

Aus der Abteilung für Kieferorthopädie, Orthodontie und
Kinderzahnmedizin, CharitéCentrum 03 für Zahn-, Mund- und
Kieferheilkunde der Medizinischen Fakultät Charité -
Universitätsmedizin Berlin

DISSERTATION

**Age estimation in 5- to 16-year-old children by measurement of
open apices based on a North German formula**

zur Erlangung des akademischen Grades
Doctor medicinae dentariae (Dr. med. dent.)

vorgelegt der Medizinischen Fakultät
Charité - Universitätsmedizin Berlin

von

Talal Halilah

aus Amman, Jordanien

Datum der Promotion: 21.06.2020

Inhaltsverzeichnis

1. Zusammenfassung	2
2. Abstract	4
3. Einleitung	5
4. Materialien und Methoden	6
4.1 <i>Studiendesign</i>	6
4.2 <i>Studienprobe</i>	7
4.3 <i>Ein- und Ausschlusskriterien der Studie</i>	7
4.4 <i>Studienmessungen</i>	7
4.5 <i>Kalibrierung und Zuverlässigkeit</i>	8
4.6 <i>Statistische Analyse</i>	9
5. Ergebnisse	10
6. Diskussion	12
7. Schlussfolgerungen	16
8. Tabellen	17
9. Abbildungen	23
10. Literaturverzeichnis	26
11. Eidesstattliche Versicherung	29
12. Journal summary list	30
13. Ausgewählte Publikation	31
14. Lebenslauf	38
15. Publikationsliste	42
16. Wissenschaftliche Poster/Vorträge	42
17. Danksagung	43

1. Zusammenfassung

Ziel: Die Genauigkeit der europäischen Formel von Cameriere et al. an einer Stichprobe norddeutscher Kinder, auf der Grundlage des Zahnalters (DA) für die Beurteilung des chronologischen Alters (CA) zu testen, und die verwendete Formel im Fall von regionalen Besonderheiten dieser Kindergruppe zu ändern.

Methoden: Es wurden 1000 unselektierte schon vorhandene Panoramaschichtaufnahmen (PSA) von Kindern (444 Jungen und 556 Mädchen) im Alter von 5-17 Jahren ausgewertet. Die Wurzeln der Zähne des 3. Quadranten (außer 3. Molar) wurden evaluiert. Zähne mit vollständiger Wurzelentwicklung wurden gezählt (N0). Zähne mit unvollständiger Wurzelentwicklung wurden untersucht. Der Abstand zwischen den Innenseiten des offenen Scheitels der Apices wurde gemessen und mittels Dividieren durch die Zahnlänge normalisiert, um Vergrößerungs-Fehler zu vermeiden. Das Zahnalter (ZA) wurde nach der europäischen Formel von Cameriere berechnet. Das Zahnalter wurde für jedes Kind mit dem chronologischem Alter (CA) verglichen. Die Signifikanz der Differenz zwischen Chronologischer Alter und Zahnalter wurde statistisch durch den gepaarten t-Test analysiert. Ein multiples lineares Regressionsmodell mit Wechselwirkungen erster Ordnung wurde verwendet, um die Formel für eine Gruppe von 800 deutschen Kindern anzugleichen. Panoramaschichtaufnahmen einer anderen Gruppe von 200 Kindern wurden verwendet, um die Genauigkeit der neu angepassten Formel zu bewerten.

Ergebnisse: Camerieres europäische Formel unterschätzt das Alter von Jungen um durchschnittlich $0,58 \pm 1,02$ Jahre und von Mädchen um $0,34 \pm 0,96$ Jahre. Die Ergebnisse der Regressionsanalyse zeigen, dass das Geschlecht, die Breitensumme der normalisierten offenen Apices, die Anzahl der Zähne mit geschlossenen Apices (N0) und die Wechselwirkung erster Ordnung zwischen der Apexweite des Eckzahns (X3) wesentlich zur Etablierung einer norddeutschen Kinderformel beigetragen haben. Die zuvor erwähnten Faktoren wurden in das Regressionsmodell eingeschlossen, woraus sich folgende Formel ergab: $DA = 9,829 + 0,632N0 - 1,037s + 0,686g - 1,582 (N0 \times X3)$ (g ist eine Variable: 1 für Jungen und 0 für Mädchen).

Schlussfolgerung: Camerieres europäische Formel unterschätzte die meisten

Alterskohorten beider Geschlechter. Die neu angepasste Formel erklärte 84,1 % der Gesamt-Devianz und eignet sich besser für die Schätzung des Zahnalters.

2. Abstract

Aims: The aims of this study were to test the accuracy of Cameriere et al.'s European formula on a sample of North German children based on dental age (DA) for chronological age (CA) assessment and to adapt the formula used, in case of regional peculiarities of this group of children.

Materials and Method: Unselected orthopantomograms of 1000 children (444 males and 556 females) aged 5-16 years were used. The roots of seven left mandibular teeth (except for 3rd molar) were evaluated. The number of teeth with complete root development (N0) was counted. Teeth with incomplete root development were examined and the distance between the inner sides of the open apex was measured and normalized by dividing it by the tooth length to avoid magnification error.

Results: The results of the regression analysis showed that sex (g), the sum of the width of the normalized open apices (s), number of teeth with closed apices (N0) and the first-order interaction between the normalized apex width of the canine (X3) and N0 contributed significantly to the fit. All previously mentioned factors were included in the regression model, yielding to the following formula:

$$DA = 9.829 + 0.632N0 - 1.037s + 0.686g - 1.582 (N0 \times X3)$$

where g is a variable: 1 for males and 0 for females.

Cameriere et al.'s European formula underestimated the mean CA of boys by 0.56 ± 1.04 years and of girls by -0.32 ± 0.96 .

Conclusion: Camerieres European formula underestimated the chronological age of most age groups in both sexes. The adapted formula explained 84.1% of the total deviance, with a median age of 0.070 years and 1.185 years interquartile range (IQR), and is better for Dental age estimation of North German children.

3. Einleitung

Verschiedene Altersschätzungsverfahren wurden in verschiedenen medizinischen Disziplinen eingesetzt, um das Alter einer Person zu bestimmen. Bei der Berücksichtigung von medizinisch-rechtlichen und ethischen Aspekten scheinen nur wenige diagnostische Methoden für den Einsatz in einem forensischen Kontext bei lebenden Personen geeignet zu sein. In der Zahnmedizin und in der Medizin besteht das Ziel der Altersschätzung darin, die Reifungsraten von Kindern zu untersuchen und zu beurteilen, ob weiteres skelettales- Wachstum zu erwarten ist. Sowohl die Knochen- als auch die Zahnentwicklung sind hervorragende Indikatoren für das Alter [1]. In der Vergangenheit wurden mehrere Methoden zur Bewertung der Mineralisierung von Zähne innerhalb akzeptabler Fehlergrenzen beschrieben und angewendet [2-5]. Nach deutschem Recht können Panoramabilder der Kiefer von Fall zu Fall eingesetzt werden, um eine möglichst genaue Altersschätzung in der Forensik zu erreichen [6].

Die zahnmedizinische Altersschätzung basiert entweder auf röntgenologischen (Zahnreife) oder klinischen Befunden (Zahndurchbruch). Dabei gilt der röntgenologische Befund als zuverlässigerer Indikator, da der Mineralisierungsprozess von Kronen und Wurzeln weniger von lokalen Faktoren wie Ernährungsgewohnheiten, lokalem Trauma und der Pathologie von Milchzähnen beeinflusst wird [7].

Die am häufigsten verwendeten Methoden für die Bestimmung des Zahnalters (ZA) basieren auf Zahnuntersuchungen anhand von Röntgenbildern [8-16]. Der routinemäßige Einsatz von Röntgenaufnahmen in der Zahnarztpraxis begünstigt, sich auf die Zahnmineralisierung [17] für die Zahnalter-Schätzung zu konzentrieren.

Eine Überprüfung des ursprünglichen Modells zur Bestimmung des Zahnalters nach Demirjian et al. durch Jayaraman et al. [18] ergab, dass das Zahnalter in den meisten Fällen überschätzt wurde und zwar in den Ländern, in denen eine Neubewertung durch Jayaraman et al. vorgenommen wurde.

Die Willems [9]- und Chaillet-Methoden [10] lieferten bessere Ergebnisse in einer brasilianischen Studie [19], einer Arbeit aus Bangladesh [20] und einer bosnisch-herzegowinischen Studie [8] im Vergleich zur ursprünglichen Demirjian-Methode [8].

In 2006 entwickelten Cameriere et al. [17] eine italienische Formel für die Schätzung des Zahnalters durch Vermessung offener Wurzelspitzen. In 2007 entwickelte die Arbeitsgruppe von Cameriere eine europäische Formel [21]. Diese Formel basierte auf Stichproben aus verschiedenen europäischen Ländern, darunter Kroatien, Deutschland, Italien, Kosovo, Slowenien, Spanien und Großbritannien. Die Formel wurde anschließend an einer größeren Gruppe getestet [21].

Eine Vergleichsstudie von Galic et al. [22] ergab jedoch, dass die europäische Formel von Cameriere et al. das Zahnalter bosnisch-herzegowinischer Jungen unterschätzte und das Zahnalter von Mädchen überschätzte; trotzdem war diese Methode zur Zahnalterbestimmung genauer als die Methoden von Haavikko [12] und Willems et al [9].

Um die am besten geeignete Methode zur Altersbestimmung zu identifizieren, sollten im Idealfall verschiedene in der vorhandenen Literatur beschriebene Methoden getestet und an einer bevölkerungsbezogenen Gruppe angepasst werden. Ziel der vorliegenden Studie ist es, die Genauigkeit der europäischen Formel von Cameriere et al. für die chronologische Altersbestimmung (CA) anhand einer norddeutschen Gruppe von Kindern zu testen. In dieser Studie wird auch versucht, die verwendete Formel an regionale Besonderheiten in der Zahnentwicklung dieser Gruppe von Kindern anzupassen und die neu angepasste norddeutsche Formel mit Cameriere et al.'s europäischer Formel zu vergleichen.

