

# Alignment of Impacted Maxillary Canines: Critical Analysis of Eruption Path and Treatment Time

## Kritische Analyse von Weg und Zeit bei der Eckzahneinordnung in den Zahnbogen

Michael Schubert<sup>1</sup>, Uwe Baumert<sup>2</sup>

### Abstract

**Objective:** The aim of this study was to evaluate a possible correlation between treatment time and the distance covered by the canine tip during forced eruption of impacted maxillary canines. We also addressed the question whether it is possible to estimate the treatment time based on this data.

**Materials and Methods:** Orthopantomograms of 57 juvenile patients below 18 years of age with at least one palatally impacted canine were examined. We determined the position of the canine in relation to the neighboring teeth, its axial inclination and distance to the occlusal plane. We also introduced a new linear measurement representing the distance covered by the canine's crown tip during the alignment of the impacted tooth.

**Results:** The length of overall treatment time and canine alignment, its axial inclination and the distance covered by the canine correlated significantly with the canine's position relative to its neighboring teeth. The newly-introduced linear measurement was the only measure that proved gender specific. With regression analysis we demonstrated that this measure is sufficient to predict the active treatment time for canine alignment ( $r^2 = 0.391$ ). This indicates that 39.1% of the differences observed in active treatment time can be explained by variation in this new parameter.

**Conclusions:** The new measure introduced in this study provides a practice-oriented parameter with which to predict the treatment time for aligning impacted canines. Current 2D imaging diagnostics most likely restrict the ability to predict the length of therapy at 40%. Individual bone density and metabolism seem to have a strong influence on treatment time and must be taken into account for a more exact prognosis.

**Key Words:** Maxillary canine impaction · Prognosis of treatment time · EWC® System

### Zusammenfassung

**Ziel:** Von Interesse war es, in einer Studie über palatinal verlagerte Eckzähne zu überprüfen, ob es einen Zusammenhang zwischen der Behandlungszeit und dem zurückgelegten Weg der Eckzahnkronenspitze bei der Einordnung gibt. Kann daraus eine Behandlungszeitprognose abgeleitet werden?

**Material und Methodik:** Die Orthopantomogramme von 57 jugendlichen Patienten unter 18 Jahren mit mindestens einem palatinal verlagerten Eckzahn wurden ausgewertet. Neben seiner Position zu den Nachbarzähnen wurden die Achsenneigung des Eckzahnes und der Abstand zur Okklusionsebene ermittelt. Zusätzlich wurde eine Messstrecke eingeführt, die den zurückgelegten Weg der Eckzahnkronenspitze während der Einordnung darstellte.

**Ergebnisse:** Die Dauer der Gesamtbehandlung und die der Eckzahneinordnung, seine Achsenneigung und der zurückgelegte Weg waren signifikant von der Position des Eckzahnes zu seinen Nachbarzähnen abhängig. Die neu eingeführte Messstrecke erwies sich als geschlechtsspezifisch. Mit ihr und einer Geradenformel ( $r^2 = 0,391$ ) konnte die Dauer der Eckzahneinstellung berechnet werden. Durch die neu eingeführte Messstrecke können 39,1% der beobachteten Unterschiede in der aktiven Behandlungszeit erklärt werden.

**Schlussfolgerungen:** Mit dem neuen Messparameter wurde ein praxisgerechter Weg für eine Prognose der Dauer der Eckzahneinordnung gefunden. In einem Bereich von etwa 40% dürfte die Grenze für eine Prognose mit Hilfe des zweidimensionalen bildgebenden Verfahrens liegen. Individuelle Knochendichte und Stoffwechselfvorgänge scheinen die Behandlungszeit stark zu beeinflussen und müssten für eine genauere Prognose mit einbezogen werden.

**Schlüsselwörter:** Eckzahnretention · Behandlungszeitprognose · EWC®-System

<sup>1</sup> Private Orthodontic Practice, Regensburg, Germany,

<sup>2</sup> Department of Orthodontics, Munich University Hospital, Ludwig Maximilian University, Munich, Germany.

Received: January 7, 2009; accepted: March 9, 2009

## Introduction

The second most frequently impacted teeth after the wisdom teeth are the upper canines. The frequency reported in the literature varies from 1.5% to 2% in the maxilla and 0.3% in the mandible in randomly elected probands [5, 8, 10, 11, 18, 23]. By contrast, the frequency is as high as 23.5% in orthodontic practices (selected groups) [3, 15, 31]. The rate among female patients is twice as high as among males: 1.17% vs. 0.51% [2]. Palatal impaction prevails over the buccal position by a ratio of 2:1 to 9:1, ca. 20% palatal, ca. 15% buccal [12].

Various therapeutic options are available to patients affected by this anomaly:

1. extraction of the impacted tooth and morphological improvement in the primary canine crown when it persists,
2. extraction of the impacted tooth and primary canine followed by orthodontic space closure,
3. autotransplantation after orthodontic pretreatment for space opening,
4. implant-supported single tooth prosthesis as the primary care after primary canine and impacted tooth extraction, or when autotransplantation fails, and
5. orthodontic alignment of the displaced tooth after its surgical exposure.

In deciding among these options, the treatment's duration is an important criterion for the patient. Until now, however, the estimation of treatment time has also been based on the orthodontist's subjective clinical experience [30]; the data from scientific studies of this criterion vary to a considerable degree [17, 19, 21, 32]. Many authors agree that at present the orthopantomogram still offers a useful diagnostic method, and it occupies a key position, although it is known that X-ray images of the canine area include a certain amount of distortion [26].

As early as 1970, Dausch-Neumann [9] used orthopantomograms to describe the eruption path of permanent canines using her own measurement technique. Ericson & Kurol [13, 14] developed a method involving sectors to determine the time factor. Both studies provide guidelines for scientific claims nowadays [17, 24, 32].

After the tooth being aligned was moved during the active treatment time from its initial activation into its final position with the EWC® System [29] used here, it seemed reasonable to relate the distance the canine must cover to the treatment time required. This necessitated a new measurement distance in the orthopantomogram. The goal of this retrospective study also involves examining to what extent additional parameters such as vertical and anteroposterior position and the angulation of palatally-displaced canines influence treatment time. We also included a patient group with bilateral palatally-displaced canines in the study to examine whether their treatment time would differ from that of patients with only one displaced tooth.

## Einleitung

Nach den Weisheitszähnen sind die oberen Eckzähne die am häufigsten impaktierten Zähne. Über das Vorkommen variieren die Literaturangaben von 1,5–2% im Oberkiefer und 0,3% im Unterkiefer bei unselektierten Probanden [5, 8, 10, 11, 18, 23]. In kieferorthopädischen Praxen (selektierte Gruppen) liegt dagegen die Häufigkeit bei bis zu 23,5% [3, 15, 31]. Das Vorkommen bei weiblichen Patienten ist doppelt so hoch wie bei männlichen: 1,17% vs. 0,51% [2]. Die palatinale Verlagerung dominiert gegenüber der bukkalen Lage in einem Verhältnis von 2:1 bis 9:1, ca. 20% palatinal, ca. 15% bukkal [12].

Ist ein Patient von dieser Unregelmäßigkeit betroffen, gibt es für ihn verschiedene Möglichkeiten der Therapie:

1. Entfernung des verlagerten Zahnes und morphologische Verbesserung der Milcheckzahnkrone bei deren Persistenz
2. Entfernung des verlagerten Zahnes und des Milcheckzahnes mit anschließendem kieferorthopädischem Lückenschluss
3. Autotransplantation nach kieferorthopädischer Vorbehandlung zur Lückenöffnung
4. Implantatgetragener Einzelzahnersatz als primäre Versorgung nach Exzision des Milcheckzahnes und des verlagerten Zahnes oder im Falle des misslungenen Autotransplantates
5. Kieferorthopädische Einordnung des verlagerten Zahnes nach chirurgischer Freilegung

Um zwischen diesen Möglichkeiten entscheiden zu können, ist die Frage nach der Dauer der Behandlung für den Patienten ein wichtiges Kriterium. Die Schätzung der Behandlungsdauer beruht bisher allerdings nur auf der subjektiven klinischen Erfahrung des Kieferorthopäden [30], die auf wissenschaftlichen Untersuchungen basierenden Informationen darüber variieren in beträchtlichem Ausmaß [17, 19, 21, 32]. Unabhängig davon sind sich viele Autoren einig, dass zurzeit das Orthopantomogramm noch die gebräuchliche Diagnostikmethode darstellt und eine gewisse Schlüsselstellung einnimmt, im Wissen, dass es bei der speziellen Aufnahmetechnik im Eckzahnbereich zu Verzerrungen kommt [26].

Bereits 1970 beschrieb Dausch-Neumann [9] an Orthopantomogrammen den Durchbruchweg bleibender Eckzähne mit einer eigenen Messtechnik. Ericson & Kurol [13, 14] entwickelten eine Methode mit Sektoren, um den Zeitfaktor zu ermitteln. Beide Studien sind heute noch Richtlinien für wissenschaftliche Aussagen [17, 24, 32].

