brackets nach Creekmore und die Fujita Brackets bekannt und klinisch untermauert [5,10].

lingual bracket series provides further features improving clinical handling properties.

Vertical Slot in the Anterior Region

If the archwire is inserted vertically into the slot, corrective derotation of teeth can be performed along the archwire even without the additional application of lasso elastics [5, 24]. The ligation itself is performed with so-called German Overties (GOT) [24]. In the ligation process, the archwire is clearly deflected, thus contributing in addition to enlargement of the dental arch (Figure 8). This procedure is increasingly superseding more complex mechanics such as the frequently used advancement stops [15]. The advantages of a vertical slot in lingual orthodontics, especially in the corrective derotation of teeth, have long been known from Conceal® brackets according to Creekmore and from Fujita brackets and have been clinically substantiated [5, 10].

Modular structure and Rapid Prototyping

The modular bracket structure, which allows the single components (base, bracket body, hook) to be positioned independently of one another differs markedly from previous systems. Even in cases of rotated teeth and short clinical crowns, the available enamel area of the tooth can be optimally utilized (Figures 9a to 9c).

Manufacturing the new bracket system by a Rapid Prototyping technique gives it great flexibility. Each individual bracket series can be adapted not only to the patient but also to the orthodontist. In addition, clinically promising modifications and further developments can be implemented immediately with minimum resource input and without involving any changes in the production process.

As the brackets are made of an alloy with a high gold content, they offer an interesting alternative especially for patients who are allergic to nickel.

The production costs are comparable with those involved in the manufacture and laboratory positioning of existing systems.

Conclusions

The use of state-of-the-art CAD/CAM technology in the production of the new lingual bracket system presented here and of the relevant archwires reduces the previously existing drawbacks of lingual orthodontics. The main difference from existing systems is the unlimited individualization potential of the new appliance. This seems to be the logical next step on the way to a lingual treatment concept that is more appealing to both the patient and the orthodontist.

Modularer Aufbau und Rapid Prototyping

Der Aufbau des Brackets nach dem Baukastensystem, bei dem die einzelnen Komponenten (Basis, Bracketkörper und Hook) unabhängig voneinander positioniert werden können, ist ein wesentlicher Unterschied zu bisherigen Systemen. Auch bei starken Drehständen und kurzen klinischen Kronen kann die zur Verfügung stehende Schmelzfläche des Zahnes optimal genutzt werden (Abbildungen 9a bis 9c).

Die Herstellung in einem Rapid-Prototyping-Verfahren verleiht dem neuen Bracketsystem eine große Flexibilität. Jede einzelne Bracketserie kann nicht nur auf den Patienten, sondern auch auf den Behandler abgestimmt werden. Zudem können klinisch sinnvoll erscheinende Modifikationen und Weiterentwicklungen ohne Änderungen im Produktionsprozess mit geringem Aufwand sofort umgesetzt werden.

Da die Brackets aus einer hochgoldhaltigen Legierung hergestellt werden, stellen sie insbesondere bei Patienten mit Nickelallergie eine sinnvolle Alternative dar.

Die Produktionskosten sind vergleichbar mit denen, die bei der Herstellung und labortechnischen Positionierung bekannter Systeme anfallen.

Schlussfolgerung

Durch den Einsatz moderner CAD/CAM-Technologie bei der Herstellung des hier vorgestellten neuen lingualen Bracketsystems und der dazugehörigen Bögen können bis dahin noch bestehende Nachteile einer Lingualbehandlung abgeschwächt werden. Der wesentliche Unterschied zu bisherigen Systemen ist die uneingeschränkte Individualität der neuen Apparatur. Dieses scheint der logische nächste Schritt auf dem Weg zu einem patienten- und behandlerfreundlicheren lingualen Therapiekonzept zu sein.