4. Materialien und Methoden

4.1 Studiendesign

Zunächst wurden aus dem Archiv der Abteilung für Kieferorthopädie, Orthodontie und Kinderzahnmedizin des CharitéCentrum 03 für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde der Medizinischen Fakultät Charité - Universitätsmedizin Berlin 1000 Panoramaschichtaufnahmen selektiert. Geschlecht, das Geburtsdatum und das Datum der Anfertigung der Panoramaschichtaufnahme (PSA) wurden aufgezeichnet. Das chronologische Alter wurde aus dem Geburtsdatum und dem Datum der Röntgenaufnahme bestimmt und das Ergebnis als Dezimalzahl berechnet. Das Alter wurde in Alterskohorten von je 2 Monaten unterteilt. Zum Beispiel wurden Patienten

im Alter von 5,0 bis 5,9 Jahren als 5-Jahres-Gruppe bezeichnet. Die 1000 PSA wurden zufällig in zwei Stichproben aufgeteilt. Die erste Probe bestand aus 800 PSA und die zweite Probe aus 200 PSA (Tabelle 1). Die Röntgenaufnahmen wurden digital aufgenommen oder mit einem Scanner in ein jpg-Format umgewandelt.

4.2 Studienstichproben

Die retrospektive Studie bestand aus 1000 Panoramaschichtaufnahmen (PSA) gesunder norddeutscher Kinder (444 Jungen und 556 Mädchen) im Alter von 5 bis 16 Jahren, die in zwei Stichproben (800 und 200) unterteilt wurden. Den Patientenakten zufolge, handelt es sich bei den ausgewählten Patienten um eine Gruppe von Personen mit kaukasischem Hintergrund und, soweit sich aus den Familiennamen schließen ließ, deutscher Herkunft. Die Röntgenbilder wurden aus den Patientenakten der Charité - Universitätsmedizin Berlin, CC3, Centrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde, Abteilung für Kieferorthopädie, Orthodontie und Kinderzahnmedizin ausgewählt.

4.3 Ein- und Ausschlusskriterien der Studie

Die Einschlusskriterien waren wie folgt: Alter zwischen 5 und 16 Jahren zum Zeitpunkt der Panoramaschichtaufnahmen, Röntgenaufnahmen von guter Qualität, in Norddeutschland aufgewachsene Kinder mit kaukasischem Hintergrund. Ausschlusskriterien waren: bilaterale Aplasie von mindestens zwei korrespondierenden Zähnen im Unterkiefer, Extraktion im unteren linken Quadranten, Patienten mit systemischen Erkrankungen, angeborene und genetische Anomalien. Die Studie wurde von der Ethikkommission der Charité - Universitätsmedizin Berlin genehmigt.

4.4 Studienmessungen

Das Zahnalter (ZA) wurde nach der europäischen Formel von Cameriere et al. berechnet. Es folgt eine kurze Beschreibung der Methode: Die Wurzeln der Zähne des 3. Quadranten wurden untersucht. Zähne mit vollständiger Wurzelentwicklung wurden gezählt (N0). Zähne mit unvollständiger Wurzelentwicklung wurden untersucht. Der Abstand zwischen den Innenseiten des offenen Scheitels der

Wurzelspitzen (Apices) wurde gemessen und mittels Dividieren durch die Zahnlänge normalisiert, um Vergrößerungsfehler zu vermeiden. Für Zähne mit mehreren Wurzeln (erster Molar (X6) und zweiter Molar (X7)) wurde die Summe der Abstände zwischen den Innenseiten der offenen Scheitelpunkte aufgezeichnet, wie in Abbildung 1 (Seite 21) zu sehen ist. Schließlich wurde das Zahnalter berechnet unter Verwendung der normalisierten Messungen der Breite der offenen Scheitel indem die Summe der normalisierten offenen Scheitel ($s = X1 + X2 + X3 + X4 + X5 + X6 + X7$) und die Anzahl der Zähne mit vollständiger Wurzelentwicklung ($N0$) in die europäische Formel von Cameriere et al. eingesetzt wurde:

$$DA = 8,387 + 0,282g + 1,692X5 + 0,835N0 - 0,116s - 0,139s \times N0$$

Dabei ist g eine Variable: 1 für Männer und 0 für Frauen.

Für jede analysierte Panoramaschichtaufnahme wurden alle verwendeten morphologischen Werte als Vorhersagewerte (predictive values) für die Altersschätzung in eine Excel-Datei eingegeben. Das errechnete Zahnalter wurde mit dem chronologischen Alter verglichen. Anschließend wurde das chronologische Alter von dem erhaltenen Zahnalter abgezogen, um die mittlere Differenz zu erhalten. Dabei zeigt ein positives Ergebnis eine Überschätzung an, während ein negatives Ergebnis eine Unterschätzung anzeigt.

4.5 Kalibrierung und Zuverlässigkeit

Die Korrelationskoeffizienten zwischen tatsächlichem Alter und Vorhersagewerten wurden berechnet. Alle Messungen wurden von einem Beobachter (Erstautor) durchgeführt. Die Intra-Rater-Reliabilität wurde an 110 zufällig ausgewählten Röntgenaufnahmen nach einem Zeitraum von 4 Wochen unter Verwendung des intra-class correlation coefficient (ICC) überprüft. Wiederholte Untersuchungen der 110 PSA, getrennt durch ein einmonatiges Intervall, erlaubten es, die Inter-Rater-Reliabilität zu schätzen und durch eine Kalibrierung und Trainingsphase zwischen dem ersten und dem zweiten Autor bei 50 Röntgenaufnahmen zu bestimmen. Die Inter-Rater-Reliabilität der Summe der normalisierten offenen Scheitel der Apices (s) wurde anhand des Konkordanz-Korrelationskoeffizienten untersucht. Der Kappa-

Koeffizient von Cohen wurde verwendet, um die Zuverlässigkeit der Anzahl der sieben bleibenden Unterkieferzähne bei vollständiger Wurzelentwicklung (N0) zwischen den Beobachtern zu messen. Die Kappa-Werte liegen zwischen 0 und 1, wobei 0 bedeutet, dass keine Übereinstimmung zwischen den Bewertern vorliegt, die über zufällige Bewertung hinausgeht, und 1 bedeutet eine perfekte Übereinstimmung.

4.6 Statistische Analyse

Die Signifikanz der Unterschiede zwischen chronologischem Alter (CA) und Zahnalter (ZA) wurde für jede Altersgruppe und für jedes Geschlecht getrennt durch den nicht-parametrischen Wilcoxon-Vorzeichen Test bewertet, da die Stichprobe laut t-Test in einigen Altersgruppen eine nicht normale Verteilung und geringe Stichprobengrößen aufwies.

Ein mehrfaches lineares Regressionsmodell mit Interaktion erster Ordnung wurde verwendet, um die Formel unter Verwendung der morphologischen Variablen (N0, s, x1 bis x7) und des Geschlechts anzupassen, die am meisten zur Altersschätzung beitrugen. Eine Analyse der Kovarianz wurde verwendet, um mögliche Wechselwirkungen zwischen morphologischen Variablen (N0, s, x1 bis x7) und Geschlecht (g) zu untersuchen. Die statistische Analyse wurde mit IBM SPSS (Statistics 20.0) und die Datenverwaltung mit Microsoft® Excel © 2010, Computer durchgeführt.

Die oben beschriebenen Analysen wurden an einer Stichprobe von 800 Panoramaschichtaufnahmen (PSA) (der erste Stichprobe) norddeutscher Kinder durchgeführt, und eine weitere Stichprobe von 200 PSA (die zweite Stichprobe) wurde verwendet, um die Genauigkeit der neu angepassten Formel zu bewerten.

5. Ergebnisse

Die Intra- und Inter-Observer-Reliabilität waren mit Werten von 0,997 [0,995-0,998] und 0,995 [0,993-0,997] gut und zeigten keinen statistisch signifikanten Unterschied zwischen den beiden Autoren mit einer hohen Übereinstimmung unter Verwendung des ICC-Scores (95 % Konfidenzintervall). Cohens Kappa zeigt eine perfekte Übereinstimmung mit einem Wert von 0,98, was darauf hindeutet, dass die Beobachter bei den befundeten Zähnen fast gleich viele geschlossene Scheitelpunkte registrierten. Für die Messsätze der Summen der normalisierten offenen Scheitel (n) war der geschätzte Übereinstimmungskorrelationskoeffizient (ρ_c) \pm Standardabweichung (SD) $\rho_c = 0,989 \pm 0,006$. Alle morphologischen Werte korrelierten signifikant mit dem chronologischen Alter, allerdings unterschiedlich stark (Tabelle 2).

Das mittlere chronologische Alter der ersten Probe betrug 10,45 Jahre für Jungen und 10,67 für Mädchen. Das mittlere Zahnalter von Mädchen nach der europäischen Formel von Cameriere et al. betrug 10,03 Jahre, was eine Unterschätzung von $-0,32 \pm 0,96$ Jahren darstellt, während das mittlere Zahnalter von Jungen 10,12 Jahre betrug, was wiederum eine Unterschätzung von $-0,56 \pm 1,04$ Jahre ($p < 0,05$) darstellt. Nach dem Wilcoxon-Vorzeichen-Test sind die Unterschiede signifikant ($p < 0,05$). Das durchschnittliche chronologische Alter und das geschätzte durchschnittliche Zahnalter unter Verwendung der europäischen Formel von Cameriere et al. für Mädchen und Jungen der ersten Stichprobe und der Unterschied zwischen Zahnalter und chronologischem Alter für beide Geschlechter und Alterskohorten sind in Tabelle 3 gezeigt.