Nachdem bei der Eckzahneinstellung mit dem hier verwendeten EWC®-System [29] der einzuordnende Zahn von der ersten Aktivierung an direkt auf seine ihm zugeordnete Stelle hin bewegt wird, schien es sinnvoll, den zurückgelegten Weg mit der dazu benötigten Zeitdauer zu vergleichen. Dazu war eine neue Messstrecke im Orthopantomogramm erforderlich. Das Ziel dieser retrospektiven Studie bezieht sich weiter auf die Überprüfung, inwieweit zusätzliche Parameter

### Materials and Methods

In this retrospective study we analyzed the data of 47 adolescent patients (n = 47; 33 female, 14 male) treated at an orthodontic practice in Regensburg, Germany between 1997 and 2007. The patients were selected for participation in this study according to the following criteria:

1. Adolescent patients no older than 18 years of age presenting with at least one palatally-displaced canine.
2. Surgical exposure had to involve a closed-eruption approach using an intra-operatively adhesively-fixed attachment. The EWC<sup>®</sup> System was selected as the traction force system [29].
3. After differential diagnosis had determined no tooth extractions, no premolars were removed.
4. Treatment was performed with a vestibular multiband appliance (.018 slot).
5. Treatment dates were kept regularly and the alignment of the displaced canine had to have been successfully completed.
6. Complete diagnostic and treatment records consisting of panoramic radiographs and lateral cephalograms, photographs and study casts, the dates of multibracket/multiband application, surgical exposure and appliance removal had to be available.

None of the orthopantomograms available for analysis were any older than 1 year at the time of the canine's surgical exposure. Some of the patients supplied their own orthopantomograms taken by the dentist who had referred them. Those images were generally X-ray negatives. Other orthopantomograms were taken using a digital X-ray procedure in the orthodontic practice. All orthopantomograms at the beginning of treatment were analyzed under standardized conditions, the X-ray negative films were traced onto acetate films, glossy copies were made from the digital orthopantomograms and analyzed. The tracings were done using a Staedtler Marsmicro 0.3 mm (Staedler Mars GmbH & Co. KG, Nürnberg, Germany), all measurements were taken by one examiner only.

The occlusal plane was used as the horizontal reference line [6, 9], defined by the mesiobuccal cusp tip of the upper first molar and the incisal edge of the upper central incisor on the same side (Figure 1). The midline between the longitudinal axis of both central incisors was defined as the vertical reference line. We also drew in the longitudinal axes of the displaced canine and adjacent lateral incisor.

The inclination of the displaced tooth was measured with a goniometer to 1°, the interval distances were measured with a digital sliding caliper (Electronic Digital Caliper, Masel, Germany) to 0.01 mm and rounded up or down to 0.1 mm.

The following data were gathered for this critical analysis:

1. date of birth and gender,
2. patient age at the start of treatment and surgical exposure,

wie die vertikale Position, die antero-posteriore Position und die Angulation von palatinal verlagerten Eckzähnen einen Einfluss auf die Behandlungsdauer haben. Zusätzlich wurde eine Patientengruppe mit beidseitig palatinal verlagerten Eckzähnen in die Studie aufgenommen, um zu prüfen, ob sich die Behandlungszeit gegenüber nur einseitig verlagerten unterscheidet.

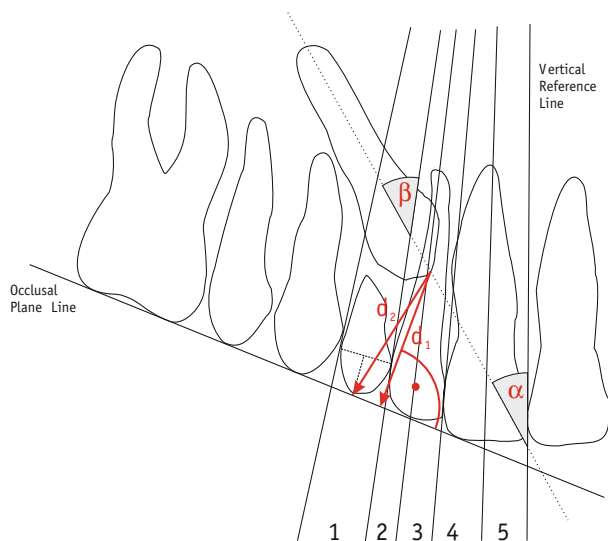
### Material und Methodik

In dieser retrospektiven Studie wurden die Daten von 47 jugendlichen Patienten (n = 47; 33 weiblich, 14 männlich) ausgewertet, die in einer kieferorthopädischen Fachpraxis in Regensburg, Deutschland, in der Zeit von 1997–2007 behandelt wurden. Die Auswahl der Patienten zur Teilnahme an dieser Studie beruhte auf den folgenden Kriterien:

1. Die jugendlichen Patienten von nicht älter als 18 Jahren hatten mindestens einen palatinal verlagerten Eckzahn.
2. Die chirurgische Freilegungstechnik erfolgte immer über einen geschlossenen Zugang mit intraoperativem Kleben eines Attachments. Das EWC<sup>®</sup>-System wurde als Zughilfe gewählt [29].
3. Nach der Differenzialdiagnose lag ein Non-Ex-Kasus vor, so dass keine Extraktion der Prämolaren vorgenommen wurde.
4. Zur Behandlung diente eine vestibuläre Multibandapparat (0.018-Slot).
5. Die Behandlungstermine wurden regelmäßig eingehalten und die Einstellung des verlagerten Eckzahnes wurde erfolgreich beendet.
6. Vollständige Diagnostik und Behandlungsunterlagen, bestehend aus Panorama- und Fernröntgenaufnahme, Fotografien und Modellen, Zeitpunkt der Bebänderung, der chirurgischen Freilegung und der Entbänderung mussten vorliegen.

Alle Orthopantomogramme, die zur Bewertung anstanden, waren zum Zeitpunkt der chirurgischen Freilegung nicht älter als 1 Jahr. Ein Teil der Patienten brachte eigene Orthopantomogramme mit, die vom überweisenden Zahnarzt angefertigt worden waren. Hierbei handelte es sich in der Regel um Röntgennegativfilme. Andere Orthopantomogramme wurden über digitales Röntgenverfahren in der kieferorthopädischen Fachpraxis hergestellt. Alle Orthopantomogramme vom Behandlungsbeginn wurden unter standardisierten Bedingungen ausgewertet, die Röntgennegativfilme auf Acetatfolien durchgezeichnet, von den digitalen Orthopantomogrammen Hochglanzabzüge erstellt und diese bewertet. Die Zeichnungen erfolgten mit einem Staedtler Marsmicro 0,3 mm (Staedler Mars GmbH & Co. KG, Nürnberg, Deutschland), sämtliche Messungen führte ausschließlich ein Untersucher durch.

Als horizontale Referenzlinie [6, 9] diente die Okklusionsebene, definiert durch die mesiobukkale Höckerskizze des oberen ersten Molaren und die Inzisalkante des mittlere-



**Figure 1.** Schematic illustration of the investigated parameters in the panoramic X-ray: the projection of the canine and zones (1–5) of the most medial position of the crown; the inclination of the maxillary canine to the midline ( $\alpha$ ) and long axis of the lateral incisor ( $\beta$ ); the degree of vertical eruption of the maxillary canine determined as distance  $d_1$ ; introduced distance  $d_2$  (modified and completed after Ericson & Kurok [14]).

**Abbildung 1.** Schematische Darstellung der untersuchten Messparameter im Orthopantomogramm: die Projektion des Eckzahns und die Zonen (1–5) der am weitesten medial liegenden Position der Krone; die Inklination des oberen Eckzahns zur Mittellinie ( $\alpha$ ) und zur Längsachse des seitlichen Eckzahnes ( $\beta$ ); der Grad des vertikalen Durchbruchs des oberen Eckzahnes bestimmt durch den Abstand  $d_1$ ; der eingeführte Abstand  $d_2$ ; modifiziert und ergänzt nach Ericson & Kurok [14].

3. canine inclination  $\alpha$  as the angle between its longitudinal axis and the vertical reference line (midline) [10] (Figure 1),
4. canine inclination  $\beta$  as the angle between its longitudinal axis and the longitudinal axis of the lateral incisor [10] (Figure 1),
5. the distance  $d_1$  from the occlusal plane projected as a perpendicular from the canine tip to the occlusal plane (Figure 1), and
6. the distance  $d_2$  from the canine tip to its target point P on the occlusal plane (Figure 1). This target point P is defined as the point of intersection between the occlusal plane and the perpendicular formed from the middle of the shortest connecting lines between the distal rim of the lateral incisor and mesial rim of the first premolar.
7. The mesiodistal position of the canine tip in relation to the neighboring teeth referred to as zone [14] (Figure 1),
8. overall treatment time in months,
9. duration of canine alignment defined as the time from the canine's surgical exposure until fixed appliance removal, and

ren oberen Schneidezahnes derselben Seite (Abbildung 1). Als vertikale Bezugslinie wurde die Mittellinie zwischen der Längsachse der beiden mittleren Schneidezähne definiert. Zusätzlich erfolgten die Einzeichnung der Längsachse des verlagerten Eckzahnes und die des lateralen Schneidezahnes der entsprechenden Seite.