References

1. Altounian G. Le targ. L'information dentaire 1985;67:2225–34.
2. Andrews LF. The straight-wire appliance, origin, controversy, commentary. J Clin Orthod 1976;10:99–114.
3. Andrews LF. The straight-wire appliance. Extraction series brackets. J Clin Orthod 1976;10:425–41.
4. Creekmore TD. Precision placement of lingual and labial brackets. J Am Ling Orthod Assoc 1988;1:6–8.
5. Creekmore TD. Lingual orthodontics – its renaissance. Am J Orthod Dentofacial Orthop 1989;96:120–37.
6. Fillion D. Orthodontie linguale: systèmes de positionnement des attaches au laboratoire. Orthod Fr 1989;60:695–704.
7. Fillion D. Improving patient comfort with lingual braces. J Clin Orthod 1997;31:689–94.
8. Fischer-Brandies H, Orthuber W, Es-Souni M, et al. Torque transmission between square wire and bracket as a function of measurement, form and hardness parameters. J Orofac Orthop/Fortschr Kieferorthop 2000;61:258–65.

9. Fritz U, Diedrich P, Wiechmann D. Lingual technique – patients' characteristics, motivation and acceptance. Interpretation of a retrospective survey. *J Orofac Orthop/Fortschr Kieferorthop* 2002; 63:227–33.
10. Fujita K. Development of lingual-bracket technique. *J Jpn Orthod Soc* 1978;37:36–9.
11. Hiro T, Takemoto K. Resin core indirect bonding system – improvement of lingual orthodontic treatment. *J Jpn Orthod Soc* 1998;57:83–91.
12. Huge SA. The customised lingual appliance set-up service (CLASS) system. In: Romano R. *Lingual orthodontics*. Hamilton-London: Decker, 1998:163–73.
13. Kurz CR, Swartz ML, Andreiko C. Lingual orthodontics: a status report. Part 2: Research and development. *J Clin Orthod* 1982; 16:735–40.
14. Rummel V, Wiechmann D, Sachdeva R. Precision finishing in lingual orthodontics. *J Clin Orthod* 1999;23:101–13.
15. Rummel V, Wiechmann D. The crimpable hook: an aid in lingual orthodontic treatment. *J Ling Orthod* 1999;1:1–3.
16. Segner, D. Persönliche Mitteilung.
17. Smith JR, et al. Keys to success in lingual therapy. Part 1. *J Clin Orthod* 1986;89:252–61.
18. Stamm T, Wiechmann D, Heineken A, et al. Relation between second and third order problems in lingual orthodontic treatment. *J Ling Orthod* 2000;3:5–11.
19. Wiechmann D. Integration der Lingualtechnik in die tägliche Praxis. *Inf Orthod Kieferorthop* 1999;31:9–23.
20. Wiechmann D. Lingual orthodontics. Part 1: Laboratory procedure. *J Orofac Orthop/Fortschr Kieferorthop* 1999;60:371–9.
21. Wiechmann D. Lingual orthodontics. Part 2: Archwire fabrication. *J Orofac Orthop/Fortschr Kieferorthop* 1999;60:416–26.
22. Wiechmann D. La thérapeutique eco-linguale. Première partie: Une théorie pour un concept moderne de traitement lingual. *J de Edge* 2000;42:53–69.
23. Wiechmann D. La thérapeutique eco-linguale. Deuxième partie: Aspects cliniques. *J de Edge* 2001;43:9–37.
24. Wiechmann D. Eine neue Ligatur in der Lingualtechnik – Das German Overtie. Poster presentation, 74th Annual Congress of the German Orthodontic Society, Friedrichshafen 2001.
25. Wiechmann D, Hoch L. Les finitions occlusales assistées par ordinateur. *Orthod Fr* 2002;in press.

Correspondence Address

Dr. Dirk Wiechmann
 Lindenstrasse 44
 49152 Bad Essen
 Germany
 Phone (+49/5472) 50-60, Fax -61
 e-mail: wiechmann@lingualtechnik.de