Nachdem die europäische Formel von Cameriere et al. an der norddeutschen Stichprobe getestet wurde, wurde eine Anpassung der Formel vorgenommen, um genauere Ergebnisse zu erhalten. Die Ergebnisse der Regressionsanalyse zeigten, dass das Geschlecht (g), die Summe der normalisierten offenen Scheitel (s), die Anzahl der Zähne mit geschlossenen Scheiteln (N0) und die Wechselwirkung erster Ordnung zwischen der normalisierten Scheitelbreite des Eckzahns (x3) und N0 wesentlich zum Zahnalter bei trugen (Tabelle 4). Das Regressionsmodell ergab folgende Formel:

$$DA = 9,829 + 0,686g + 0,632N0 - 1,037s - 1,582N0 \times X3$$

Dabei ist g eine Variable: mit Wert 1 für Männer und 0 für Frauen

Die Ergebnisse der angepassten Formel bestätigen, dass sich der sexuelle Dimorphismus nicht mit dem Alter ändert. Das Regressionsmodell stimmt in hohem Maße mit dem in Abbildung 2a gezeigten Trend überein. In Abbildung 2b gibt es kein offensichtliches Muster.

Um zu beweisen, dass die norddeutsche Formel genauer ist als die europäische Formel, haben wir beide Formeln anhand der zweiten Stichprobe (200 Panoramaschichtaufnahmen) verglichen. Das mittlere chronologische Alter der zweiten Probe betrug 10,32 Jahre für Mädchen und 10,49 für Jungen. Die europäische Formel von Cameriere et al. ergab bei Mädchen ein Durchschnittsalter von 10,00 Jahren, eine Unterschätzung von $-0,38 \pm 0,88$ Jahren ($p < 0,05$). Das Durchschnittsalter der Jungen (9,98 Jahre) wurde ebenfalls um $-0,63 \pm 0,90$ Jahre ($p < 0,05$) unterschätzt.

Die norddeutsche Formel erklärte 84,1 % ($r = 0,841$) der Gesamtabweichung mit einem Median von $-0,070$ Jahren und 1,185 Jahren Interquartilabstand (IQR). Es unterschätzt das mittlere chronologische Alter von Jungen um $-0,04 \pm 0,80$ Jahre und unterschätzt das mittlere chronologische Alter von Mädchen um $-0,08 \pm 0,83$ Jahre. Ergebnisse zum Vergleich der Genauigkeit der beiden Formeln für Mädchen und Jungen sind in Tabelle 5 gezeigt.

Die europäische Formel von Cameriere et al. zeigte signifikante Unterschiede zwischen mittlerem chronologischem Alter und Zahnalter (Tabelle 5). Betrachtet man jedoch eine detailliertere Verteilung des Geschlechts und Alters der Stichprobe (Tabelle 6), so ist ersichtlich, dass das geschätzte Zahnalter auf Basis der europäischen Formel im Alter von 7 und 12 Jahren bei Mädchen genauer war, während bei Jungen im Alter von 6 und 7 Jahren die Anwendung der europäischen Formel genauere Ergebnisse ergab.

Der mittlere Vorhersagefehler in Jahren des Zahnalters im Vergleich zum chronologischen Alter für jede Altersgruppe bei beiden Geschlechtern für die norddeutsche Formel ist in den Tabellen 7 und 8 angegeben und ist in Abbildung 3 grafisch dargestellt. Sowohl bei Mädchen als auch bei Jungen wird das prognostizierte Alter bei jüngeren Individuen leicht überschätzt und bei älteren ohne signifikanten Unterschied unterschätzt ($p > 0,05$). Jungen zeigten genauere

Vorhersagen als Mädchen.

Bei den untersuchten Panoramaschichtaufnahmen war die Wurzelbildung überwiegend ab dem 13. Lebensjahr abgeschlossen. Nachdem im Alter von 15 und 16 Jahren demnach nur einige wenige Patienten mit offenen Scheitelpunkten gefunden wurden, die unseren Einschlusskriterien entsprachen, wurden sie nicht in die 2. Stichprobe mit 200 Panoramaschichtaufnahmen aufgenommen. Die Panorama-schichtaufnahmen der Altersgruppen 15 und 16 wurden nur zur Anpassung der europäischen Formel von Cameriere et al. an unsere norddeutsche Stichprobe verwendet.

6. Diskussion

Diskussion von Fragestellung, Materialien, Methoden und Ergebnissen:

Klinische Methoden zur Schätzung des Zahnalters haben den Vorteil, dass sie auf der gengesteuerten Zahnentwicklung basieren [23, 24] und weniger von Umweltfaktoren beeinflusst werden als die Skelettmethoden [17, 25]. Beim Testen oder Erstellen neuer Zahnalter-Schätzmethode stellt sich die Frage nach der zur untersuchenden Stichprobengröße, der Bewertung von Faktoren, die das Zahnalter beeinflussen, und den Einschränkungen der verwendeten Methode. Jede zur Schätzung des Zahnalters verwendete Methode sollte geeignete, reproduzierbare, genaue und zuverlässige Ergebnisse erzielen.

Vor Kurzem wurden Kriterien für die Altersschätzung aufgestellt, da sie für Personen verwendet werden können, um ihren individuellen Status als Minderjährige in Fällen von Adoption, strafrechtlicher Verantwortlichkeit und Asylsuchenden festzustellen. Die Arbeitsgruppe „Forensic Age Diagnostics“ schlug ein dreistufiges Verfahren vor: eine körperliche Untersuchung und eine anthropometrische Analyse, eine zahnärztliche Analyse mittels Panoramaschichtaufnahme (PSA) und eine Röntgenuntersuchung der linken Hand und des Handgelenks [26]. Die in der vorliegenden Arbeit angepasste Formel für norddeutsche Kinder soll im forensischen Kontext genauere und zuverlässigere Ergebnisse erzielen.

In der vorliegenden Studie haben wir die Anwendbarkeit der europäischen Formel von Cameriere et al. an der ersten Probe getestet, bevor sie angepasst wurde. Die maximale Differenz zwischen Zahnalter (ZA) und chronologischem Alter (CA) betrug

im Alter von 5 bis 16 Jahren -3,25 Jahre bei Mädchen. Bei Jungen betrug die maximale Differenz zwischen Zahnalter und chronologischem Alter -2,44 im Alter von 5 bis 16 Jahren. Unterschätzung des älteren Alters und Überschätzung des jüngeren Alters wurden von Cameriere et al. [11, 17, 18] sowie anderen Autoren [19, 20, 31-34] erwähnt. In einer Studie von El-Bakary et al. [27] bei ägyptischen Kindern im Alter von 5 bis 16 Jahren führte die Methode von Cameriere et al. zu einer durchschnittlichen Unterschätzung von $0,26 \pm 1,21$ Jahren für Mädchen und $0,49 \pm 1,03$ Jahren für Jungen, was mit unseren Ergebnissen übereinstimmt.

Um die Genauigkeit ihrer Methode zu überprüfen, haben Cameriere et al. [18] vorgeschlagen, dass ihre Methode nach der europäischen Formel mit den Methoden von Willems et al. [5] sowie Demirjian et al. [4] verglichen werden sollte. Die Methode von Cameriere et al. [25] zeigte bei italienischen, spanischen und kroatischen Kindern eine mittlere Unterschätzung des chronologischen Alters von -0,36 Jahren und -0,081 Jahren bei Jungen und Mädchen. Dies belegt, dass die europäische Formel von Cameriere et al. für die Zahnalter-Schätzung der oben genannten Bevölkerung gilt. In einer Vergleichsstudie aus Mainz (Deutschland) wurde die europäische Formel von Cameriere et al. mit der Methode von Demirjian et al. an deutschen Kindern verglichen [28]. Diese Studie kam zu dem Schluss, dass die Demirjian-Methode bei beiden Geschlechtern genauere Ergebnisse lieferte als die europäische Formel von Cameriere et al. Dies legt nahe, dass Umweltfaktoren wie Geographie, Ernährung und Genetik in den verschiedenen Regionen eine Rolle für das Zahnalter von Kindern spielen.

Obwohl die europäische Formel von Cameriere et al. mehr Berechnungsschritte umfasst, ist sie zu bevorzugen, da bei der mehrfachen Auswertung von Panoramaschichtaufnahmen durch mehrere Untersucher keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den Beobachtern festgestellt wurden. Die europäische Formel von Cameriere et al. erwies sich im Vergleich zu anderen quantitativen Methoden als schneller und einfacher in der Anwendung [29, 30].

In der vorliegenden Studie wurde eine Anpassung der europäischen Formel an der ersten Stichprobe vorgenommen. In der europäischen Formel von Cameriere et al. trägt der 2. Prämolare wesentlich zur Regressionsformel bei. In unserer Stichprobe war der Eckzahn jedoch wichtiger für die Anpassung und wurde daher in die angepasste Regressionsgleichung einbezogen. In einer Studie aus Nordchina [31]

sind neben dem Eckzahn der 2. Prämolare und der 2. Molare Hauptbestandteil der Regressionsformel. In einer Studie von Attiguppe et al. [30] wurde der 1. Prämolare als bedeutendster Zahn in die Regression einbezogen. Es ist interessant zu erwähnen, dass in der Studie von Rai et al. aus Indien [32] weder die zuvor erwähnten Zähne noch das Geschlecht wesentlich zur Passform beitrugen.