Die Neigung des verlagerten Zahnes wurde mit einem Winkelmesser auf  $1^\circ$  genau vermessen, die Abstandsstrecken wurden mit einer digitalen Schiebelehre (Electronic Digital Caliper, Masel, Deutschland) auf 0,01 mm genau erfasst und auf 0,1 mm auf- bzw. abgerundet.

Folgende Daten wurden für die vorliegende kritische Analyse erhoben:

1. Geburtsdatum und Geschlecht
2. Alter der Patienten zum Zeitpunkt des Behandlungsbeginns und der chirurgischen Freilegung
3. Eckzahnneigung  $\alpha$  als Winkel zwischen seiner Längsachse und der vertikalen Bezugslinie (Mittellinie) [10] (Abbildung 1)
4. Eckzahnneigung  $\beta$  als Winkel zwischen seiner Längsachse und der Längsachse des seitlichen Schneidezahnes [10] (Abbildung 1)
5. Der Abstand  $d_1$  von der Okklusionsebene als Lot von der Eckzahnspitze auf die Okklusionsebene gefällt (Abbildung 1)
6. Der Abstand  $d_2$  von der Eckzahnspitze zu ihrem Zielpunkt P auf der Okklusionsebene (Abbildung 1). Dieser Zielpunkt P wird definiert als Schnittpunkt zwischen der Okklusionsebene und dem Lot, das von der Mitte der kürzesten Verbindungslinien zwischen dem distalen Rand des seitlichen Schneidezahnes und des mesialen Randes des ersten Prämolaren verläuft
7. Die mesiodistale Position der Eckzahnspitze in Relation zu den benachbarten Zähnen bezeichnet als Zone [14] (Abbildung 1)
8. Dauer der Gesamtbehandlungszeit in Monaten
9. Dauer der Eckzahneinstellung, definiert als die Zeit von der Freilegung bis zur Entbänderung
10. Zahl der Sitzungen von der Freilegung bis zur Entbänderung, einschließlich Reparatursitzungen

Bei acht Patienten, die eine doppelseitige Verlagerung aufwiesen, wurde derjenige Eckzahn für die Messung herangezogen, der ungünstiger lag (weiter entfernt von der Okklusionsebene, stärkere Neigung, mehr mesial liegend).

Zur statistischen Analyse wurden zunächst Normalverteilung und Homogenität der Varianzen der erhobenen Messwerte mittels Kolmogorov-Smirnov- bzw. Levene-Test überprüft (SPSS® für Windows® Version 16.0; SPSS Inc., Chicago, IL, USA). Alle Vergleiche wurden mittels Mann-Whitney-U-Test bzw. Kruskal-Wallis-H-Test durchgeführt. Ergebnisse mit  $p \leq 0,05$  wurden als signifikant betrachtet. Die Regressionsanalysen und deren grafische Darstellungen wurden mit dem Programm SigmaStat® 3.5 bzw. SigmaPlot®

10. the number of check-ups from the tooth's surgical exposure to fixed appliance removal, including repair visits.

In the eight patients who presented with bilateral displacements, the canine selected for measurement was the one in the worse position (further away from the occlusal plane, more horizontally inclined, and/or in a more mesial position).

For statistical analysis the initial step was to test standard distribution and homogeneity of the variances of the collected measurements by means of the Kolmogorov-Smirnov or Levene Test (SPSS® for Windows® Version 16.0; SPSS Inc., Chicago, IL, USA). All comparisons were made using the Mann-Whitney U test or Kruskal-Wallis H test. Results of  $p \leq 0.05$  were considered significant. The regression analyses and their charts were generated using the SigmaStat® 3.5 and SigmaPlot® 10.0 program (Systat Software GmbH, Erkrath, Germany), respectively. Where not otherwise stated, all analyses were carried out using the unilateral data records.

### Results

Of the 57 patients, 41 (29 female, 12 male) were affected by unilateral displacement, 16 patients (12 female, 4 male) by a bilateral displacement. The patients' mean age at the start of treatment was 13.3 years ( $\pm 1.6$ ) for those presenting with unilateral displacement and 12.4 years ( $\pm 0.8$ ) for those with bilateral displacement (Table 1). Of the 57 palatally-displaced canines, 34 teeth were on the left and 23 teeth on the right side. Only one canine was in zone 1, 15 were in zone 2, 17 in zone 3, 20 in zone 4, and four in zone 5 (Figure 1).

We first addressed the question whether digital X-ray technology ( $n = 25$ ) supplied measurement values different from those of analog X-ray technology with negative films ( $n = 16$ ). We observed no relationship between the measurement parameters and the X-ray procedure (digital/analog).

All 57 surgically-exposed canines were successfully aligned into the dental arch using the EWC® spring system [29] with a closed eruption technique, in no case was a second exposure required.

Canine alignment for the cohort with unilateral displacement lasted 18.0 ( $\pm 5.3$ ) months, and overall treatment time was 25.4 ( $\pm 6.0$ ) months (Table 1). In the comparison group presenting with bilateral displacement, mean treatment time for canine alignment was 23.5 ( $\pm 5.5$ ) months, and overall treatment time 30.4 ( $\pm 6.3$ ) months (Table 1).

The Mann-Whitney U test was performed to examine the data for any gender-related differences. None of the measurement parameters used so far revealed gender-specific details. However, the newly-introduced measurement parameter "d<sub>2</sub>" proved to be sensitive to gender-specific differences ( $p = 0.009$ ; Mann-Whitney U test).

### Dependency on Zone Division

The Kruskal-Wallis test was used to examine the relationship between the various measurement parameters and the

**Table 1.** Descriptive statistics of the patient cohorts with unilaterally- and bilaterally-impacted canines.

**Tabelle 1.** Beschreibende Statistik der Patientenkohorten mit unilateraler und bilateral verlagerten Eckzähnen.

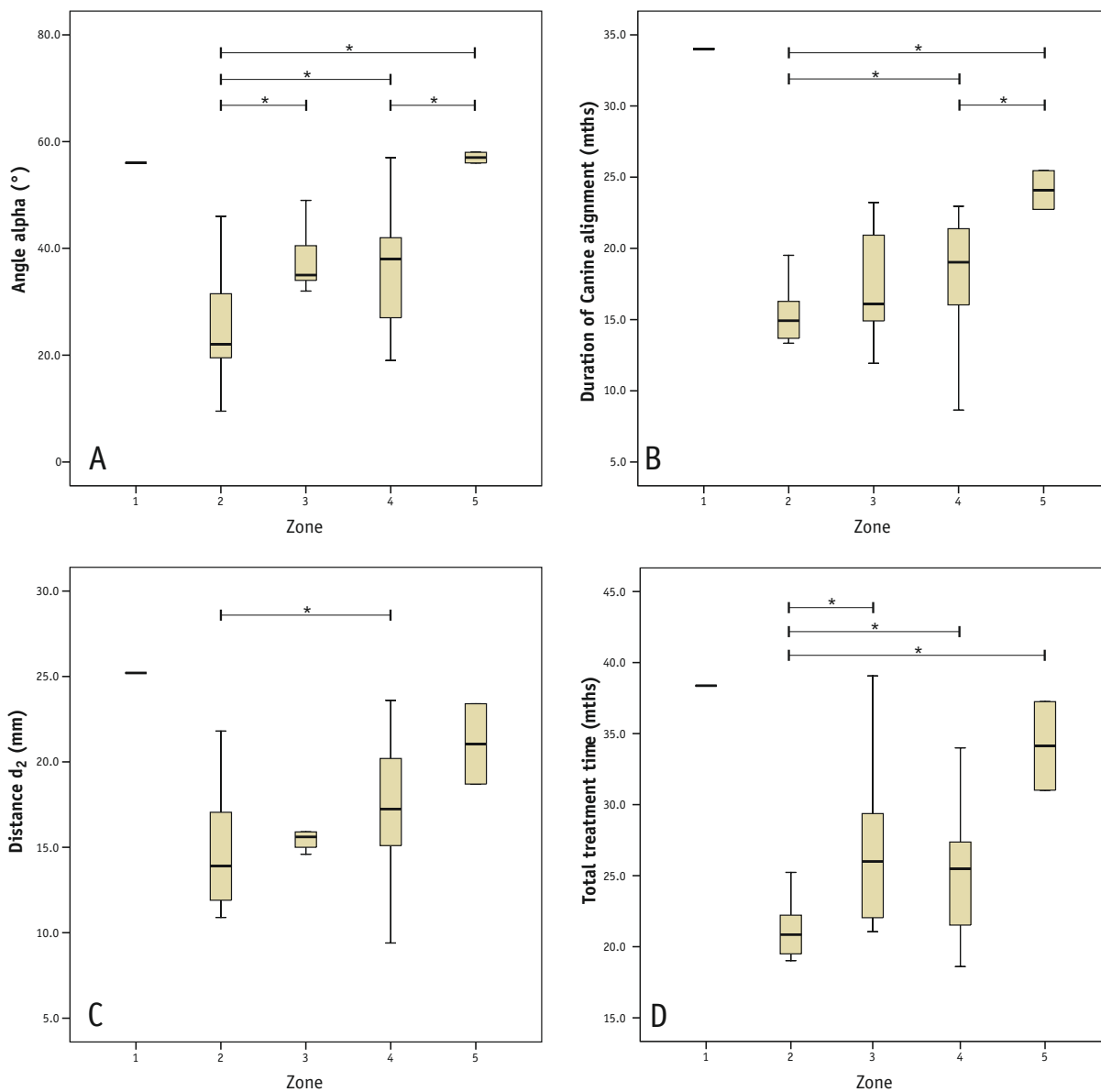
Variable	Mean	SD	Median	Range
Unilaterally-impacted canines (n = 41)				
Alpha angle (°)	35.5	14.3	35.0	9.5–77.0
Beta angle (°)	40.6	16.6	41.0	13.0–83.0
d <sub>1</sub> distance (mm)	14.5	3.8	13.7	8.8–25.0
d <sub>2</sub> distance (mm)	17.1	4.1	16.3	9.4–28.8
Duration of canine alignment (mths)	18.0	5.3	17.0	8.6–34.0
Total treatment time (mths)	25.4	6.0	25.0	14.4–39.1
Age at bonding (yrs)	13.3	1.6	13.1	10.9–17.8
Age at activation (yrs)	13.9	1.6	13.7	11.7–18.1
Number of visits	15.5	4.5	16.0	6.0–26.0
Bilaterally-impacted canines (n = 16)				
Alpha angle (°)	33.6	8.9	32.2	21.0–51.0
Beta angle (°)	40.2	8.8	40.0	31.0–54.0
d <sub>1</sub> distance (mm)	14.5	2.0	14.6	11.7–17.9
d <sub>2</sub> distance (mm)	17.2	2.2	17.7	14.0–20.2
Duration of canine alignment (mths)	23.5	5.5	24.5	14.0–31.8
Total treatment time (mths)	30.4	6.3	30.7	17.9–40.7
Age at bonding (yrs)	12.4	0.8	12.7	10.8–13.3
Age at activation (yrs)	13.0	0.9	13.3	11.6–14.1
Number of visits	18.2	4.8	18.0	11.0–26.0

10.0 (Systat Software GmbH, Erkrath, Deutschland) erstellt. Wenn nicht anders angegeben wurden sämtliche Auswertungen mit den unilateralen Datensätzen durchgeführt.

### Ergebnisse

Von den 57 Patienten waren 41 Patienten (29 weiblich, 12 männlich) von einer einseitigen Verlagerung betroffen, 16 Patienten (12 weiblich, 4 männlich) von einer beidseitigen Verlagerung. Das Alter der Patienten zu Beginn der Behandlung lag im Durchschnitt bei 13,3 ( $\pm 1,6$ ) Jahren für Patienten mit einseitiger Verlagerung und 12,4 ( $\pm 0,8$ ) Jahren für Patienten mit beidseitiger Verlagerung (Tabelle 1). Von den 57 palatinal verlagerten Eckzähnen lagen 34 Zähne auf der linken Seite und 23 Zähne rechts. Nur ein Eckzahn war in Zone 1, 15 waren in Zone 2, 17 in Zone 3, 20 in Zone 4 und vier in Zone 5 gelegen (Abbildung 1).

Zunächst wurde die Frage geklärt, ob digitale Röntgentechnik ( $n = 25$ ) andere Messwerte lieferte als analoge Röntgentechnik mit Negativfilmen ( $n = 16$ ). Eine Abhängigkeit der Messparameter vom Röntgenverfahren (digital/analog) konnte nicht festgestellt werden.



**Figure 2.** Box plots showing the significant measures in relation to the mesiodental position of the impacted canine (see Figure 1): A) angle  $\alpha$ ; B) canine alignment; C) distance  $d_2$ ; D) total treatment time. Significant differences (Mann-Whitney U test;  $p \leq 0.05$ ) are labeled with asterisks (\*) (graphs prepared with SPSS® for Windows® 16.0).

**Abbildung 2.** Boxplot-Darstellung der signifikanten Messparameter in Abhängigkeit von der mesiodentalen Position der verlagerten Eckzähne (siehe Abbildung 1): A) Winkel  $\alpha$ ; B) Dauer der Eckzahneinstellung; C) Abstand  $d_2$ ; D) Gesamtbehandlungszeit. Signifikante Unterschiede (Mann-Whitney-U-Test;  $p \leq 0,05$ ) sind durch Asteriskus (\*) markiert (Boxplots wurden mit SPSS® für Windows® 16.0 erstellt).

displaced canine's position. We observed that the inclination of the canine expressed by the angle " $\alpha$ " ( $p = 0.010$ ), the distance " $d_2$ " ( $p = 0.044$ ), treatment time for canine alignment ( $p = 0.019$ ) and overall treatment time ( $p = 0.010$ ) correlated significantly with the position of the displaced canine in zones 1–5. The significant variables " $d_2$ ", angle " $\alpha$ ", duration of canine alignment and overall treatment time are shown in Figure 2 as box plots. Mean-value

Alle 57 operativ freigelegten Eckzähne konnten mit dem EWC®-Federsystem [29] bei geschlossenem Zugang in den Zahnbogen erfolgreich eingeordnet werden, in keinem Fall war eine zweite Freilegung notwendig.

Die Behandlungsdauer der Eckzahneinstellung betrug für die einseitig verlagerte Probandengruppe  $18,0 (\pm 5,3)$  Monate, die Gesamtbehandlungsdauer  $25,4 (\pm 6,0)$  Monate (Tabelle 1). Bei der Vergleichsgruppe mit der doppelseitigen

**Table 2.** Pearson-correlation matrix between variables for the unilaterally-impacted canine group (n = 41). Significant correlations are labeled as: \*: p ≤ 0.05; \*\*: p ≤ 0.01 (modified output from SPSS® 16.0 for Windows®).

**Tabelle 2.** Pearson-Korrelations-Matrix zwischen den Messparametern der Gruppe mit einseitig verlagerten Zähnen (n = 41). Signifikante Korrelationen sind markiert: \*: p ≤ 0,05; \*\*: p ≤ 0,01 (modifizierte Ausgabe des Programms SPSS® 16.0 für Windows®).

		Angle alpha	Angle beta	d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	Duration of canine alignment	Total treatment time	Number of visits
Angle alpha	Correlation	1.000	0.914**	0.521**	0.761**	0.604**	0.469**	0.466**
Angle beta	Correlation		1.000	0.503**	0.745**	0.533**	0.425**	0.378*
d <sub>1</sub>	Correlation			1.000	0.823**	0.604**	0.516**	0.457**
d <sub>2</sub>	Correlation				1.000	0.625**	0.511**	0.461**
Duration of canine alignment (mths)	Correlation					1.000	0.825**	0.802**
Total treatment time (mths)	Correlation						1.000	0.751**
Number of visits	Correlation							1.000

\*: Pearson correlation, significant at the 0.05 level (2-tailed); \*\*: Pearson correlation, significant at the 0.01 level (2-tailed)

comparisons were made using the Mann-Whitney U test to determine which of the individual zones differed significantly from each other. These results are also illustrated in Figure 2. It was mainly the displaced teeth in zone 2 that differed significantly from those in zones 3 to 5 in terms of overall treatment time and duration of canine alignment, respectively.

**Correlations and Linear Regression Analysis**

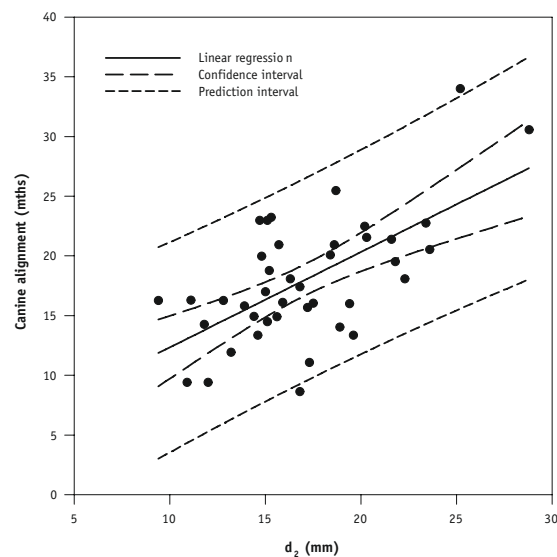
The Pearson correlation analysis identified many parameters correlating significantly with each other (Table 2). The measurement distance d<sub>2</sub> correlated positively with the canine inclination, as expressed by the angle α (r = 0.761; p < 0.001) and β (r = 0.745; p < 0.001). The duration of canine alignment correlated nearly equally with the measurement distances d<sub>1</sub> (r = 0.604; p < 0.001) and d<sub>2</sub> (r = 0.625; p < 0.001). The linear regression analysis showed significant results for all variables (angle α and β, lengths d<sub>1</sub> and d<sub>2</sub>) with the duration of canine alignment as the dependent variable (Table 3). The chart of the straight line calculated for the distance first introduced in this study, d<sub>2</sub>, is presented in Figure 3 (r<sup>2</sup> = 0.391). The regression analysis allows us to calculate the estimated value of the dependent

**Table 3.** Linear regression results with the parameter “duration of canine alignment” as a dependent variable.

**Tabelle 3.** Ergebnisse der linearen Regression mit dem Parameter „Dauer der Eckzahneinstellung“ als abhängige Variable.