Frucht et al. [33] passten die Demirjian-Methode für die Zahnalter-Schätzung südwestdeutscher Kinder an. Es wäre zu erwarten, dass bei Anwendung dieser Methode bei unserer norddeutschen Stichprobe relativ genaue Zahnalter-Schätzungen erzielt würden. Daher wurde deren Formel [33] an der zweiten Stichprobe der vorliegenden Studie getestet. Das Durchschnittsalter wurde für Jungen um $0,63 \pm 0,97$ Jahre und für Mädchen um $0,73 \pm 1,43$ Jahre überschätzt. Aufgrund der erheblichen Überschätzungen des chronologischen Alters ist die Benutzung der Formel von Frucht et al. nicht zu empfehlen.

Bei der Betrachtung der einzelnen Altersgruppen in der zweiten Stichprobe von Mädchen erwies sich die norddeutsche Formel für Mädchen in den meisten Altersgruppen gegenüber der europäischen Formel als genauer (Tabelle 7). Die niedrigsten mittleren Unterschiede betragen -0,18, 0,16, -0,07 und 0,10 für die Altersgruppen von 8, 9, 10 und 11 Jahren. Die europäische Formel von Cameriere et al. ergab jedoch in der Altersgruppe von 7 Jahren etwas bessere Ergebnisse mit einer Unterschätzung von 0,13 Jahren und 0,16 Jahren in der Altersgruppe von 12 Jahren (Tabelle 6), im Vergleich zu einer Unterschätzung von 0,43 Jahren im Alter von 7 Jahren und einer Überschätzung um 0,31 Jahren im Alter von 12 Jahren nach der norddeutschen Formel (Tabelle 7). Im Gegensatz dazu ergab die norddeutsche Formel bei Jungen der zweiten Stichprobe eine genaue Zahnalter-Schätzung in allen Altersgruppen, insbesondere im Alter von 8, 9, 10 und 11 Jahren, mit mittleren Unterschieden von 0,03, 0,10, -0,13 bzw. -0,14 (Tabelle 8). Die europäische Formel für Jungen wies signifikante Unterschiede in mehreren Gruppen auf, war jedoch im Alter von 6 Jahren genauer, wobei eine Differenz zwischen Zahnalter und chronologischem Alter von 1,01 Jahren und im Alter von 7 Jahren um 0,19 Jahre betrug (Tabelle 6), verglichen mit 1,16 Jahren und 0,54 Jahren unter Verwendung der norddeutschen Formel (Tabelle 8). Es ist erwähnenswert, dass unsere Stichprobe vor allem in extremen Altern (5 und 16 Jahre) meist ungleichmäßig verteilt ist. Eine größere Anzahl von Panoramaschichtaufnahmen der extremen

Altersgruppen könnte zu unterschiedlichen Ergebnissen führen.

Der Grund für diese Überschätzungen ist sowohl in der europäischen Formel von Cameriere et al. als auch in der angepassten Formel die kleine Stichprobe junger Patienten, die unseren Einschlusskriterien entsprachen. Gesunde junge Personen mit normal entwickeltem Gebiss weisen kaum eine Indikation für eine Panoramaschichtaufnahme auf, daher war unsere Stichprobe in diesen Altersgruppen klein. In der Studie von Liversidge et al. [34] wurde bei allen untersuchten Methoden das Alter von Kindern mit Zahndurchbruchsverzögerung unterschätzt. Um die Über- oder Unterschätzung der extremen Altersgruppen zu überwinden, wird eine normale Altersverteilung aller Altersgruppen der Stichprobe vorgeschlagen [34]. Nach Chaillet et al. [35] ist die Vorhersage des chronologischen Alters mit einer Genauigkeit von 1 Jahr in der forensischen Anthropologie ausreichend. Bei der Untersuchung der Zahnreife wird jedoch ein Unterschied von mehr als 6 Monaten als klinisch signifikant angesehen [36].

Es gibt viele Gründe für die Unterschätzung eines älteren Alters (14-16 Jahre). Der Hauptgrund ist eindeutig, dass fast alle Zähne in diesen Alterskohorten vollständig entwickelt sind [37] und Zähne mit unvollständiger Wurzelbildung die Minderheit darstellen oder es sich um Zähne mit verzögerter Zahnreife handelt. Mit zunehmendem Alter und zunehmender Reifung nimmt die Anzahl der Zähne mit noch wachsenden Wurzeln ab, so dass ab dem 14. Lebensjahr meist nur der dritte Molar unvollständig ist. Das maximale Alter einer Stichprobe ist wichtig, Kinder gelten als zahnmedizinisch reif, wenn die distale Wurzel des zweiten Molaren geschlossen ist, da die dritten Molaren in diesen Formeln nicht bewertet werden. Ihr Alter ist weder durch eine zahnmedizinische Reifeskala noch durch individuelle Entwicklung bleibender Zähne schätzbar, wenn nicht die dritten Molaren beurteilt werden [34]. In unserer Stichprobe betrug das Höchstalter bei beiden Geschlechtern etwa 14 Jahre. Nicht zufällige Selektion, ungleichmäßige Alters-/Geschlechtsverteilung und Stichprobengröße sind weitere Probleme, die die Interpretation der Befunde und Vergleiche von Zahnbildung und -reife erschweren könnten [37-39]. Unsere Stichprobe wurde jedoch zufällig mit einer nahezu gleichen Geschlechtsverteilung ausgewählt. Es ist unwahrscheinlich, dass ausreichend Personen eingeschlossen werden, deren durchschnittliche Zahnreife repräsentativ ist, wenn die Anzahl der Personen in einer Jahrgangskohorte gering ist. Daher verändern die Ausreißer die

50. Perzentilkurve der Reife wesentlich [37].

Das Auftreten einer ungleichen Verteilung in der norddeutschen Stichprobe war hauptsächlich auf die geringe Stichprobengröße der Altersextreme (5, 6, 7 und 14, 15, 16 Jahre) zurückzuführen. Die Anpassung zeigte, dass die genauesten Ergebnisse bei den Altersgruppen erzielt wurden, die eine größere Stichprobengröße hatten, was ein höheres Gewicht bedeutet und umgekehrt zu Überschätzungen in jüngerem Alter und zu Unterschätzungen in höherem Alter führte. Das Kalibrierungsproblem in Statistik, die Tendenz die akkumulierten Fehler in den mittleren Alter zu kompensieren (attraction to the middle) und die Altersnachahmung (age mimicry) sind Phänomene, die das Altersschätzung beeinflussen [40].

Mit der norddeutschen Formel wiesen Mädchen im Alter von 9 bis 12 Jahren eine fortgeschrittenere Zahnreife auf als Jungen. Dies steht im Einklang mit der Literatur, in der erwähnt wird, dass Mädchen während des Durchbruchs des Eckzahns und seiner Entwicklung die höchsten Reifungsraten aufweisen [37,41,42], was möglicherweise auf den Beginn der Pubertät bei Mädchen zurückzuführen ist. Im Alter von 13 und 14 Jahren ist die Zahnreife von Jungen im Vergleich zu Mädchen höher. Die Entwicklung der Pubertät bei Jungen kann eine Ursache sein, zusammen mit der Entwicklung der dritten Molarenwurzel, die bei Jungen schneller ist als bei Mädchen [41]. Dieser Trend zeigt sich auch in der europäischen Formel in der vorliegenden Studie bei der Stichprobe von 200 Panoramaschichtaufnahmen [37].

Dies ist nach Frucht et al. [33]. der 2. Versuch, in Deutschland eine Zahnalter-Schätzmethode anzupassen. Dies ist jedoch die erste Studie, die die europäische Formel von Cameriere et al. an eine deutsche Probe anpasst. Studien mit verschiedener Bevölkerungsgruppen zeigten, dass eine Interpopulationsvariation sowohl der Skelett- als auch der Zahnreife besteht [43,44]. In einem so großen und vielfältigen Land wie Deutschland ist es möglich, dass verschiedene Faktoren wie sozioökonomischer Status, ethnischer Hintergrund, Ernährungsgewohnheiten, Lebensstil und Genetik das Wachstum von Kindern beeinflussen [14]. Demirjian et al. zufolge wird die Zahnreife von genetischen, sozioökonomischen und umweltbedingten Faktoren beeinflusst [18] und variiert daher nicht nur in Bevölkerungsgruppen verschiedener Länder, sondern auch in Bevölkerungsgruppen, die in einer begrenzten geographischen Region leben.

7. Schlussfolgerungen

Diese Studie zeigt, dass die europäische Formel von Cameriere et al., die auf norddeutsche Kinder angewendet wurde, die meisten Alterskohorten für beide Geschlechter unterschätzte ($p < 0,05$). Die neue angepasste Formel erklärte 84,1 % der Gesamtabweichung und ist nach dieser Testprobe für die Schätzung des chronologischen Alters norddeutscher Kinder besser geeignet ($p > 0,05$). Die neue angepasste Formel sollte an einer größeren, gleichmäßig verteilten Probe und in verschiedenen Gebieten und Regionen Deutschlands auf Genauigkeit und Zuverlässigkeit der Zahnalter-Bewertung bei deutschen Kindern getestet und verifiziert werden.

8. Tabellen

Tabelle 1: Geschlecht und Altersverteilung der Stichprobe, PSA (Panoramaschichtaufnahmen)

Alterskohort (Jahre)	Ertse Probe (800 PSA)		Zweite Probe (200 PSA)		Summe
	Mädchen	Junge	Mädchen	Jungen	
5-5,9	9	7	2	2	20
6-6,9	26	16	6	4	52
7-7,9	38	23	9	6	76
8-8,9	55	45	14	11	125
9-9,9	62	43	16	11	132
10-10,9	67	55	17	13	152
11-11,9	64	52	16	13	145
12-12,9	65	58	16	14	153
13-13,9	38	32	10	9	89
14-14,9	16	17	4	4	41
15-15,9	2	6	1	1	10
16-16,9	2	2	1	0	5
Summe	444	356	112	88	1000

Tabelle 2: Alle erhobenen morphologischen Befunde korrelierten signifikant mit dem Alter.