Variable	r	r <sup>2</sup>	p value
Angle alpha	0.604	0.365	< 0.001
Angle beta	0.533	0.284	< 0.001
d <sub>1</sub>	0.604	0.365	< 0.001
d <sub>2</sub>	0.625	0.391	< 0.001
d <sub>2</sub> , gender	0.627	0.393	< 0.001

Verlagerung ergab sich bei der Eckzahneinstellung eine durchschnittliche Dauer von 23,5 (± 5,5) Monaten, die Gesamtbehandlung betrug 30,4 (± 6,3) Monate (Tabelle 1).



**Figure 3.** Linear regression analysis with forced eruption time (mths) as dependent variable. The plot follows the equation: Duration of canine alignment (mths) = 4.358 + 0.798 × d<sub>2</sub> (mm) (r<sup>2</sup> = 0.391). Confidence and prediction intervals are also shown: 95% of all measurements fall within the confidence interval, whereas the prediction interval gives the same information related to the population (graph and statistics prepared with SigmaStat®/SigmaPlot®).

**Abbildung 3.** Lineare Regressionsanalyse mit „aktiver Behandlungszeit“ als abhängiger Variable. Die Geradengleichung lautet: Dauer der Eckzahneinstellung (Mte.) = 4,358 + 0,798 × d<sub>2</sub> (mm) (r<sup>2</sup> = 0,391). Konfidenz- und Vorhersageintervalle sind angegeben: 95% aller Messwerte fallen in das Konfidenzintervall, während statistisch 95% der Bevölkerung im Vorhersageintervall liegen (Abbildung und Statistik wurden mit SigmaStat®/SigmaPlot® angefertigt).

variable (here: duration of canine alignment in months) using the new measurement distance  $d_2$  (mm) in the equation:

$$\text{Duration of canine alignment (mths)} = 4.358 + 0.798 \times d_2 \text{ (mm)}$$

The value  $r^2 = 0.391$  means that 39.1% of the observed differences in the duration of canine alignment can be explained by the variation in  $d_2$  alone. The introduction of the variable "gender" (GENDER) as an additional parameter in a multiple linear regression (Table 3) with GENDER = 1 for male and GENDER = 2 for female patients produced the following equation:

$$\text{Duration of canine alignment (mths)} = 2.853 + (0.827 \times d_2) + (0.592 \times \text{GENDER})$$

Despite the gender-dependence of the parameter  $d_2$ , inclusion of gender did not show any significantly higher adjustment. This became clear from the marginally higher  $r^2$  value with  $r^2 = 0.393$ .

### Discussion

Although conventional computed tomography is now the gold standard for three-dimensional imaging, the significance of cone-beam computed tomography (CBCT) in dental and orthodontic diagnostics is on the rise. This is understandable, because the radiation exposure from taking a CBCT image is measurably less than that of a normal CT image [20, 25]. The low costs of CBCT equipment also favor the new procedure. When a displaced tooth is in a complex position and root resorptions at the neighboring teeth are suspected, the new cone-beam computed tomography (CBCT) procedure should be applied, and not only for forensic reasons.

As with Zuccati et al. [32], we also analyzed the orthopantomogram which the patients brought with them from the referring dentist. If these images were not over 1 year old at the time of the displaced canine's exposure, we included them in the analysis for reasons of radiation safety. We addressed from the very outset the concerns of Zuccati et al. [32], namely that both the orthopantomogram's imaging technology and the imaging procedure (analog or digital) may compromise the measurements' precision. We succeeded in reassuring these concerns regarding the imaging procedure, and observed no relationship between it and the measurement parameters.

So as to make a more precise statement about the approximate treatment duration, we drew a distinction between the anomaly's overall treatment duration and that of canine alignment in isolation. Where we observed a mean duration of 18.1 months for unilateral canine alignment, Zuccati et al. [32] reported 16.1 months in their study and

Um die Geschlechtsabhängigkeit der Messwerte zu überprüfen, wurde der Mann-Whitney-U-Test durchgeführt. Alle bisher verwendeten Messparameter waren geschlechtsunspezifisch. Der neu eingeführte Messparameter „ $d_2$ “ erwies sich als geschlechtsspezifisch ( $p = 0,009$ ; Mann-Whitney-U-Test).

### Abhängigkeit von der Zone

Mittels Kruskal-Wallis-Test wurde die Abhängigkeit der verschiedenen Messparameter von der Position des verlagerten Eckzahns überprüft. Es zeigte sich, dass die Neigung des Eckzahnes ausgedrückt durch den Winkel „ $\alpha$ “ ( $p = 0,010$ ), der Abstand „ $d_2$ “ ( $p = 0,044$ ), die Dauer der Eckzahneinstellung ( $p = 0,019$ ) und die Gesamtbehandlungsdauer ( $p = 0,010$ ) signifikant von der Position des verlagerten Eckzahns in den Zonen 1–5 abhingen. Die signifikanten Variablen „ $d_2$ “, Winkel „ $\alpha$ “, Dauer der Eckzahneinstellung und die Gesamtbehandlungsdauer sind in Abbildung 2 als Boxplots dargestellt. Um herauszufinden, zwischen welchen der einzelnen Zonen signifikante Unterschiede bestanden, wurden Mittelwert-Vergleiche mit Hilfe des Mann-Whitney-U-Tests durchgeführt. Diese Resultate sind ebenfalls in Abbildung 2 wiedergegeben. Hauptsächlich die verlagerten Zähne in Zone 2 unterschieden sich signifikant von denen der Zonen 3–5 hinsichtlich der Gesamtbehandlungsdauer bzw. Dauer der Eckzahneinstellung.

### Korrelationen und lineare Regressionsanalyse

Die Korrelationsanalyse nach Pearson identifizierte viele Messparameter, die signifikante Beziehungen zueinander hatten (Tabelle 2). Die Messstrecke  $d_2$  korrelierte positiv mit der Neigung des Eckzahnes, ausgedrückt durch die Winkel  $\alpha$  ( $r = 0,761$ ;  $p < 0,001$ ) und  $\beta$  ( $r = 0,745$ ;  $p < 0,001$ ). Die Dauer der Eckzahneinstellung korrelierte nahezu gleich mit den Messstrecken  $d_1$  ( $r = 0,604$ ;  $p < 0,001$ ) und  $d_2$  ( $r = 0,625$ ;  $p < 0,001$ ). Die lineare Regressionsanalyse zeigte bei allen Variablen (Winkel  $\alpha$  und  $\beta$ , Längen  $d_1$  und  $d_2$ ) mit der aktiven Behandlungsdauer als abhängige Variable signifikante Ergebnisse (Tabelle 3). Für die in dieser Studie erstmals eingeführte Messstrecke  $d_2$  wurde die berechnete Gerade grafisch dargestellt ( $r^2 = 0,391$ ; Abbildung 3). Die Regressionsanalyse ermöglicht die Berechnung des geschätzten Wertes der abhängigen Variable (hier: aktive Behandlungsdauer in Monaten) durch die neu eingeführte Messstrecke  $d_2$  (mm) nach der Formel:

$$\text{Dauer der Eckzahneinstellung (Mte.)} = 4,358 + 0,798 \times d_2 \text{ (mm)}$$

Der Wert  $r^2 = 0,391$  bedeutete, dass 39,1% der beobachteten Unterschiede in der Dauer der Eckzahneinstellung allein durch die Variation von  $d_2$  erklärt werden kann. Die Einführung der Variable „Geschlecht“ (GENDER) als zusätzlicher Parameter in einer multiplen linearen Regression



**Table 4.** Parameter  $d_1$  and duration of canine alignment from selected references in comparison to this study (n.d. = no data available).**Tabelle 4.** Vergleich der Parameter „ $d_1$ “ und „Dauer der Eckzahneinstellung“ ausgewählter Publikationen mit dieser Studie (n. d. = keine Angaben).

Reference		$d_1$	Total treatment time	
		(mm)	(mths)	Range (mths)
Stewart et al. 2001 [30]	unilateral	13.9	25.8	13.0–40.0
	bilateral	15.6	32.3	23.0–50.0
Zuccati et al. 2006 [32]	unilateral	14.9	19.6	7.0–50.0
	bilateral	n. d.	n. d.	n. d.
Schubert & Baumert 2009	unilateral	14.5	25.4	14.4–39.1
	bilateral	14.5	30.4	17.9–40.7

Grande et al. [17] reported 22.8 months. Concerning the study by Grande et al.: seven of the 59 canines they examined were in vestibular position, thus their cohort was not homogenous. They [17] found no correlation between the degree of canine displacement in the orthopantomogram and treatment time.

Stewart et al. [30] reported a positive correlation ( $r = 0.424$ ;  $p = 0.003$ ) between overall treatment time and the canine's distance from the occlusal plane in a comparable study, which we confirmed in this study ( $r = 0.502$ ;  $p = 0.001$ ). They reported a mean distance of 13.9 mm, and Zuccati et al. [32] observed an average value of 14.9 mm, which was somewhat higher than Stewart et al.'s and nearly matching the 14.5 mm value we identified in this study. By contrast, the pertinent overall treatment times, compared in Table 4, differed substantially.