Befund	s	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	N0
Korrelation	-0,859	-0,553	-0,636	-0,822	-0,757	-0,826	-0,760	-0,817	0,875

Tabelle 3: Mittlerer durchschnittliches chronologisches Alter (CA) und Zahnalter (ZA) berechnet mit Cameriere's europäischer Formel und der Unterschied zwischen chronologischem Alter und Zahnalter für beide Geschlechter und Alterskohorten in der ersten Stichprobe (800 Panoramaschichtaufnahmen)

Alterskohorte (Jahre)	n	Mittleres CA	CA SD	Mittlere ZA	ZA SD	ZA-CA	ZA-CA SD	MOE	95 % CI	P-Wert
Mädchen										
5-5,99	9	5,60	0,22	6,83	0,24	1,23	0,22	2,01	-0,79 to 3,24	0,00
6-6,99	26	6,57	0,26	7,10	0,33	0,53	0,26	0,27	0,26 to 0,80	0,00
7-7,99	38	7,51	0,31	7,55	0,59	0,03	0,58	0,45	-0,41 to 0,48	0,94*
8-8,99	55	8,41	0,26	8,25	0,78	-0,16	0,74	0,43	-0,59 to 0,26	0,10*
9-9,99	62	9,46	0,31	9,56	0,97	0,10	0,97	0,52	-0,41 to 0,62	0,40*
10-10,99	67	10,40	0,26	10,15	0,69	-0,25	0,72	0,16	-0,41 to -0,09	0,00
11-11,99	64	11,43	0,27	10,96	0,73	-0,47	0,79	0,18	-0,65 to -0,29	0,00
12-12,99	65	12,43	0,30	11,87	0,89	-0,56	0,85	0,19	-0,75 to -0,37	0,00
13-13,99	38	13,39	0,28	12,18	0,98	-1,20	0,98	0,28	-1,49 to -0,92	0,00
14-14,99	16	14,47	0,28	12,93	0,72	-1,53	0,74	0,35	-1,88 to -1,18	0,00
15-15,99	2	15,57	0,28	12,92	0,61	-2,65	0,89	2,21	-4,85 to -0,44	0,20*
16-16,99	2	16,60	0,57	13,35	0,00	-3,25	0,57	1,41	-4,66 to -1,84	0,20*
Jungen										
5-5,99	7	5,47	0,29	6,65	0,45	1,18	0,37	0,35	0,83 to 1,52	0,02
6-6,99	16	6,50	0,31	7,09	0,23	0,59	0,38	0,20	0,39 to 0,80	0,00
7-7,99	23	7,58	0,29	7,81	0,66	0,23	0,58	0,25	-0,02 to 0,48	0,00
8-8,99	45	8,45	0,28	8,30	0,80	-0,16	0,82	0,25	-0,40 to 0,09	0,00
9-9,99	43	9,45	0,25	9,35	0,81	-0,10	0,76	0,23	-0,34 to 0,13	0,00
10-10,99	55	10,49	0,29	10,28	0,80	-0,22	0,75	0,20	-0,42 to -0,01	0,00
11-11,99	52	11,45	0,26	10,77	0,71	-0,68	0,72	0,20	-0,88 to -0,48	0,00
12-12,99	58	12,46	0,29	11,23	0,81	-1,23	0,82	0,21	-1,45 to -1,02	0,00
13-13,99	32	13,45	0,24	11,77	1,00	-1,68	1,04	0,37	-2,05 to -1,30	0,00
14-14,99	17	14,41	0,31	13,23	0,56	-1,17	0,63	0,32	-1,50 to -0,85	0,00
15-15,99	6	15,30	0,20	12,86	0,64	-2,44	0,75	0,78	-3,22 to -1,65	0,01
16-16,99	2	16,05	0,07	13,61	0,01	-2,44	0,06	0,52	-2,96 to -1,92	0,20*

SD: Standardabweichung

CL: Konfidenzintervall

C: P-Wert: kalkuliert mit Wilcoxon-Vorzeichen-Test

MOE: Mittelwert Fehler

* : Kein signifikanter Unterschied

Tabelle 4: Schrittweise Regressionsanalyse zur Schätzung des chronologischen Alters anhand ausgewählter Prädiktoren

	Wert	Standardfehler	P-Wert
Konstants	9,83	0,18	56,14
N0	0,63	0,04	17,20
s	-1,04	0,06	-16,61
g	0,69	0,07	10,17
N0 x X3	-1,58	0,18	-8,63

Tabelle 5: Zusammenfassung der Unterschiede der mittleren chronologischen Alters und des Zahnalters berechnet mit der europäischen Formel und der angepassten norddeutschen Formel für Jungen und Mädchen der zweiten Stichprobe (200 PSA)

Methode	G	n	CA (SD)	ZA (SD)	ZA-CA (SD)	95 % CI of ZA-CA	Adjusted R2	ZA-CA ^a	AD	AD ^a	P-value ^b	P-value ^c
Europäische Formel	F	112	10,32 (2,32)	9,94 (2,02)	-0,38 (0,88)	-0,54 bis 0,21	0,83	-0,34	0,76	0,64	0,00	0,00
Norddeutsche Formel				10,24 (2,24)	-0,08 (0,96)	-0,24 bis 0,07	0,85	0,08	0,68	0,62	0,06	0,19
Europäische Formel	M	88	10,49 (2,30)	9,84 (1,79)	-0,64 (0,91)	-0,83 bis 0,45	0,85	-0,36	0,92	0,79	0,00	0,00
Norddeutsche Formel				10,44 (1,99)	-0,04 (0,94)	-0,21 bis 0,13	0,87	0,13	0,63	0,55	0,21	0,53

G: Geschlecht

SD: Standardabweichung

CA: Chronologisches Alter

ZA: Zahnalter

CI: Konfidenzintervall

AD: Absolutwert

a: Median-Wert

b: P-Wert kalkuliert mit t-Test

c: P-Wert kalkuliert mit Wilcoxon-Vorzeichen-Test

PSA: Panoramaschichtaufnahme

Tabelle 6: Mittleres chronologisches Alter (CA) und Zahnalter (ZA) berechnet mit der europäischen Formel für Jungen und Mädchen in der zweiten Stichprobe (200 Panoramaschichtaufnahmen).

Alterskohorte (Jahre)	Mädchen					Jungen				
	n	CA	ZA	ZA-CA	P-Wert	n	CA	ZA	ZA-CA	P-Wert
5-5,99	2	5,60	6,44	0,84	0,66	2	5,40	6,86	1,46	0,18
6-6,99	6	6,48	7,08	0,60	0,03	4	6,55	7,56	1,01	0,07
7-7,99	9	7,41	7,28	-0,13	0,37	6	7,28	7,47	0,19	0,46
8-8,99	14	8,48	8,11	-0,37	0,18	11	8,45	8,06	-0,39	0,41
9-9,99	16	9,41	9,24	-0,17	0,47	11	9,43	8,93	-0,50	0,05
10-10,99	17	10,42	9,90	-0,52	0,01	13	10,43	9,69	-0,74	0,03
11-11,99	16	11,37	10,93	-0,44	0,04	13	11,42	10,58	-0,84	0,00
12-12,99	16	12,38	12,22	-0,16	0,57	14	12,34	11,12	-1,22	0,00
13-13,99	10	13,45	12,11	-1,34	0,00	9	13,49	12,10	-1,39	0,00
14-14,99	4	14,50	12,81	-1,69	0,07	4	14,15	13,12	-1,03	0,07

P-Wert nach Wilcoxon-Vorzeichen-Test

Tabelle 7: Mittlerer Vorhersagefehler in Jahren (ME) zwischen dem Zahnalter (ZA) und dem chronologischen Alter (CA) für jede Altersgruppe der Mädchen in der zweiten Stichprobe (200 Panoramaschichtaufnahmen) unter Verwendung der norddeutschen Formel.

Alterskohorte (Jahre)	n	CA ± SD	ZA ± SD	ME ± SD	95 % CI	P-Wert
5-5,99	2	5,60 ± 0,28	6,00 ± 0,77	0,40 ± 1,06	-9,09 bis 9,80	0,66
6-6,99	6	6,48 ± 0,28	6,85 ± 0,28	0,37 ± 0,31	0,04 bis 0,60	0,03
7-7,99	9	7,41 ± 0,29	6,98 ± 0,83	-0,43 ± 0,63	-0,92 bis 0,06	0,03
8-8,99	14	8,48 ± 0,31	8,30 ± 1,11	-0,18 ± 0,93	-0,71 bis 0,36	0,51
9-9,99	16	9,41 ± 0,27	9,56 ± 0,97	0,16 ± 0,98	-0,37 bis 0,68	0,68
10-10,99	17	10,42 ± 0,31	10,35 ± 0,57	-0,07 ± 0,61	-0,39 bis 0,24	0,52
11-11,99	16	11,37 ± 0,23	11,47 ± 0,89	0,10 ± 0,82	-0,33 bis 0,54	0,76
12-12,99	16	12,38 ± 0,28	12,68 ± 0,73	0,31 ± 0,67	-0,05 bis 0,67	0,06
13-13,99	10	13,45 ± 0,30	12,64 ± 0,67	-0,81 ± 0,64	-1,27 to -0,36	0,00

14-14,99	4	14,50 ± 0,32	13,18 ± 0,42	-1,32 ± 0,21	-1,66 bis -0,98	0,07
----------	---	--------------	--------------	--------------	-----------------	------

SD: Standardabweichung
CA: *chronologisches Alter*
ZA: *Zahnalter*
CL: *Konfidenzintervall*
C: *P-Wert: kalkuliert mit Wilcoxon-Vorzeichen-Test*

Tabelle 8: Der mittlere Vorhersagefehler in Jahren (ME) zwischen dem Zahnalter (ZA) und dem chronologischen Alter (CA) für jede Altersgruppe der Jungen in der zweiten Stichprobe (200 Panoramaschichtaufnahmen) unter Verwendung der norddeutschen Formel.