While the longer treatment time of 6.6 months for the group with bilateral displacement was explained by a larger  $d_1$  value for Stewart et al. [30], the reason for the longer treatment time is unclear in our study, and it cannot be explained by the available data. Greater bone density in this region may be behind slower tooth movement – it may even be the reason for the canine's displacement.

To predict treatment time involving unilateral displacement, Stewart et al. [30] assume a threshold value of 14 mm distance from the occlusal plane: shorter distances require a mean overall treatment time of 23.8 months, while distances over that required an average treatment time of 31.1 months. Zuccati et al. [32] attempted to improve these relatively imprecise prognoses by distinguishing between the duration of canine alignment and overall treatment time. In addition, as in a paper published by Becker & Chaushu [1], they stated the number of check-up appointments as a measure of the total treatment time. Zuccati et al. [32] calculated the number of appointments in advance by introducing a multiple linear regression comprising the patient's age at the start of treatment, the canine's distance from the occlusal plane, the zone and the canine's inclination as angle  $\beta$ , reporting a regression coefficient of  $r^2 = 0.42$  for the relevant line of best fit.

Schopf [28] and Crismani et al. [7] are among those who have described how the canine's inclination is an important factor in the prognosis and duration of treatment.

(Tabelle 3) mit GENDER = 1 für männliche und GENDER = 2 für weibliche Patienten ergab die folgende Gleichung:

$$\text{Dauer der Eckzahneinstellung (Mte.)} = 2,853 + (0,827 \times d_2) + (0,592 \times \text{GENDER})$$

Trotz der Geschlechtsabhängigkeit des Messparameters  $d_2$  ergab der Einbezug des Geschlechts keine signifikant höhere Anpassung. Dies wurde durch den geringfügig höheren  $r^2$ -Wert mit  $r^2 = 0,393$  deutlich.

### Diskussion

Auch wenn heute die konventionelle Computertomografie den Goldstandard für ein dreidimensionales bildgebendes Verfahren darstellt, nimmt die Bedeutung der digitalen Volumentomographie (DVT) in der zahnmedizinischen sowie kieferorthopädischen Diagnostik zu. Dies ist verständlich, weil die Strahlendosis für eine DVT-Aufnahme deutlich unter der einer normalen CT-Aufnahme liegt [20, 25]. Auch die geringeren Kosten des Gerätes sprechen für das neue Verfahren. Bei komplexer Position eines verlagerten Zahnes, mit Verdacht auf Wurzelresorptionen an den Nachbarzähnen sollte das neue DVT-Verfahren – nicht nur aus forensischen Gründen – angewendet werden.

Wie bei Zuccati et al. [32] wurden in der hier vorgestellten Studie die herkömmlichen Orthopantomogramme ausgewertet, die die Patienten vom überweisenden Zahnarzt mitbrachten. Waren diese zum Zeitpunkt der Freilegung des verlagerten Eckzahnes nicht älter als 1 Jahr, wurden sie aus Gründen des Strahlenschutzes in die Auswertung mit einbezogen. Den Bedenken von Zuccati et al. [32], dass nicht nur die Bildtechnik des Orthopantomogramms, sondern auch das bildgebende Verfahren (analog bzw. digital) die Genauigkeit der Messungen schmälern könnte, wurde von vornherein nachgegangen. Diese Bedenken konnten das bildgebende Verfahren betreffend entkräftet werden, eine Abhängigkeit der Messparameter davon ließ sich ausschließen.

Um eine genauere Aussage über die ungefähre Dauer der Behandlung geben zu können, wurde zwischen der Gesamtbehandlungszeit der Anomalie und der alleinigen

**Table 5.** Age at start of canine alignment and duration of canine alignment taken from selected references for unilaterally-impacted canines (n. d. = no data available).**Tabelle 5.** Vergleich der Parameter „Alter zu Beginn der Eckzahneinstellung“ und „Dauer der Eckzahneinstellung“ ausgewählter Publikationen bei unilateral verlagerten Eckzähnen (n. d. = keine Angaben).

Study	Age at start of activation (yrs)	Canine alignment			
		(mths)	Range (mths)	(n of visits)	Range (n of visits)
Becker & Chaushu 2003 [1]	13.7	5.5	n. d.	6.9	n. d.
	29.8	12.1	n. d.	15.3	n. d.
Zuccati et al. 2006 [32]	16.7	16.1	4.0–44.0	39.8	16.0–99.0
Schubert & Baumert 2009	13.9	18.0	8.6–34.0	15.5	6–26

It is interesting that the angle  $\alpha$  – measured to the vertical – showed greater significance than angle  $\beta$ , measured to the axis of the lateral incisor. The frequent “evasion” of the lateral incisor from the palatally-positioned canine could explain this.

In contrast to Zuccati et al. [32], who included adults in their cohort and also gave a high rating to patient age as a prognostic factor, we observed no significant correlation between age and length of treatment in our group of adolescent probands (to 18 years of age). When analyzing the distance  $d_1$  and angle  $\beta$  (taking the length of treatment into account), our data confirmed the results of Zuccati et al. [32] in finding a significant correlation.

We identified a regression coefficient of  $r^2 = 0.391$  with the introduction of the new measurement distance  $d_2$  for the prognosis of the treatment time for canine alignment. What was new was that the distance  $d_2$  was the only parameter of other already-familiar parameters that proved to be gender-specific. The group of male subjects' value of 19.8 ( $\pm 4.6$ ) mm ( $n = 12$ ; median: 18.6 mm) was distinctly greater than that of the females (15.9 [ $\pm 3.3$ ] mm [ $n = 29$ ; median: 15.3 mm]). Gender-specific differences in jaw size may be a reason behind this finding [4]. Thus it was even more surprising that gender contributed to only marginal improvement in the accommodation (Table 3).

By measuring the distance  $d_2$  and entering the value into the linear equation we were able to produce a prognosis of the treatment duration. The mean distance covered per month was calculated to be 0.95 mm on X-rays. In their study, Lindauer et al. [23] simplified the sector division of Ericson & Kurol [10–12, 14] by combining zones 4 and 5: 78% of the displaced canines were located in zones 2, 3 and 4. The study by Warford et al. [31] confirmed a similar result: 82% of their displaced canines were in zones 2 to 4. Stewart et al. [30] arrived at a higher result. Only 5 of their 65 palatally-displaced canines were in zone 1, 60 canines (92%) were located in the higher zones. Only one of the 41 canines in our study was in zone 1. That was an unusual case involving a tooth position high under the nasal floor. Forty canines (98%) were found in the higher zones.

Dauer für die Eckzahneinstellung unterschieden. Mit einer durchschnittlichen Dauer für die einseitige Eckzahneinstellung von 18,1 Monaten lagen die eigenen Ergebnisse über den 16,1 Monaten in der Studie von Zuccati et al. [32] und unter den 22,8 Monaten, die Grande et al. [17] angaben. Bei der letztgenannten Untersuchung ist aber zu berücksichtigen, dass von den 59 untersuchten Eckzähnen sieben eine vestibuläre Lage aufwiesen und somit keine homogene Untersuchungsmenge vorlag. Grande et al. [17] konnten auch keine Korrelation zwischen dem Grad der Eckzahnverlagerung im Orthopantomogramm und der Behandlungsdauer feststellen.

In einer vergleichbaren Studie wiesen Stewart et al. [30] die Abhängigkeit der Gesamtbehandlungsdauer vom Abstand des Eckzahnes zur Okklusionsebene mit einer positiven Korrelation ( $r = 0,424$ ;  $p = 0,003$ ) nach, die in dieser Untersuchung bestätigt werden konnte ( $r = 0,502$ ;  $p = 0,001$ ). Der von ihnen gefundene durchschnittliche Abstand betrug 13,9 mm. Der von Zuccati et al. [32] angegebene durchschnittliche Wert von 14,9 mm lag etwas über diesem und deckt sich fast mit dem Wert 14,5 mm, der in der vorliegenden Studie gefunden wurde. Die dazugehörigen Gesamtbehandlungszeiten differierten dagegen wesentlich und wurden in der Tabelle 4 gegenübergestellt.

Während Stewart et al. [30] bei der Gruppe der bilateralen Verlagerung die längere Behandlungszeit von 6,6 Monaten durch einen höheren  $d_1$ -Wert erklärten, ist in der vorliegenden Studie der Grund für die längere Behandlungsdauer unklar und ließ sich mit den vorliegenden Messdaten nicht erklären. Eine erhöhte Knochendichte in dieser Region könnte der Grund für die langsamere Zahnbewegung sein, u. U. könnte sie sogar die Ursache für die Verlagerung des Eckzahnes sein.

Für eine Behandlungszeitprognose bei einseitiger Verlagerung gingen Stewart et al. [30] von einem Grenzwert von 14 mm Abstand von der Okklusionsebene aus: Kürzere Abstände benötigten eine durchschnittliche Gesamtbehandlungsdauer von 23,8 Monaten, während ein darüberliegender Abstand eine durchschnittliche Behandlungsdauer von 31,1 Monaten erforderte. Zuccati et al. [32] versuchten diese rela-

The angle  $\alpha$  and the distances  $d_1$  and  $d_2$  increased in ascending order from zones 1 to 5. We observed significant correlations between the zones and overall treatment times and durations of canine alignment, confirming the results of Stewart et al. [30] and Zuccati et al. [32]. The reason for the significant increase in the duration of canine alignment and overall treatment time in zone 2 compared to other zones is probably due to the particular anisotropic quality of the bone in that region [27].

The number of appointments may be important for calculating the costs of therapy but they do not provide the patient with a reliable answer regarding how long treatment will take. The numbers of appointments vary widely (Table 5) and ultimately depend on the therapeutic approach. When the numbers of appointments are compared with treatment duration, one observes that necessary re-activations and/or repairs were relatively frequent. Regardless of whether canine displacements were unilateral or bilateral, our patient cohorts (all of whom were treated with the EWC<sup>®</sup> System [29]) had to undergo fewer activation steps on average per treatment time.

Our new " $d_2$ " variable alone describes ca. 40% of the variation observed. The prognostic precision of ca. 40% seems to be the limit for prognoses using common examination methods. One major reason for this result may be due to the orthopantomogram's imaging technology, where only a narrow section of the tomogram is in sharp focus. All the objects displayed outside that area are generally more or less distorted, especially in the canine region [10–12, 14, 16]. Furthermore, teeth react to applied forces highly individually, as shown by Iwasaki et al. [22] and Sander et al. [27].

In a clinical study of extraction cases, Iwasaki et al. [22] described a mean speed of canine movement of 0.87 mm/month and 1.27 mm/month under a traction force of 18 g and 60 g, respectively. However, they also found great individual differences in the speed, which varied at a ratio of 3:1 with the same amount of force. Cell metabolic processes are presumed to be a reason for this variability in tooth movement speed. Applying digital macrophotogrammetry, Sander et al. [27] studied canine retraction with the hybrid retractor as a source of force. They found a mean value of 1.2 mm/month to be a realistic time estimate for patients. The bone's anisotropic quality was considered the cause for intra- and inter-individual differences in the speed of movement.

In the procedure we introduce in this study, a follow-up X-ray 6 months after surgical exposure or the first activation proved to be beneficial for specifying the duration of treatment. Measurement of the distance covered by the canine and subtracting that from the total distance then permitted us to determine more precisely whether that patient was a "slow mover" or a "fast mover".

tiv ungenaue Prognose zu verbessern, indem sie die Dauer der Eckzahneinstellung von der Gesamtbehandlungsdauer abtrennten. Zusätzlich gaben sie entsprechend einer Veröffentlichung von Becker & Chaushu [1] die Anzahl der Behandlungssitzungen als Maß für die Behandlungsdauer an. Durch Einführung einer multiplen linearen Regression, in der das Alter zu Behandlungsbeginn, der Abstand des Eckzahnes von der Okklusionsebene, die Zone und die Eckzahneigung als Winkel  $\beta$  einfließen, berechneten Zuccati et al. [32] die Anzahl der Sitzungen im Voraus und gaben für die zugehörige Ausgleichsgerade einen Regressionskoeffizienten von  $r^2 = 0,42$  an.

Dass die Neigung des Eckzahnes für die Prognose und Dauer einen wichtigen Faktor darstellt, wurde unter anderem bereits von Schopf [28] und Crismani et al. [7] beschrieben. Von Interesse ist, dass der Winkel  $\alpha$  – gemessen zur Vertikalen – in dieser Studie eine höhere Signifikanz zeigte als der Winkel  $\beta$  – gemessen zur Achse des seitlichen Schneidezahnes. Das häufig beobachtete „Ausweichen“ des seitlichen Schneidezahnes vom palatinal stehenden Eckzahn könnte der Grund dafür sein.

Im Gegensatz zu Zuccati et al. [32], die Erwachsene in ihre Untersuchungsgruppe mit einbezogen und auch das Patientenalter als Prognosefaktor hoch werteten, wurde bei der vorliegenden jugendlichen Probandengruppe (bis 18 Jahre) keine signifikante Korrelation zwischen Alter und Behandlungszeit festgestellt. Bei der Bewertung des Abstandes  $d_1$  und des Winkels  $\beta$  zur Dauer der Eckzahneinstellung konnten mit einer signifikanten Korrelation die Ergebnisse von Zuccati et al. [32] bestätigt werden.

Mit Einführung der neuen Messstrecke  $d_2$  zur Prognose für die Dauer der Eckzahneinstellung wurde ein Regressionskoeffizient von  $r^2 = 0,391$  erreicht. Neu war, dass die Strecke  $d_2$  als einzige von den anderen und bisher benutzten Messparametern als geschlechtsspezifisch erkannt wurde. Sie lag bei der Gruppe der männlichen mit 19,8 ( $\pm 4,6$ ) mm ( $n = 12$ ; Median: 18,6 mm) deutlich über dem Wert von 15,9 ( $\pm 3,3$ ) mm der weiblichen ( $n = 29$ ; Median: 15,3 mm). Geschlechtsspezifische Unterschiede in der Kiefergröße dürften dafür der Grund sein [4]. Umso überraschender war, dass das Geschlecht in der multiplen Regressionsanalyse nur zu einer geringfügigen Verbesserung in der Anpassung beitrug (Tabelle 3).

Durch das Abmessen der Strecke  $d_2$  und das Einsetzen des Wertes in die Geradengleichung konnte eine Behandlungsdauerprognose gestellt werden. Die auf dem Röntgenbild durchschnittlich zurückgelegte Strecke betrug 0,95 mm pro Monat bei einseitiger Verlagerung. Lindauer et al. [23] vereinfachten in ihrer Untersuchung die Sektoreneinteilung von Ericson & Kurol [10–12, 14] durch Zusammenfassung der Zonen 4 und 5: 78% der verlagerten Eckzähne befanden sich in den Zonen 2, 3 und 4. Ein ähnliches Ergebnis bestätigte die Studie von Warford et al. [31]: 82% der verlagerten Eckzähne wurden in den Zonen 2–4 gefunden. Zu einem höheren Ergebnis kamen Stewart et al. [30]. Nur fünf von den 65 palatinal

### Conclusions

1. We observed that treatment duration depended on the position and angulation of palatally-displaced canines in adolescents up to the age of 18. Our introduction of a new linear measurement has enabled us to identify a method for practitioners to estimate treatment times.
2. This enhanced the probability of an accurate prognosis to ca. 40%. This seems to be the limit of a prognosis using a two-dimensional imaging procedure.
3. Canine alignment in patients with bilateral displacements required 5.0 months longer than in those with unilateral displacements. As the mean distances from the occlusal level and distance to be covered were on average nearly identical for both groups, we believe that metabolic processes and the bone's anisotropic quality seem to retard tooth movement in these patients especially.
4. To make the prognosis of treatment duration more precise, those variables must probably be taken into account. Further studies will be necessary to determine whether bone-density measurements using computed tomography will eventually lead us to more exact prognoses.

### Acknowledgements

The authors would like to express their gratitude to Prof. Dr. Ingrid Rudzki, Munich, for her unflagging support and advice over the course of this study.

### References

1. Becker A, Chaushu S. Success rate and duration of orthodontic treatment for adult patients with palatally impacted maxillary canines. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2003;124:509–14.
2. Bishara SE. Impacted maxillary canines: a review. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1992;101:159–71.
3. Bishara SE. Clinical management of impacted maxillary canines. *Semin Orthod* 1998;4:87–98.
4. Burris BG, Harris EF. Maxillary arch size and shape in American blacks and whites. *Angle Orthod* 2000;70:297–302.
5. Chambas C. Canine maxillaire incluse et thérapeutique orthodontique. *Rev Orthop Dento Faciale* 1993;27:9–28.
6. Chaushu S, Chaushu G, Becker A. Reliability of a method for the localization of displaced maxillary canines using a single panoramic radiograph. *Clin Orthod Res* 1999;2:194–9.
7. Crismani AG, Freudenthaler JW, Weber R, et al. Impaktierte obere Eckzähne – konventionelle Röntgendiagnostik und Therapie. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 2000;110:1256–67.
8. Dachi SF, Howell FV. A survey of 3, 874 routine full-month radiographs. II. A study of impacted teeth. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1961;14:1165–9.
9. Dausch-Neumann D. Der Durchbruchweg bleibender Eckzähne. *Fortschr Kieferorthop* 1970;31:9–16.
10. Ericson S, Kuroi J. Longitudinal study and analysis of clinical supervision of maxillary canine eruption. *Community Dent Oral Epidemiol* 1986;14:172–6.

verlagerten Eckzähnen waren in Zone 1, 60 Eckzähne (92%) waren in den höheren Zonen gelegen. In der vorliegenden Studie befand sich nur ein einziger von den 41 untersuchten Eckzähnen in Zone 1. Dabei handelt es sich um einen Sonderfall, der Zahn lag hoch unter dem Nasenboden. Vierzig Eckzähne (98%) wurden in den höheren Zonen gefunden.