Alterskohorte (Jahre)	n	CA ± SD	ZA ± SD	ME ± SD	95 % CI	p - wert
5-5,99	2	5,40 ± 0,28	6,45 ± 0,28	1,05 ± 0,00	1,02 to 1,09	0,18
6-6,99	4	6,55 ± 0,26	7,71 ± 0,71	1,16 ± 0,77	-0,06 to 2,34	0,07
7-7,99	6	7,28 ± 0,23	7,82 ± 0,65	0,54 ± 0,76	-0,26 to 1,33	0,17
8-8,99	11	8,45 ± 0,29	8,48 ± 0,71	0,03 ± 0,59	-0,37 to 0,42	0,72
9-9,99	11	9,43 ± 0,30	9,53 ± 0,86	0,10 ± 0,77	-0,41 to 0,62	0,59
10-10,99	13	10,43 ± 0,28	10,30 ± 0,97	-0,13 ± 0,99	-0,73 to 0,47	0,70
11-11,99	13	11,42 ± 0,33	11,28 ± 0,39	-0,14 ± 0,51	-0,45 to 0,17	0,35
12-12,99	14	12,34 ± 0,24	11,96 ± 0,71	-0,38 ± 0,73	-0,80 to 0,04	0,08
13-13,99	9	13,49 ± 0,29	12,94 ± 0,79	-0,55 ± 0,72	-1,10 to 0,00	0,11
14-14,99	4	14,15 ± 0,13	13,81 ± 0,53	-0,34 ± 0,50	-1,14 to 0,46	0,47

SD: Standardabweichung
CA: *chronologisches Alter*
ZA: *Zahnalter*
CL: *Konfidenzintervall*
C: *P-Wert: kalkuliert mit Wilcoxon-Vorzeichen-Test*

9. Abbildungen

Abbildung 1:

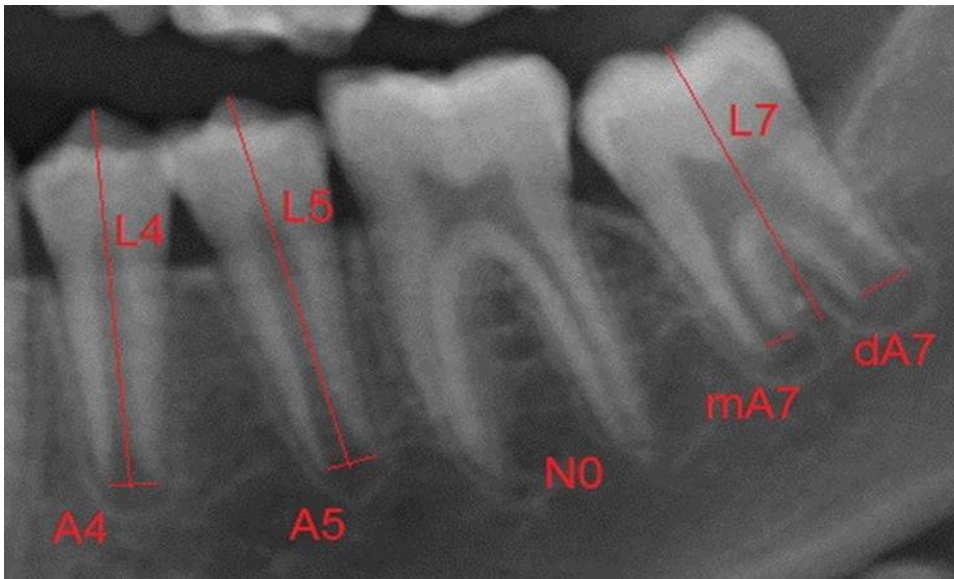


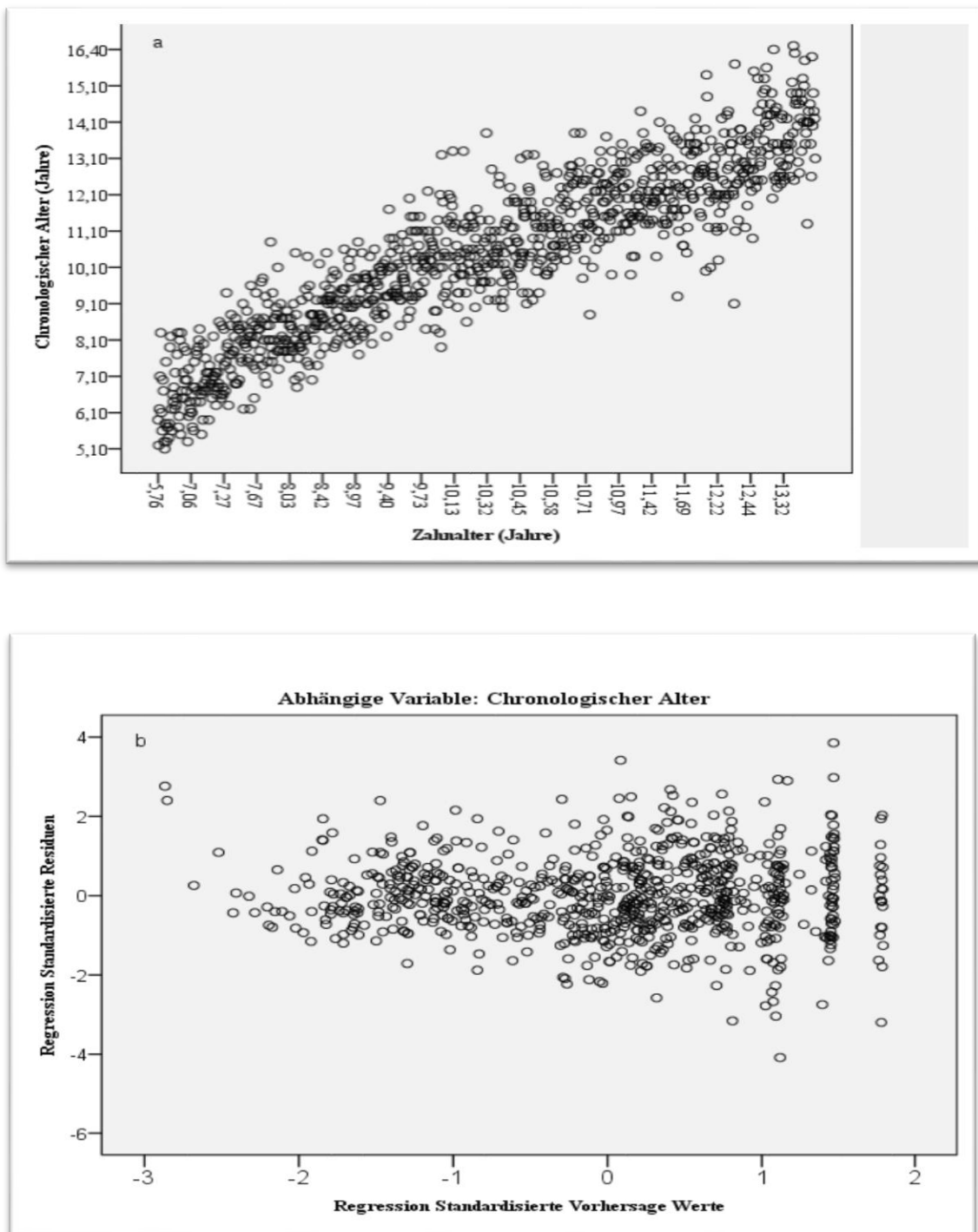
Abb. 1: Zahnvermessung nach Cameriere et al.

A_i , $i=1,2,\dots,7$ Der Abstand zwischen den Innenseiten des offenen Scheitels der Apices

L_i , $i=1,2,\dots,7$ die Zahnlänge jedes Zahnes mit offenem Apex im dritten Quadranten (außer dem 8er)

N0: Zahl der Zähne mit vollständiger Wurzelentwicklung, m: mesial, d: distal.

Abbildung 2:



Abbildungen 2a und b: Auftragung von chronologischem Alter gegen Zahnalter (a) und der Residuen gegen die vorhergesagten Werte (b).

Abbildung 3:

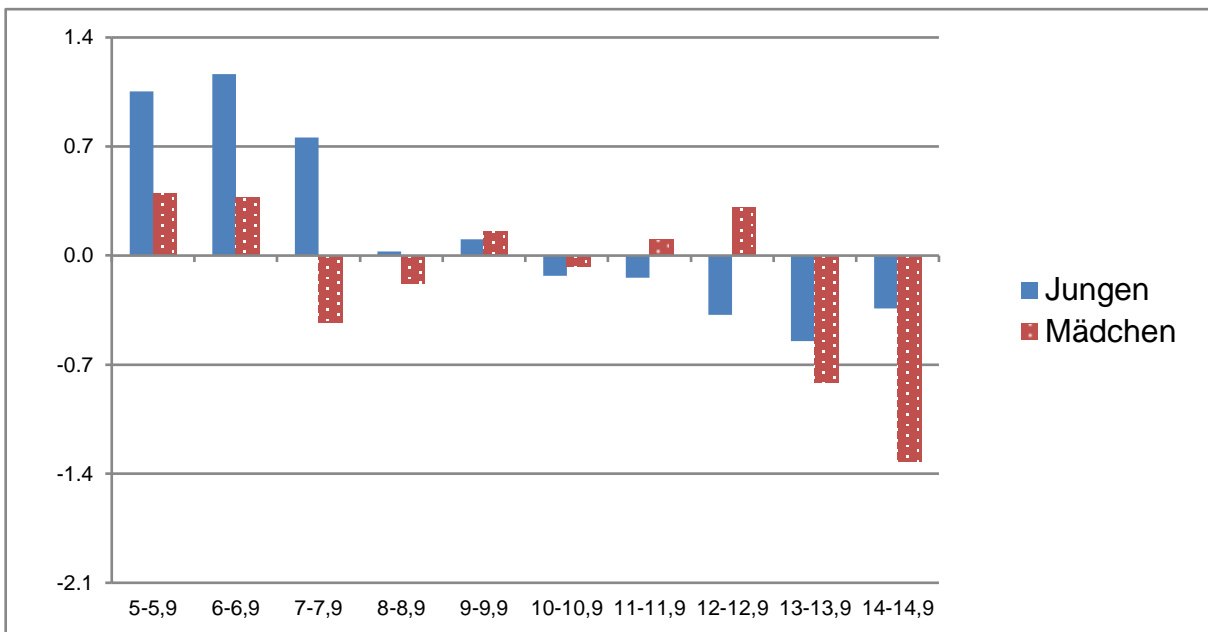


Abb. 3: Mittlere Differenz zwischen chronologischem Alter (CA) und Zahnalter (ZA) berechnet mit der norddeutschen Formel, differenziert nach Geschlecht und Alter.

10. Literaturverzeichnis

1. Nuzzolese E, Bio I, Prohić S. Forenzički značaj stomatološke radiologije i strana tijela orofacijalnog područja (Forensic dental radiology and foreign bodies in orofacial region). *Dentalna radiografija i radiologija*. Split: Medicinski fakultet u Splitu. 2009:221-36.
2. Schmeling A, Grundmann C, Fuhrmann A, Kaatsch HJ, Knell B, Ramsthaler F, et al. Criteria for age estimation in living individuals. *International Journal of Legal Medicine*. 2008;122(6):457-60.
3. Liversidge HM, Herdeg B, Rösing FW. Dental age estimation of non-adults. A review of methods and principles. *Dental Anthropology*: Springer; 1998. p. 419-42.
4. Ritz-Timme S, Cattaneo C, Collins MJ, Waite ER, Schütz HW, Kaatsch HJ, et al. Age estimation: the state of the art in relation to the specific demands of forensic practise. *International journal of legal medicine*. 2000;113(3):129-36.
5. Cruz-Landeira A, Linares-Argote J, Martínez-Rodríguez M, Rodríguez-Calvo MS, Otero XL, Concheiro L. Dental age estimation in Spanish and Venezuelan children. Comparison of Demirjian and Chaillet's scores. *International journal of legal medicine*. 2010;124(2):105-12.
6. Schmeling A, Dettmeyer R, Rudolf E, Vieth V, Geserick G. Forensic age estimation: methods, certainty, and the law. *Deutsches Ärzteblatt International*. 2016;113(4):44-45.
7. Cunningham C, Scheuer L, Black S. *Developmental juvenile osteology*. Academic Press; 2016 Jul 26.
8. Demirjian A, Goldstein H, Tanner JM. A new system of dental age assessment. *Human biology*. 1973;45(2):211-27.
9. Willems G, Van Olmen A, Spiessens B, Carels C. Dental age estimation in Belgian children: Demirjian's technique revisited. *Journal of Forensic Science*. 2001 Jul 1;46(4):893-5.
10. Chaillet N, Willems G, Demirjian A. Dental maturity in Belgian children using Demirjian's method and polynomial functions: new standard curves for forensic and clinical use. *The Journal of forensic odonto-stomatology*. 2004;22(2):18-27.
11. Chaillet N, Demirjian A. Dental maturity in South France: A comparison between Demirjian's method and polynomial functions. *Journal of Forensic Science*. 2004 Sep 1;49(5):JFS2004037-8.12.
Haavikko K. Tooth formation age estimated on a few selected teeth. A simple method for clinical use *Proceedings of the Finnish Dental Society* 1974;70(1):15-9.
13. Galić I, Vodanović M, Janković S, Mihanović F, Nakaš E, Prohić S, Galić E, Brkić H. Dental age estimation on Bosnian–Herzegovinian children aged 6–14 years: Evaluation of Chaillet's international maturity standards. *Journal of forensic and legal medicine*. 2013 Jan 1;20(1):40-5.14.
Liliequist B, Lundberg M. Skeletal and tooth development: a methodologic investigation. *Acta Radiologica Diagnosis*. 1971;11(2):97-112.
15. Moorrees CF, Fanning EA, Hunt Jr EE. Age variation of formation stages for ten permanent teeth. *Journal of dental research*. 1963;42(6):1490-502.

16. Moorrees CF, Fanning EA, Hunt EE. Formation and resorption of three deciduous teeth in children. *American journal physical anthropology*. 1963;21(2):205-13.
17. Cameriere R, Ferrante L, Cingolani M. Age estimation in children by measurement of open apices in teeth. *International journal of legal medicine*. 2006;120(1):49-52.
18. Jayaraman J, Wong HM, King NM, Roberts GJ. The French-Canadian data set of Demirjian for dental age estimation: a systematic review and meta-analysis. *Journal of forensic and legal medicine*. 2013;20(5):373-81.
19. Franco A, Thevissen P, Fieuws S, Souza PH, Willems G. Applicability of Willems model for dental age estimations in Brazilian children. *Forensic science international*. 2013;231(1-3):401.e1-4.
20. Maber M, Liversidge HM, Hector MP. Accuracy of age estimation of radiographic methods using developing teeth. *Forensic science international*. 2006;159 Suppl 1:S68-73.
21. Cameriere R, De Angelis D, Ferrante L, Scarpino F, Cingolani M. Age estimation in children by measurement of open apices in teeth: a European formula. *International journal of legal medicine*. 2007;121(6):449-53.
22. Galic I, Vodanovic M, Cameriere R, Nakas E, Galic E, Selimovic E, et al. Accuracy of Cameriere, Haavikko, and Willems radiographic methods on age estimation on Bosnian-Herzegovian children age groups 6-13. *International journal of legal medicine*. 2011;125(2):315-21.
23. Gleiser I, Hunt EE, Jr. The permanent mandibular first molar: its calcification, eruption and decay. *American journal physical anthropology*. 1955;13(2):253-83.
24. Nolla CM. *The development of permanent teeth*: University of Michigan; 1952.
25. Cameriere R, Ferrante L, Liversidge H, Prieto J, Brkic H. Accuracy of age estimation in children using radiograph of developing teeth. *Forensic science international*. 2008;176(2):173-7.
26. Santoro V, Roca R, De Donno A, Fiandaca C, Pinto G, Tafuri S, et al. Applicability of Greulich and Pyle and Demirjian aging methods to a sample of Italian population. *Forensic science international*. 2012;221(1-3):153.e1-5.
27. El-Bakary AA, Hammad SM, Mohammed F. Dental age estimation in Egyptian children, comparison between two methods. *Journal of forensic and legal medicine*. 2010;17(7):363-7.
28. Wolf TG, Briseno-Marroquin B, Callaway A, Patyna M, Muller VT, Willershausen I, et al. Dental age assessment in 6- to 14-year old German children: comparison of Cameriere and Demirjian methods. *BMC oral health*. 2016;16(1):120.
29. De Luca S, De Giorgio S, Butti AC, Biagi R, Cingolani M, Cameriere R. Age estimation in children by measurement of open apices in tooth roots: Study of a Mexican sample. *Forensic science international*. 2012;221(1-3):155.e1-7.
30. Attiguppe PR, Yavagal C, Maganti R, Mythri P. Age Assessment in Children: A Novel Cameriere's Stratagem. *International journal of clinical pediatric dentistry*. 2016;9(4):330-4.
31. Guo YC, Yan CX, Lin XW, Zhou H, Li JP, Pan F, et al. Age estimation in northern Chinese children by measurement of open apices in tooth roots. *International journal of legal medicine*.

2015;129(1):179-86.

32. Rai B, Kaur J, Cingolani M, Ferrante L, Cameriere R. Age estimation in children by measurement of open apices in teeth: an Indian formula. *International journal of legal medicine*. 2010;124(3):237-41.
33. Frucht S, Schnegelsberg C, Schulte-Monting J, Rose E, Jonas I. Dental age in southwest Germany. A radiographic study. *Journal of orofacial orthopedics = Fortschritte der Kieferorthopädie : Organ/official journal Deutsche Gesellschaft für Kieferorthopädie*. 2000;61(5):318-29.
34. Liversidge HM, Smith BH, Maber M. Bias and accuracy of age estimation using developing teeth in 946 children. *American Journal Physical and Anthropology*. 2010;143(4):545-54.
35. Chaillet N, Nyström M, Kataja M, Demirjian A. Dental maturity curves in Finnish children: Demirjian's method revisited and polynomial functions for age estimation. *Journal of Forensic Science*. 2004;49(6):JFS2004211-8.
36. Jamroz GM, Kuijpers-Jagtman AM, Hof MA, Katsaros C. Dental Maturation in Short and Long Facial Types: Is There a Difference? *The Angle orthodontist*. 2006;76(5):768-72.
37. Liversidge H. 10 Dental Age revisited. *Technique and application in dental anthropology*. 2008;53:234.
38. Konigsberg LW, Frankenberg SR. Estimation of age structure in anthropological demography. *American journal of physical anthropology*. 1992;89(2):235-56.
39. Prince DA, Konigsberg LW. New formulae for estimating age-at-death in the Balkans utilizing Lamendin's dental technique and Bayesian analysis. *Journal of forensic sciences*. 2008;53(3):578-87.
40. Langley NR, Tersigni-Tarrant MA. *Forensic Anthropology: A Comprehensive Introduction*: CRC Press; 2017.
41. Elina Nyström M, Meri Ranta H, Sakari Peltola J, Matti Kataja J. Timing of developmental stages in permanent mandibular teeth of Finns from birth to age 25. *Acta odontologica scandinavica*. 2007;65(1):36-43.
42. Feijóo G, Barbería E, De Nova J, Prieto JL. Permanent teeth development in a Spanish sample. Application to dental age estimation. *Forensic science international*. 2012;214(1):213. e1-. e6.
43. Nyström M, Ranta R, Kataja M, Silvola H. Comparisons of dental maturity between the rural community of Kuhmo in northeastern Finland and the city of Helsinki. *Community dentistry and oral epidemiology*. 1988;16(4):215-7.
44. Harris E, McKee J. Tooth mineralization standards for blacks and whites from the middle southern United States. *Journal of forensic science*. 1990;35(4):859-72.