Der Winkel  $\alpha$  und die Strecken  $d_1$  und  $d_2$  nahmen aufsteigend mit den Zonen 1 bis 5 zu. Eine signifikante Abhängigkeit der Gesamtbehandlungszeit und Dauer der Eckzahneinstellung von den Zonen wurde nachgewiesen und bestätigte die Ergebnisse von Stewart et al. [30] und Zuccati et al. [32]. Der Grund dafür, dass sich in der Zone 2 die Dauer der Eckzahneinstellung und der Gesamtbehandlungsdauer gegenüber den anderen Zonen signifikant erhöhte, wird wahrscheinlich an der Anisotropie des Knochens speziell in dieser Region liegen [27].

Die Anzahl der Sitzungen mag zwar für die Kalkulation der Behandlungskosten wichtig sein, gibt dem Patienten aber keine ausreichende Antwort auf die Behandlungsdauer. Sie unterliegt einer starken Streubreite (Tabelle 5) und ist letztlich auch von der Behandlungstechnik abhängig. Korreliert man die Zahl der Behandlungssitzungen mit der Behandlungsdauer, waren relativ häufige Nachaktivierungen und/oder Reparaturen notwendig. Nur bei der hier vorgestellten Patientengruppe, die alle mit dem EWC®-System [29] behandelt wurden, mussten sowohl bei der Gruppe der einseitigen als auch bei der mit doppelseitigen Verlagerungen durchschnittlich weniger Aktivierungsschritte pro Behandlungsdauer durchgeführt werden.

Die neu eingeführte Variable „ $d_2$ “ allein beschreibt ca. 40% der beobachteten Variation. Mit der Vorhersagegenauigkeit von ca. 40% scheint mit den bisher üblichen Untersuchungsmethoden die Grenze für eine Prognose erreicht zu sein. Ein Hauptgrund für dieses Ergebnis dürfte in der Bildtechnik des Orthopantomogramms liegen, wo nur ein schmaler Bereich der Schichtaufnahme scharf abgebildet wird. Alle dargestellten Objekte außerhalb dieses Bereiches unterliegen einer mehr oder weniger starken Verzeichnung, speziell in der Eckzahnregion ist sie am größten [10–12, 14, 16]. Zusätzlich reagieren Zähne auf einwirkende Kräfte sehr individuell, wie auch Iwasaki et al. [22] und Sander et al. [27] feststellten.

Iwasaki et al. [22] beschrieben in einer klinischen Studie von Extraktionsfällen eine durchschnittliche Eckzahn geschwindigkeit von 0,87 mm/Monat und 1,27 mm/Monat bei einer Zugkraft von 18 g bzw. 60 g. Allerdings stellten sie hierbei einen hohen individuellen Unterschied bei der Geschwindigkeit fest, der im Verhältnis bis 3:1 bei gleicher Kraft variierte. Zelluläre Stoffwechselfvorgänge sollen die Ursache für die Variabilität der Zahnbewegungsgeschwindigkeit sein. Sander et al. [27] untersuchten mit Hilfe der digitalen Makrophotogrammetrie die Eckzahnretraktion mit dem Hybrid-Re retraktor als Kraftquelle. Ein Mittelwert von 1,2 mm pro Monat schien ihnen als gewisse Zeitangabe für

11. Ericson S, Kuroi J. Radiographic assessment of maxillary canine eruption in children with clinical signs of eruption disturbance. *Eur J Orthod* 1986;8:133–40.
12. Ericson S, Kuroi J. Radiographic examination of ectopically erupting maxillary canines. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1987;91:483–92.
13. Ericson S, Kuroi J. Early treatment of palatally erupting maxillary canines by extraction of the primary canines. *Eur J Orthod* 1988;10:283–95.
14. Ericson S, Kuroi J. Resorption of maxillary lateral incisors caused by ectopic eruption of the canines. A clinical and radiographic analysis of predisposing factors. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1988;94:503–13.
15. Ferguson JW. Management of the unerupted maxillary canine. *Br Dent J* 1990;169:11–7.
16. Fox NA, Fletcher GA, Horner K. Localising maxillary canines using dental panoramic tomography. *Br Dent J* 1995;179:416–20.
17. Grande T, Stolze A, Goldbecher H, et al. The displaced maxillary canine – a retrospective study. *J Orofac Orthop* 2006;67:441–9.
18. Grover PS, Lorton L. The incidence of unerupted permanent teeth and related clinical cases. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1985;59:420–5.
19. Harzer W, Seifert D, Mahdi Y. Die kieferorthopädische Einordnung retinierter Eckzähne unter besonderer Berücksichtigung des Behandlungsalters, der Angulation und der dynamischen Okklusion. *Fortschr Kieferorthop* 1994;55:47–53.
20. Hashimoto K, Arai Y, Iwai K, et al. A comparison of a new limited cone beam computed tomography machine for dental use with a multidetector row helical CT machine. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2003;95:371–7.
21. Iramaneerat S, Cunningham SJ, Horrocks EN. The effect of two alternative methods of canine exposure upon subsequent duration of orthodontic treatment. *Int J Paediatr Dent* 1998;8:123–9.
22. Iwasaki LR, Haack JE, Nickel JC, et al. Human tooth movement in response to continuous stress of low magnitude. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2000;117:175–83.
23. Lindauer SJ, Rubenstein LK, Hang WM, et al. Canine impaction identified early with panoramic radiographs. *J Am Dent Assoc* 1992;123:91–7.
24. Lüdicke G, Harzer W, Tausche E. Incisor inclination – risk factor for palatally-impacted canines. *J Orofac Orthop* 2008;69:357–64.
25. Mah JK, Danforth RA, Bumann A, et al. Radiation absorbed in maxillofacial imaging with a new dental computed tomography device. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2003;96:508–13.
26. McKee IW, Williamson PC, Lam EW, et al. The accuracy of 4 panoramic units in the projection of mesiodistal tooth angulations. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2002;121:166–75.
27. Sander C, Geiger M, Sander FG. Contactless measurement of canine retraction by digital macrophotogrammetry during hybrid retractor application. *J Orofac Orthop* 2002;63:472–82.
28. Schopf P. *Curriculum Kieferorthopädie*. Berlin: Quintessenz, 1994.
29. Schubert M. The alignment of impacted and ectopic teeth using the Easy-Way-Coil (EWC®) System. *J Orofac Orthop* 2008;69:213–26.
30. Stewart JA, Heo G, Glover KE, et al. Factors that relate to treatment duration for patients with palatally impacted maxillary canines. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2001;119:216–25.
31. Warford JH, Jr., Grandhi RK, Tira DE. Prediction of maxillary canine impaction using sectors and angular measurement. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2003;124:651–5.
32. Zuccati G, Ghobadlu J, Nieri M, et al. Factors associated with the duration of forced eruption of impacted maxillary canines: a retrospective study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2006;130:349–56.

den Patienten als realistisch. Die Anisotropie des Knochens wurde als Ursache für den intra- und interindividuellen Unterschied in der Bewegungsgeschwindigkeit gesehen.

Bei dem in dieser Studie vorgestellten Verfahren hat sich zur Präzisierung der Behandlungsdauer eine Kontrollaufnahme 6 Monate nach Freilegung bzw. erster Aktivierung als günstig erwiesen. Das Abmessen der zurückgelegten Wegstrecke und deren Subtraktion von der Gesamtstrecke erlaubte dann eine genauere Prognose, ob der Patient zur Gruppe der „slow mover“ oder „fast mover“ zählte.

### Schlussfolgerungen

1. Es wurde eine Abhängigkeit der Behandlungsdauer von der Position und der Angulation palatinal verlagert Eckzähne bei Jugendlichen bis 18 Jahren nachgewiesen. Durch Einführung einer neuen Messstrecke konnte ein praxisgerechter Weg für die Prognose der Behandlungsdauer gefunden werden.
2. Die damit erreichte Wahrscheinlichkeitsprognose lag bei ca. 40%. Auf etwa dieser Höhe scheint die Grenze für eine Prognose mit Hilfe des zweidimensionalen bildgebenden Verfahrens zu liegen.
3. Bei Patienten mit beidseitiger Verlagerung benötigte die Einstellung 5,0 Monate mehr Zeit als bei einseitiger Verlagerung. Nachdem der durchschnittliche Abstand zur Okklusionsebene und die zurückgelegte Strecke bei beiden Gruppen durchschnittlich nahezu gleich waren, scheinen Stoffwechselforgänge und die Anisotropie des Knochens bei dieser Gruppe die Zahnbewegung besonders zu verlangsamen.
4. Um genauere Behandlungszeitprognosen stellen zu können, müssen wahrscheinlich diese Variablen mit einbezogen werden. Ob die Messung der Knochendichte mit Hilfe der Volumetomografie ein Weg für eine exaktere Prognose wäre, werden weitere Studien belegen müssen.

### Danksagung

Die Autoren bedanken sich bei Frau Prof. Dr. Ingrid Rudzki, München, für ihre kontinuierliche Unterstützung und Beratung bei der Durchführung dieser Studie.

### Correspondence Address

Dr. med. dent. Michael Schubert  
 Albertstr. 5  
 93047 Regensburg  
 Germany  
 Phone: (+49/941) 560240, Fax: 51151  
 e-mail: Dr.Michael.Schubert@t-online.de