11. Eidesstattliche Versicherung

„Ich, **Talal Halilah**, versichere an Eides statt durch meine eigenhändige Unterschrift, dass ich die vorgelegte Dissertation mit dem Thema: **Age estimation in 5- 16-year-old children by measurement of open apices: North German formula** selbstständig und ohne nicht offengelegte Hilfe Dritter verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel genutzt habe.

Alle Stellen, die wörtlich oder dem Sinne nach auf Publikationen oder Vorträgen anderer Autoren beruhen, sind als solche in korrekter Zitierung (siehe „Uniform Requirements for Manuscripts (URM)“ des ICMJE -www.icmje.org) kenntlich gemacht. Die Abschnitte zu Methodik (insbesondere praktische Arbeiten, Laborbestimmungen, statistische Aufarbeitung) und Resultaten (insbesondere Abbildungen, Graphiken und Tabellen) entsprechen den URM (s.o) und werden von mir verantwortet.

Mein Anteil an der ausgewählten Publikation entspricht dem, der in der untenstehenden gemeinsamen Erklärung mit dem/der Betreuer/in, angegeben ist. Sämtliche Publikationen, die aus dieser Dissertation hervorgegangen sind und bei denen ich Autor bin, entsprechen den URM (s.o) und werden von mir verantwortet.

Die Bedeutung dieser eidesstattlichen Versicherung und die strafrechtlichen Folgen einer unwahren eidesstattlichen Versicherung (§156,161 des Strafgesetzbuches) sind mir bekannt und bewusst.“

Datum

Unterschrift

Ausführliche Anteilserklärung an der erfolgten Publikation

[Die Anteile an der ausgewählten Publikation sind so deutlich und detailliert zu erklären, dass es der Promotionskommission und den wissenschaftlichen Gutachtern ohne Probleme möglich ist zu erkennen, was Sie selbst dazu beigetragen haben. Wünschenswert wäre ein konkreter Bezug zur Publikation selbst wie z. B.: „aus meiner statistischen Auswertung sind die Tabellen 1, 4, 47 und 60 entstanden.“

Für den Fall einer geteilten Erstautorenschaften ist dies sichtbar anzugeben und die Erklärung über den Eigenanteil von beiden Autoren abzugeben. Nur Ihre Erklärung ist mit in die Dissertation einzubinden. Beide Erklärungen sind jedoch separat mit Originalunterschriften für die Akte abzugeben!

Publikation 1: **T. Halilah**, N. Khdaïri, P.-G. Jost-Brinkmann, T. Bartzela Age estimation in 5- to 16-year-old children by measurement of open apices based on a North German formula 2018 Forensic Science International.

Beitrag im Einzelnen:

Entwickelte die Studie (Studiendesign).

Untersucher die Panoramaschichtaufnahmen die ausgewertet wurden

Analysierte und interpretierte die gewonnenen Daten.

Schrieb das Manuskript

Unterschrift, Datum und Stempel des betreuenden Hochschullehrers/der betreuenden Hochschullehrerin

Unterschrift des Doktoranden/der Doktorandin

12. Journal summary list

Journal Data Filtered By: **Selected JCR Year: 2017** Selected Editions: SCIE,SSCI Selected Categories: "MEDICINE, LEGAL" Selected Category Scheme: WoS

Gesamtanzahl: 16 Journale

Rank	Full Journal Title	Total Cites	Journal Impact Factor	Eigenfactor Score
1	Forensic Science International-Genetics	4,168	5.637	0.007560
2	REGULATORY TOXICOLOGY AND PHARMACOLOGY		5,826	2.815 0.007290
3	INTERNATIONAL JOURNAL OF LEGAL MEDICINE	3,924	2.316	0.007030
4	Forensic Science Medicine and Pathology	933	2.027	0.002530
5	FORENSIC SCIENCE INTERNATIONAL	12,565	1.974	0.015830
6	SCIENCE & JUSTICE	1,056	1.845	0.001870
7	Legal Medicine 1,203	1.254	0.002060	
8	JOURNAL OF FORENSIC SCIENCES	7,931	1.184	0.007540
9	Journal of Forensic and Legal Medicine	1,395	1.103	0.003340
9	Medical Law Review	315	1.103	0.000550
11	JOURNAL OF LAW MEDICINE & ETHICS	1,547	0.986	0.003760
12	Australian Journal of Forensic Sciences	328	0.941	0.000840
13	AMERICAN JOURNAL OF FORENSIC MEDICINE AND PATHOLOGY	1,493		0.643 0.001320
14	Rechtsmedizin 304	0.642	0.000380	
15	MEDICINE SCIENCE AND THE LAW	556	0.589	0.000500
16	Romanian Journal of Legal Medicine	135	0.320	0.000200

13. Ausgewählte Publikation

T. Halilah, N. Khdairi, P.-G. Jost-Brinkmann, T. Bartzela

Age estimation in 5- 16-year-old children by measurement of open apices: North German formula

14. Lebenslauf

Mein Lebenslauf wird aus datenschutzrechtlichen Gründen in der elektronischen Version meiner Arbeit nicht veröffentlicht."

15. Publikationsliste

[Age estimation in 5- 16-year-old children by measurement of open apices: North German formula](#)

Halilah T, Khdairi N, Jost-Brinkman PG, Bartzela T,
<https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2018.09.022>

16. Wissenschaftliche Poster/Vorträge

- 1) **T. Halilah**, N. Khdairi, P.-G. Jost-Brinkmann, T. Bartzela Überprüfung der europäischen Formel von Cameriere für die Zahnalterschätzung bei norddeutschen Kindern (**POSTER DGKFO Bonn 2017**)
- 2) N. Khdairi, **T. Halilah**, P.-G. Jost-Brinkmann, T. Bartzela Vergleich der Genauigkeit von vier Methoden zur Bestimmung des dentalen Alters bei 5-17 Jahre alten norddeutschen Kindern (**POSTER DGKFO Bonn 2017**)
- 3) **T. Halilah**, N. Khdairi, P.-G. Jost-Brinkmann, T. Bartzela Age estimation in 5-16-year-old children by measurement of open apices: North German formula. (**Poster EOS Montreux 2017**)
- 4) N. Khdairi, **T. Halilah**, P.-G. Jost-Brinkmann, T. Bartzela A comparison of different radiographic methods for dental age estimation in 5-17 years old North German children. (**Poster EOS Montreux 2017**)
- 5) N. Khdairi, **T. Halilah**, P.-G. Jost-Brinkmann, T. Bartzela The adaptation of demirjian's dental age estimation method on North German children. (**Poster Edinburgh 2018**)
- 6) K. Elhennawy, P.-G. Jost-Brinkmann, **T. Halilah** First molar extraction followed by orthodontic space closure: A systemic review (**POSTER EOS Edinburgh 2018**)
- 7) N. Khdairi, **T. Halilah**, P.-G. Jost-Brinkmann, T. Bartzela Anwendbarkeit und Anpassung der Demirjian-Methode zur Zahnalterbestimmung für norddeutsche Kinder. (**Vortrag DGKFO Bremen 2018**)
- 8) K. Elhennawy, P.-G. Jost-Brinkmann, **T. Halilah** Kieferorthopädischer Lückenschluss nach Extraktion der ersten bleibenden Molaren: Eine systematische Übersicht (**POSTER DGKFO Bremen 2018**)

17. Danksagung

In erster Linie danke ich Frau M. Sc., Dr. med. dent., Ph. D. Theodosia Bartzela und Herrn Prof. Dr. Paul-G. Jost-Brinkmann deren Ermutigung ich nie vergessen werde.

Frau Dr. Theodosia Bartzela danke ich für ihre wertvollen Ratschläge, ihre Zeit und Mühe, sowie ihre Hilfe als direkte wissenschaftliche Betreuerin. Ich hätte mir nicht vorstellen können, eine bessere Beraterin und Mentorin für meine Doktorarbeit zu haben.

Mein Dank geht zudem an das gesamte Kollegium der Zahnklinik aus den verschiedenen Abteilungen für die anregenden Diskussionen und die produktive Zusammenarbeit.

Ein ganz besonderer Dank geht an Frau Simone Milkereit, die mich bei allen administrativen Abläufen durch stetige Hilfe begleitet hat und mir darüber hinaus vielfach wertvollen, unterstützenden Beistand geben konnte.

Zuletzt möchte ich der größten Quelle des Erfolgs in meinem Leben danken, meiner Familie: meinem Vater, Dr. Ahmad Halilah, meiner Mutter, Dr. Sawsan Alaskary, meinen Schwestern, Ayah Halilah und Lana Halilah, und meiner geliebten Frau, Nadiajda Khdaïri, für ihre Liebe und bedingungslose Unterstützung in meinem ganzen Leben. Meine Frau hat mir als Zweitautorin bei der Datensammlung und Statistik geholfen, und die Publikation korrekturgelesen, bevor ich sie meiner Betreuerin abgegeben habe. Ich werde für immer dankbar sein, jeden von euch zu haben.